

# Biyogaz Kılavuzu

## Üretimden kullanıma



Bu kılavuz Türk-Alman Biyogaz Projesi kapsamında hazırlanmıştır.

# Biyogaz Kılavuzu

Üretimden kullanıma

# İçindekiler



## Dizinler

Şekiller Dizini.....	9
Tablolar dizini.....	12

## 0 Önsöz.....16

## 1 Kılavuzun Amaçları..... 17

1.1	Görev tanımı .....	17
1.2	Çözüm önerisi.....	18
1.3	İçerik.....	18
1.4	Hedef gruplar .....	19
1.5	Sınırlama.....	19
1.5.1	Teknik.....	19
1.5.2	Materyaller.....	19
1.5.3	Güncellik .....	19
1.5.4	Veri kapsamı .....	20

## 2 Anaerobik fermantasyonun esasları ..... 21

2.1	Biyogazın oluşumu .....	21
2.2	Çevre koşulları.....	22
2.2.1	Oksijen .....	22
2.2.2	Sıcaklık.....	22
2.2.3	pH değeri .....	23
2.2.4	Besin desteği .....	24
2.2.5	Zararlı maddeler .....	25
2.3	İşletme parametreleri.....	26
2.3.1	Fermentörün yükleme oranı ve bekleme süresi.....	26
2.3.2	Üretkenlik, verim ve bozunma derecesi.....	27
2.3.3	Karıştırma.....	28
2.3.4	Gaz oluşum potansiyeli ve metanojenik aktivite .....	28
2.4	Kaynakça .....	30

### 3 Biyogaz üretimi için tesis teknolojisi ..... 32

3.1	Yöntemlerin özellikleri ve aralarındaki farklılıklar.....	32
3.1.1	Fermentasyon materyallerinin kuru madde oranı.....	32
3.1.2	Besleme türü .....	33
3.1.3	Proses aşamalarının ve basamaklarının sayısı.....	34
3.2	Uygulama tekniği.....	34
3.2.1	Materyal yönetimi.....	35
3.2.2	Biyogaz üretimi .....	52
3.2.3	Fermente olmuş materyalin depolanması.....	66
3.2.4	Üretilen biyogazın depolanması.....	68
3.3	Önemli teknik eserler.....	71
3.4	Kaynakça.....	71

### 4 Seçilmiş bazı materyallerin tanımı ..... 73

4.1	Tarımsal materyaller .....	73
4.1.1	Çiftlik gübresi .....	73
4.1.2	Yenilenebilir hammaddeler .....	74
4.2	Tarım endüstrisi yan ürünleri .....	76
4.2.1	Bira üretimi .....	77
4.2.2	Alkol üretimi.....	77
4.2.3	Biyodizel üretimi.....	77
4.2.4	Patateslerin işlenmesi (Nişasta üretimi) .....	77
4.2.5	Şeker üretimi.....	78
4.2.6	Meyve işlemeciliğinin yan ürünleri.....	78
4.3	EEG uyarınca salt bitkisel yan ürünler.....	79
4.4	Salt bitkisel yan ürünlerin materyal verileri ve gaz verimi .....	79
4.5	Budama ve çim biçme artıkları.....	79
4.6	Çevre düzenleme malzemeleri.....	80
4.7	Kaynakça.....	81
4.8	Ek .....	82

### 5 Biyogaz tesislerinin işletilmesi ..... 83

5.1	Biyolojik prosesin denetimine dair referans veriler .....	83
5.1.1	Biyogaz üretim oranı .....	84
5.1.2	Gaz bileşimi.....	84
5.1.3	Sıcaklık.....	85
5.1.4	Giriş miktarı ve doluluk seviyeleri.....	85
5.1.5	Materyal özellikleri .....	86
5.1.6	Organik asitlerin konsantrasyonunun belirlenmesi .....	86
5.1.7	pH değeri.....	88
5.1.8	Mikro elementlerin konsantrasyonu .....	88
5.1.9	Azot, amonyum, amonyak .....	89
5.1.10	Yüzer tabakalar.....	90
5.1.11	Köpük oluşumu.....	90
5.1.12	Proses değerlendirmesi .....	91

5.2	Tesis gözetimi ve otomasyon.....	91
5.2.1	Veri yolu sistemi .....	92
5.2.2	Projelendirme .....	93
5.2.3	Uygulamalar/Görselleştirme .....	93
5.2.4	Veri toplama .....	93
5.2.5	Proses kontrolü.....	93
5.3	Başlangıç aşamasında ve düzenli işletimde proses kontrolü .....	96
5.3.1	Düzenli işletme.....	96
5.3.2	Başlangıç prosesi.....	97
5.4	Arıza yönetimi .....	101
5.4.1	Proses bozukluklarının sebepleri .....	101
5.4.2	Proses bozukluklarının işlenmesi.....	102
5.4.3	Teknik arızaların ve problemlerin giderilmesi.....	104
5.5	İşletme güvenliği .....	104
5.5.1	Çalışma ve tesis koruması .....	104
5.5.2	Çevre koruma .....	107
5.6	Tesis optimizasyonu için notlar .....	108
5.6.1	Teknik optimizasyon .....	109
5.6.2	Tüm tesisin verimlilik analizi (enerji akışları bazında materyal kullanımı ).....	109
5.6.3	Ekonomik optimizasyon .....	110
5.6.4	Çevre etkilerinin minimize edilmesi.....	110
5.7	Kaynakça .....	110

## **6 Biyogazın hazırlanma ve değerlendirme olanakları..... 112**

6.1	Gaz arındırma ve gaz hazırlama.....	112
6.1.1	Desülfürizasyon .....	112
6.1.2	Kurutma .....	116
6.1.3	Karbondioksit ayrışması .....	117
6.1.4	Oksijenin ayrılması .....	120
6.1.5	Diğer eser gazların ayrılması .....	120
6.1.6	Doğalgaz kalitesine dönüştürme.....	120
6.2	Güç-ısı kuplajıyla kullanım .....	121
6.2.1	İçten yanmalı motorlu kombine ısı ve güç santralleri.....	122
6.2.2	Stirling motorları.....	128
6.2.3	Mikrogaz türbinleri .....	129
6.2.4	Yakıt hücreleri .....	130
6.2.5	Elektrikle çalışan güç-ısı kuplajında atık ısı kullanımı.....	131
6.3	Gaz beslemesi.....	133
6.3.1	Doğalgaz şebekesine besleme .....	133
6.3.2	Mikrogaz şebekelerine besleme .....	134
6.4	Taşıtlar için yakıt .....	134
6.5	Biyogazın termik kullanımı .....	135
6.6	Kaynakça .....	135

## 7 Hukuki ve idari çerçeve koşulları ..... 138

7.1	Biyokütleden elektrik üretiminde teşvik .....	138
7.1.1	EEG'deki bonus sistemi.....	138
7.1.2	Piyasa Teşvik Programı ve Yenilenebilir Enerjiler Isı Yasası .....	138
7.2	Şebeke bağlantısı ve elektrik beslemesi.....	139
7.2.1	Şebeke bağlantısı .....	139
7.2.2	İkmal yönetimi.....	141
7.2.3	Elektrik ikmal ve doğrudan pazarlama .....	141
7.3	EEG Ödeneği.....	142
7.3.1	Ödeneğin belirlenme esasları .....	142
7.3.2	Tesis kavramı ve işletmeye alma – ödenek miktarının doğru belirlenmesi.....	143
7.3.3	Tek tek ödenek miktarı.....	146
7.4	Gazın hazırlanması ve ikmal .....	151
7.4.1	EEG ödeneği için önkoşullar .....	152
7.4.2	Tedarik noktasından BHKW'ye taşıma .....	152
7.4.3	Şebeke bağlantısı ve şebeke kullanımı için hukuki çerçeve koşulları .....	153
7.5	Isı faydalanımı ve sevkiyat .....	154
7.5.1	Hukuki çerçeve koşulları .....	154
7.5.2	Isı sevkiyatı.....	154
7.5.3	Isı şebekeleri.....	154
7.6	Sevk sözleşmelerinin şekillendirilmesi .....	155
7.6.1	Ham biyogaz sevkiyatı.....	155
7.6.2	Biyometan sevkiyatı.....	156
7.6.3	Isı sevkiyatı.....	156
7.6.4	Elektrik sevkiyatı.....	157
7.7	Biyogaz tesislerinin ruhsatlandırılması.....	157
7.7.1	Ruhsatlandırma usulü .....	158
7.7.2	Bir biyogaz tesisinin yasal talepleri .....	159
7.8	Diğer kaynak önerileri .....	163
7.9	Kaynak dizini .....	163

## 8 Ekonomi..... 165

8.1	Model tesislerin tanımlanması – Varsayımlar ve referans değerler .....	165
8.1.1	Tesis gücü.....	165
8.1.2	Materyaller .....	165
8.1.3	Biyolojik ve teknik tasarım .....	167
8.1.4	Teknik ve yöntem referans değerleri .....	169
8.1.5	Model tesislerin fonksiyonel birimleri için yatırımlar .....	169
8.2	Model tesislerin ekonomikliği.....	171
8.2.1	Gelirler .....	171
8.2.2	Giderler.....	172
8.2.3	Hizmet – gider hesabı.....	173
8.3	Hassasiyet analizi .....	175
8.4	Seçilen bazı ısı kullanım seçeneklerinin ekonomikliği .....	176
8.4.1	Isı kullanım yolu olarak kurutma .....	178
8.4.2	Isı kullanım yöntemi olarak sera ısıtması.....	180
8.4.3	Isı kullanım seçeneği olarak belediyeler bölgesel ısı şebekesi.....	181
8.5	Farklı ısı kullanım seçeneklerinin nitel tasnifi .....	181
8.6	Kaynakça.....	183

<b>9</b>	<b>İşletme organizasyonu.....</b>	<b>184</b>
9.1	Bir işletmenin yeniden yapılandırılması – Optimizasyon perspektifleri ve düşünceleri.....	186
9.1.1	Uygun bir tesis bölgesinin seçilmesi .....	186
9.1.2	Biyogaz tesisinin ekim nöbeti üzerindeki etkisi.....	186
9.1.3	Alan ve çalışma süresi ihtiyacı.....	187
9.1.4	Teknikte zaman faktörü .....	193
9.2	Biyogaz tesislerinin yapımına dair vergi ve hukuksal açıklamalar .....	194
9.2.1	Biyogaz tesislerinin vergilendirilmesi .....	194
9.2.2	Hukuki yapı seçimi ve vergi olarak etkileri .....	196
9.3	Kaynakça .....	199
<b>10</b>	<b>Fermantasyon artığının kalitesi ve değerlendirilmesi .....</b>	<b>200</b>
10.1	Fermantasyon artığının özellikleri.....	200
10.1.1	Özellikler, besin maddeleri ve değerli içerik maddeleri.....	200
10.1.2	Zararlı maddeler .....	201
10.1.3	Hijyenik özellikler.....	201
10.2	Fermantasyon artığının depolanması .....	203
10.2.1	Amonyak emisyonları.....	203
10.2.2	İklim ile ilgili emisyonlar .....	204
10.3	Fermantasyon artığının tarımsal alanlarda değerlendirilmesi.....	206
10.3.1	Azotun yararlanılabilirliği ve besin maddesi etkisi.....	206
10.3.2	Fermantasyon artığının tarlaya uygulanmasından sonra amonyak kayıplarının azaltılması için tedbirler.....	207
10.3.3	Fermantasyon artığı için uygun uygulama zamanları.....	208
10.3.4	Bir tesis örneği için besin maddesi etkisi ve humus üretimi .....	209
10.3.5	Fermantasyon artığının hukuken sınıflandırılması – şartlar ve sınırlar.....	212
10.4	Fermantasyon artığının hazırlanması .....	215
10.4.1	Hazırlama teknikleri.....	216
10.4.2	Hazırlanmış fermantasyon artıklarının değerlendirilmesi.....	218
10.4.3	Fermantasyon artığı hazırlama yöntemlerinin karşılaştırılması.....	220
10.5	Kaynakça .....	220
<b>11</b>	<b>Bir projenin uygulamaya konulması .....</b>	<b>222</b>
11.1	Fikir ve proje taslağı.....	222
11.2	Fizibilite analizi .....	223
11.2.1	Kullanılabilir materyal .....	225
11.2.2	Tesisin kurulacağı yerin belirlenmesi .....	225
11.2.3	Malzeme akım lojistiği .....	227
11.2.4	Kullanılacak teknolojinin seçilmesi.....	228
11.2.5	Gazın kullanılması .....	228
11.2.6	Değerlendirme ve karar verme.....	229
11.3	Halkla ilişkiler çalışmaları vasıtasıyla yatırım hazırlığı .....	229
11.4	Planlama adımları .....	230
11.4.1	Ruhsatlandırma planlaması .....	231
11.4.2	Uygulama planlaması .....	233
11.5	İnşaat planlaması ve tesis inşası.....	235
11.6	İnşaat hizmetlerinin teslim alınması .....	236

11.7	Tesisin çalıştırılması .....	236
11.8	Gerekli sözleşmeler .....	237
11.8.1	Biyokütle tedarik sözleşmesi .....	237
11.9	Kaynakça.....	238

## **12 Yenilenebilir enerji kaynağı olarak Almanya'da biyogazın konumu ve önemi ..... 239**

12.1	Biyokütleden enerji kazanımı seçeneği olarak biyogaz üretimi .....	239
12.2	Biyogaz kazanımı ve faydalanımının ekolojik açıdan sınıflandırılması ve sürdürülebilirliği .....	239
12.3	Almanya'da biyogaz kazanımı ve faydalanımının durumu .....	242
12.3.1	Tesis varlıkları ve tesis gücü.....	242
12.3.2	Biyogaz uygulamaları ve yönelimler .....	242
12.3.3	Kullanılan materyaller.....	244
12.4	Potansiyeller .....	245
12.4.1	Teknik birincil enerji potansiyeli .....	245
12.4.2	Teknik nihai enerji potansiyeli .....	247
12.5	Geleceğe bakış.....	247
12.6	Kaynakça.....	248

## **13 Örnek projeler ..... 249**

13.1	Tesis örneği 1 (maks. 200 kW <sub>el</sub> ).....	250
13.2	Tesis örneği 2 (500 kW <sub>el</sub> ) .....	251
13.3	Tesis örneği 3 (maks. 1000 kW <sub>el</sub> ).....	252
13.4	Katı madde fermantasyonu ile ilgili tesis örneği (Konteynır yöntemi).....	253
	Sözlük .....	254
	Kısaltma dizini .....	257



# Şekiller Dizini

Şekil 2.1:	Anaerobik bozunmanın şematik tanımı.....	21
Şekil 2.2:	Farklı materyal konsantrasyonlarında yükleme oranı ile hidrolik bekleme süresi arasındaki ilişki... 27	
Şekil 3.1:	Akış yöntemi şeması .....	33
Şekil 3.2:	Depolamalı-akışlı yöntem .....	34
Şekil 3.3:	Biyogaz üretiminde genel uygulama süreci, [3.3]'e göre.....	35
Şekil 3.4:	Komateryal [ATB] kullanan bir tarımsal biyogaz tesisi şeması.....	36
Şekil 3.5:	Bir boru hattında ağır materyal tutucu .....	37
Şekil 3.6:	Parçalama tertibatlı bir yükleme düzeneği .....	38
Şekil 3.7:	Katı materyallerin parçalanması için çekiçli ve silindirik değirmenler .....	39
Şekil 3.8:	Besleme hattında materyal parçalama (delikli diskli parçalayıcı) .....	40
Şekil 3.9:	Parçalama ve taşıma düzeneği kombinasyonu olarak rotorda kesici kenarları bulunan dalgıç pompa .....	42
Şekil 3.10:	Soğutmalı hijyenleştirme .....	42
Şekil 3.11:	Bir biyogaz tesisinde pompalar .....	43
Şekil 3.12:	Eksantrik helezonlu pompa .....	44
Şekil 3.13:	Döner pistonlu pompa (sol), döner pistonlu pompa çalışma prensibi (sağ) .....	45
Şekil 3.14:	Materyal temini esnasında ön depo veya materyal kabul deposu .....	46
Şekil 3.15:	Dolaylı katı materyal yüklemesi (Şema) .....	47
Şekil 3.16:	Doğrudan katı materyal yüklemesi (Şema) .....	47
Şekil 3.17:	Entegre döner pistonlu pompa (sol) ve eksantrik helezonlu pompa (sağ) bulunan besleme hunili pompa .....	47
Şekil 3.18:	İstiflenebilir biyokütlenin aktarma pistonuyla yüklenmesi .....	48
Şekil 3.19:	İstiflenebilir biyokütlenin besleme helezonlarıyla yüklenmesi .....	49
Şekil 3.20:	Bir pompa istasyonunda boru hatları ve armatürler, kapatma sürgüleri .....	51
Şekil 3.21:	Boru hatlı ve basınç koruyuculu iki tank arasında çalışma alanı (solda); kompresör fanlı gaz hattı (sağda).....	52
Şekil 3.22:	Tam karışimli fermentör, uzun akslı karıştırıcı ve diğer yapılarla birlikte .....	53
Şekil 3.23:	Tapa akışlı reaktör (Yaş fermantasyon).....	54
Şekil 3.24:	Tapa akışlı reaktör (Katı madde fermantasyonu) .....	54
Şekil 3.25:	Tapa akışlı fermentör; uygulama örnekleri, silindirik (solda), dikdörtgen, üstünde gaz deposu mevcut (sağda).....	54
Şekil 3.26:	Kutu fermentör (konteynır tip) örneği; fermentör bataryası ve fermentör kapısı .....	55
Şekil 3.27:	Çift bölmeli fermentör .....	55
Şekil 3.28:	Katı madde fermantasyonunda özel yapı biçimlerine örnekler (solda), karışimli kutu (konteynır) fermentör (ortada), kuru-yaş fermantasyon yönteminin metan basamağı ve harici gaz deposu (sağda) .....	56
Şekil 3.29:	Bir beton fermentörün yapımı .....	57
Şekil 3.30:	Yapım aşamasındaki paslanmaz çelik fermentör .....	58

Şekil 3.31:	Pervaneli DMK (solda), kılavuz borusu sistemi (ortada), büyük kanatlı DMK (sağda).....	60
Şekil 3.32:	Fermentör tabanında yatağı olan ve olmayan, iki karıştırma takımlı uzun akslı karıştırıcılar .....	61
Şekil 3.33:	Eksenel karıştırıcılar .....	62
Şekil 3.34:	Kanatlı karıştırıcı .....	62
Şekil 3.35:	Helezonlu seperatör .....	64
Şekil 3.36:	Düşük arıza riskli gaz tahliye düzenekleri; yukarı doğru açılan gaz borusu girişi (solda materyal girişi) .....	64
Şekil 3.37:	Fermentöre döşenmiş paslanmaz çelik ısıtıcı borular (iç tarafta) (solda); fermentör duvarına ısıtıcı hortumların montajı (sağda) .....	67
Şekil 3.38:	Folyo depo .....	70
Şekil 3.39:	Bir hava destekli çatının alt konstrüksiyonu (solda); Hava destekli tavanı olan biyogaz tesisi .....	70
Şekil 3.40:	Bağımsız çift membranlı depo örneği.....	71
Şekil 3.41:	Bir biyogaz tesisinin acil gaz yakma bacası .....	71
Şekil 5.1:	NH <sub>3</sub> tarafından asetik asitten metan oluşumunun engellenmesi .....	89
Şekil 5.2:	Tesis gözetim şeması .....	94
Şekil 5.3:	Başlatma sırasında besleme rejimi.....	98
Şekil 5.4:	Başlatma aşaması fermentör 1 .....	99
Şekil 5.5:	Başlatma aşaması fermentör 2 .....	100
Şekil 5.6:	Başlatma aşaması fermentör 3 .....	100
Şekil 5.7:	Mikro elementler eksikliği altında başlatma aşaması fermentör 1.....	101
Şekil 5.8:	Optimizasyon olanakları .....	109
Şekil 6.1:	Fermentörün gaz bölmesine hava üflenmesi için gaz düzenlemesi.....	114
Şekil 6.2:	Harici biyolojik desülfürizasyon sütunları, sağda bir gaz deposunun yanında .....	115
Şekil 6.3:	Biyogaz hazırlama tesisi (genosorb yıkama), Ronnenberg .....	119
Şekil 6.4:	Bir kojenerasyon santralinin yapısı .....	121
Şekil 6.5:	Biyogaz kojenerasyon santrali, gaz yakma bacalı kompakt yapım tarzında komple modül.....	121
Şekil 6.6:	Biyogaz kojenerasyon santralinin elektriksel verimi.....	124
Şekil 6.7:	Isı dağıtıcısı .....	125
Şekil 6.8:	Gaz kontrol hatlı BHKW .....	126
Şekil 6.9:	Bir binanın ya da konteynır içindeki BHKW .....	128
Şekil 6.10:	Bir stirling motorunun çalışma tarzı .....	129
Şekil 6.11:	Bir mikrogaz türbininin yapısı .....	129
Şekil 6.12:	Bir yakıt hücresi çalışma prensibi .....	130
Şekil 6.13:	Bir absorpsiyon soğutma makinesinin çalışma şeması .....	132
Şekil 6.14:	Bir biyogaz tesisinde absorpsiyon soğutma makinesi örneği .....	132
Şekil 8.1:	KWK prosesli biyogaz tesislerinde atık ısı faydalanım yolları .....	177
Şekil 9.1:	Biyogaz üretimi alanında bir çiftçinin sahip olduğu olasılıklar .....	184
Şekil 9.2:	Tesis yeri seçimine etki eden büyüklükler (KWK: Güç-Isı Kuplajı).....	187
Şekil 9.3:	Biyogaz üretimine entegrasyon esnasında çeşitli işletme dallarının özgül çalışma süresi ihtiyaçlarının sınıflandırılması .....	189
Şekil 9.4:	Tesis işletimi için çalışma süresi ihtiyacı .....	190
Şekil 9.5:	İşletmenin işletme ve bakımı için çalışma süresi ihtiyacı .....	191
Şekil 9.6:	Model tesis III için gerekli olan çalışma süresi ihtiyacı.....	193

Şekil 10.1:	20-22 °C'de kalan nispi gaz potansiyeli ile hidrolik bekleme süresi arasındaki ilişki .....	204
Şekil 10.3:	Hareketli pabuçlu sıvı gübre dağıtıcısı .....	208
Şekil 10.4:	Yarıklı dağıtıcı .....	208
Şekil 10.2:	Hareketli hortumlu sıvı gübre dağıtıcısı .....	208
Şekil 10.5:	Sıvı gübre pulluğu .....	208
Şekil 10.6:	Fermantasyon artıklarının tarlaya uygulanması için zaman aralıkları .....	209
Şekil 10.7:	Hazırlama usüllerinin yöntem prensiplerine göre sınıflandırılması .....	216
Şekil 11.1:	Biyogaz üretimi ve kullanımına yönelik bir projenin gerçekleştirilme aşamaları .....	222
Şekil 11.2:	Biyogaz tesisi projesine ilişkin toplam sistem .....	223
Şekil 11.3:	Biyogaz tesislerine yönelik fizibilite analizinin ölçütleri .....	224
Şekil 11.4:	Tesisin kurulacağı yerin seçimine yönelik ölçütler .....	225
Şekil 12.1:	Biyokütlenin nihai enerji / kullanım enerjisi için hazırlanmasında faydalanım imkânları .....	240
Şekil 12.2:	Model biyogaz tesislerinden sera gazı emisyonları (kg CO <sub>2</sub> -Äq./kWh <sub>el</sub> ) Alman elektrik enerjisi üretim kaynaklarına kıyasla .....	241
Şekil 12.3:	Güç sınıflarına ve kurulu elektrik tesis güçlerine (MW <sub>el</sub> ) göre 2009 yılında Almanya'da biyogaz tesislerinin gelişimi .....	243
Şekil 12.4:	Eyaletlerdeki tarım alanlarına oranla kurulu elektrik gücü [kW <sub>el</sub> /1000 haLF] .....	244
Şekil 12.5:	Biyogaz tesislerinde kütleyle bağlı olarak materyal kullanımı (2009 İşletme anketi) .....	245
Şekil 12.6:	Biyogaz tesislerinde kütleyle bağlı olarak yenilenebilir hammadde kullanımı (2009 işletme anketi) .....	245
Şekil 12.7:	Almanya'da biyogaz üretimi için teknik birincil enerji potansiyeli (2007 ve 2020 yılları için) .....	246

# Tablo dizini

Tablo 2.1:	Çeşitli kaynaklarda uygun mikro element konsantrasyonları.....	24
Tablo 2.2:	Anaerobik bozunma proseslerinde zararlı maddeler ve zararlı konsantrasyonları .....	26
Tablo 2.3:	İlgili madde gruplarının özgül biyogaz üretimi ve metan miktarı .....	29
Tablo 2.4:	Ot silajı parametreleri .....	29
Tablo 2.5:	Ot silajından biyogaz ve metan verimi .....	29
Tablo 2.6:	([2-1])'e göre biyogazın ortalama bileşimi.....	30
Tablo 3.1:	Biyogaz üretim yöntemlerinin farklı kriterlere göre sınıflandırılması .....	32
Tablo 3.2:	Fermantasyondan önce materyallerin depolanması.....	36
Tablo 3.3:	Kombine alım ve dozajlama ünitelerinde harici parçalama düzeneklerinin referans değerleri ve uygulama parametreleri .....	38
Tablo 3.4:	Harici parçalama düzeneklerinin referans değerleri ve uygulama parametreleri.....	38
Tablo 3.5:	Ön depoda bulunan parçalayıcı karıştırma düzeneklerinin referans değerleri ve uygulama parametreleri .....	39
Tablo 3.6:	Ön depoda bulunan parçalayıcı karıştırma düzeneklerinin referans değerleri ve uygulama parametreleri .....	39
Tablo 3.7:	Taşıma tekniğiyle kombine edilmiş parçalama düzeneklerinin referans değerleri ve uygulama parametreleri .....	40
Tablo 3.8:	Hijyenleştirme tanklarının referans değerleri ve uygulama parametreleri .....	41
Tablo 3.9:	Dairesel pompaların referans değerleri ve uygulama parametreleri .....	44
Tablo 3.10:	Eksantrik helezonlu pompaların referans değerleri ve uygulama parametreleri.....	44
Tablo 3.11:	Eksantrik helezonlu pompaların referans değerleri ve uygulama parametreleri.....	45
Tablo 3.12:	Ön depoların referans değerleri ve uygulama parametreleri .....	46
Tablo 3.13:	Sıvı akışına katı materyal yüklemesi için besleme hunili pompanın özellikleri .....	48
Tablo 3.14:	Yükleme pistonlarının referans değerleri ve uygulama parametreleri .....	49
Tablo 3.15:	Yükleme helezonlarının referans değerleri ve uygulama parametreleri.....	50
Tablo 3.16:	Sıvı hatları için armatürlerin ve boru hatlarının referans değerleri .....	51
Tablo 3.17:	Gaz hatları için armatürlerin ve boru hatlarının referans değerleri.....	51
Tablo 3.18:	Tam karışimli biyogaz reaktörlerinin özellikleri; [3-1] ve [3-3] uyarınca .....	52
Tablo 3.19:	Tapa akışlı biyogaz reaktörlerinin özellikleri; [3-1] ve [3-3] uyarınca.....	53
Tablo 3.20:	Biyogaz tesislerindeki tanklarda kullanılacak betonun referans değerleri ve uygulama parametreleri .....	58
Tablo 3.21:	Biyogaz tesislerindeki tanklarda kullanılan çeliğin referans değerleri ve uygulama parametreleri ....	58
Tablo 3.22:	Dalgıç motorlu kanatlı karıştırıcıların referans değerleri ve uygulama parametreleri .....	59
Tablo 3.23:	Uzun akslı karıştırıcıların referans değerleri ve uygulama parametreleri .....	60
Tablo 3.24:	Biyogaz tesisleri için eksenel karıştırıcıların referans değerleri ve uygulama parametreleri.....	61
Tablo 3.25:	Dikey ve yatay fermentörlerde kullanılan kanatlı/çarklı karıştırıcıların referans değerleri ve uygulama parametreleri .....	62
Tablo 3.26:	Fermentörün pnömatik olarak karıştırılmasının referans değerleri ve uygulama parametreleri .....	63

Tablo 3.27:	Fermentörün hidrolik olarak karıştırılmasının referans değerleri ve uygulama parametreleri.....	63
Tablo 3.28:	Çökelti çıkartma sistemleri teknikleri.....	65
Tablo 3.29:	Helezonlu ayırıcı teknolojisi.....	65
Tablo 3.30:	Yalıtım maddelerinin referans değerleri.....	66
Tablo 3.31:	Yalıtım maddeleri referans değerleri - örnekleri.....	66
Tablo 3.32:	Entegre ısıtıcıların referans değerleri ve uygulama parametreleri.....	67
Tablo 3.33:	Isı değiştiricilerinin referans değerleri ve uygulama parametreleri.....	68
Tablo 3.34:	Folyo örtü malzemelerinin referans değerleri ve uygulama parametreleri.....	68
Tablo 3.35:	Harici biyogaz depolarının referans değerleri ve uygulama parametreleri.....	69
Tablo 3.36:	Acil gaz yakma bacasının referans değerleri ve uygulama parametreleri.....	70
Tablo 4.1:	Çiftlik gübresinin besin maddesi değerleri.....	73
Tablo 4.2:	Çiftlik gübresinin gaz verimi ve metan randımanı.....	74
Tablo 4.3:	Seçilmiş yenilenebilir hammaddelerin madde verileri.....	76
Tablo 4.4:	Seçilmiş yenilenebilir hammaddelerin biyogaz verimleri.....	76
Tablo 4.5:	EEG 2009'un pozitif listesi uyarınca salt bitkisel yan ürünlerden standart biyogaz üretimleri.....	78
Tablo 4.6:	Seçilmiş salt bitkisel yan ürünlerin madde verileri.....	79
Tablo 4.7:	Tarım endüstrisinden seçilmiş materyallerin biyogaz verimlilikleri.....	80
Tablo 4.8:	Budama artıklarının madde özellikleri.....	81
Tablo 4.9:	Materyal özelliklerine genel bakış.....	82
Tablo 5.1:	İzin verilen maksimum asit konsantrasyonları için sınır değerleri.....	87
Tablo 5.2:	Mikro elementlerle ilgili referans değerler.....	88
Tablo 5.3:	Amonyakın engelleme konsantrasyonları ile ilgili literatür bilgileri.....	90
Tablo 5.4:	Ölçme büyüklükleri ve bunların kullanılabilirliği.....	91
Tablo 5.5:	Kontrol metotları.....	95
Tablo 5.6:	Biyolojik prosesin denetlenmesi ile ilgili olarak biyogaz tesisleri için ölçme programı (normal işletme).....	96
Tablo 5.7:	Gazların özellikleri.....	105
Tablo 5.8:	Biyogaz bileşenlerinin özellikleri.....	105
Tablo 5.9:	Hidrojen sülfürün toksik etkisi.....	106
Tablo 6.1:	Desülfürizasyon işlemi sürecine genel bakış.....	113
Tablo 6.2:	Fermentördeki biyolojik desülfürizasyonun referans değerleri ve uygulama parametreleri.....	113
Tablo 6.3:	Harici biyolojik desülfürizasyon sistemlerinin referans değerleri ve uygulama parametreleri.....	114
Tablo 6.4:	Harici biyokimyasal gaz yıkayıcılarının referans değerleri ve uygulama parametreleri.....	115
Tablo 6.5:	Dahili kimyasal desülfürizasyonda referans değerler.....	116
Tablo 6.6:	Aktif karbon ile desülfürizasyonda referans değerler.....	117
Tablo 6.7:	Metan zenginleştirme yöntemlerinin karşılaştırılması.....	118
Tablo 6.8:	Gazlı benzinli motorların referans değerleri ve uygulama parametreleri.....	122
Tablo 6.9:	Çift yakıtlı motorların referans değerleri ve uygulama parametreleri.....	123
Tablo 6.10:	BImSchV no. 1.4 (1.1 ve 1.2 dahil) 4.'e [6-16] göre içten yanmalı motorlar için TA hava emisyon sınır değerleri.....	123
Tablo 7.1:	2011 yılında işletmeye alınmış biyogaz tesisleri için ödenek oranları.....	143
Tablo 7.2:	EEG'nin pozitif listesi uyarınca salt bitkisel yan ürünlerden standart biyogaz kazanımları (seçenek).....	147

Tablo 8.1:	Model tesislerin özellikleri ve genel bakış .....	166
Tablo 8.2:	Materyal referans verileri ve fiyatları .....	166
Tablo 8.3:	Model tesislerde kullanılan materyaller .....	167
Tablo 8.4:	Model tesislerin teknik ve yöntem dair referans verileri ve tasarım büyüklükleri.....	168
Tablo 8.5:	Model tesislerde kullanılan teknik .....	168
Tablo 8.6:	I ila V arası model tesisleri teknik ve yöntem tekniği referans değerleri .....	169
Tablo 8.7:	VI ila IX arası model tesisleri için teknik ve yöntem tekniği referans değerleri.....	170
Tablo 8.8:	Model tesis X için teknik ve yöntem tekniği referans değerleri.....	170
Tablo 8.9:	I ila V arası model tesislerin fonksiyonel birimleri için yatırımlar .....	171
Tablo 8.10:	VI ila X arası model tesislerin fonksiyonel birimleri için yatırımlar .....	171
Tablo 8.11:	2011 yılında işletmeye girecek model tesisler için satış talebi.....	173
Tablo 8.12:	Model tesisleri I-V için hizmet-gider hesabı .....	174
Tablo 8.13:	Model tesisleri VI-IX için hizmet-gider hesabı .....	175
Tablo 8.14:	Model tesisi X için hizmet-gider hesabı.....	176
Tablo 8.15:	Model tesisler I-V için hassasiyet analizi.....	177
Tablo 8.16:	Model tesisleri VI ila IX için hassasiyet analizi.....	177
Tablo 8.17:	Biyogaz veya fuel oil ile tahıl kurutmanın iş -gider hesabı .....	178
Tablo 8.18:	Biyogaz BHKW atık ısı ile tahıl kurutma işleminde iş-gider hesabı, KWK bonusu ([8-9], [8-8]'e göre değiştirilmiş) dikkate alınmadan .....	179
Tablo 8.19:	Biyogaz BHKW atık ısı ile tahıl kurutma işleminde iş-gider hesabı, KWK bonusu ([8-9], [8-8]'e göre değiştirilmiş) dikkate alınarak .....	179
Tablo 8.20:	Biyogaz BHKW atık ısı ile tahıl kurutma işleminde fuel oil tasarrufu .....	180
Tablo 8.21:	Seraların yıllık enerji ihtiyacı ve 500 kW <sub>el</sub> gücünde biyogaz tesisinin atık ısı potansiyelinin farklı kültürler ve sera büyüklüklerinde kullanımı.....	181
Tablo 8.22:	“Soğuk” kültür yetiştiriciliğinde iki sera büyüklüğü örneğinde fuel oil ve biyogaz BHKW atık ısı ile ısı üretiminde gider karşılaştırması.....	182
Tablo 8.23:	Temel yükü biyogaz kullanan BHKW atık ısı ve ağaç talaşı peleti yakılmasıyla karşılanan belediyeye ait bölgesel ısıtma şebekesi için ısı üretiminde varsayımlar ve temel veriler .....	182
Tablo 8.24:	Belediyeye ait bölgesel ısıtma şebekesi için biyogaz BHKW atık ısı satış fiyatına bağlı olarak ısı tedarik giderleri ve yatırım ihtiyacı .....	182
Tablo 8.25:	Çeşitli ısı kullanım seçeneklerinin nitel tasnifi .....	183
Tablo 9.1:	Materyal planlaması için dikkate alınması gereken çerçeve koşulları.....	185
Tablo 9.2:	Çeşitli faaliyet alanlarının alan, sermaye ve çalışma süresi ihtiyacı.....	188
Tablo 9.3:	Mısır silajı üretiminde çalışma süreçleri ve çalışma süresi ihtiyacı.....	189
Tablo 9.4:	Tahıl üretiminde çalışma süreçleri ve çalışma süresi ihtiyacı .....	189
Tablo 9.5:	Biyogaz tesislerinin işletilmesinde çalışma süresi ihtiyacı .....	190
Tablo 9.6:	Farklı yükleme sistemlerinin kullanılmasında gereken yükleme süreleri .....	192
Tablo 9.7:	Model tesis III için materyal hazırlanması ve yükleme için çalışma süresi ihtiyacı/yıl hesaplanması .....	192
Tablo 9.8:	Biyogazdan elektrik üreten bir işletmenin vergi durumu .....	194
Tablo 9.9:	En önemli hukuki yapıların genel formu .....	198
Tablo 10.1:	Fermantasyon artıklarının ve çiftlik gübrelerinin karşılaştırmalı referans değerleri ve özellikleri ....	201
Tablo 10.2:	Fermantasyon artıklarının ve çiftlik gübrelerinin karşılaştırmalı ağır metal oranları.....	202
Tablo 10.3:	Sıvı gübrede ve organik atıklarda infeksiyöz ajanlar .....	202
Tablo 10.4:	Salmonellanın biyogaz tesisi materyallerinde ve fermantasyon artıklarında ortaya çıkması.....	202
Tablo 10.5:	Amonyak emisyonlarını azaltmak için fermantasyon artığı depolarında kullanılan kaplamalar .....	203
Tablo 10.6:	Tarımsal biyogaz tesislerinin fermantasyon artıklarının, yüklenen materyal miktarı başına elde edilen metan verimi bakımından kalan gaz potansiyeli; Biyogaz ölçme programı II çerçevesinde test edilen uygulama tesislerinden 64'ünün ortalama değerleri yanı sıra asgari ve azami değerleri .....	205

Tablo 10.7:	Fermantasyon artığı deposunun bir gaz geçirmez ardıl donatımının kayıp eşikleri: Ardıl donatımın farklı yatırım masrafları durumunda en azından masrafların karşılandığı, kurulu asgari elektrik gücü .....	206
Tablo 10.8:	Çiftlik gübrelerinin 48 saat içinde farklı sıcaklıklarda işlenmeden geniş dağıtıcı ile tarlaya uygulanmasından sonra kümülatif amonyak kayıpları .....	207
Tablo 10.9:	Sıvı fermantasyon artıklarının tarlaya uygulanmasından sonra amonyak kayıplarının azaltılması..	209
Tablo 10.10:	Besin maddesi bilançolarının hesaplanması için tahminler .....	210
Tablo 10.11:	İlgili model tesislerin fermantasyon artığı tiplerinin hesaplanan özellikleri.....	210
Tablo 10.12:	Fermantasyon artığı miktarı (model tesisler I / II) 30 m <sup>3</sup> /ha · yıl norm uygulanması durumunda mısır örneğinde besin maddesi bilançosu (ekimden önce hemen işlemeyle birlikte uygulama).....	211
Tablo 10.13:	Farklı uygulama tekniklerinde 4 aşamalı ekim nöbetinin ortalama yıllık besin maddesi bilançoları (yılda 174 kg/ha N, 114 kg/ha P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ve 188 kg/ha K <sub>2</sub> O ekim nöbetinin ortalama gübre ihtiyacı).....	211
Tablo 10.14:	Humus bakiyelerinin VDLUFA 2004'e göre değerlendirilmesi .....	212
Tablo 10.15:	4 yıllık 64 m <sup>3</sup> /ha fermentasyon artığı uygulama normunda (model tesisler I/II) ekim nöbetinin humus bilançosu .....	212
Tablo 10.16:	Gübreler ve doğal yardımcı maddeler için zararlı madde sınır değerleri .....	213
Tablo 10.17:	Çeşitli hukuki kriterlerin hijyen mevzuatları .....	214
Tablo 10.18:	Hazırlama yöntemleri için örnek olarak hesaplanmış, bölümlerin besin maddesi içerikleri .....	219
Tablo 10.19:	Fermantasyon artığı hazırlamasının karşılaştırmalı değerlendirmesi.....	219
1. Adım:	Proje taslağının hazırlanması.....	223
2. Adım:	Fizibilite analizinin geliştirilmesi .....	224
3. Adım:	Kullanılabilir materyal .....	225
4. Adım:	Tesisin kurulacağı yerin belirlenmesi.....	226
5. Adım:	Malzeme akışı lojistiği.....	227
6. Adım:	Kullanılacak teknolojinin seçilmesi.....	228
7. Adım:	Gazın kullanılması.....	228
8. Adım:	Değerlendirme ve karar verme.....	229
9. Adım:	Yatırım hazırlığı ve finansman seçenekleri .....	230
10. Adım:	Ruhsatlandırma aşamasının hazırlıkları .....	231
11. Adım:	Ruhsatlandırma süreçlerinin İmar Hukuku/BİmSchG'ye göre sınıflandırılması .....	231
12. Adım:	Ruhsatlandırma için gerekli belgelerin hazırlanması .....	232
13. Adım:	Uygulama planlaması .....	234
14. Adım:	İnşaat planlaması ve tesis inşası .....	235
15. Adım:	İnşaat hizmetlerinin teslim alınması.....	236
16. Adım:	Tesisin çalıştırılması .....	236
Tablo 11.1:	Biyokütle tedarik sözleşmesinin hususları .....	237
Tablo 12.1:	Almanya'da 2009 yılında faaliyette bulunan biyogaz tesislerinin bölgelere göre dağılımı ve kurulu elektrik güçleri (2010 yılında eyalet kurumlarında yapılan anket).....	243

# Önsöz

# 0

Gün geçtikçe artan nüfusun hayvansal kaynaklı protein gereksinimini karşılayabilmek amacıyla, hayvancılığın yoğun bir şekilde yapılması zorunlu hale gelmiştir.

Ancak, hızla gelişmekte olan hayvancılık işletmelerindeki modernleşme ve yoğun işletmecilik, bir takım sorunları da beraberinde getirmiştir. Aynı zamanda önemli bir ekonomik potansiyel olan atıklar hayvan sayısı ile birlikte çevre için büyük sorun olmaktadır. Gerekli önlemler alınmadığı takdirde, hayvancılık işletmelerinde ortaya çıkan atıklar ve atık sular, potansiyel bir kirletici olarak karşımıza çıkmaktadır.

Hayvancılık faaliyetlerinden kaynaklanan gübrelerin ve diğer organik atıkların biyogaz tesislerinde işlenmesi sonucu söz konusu atıkların toprağa ve yüzeysel sulara olan olumsuz etkilerinin giderilmesi, elde edilen biyogazın yakılması ile elektrik ve ısı enerjisi üretilmesi, fosil yakıtların ikamesi yoluyla iklimin korunmasını ve biyogaz tesisinden çıkan maddenin tarım uygulamalarında kullanılması bütüncül bir atık yönetim yaklaşımı olarak değerlendirilmektedir.

Atıl yatırımların önlenmesi için bir biyogaz tesisi kurulmadan önce detaylı bir araştırma yapılmalıdır ve yürütülecek fizibilite çalışması ile yatırımın ekonomik olup olmadığına karar verilmelidir.

Bu kapsamda T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı olarak Federal Alman Çevre, Doğa Koruma, İnşaat ve Nükleer Güvenlik Bakanlığı ile ortak yürüttüğümüz Türk-Alman Biyogaz Projesi'nin bir çıktısı olan bu kılavuzun tüm paydaşlara faydalı olmasını temenni ederiz.

T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı  
Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü



# Kılavuzun Amaçları



Biyogaz üretiminin ve kullanımının yaygınlaşması, geçtiğimiz yıllar boyunca çok güçlü bir gelişim göstermiştir. Ağırlıklı olarak Almanya’da tarımsal alanda kurulan veya işletilen mevcut biyogaz tesislerinin sayısı 5.500’ün üzerine çıkarken, kullanılan teknolojiler belirgin bir şekilde değişmiş ve geliştirilmiştir. Bu zengin tecrübe birikimine rağmen Almanya’da hâlâ mevcut olan bilgi ihtiyacına eşlik eden yeni teknolojilere duyulan ilgi çok büyüktür. Bundan ötürü bu kılavuzun tarımsal biyogaz üretimi ve kullanımı alanında teknik, organizasyonel, hukuksal ve ekonomik sorulara ayrıntılı ve uygulama odaklı cevaplar bulunmasına katkı sağlaması düşünülmüştür.

Bu kılavuz, 2004 yılından bu yana Yenilenebilir Hammaddeler İhtisas Ajansı (FNR) tarafından yayınlanan “Biyogaz Üretimi ve Kullanımı El Kitapçığı”nın gözden geçirilmiş bir devamıdır. FNR’nin biyoenerji alanında uzmanlık yayınlarında yaşanan köklü yönetim değişikliğinden sonra bu el kitapçığının ismi “Biyogaz Kılavuzu – Üretimden Kullanıma” olarak değiştirilmiştir.

Kılavuzun bu versiyonu (2010), el kitapçığının gözden geçirilmiş 3. baskısından ve değiştirilmemiş 4. baskısından (2006/2009) sonra bütünüyle gözden geçirilmiş, güncellenmiş, kısmen güçlü bir şekilde ayrıntılandırılmış ve yeniden yapılandırılmıştır. Özellikle teknik gelişim, güvenlik talepleri ve çevre korumasının çeşitli konuları geniş ölçüde dikkate alınmıştır. Biyogazın güç-ısı santrali tesislerinde elektrik ve ısı elde edilmesinde giderek daha fazla desteklenen kullanımı dikkate alınarak, biyogaz hazırlanmasının ve gaz şebekesi beslemesinin özel talepleri ve imtiyazları, ayrıca yeniden düzenlenmiş Yenilenebilir Enerji Yasası’nın (EEG) ve Gaz Şebekesi Girişi Yönetmeliği’nin hükümleri ilan edilmiştir. Yapı ve emisyon korunması hukukunun izne bağlı kurallarıyla, özellikle üretimde kullanılan hammaddeler bakımından dikkate alınması gereken ulusal ve uluslararası yönergeler, bu açıklamaları tamamlamaktadır.

Dolayısıyla FNR bu şekilde okuyucuya içinde seçkin yazarlar tarafından biyogaz teknolojisine, yatırımların hazırlanmasına ve tesis işletimine kadar uzanan bilgiler verdiği değerli bir el kitapçığı sunmuş olmaktadır.

FNR’nin biyogaz konusuyla ilgili verdiği diğer bilgiler ve yayınlar, [www.biogasportal.info](http://www.biogasportal.info) adresinden temin edilebilir.

## 1.1 Görev tanımı

Biyogazdan enerji üretiminin sürekli artması esas olarak (özellikle Yenilenebilir Enerji Yasası’da yenilenebilir kaynaklardan elde edilen elektrik için belirlenen fiyat oranlarında) idari çerçevenin oluşturulmasına bağlıdır. Kalıcı bir şekilde artan güçlü talep nedeniyle dikkate değer sayıda biyogaz üreticisi ve tesis bileşenleri satıcısı pazara yerleşmiştir. Bu bakımdan Almanya biyogaz tesislerinin kurulması ve planlanması bakımından dünyanın lider ülkesi olmuştur. Ancak bu geniş kapsamlı tecrübe birikimine rağmen, cevap bulunması Biyogaz Kılavuzu’nun görevi olarak amaçlanan dört önemli soru varlığını sürdürmeye devam etmektedir:

- Biyogaz üretiminin gelecekte de artacağı eğiliminin açıkça görülüyor olmasına karşın, tarım sektöründe olduğu gibi, yatırımcılar ve müstakbel işletmecilerde de olması gereken bilgi genellikle mevcut değildir. Bundan ötürü mümkün olduğu kadar fazla sayıda biyogaz projesinin başarıya ulaşması için tarımdan enerjiye kadar birbirine bağlı bütün hukuksal, ekolojik, idari organizasyonel ve lojistik konuların bu kesimlere aktarılması gerekir.
- Pazarın gelişimi artık yönetilmesi pek de mümkün olmayan sayıda teknik çözüm çeşitleri ve münferit çözümler ortaya koymuştur. Bu kılavuz bugün hangi teknolojilerin pazarda kullanılabilir ve geleceğe yönelik olduğunu firma çıkarlarından bağım-

sız ve bilimsel temellere dayanmış bir şekilde ortaya koymaktadır.

- Materyallerin seçiminde hâlâ bilgisizlikten ötürü temel biyoteknolojik kurallar ihlal edilmektedir. Bu yüzden hem fikirleri ortaya koyma aşamasında, hem de işletme aşamasında, tesislerin mükemmellikten çok uzak işletilmesini engelleyecek bilginin hazır edilmesi gerekmektedir.
- Yakın geçmişte ciddi şekilde değiştirilmiş olan hukuki çerçeve nedeniyle, biyogaz tesislerine izin verilmesi konularında büyük tereddütler söz konusudur. Bir biyogaz projesinin gerçekleştirilmesi esnasında hangi adımların atılacağı, eyaletlerdeki son derece farklı uygulamaların da dikkate alınması suretiyle açıklığa kavuşturulması gerekmektedir.

Biyogazdan yenilenebilir enerji üretimi ideal olarak iyileştirilmiş bir madde akım yönetimi ile kombine edilebilir. Bu nedenle bir biyogaz tesisi için yatırımın yapılması genelde faydalıdır. Bu konuda kalıcı bir karar verilebilmesi için, yatırımcıların kendi tasavvurları ile biyogaz teknolojisinin teknik ve ekonomik imkânları metodik olarak doğru bir şekilde kıyaslanmalıdır. Biyogaz Kılavuzu bundan ötürü barındırdığı bilgilerle sektörün şüphesiz hâlâ sahip olduğu enerji üretimi ve ekonomi potansiyelini sonuna dek kullanmaya katkıda bulunacaktır.

## 1.2 Çözüm önerisi

Bu kılavuzun amacı mevcut bilgi boşluklarını kapamak, potansiyel tesis işleticilerini ve diğer kişileri bir biyogaz projesinin planlama aşamasından uygulama aşamasına kadar desteklemektir.

Bu kılavuz okuyucusunu çevresindeki koşullar hakkında düşünmeye, faaliyet gösterdiği alanda biyogazdan enerji üretimine katkıda bulunup bulunamayacağı, şayet bulunabilecekse bunu ne şekilde yapacağı konusunu araştırmaya **MOTİVE ETMELİDİR**

Kılavuz aynı zamanda **BİLGİLENDİRMELİDİR**. Potansiyel işletmeciler ve biyogazdan enerji üretimi konusuyla ilgilenen diğer kişiler, bu kılavuz sayesinde gerekli bütün bilgileri bir kaynaktan elde edebilmelidirler.

Bunun ötesinde bu kılavuz bir proje fikri **GELİŞTİRMEK** için gereken bütün yardımcı araçları hazır etmelidir. Çok şey vaat eden proje fikirlerinin gerçekten öyle olup olmadıkları ve ekonomik yapılabilirlik-

leri açısından tabii tutulacakları eleştirel değerlendirme için zorunlu olan araçları sağlamalıdır.

Bunlara ilave olarak bu kılavuz biyogazdan enerji üretilmesine dair bir proje fikrinin başarıyla **GERÇEKLEŞTİRİLMESİ** için yönlendirmeler içermeli ve karar vermede yardımcı olmalıdır.

## 1.3 İçerik

Biyogaz Kılavuzu, okuyucuya karmaşık bir konu olan biyogaz elde edilmesi ve kullanımı konusunda genel bir bakış sunmaktadır. Kılavuz, bir biyogaz tesisinin hazırlanması, planlanması, kurulması ve işletilmesi için gerekli olan bütün düşünce ve eylemler için bir yol gösterici ve kontrol listesi olarak kullanılabilir. Bu arada sadece teknik ve planlama konuları değil, hukuksal, ekonomik ve organizasyonel bakış açıları da dikkate alınmaktadır. Bu, kılavuzun her bir bölümünde ayrı ayrı yapılmakta olup, neler içerdiği bu genel bakışta kısaca ortaya konulmaktadır.

Bu kılavuz yukarıda belirtilen dört çözüm önerisinden yola çıkarak, her şeyden önce aşağıdaki dört konuda destek sunmaktadır:

- Girişimcilik için motivasyon
- Temel bilgilerin aktarılması
- Bir proje fikrinin geliştirilmesi
- Bir projenin gerçekleştirilmesi.

**2 ila 6. bölümler arasında ve 10. bölümde** biyogaz tesislerinin esasları ve yapısı anlatılmakta, ayrıca hammaddelerin ve atık maddelerin kullanımı tarif edilmektedir.

**7, 8 ve 9. bölümlerde** biyogaz tesisi işletiminin hukuki, idari ve ekonomik çerçeve koşullarıyla, işletme organizasyonu yer almaktadır.

Bir tesis planının uygulanması ya da gerçekleştirilmesi, **bölüm 11**'de planlama tavsiyeleri ve sözleşme imzalanmasına dair önceki bölümlerde verilen bilgiler temelinde oluşturulan kontrol listeleri sayesinde kolaylaştırılmaktadır.

**Bölüm 12** fikirler geliştirmeye ve inisiyatifler almaya yönelik bilgileri içermektedir. Ancak burada aynı zamanda organik materyallerin biyogaz üretiminde kullanılması gerektiğine dair kamuoyu çalışmalarını destekleyecek argümanlar da sunulmaktadır.

Biyogaz üretiminin ve kullanımının farklı konfigürasyonlarında gerçekleştirilen biyogaz projelerinin daha iyi anlaşılabilmesi için **bölüm 13**'te çok sayıda örnek verilmektedir.

## 1.4 Hedef gruplar

Kılavuz esas olarak biyogaz üretimine ve kullanımına ilgi duyan ve/veya herhangi bir şekilde bir biyogaz projesiyle ilişkili olan tüm kişilere yöneliktir. Böylelikle kılavuz ilk etapta bir biyogaz projesi uygulayan veya gerçekleştiren kişi ve kuruluşlara hitap etmektedir.

Biyogaz projesi uygulamak isteyen kişilerin hedef grupları arasında ilk olarak tarımla uğraşan kişiler, tarım şirketleri ve partnerleri sayılabilir. Materyal ve enerji üreticisi olarak, siz de enerji üretimi amaçlı biyogaz üretimi ve kullanımına ilgi duyuyor olabilirsiniz. Ayrıca fermantasyon artıkları tarım işletmelerinde yüksek değerli bir gübre oluşturmaktadır. Tarım alanındaki büyük biyokütle potansiyeli nedeniyle, tarıma dayanan biyogaz üretimi bu kılavuzun ele aldığı konuların merkezinde bulunmaktadır.

Diğer potansiyel biyogaz üreticileri arasında örneğin gıda işleme sanayi, atık işleme işletmeleri veya belediyeler gibi organik atık madde üreticileri veya değerlendiricileri de hedef grup yelpazesi içinde bulunmaktadır. Özel ve kurumsal yatırımcılar, ayrıca teknolojiye yatırım yapan enerji tedarikçileri de aynı şekilde potansiyel uygulayıcılar hedef grubunda bulunmaktadır. Örneğin özel olarak biyogaz projelerine yatırım yapan yatırım şirketleri bulunmaktadır.

İkinci hedef grup ise kamu kurumunda memur, banka çalışanı, elektrik veya doğalgaz şirketi çalışanı, tarım danışmanı veya planlayıcı olarak bir şekilde bir biyogaz projesine katılmış bulunan kişilerden ve tesis veya tesis bileşeni yapımcılarından da oluşmaktadır.

Bunun ötesinde bir biyogaz projesinin gerçekleştirilmesinden doğrudan veya dolaylı olarak etkilenmiş bütün kişilere de hitap etmektedir. Bu kılavuz bu noktada bilgi eksikliklerini gidermeyi ve çeşitli konularda tarafların birbirlerini daha iyi anlamalarına yardımcı olmayı amaçlamaktadır.

Benzer durum yenilenebilir enerji alanında faaliyet gösteren ve gerektiğinde danışmanlık da yapan bölgesel ve ülke çapında faaliyet gösteren dernek ve örgütler için de geçerlidir. Bu kılavuz, bu dernek ve örgütler açısından biyogaz üretimi için biyokütle kullanımı konusundaki danışmanlık görevleri kapsamında çok önemli bir bilgi kaynağıdır.

Ayrıca bu kılavuz konuları itibarıyla biyogaz projelerini hayata geçirme veya erteleme durumunda olan karar vericiler için de bir motivasyon unsuru ve yardımcı araç olması düşünülmüştür. Bu kılavuz aynı zamanda potansiyel destekleyicilere ve enerji ajanslarına da yatırım artırma işlevlerinde yardımcı olacaktır.

## 1.5 Sınırlama

Daha sonra da açıklanacağı üzere, bu kılavuzda hem teknik ve ele alınan materyaller, hem de veri kapsamı ve güncellik nedeniyle bazı sınırların konulması gerekmiştir.

### 1.5.1 Teknik

Bu kılavuz sadece biyokütlenin biyogaz üretimi ve kullanımı için değerlendirilmesi üzerinde yoğunlaşmıştır. Bu arada asıl olarak tarım sektöründeki tesisler ve tarımsal ürünlerin işlenmesiyle ortaya çıkan atıkların değerlendirilmesi alanı üzerinde durulmuştur. Örneğin belediye atıklarının ve atık su çamurlarının değerlendirilmesi konuları özel olarak ele alınmamıştır. Ayrıca pazarda belirli bir sınanmışlığa sahip olan ve Almanya'da birçok kez ticari olarak hayata geçirilmiş olan biyogaz teknolojileri de mercek altına alınacaktır.

Gazın değerlendirilmesi açısından birleşik güç-ısı tesisi ile ısının ve elektriğin kombine üretimi üzerinde de durulacaktır. Doğalgaz kalitesinde biyogaz hazırlanması ve bu biyogazın doğalgaz şebekesine verilmesi konuları da tartışılacak, ancak ayrıntılı analizler ve değerlendirmeler için ilgili eserlere atıfta bulunulacaktır. Biyogaz kullanımı için birleşik güç-ısı tesisinin ötesine geçen teknolojiler (örneğin mikrogaz türbini, yakıt hücresi, lokal akaryakıt hazırlanması) hakkında, bunların yakın bir zamanda ekonomik olarak anlamlı bir uygulama alanına sahip olacaklarına dair bilimselliği kanıtlanmış bilgiler bulunduğu takdirde tartışılacaktır. Bu kılavuz böylelikle sadece piyasada geçerli işlemler ve biyogazın piyasada geçerli tekniklerle elektroenerji üretimi için motorlarda yakılması üzerinde yoğunlaşmaktadır.

### 1.5.2 Materyaller

Kılavuzda halen biyogaz ekonomisinde önemli ölçüde kullanılan materyaller kökenlerinden (tarım, peyzaj düzenlemeleri, belediyeler, sanayi kuruluşları) bağımsız olarak dikkate alınmaktadır. Ancak ağırlık tarımsal kökenli materyaller ile besin maddeleri işleyen sanayiden gelen materyallere verilmektedir. Bu seçime dair açıklayıcı bilgi 2009 Yenilenebilir Enerji Kanunu (EEG) pozitif listesinde (bkz. Bölüm 7) bulunmaktadır.

### 1.5.3 Güncellik

Biyogaz üretimi ve kullanımı kılavuzu için temel teşkil eden çalışmalar ve veri toplanması 2008 ve 2009 yi-

lında gerçekleştirilmiştir. Bundan dolayı kılavuz Almanya'da 2009 yılı ortalarının güncel bilgisini yansıtmaktadır. Bu da bilimdeki son gelişmelerden ziyade teknolojinin seviyesiyle ilgilidir. Bu tarih tam olarak hukuksal çerçeve koşullarını karşıladığı için, pek çok değerlendirme özellikle EEG'nin 2009 yılındaki yeniden düzenlenmesini esas almaktadır. Bundan ötürü aksi kesin bir şekilde belirtilmediği müddetçe, EEG ile ilgili her ifade, 1 Ocak 2009'dan bu yana geçerli olan EEG'ye dayanmaktadır. Gas-NZV (Gasnetzzugansverordnung / Gaz Şebekesi Giriş Yönetmeliği) ve GasNEV (Gaz Şebekesi Geçerlilik Yönetmeliği) içinde 2010 yılında yapılan değişiklik bu baskıda dikkate alınabilmiştir.

#### 1.5.4 Veri kapsamı

Verilerin kapsamı bakımından da bir sınırlama söz konusudur. Bu kılavuz bir yandan ilgili bilgilerin ve işlem tarzlarının anlaşılması için, öte yandan da ilk değerlendirmelerin ve hesapların uygulanması için gerekli olan veri ve olguları kapsamaktadır. Bu çerçevenin dışına taşan bilgiler, daha yüksek şeffaflık ve anlaşılabilirlik sağlanması için buraya alınmamıştır.

Bu kılavuz özenli araştırmalar ve uzmanlarla yapılan çok çeşitli görüşmelerden elde edilen sonuçları içermektedir. Ancak biyogaz üretimi ve kullanımı konusunda önem taşıyan bütün alanların en geniş şekilde ele alınma hedefine ulaşılmış gibi görünse de, verilerin mutlak eksiksizliği ve doğruluğu iddiasında bulunulmamaktadır.

# Anaerobik fermentasyonun esasları

## 2

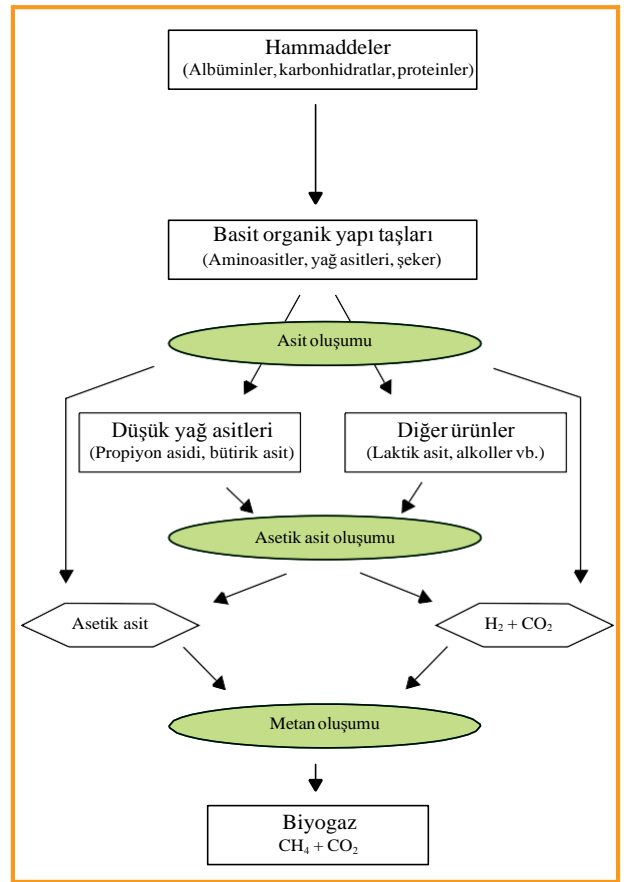
### 2.1 Biyogazın oluşumu

İsminden de anlaşılacağı üzere, “biyo” gaz biyolojik bir prosesle oluşmaktadır. Oksijensiz bırakılmak (anaerob olarak adlandırılır) suretiyle organik kütleden biyogaz adı verilen bir gaz karışımı ortaya çıkar. Doğada yaygın olarak görülen bu proses örneğin bataklıklarda, deniz tabanlarında, sıvı gübre çukurlarında ve geniş getiren hayvanların işkembelerinde de gerçekleşir. Bu esnada organik kütle bir dizi mikroorganizma tarafından neredeyse tümüyle biyogaza dönüştürülür. Bunun yanı sıra belirli miktarlarda enerji (ısı) ve yeni biyokütle oluşur.

Biyogaz metandan (% 50-75 Hac.) ve karbondioksitten (% 25-50 Hac.) oluşmaktadır. Bunun yanında biyogazda düşük miktarlarda hidrojen, hidrojen sülfür, amonyak ve eser miktarda diğer gazlar da bulunur. Bileşim asıl olarak kullanılan materyaller, fermentasyon işlemi ve farklı teknik uygulamalarla belirlenir [2-1], [2-2], [2-3], [2-4]. Biyogazın oluşum prosesi çok sayıda aşamada gerçekleşmektedir (bkz. Şekil 2.1). Bu esnada prosesin bütününün bir olumsuzluğa meyden vermeyecek şekilde gelişmesi için tek tek bozunma aşamalarının birbirleri ile çok uyumlu olması gerekir.

İlk aşama olan “hidroliz” esnasında hammaddenin kompleks yapıları (örneğin karbonhidratlar, albuminler, yağlar) daha basit organik yapılara (örneğin aminoasitler, şeker, yağ asitleri) dönüştürülür. Buna katılan hidrolitik bakteriler, malzemeyi biyokimyasal olarak parçalayan enzimleri serbest bırakırlar.

Oluşan ara ürünler “asetojenez aşaması”nda fermente edici (asit oluşturan) bakteriler tarafından düşük yağ asitlerine (asetik, propiyon ve bütrik asit), karbondioksit ve hidrojene ayrıştırılır. Bu esnada aynı zamanda düşük miktarlarda laktik asit ve alkoller de oluşur. Bu aşamada oluşan ürünün türü, oluşan hidrojenin yoğunluğu tarafından belirlenir.



Şekil 2.1: Anaerobik bozunmanın şematik tanımı

Asetojenez, yani “asit oluşumu” aşamasında bu ürünler asetojen bakteriler tarafından biyogazın öncül maddelerine (asetik asit, hidrojen ve karbondioksit) dönüştürülür. Bu bağlamda kısmi hidrojen basıncı büyük önem taşımaktadır. Fazla yüksek hidrojen miktarı enerjisel nedenlerle asetojenezin ara ürünlerinin bozunmasını engeller.

Bunun sonucu olarak propiyon asidi, izobütrik asit, izovaleriyon asidi ve kapron asidi gibi organik asitler zenginleşir ve metan oluşumunu engellerler. Asetojen bakteriler (hidrojen oluşturucu) bu nedenle hidrojeni karbondioksitle birlikte metan gazı oluştur-

makta kullanan (türler arası hidrojen transferi) ve bu sayede asetik asit oluşturan bakteriler için kabul edilebilir çevre koşulları oluşturan ve hidrojen tüketen metanojenik arkeler ile sıkı bir yaşam ortaklığı kurmak zorundadırlar [2-5].

Biyogaz oluşumunun son aşaması olan “**metanojenez**”de öncelikle asetik asitler, hidrojen ve karbondioksit, mutlak anaerobik metanojen arkeler tarafından metana dönüştürülür. Hidrojen kullanan metanojenler hidrojen ve karbondioksitten metan üretirken, asetoklastik metan oluşturuçular asetik asidi ayrıştırarak metan oluştururlar. Tarımsal biyogaz tesislerinde hüküm süren koşullar altında metan oluşumu yüksek ortam basıncında ağırlıklı olarak hidrojen sentezi reaksiyonuyla, nispeten daha düşük ortam basıncında ise asetik asidin parçalanması reaksiyonuyla gerçekleşir. Metanın % 70 oranında asetik asidin parçalanması, % 30 oranında da hidrojenin sentezi sonucu oluştuğuna dair atik su çamuru fermentasyonundan elde edilen bilgi, tarımsal biyogaz tesislerinde her halükarda çok kısa bekleme süresine sahip yüksek basınç fermentörleri için geçerlidir [2-7], [2-9]. Yapılan yeni araştırmalar, türler arası hidrojen transferinin hız belirleyici aşama olacağını ortaya koymaktadır [2-10].

Oksijensiz bozunmanın dört aşaması aslında tek basamaklı bir proseste paralel olarak aynı zamanda gerçekleşir. Ancak her bozunma aşamasının bakterileri farklı yaşam alanı taleplerine sahip oldukları için (örneğin pH değeri, ısı) proses tekniği bakımından bir uzlaşmanın yaratılması gerekir. Metanojenez mikroorganizmalar düşük büyüme hızları nedeniyle biyogenezin en zayıf halkası olduklarından ve rahatsız edici etkilere karşı çok hassas tepki vermelerinden ötürü, çevre koşullarının metan oluşturan bakterilerin taleplerine uydurulması gerekmektedir. Hidrolizi ve asit oluşumunu metan oluşumundan iki ayrı proses aşaması ile ortamsal olarak ayırma girişimi (iki aşamalı proses uygulaması) pratikte sınırlı şekilde gerçekleşmektedir, çünkü hidroliz aşamasında düşük bir pH değerine (pH < 6.5) rağmen yine de kısmen metan oluşumu gerçekleşmektedir. Oluşan hidroliz gazı karbondioksit ve hidrojenin yanı sıra metan da içerir, bundan ötürü çevre üzerindeki olumsuz etkilerden ve güvenlik risklerinden kaçınmak için hidroliz gazının bir değerlendirmeye veya işleme tabi tutulması gerekir [2-11].

Biyogaz tesisinin konstrüksiyonuna ve işletme tarzına, ayrıca materyal olarak kullanılan hammaddenin özelliklerine ve konsantrasyonuna bağlı olarak, çok aşamalı proseslerde her bir fermentör basamağında farklı çevre koşulları oluşturulabilir. Çevre koşulları

da mikrobiyolojik biyogenezin bileşimini ve aktivitelerini etkiler ve böylelikle oluşan metabolizma ürünlerine doğrudan etki ederler.

## 2.2 Çevre koşulları

Çevre koşullarının tarif edilmesinde yaş fermentasyon ile katı fermentasyon (kuru fermentasyon olarak da anılır) arasında ayırım yapılması gerekir, çünkü her iki işlem arasında özellikle su miktarı, besin maddesi içeriği ve materyal transferi bakımından farklılıklar vardır. Pratikteki baskın uygulama nedeniyle burada sadece yaş fermentasyon konusu ele alınacaktır.

### 2.2.1 Oksijen

Metanojenik arkeler dünyamızın en eski canlılarından olup, bundan üç ila dört milyar yıl önce, bildiğimiz kadarıyla atmosferin oluşmasından çok önce ortaya çıkmışlardır. Bu nedenle bu mikroorganizmalar günümüzde oksijenin bulunmadığı bir yaşam ortamına muhtaçtırlar. Pek çok türü çok az miktarda ki oksijen tarafından dahi öldürülür. Ancak genelde fermentöre oksijen girişini tümüyle engellemek mümkün değildir. Metanojenik arkelerin faaliyetlerinin derhal durmasının veya tümüyle ölmelerinin nedeni, gerçekleşen bozunma aşamalarında oksijen tüketen bakterilerle bir arada yaşamalarıdır. Bunlardan bazıları fakültatif anaerobik bakteriler olarak adlandırılır. Bu bakteriler hem oksijen etkisi altında, hem de tümüyle oksijensiz ortamda yaşayabilirler. Oksijen miktarı çok fazla değilse, oksijensiz bir ortama zorunlu olarak ihtiyaç duyan metanojenik arkelere zarar vermesinden önce oksijeni tüketirler. Biyolojik desülfürizasyon işlemi için fermentörün gaz bölmesine sevk edilen havadaki oksijen, bundan ötürü metan oluşumu üzerinde olumsuz etki etmez.

### 2.2.2 Sıcaklık

Esas olarak çevre ısısı ne kadar yüksekse, kimyasal reaksiyonların da o kadar hızlı gerçekleştiği kabul edilir. Ancak bu durum biyolojik bozunma ve indirgenme proseslerine kısmen uygulanabilir. Burada metabolizma prosesine katılan mikroorganizmaların varlıklarını farklı sıcaklık koşullarında sürdürdükleri göz önünde bulundurulmalıdır. Bu optimal sıcaklık alanlarının altına düşüldüğünde veya üstüne çıkıldığında, bu durum sürecin kesintiye uğramasına ve uç durumlarda sürece katılan mikroorganizmaların geri dönüşü olmayacak zararlara uğramasına yol açabilir.

Sürecin yaş ve katı fermantasyon olarak birbirinden kesin bir şekilde ayrılması yanlıcıdır, çünkü fermantasyon sürecine katılan mikroorganizmalar büyüme ve hayatta kalmak için her halükarda sıvı bir maddeye ihtiyaç duymaktadırlar.

Fermente edilecek hammaddenin içindeki kuru kütle oranının tanımlanmasında da, sık sık farklı kuru kütle oranlarına sahip çok sayıda materyal kullanıldığı için tekrar tekrar yanlış anlaşılmalara ortaya çıkmaktadır. Burada işlemin bölümlendirilmesi için belirleyici olanın her bir materyalin içindeki kuru kütle oranının değil, aksine fermentöre aktarılan materyal karışımının içindeki kuru kütle oranı olduğu konusunda işletmeci bilgi sahibi olmalıdır.

Bu nedenle burada yaş ve katı fermantasyon ayrımı, fermentör içeriğinin kuru kütle oranına göre yapılacaktır. Bu noktada mikroorganizmaların her iki durumda da kendi dolaysız çevrelerinde yeterli suya ihtiyaç duydıklarına bir kez daha işaret edilmelidir.

Aslında yaş ile katı fermantasyon arasındaki sınıra dair kesin bir tanım bulunmamakla birlikte, uygulamada enerji bitkileri kullanıldığında fermentörde yaklaşık % 12 oranında bir kuru kütle oranı yaş fermantasyona karşılık gelmektedir, çünkü fermentör içeriği bu su oranında hâlâ pompalama yeteneğine sahiptir. Fermentördeki kuru kütle oranı % 15-16'nın üzerine çıktığında malzeme artık pompalanamaz ve bundan ötürü proses katı fermantasyon olarak adlandırılır.

Bozunmaya katılan mikroorganizmalar sıcaklık istekleri nedeniyle üç gruba ayrılırlar. Bunlar sakrofilik, mezofilik ve termofilik olarak adlandırılan mikroorganizmalardır.

- Sakrofilik mikroorganizmaların sıcaklık istekleri 25 °C altındaki sıcaklıklardır. Bu sıcaklıklarda materyallerin veya fermentörün ısıtılmasına gerek yoktur, ancak bozunma performansı veya gaz üretimi düşüktür. Bu yüzden biyogaz tesislerinin ekonomik bir şekilde işletilmesi mümkün değildir.
- Bilinen metan oluşturucuların büyük kısmının sıcaklık isteği 37 ve 42 °C arasındaki sıcaklık alanında bulunmaktadır. Mezofilik alanda faaliyet gösteren tesisler uygulamada en yaygın görülenlerdir, çünkü bu sıcaklık alanında nispeten yüksek bir gaz verimliliği ve iyi bir proses istikrarı sağlanabilmektedir [2-6].
- Materyalin hijyenleştirilmesiyle sağlığa zararlı bakteriler öldürülecekse veya yüksek öz ısıya sahip (örne-

ğin proses suyu) materyale bağlı yan ürün veya atık madde olarak kullanılacaksa, termofil kültürler fermantasyon için çok uygundur. Yine de fermantasyon prosesinin ısıtılması için daha fazla enerjiye ihtiyaç duyulabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Bu sıcaklık alanındaki fermantasyon süreci rahatsız edici etkilere, materyal beslemesindeki düzensizliklere ve fermentörün çalışma tarzına karşı hassastır, çünkü termofil koşullar altında metanojenik mikroorganizmaların daha az sayıda çeşidi bulunmaktadır [2-6].

Bu bağlamda sıcaklık alanları arasındaki geçişlerin akışkan olduğunu, hızlı sıcaklık değişimlerinin mikroorganizmalara zarar verdiğini, ancak metanojenik mikroorganizmaların yavaş gerçekleşen sıcaklık değişimlerinde farklı sıcaklık seviyelerine uyum gösterebildiğini ortaya koymuştur. Sürecin istikrarlı işlemesi için mutlak bir sıcaklık yerine, bir alt üst sıcaklık seviyesi içindeki değişmezlik belirleyicidir.

Bu bağlamda uygulamada çok sık gözlemlenen kendiliğinden ısınma etkisinin anılması gereklidir. Bu etki ağırlıklı olarak karbonhidrat içeren materyallerin yer aldığı, sıvı hammaddelerin bulunmadığı ve iyi izole edilmiş tanklarda kullanılması durumunda ortaya çıkar. Kendiliğinden ısınma, bazı mikroorganizma gruplarının karbonhidrat bozunması esnasında ürettikleri ısıya bağlanmaktadır. Bu etki, aslında mezofilik işletme için öngörülmüş olan işletimde, sıcaklığın 43-48 °C'ye kadar yükselmesi sonucunu doğurabilir. Yoğun bir analitik izleme ve buna bağlı proses regülasyonu, kısa süreli ve az sayıda kesintilerle gaz üretimi devam eder. [2-12]. Ancak prosese gereken müdahaleler (örneğin girdi miktarlarının düşürülmesi) yapılmadığı takdirde, mikroorganizmalar sıcaklık değişimine uyum sağlayamazlar ve en kötü durumda gaz üretimi tümüyle sona erer.

### 2.2.3 pH değeri

pH değeri için de sıcaklık için bahsedilenlere benzer bağlamlar geçerlidir. Bozunmanın çeşitli aşamalarına katılan mikroorganizmalar, optimum büyüyecekleri farklı pH değerlerine ihtiyaç duyarlar. Örneğin hidrolize eden ve asit üreten bakteriler için pH optimum düzeyi 5.2 ila 6.3 arasında bulunmaktadır [2-6]. Ancak bu bakteriler bu değerlere bağlı kalmak zorunda olmayıp, çok az daha yüksek pH değerlerinde de materyalleri dönüştürebilirler. Ancak faaliyetleri bundan ötürü bir miktar azalır. Buna karşın asetik asit oluşturan bakteriler ve metanojenik arkeler mutlaka 6.5 ila 8 arasındaki nötral alanda bulunan bir pH değerine ihtiyaç duyarlar [2-8]. Fermantasyon süreci

sadece bir fermentörde gerçekleşiyorsa, buna uygun olarak pH alanına uyulması gerekir.

Bir prosesin tek veya çok aşamalı olmasından bağımsız olarak, sistemin içindeki pH değeri anaerob bozunma esnasında oluşan alkali ve asitli metabolizma ürünleri tarafından otomatik olarak ayarlanır. Bu dengenin ne kadar hassas olduğunu ise aşağıdaki zincirleme reaksiyon ortaya koymaktadır.

Örneğin prosese çok kısa bir sürede çok fazla organik malzeme eklendiğinde ya da metan oluşumu başka bir nedenden ötürü engellendiği takdirde, fermentasyonun asitli metabolizma ürünleri zenginleşir. Normal şartlarda pH değeri nötral alandaki karbonat ve amonyak tarafından ayarlanır. Sistemin tamponlama kapasitesi dolduğunda, yani çok fazla organik asit oluştuğunda, sistemin pH değeri düşer.

Bundan dolayı hidrojen sülfürün ve propiyon asidinin engelleyici etkisi artar, dolayısıyla fermentörün çok kısa bir sürede “çökmesi” söz konusu olabilir. Öte yandan organik azot bağlantılarının bozunmasıyla, suyla birlikte amonyuma dönüşen amonyak serbest bırakıldığında da pH değeri yükselebilir. Bundan dolayı amonyanın engelleyici etkisi artar. Proses kontrolü bakımından pH değerinin ataleti nedeniyle tesis yönetiminde kullanılmayacağı, ancak yüksek önemi nedeniyle daima ölçülmesi gerektiği dikkate alınmalıdır.

#### 2.2.4 Besin desteği

Anaerob bozunmada mikroorganizmalar türlerine özgü olarak makro ve mikro besinlere ve vitaminlere ihtiyaç duyarlar. Bu bileşenlerin konsantrasyonu ve bulunabilirlikleri, çeşitli popülasyonların büyüme hızlarını ve aktivitelerini etkiler. Türlerle özgü asgari ve azami konsantrasyonlar mevcuttur, ancak farklı kültürlerin çeşitliliği ve kısmen çok belirgin uyum sağlama yetenekleri nedeniyle bunların tespiti çok zordur. Kullanılan materyallerden mümkün olduğu kadar fazla metan üretebilmek için, mikroorganizmaların optimal besin desteğinin sağlanması gerekir. Kullanılan materyallerden nihayetinde ne kadar metan üretileceği, bu maddelerde bulunan protein, yağ ve karbonhidrat oranları tarafından belirlenir. Bu faktörler, besin maddelerine olan spesifik ihtiyacı da etkiler [2-18].

İstikrarlı bir proses işleyişi için makro ve mikro besinler arasında dengeli bir ilişkiye gerek vardır. Karbondan sonra en fazla ihtiyaç duyulan besin maddesi azottur. Bu, metabolizmayı gerçekleştiren enzimlerin oluşturulmasında kullanılır. Bu yüzden de kullanılan

materyallerin C/N oranı önemlidir. Bu oran fazla yüksekse (fazla C ve az N), yetersiz metabolizma nedeniyle mevcut karbon tümüyle dönüştürülemez, bundan ötürü de mümkün olan azami metan verimliliğine ulaşılamaz. Aksi durumda da azot fazlalığı aşırı amonyak (NH<sub>3</sub>) oluşumuna neden olur, bu da çok düşük konsantrasyonlarda bile bakterilerin büyümesini engeller ve hatta bütün mikroorganizma popülasyonunun tümüyle çökmesine neden olabilir [2.2]. Bu nedenle iyi işleyen bir proses için C/N oranı 10 ila 30 aralığında bulunmalıdır. Karbonun ve azotun yanında fosfor ve sülfür de mikro besin maddeleridir. Sülfür aminoasitlerin bileşenidir, fosfor bağlantıları ATP (Adenosintrifosfat) ve NADP (Nikotin- amid-Adenin-Dinükleotidfosfat) enerji taşıyıcıları için gereklidir. Mikroorganizmaları yeterince besinle destekleyebilmek için, reaktördeki CNPS oranının 600:15:5:3 olması gerekir [2-14].

Makro besin maddelerinin yanı sıra yeterli miktarda münferit mikro element varlığı da mikroorganizmalar açısından hayati önem taşımaktadır. Tarımsal biyogaz tesislerinin çoğunda mikro besin maddeleri ihtiyacı genel olarak özellikle hayvan dışkılarının kullanılmasıyla karşılanmaktadır. Ancak özellikle enerji bitkilerinin monofermantasyonunda genellikle mikro element eksikliği ortaya çıkar. Metanojen arkeler kobalt (Co), nikel (Ni), molibden (Mo) ve Selen (Se) bazen de kısmen Wolfram (W) elementlerine ihtiyaç duyarlar. Ni, Co ve Mo, Co faktörlerde madde alışverişindeki esansiyel reaksiyonların oluşmasına hizmet ederler [2-15], [2-16]. Bunun ötesinde magnezyum (Mg), demir (Fe) ve mangan (Mn) da elektron transferi ve belirli enzimlerin fonksiyonları için gereken önemli besin maddeleridir.

Bu yüzden reaktörde mikro elementlerin konsantrasyonu çok önemli bir değerdir. Bu konuyla ilgili

Tablo 2.1: Çeşitli kaynaklarda uygun mikro element konsantrasyonları

Eser element	Konsantrasyon alanı [mg/l] Mikro element			
	üstünde [2-18]	üstünde [2-19]	üstünde [2-16] <sup>a</sup>	üstünde [2-17] <sup>b</sup>
Co	0,003-0,06	0,003-10	0,06	0,12
Ni	0,005-0,5	0,005-15	0,006	0,015
Se	0,08	0,08-0,2	0,008	0,018
Mo	0,005-0,05	0,005-0,2	0,05	0,15
Mn	Veri yok	0,005-50	0,005-50	Veri yok
Fe	1-10	0,1-10	1-10	Veri yok

a. Biyogaz tesislerinde mutlak asgari konsantrasyon  
b. Tavsiye edilen optimal konsantrasyon



olarak kaynaklar birbiriyle karşılaştırıldığında, özellikle esansiyel oldukları kabul edilen mikro element konsantrasyonundaki çok büyük dalgalanma (kısmen Faktör 100'e kadar) dikkat çekicidir.

Tarımsal biyogaz tesisleri için Tablo 2.1'de gösterilmiş olan konsantrasyon alanları sadece belirli koşullar altında kullanılabilir, çünkü anılan kaynaklardan alınan araştırmalar kısmen farklı çıkış koşullarına sahip atık sular ve farklı araştırma yöntemlerinden elde edilmişlerdir. Bunun ötesinde aralıklar aşırı yüksektir ve ortaya konulan proses koşullarına dair veri (örneğin yükleme oranı, bekleme süresi) yok denecek kadar azdır. Mikro elementler reaktörde serbest fosfat, sülfid ve karbonatla çözülmesi güç bağlantılar içine girebilirler ve böylelikle mikroorganizmalar için kullanılabilir olmaktan çıkarlar. Bundan ötürü, fermente edilecek materyal içindeki mikro element konsantrasyonu analiziyle mikro elementlerin kullanılabilirliğine dair kesin bir yargıya varılamaz. Sadece toplam konsantrasyon belirlenir. Bu sebepten ötürü procese sadece eksik konsantrasyonun dengelenmesi için gerekenden daha fazla miktarda mikro element aktarılması gerekir. Bir ihtiyaç tespiti yapıldığında daima bütün materyallerin mikro element konsantrasyonları dikkate alınmalıdır. Çeşitli yem maddelerinin içindeki mikro element miktarı analizlerinden, hatırı sayılır dalgalanmaların söz konusu olabileceğini biliyoruz. Bu durum, eksiklik durumunda mikro elementlerin optimal dozajının ayarlanmasını son derece güçleştirmektedir.

Ancak mikro elementlerin ilave edilmesinden önce fermentörde mikro besin maddelerinin miktarı tespit edilmelidir, aksi takdirde mikro elementlerin aşırı dozda bulunması söz konusu olabilir. Aşırı dozaj durumunda fermentasyon artıklarında ağır metal konsantrasyonu tarımsal kullanım için izin verilen sınır değerlerini aşabilir, bu da fermentasyon artıklarının organik gübre olarak kullanılmasını engeller.

### 2.2.5 Zararlı maddeler

Gaz üretimi veya proses akışı engellenmiş ise, bunun çeşitli nedenleri olabilir. Bunlar bir yandan işletme tekniğine bağlı sebepler olabilir. (bkz. Bölüm 5.4 Arıza yönetimi). Öte yandan zararlı maddeler proses ilerleyişini geciktirebilir. Bunlar belirli koşullarda çok düşük miktarlarda dahi bozunma performansını düşüren ya da toksik konsantrasyonda bozunma prosesini durduran maddelerdir. Burada materyal ilavesiyle fermentöre giren ve ara ürün olarak bozunma aşamalarında oluşan zararlı maddeler arasında ayırım yapılması gerekir.

Bir fermentörün "beslenmesi" esnasında aşırı materyal eklenmesinin de fermentasyon prosesini durdurabileceği dikkate alınmalıdır, çünkü her materyalin içindeki farklı bileşikler bakteriler üzerine olumsuz etki yapabilir. Bu özellikle antibiyotikler, dezenfektanlar, çözücü maddeler, herbisitler, tuzlar veya ağır metaller gibi, çok düşük miktarlarda bile bozunma prosesini durdurabilecek bileşenler için geçerlidir. Antibiyotik girişi genellikle çiftlik gübresi veya hayvani yağlar yoluyla gerçekleşir, fakat her antibiyotığın engelleyici etkisi çok farklı olabilir. Fakat esansiyel mikro elementler de yüksek konsantrasyonlarda mikroorganizmalar için toksik olabilir. Mikroorganizmalar bu tür maddelere belli bir ölçüde uyum sağlayabildikleri için, bir maddenin hangi konsantrasyondan itibaren zarar vermeye başlayacağını tespit etmek çok güçtür [2-2]. Bazı zararlı maddelerin başka maddelerle etkileşime girmesi söz konusu olabilir. Örneğin ağır metaller sadece çözünmüş durumda fermentasyon prosesine zarar verirler. Ancak ağır metaller yine aynı şekilde fermentasyon prosesinde ortaya çıkan hidrojen sülfür tarafından bağlanır ve zor çözünen sülfidler olarak etkisizleşirler. Metan fermentasyonunda H<sub>2</sub>S daima olduğu için prosesin ağır metaller tarafından sekteye uğratılması genel olarak beklenmez [2-2]. Ancak bu antibakteriyel etkileri nedeniyle çok düşük konsantrasyonlarda (40-50 mg/l) bile toksik olan ve örneğin tarımsal işletmelerde tırnak dezenfeksiyonu için kullanılması nedeniyle bulunan bakır bileşikler için geçerli değildir.

Fermentasyon prosesi esnasında prosesi engelleyebilecek bir dizi madde oluşur. Ancak bu noktada bir kez daha bakterilerin çok yüksek adaptasyon yeteneğine vurgu yapılması ve genel geçerli olan mutlak sınırlardan söz edilmesinin mümkün olmayacağını belirtilmesi gereklidir. Özellikle iyonik olmayan, serbest amonyak (NH<sub>3</sub>) çok düşük (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) dengede bulunan bakteriler üzerinde zararlı etkide bulunur (Amonyak burada su ile tepkimeye girerek amonyum ve bir OH iyonuna dönüşür, aynısı aksi yönlü olarak da gerçekleşir). Bunun anlamı, giderek artan bir temel pH değerinde, yani OH iyonu konsantrasyonunun yükselmesinde denge kaymakta ve amonyak konsantrasyonu yükselmektedir. Örneğin 6.5'lik bir pH değerinin 8.0'a yükselmesi, serbest amonyak konsantrasyonunun 30 kat artmasına neden olur. Fermentördeki sıcaklık artışı da engelleyici amonyak yönünde bir denge kaymasına neden olur.

Yüksek azot konsantrasyonlarına uyum sağlamış bir fermentasyon sistemi için NH<sub>3</sub> engelleme eşiği 80-250 mg/l'dir. [2-2]. pH değerine ve fermentasyon sıcaklığına bağlı olarak bu değer 1.7-4 g/l oranında bir

amonyum konsantrasyonuna karşılık gelmektedir. Edinilen tecrübeler ışığında 3.000-3.500 mg/l arasındaki bir toplam amonyum azotu konsantrasyonu engelleyici etki göstermektedir [2-18].

Fermentasyon prosesinin bir başka ürünü olarak ortaya çıkan hidrojen sülfür ( $H_2S$ ), ayrışmamış ve çözülmüş formda hücre zehiri olarak yaklaşık 50 mg/l konsantrasyonda bile bozunma prosesini engelleyebilir. pH değerinin düşmesiyle birlikte serbest  $H_2S$  oranı yükselir, bu da engelleme tehlikesini artırır.  $H_2S$  miktarını düşürmenin bir yolu, demir iyonlarının sülfid olarak çökeltilmesidir.  $H_2S$  başka ağır metallere de tepki verir ve sülfid iyonlarının oluşmasıyla ( $S_2^-$ ) bağlanır ve çökeltilir. Daha önce de anıldığı üzere, sülfür, enzimlerin oluşması için yeterli konsantrasyonda bulunması gereken önemli bir mikro besin maddesi olup, sülfid olarak daha fazla çökmesi aynı şekilde metanojenin engellenmesine yol açabilir.

Dolayısıyla çeşitli maddelerin engelleyici etkileri çok sayıda faktöre bağlıdır ve sabit sınır değerlerinin belirlenmesi çok zordur. Bazı zararlı maddelerin listesi tablo 2.2.'de görülmektedir.

Tablo 2.2: Anaerobik bozunma proseslerinde zararlı maddeler ve zararlı konsantrasyonları [2-14]

Zararlı madde	Engelleme konsantrasyonu	Açıklama
Oksijen	> 0,1 mg/l	Bağlayıcı anaerobik metanojen arkelerin engellemesi
Hidrojen sülfür	> 50 mg/l $H_2S$	pH değeri düştüğü zaman engelleme etkisi artar
Uçucu yağ asitleri	> 2.000 mg/l HAC (pH = 7,0)	pH değeri düştüğü zaman engelleme etkisi artar. Bakterilerin yüksek adaptasyon yeteneği
Amonyum azot	> 3.500 mg/l $NH_4^+$ (pH = 7,0)	pH değeri düştüğü ve sıcaklık yükseldiği zaman engelleme etkisi artar. Bakterilerin yüksek adaptasyon yeteneği.
Ağır metaller	Cu > 50 mg/l Zn > 150 mg/l Cr > 100 mg/l	Sadece çözünebilir metaller engelleyici etkiye sahiptir. Sülfidin çökeltilmesi ile zehirden arındırma.
Dezenfeksiyon aracı Antibiyotikler	Veri yok	Ürüne özgü engelleme etkisi

## 2.3 İşletme parametreleri

### 2.3.1 Fermentörün yükleme oranı ve bekleme süresi

Biyogaz tesislerinin yapımında genellikle ekonomik düşünceler ön planda bulunmaktadır. Bundan ötürü fermentör büyüklüğünün seçiminde her zaman azami gaz verimi veya hammaddede bulunan organik kütlenin tümüyle bozunması hedeflenmemektedir. Organik içerik maddelerinin bütünüyle bozunmasının sağlanması istenildiği takdirde, bunun gerçekleştirilmesi için materyalin fermentörde çok uzun sürelerde kalması ve uygun büyüklükte tank hacmi sağlanmalıdır, çünkü bazı maddeler çok uzun sürelerden sonra – şayet mümkünse – bozunmaktadırlar. Dolayısıyla karşılanabilir bir ekonomik maliyetle optimum bozunma performansının sağlanmasına çalışılmalıdır.

Bu anlamda yükleme oranı (BR) önemli bir işletme parametresidir. Yükleme oranı bir  $m^3$  çalışma hacmine bir zaman dilimi için kaç kilogram organik kuru madde beslemesi yapılması gerektiğini belirler [2.1]. Yükleme oranı  $kg OKM/(m^3 d)$  olarak verilir.

$$B_R = \frac{\dot{m} \cdot c}{V_R \cdot 100} \quad [kg OKM m^{-3} d^{-1}]$$

Denklem 2.1: Yükleme oranı  $B_R$

( $\dot{m}$  = bir zaman diliminde eklenen materyal miktarı [kg/d];

$c$  = Organik materyal konsantrasyonu [% OKM];

$V_R$  = Reaktör hacimleri [ $m^3$ ])

Yükleme oranı her basamak için (gaz geçirmez, yalıtılmış ve ısıtılmış tanklar), sistemin bütünü için (bütün basamakların çalışma hacimlerinin toplamı) ve malzeme geri beslemesi dahil edilerek veya edilmeyecek verilebilir. Referans büyüklüklerin değişmesi ile bir tesisin yükleme oranı için çok farklı sonuçla elde edilebilir. Farklı biyogaz tesislerinin mümkün olduğu kadar anlamlı bir mukayesesi amacıyla, bu parametrelerin sistemin bütünü için ve malzeme geri beslemesini dikkate almadan, yani sadece taze materyal için tespit edilmesi tavsiye edilir.

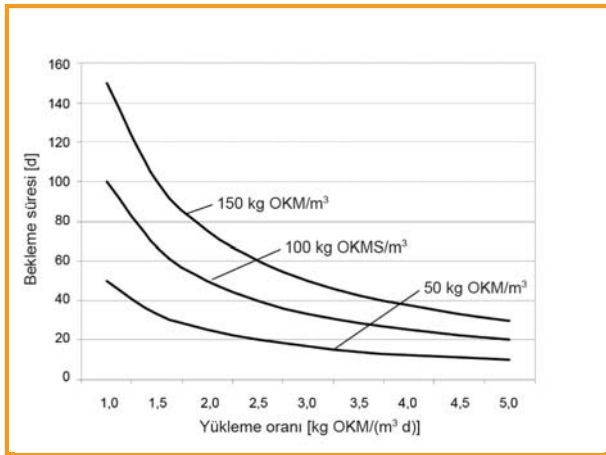
Tank büyüklüklerinin boyutlandırılması için bir diğer parametre hidrolik bekleme süresidir (HRT; hydraulic retention time). Bu, eklenen bir materyalin matematiksel olarak tekrar çıkartılıncaya kadar fermentörde kaldığı ortalama süredir [2-1]. Hesaplama için reaktör hacmi ( $V_R$ ) her gün eklenen materyal miktarı ile ( $\dot{V}$ ) ilişkilendirilir [2-2]. Hidrolik bekleme süresi gün olarak verilir.

$$HRT = \frac{V_R}{\dot{V}} \text{ [d]}$$

Denklem 2.2: Hidrolik bekleme süresi

( $V_R$  = Reaktör hacimleri [ $m^3$ ];  $\dot{V}$  = her gün eklenen materyal hacimleri [ $m^3/d$ ])

Gerçek bekleme süresi ise bundan sapmaktadır, çünkü karıştırmaya, ya da örneğin kısa devre akımlarına bağlı olarak materyal bileşenleri fermentörden farklı hızlarla ayrılmaktadır. Yükleme oranı ile hidrolik bekleme süresi arasında yakın bir ilişki bulunmaktadır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2: Farklı materyal konsantrasyonlarında yükleme oranı ile hidrolik bekleme süresi arasındaki ilişki

Aynı kalan bir materyal bileşimi kullanıldığı takdirde, artan yükleme oranı karşısında fermentöre daha fazla girdi eklenecek ve bu nedenle bekleme süresi kısalmaktadır. Fermantasyon prosesinin düzgün bir şekilde sürdürülebilmesi için hidrolik bekleme süresi, reaktör içeriğinin sürekli değişmesi nedeniyle, bu süre zarfında üreyebileceğinden daha fazla mikroorganizmanın fermentöre taşınmayacağı şekilde ayarlanmalıdır (örneğin bazı metanojenik arkeler 10 gün veya daha uzun sürede iki katına çıkmaktadır) [2-1]. Ayrıca kısa bekleme sürelerinde mikroorganizmalara materyali bozundurmamak için pek az süre kaldığı ve bu nedenle yetersiz gaz verimi elde edildiği de dikkate alınmalıdır. Yani bekleme süresini kullanılan materyalin özgül bozunma hızına uydurmak aynı ölçüde önemlidir. Günlük eklenen miktar bilindiği takdirde, materyalin bozunabilirliği ve ulaşılmaya çalışılan bekleme süresiyle bağlantılı olarak gereken reaktör hacimleri hesaplanabilir.

Bir biyogaz tesisinin anılan işletme parametreleri öncelikle tesisin yüklenme durumunun belirlenmesi

için gereklidir (örneğin diğer bir tesisle karşılaştırma). Parametreler sadece başlangıç aşamasında tesisin kontrolünde yavaş, kesintisiz bir artış için faydalı olabilir. Bu esnada kural olarak her şeyden önce yükleme oranına dikkat edilir. Girdi yönlü olarak yüksek miktarda sıvı, düşük miktarlarda bozunabilir organik madde (sıvı gübre tesisleri) içeren tesislerde bekleme süresi büyük önem taşımaktadır.

### 2.3.2 Üretkenlik, verim ve bozunma derecesi

Bir biyogaz tesisinin performans durumunu tanımlamak için üretkenlik ( $P_{(CH_4)}$ ), verim ( $A_{(CH_4)}$ ) ve bozunma derecesi ( $\eta_{OKM}$ ) uygun parametrelerdir. Gaz üretimi fermentör hacmiyle ilişkilendirildiğinde, bu durumda üretkenlikten söz edilir. Üretkenlik, günlük gaz üretiminin reaktör hacmine bölünmesinden elde edilir (üreteç özgül gaz üretimi olarak da adlandırılır) ve buna bağlı olarak verimlilik hakkında bilgi verir. [2-20]. Üretkenlik hem biyogaz ( $P_{(Biyogaz)}$ ), hem de metan üretimi (hammadde özgül metan üretimi olarak da adlandırılır) ( $P_{(CH_4)}$ ) ile ilişkilendirilebilir ve  $Nm^3/(m^3 \cdot d)$  olarak belirtilir.

$$P_{(CH_4)} = \frac{\dot{V}_{(CH_4)}}{V_R} \text{ [Nm}^3 \text{ m}^{-3} \text{ d}^{-1}]$$

Denklem 2.3: Metan üretkenliği ( $\dot{V}_{(CH_4)}$  = Metan üretimi [ $Nm^3/d$ ];  $V_R$  = Reaktör hacmi [ $m^3$ ])

Gaz üretimi girdi materyalleriyle ilişkilendirildiğinde, burada verim [2-8] söz konusu olur. Verim de aynı şekilde biyogaz ( $A_{(Biyogaz)}$ ) veya metan üretimiyle ( $A_{(CH_4)}$ ) ilişkilendirilebilir. Verim üretilen gaz miktarının eklenen organik materyale bölünmesiyle tanımlanır ve  $Nm^3/t$  OKM olarak belirtilir.

Verim değerleri, kullanılan materyallerden biyogaz veya metan üretiminin etkinliğini belirler. Ancak münferit parametre olarak çok fazla bir şey ifade etmezler, çünkü fermentörün yüklenme miktarı dikkate alınmaz. Bundan ötürü verim daima yükleme oranıyla birlikte dikkate alınmalıdır.

$$A_{(CH_4)} = \frac{\dot{V}_{(CH_4)}}{\dot{m}_{OTS}} \text{ [Nm}^3 \text{ t}^{-1} \text{ OKM}]$$

Denklem 2.4: Metan üretkenliği ( $\dot{V}_{(CH_4)}$  = Metan üretimi [ $Nm^3/d$ ];  $\dot{m}_{OTS}$  = eklenen organik kuru madde [ $t/d$ ])

Bozunma derecesi ( $\eta_{OKM}$ ) kullanılan materyallerin değerlendirilme etkinliği hakkında bilgi verir. Bo-

zunma derecesi organik kuru madde (OKM) ya da kimyasal oksijen ihtiyacı (CBS) yardımıyla belirlenebilir. Pratikte ağırlıklı olarak uygulanan analitik nedeniyle OKM bozunma derecesinin belirlenmesi önerilir [2-20].

$$\eta_{oTS} = \frac{oTS_{Sub} \cdot m_{zu} - (oTS_{Abl} \cdot m_{Abl})}{oTS_{Sub} \cdot m_{zu}} \cdot 100 \text{ [%]}$$

*Denklem 2.5: Biyokütlenin bozunma derecesi ( $\eta_{OKM}$ )*  
*( $oTS_{Sub}$  = ilave edilen ham maddenin organik kuru madde oranı [kg/t YM];  $m_{zu}$  = İlave edilen ham maddenin kütlesi [t];*  
 *$oTS_{Abl}$  = Fermentör çıkışında organik kuru madde oranı [kg/t YM];  $m_{Abl}$  = Fermantasyon artıklarının kütlesi [t])*

### 2.3.3 Karıştırma

Yüksek bir biyogaz üretimi gerçekleştirmek için bakterilerle materyalin yoğun temasına ihtiyaç duyulur, bu da genel olarak fermantasyon tankının karıştırılmasıyla elde edilir [2.1]. Karıştırılmamış bir fermentörde bir süre sonra segregasyonla (çökme) birlikte katman oluşumu gözlemlenir, bu da fermentör içerisinde bulunan materyalde yoğunluk farklılığına ve gaz üretiminde azalmaya neden olur. Bu esnada bakteri kütlelerinin büyük kısmı yüksek yoğunluk nedeniyle alt kısımda toplanırken, bozunacak materyal genellikle üst katmana çıkar. Bu durumda temas alanı her iki katmanın birleştiği alanla sınırlıdır ve pek az bozunma meydana gelir. Bunun yanı sıra yüzen katı maddeler, gaz çıkışını engelleyen bir yüzer örtü meydana getirirler [2-21].

Dolayısıyla fermantasyon tankının karıştırılması suretiyle mikroorganizmalar ile materyalin temasının sağlanması önemlidir. Yine de aşırı karıştırmadan kaçınılmalıdır. Özellikle asetik asit oluşturan bakteriler (asetogenezde aktif) ve metanogenez arkeleri, sorunsuz bir biyogaz oluşumu prosesi için büyük öneme sahip bir yaşam birliği oluştururlar. Bu yaşam birliği yoğun karıştırma nedeniyle ortaya çıkan ayrıştırma sonucunda tahrip olduğu takdirde, anaerob bozunma olumsuz bir şekilde etkilenebilir.

Dolayısıyla her iki koşulu da uygun bir şekilde karşılayacak uygulama şekli bulmak gereklidir. Pratikte bu bir yandan yavaş dönmek suretiyle düşük ayrıştırma etkisi oluşturan, öte yandan da reaktör içeriğini belirli aralıklarla (önceden tanımlanmış kısa zaman dilimleri) karıştıran bir karıştırıcıyla gerçekleştirilir. Karıştırmayla ilgili diğer teknik ayrıntılar Bölüm 3.2.2.3'de açıklanmaktadır.

### 2.3.4 Gaz oluşum potansiyeli ve metanojenik aktivite

#### 2.3.4.1 Olası gaz verimi

Bir biyogaz tesisinde ne kadar biyogaz üretileceği, esas olarak kullanılan materyallerin bileşimine bağlıdır. Bunun için olanaklar dahilinde kullanılan materyal karışımıyla bir fermantasyon testi yapılmalıdır. Ayrıca girdilerde bulunan materyallerin gaz çıkışlarının toplamından da gaz randımanı tahmin edilebilir, Ancak bunun için materyallerin gaz çıkışı değerlerine ait tabloların bulunması gerekmektedir.

Fermantasyon testi için veri tabanı bulunmayan egzotik materyaller için gaz çıkışı tahmini sindirim oranları üzerinden yapılabilir, çünkü bir biyogaz tesisindeki bozunma prosesleriyle geviş getirenlerin sindirme süreçleri arasında paralellikler bulunmaktadır. Yenilenebilir hammaddelerde bunun için gereken endeks verileri, DLG yem değeri tablolarından temin edilebilir. Bu tablolarda kuru madde (KM) bağlamında WEENDER YEM MADDESİ ANALİZİ'nden ve bunların sindirilebilirliklerinden (VQ) kül (RA), ham elyaf (RF)i yağ (RL), protein (RP) ve azot içermeyen ekstrakt maddelerinin (NfE) oranları bulunmaktadır. RF ve NfE oranları birlikte karbonhidrat miktarını verirler.

Her bir madde grubu için görece farklı karbon oranlarından tespit edilen özgül gaz üretimi ve metan miktarı bilinmektedir (Tablo 2.3) [2-6], [2-25].

Bu bilgilerle organik kuru madde ve her kg kuru madde başına içindeki sindirilebilir madde gruplarının kütlesi hesaplanabilir [2-24]:

OKM miktarı:	
(1000 - Ham kül <sup>1)</sup> )/10	[KM %]
Sindirilebilir protein:	
(Ham protein · VQ <sub>RP</sub> )/1000	[kg/kg KM]
Sindirilebilir yağ:	
(Ham yağ · VQ <sub>RL</sub> )/1000	[kg/kg KM]
Sindirilebilir karbonhidrat:	
((Ham elyaf · VQ <sub>RF</sub> ) + (NfE · VQ <sub>NfE</sub> ))/1000	[kg/kg KM]

<sup>1)</sup> g/kg olarak

Diğer hesaplamaların nasıl yapılacağı ot silajı (mera otlak, 1. büyüme orta çiçeklenme) örneğinde netleştirilebilir (Tablo 2.4).

Buradan şunlar hesaplanır:

OKM miktarı:

$$(1000 - 102)/10 = \% 89,8 \text{ (KM)}$$

Tablo 2.3: İlgili madde gruplarının özgül biyogaz üretimi ve metan miktarı [2-25]

	Biyogaz üretimi [l/kg OKM]	Metan miktarı [Hac.-%]
Sindirilebilir protein (RP)	700	71
Sindirilebilir yağ (RL)	1.250	68
Sindirilebilir karbonhidrat (RF + NfE)	790	50

Tablo 2.4: Ot silajı parametreleri

KM [%]	Ham kül (RA) [g/kg KM]	Ham protein (RP) [g/kg KM]	VO <sub>RP</sub> [%]	Ham yağ (RL) [g/kg KM]	VO <sub>RL</sub> [%]	Ham selüloz (RF) [g/kg KM]	VO <sub>RF</sub> [%]	NfE [g/kg KM]	VO <sub>NfE</sub> [%]
35	102	112	62	37	69	296	75	453	73

Sindirilebilir Protein:

$$(112 \cdot \% 62)/1000 = \mathbf{0,0694 \text{ kg/kg KM}}$$

Sindirilebilir yağ:

$$(37 \cdot \% 69)/1000 = \mathbf{0,0255 \text{ kg/kg KM}}$$

Sindirilebilir karbonhidrat:

$$((296 \cdot \% 75) + (453 \cdot \% 73))/1000 = \mathbf{0,5527 \text{ kg/kg KM}}$$

Buradan her bir madde grubunun kg OKM başına kütlesi hesaplanabilir. Bu sonuçlar Tablo 2.3'deki değerlerle çarpılır ve Tablo 2.5'de belirtilen biyogaz ve metan verimi değerlerine ulaşılır.

Tablo 2.5: Ot silajından biyogaz ve metan verimi

	Biyogaz verimi [l/kg OKM]	Metanverimi [l/kg OKM]
Sindirilebilir protein (RP)	48,6	34,5
Sindirilebilir yağ (RL)	31,9	21,7
Sindirilebilir karbonhidrat (RF + NfE)	436,6	218,3
<b>Toplam (kg OKM başına)</b>	<b>517,1</b>	<b>274,5</b>

Her kg hammadde başına buradan yaklaşık % 53 metan oranına sahip 162.5 litre biyogaz elde edilir. Bu bağlamda özellikle belirtmek gereklidir ki, pratikte elde edilen metan verimi hesaplanan verimden daima daha fazladır. Şu anki bilgi seviyemize göre, gaz veriminin kesin olarak hesaplanabileceği ve istatistiksel olarak ispatlanmış bir yöntem mevcut değildir. Burada açıklanan yöntem sadece materyallerin birbiriyle kıyaslanmalarını sağlamaktadır.

Ancak materyallerin fermentördeki bekleme süreleri, kuru madde oranı, yağ asidi oranları ve bulunması olası zararlı maddeler gibi başka faktörler de

ulaşılabilir biyogaz üretimini etkilemektedir. Örneğin bekleme süresinin artırılmasıyla daha iyi bir bozunma derecesi ve buna bağlı olarak daha yüksek bir gaz üretimi (hammadde özgül gaz üretimi) gerçekleşmektedir. İlerleyen bekleme süresiyle birlikte giderek daha fazla metan açığa çıkar, bu da gaz karışımının ısı değerini yükseltir.

Bu bölümün başında da belirtildiği gibi, geniş getiren hayvanların işkembelerinde yaşanan süreçler ve bozunma süreçleri arasında benzerlikler bulunmaktadır, ancak her iki "sistem" de de biyogaz üretimini etkileyebilecek farklı sinerji etkileri ortaya çıktığı için, bu süreçler birbirleriyle ancak belli ölçülerde kıyaslanabilir. Bundan ötürü tasvir edilen hesaplama yöntemi gerçek gaz ve metan verimini sadece tahmin edebilir ve bundan ötürü işletmelerde veya ekonomik hesaplarda **kullanılmamalıdır!** Ancak yine de tasvir edilen bu yöntem biyogaz verimine dair bir tahminin yapılmasında ve farklı materyallerin birbirleriyle kıyaslanmasında kullanılabilir.

Isının yükseltilmesiyle birlikte bozunma süreçlerinin hızı da artırılır. Ancak bu belli bir ölçüde mümkündür, çünkü azami sıcaklığın aşılması halinde bakteriler zarar görebilir ve aksi yönlü bir etki ortaya çıkabilir (bkz. Böl. 2.2.2). Artan gaz üretimine ek olarak sıvı aşamada daha fazla karbondioksit serbest bırakılır, bu da gaz karışımının ısı değerinin düşmesine neden olur.

Fermentördeki kuru madde miktarı (KM miktarı) gaz verimi bakımından iki açıdan önemlidir. Bir yandan yüksek KM miktarında materyal transferi zorlaşır, dolayısıyla mikroorganizmalar materyali sadece doğrudan temas alanlarında bozunmaya uğratabilirler. Hatta %≥40 üzerinde çok yüksek kuru madde oranlarında, mikroorganizmaların büyümesi için yeterli miktarda su mevcut olmadığından fermentasyon tümüyle durabilir. Öte yandan yüksek kuru madde miktarları zararlı maddelerle de sorunlara yol açabilir, çünkü bunlar düşük su miktarı nedeniyle konsantre formda bulunurlar. Kullanılan hammaddelerin mekanik veya termik ön işleme verimi artırabilir, çünkü bu sayede materyal bakteriler tarafından daha iyi kullanılabilir [2-4].

### 2.3.4.2 Gaz kalitesi

Biyogaz, ağırlıklı olarak metan (CH<sub>4</sub>) ve karbondioksitten (CO<sub>2</sub>), ayrıca su buharından ve eser miktarda diğer gazlardan oluşan bir gaz karışımıdır.

Burada ilk etapta metan oranı önem taşımaktadır, çünkü metan biyogazın yanıcı kısmını teşkil etmekte ve böylece ısı değerini doğrudan etkilemektedir. Biyogazın bileşimine hedefe yönelik proses kontrolüyle sadece sınırlı ölçüde tesir edilebilir. Biyogaz bileşimi ilk etapta girdi malzemesinin bileşimine bağlıdır. Bunun ötesinde metan oranı fermantasyon ısısı, reaktörün yükleme oranı ve hidrolik bekleme süresi gibi proses parametrelerinin yanı sıra, proseslerde yaşanan duraklamalardan ve biyolojik desülfürizasyon işleminden de etkilenir.

Hedeflenebilir metan verimi ise asıl olarak kullanılan materyallerin bileşimi, yani yağ, protein ve karbonhidrat oranları tarafından belirlenir (bkz. Böl.2.3.4.1) Bu esnada yukarıda anılan madde gruplarının spesifik metan verimleri, aynı sıralamaya bağlıdır. Kütleyle bağlı olarak, karbonhidrat yerine yağ kullanılması durumunda daha yüksek bir metan verimi elde edilir.

Gaz karışımının kalitesi bakımından eser gaz hidrojen sülfür ( $H_2S$ ) konsantrasyonu önemli bir rol oynar. Hidrojen sülfür çok düşük konsantrasyonlarda bile bozunma süreci üzerinde engelleyici bir etki yaratabildiği için, fazla yüksek olmamalıdır. Öte yandan biyogazdaki yüksek  $H_2S$  konsantrasyonları kullanım esnasında kombine ısı ve enerji santrallerinde ve ısı kazanlarında korozyon hasarlarına neden olur. Biyogazın ortalama bileşimine dair genel bilgi tablo 2.6'da verilmiştir.

Tablo 2.6: ([2-1])'e göre biyogazın ortalama bileşimi

Bileşen	Konsantrasyon
Metan ( $CH_4$ )	50-75 Hac.-%
Karbondioksit ( $CO_2$ )	25-45 Hac.-%
Su ( $H_2O$ )	2-7 Hac.-% (20-40 °C)
Hidrojen sülfür ( $H_2S$ )	20-20000 ppm
Azot ( $N_2$ )	< 2 Hac.-%
Oksijen ( $O_2$ )	< 2 Hac.-%
Hidrojen ( $H_2$ )	< 1 Hac.-%

## 2.4 Kaynakça

- [2-1] Kaltschmitt, M.; Hartmann, H.: Energie aus Biomasse – Grundlagen, Techniken und Verfahren; Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 2001
- [2-2] Braun, R.: Biogas – Methangärung organischer Abfallstoffe; Springer Verlag Wien, New York, 1982
- [2-3] Kloss, R.: Planung von Biogasanlagen; Oldenbourg Verlag München, Wien, 1986
- [2-4] Schattner, S.; Gronauer, A.: Methangärung verschiedener Substrate – Kenntnisstand und offene Fragen, Gülzower Fachgespräche, Band 15: Energetische Nutzung von Biogas: Stand der Technik und Optimierungspotenzial, S. 28–38, Weimar, 2000
- [2-5] Wandrey, C.; Aivasidis, A.: Zur Reaktionskinetik der anaeroben Fermentation; Chemie-Ingenieur-Technik 55, Nr. 7, S. 516–524, Weinheim, 1983
- [2-6] Weiland, P.: Grundlagen der Methangärung – Biologie und Substrate; VDI-Berichte, Nr. 1620 „Biogas als regenerative Energie – Stand und Perspektiven“; S. 19-32; VDI-Verlag 2001
- [2-7] Bauer, C.; Korthals, M.; Gronauer, A.; Leubhn, M.: Methanogens in biogas production from renewable resources – a novel molecular population analysis approach. Water Sci. Tech. 2008, 58, No. 7, S. 1433–1439
- [2-8] Leubhn, M.; Bauer, C.; Gronauer, A.: Probleme der Biogasproduktion aus nachwachsenden Rohstoffen im Langzeitbetrieb und molekularbiologische Analytik. VDLUFA-Schriftenreihe 64, 2008, S. 118–125
- [2-9] Kroiss, H.: Anaerobe Abwasserreinigung. Wiener Mitteilungen Bd. 62; Technische Universität Wien, 1985
- [2-10] Demirel, B.; Neumann L.; Scherer, P.: Microbial community dynamics of a continuous mesophilic anaerobic biogas digester fed with sugar beet silage. Eng. Life Sci. 2008, 8, No. 4, S. 390–398
- [2-11] Oechsner, H., Lemmer, A.: Was kann die Hydrolyse bei der Biogasvergärung leisten?, VDI-Berichte 2057, 2009, S. 37–46
- [2-12] Lindorfer, H.; Braun, R.; Kirchmeyr, R.: The self-heating of anaerobic digesters using energy crops; Water Science and Technology 53 (8), 2006
- [2-13] Wellinger, A.; Baserga, U.; Edlmann, W.; Egger, K.; Seiler, B.: Biogas-Handbuch, Grundlagen – Planung – Betrieb landwirtschaftlicher Anlagen, Verlag Wirz – Aarau, 1991
- [2-14] Weiland, P.: Stand und Perspektiven der Biogasnutzung und -erzeugung in Deutschland, Gülzower Fachgespräche, Band 15: Energetische Nutzung von Biogas: Stand der Technik und Optimierungspotenzial, S. 8–27, Weimar, 2000
- [2-15] Abdoun, E.; Weiland, P.: Optimierung der Monovergärung von nachwachsenden Rohstoffen durch die Zugabe von Spurenelementen; Bornimer Agrartechnische Berichte Nr. 68, Potsdam, 2009
- [2-16] Bischoff, M.: Erkenntnisse beim Einsatz von Zusatz- und Hilfsstoffen sowie Spurenelementen in Biogasanlagen; VDI Berichte Nr. 2057; „Biogas 2009 – Energieträger der Zukunft“; VDI Verlag, Düsseldorf, 2009

- [2-17] Bischoff, Manfred.:Persönliche Mitteilung, 2009
- [2-18] Seyfried, C.F. et al.: Anaerobe Verfahren zur Behandlung von Industrieabwässern. Korrespondenz Abwasser 37, S. 1247–1251, 1990
- [2-19] Preißler, D.: Die Bedeutung der Spurenelemente bei der Ertragssteigerung und Prozessstabilisierung; Tagungsband 18. Jahrestagung des Fachverbandes Biogas, Hannover, 2009
- [2-20] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (Hrsg.): Biogas-Messprogramm II, Gülzow, 2009
- [2-21] Maurer, M.; Winkler, J-P., Biogas – Theoretische Grundlagen, Bau und Betrieb von Anlagen, Verlag C.F. Müller, Karlsruhe, 1980
- [2-22] VDI-Richtlinie 4630: Vergärung organischer Stoffe. Substratcharakterisierung, Probenahme, Stoffdatenerhebung, Gärversuche. VDI-Gesellschaft Energietechnik, 2006
- [2-23] KTBL (Hrsg.): Faustzahlen Biogas. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, 2009
- [2-24] Biogasanlagen zur Vergärung nachwachsender Rohstoffe; Tagungsband; Barnstorfer Biogastagung 2000; Ländliche Erwachsenenbildung Niedersachsen (LEB)
- [2-25] Baserga, U.: Landwirtschaftliche Co-Vergärungs-Biogasanlagen; FAT- Berichte Nr. 512, 1998





# Biyogaz üretimi için tesis teknolojisi

Biyogaz üretimi için tesis teknolojisi, bu bölümde açıklanan son derece geniş bir yelpazeden oluşmaktadır. Bileşen ve düzenek kombinasyonları olasılıkları neredeyse sınırsızdır. Bundan ötürü çeşitli düzenekler teknik örneklerle tartışılacaktır. Somut uygulama durumu için uzman personel tarafından düzeneklerin ve sistemin uygunluğu, ayrıca performans uyumluluğu kontrolü yapılmalıdır.

Bir biyogaz tesisi kurulacağı zaman işin bir bütün olarak tek bir müteşebbis tarafından üstlenilmesi oldukça yaygındır, bu da yüklenici için avantajlar ve dezavantajlar oluşturmaktadır. Tek müteşebbis söz konusu olduğunda, kullanılan teknolojinin genel olarak bir-biriyle uyumlu olması ve hem münferit tesis bileşenleri, hem de bütün tesis için teminatın yerine getirilmesi bir avantaj olarak değerlendirilir. Bu sayede biyogaz üretimi prosesinin işlevselliği de teminatın yerine getirilmesinin bir parçasıdır. Genel bir müteşebbin görevlendirilmesi durumunda, tesisin devri kural olarak performans kontrolünden sonra yani anma gücüne ulaştıktan sonra yapılır. İkincisi de devrin gecikmesi durumunda tesisin müstakbel işletmecisinin maddi zarara uğramaması bakımından çok önemlidir. Yüklenicinin kullanılan teknolojilerin ayrıntıları üzerinde düşük bir etkiye sahip olması bir dezavantaj teşkil edebilir, çünkü genel müteşebbislerin çoğu çok esnek olmayan standart tesis modülleri kullanmaktadır. Buna rağmen modüler yapı tarzı tesisin izin, kurulum ve işletme süreçlerinde zaman kazandırır ve montaj avantajı sağlar.

Buna karşın yüklenici için tesis işletmecisinden sadece planlama hizmetini satın alma seçeneği de bulunmaktadır (mühendislik sözleşmesi).

Yapım aşamaları yüklenici tarafından ayrı ayrı uzman firmalara verilir. Bu yöntem yüklenicinin sürece büyük ölçüde katılımını mümkün kılar, ancak bu yöntem yüklenicinin konuya vakıf olması durumunda anlamlıdır. Burada dezavantajlı olan husus başlangıç işle-timi ve performans kontrolü riskinin yükleniciye ait ol-

ması, yasal haklar için uzman firmalarla ayrı ayrı görüşülmesi gerekliliğidir.

## 3.1 Yöntemlerin özellikleri ve aralarındaki farklılıklar

Biyogaz üretimi farklı yöntemlerle gerçekleşir. Tipik özellikler tablo 3.1’de tasvir edilmektedir.

Tablo 3.1: Biyogaz üretim yöntemlerinin farklı kriterlere göre sınıflandırılması

Kriter	Ayrıci özellikler
Materyallerin kuru madde miktarları Materyal	- Yaş fermantasyon - Katı fermantasyon
Besleme türü	- Sürekli olmayan besleme - Kesik besleme - Sürekli besleme
Proses aşamalarının sayısı	- Tek aşamalı - İki aşamalı
Proses ısısı	- Sakrofil - Mezofil - Termofil

### 3.1.1 Fermantasyon materyallerinin kuru madde oranı

Materyallerin niteliği içlerindeki kuru madde oranına bağlıdır. Bu da biyogaz teknolojisinin yaş ve katı fermantasyon süreci olarak temel ayırımını teşkil eder. Yaş fermantasyon sürecinde pompalamaya uygun materyallerle çalışılır. Katı fermantasyonda istiflenebilir materyaller kullanılır.

Yaş fermantasyon ile katı madde fermantasyonu (kuru fermantasyon olarak da adlandırılır) kavramları arasında belirgin bir sınırlama mevcut değildir. Federal Çevre Bakanlığı’nın bir yorumunda EEG 2004 düzenlemeleri esas alınarak “kuru fermantasyon” belirli



koşullara bağlanmıştır. Buna göre girdi içindeki kuru madde oranının en az % 30 olması ve fermentördeki yükleme oranının en az  $3,5 \text{ kg}_{\text{OKM}}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$  olması gerekmektedir.

Yaş fermantasyon sürecinde fermentör sıvısında kuru madde oranı % 12'e kadar olabilir. Ana kural olarak kullanılan materyalin pompalanabilirliği için % 15'lik bir kuru madde oranı söz konusudur, ancak bu veri kalitatif ve kullanılan bütün materyaller için uygulanamaz. İnce dispersli partikül dağılımına ve yüksek miktarda çözünmüş maddelere sahip bazı materyaller % 20 oranına kadar kuru madde miktarına sahip olsalar bile pompalanabilirler, örneğin tankerden gelen disperse edilmiş yemek artıkları gibi. Buna karşın, örneğin meyve ve sebze kabukları gibi bazı materyaller ise % 10-12 kütle oranlarında bile istiflenebilir formda bulunmaktadır.

Tarımsal biyogaz tesislerinde ağırlıklı olarak klasik silindirik şeklindeki tanklarda yaş fermantasyon uygulanmaktadır. Yapımı gerçekleştirilmiş katı madde fermantasyonu tesisleri ise geçtiğimiz beş yılda – 2004 yılındaki 1. EEG değişikliğinden sonra - piyasa olgunluğuna ulaşmıştır ve özellikle yenilenebilir hammaddeler alanında uygulama bulmaktadır. Fermentör yapısı formlarına dair detaylı bir açıklama 3.2.2.1 içinde verilmiştir.

### 3.1.2 Besleme türü

Biyogaz tesisinin besleme rejimi büyük ölçüde mikroorganizmalar için taze materyal bulunabilirliğine bağlıdır ve biyogaz üretimi üzerinde de etkili olur. Materyal ihtiyacının karşılanması sürekli besleme, kesik besleme ve sürekli olmayan besleme şeklinde üç ayrı yöntemle gerçekleşir.

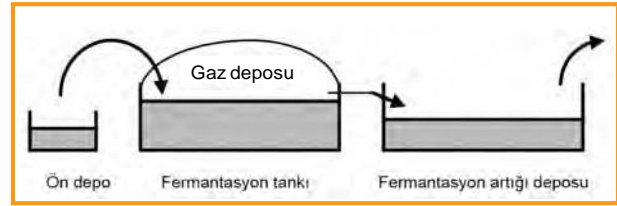
#### 3.1.2.1 Sürekli ve kesik besleme

Materyal ihtiyacının sürekli ve kesik besleme ile karşılanmasında sürekli yüklemeli yöntem ile depolamalı-akışlı yöntem söz konusudur. Kaynaklarda halen kısmen anılan beklemeli yöntem burada ele alınmayacaktır, çünkü bu yöntem ekonomik ve teknik nedenlerden ötürü pratikte yok denecek kadar az uygulanmaktadır. Sürekli besleme yönteminin aksine, kesikli besleme yönteminde fermentöre günde en az bir kez taze materyal şarjı yapılmaktadır. Günde birkaç kez küçük miktarlarda materyal şarjının daha avantajlı olduğu görülmüştür.

### Sürekli yüklemeli sistem

Geçmişte biyogaz tesislerinin birçoğu sürekli yüklemeli sistemiyle çalışacak şekilde kuruluyordu. Bu sistemde materyal bir stoklama tankından veya hazırlama tankından günde birkaç kere fermentöre pompalanır. Fermentöre aktarılan taze materyal miktarı ile aynı miktarda materyal fermantasyon atığı deposuna aktarılır. Bu işlem ya yeni yüklenen materyalin basınç etkisiyle gerçekleşir, ya da bir düzenek aracılığı ile fermentörden alınır (bkz. Şekil 3.1).

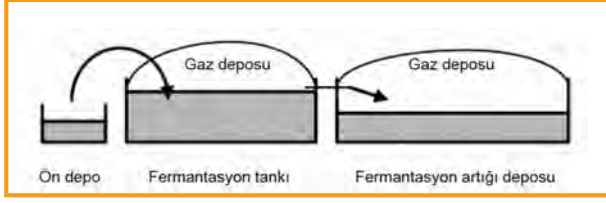
Fermentör bu yöntemde daima doludur ve sadece tamirat çalışmaları için boşaltılır. Bu yöntem dengeli bir gaz üretimini ve fermentörden optimum faydalanmayı sağlar. Ancak yine de fermentörde bypas akımı, yani yeni ilave edilen materyalin derhal yeniden tankı terk etme tehlikesi söz konusudur [3.2]. Bunun yanı sıra açık fermantasyon artığı depolarında metan gazı emisyonu oluşmaktadır. 2009 yılındaki 2 EEG değişikliğiyle birlikte gaz kaçırmayacak şekilde yalıtılmış fermantasyon artığı depolarına önem verilmektedir, bundan ötürü salt akış yöntemi ileride önemini tümüyle yitirecektir.



Şekil 3.1: Akış yöntemi şeması

### Depolamalı- akışlı yöntemi

Sürekli yüklemeli sistemin bir değişik şeklidir. Bu yöntemde göre çalışan biyogaz tesislerinde fermantasyon artığı deposunun üzeri diğerlerinde olduğu gibi örtülüdür. Bu şekilde ortaya çıkan biyogaz tutulmakta ve değerlendirilmektedir. Yani fermantasyon artığı deposu bir tür "depolama tesisi" görevi görmektedir. Bu depolama tesisi kısmının önünde bir akış fermentörü devreye sokulmuştur. Örneğin gübre olarak kullanılmak üzere çok miktarda fermente olmuş materyale ihtiyaç duyuluyorsa, bu durumda akış fermentöründen de materyal alınabilir. Şekil 3.2'de işlem şematik olarak gösterilmektedir. Bu yöntem düzenli bir gaz üretimi sağlamaktadır. Bekleme süresi tam olarak saptanamayabilir, çünkü akış fermentöründe bypas akımları söz konusu olabilir [3.2]. Bu yöntem teknolojinin son durumuna uygundur. Fermantasyon artığı deposunun üzerinin örtülmesiyle oluşabilecek yatırım maliyeti, elde edilen ilave gaz miktarıyla kesin olarak karşılanır.



Şekil 3.2: Depolamalı-akışlı yöntem

### 3.1.2.2 Kesik besleme (Batch –Beklemeli sistem)

Kesik beslemede fermentör tümüyle taze materyalle doldurulur ve ağzı hava almayacak şekilde kapatılır. Materyal belirlenen bekleme süresinin sonuna kadar tankta kalır, bu esnada materyal eklenmesine veya alınmasına gerek yoktur. Bekleme süresinin bitimiyle birlikte fermentör boşaltılır ve taze materyalle yeniden doldurulur, bu esnada bozunmuş materyalin küçük bir kısmı yeni ilave edilen materyalin aşılmasını için tankta bırakılabilir. Kesik besleme kabının hızlı bir şekilde doldurulması ve boşaltılması için, ilave taze materyal ve depolama tanklarına ihtiyaç duyulmaktadır. Beklemeli sistemde gaz üretim miktarı zamana bağlı olarak değişmektedir. Örneğin gaz üretimi doludan sonra yavaşça artar, materyale göre birkaç gün zarfında azami seviyeye ulaşır, sonra da sürekli olarak düşer. Bundan ötürü tek bir fermentörde sabit bir gaz üretimi ve kalitesi söz konusu değildir, aksine birden fazla fermentörün değişik zamanlarda doldurulmasıyla (dönüşümlü tank yöntemi) dengelenmelidir. Bu sayede asgari bekleme süresine tam olarak uyulabilir [3-2]. Tek fermentörlü kesik besleme yönteminin uygulama bakımından anlamı yoktur, dönüşümlü tank yöntemi ilkesi konteynır tipi tesislerde (katı madde fermantasyonu) kullanılır.

### 3.1.3 Proses aşamalarının ve basamaklarının sayısı

Proses aşaması olarak pH değeri veya ısı gibi kendine özgü proses koşulları olan biyolojik çevre – hidroliz veya metanlaştırma aşaması – anlaşılmaktadır. Aynı tankta işlem söz konusu olduğunda, tek aşamalı bir prostesten söz edilmektedir. Aynı tanklarda hidroliz ve metanlaştırma uygulandığında, işletme iki aşamalıdır. Basamak, biyolojik aşamadan bağımsız olarak proses tankını tanımlar.

Buna bağlı olarak örneğin tarımda sıklıkla rastlanan ve hazırlık tankı, fermentör ve fermantasyon sonrası depodan oluşan tesis konsepti bir aşamalı ama üç basamaklıdır. Açık hazırlık tankı ise bir aşama teşkil etme-

mektedir. Buna karşın kapalı ön depo ayrı bir aşama (hidroliz aşaması) olarak değerlendirilmektedir. Fermentör ile fermantasyon sonrası tankı birlikte metan aşaması olarak değerlendirilir.

Tarımsal biyogaz tesislerinde genellikle bir veya iki aşamalı yöntemler kullanılır, ancak ağırlık tek aşamalı tesislerde [3-1].

## 3.2 Uygulama tekniği

Bir tarımsal biyogaz tesisi işletme tarzından bağımsız olarak dört farklı uygulama adımına ayrılabilir:

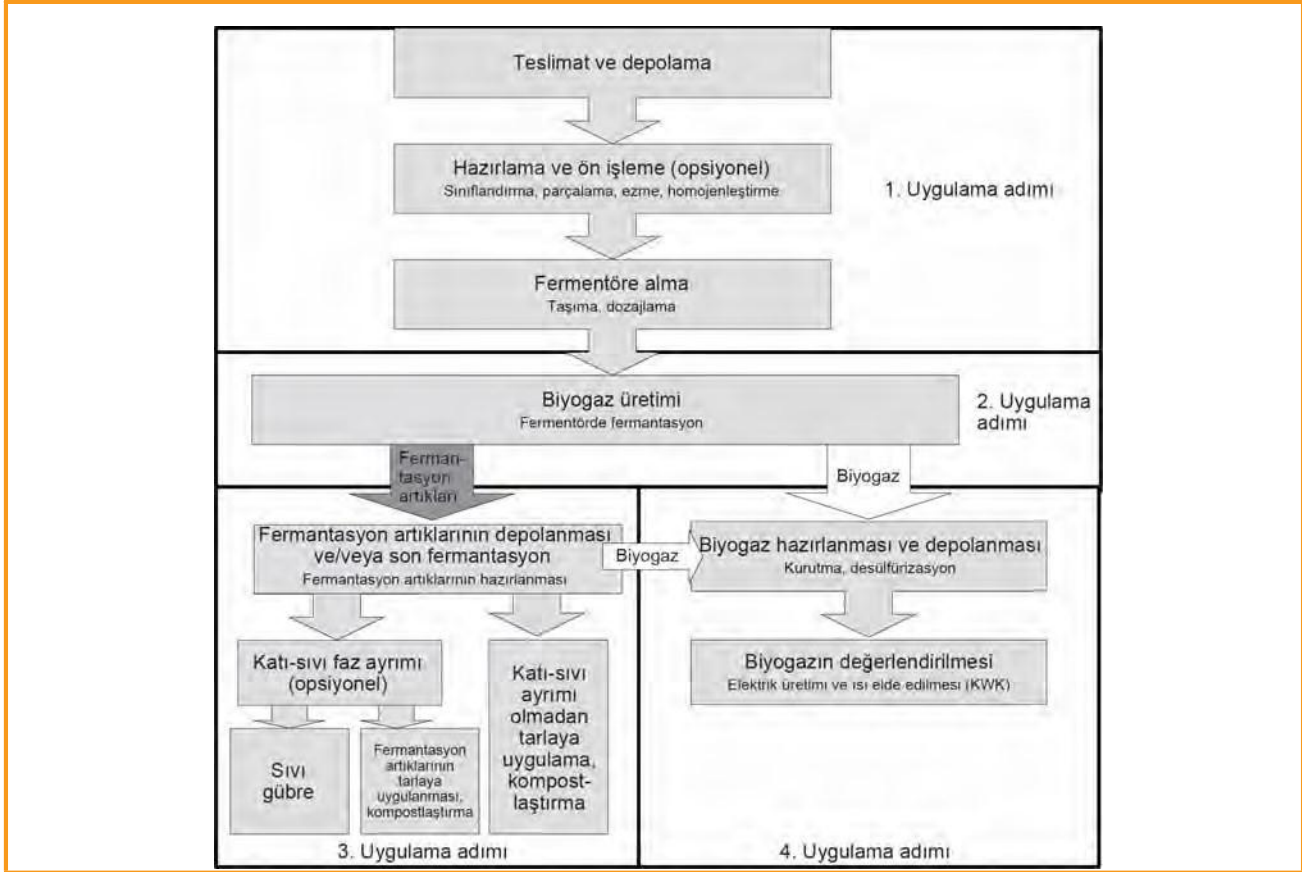
1. Materyal yönetimi (tedarik, depolama, hazırlama, nakliyat ve fermentöre alınma)
2. Biyogaz elde edilmesi
3. Fermantasyon artıklarının depolanması, tanktan çıkartılması
4. Biyogazın depolanması, hazırlanması ve değerlendirilmesi. Her bir adım şekil 3.3'te ayrıntılı olarak gösterilmiştir.

Bu dört uygulama adımı birbirinden bağımsız değildir. Özellikle Adım 2 ile Adım 4 arasında yakın bir ilişki mevcuttur, çünkü Adım 4 normalde Adım 2'de ihtiyaç duyulan proses ısısını sağlamaktadır.

Adım 4'e ait biyogazın hazırlanması ve değerlendirilmesi bölüm 6'da, fermantasyon artıklarının hazırlanması ve işlenmesi ise bölüm 10'da ayrı ayrı tasvir edilmektedir. Burada birbiri ardına Adım 1. 2 ve 3'te teknoloji ve teknik kullanımı ele alınacaktır.

Tesis için yöntem tekniğine uygun hangi donanımın seçileceği, esas olarak mevcut materyallere bağlıdır. Materyallerin miktarı bütün düzeneklerin ve tankların hacimlerini belirlemektedir. Materyallerin kalitesi (KM miktarı, yapı, köken vs.) uygulama tekniğinin yorumunu belirleyecektir. Materyallerin bileşimine göre zararlı maddeleri ayırmak ya da pompalanacak duruma gelmeleri için materyallere su karıştırmak gerekebilir. Hijyenleştirilmeleri gereken maddeler kullanıldığı takdirde, bir hijyenleştirme basamağının planlanması zorunludur. Materyal bir ön işlemeden sonra bozunacağı fermentöre aktarılır.

Yaş fermantasyonda genellikle sürekli yüklemeli yöntemlere göre çalışan bir ve iki basamaklı tesisler kullanılır. İki basamaklı yöntemlerde asıl fermentöre bir fermantasyon sonrası deposu eklenmektedir. Materyal, fermentörden zor bozunan materyallerin de bozunmasını sağlamak için fermantasyon sonrası tankına aktarılır. Fermantasyon artıkları kapalı fermantasyon artığı tanklarında ya da açık fermantasyon artığı tanklarında depolanır ve genel olarak sıvı gübre şeklinde tarım alanlarına uygulanır. Fermantasyon esnasında ortaya



Şekil 3.3: Biyogaz üretiminde genel uygulama süreci, [3.3]'e göre

çıkan biyogaz depolanır ve temizlenir. Bu biyogaz genellikle aynı anda elektrik ve ısı üretimi için kojenerasyon santrallerinde (BHKW) değerlendirilir. Şekil 3.4'te tek basamaklı ve hijyenleştirme gereken komateryal de kullanan bir tarımsal biyogaz tesisinin belli başlı tesis bileşenleri, yapı grupları ve düzenekleri, gösterilmektedir.

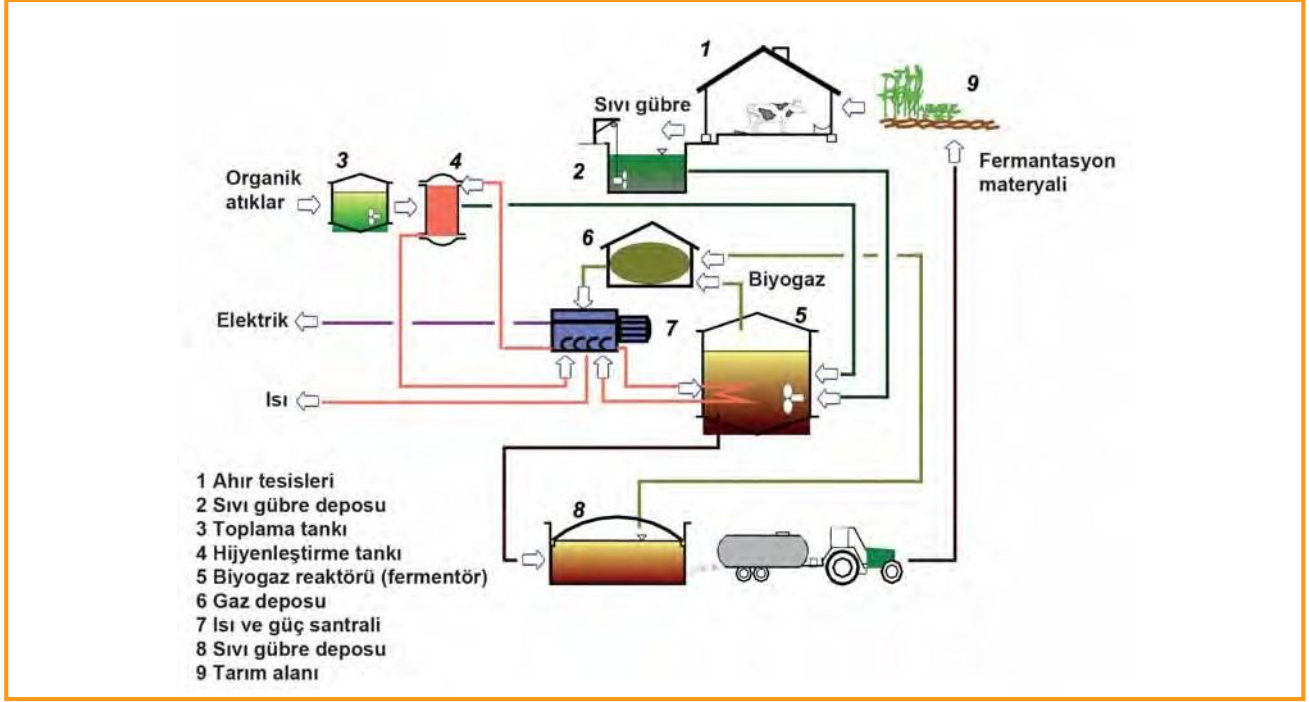
Burada uygulama adımları şu şekildedir: İlk uygulama adımının (depolama, hazırlama, nakliyat ve materyallerin fermentöre alınması) unsurları arasında sıvı gübre çukuru veya hazırlık tankı (2), toplama kabı (3) ve hijyenleştirme tankı bulunmaktadır (4). İkinci uygulama adımı (biyogaz üretimi), aynı zamanda fermentör olarak da adlandırılan biyogaz reaktöründe (5) gerçekleştirilir. Üçüncü uygulama adımı sıvı gübre deposu (8) veya fermantasyon atığı deposundan ve fermente olmuş materyallerin tarım alanına götürülmesinden (9) oluşmaktadır. Dördüncü uygulama adımı (biyogaz depolanması, hazırlanması ve değerlendirilmesi) gaz deposunda (6) ve kojenerasyon santralinde (7) uygulanır. Tek tek uygulama adımları sonraki bölümlerde daha ayrıntılı olarak ele alınacaktır.

### 3.2.1 Materyal yönetimi

#### 3.2.1.1 Tedarik

Tedarik sadece işletme dışından temin edilen komateryallerin kullanılması durumunda önemli bir rol oynar. Gereken hesapların ve ispat yükümlülüklerinin yerine getirilebilmesi için tedarik esnasında kalite taleplerinin karşılanması bakımından materyalin en azından görsel bir kontrolü mutlaka yapılmalıdır. Büyük tesisler, materyalin tedarik sözleşmesinde belirlenen şartlara uygun olup olmadığını kontrol etmek ve ödemeyi bu sonuca göre yapmak için kuru maddenin ve kısmen de yem fraksiyonlarının kontrolü için gidecek daha hızlı kontrol yöntemleri geliştirmektedir.

Esas olarak tedarik ağırlığı kaydedilmeli ve bütün giriş verileri tutanak altına alınmalıdır. Atık olarak sınıflandırılan materyallere özel bir önem verilmelidir. Burada atığın hangi sınıfa girdiğinin belgelenmesi gerekebilir ve bu belge ilgili makamca talep edilebilir. Bundan ötürü kritik materyallerde saklanmak üzere numune alınmalıdır. Yasal ve idari çerçeve koşullarına dair diğer bilgiler Bölüm 7'den elde edilebilir.



Şekil 3.4: Komateryal [ATB] kullanan bir tarımsal biyogaz tesisi şeması

### 3.2.1.2 Depolama

Materyal depoları asıl olarak birkaç saatten iki güne kadar bir zaman dilimindeki ihtiyacın karşılanması için gereken materyal miktarının hazır bulundurulması amacını taşır. Deponun şekli, kullanılan materyale bağlıdır. Depo için gereken alan, temin edilmesi beklenen madde miktarına ve ihtiyacın karşılanacağı zaman dilimine göre düzenlenir. İşletme dışı komater-

yaller kullanıldığı takdirde, alım miktarı ve teslimat sıklığı gibi sözleşmeye bağlı koşullar da bir rol oynar. Hijyen bakımından şüpheli örneğin sanayi kökenli komateryaller kullanıldığı takdirde, kabul istasyonunun tarım işletmesinden kesin bir şekilde ayrılmasına özen gösterilmelidir. Hijyen bakımından şüpheli olan ve olmayan materyallerin, hijyenleştirme tesisine alınmadan önce karışmamaları sağlanmalıdır.

Tablo 3.2: Fermantasyondan önce materyallerin depolanması

Boyutlandırma	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Şunlara bağlıdır: Materyal ihtiyacı, fermentör performansı, karşılanacak tedarik süreleri, komateryallerde alan donanımı ve girdisi, işletme dışı materyallerde sözleşme koşulları, tespit edilmesi olası işletme arızaları</li> </ul>
Özel durumlar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Depolama amaçlı teknik düzeneklerin donmasına engel olunmalıdır, bunun için depolama tanklarının hangarlara konulması, depoların ısıtılması, çukurların toprak seviyesinin altında açılması gerekir</li> <li>• Gaz üretimini azaltacak bozunma proseslerinden kaçınılmalıdır</li> <li>• Hijyenik oldukları bilinen ve bilinmeyen materyallerin birbirine karışması engellenmelidir</li> <li>• Koku emisyonları yapısal tedbirlerle asgariye indirilmelidir</li> <li>• Toprağa ve suya madde emisyonlarını engellenmelidir</li> </ul>
Yapı formları	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Katı materyaller için tarımda kullanılan depolar, hareketli silo, yüksek silo, folyo hortum ve balya silosu, ayrıca üzeri açık ve kapalı depo alanları (örneğin katı gübre deposu), çukurlar/bunkerler</li> <li>• Tanklar ve ön depolar gibi sıvı materyaller için tarımda kullanılan depolar</li> </ul>
Giderler	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Normalde depolar mevcuttur, yeni yapılarda yukarıda belirtilen etki büyüklüklerinin sayısına bağlı olarak fiyat belirlenmelidir</li> </ul>

Kapalı depolarda koku oluşumu sadece emisyon mevzuatına bağlı olmadan da asgariye indirilmelidir. Bu, depolamanın yanı sıra materyallerin kabulünün ve hazırlanmasının yapıldığı büyük kapalı alanlarda gerçekleştirilebilir. Buralarda kirli hava toplanabilir ve uygun havalandırma tertibatları ile dışarı atılabilir (örneğin yıkayıcı ve/veya biyofiltre). Atık fermantasyonu tesislerinde bu büyük kapalı alanlar sıklıkla bir düşük basınç tertibatıyla donatılmıştır, bu sayede emme düzeneğine ek olarak kokuların dışarı çıkması büyük ölçüde engellenir. Kokuların azaltılmasının yanı sıra büyük kapalı alanların bir başka faydası, kumanda ve kontrol çalışmalarının hava koşullarına bağlı olmadan yürütülmesi ve bunun yanı sıra gürültünün engellenmesine yönelik mevzuat hükümlerinin de yerine getirilmesinin sağlanmasıdır. Tablo 3.2 materyallerin depolanmasını göstermektedir.

### 3.2.1.3 Hazırlama

Materyallerin hazırlanmasının türü ve kapsamı bir yandan zararlı madde miktarına bağlı olarak materyallerin genel kullanılabilirliğini etkilemekte olup, tesis teknolojisi üzerinde doğrudan etkilidir. Bunun ötesinde uygun Hazırlama işlemiyle fermantasyon prosesinin işleyişi ve bu sayede kullanılan materyallerin enerji potansiyelinin tümüyle değerlendirilmesi olumlu olarak etkilenir.

#### Tasnif ve zararlı maddelerin ayrılması

Tasnif ve zararlı maddelerin ayrılması zorunluluğu, materyalin kökenine ve bileşimine bağlıdır. En fazla görülen zararlı maddelerden olan taşlar genellikle hazırlık tankında ayrılırlar ve zaman zaman toplanmaları gerekir. Ayrıca taşıma tertibatının üzerine doğrudan materyal hattına bağlanan ağır materyal tutucular da



Şekil 3.5: Bir boru hattında ağır materyal tutucu [DBFZ]

kullanılmaktadır (bkz. Şekil 3.5). Materyal beslemesi ya da düzeneklerin doldurulması esnasında zararlı maddeler manuel olarak ayıklanmaktadır. Biyolojik atıklar büyük bir zararlı madde potansiyeline sahip olabilir. Biyolojik atıklar komateryal olarak kullanıldığı takdirde, imkanlar dahilinde materyalde zararlı madde bulunmamasına dikkat edilmelidir. Biyolojik atık tesislerindeki benzer mekanik hazırlama yöntemleri ve tasnif kabinleri bulunan masraflı bir tasnif sistemi, genellikle tarım işletmelerinin imkânlarını aşmaktadır. Buna karşın konteynır şeklindeki fermentörler kaba zararlı maddelerden neredeyse hiç etkilenmemektedir, çünkü materyal nakliyatı genellikle buldozer ve kepçeler tarafından gerçekleştirilmektedir ve bundan ötürü pompalar, armatürler ve taşıma helezonları gibi zararlı maddelere karşı hassas düzeneklerle temas söz konusu değildir.

#### Parçalama

Materyallerin parçalanması ile biyolojik bozunma ve buna bağlı olarak metan üretimi için materyal yüzey alanı oluşturulur. Esas olarak parçalanma derecesinin yükselmesiyle birlikte biyolojik bozunmanın hızının artacağı, ancak gaz veriminin buna bağlı olarak artmayabileceği kabul edilir. Metan üretimi, başka faktörlerin yanı sıra bekleme süresi ile parçalanma derecesinin ilişkisine bağlıdır. Bundan ötürü doğru tekniğin kullanılmasına büyük önem verilmelidir.

Katı materyaller, materyal hazırlama tankına, boru hattına veya fermentöre aktarılmadan önce harici olarak parçalanabilir. Bunun için örneğin kırıcılar, değirmenler, eziciler, ayrıca koparma ve kesme düzenekleri bulunan miller ve helezonlar kullanılmaktadır (bkz. Şekil 3.7). Bıçaklı miller ve kesicili helezonlar yaygın olarak kombine alım ve dozajlama ünitelerinde kullanılmaktadır (bkz. Şekil 3.6). Geniş kullanım alanları nedeniyle parçalama düzenekleri kombine alım ve dozajlama ünitelerindeki katı madde dozajlamasında (Tablo 3.3), ayrıca değirmenlerde ve kırıcılarda (Tablo 3.4) kullanılmaktadır.

Katı maddelerin hazırlık tankına, boru hattına veya fermentöre girmesinden önce parçalanmasına karşın, katı madde veya elyaf içeren sıvılar doğrudan hazırlık tankında, diğer karıştırma tanklarında veya boru hattında parçalanabilir. Bu özellikleri nedeniyle besleme düzeneğinin (örneğin pompa) çalışma yeteneğine zarar verebilecek materyallerde veya materyal karışımlarında önemli olabilir. Parçalama işlemi, fermentörün önündeki tankta bulunan ve parçalama işlevi de gören karıştırıcılarla da gerçekleştirilebilir. Yine de genellikle parçalama ve taşıma üniteleri bir boru hattına bağlı olarak, doğrudan kuplaj formunda



Şekil 3.6: Parçalama tertibatlı bir yükleme düzeneği  
[Konrad Pumpe GmbH]

bir tek düzeneğin içinde bir araya getirilmektedir. Düzeneklerin tahriki genellikle elektrikli bir motor üzerinden, kısmen de bir traktörün kuyruk miline bağlanmak suretiyle gerçekleştirilir. Parçalama imkânları şekil 3.8 ile 3.9’da, ayrıca tablo 3.5 - 3.7 içinde gösterilmiş ve açıklanmıştır.

Tablo 3.3: Kombine alım ve dozajlama ünitelerinde harici parçalama düzeneklerinin referans değerleri ve uygulama parametreleri

Referans değerler	• Piyasada bulunan tek düzeneklerde günde 50 m <sup>3</sup> parçalanabilir (materyal miktarı çok daha fazla olabilir)
Uygunluk	• Normal silajlar, CCM, hayvancılıktan elde edilen gübre (kanatlılar da dahil), bayat ekmek, sebze • Uzun lifli maddeler için kesicili dişli silindirler ve karıştırıcı helezonlar daha uygundur
Avantajları	+ Büyük işleme miktarları + Buldozer veya kepçeyle kolay doldurma + Parçalama ve beslemenin otomatik kumandası için büyük stok hacimleri + Dayanıklı teknolojilerin kullanımı
Dezavantajlar	- Parçalama düzeneğinin üzerinde köprü oluşabilir, ancak bu köprü tümüyle ön deponun ve materyalin geometrisine bağlıdır. - Arıza durumunda materyalin tümüyle manuel olarak boşaltılması
Özel durumlar	• Bıçaklı kürekler parçalama düzeneğinin üzerinde köprü oluşmasını engelleyebilir.
Yapı formları	• Parçalama için kesme bıçakları olan dikey karıştırma helezonlu yem karıştırma arabası • Taşıma ve parçalama için kesicili ve dışarı aktarma işlevi gören helezonlu ön depolar • Taşıma ve parçalama için parçalayıcı kürekli ön depo • Dozajlama ve parçalama için freze helezonu/frezeli ön depo
Bakım	• Üretici verilerine göre bu düzenekler fazla bakım gerektirmez, bakım sözleşmeleri yapılabilir • Bakım besleme aralarında yapılmalıdır.

Tablo 3.4: Harici parçalama düzeneklerinin referans değerleri ve uygulama parametreleri

Referans değerler	• Değirmenler: Küçük ve orta ölçekli debiler (örneğin 30 kW’da 1.5 t/s) • Kırıcılar: Yüksek debilerde de kullanılabilir
Uygunluk	• Normal silajlar, CCM, tahıl, taneli mısır (değirmen genelde yeterli olur) • Patatesler, pancarlar, yeşil atıklar (değirmen, kırıcı)
Avantajları	+ Arıza durumunda sistem bileşenlerine kolay erişebilme + Parçalanmış materyal depolanabilir ve muhafaza edilebilir + Doldurma otomatik kontrol edilebilir ve ön depo üniteleriyle kombine edilebilir + Parçalama derecesi ayarlanabilir
Dezavantajlar	- Tıkanmalarda vs. düzeneğin elle boşaltılması - Zararlı maddelere görece dayanıklıdır, ancak aşınmayı hızlandırır
Özel durumlar	• Farklı büyüklüklerde ön depolar entegre edilebilir • Ön depoların yüksekliği, kullanılan makine teknolojisiyle uyumlu olmalıdır
Yapı formları	• Örneğin çekiçli değirmen, silindirik değirmen, kırıcı (genelde mobil olarak da bulunurlar)
Bakım	• Üreticiyle bakım sözleşmesi yapılabilir ve işlenen materyale bağlı olarak zorunludur • Bakım aralıklarında materyal temini için daha önce parçalanmış materyalden bir miktar stok edilebilir



Şekil 3.7: Katı materyallerin parçalanması için çekiçli ve silindirik değirmenler [Huning Maschinenbau GmbH, DBFZ]

Tablo 3.5: Ön depoda bulunan parçalayıcı karıştırma düzeneklerinin referans değerleri ve uygulama parametreleri

Referans değerler	• Güç tüketimi: 5-15 kW gücündeki karıştırıcılara eklenen kW'lık ek güçle oluşturulan karıştırıcılar
Uygunluk	• Katı gübre, yemek artıkları, budama artığı, saman
Avantajları	+ Ön depoya doğrudan katı madde girişi + Ek taşıma düzeneklerine gerek yoktur
Dezavantajlar	- Fermentördeki kuru madde oranının artırılması sadece materyalin pompalanabilme sınırınakadar mümkündür - Materyale bağlı olarak yüzer örtü ve çökelti tabakası oluşumu tehlikesi
Özel durumlar	• Fermentöre örneğin dozajlama ünitesi üzerinden doğrudan katı madde yüklenmesi halinde, parçalayıcı karıştırıcılar fermentörde de kullanılabilir
Yapı formları	• Genelde kesici bıçaklara sahip karıştırıcı kanatları, ya da kesici bıçakların karıştırıcı aksına ayrıca montajı da yapılabilir
Bakım	• Karıştırıcı tipine göre bakım ön deponun veya fermentörün dışında, prosese ara vermeden de yapılabilir

Tablo 3.6: Ön depoda bulunan parçalayıcı karıştırma düzeneklerinin referans değerleri ve uygulama parametreleri

Referans değerler	• Azami 600 m <sup>3</sup> /saat kapasiteye sahip delikli diskli parçalayıcı, motor gücü 1.1 ile 15 kW arasında • Döner piston pompa bazlı çift milli parçalayıcı: Azami 350 m <sup>3</sup> /saat kapasite • Düzeneklerin referans verileri kuru madde oranına çok bağlıdır, kapasite artan kuru madde oranıyla çok düşer
Uygunluk	• Delikli diskli parçalayıcı, elyaf içeren materyaller için uygun • İki milli parçalayıcı, büyük katı madde oranlarına sahip pompalanabilir materyaller için de uygun
Avantajları	+ Arıza durumunda düzeneklere kolay erişebilme + Tıkanmalarda sistem kolay açılabilir ve bakımları yapılabilir + Entegre ayırma haznesi sayesinde bozuk maddelerin ayrılması (delikli diskli parçalayıcı)
Dezavantajlar	- Fermentördeki kuru madde oranının artırılması sadece materyalin pompalanabilme sınırına kadar mümkündür - Yabancı madde içeren materyallerde aşınmada artış görülebilir (iki milli parçalayıcı)
Özel durumlar	• Sistem bir sürgü ile materyal hattından ayrılabilir. • Arıza durumunda bir sürgü üzerinden başka bir hatta aktarma işlemi (bypass) yapılabilir. • Ulaşılabilir partikül büyüklükleri, kullanılan kesme veya koparma tekniği ile belirlenir.
Yapı formları	• Delikli diskli parçalayıcı: Bir kesme süzgeci önünde döner bıçak • İki milli parçalayıcı: Kesme veya kopartma takımlarıyla donatılmış miller
Bakım	• Bağımsız düzeneklerin bakımı hızlı ve çalışmaya uzun süreli ara vermeyecek şekilde yapılabilir, • Kolay erişilebilir temizleme açıklıkları, çalışmaları önemli ölçüde hızlandırmaktadır



Şekil 3.8: Besleme hattında materyal parçalama (delikli diskli parçalayıcı) [Hugo Vogelsang Maschinenbau GmbH]

Tablo 3.7: Taşıma tekniğiyle kombine edilmiş parçalama düzeneklerinin referans değerleri ve uygulama parametreleri

Referans değerler	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 720 m<sup>3</sup>/s taşıma kapasitesi mümkündür</li> <li>• Azami 25 m taşıma yüksekliği</li> <li>• Güç tüketimi: 1.7–22 kW</li> </ul>
Uygunluk	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uzun lifli bileşenlere sahip pompalamaya uygun bileşenler</li> </ul>
Avantajları	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Arıza durumunda düzeneklere kolay erişebilme</li> <li>+ Tıkanmalarda sistem kolay açılabilir ve bakımı yapılabilir</li> <li>+ Ek taşıma düzeneklerine gerek yoktur</li> </ul>
Dezavantajlar	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fermentördeki kuru madde oranının artırılması sadece materyalin pompalanabilme sınırına kadar mümkündür</li> <li>- Yüklenen materyalin sadece küçük bir kısmı parçalanabilir, birden fazla pompalanma ile parçalanmış materyal oranı artırılabilir</li> </ul>
Özel durumlar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Düzenekler bir sürgü ile materyal hattından ayrılabilir.</li> <li>• Arıza durumunda bir sürgü üzerinden başka bir hatta aktarma işlemi yapılabilir.</li> <li>• Ulaşılabilir partikül büyüklükleri, kullanılan kesme veya koparma tekniği ile belirlenir.</li> </ul>
Yapı formları	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tulum balar, kesici kenarlı çarklar kuru pompalar veya dalgıç pompa</li> </ul>
Bakım	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bağımsız pompaların bakımı hızlı ve çalışmaya fazla ara vermeyecek şekilde yapılabilir, buna karşın dalgıç pompalar materyalden kolaylıkla çıkartılabilir</li> <li>• Bakım amaçlı menfezler, faaliyetin durma süresini ciddi şekilde kısaltır.</li> </ul>

### Seyreltme, homojenleştirme

Yaş fermantasyonda su oranının yükseltilmesiyle materyallerin pompalanmaya uygun hale getirilmesi ve bunların fermentöre nakledilmesi için materyallerin seyreltilmesi zorunludur. Bu genelde ön depoda veya diğer tanklarda, materyalin fermantasyon prosesine sokulmasından hemen önce gerçekleşir. Seyreltme sıvısı olarak eldeki imkanlara göre sıvı gübre, (preslenmiş) sıvı fermantasyon atıkları, proses suyu veya istisnai durumlarda temiz su da kullanılır. Sıvı fermantasyon atıklarının kullanılması temiz su ihtiyacını düşürür ve materyalin fermentöre ulaşmadan önce fermantasyon prosesinin bakterileriyle aşılması imkanını sağlar. Bu nedenle bu işlemin hijyenleştirme basamağından sonra veya aşılama aşamasında yapılması çok uygundur. Yüksek maliyet nedeniyle taze su kullanımından imkanlar dahilinde kaçınılmalıdır.

Seyreltme için temizlik proseslerinden gelen suyun kullanılmaması daha iyi olur, çünkü fermentördeki bakteri topluluklarını olumsuz etkiledikleri için dezenfaktan maddelerin fermantasyon sürecine zarar vermesi söz konusu olabilir. Seyreltme için kullanılan pompalama tekniği, materyal nakliyatı ve fermentöre aktarılma bölümünde gösterilmiştir.

Fermentöre yüklenen materyallerin homojenliği de fermantasyon prosesinin istikrarı bakımından büyük önem taşımaktadır. Fazla değişken yükleme ve değişken materyal bileşiminde mikroorganizmaların değişen koşullara uyum sağlaması gerekir, bu da genellikle gaz veriminin düşmesine neden olur. Pompalanabilir materyallerin homojenleştirilmesi genellikle ön depoda karıştırıcılarla yapılır. Ancak farklı materyaller doğrudan pompalandığında ve/veya fermentöre bir katı madde taşıyıcısı üzerinden aktarıldığında, bu işlem fer-



Tablo 3.8: Hijyenleştirme tanklarının referans değerleri ve uygulama parametreleri

Referans değerler	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hacimler: Tesise özgü, örneğin 50 m<sup>3</sup> içerikli hijyenleştirme tankları</li> <li>Isıtma: İç içe geçen ya da çift duvarlı tanklar</li> <li>Süre: Bir saatlik hijyenleştirme süresine (70 °C'de) boyutlandırma için yükleme, ısıtma ve boşaltma süreleri de dikkate alınmalıdır</li> </ul>
Uygunluk	<ul style="list-style-type: none"> <li>Klasik hijyenleştirme tankları için materyal pompalanma yeteneğine sahip olmalıdır ve bu nedenle ötürü gerektiği takdirde hijyenleştirmeden önce ön işleme tabi tutulmalıdır</li> </ul>
Özel durumlar	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hijyenleştirme işlemi için kayıt düzenekleri mutlaka zorunludur</li> <li>Hijyenleştirilmiş sıcak materyal doğrudan fermentöre verilmemelidir, çünkü içindeki canlılar yüksek ısılara tahammül edemezler (kısmi akım fermentasyonunda doğrudan karıştırma mümkün olabilir)</li> <li>Hijyenik olduğu şüpheli olan ve olmayan materyalin birbiriyle karıştırılmaması gereklidir</li> <li>Kullanılan materyale uygun olarak kum ve ağır maddelerin dibe çökebileceği de hesaplanmalıdır</li> </ul>
Yapı formları	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dahili kaloriferi bulunan tek duvarlı çelik tanklar ya da duvar kaloriferi veya karşı akımlı ısı değiştiricisi bulunan çift duvarlı çelik tanklar</li> <li>Gaz geçirmez ve gaz deposu hattına bağlı veya tankta ya da şayet mevcutsa bir havalandırma sistemi üzerinden gaz tahliyesi</li> </ul>
Bakım	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tankta en azından bir kişinin girebileceği bir menfez bulunmalıdır</li> <li>Kapalı tanklarda yapılacak çalışmalarda güvenlik önlemlerine uyulmalıdır (gaz güvenliğine de dikkat edilmelidir)</li> <li>Kurulu teknolojiye göre (ısı algılayıcıları, karıştırıcılar, pompalar) bakım zorunludur, tankın kendisi bakım gerektirmemelidir</li> </ul>

mentörde de gerçekleşebilir. Karıştırıcı teknolojisi, karıştırıcılar bölümünde açıklanmıştır. Ön depoda karıştırma işlemi, yaklaşık olarak tam karışimli fermentör (bkz. Bölüm 3.2.2.1. Tam karışım işlemi bölümü) sistemlerine benzer.

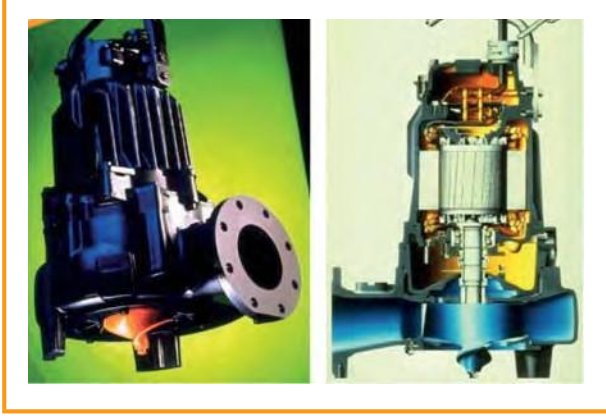
### Hijyenleştirme

Bulaşıcı hastalıklar ve fitohijyen bakımından kritik bazı materyal grupları için belirlenen yasal kriterleri karşılamak için, biyogaz tesislerine bir termik ön işleme entegre etmek gerekli olabilir. Bu ön işleme, materyallerin en az bir saat boyunca 70 °C ısıtılmasıyla gerçekleştirilir. İkinci bir yöntem ise bakterilerin basınçlı sterilizasyonla öldürülmesidir. Bu yöntemde sterilize edilecek materyal 20 dakika boyunca 133 °C'de 3 barlık bir basınç altında ön işleme tabi tutulur. Ancak 70 °C'de hijyenleştirmeye kıyasla bu yöntem daha az rastlanır. Hijyenleştirmede kullanılan tankların büyüklükleri ve enerji ihtiyacı uygulama yapılacak materyalmiktarına bağlı olduğundan, hijyenleştirme genel kural olarak hijyen bakımından şüpheli komateryallerin fermentöre konulmasından önce gerçekleştirilir. Bu şekilde sadece şüpheli materyalleri hijyenleştirme ve hijyenleştirme basamağını daha ekonomik olarak boyutlandırma mümkün olabilir (Kısmi hijyenleştirme). Kullanılan bütün materyallerin veya fermente edilecek materyalin tümünün hijyenleştirmeye tabi tutulması da mümkündür. Fermentörden önce gerçekleştirilen hijyenleştirmenin bir avantajı, ısıtılan materyalin kendi özelliğine bağlı olarak daha iyi fermente olabilesidir.

Hijyenleştirme hava geçirmeyecek şekilde kapatılan ve ısıtılan çelik tanklarda uygulanabilir. Burada genellikle yükleme teknolojisinde yer alan tanklar kullanılmaktadır. Hijyenleştirme doluluk, ısı ve basınç ölçüm düzenekleriyle kontrol edilir ve kayıt altına alınır. Materyalin ısısı hijyenleştirmeden sonra fermentördeki proses ısısından daha yüksektir. Hijyenleştirilen materyal bu sayede diğer materyallerin önceden ısıtılmasında ya da doğrudan yüklenmek suretiyle fermentörün kendisinin ısıtılmasında kullanılabilir. Hijyenleştirilmiş materyalin ısısı kullanılmıyorsa, fermentörün ısı seviyesine inene kadar uygun bir şekilde soğutulması zorunludur. Örnek hijyenleştirme tankları şekil 3.10'da gösterilmiştir, hijyenleştirme tanklarının özellikleri tablo 3.8'de özetlenmiştir.

### Aerob biyolojik ön işleme

Konteynır tipi fermentör kullanılan katı madde fermentasyonunda materyalin asıl fermentasyon prosesinden önce amaca yönelik havalandırması mümkündür (bkz. 3.2.2.1 Fermentör yapısı biçimleri). Hava verilmek suretiyle kullanılan kompostlama prosesleri, materyalin yaklaşık 40 ila 50 °C'ye kadar ısıtılmasıyla gerçekleşir. İki veya dört gün kadar süren bu ön işlemenin avantajı materyalin hücre duvarlarının parçalanmaya başlaması ve kendisini ısıtmasıdır, bu sayede fermentöre ayrıca ısı elemanlarının yerleştirilmesine gerek kalmaz. Ancak organik materyalin bu esnada dönüşmesi ve biyogaz üretimi için kullanılabilir olmaktan çıkması bir dezavantajdır.



Şekil 3.9: Parçalama ve taşıma düzeneği kombinasyonu olarak rotorda kesici kenarları bulunan dalgıç pompa [ITT FLYGT Pumpen GmbH]



Şekil 3.10: Soğutmalı hijyenleştirme [TEWE Elektronik GmbH & Co. KG]

### Hidroliz

Tek aşamalı bir proseste, yüksek yükleme oranında fermentördeki proses biyolojisinin dengesinin bozulması, yani birincil ve ikincil fermentasyonda asit oluşumunun, metan oluşumu esnasındaki asit bozunmasından daha hızlı gerçekleşmesi söz konusu olabilir [3-19]. Bunun yanı sıra yüksek yükleme oranında ve kısa bekleme sürelerinde materyalin kullanım oranı düşer, en kötü durumda da fermentör biyolojisinin asitlenmesi ve yok olması tehlikesi ortaya çıkar. Bu durumun engellenmesi için hidroliz ve asitlendirme aşamaları fermentörün kendisinden önce farklı tanklarda gerçekleştirilebilir, örneğin özel bölmeler (örneğin iki aşamalı fermentör) yapılmak suretiyle fermentörün içinde ayrı bir ortam oluşturulabilir. Hidroliz aerob ve anaerob koşullarda gerçekleşebilir ve 4.5 ile 7 arasındaki pH değerlerinde çalışır. Genel olarak 25 ile 35 °C arasındaki sıcaklıklar yeterlidir, ancak uygulama hızının artması için sıcaklık 55 ile 65 °C'ye çıkartılabilir. Tank olarak karıştırıcı gibi uygun donanımlara sahip, ısıtma imkânı

ve izolasyonu bulunan çeşitli ön depolar (yatay, dikey) kullanılabilir. Bunlara hem kesintisiz, hem de kesikli yükleme yapılabilir. Dikkate alınması gereken başka bir husus, hidroliz gazının büyük ölçüde hidrojen içermesidir. Aerobik yöntemin kullanılmasında ve hidroliz gazının dışarıya bırakılması üretilen biyogaz miktarına bağlı olarak enerji kaybı anlamına gelebilir. Bunun ötesinde hidrojen havayla karıştığında patlama yeteneğine sahip bir atmosfer oluşturabileceği için, güvenlik tekniği bakımından da bir sorun teşkil eder.

### Dezintegrasyon-Dağılma (Ön işlem)

Dağılma (ön işlem) hücre duvarı yapısının parçalanması ve hücre materyalinin tümüyle açığa çıkmasıdır. Bu sayede materyal mikroorganizmalar tarafından daha iyi kullanılabilir, bu da daha yüksek bozunma oranlarına ulaşılmasını sağlar. Hücre duvarlarının parçalanmasında termik, kimyasal, biyokimyasal ve fiziksel/mekanik yöntemler kullanılabilir. Kullanılan yöntemlerin arasında normal basınç altında < 100 °C'ye kadar ve basınç altında > 100 °C'nin üstünde ısıtmak, yukarıda belirtilen hidroliz, enzim ilavesi ya da mekanik parçalama yöntemlerinin temsilcisi olarak ultrason dezintegrasyonu bulunmaktadır. Sektörde bu yöntemlerin kullanıma dair tartışmalar sürmektedir. Bu yöntemlerden her birinin etkisi bir yandan materyale ve önceden hazırlanmasına bağlıdır, öte yandan da bütün bu yöntemler ek bir ısı ve elektrik enerjisi tüketimine neden olurlar, bu da tesisin olası fazla biyogaz üretimi verimliliğine doğrudan olumsuz etki eder. Olası bir entegrasyon işleminden önce dezintegrasyon basamağının etkili olarak kullanılıp kullanılmayacağı örneğin kullanılan materyalle ilgili olarak yapılacak testler ve ilave analizlerle, ayrıca getireceği finansal yük ve kazancın hesaplanmasıyla incelenmelidir.

#### 3.2.1.4 Nakliyat ve yükleme

Proses biyolojisi bakımından biyogaz tesisinden sürekli bir materyal akışı istikrarlı bir fermentasyon prosesi ideal durumdur. Ancak bu pratikte neredeyse uygulanabilir olmadığından, materyalin fermentöre kesik beslemeli bir şekilde yüklenmesi genel kuraldır. Materyal fermentöre günde birkaç kez yüklenmek suretiyle verilir. Buna bağlı olarak materyal nakliyesi için gerekli düzenekler de sürekli olarak çalıştırılmaktadır. Bu da tasarım bakımından çok büyük bir rol oynamaktadır.

Nakliyat ve yükleme için tesis teknolojisi büyük ölçüde materyalin yapısal özelliklerine bağlıdır. Pompalanabilir ve istiflenebilir materyaller arasında bir ayırım yapılması gerekir.

Materyalin yüklenmesi esnasında ısıya dikkat edilmesi gerekir. Materyal ve fermentör arasında büyük ısı farkı olması durumunda (örneğin bir hijyenleştirme basamağından veya kışın yapılan yüklemenden sonra) proses biyolojisi ciddi şekilde etkilenir, bu da gaz üretiminde düşmeye neden olabilir. Bunun için teknik çözüm olarak ısı aktarıcılar veya ısıtılan ön depolar kullanılmaktadır.

### Pompalanabilir materyallerin nakliyatı

Pompalanabilir materyallerin biyogaz tesisi içindeki nakliyatı için genellikle elektromotorlar tarafından çalıştırılan pompalar kullanılmaktadır. Bu pompalar zaman devreli saatler veya proses bilgisayarı tarafından kontrol edilebilir, bu sayede prosesin tümü bir bütün olarak veya kısmen otomatikleştirilebilir. Birçok durumda biyogaz tesisi içindeki materyal nakliyatı, bir pompa veya kumanda istasyonu içine yerleştirilmiş olan pompalar tarafından gerçekleştirilir. Gerekli olan boru hatları, bütün işletme uygulamalarının (örneğin tankların doldurulması veya bütünüyle boşaltılması, arıza durumları vs.) kolay ulaşılabilir veya otomatik sürgüler (vanalar) tarafından kumanda edilebileceği şekilde döşenir. Bir biyogaz tesisine pompa veya boru hattı kurulumu örneği şekil 3.11'de gösterilmektedir.



Şekil 3.11: Bir biyogaz tesisinde pompalar [WELtec BioPower GmbH]

Pompaların kolay ulaşılabilir olmasına ve etraflarında yeterince serbest çalışma alanı buldurulmasına dikkat edilmelidir. Alınan güvenlik önlemlerine ve iyi hazırlanmış materyale rağmen pompalarda hızlı bir şekilde bertaraf edilmeleri gereken tıkanmaların yaşanması söz konusu olabilir. Bunun yanı sıra pompalarındaki hareketli parçaların aşınabilir parçalar olduğu, bunların biyogaz tesislerinde yüksek yıpranmaya ma-

ruz kaldığı ve biyogaz tesisinin işletme dışı bırakılmadan zaman zaman değiştirilmeleri gerektiği de akılda tutulmalıdır. Bundan ötürü pompalar bakım çalışmalarının yapılabilmesi için kapatma sürgüleriyle (vanalarıyla) hat şebekesinden ayrılabilir olmalıdır. Burada çoğunlukla sadece sıvı gübre teknolojisinde de kullanılan dairesel pompalar ve alternatif hareketli pompalar kullanılmaktadır.

Güç ve besleme özellikleri bakımından uygun pompaların seçimi büyük ölçüde kullanılan materyallere, bunların hazırlanma derecelerine ve kuru madde oranlarına bağlıdır. Pompaların korunması için kesme ve parçalama aparatları ya da zararlı madde ayırıcıları doğrudan pompanın önüne yerleştirilebilir, ya da besleme elemanlarında parçalama düzenekleri bulunan pompalar kullanılır.

### Dairesel pompalar

Dairesel pompalar sıvı gübre teknolojisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle ince akışkan materyallerin kullanımına uygundur. Dairesel pompanın içinde sabit duran bir mahfazada bir çark dönmektedir. Beslemesi yapılacak materyal çarkın yardımıyla hızlandırılır, oluşan hız artışı dairesel pompanın basınç ağızlarında besleme yüksekliğine (potansiyel enerji) veya besleme basıncına dönüştürülür. Çark ihtiyaca göre farklı büyüklüklere ve formlara sahip olabilir. Çarkın kenarları materyalin parçalanması için sertleştirilmiş kesici kenarlarla desteklenmiştir ve kesme çarklı pompa (bkz. Şekil 3.9) olarak özel bir form verilmiştir. Referans değerler ve uygulama parametreleri tablo 3.9'da görülmektedir.

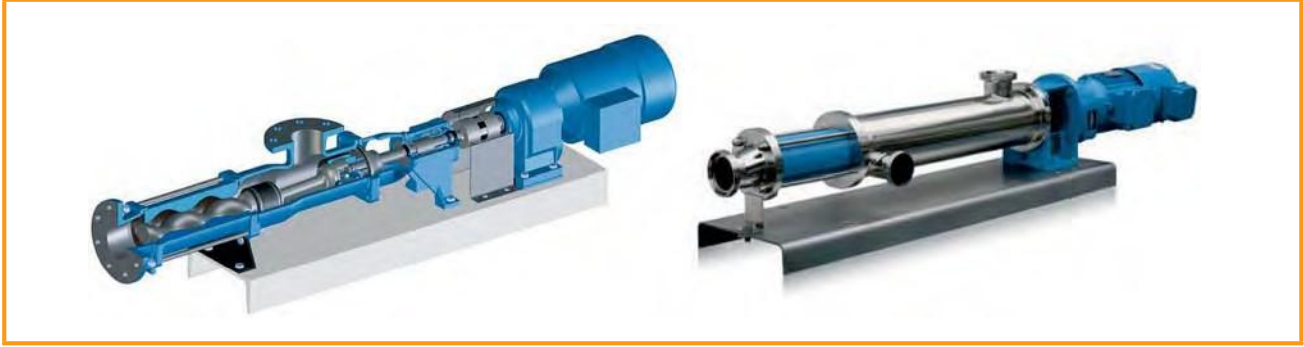
### Alternatif hareketli pompa

Yüksek oranda kuru madde içeren yoğun materyallerin taşınması için gelgit pompalar kullanılmaktadır. Gelgit pompalarda taşınacak madde miktarı devir sayısı ile belirlenir. Bu sayede materyallerin daha iyi dozajlanmasına bağlı olarak pompaların daha iyi kumandası sağlanır. Bu pompalar kendiliğinden emişlidir ve dairesel pompalara göre daha istikrarlı bir basınca sahiptir, yani besleme miktarı, besleme yüksekliğine çok daha az bağlıdır. Alternatif hareketli pompalar istenmeyen maddelere karşı nispeten daha hassastır, bundan ötürü bu pompaların parçalama düzenekleri ve yabancı madde tutucuları yardımıyla kaba ve lifli bileşenlerden korunması gereklidir.

Döner pistonlu pompa ve eksantrik helezonlu pompa da büyük ölçüde kullanılmaktadır. **Eksantrik helezonlu pompalar** elastik bir materyalin içinde bulunan tirbüşon biçimli bir rotora sahiptir. Rotorun dön-

Tablo 3.9: Dairesel pompaların referans değerleri ve uygulama parametreleri [3-1]

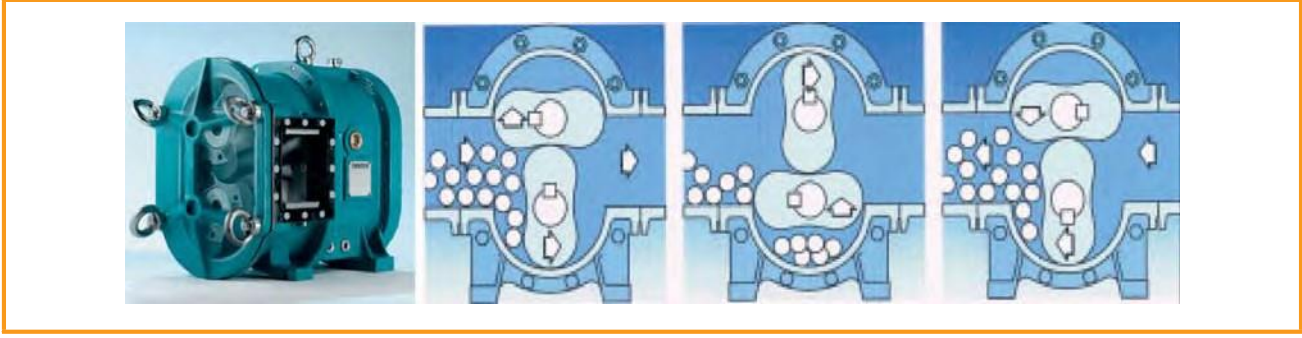
Referans değerler	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Besleme basıncı: 20 bar'a kadar (uygulamada genellikle daha düşük besleme basıncı)</li> <li>• Besleme miktarı 2 m<sup>3</sup>/dak' da 30 m<sup>3</sup>/dak</li> <li>• Güç tüketimi: Örneğin 2 m<sup>3</sup>/dak'da 3 kW, 6 m<sup>3</sup>/dak'da 15 kW, yoğun şekilde materyale bağlı</li> <li>• Uygulamada &lt; % 8 kuru madde içeren materyaller için</li> </ul>
Uygunluk	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Düşük kuru madde oranlı akışkan materyaller, düşük miktarda samana izin verilir</li> </ul>
Avantajları	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Basit, bütüncül ve sağlam yapı</li> <li>+ Yüksek taşıma gücü</li> <li>+ Esnek kullanım (dalgiç pompa olarak da)</li> </ul>
Dezavantajlar	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kendiliğinden emici değil, örneğin emilecek materyal yüzeyinin altına inen bir bacanın içine yerleştirilmesi zorunludur</li> <li>- Materyal dozajlamasına uygun değildir</li> </ul>
Özel durumlar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Besleme gücü, besleme basıncına veya besleme yüksekliğine büyük ölçüde bağlıdır</li> </ul>
Yapı formları	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kuru konumda dalgiç pompa veya pompa olarak kullanılabilir; kesici pompa olarak da kullanılabilir; dalgiç pompa olarak tahrik organıyla materyal yüzeyinin altında veya üstünde kullanılabilir</li> </ul>
Bakım	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dalgiç pompalarda daha zor olmakla birlikte, alış açıklıklarından nispeten daha kolay ulaşılabilme</li> <li>• Fermentördeki çalışmaları esnasında güvenlik önlemlerine uyulmalıdır</li> <li>• İşletime verilen aralar diğer pompa tiplerine göre çok daha azdır.</li> </ul>



Şekil 3.12: Eksantrik helezonlu pompa [LEWA HOV GmbH + Co KG]

Tablo 3.10: Eksantrik helezonlu pompaların referans değerleri ve uygulama parametreleri

Referans değerler	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Besleme basıncı: 48 bar'a kadar</li> <li>• Besleme miktarı 0,055 m<sup>3</sup>/dak'dan 8 m<sup>3</sup>/dak'ya kadar</li> <li>• Güç tüketimi: Örneğin 0,5 m<sup>3</sup>/dak'da 7.5 kW, 4 m<sup>3</sup>/dak'da 55 kW, yoğun şekilde materyale bağlı</li> </ul>
Uygunluk	<ul style="list-style-type: none"> <li>• İçinde az miktarda yabancı madde ve uzun lifli madde bulunan pompalanabilir koyu materyaller</li> </ul>
Avantajları	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Kendiliğinden emişli</li> <li>+ Basit, sağlam yapı</li> <li>+ Materyal dozajlamasına uygun</li> <li>+ Dönüş yönü değiştirilebilir</li> </ul>
Dezavantajlar	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dairesel pompalara göre daha düşük besleme gücü</li> <li>- Boş çalışmaya karşı hassas</li> <li>- Zararlı maddelere karşı hassas (taşlar, uzun lifli maddeler, metal parçalar)</li> </ul>
Özel durumlar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Besleme gücü viskoziteye güçlü şekilde bağlı, istikrarsız basınçlarda stabil besleme</li> <li>• Kuru çalışma koruyucusu entegre edilebilir</li> <li>• Arıtma teknolojisinde çok yoğun kullanım</li> <li>• Statör bazı durumlarda besleme gücüne, materyale ve kullanıma bağlı olarak genellikle yeniden ayarlanabilir</li> <li>• Besleme yönü değişikliği, özel yapı formu olarak mümkündür</li> </ul>
Yapı formları	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kuru konumda pompa olarak</li> </ul>
Bakım	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Çok uzun ömürlü</li> <li>• Yapısı nedeniyle bakımı kolaydır, helezonu hızlı değiştirme sistemi ile işletmeye sadece kısa bir ara verilir.</li> </ul>



Şekil 3.13: Döner pistonlu pompa (sol), döner pistonlu pompa çalışma prensibi (sağ) [Börger GmbH (sol), Vogelsang GmbH]

Tablo 3.11: Eksantrik helezonlu pompaların referans değerleri ve uygulama parametreleri

Referans değerler	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Besleme basıncı: 12 bar'a kadar</li> <li>• Besleme miktarı 0,1 m<sup>3</sup>/dak'dan 16 m<sup>3</sup>/dak'ya kadar</li> <li>• Güç tüketimi: yakl. 2 ila 55 kW</li> </ul>
Uygunluk	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pompalanabilir koyu materyal</li> </ul>
Avantajları	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Basit, sağlam yapı</li> <li>+ 10 m su sütununa kadar kendiliğinden emişli</li> <li>+ Materyal dozajlamasına uygun</li> <li>+ Eksantrik helezonlu pompa olarak büyük yabancı ve lifli maddelerin taşınması</li> <li>+ Kuru çalışmaya karşı hassas</li> <li>+ Az yer kaplama</li> <li>+ Kolay bakım</li> <li>+ Taşıma yönü değişikliği seriye bağlı</li> </ul>
Özel durumlar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1300 dev/dak'ya kadar yüksek devirler güç optimasyonu için uygundur</li> <li>• Ayarlanabilir yarım kaplar, boşluğun azaltılmasıyla etki derecesini ve ömrü uzatır</li> </ul>
Yapı formları	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kuru konumda pompa olarak</li> </ul>
Bakım	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Yapısı nedeniyle bakımı kolaydır, helezonun bakım imkanı ile işleme uygun</li> </ul>

mesiyle birlikte içinde materyalin taşındığı bir boşluk oluşmaktadır. Şekil 3.12'de bir örnek görülmektedir. Referans değerler ve uygulama parametreleri tablo 3.10'da görülebilir.

**Döner pistonlu pompalar** oval bir mahfazanın içinde karşılıklı olarak dönen iki veya altı kanatlı iki döner pistonlu oluşmaktadır. Her iki döner piston düşük aksel ve radyal boşlukla karşılıklı olarak devridaim yaparlar, bu sırada ne mahfazaya ne de birbirlerine temas etmezler ve her konumda emme bölgesini basınç bölgesine karşı bloke edecek şekilde tasarlanmışlardır. Maddelerin taşınması için emme bölgesinde oluşan boşluklar besleme materyali ile doldurulur ve basınç tarafına taşınır. Döner pistonlu pompaların çalışma prensipleri şekil 3.13'de görülebilir. Referans değerler ve uygulama parametreleri tablo 3.11'de bir araya getirilmiştir.

#### İstiflenebilir materyallerin nakliyesi

İstiflenebilir materyallerin yaş fermantasyonda materyal yüklemesinden gerektiği takdirde küçültme düzeyine kadar nakledilmeleri gerekir. Bu işlemlerin bir

çoğu kepçeyle yapılabilir. Otomatik yükleme için skreyperler, over head yükleyiciler ve taşıma helezonları kullanılmaktadır. Skreyperler ve over head yükleyiciler hemen bütün istiflenebilir materyalleri dikey olarak ya da hafif bir eğimle taşıma imkanına sahiptir. Ancak bunlar dozajlama için kullanılamazlar. Çok büyük ön depoların kullanımını ise mümkün kılabilirler. Taşıma helezonları istiflenebilir materyalleri hemen her yöne taşıyabilir. Burada önkoşul sadece büyük taşların bulunmaması ve materyalin helezonların kıvrımlarına uyacak şekilde parçalanmış olmasıdır. İstiflenebilir materyaller için otomatik materyal yükleme sistemleri, genellikle biyogaz tesislerine materyal yüklemesi yapan düzeneklerle birlikte bir ünite teşkil eder.

Konteynır tipi katı madde fermantasyonu tesislerinde istiflenebilir materyaller sadece tekerlekli kepçelerle taşınır ya da doğrudan yükleme aracından zeminde bulunan düzeneklerle aktarılır.

#### Pompalanabilir materyallerin yüklenmesi

Pompalanabilir materyaller genellikle zemin altında bulunan, materyal geçirmeyen, katı gübrenin ara de-

Tablo 3.12: Ön depoların referans değerleri ve uygulama parametreleri

Referans değerler	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Su geçirmeyen betondan, genellikle demirli betondan yapım</li> <li>• Hacmi bir veya iki günlük materyali alacak şekilde olmalıdır</li> </ul>
Uygunluk	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pompalanabilir, karıştırılabilir materyaller</li> <li>• İstiflenebilir materyallerde de parçalama teknolojisinin kullanılması</li> </ul>
Özel durumlar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Materyallerin iyi bir şekilde homojenleştirilmesi ve karıştırılması mümkündür</li> <li>• Taşların çökelti tabakaları oluşturması mümkündür</li> <li>• Çökelti tabakaları pompa karteri, toplama çukurları veya temizleme düzenekleri ile bertaraf edilebilir</li> <li>• Ön deponun üzerinin örtülmesi, koku emisyonu nedeniyle tavsiye edilir</li> <li>• Katı madde yüklemesi tıkanmalara, çökelti ve yüzer tabakaların oluşmasına neden olabilir</li> </ul>
Yapı formları	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Doldurma düzeneklerine bir tekerlekli kepçeyle ulaşılabilen, hemzemin veya zeminden yüksek yuvarlak veya dört köşeli çukurlar veya tanklar</li> <li>• Fermentöre göre daha yüksekte bulunan çukurlar daha avantajlıdır, çünkü oluşan hidrolik eğim nedeniyle taşıma teknolojisinin kullanılmasına gerek kalmayabilir</li> <li>• Devirdaim fermentörde olduğu gibi benzer teknolojilerle gerçekleştirilebilir</li> </ul>
Bakım	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Çökelti tabakalarının bertaraf edilmemesi durumunda, bunun manuel olarak yapılması gerekir</li> <li>• Bunun dışında pek az bakım ihtiyacı vardır; teknik düzeneklerin bakımı ilgili bölümlerde açıklanmıştır</li> </ul>



Şekil 3.14: Materyal temini esnasında ön depo veya materyal kabul deposu [Paterson, FNR; Hugo Vogelsang Maschinenbau GmbH]

polamasının yapıldığı ve homojenleştirildiği betondan inşa edilmiş ön depolara alınır. Ön depolar en azından bir veya iki günlük ihtiyacın depolanabileceği şekilde yapılandırılmalıdır. Ön depo olarak genellikle tarımsal işletmelerde mevcut olan gübre toplama çukurları kullanılır. Biyogaz tesisi komateryallerin doğrudan yüklenmesi için ayrı bir imkana sahip değilse, istiflenebilir materyaller ön depoda karıştırılır, parçalanır, homojenleştirilir ve gerektiği takdirde pompalanabilir karışım elde edilmesi için seyreltilir (bkz. Ön depo üzerinden dolaylı yükleme bölümü). Ön depo referans verileri tablo 3.12’de bir araya getirilmiş ve şekil 3.14’te bir örnekle gösterilmiştir.

Akışkan (ko)materyaller doğrudan normlandırılmış bir tank ağzından veya herhangi bir ön depodan da yüklenebilir. Bu durumda ön depolar teknik olarak materyalin özelliklerine uydurulmalıdır. Dayanıklı kimya-

sal tank malzemeleri, ısıtma imkanları, karıştırma düzenekleri ve koku azaltan veya gaz geçirmeyen kapaklar gibi teknik özellikler de söz konusu olabilir.

#### İstiflenebilir materyallerin yüklenmesi

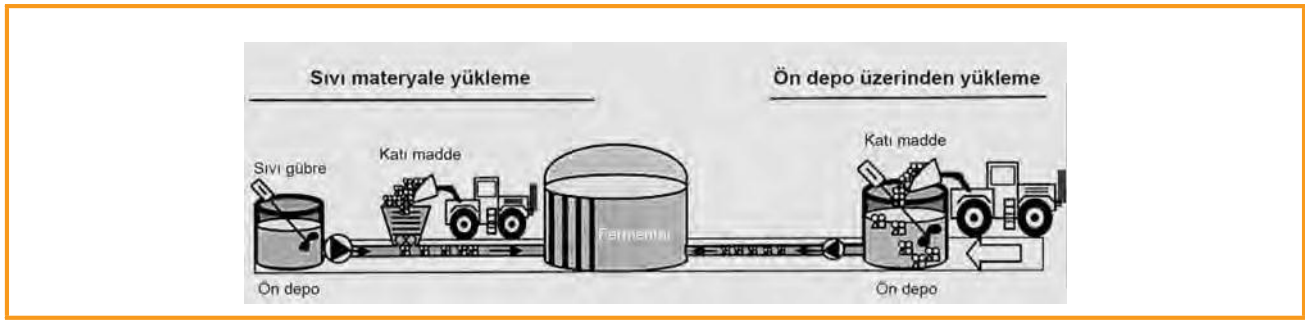
Fermentöre katı maddelerin yüklenmesi doğrudan veya dolaylı olarak gerçekleşebilir. Dolaylı yükleme durumunda istiflenebilir materyaller ön depodan veya materyal hattından fermentöre alınır (bkz. Şekil 3.15). Doğrudan katı madde yüklemesi ile katı materyalleri ön depoda karıştırmaya veya sıvı eklemeye gerek kalmadan doğrudan fermentöre yüklemek mümkündür (bkz. Şekil 3.16). Böylece kofermentler katı gübreden bağımsız olarak ve düzenli aralıklarla beslenebilir [3-8]. Bunun ötesinde fermentördeki kuru madde oranını artırmak ve bu sayede biyogaz verimliliğini yükseltmek de mümkündür.

**Ön depo üzerinden dolaylı yükleme**

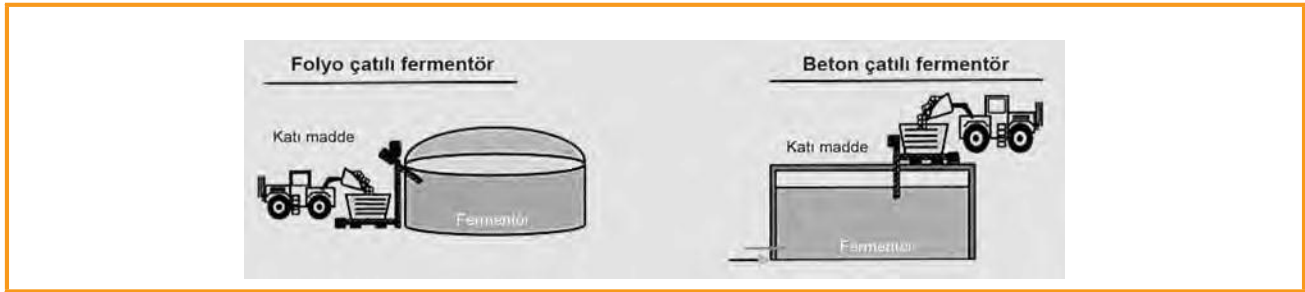
Biyogaz tesisi komateryallerin doğrudan yüklenmesi için ayrı bir sisteme sahip değilse, istiflenebilir materyaller ön depoda karıştırılır, parçalanır, homojenleştirilir ve gerektiği takdirde pompalanabilir karışım elde edilmesi için seyreltilir. Bu nedenle ön depolar gerektiği takdirde materyallerin parçalanması için kopartıcı ve kesici takımlarla kombine edilmiş karıştırıcılarla donatılmalıdır. İçinde yabancı maddeler bulunan materyaller işleneceği takdirde ön depolar taşların ve çökelti tabakalarının ayrılmasına da hizmet eder, bunlar örneğin skreyperler ve taşıma helezonlarıyla toplan-

bilir ve dışarı taşınabilir [3.3]. Koku emisyonlarından kaçınılması için ön deponun kapatılması isteniyorsa, bu kapağın ön deponun gerektiği zaman açılmasını ve zemine çöken maddelerin sorunsuzca çıkartılmasını sağlayacak şekilde yapılması gerekmektedir.

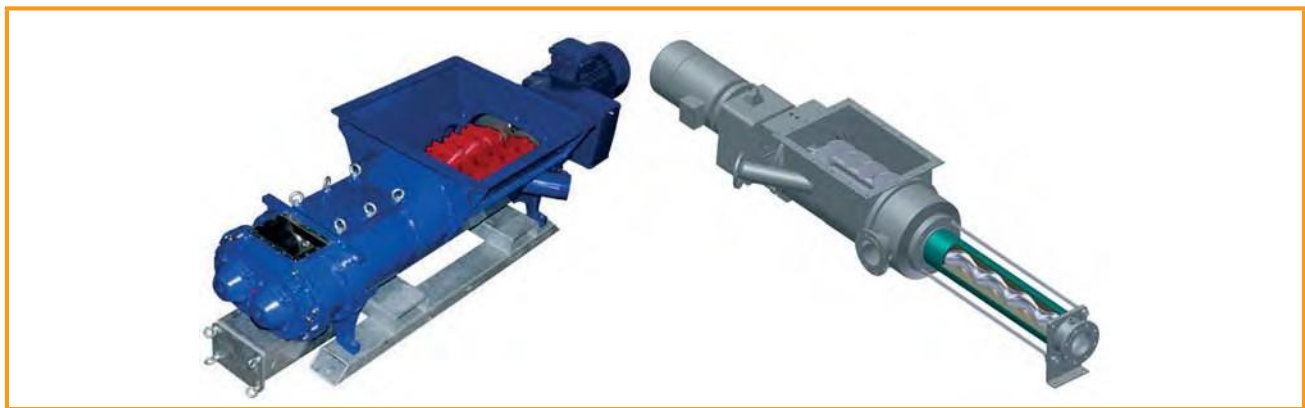
Doldurma işlemi örneğin tekerlekli kepçeyle veya diğer mobil cihazlarla, ya da otomatik katı madde yükleme sistemleriyle gerçekleştirilmektedir. Katı madde-sıvı karışımının fermentöre yüklenmesi, uygun pompalarla gerçekleşir. Ön depo referans verileri tablo 3.12’de bir araya getirilmiş ve şekil 3.14’te bir örnekle gösterilmiştir.



Şekil 3.15: Dolaylı katı materyal yüklemesi (Şema) [3-1]



Şekil 3.16: Doğrudan katı materyal yüklemesi (Şema) [3-1]



Şekil 3.17: Entegre döner pistonlu pompa (sol) ve eksantrik helezonlu pompa (sağ) bulunan besleme hunili pompa [Hugo Vogelsang Maschinenbau GmbH (sol), Netzsch Mohnopumpen GmbH]

Tablo 3.13: Sıvı akışına katı materyal yüklemesi için besleme hunili pompasının özellikleri

Referans değerler	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Besleme basıncı: 48 bar'a kadar</li> <li>• Süspansiyon besleme miktarı: 0,5-1.1 m<sup>3</sup>/dak (pompa tipine ve beslenecek süspansiyona göre)</li> <li>• Katı madde besleme miktarı: yakl. 4-12 t/h (parçalama üniteli iki milli helezonlu besleme girişi)</li> </ul>
Uygunluk	• Önceden küçültülmüş ve zararlı maddelerden büyük ölçüde arındırılmış materyallere uygundur
Avantajları	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Yüksek emiş ve basınç kapasitesi</li> <li>+ Sağlam yapı, kısmen aşınma koruyucusuyla birlikte tedarik edilebilir</li> <li>+ Materyal dozajlamasına uygun</li> <li>+ Besleme helezonlarındaki koparma takımlarıyla parçalama mümkündür</li> </ul>
Dezavantajlar	- Zararlı maddelere karşı kısmen hassas (taşlar, uzun lifli maddeler, metal kısımlar)
Özel durumlar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Parçalama, karıştırma ve seyreltme aynı anda mümkün</li> <li>• Katı madde yüklenmesi isteğe göre şekillendirilebilir (tekerlekli kepçe, besleme düzenekleri, ön depo üniteleri)</li> <li>• Ayrı bir pompa ile sıvı aşamaya ekleme</li> </ul>
Yapı formları	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kuru konumda pompa olarak</li> <li>• Kuru konumda pompa olarak materyallerin sıvı akışına/pompa ünitesine bir veya iki milli helezonlu beslemesi, materyallerin parçalanması için helezonlar kısmen dişli</li> <li>• Tercih edilen pompalar: Döner pistonlar ve eksantrik helezonlu pompa, kısmen hunili pompaya entegre edilmiş</li> </ul>
Bakım	• Yapısı nedeniyle bakımı kolaydır, işletmeye sadece kısa sürelerle ara verilir



Şekil 3.18: İstiflenebilir biyokütlenin aktarma pistonuyla yüklenmesi [PlanET Biogastechnik GmbH]

#### Sıvı materyal üzerinden dolaylı yükleme

Örneğin biyolojik atıklar, silajlar ve gübre gibi katı materyaller, ön depodan yüklemeye alternatif olarak besleme hunili pompa gibi uygun dozajlama düzenekleri yardımıyla sıvı akışına dahil edilebilir (bkz. Şekil 3.17). Yükleme hem materyal hattına basınçla, hem de yükleme düzeneğine doğrudan vermek suretiyle gerçekleştirilebilir, bu esnada materyallerin kaba olarak parçalanması da söz konusudur. Yüklenecek materyaldeki KM oranına ve miktarına bağlı olarak, yükleme düzeneklerinin giriş düzenlemeleri uyumlu olmalıdır. Sıvı materyal olarak ön depodan sıvı gübre, fermentasyon tesisinden alınan

materyal ya da fermentasyon artıkları kullanılabilir. Bu tür sistemler ortadan büyüğe kadar çeşitli boyutlardaki biyogaz tesislerinde kullanılır, çünkü modüler yapı belirli bir esnekliği ve tesisin işletme dışı kalmamasını garantiler [3-17].

Yükleme sistemlerinin en önemli özellikleri tablo 3.13'de bir araya getirilmiştir.

#### Basma pistonuyla doğrudan yükleme

Basma pistonuyla yükleme esnasında materyaller bir hidrolik silindir vasıtasıyla fermentör duvarındaki fermentör tabanına yakın bir açıklıktan fermentöre alınır. Tabana yakın yükleme sayesinde materyaller sıvı güb-



Tablo 3.14: Yükleme pistonlarının referans değerleri ve uygulama parametreleri

Referans değerler	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Materyal genellikle paslanmaz çeliktir, pistonlar kapalı mahfazalara yerleştirilmiştir</li> <li>• Fermentöre yükleme: yataydır, fermentör zemininden yükleme de mümkündür</li> <li>• Fermentör dolum seviyesi ön deponun yukarı kenarının üstünde bulunuyorsa, manuel ve otomatik valf gereklidir</li> </ul>
Uygunluk	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diğer bütün istiflenebilir komateryaller, helezon teknolojisine uygun uzun lifli ve taş içeren materyallerde de kullanılabilir</li> </ul>
Avantajları	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Genel olarak kokusuz</li> <li>+ Çok iyi dozajlanabilir</li> <li>+ Otomatikleştirilebilir</li> </ul>
Dezavantajlar	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sıkıştırılmış materyallerin fermentörde topaklaşması nedeniyle çökelti tabakası oluşumu tehlikesi, bundan ötürü mikroorganizmalarla materyalin fermentörde optimal temasının sağlanamaması</li> <li>- Materyaller sadece yatay olarak taşınabilir</li> <li>- Ön depodan sadece bir fermentör beslenebilir</li> </ul>
Özel durumlar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Yükleme sıvı geçirmeyecek şekilde yapılabilir</li> <li>• Doldurma yüksekliği ve büyüklüğü, işletmedeki mevcut doldurma teknolojisine göre düzenlenmelidir</li> <li>• Pres tapasının alt kısmının istavroz biçiminde bir kesiciyle kesilmesi önerilir ve bu topaklaşma riski nedeniyle çok mantıklıdır</li> <li>• Fermentörün hemen yanında yer almalıdır</li> <li>• Ön depoya bir kantarın kurulmasıyla pistonlar üzerinden ağırlığa bağlı dozajlama gerçekleştirilebilir</li> </ul>
Yapı formları	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hidrolik veya elektrik tahrikli besleme helezonları olan hidrolik silindir</li> <li>• Çeşitli ön depo sistemleriyle kombine edilebilme esnekliği (örneğin ön depo hunisi, itme zeminli konteynır, yem karma römorku)</li> </ul>
Bakım	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hareketli teknoloji nedeniyle düzenli bakım ihtiyacı söz konusudur</li> <li>• Pistonların bakımı esnasında proses kısmen hatırı sayılır bir kesintiye uğrar, bazen fermentörün boşaltılması da gerekebilir.</li> </ul>



Şekil 3.19: İstiflenebilir biyokütlelerin besleme helezonlarıyla yüklenmesi [DBFZ]

reyle karışır ve bu sayede yüzer tabakaların oluşma tehlikesi azaltılır. Sistem karşılıklı çalışan karıştırma silindirleriyle donatılmıştır, bunlar materyalleri alt tarafta bulunan silindire aktarır ve aynı anda uzun elyaflı maddeleri küçültülürler [3-1]. Yükleme sistemi genellikle bir ön depoya bağlantılıdır ya da bunun altına kurulmuştur. İçe alma pistonlarının referans değerleri tablo 3.14'te bir araya getirilmiş, şekil 3.18'de bir örnekle görselleştirilmiştir.

#### Helezonlarla doğrudan yükleme

Yükleme veya besleme helezonlarıyla yükleme esnasında materyal sıkıştırma helezonuyla fermentörün altında bulunan sıvı yüzeyinin altına bastırılır. Bu şekilde gazların helezonun üstüne çıkması engellenir. Bu yöntemin en basit konstrüksiyonunda dozajlayıcı fermentörün üstünde bulunur, bu nedenle yükleme için mutlaka dikey çalışan bir helezon gereklidir. Bunun ötesinde fermentör yüksekliğinin tırmanma helezonlarıyla aşılması gerekmektedir. Helezonun beslenmesi için kısmen parçalama takımlarına sahip olan ön depo-

Tablo 3.15: Yükleme helezonlarının referans değerleri ve uygulama parametreleri

Referans değerler	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Materyal genellikle paslanmaz çeliktir, pistonlar kapalı mahfazalara yerleştirilmiştir</li> <li>• Fermentöre yükleme: yatay, dikey veya yukarıdan çapraz</li> <li>• Yükleme sıvı yüzeyinin hemen altından</li> <li>• Fermentör dolum seviyesi ön deponun yukarı kenarının üstünde bulunuyorsa, manuel ve otomatik valf gereklidir</li> </ul>
Uygunluk	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Helezon kıvrımlarından küçük taşları bulunan diğer bütün istiflenebilir materyaller</li> <li>• Kıyılmış materyallerin nakliyesi, uzun lifli materyaller sorun olabilir</li> </ul>
Avantajları	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Besleme düzeneği bir rol oynamaz</li> <li>+ Otomatikleştirilebilir</li> <li>+ Birden fazla fermentör bir depodan aynı anda beslenebilir (örneğin bir tırmanma helezonu üzerinden iki sıkıştırma helezonuna dağıtmak suretiyle)</li> </ul>
Dezavantajlar	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Helezon mahfazalarında ve helezonlarda aşınma</li> <li>- Büyük taşlara ve diğer zararlı maddelere karşı hassasiyet (helezonların kıvrımlarına bağlı olarak)</li> </ul>
Özel durumlar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seyretilmiş materyallerin nakliyesi mümkündür</li> <li>• Helezonlardan gaz çıkışı engellenmelidir</li> <li>• Ön depoya bir kantar kurulmasıyla birlikte helezonlar üzerinden ağırlığa bağlı dozajlama mümkündür</li> <li>• Fermentörün hemen yanında yer almalıdır</li> <li>• Doldurma yüksekliği ve büyüklüğü, işletmedeki mevcut doldurma teknolojisine göre düzenlenmelidir</li> </ul>
Yapı formları	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sıkıştırma helezonu ön depodan fermentöre yatay, dikey veya çapraz</li> <li>• Fermentör yüksekliğinin aşılması için tırmanma helezonu sistemi (dikey taşıma)</li> <li>• Çeşitli ön depo sistemleriyle kombine edilebilme esnekliği (örneğin ön depo hunisi, itme zeminli konteynır, yem karma römorku)</li> </ul>
Bakım	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hareketli teknoloji nedeniyle düzenli bakım ihtiyacı söz konusudur</li> <li>• Tıkanmalar veya sıkışan zararlı maddeler elle bertaraf edilmelidir</li> <li>• Fermentöre nakli gerçekleştiren helezonun bakımı kısmen prosesin hatırı sayılır bir kesintiye uğramasına neden olur.</li> </ul>

lar kullanılabilir [3-8]. Besleme helezonlarına sahip yükleme sistemlerinin referans değerleri tablo 3.15'te bir araya getirilmiş, şekil 3.19'de bir örnekle görselleştirilmiştir.

#### Biyokütlenin püreleştirilmesi

Kofermentler (örneğin pancar) pancar işlemeciliğinde kullanılan parçalama düzenekleriyle hazırlanır, bu sayede pompalanabilir duruma getirilir. Bu esnada kalan kuru madde oranı % 18 kadardır. Sıvılaştırılmış materyaller uygun tanklarda depolanır ve ön depoya alınmaksızın doğrudan Nakliyat ve Yükleme Bölümü'nde açıklanan düzeneklerle fermentöre pompalanır. Bu yöntem ile sıvı gübrenin temel materyal olarak kullanılması durumunda da fermentördeki kuru madde oranının yükseltilmemesi sağlanır [3-8].

#### Yükleme bacaları

Boşaltma bacaları materyal yüklemesi için çok sağlam ve teknik bakımdan kolay bir çözüm teşkil ederler, tekerlekli kepeçlerle kolaylıkla doldurulabilirler ve büyük miktarda materyalin hızla eklenmesini sağlarlar. Nispeten eski küçük tesislerde bu tekniğe hâlâ rastlanmaktadır, son derece ucuzdur ve prensip olarak bakım gerektirmez. Ancak fermentöre doğrudan bağlanması nedeniyle hatırı sayılır koku problemleri veya

fermentörden metan çıkışı söz konusu olmaktadır, bu nedenle bu teknoloji yeni yapılan tesislerde artık kullanılmamaktadır [3-17].

#### İstiflenebilir materyallerin katı madde fermantasyonuna ilave edilmesi (Konteynır tekniği)

Yükleme taşıtlarıyla kolay ulaşılabirlik nedeniyle kutu fermentörler (konteynır) bulunan tesislerde yükleme otomasyonu bulunmamaktadır. Hem yükleme hem de boşaltma tarımda kullanılan nakliye teknikleriyle, genellikle tekerlekli kepeçlerle gerçekleştirilir.

#### Armatürler ve boru hatları

Kullanılan armatürler ve boru hatları çeşitli maddelere ve korozyona karşı dayanıklı olmalıdır. Kavramalar, kapatma sürgüleri, geri tepme klapeleri ve temizleme ağızları ve manometreler gibi armatürler kolay ulaşılabir ve kullanılabilir, donmaya dayanıklı şekilde yerleştirilmelidir. Tarımsal Meslek Birlikleri'nin "Biyogaz Tesisleri İçin Güvenlik Kuralları" boru hatları ve armatürlerin sahip olması gereken nitelikler hakkında açıklamalar içermekte olup, biyogaz tesisinin güvenli bir şekilde işletilmesi için materyal özellikleri, güvenlik önlemleri ve sızdırmazlık kontrolü için geçerli yasal ve teknik kurallara uyulmasına yardımcı olabilir [3-18]. Bütün boru hatlarının belli nok-

taalarında yoğuşan suyun boşaltılması imkanının sağlanması, ya da oluşabilecek hafif çökeltilerin öngörülmeden birikimler meydana getirmesini engellemek maksadıyla hatlara belirli bir eğim verilmesi, olağanüstü büyük öneme sahip bir faktör olarak karşımıza çıkmıştır. Sistemdeki düşük basınçlar nede-

niyle çok düşük yoğuşma suyu miktarları bile hatların tümüyle tıkanmasına yol açabilir. İçinde sıvı ve gaz bulunan hatlar için en önemli referans değerler tablo 3.16 ile 3.17'de bir araya getirilmiştir. Şekil 3.20 ve 3.21 de görsel olarak gösterilmiştir.

Tablo 3.16: Sıvı hatları için armatürlerin ve boru hatlarının referans değerleri

Referans değerler	<ul style="list-style-type: none"> <li>Boru hattı materyali: PVC, HDPE, çelik veya paslanmaz çelik, oluşan yük veya basınç basamağına göre</li> <li>Bağlantılar flanşlanmış, kaynak yapılmış veya yapıştırılmıştır</li> <li>Basıncı hatlar 150 mm, basınç altında bulunmayan hatlar (taşma hattı ve geri dönüş hattı) materyale göre 200–300 mm çapında olmalıdır</li> <li>Bütün materyaller materyalin kimyasal özelliklerine ve azami pompa basıncına dayanıklı olmalıdır (basınç hattı)</li> </ul>
Özel durumlar	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sürgüler kamalı yassı sürgü olarak çok iyi yalıtım sağlarlar, ancak zararlı maddelere karşı hassastırlar</li> <li>Bıçaklı sürgüler lifli maddeleri keser</li> <li>Hızla sökülebilir boru bağlantıları için bilyalı seri bağlantı noktaları kullanılmalıdır</li> <li>Bütün armatürler ve boru hatları donmaya dayanıklı olmalıdır, materyal sıcak ise izolasyon uygulanmalıdır</li> <li>Boşaltmanın sağlanması için borular % 1-2 eğimle yerleştirilmelidir</li> <li>Materyallerin fermentörden ön depoya geri akışı, hatların uygun şekilde yerleştirilmesiyle engellenmelidir</li> <li>Boru hatlarının zemine döşenmesi durumunda kurulumdan önce iyi bir yalıtım yapılmalıdır</li> <li>Geri tepmeli klapeler zararlı maddeler nedeniyle kapanmadığı takdirde, geri tepmeli klapelere sürgüler konulmalıdır</li> <li>Dökme demirden yapılmış hatlar uygun değildir, çünkü örneğin kaygan duvarlı plastik borulara göre çökelmelere daha uygundur</li> </ul>

Tablo 3.17: Gaz hatları için armatürlerin ve boru hatlarının referans değerleri

Referans değerler	<ul style="list-style-type: none"> <li>Boru hattı materyali: HDPE, PVC, çelik veya paslanmaz çelik (bakırdan veya diğer demir olmayan metallere yapılmış borular kullanılmamalıdır!)</li> <li>Bağlantılar flanşlanmış, kaynak yapılmış veya vidalanmıştır</li> </ul>
Özel durumlar	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bütün armatürler ve boru hatları donmaya karşı dayanıklı olmalıdır</li> <li>İstenmeyen yoğuşma birikimlerinden kaçınmak için borular daima eğimle döşenmelidir (tıkanma tehlikesi)</li> <li>Yoğuşmalar bütün gaz hatlarından tahliye edilebilmelidir, su tahliyesi yoğuşma bacasından yapılmalıdır</li> <li>Bütün armatürler kolay ulaşılabilir, kolay bakım yapılabilir ve güvenli bir noktadan kumanda edilebilir olmalıdır</li> <li>Boru hatlarının zemine döşenmesi durumunda kurulumdan önce iyi bir yalıtım yapılmalıdır, basınç oluşmaması, gerektiği takdirde kompensatörler veya U kıvrımları hesaplanmalıdır</li> </ul>



Şekil 3.20: Bir pompa istasyonunda boru hatları ve armatürler, kapatma sürgüleri [DBFZ]



Şekil 3.21: Boru hatlı ve basınç koruyuculu iki tank arasında çalışma alanı (solda); kompresör fanlı gaz hattı (sağda) [MT-Energie GmbH (solda), DBFZ (sağda)]

Tablo 3.18: Tam karışimli biyogaz reaktörlerinin özellikleri; [3-1] ve [3-3] uyarınca

Referans değerler	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 6.000 m<sup>3</sup> büyüklüğünde reaktörler mümkündür, ancak karışım ve proses kontrolleri artan büyüklükle birlikte teknik olarak karmaşıklaşır</li> <li>• Uygulamada kullanılan malzeme genellikle beton ve çeliktir</li> </ul>
Uygunluk	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Esas olarak bütün materyal tipleri, tercihen düşük ve orta kuru madde oranına sahip pompalanabilir materyaller</li> <li>• Karıştırma ve taşıma teknolojilerinin materyale uygun olması gerekir</li> <li>• Yalın yenilenebilir hammadde fermentasyonunda geri aktarım</li> <li>• Sürekli besleme, kesik besleme ve sürekli olmayan beslemeye uygundur</li> </ul>
Avantajları	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ 300 m<sup>3</sup> üzerinde reaktör hacimlerinde düşük maliyetli yapım</li> <li>+ Sürekli akış ve beklemeli sürekli akış yöntemleri arasında geçişli işletme</li> <li>+ Teknik düzeneklerin bakımı yapı tarzına göre genellikle fermentör boşaltılmadan yapılabilir</li> </ul>
Dezavantajlar	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kısa devre akımları (bypass) olası ve muhtemeldir, bundan ötürü bekleme süresi değeri kesin değildir</li> <li>- Yüzer örtülerin ve çökelti tabakaları oluşumu mümkündür</li> </ul>
Özel durumlar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bazı materyallerde tortuların tahliyesi tavsiye edilir (örneğin kireç tortusu nedeniyle tavuk gübresi), tahliye helezonlu skreyper</li> </ul>
Yapı formları	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dik duran silindirik tanklar, yerüstü veya hemzemin kapanan tanklar</li> <li>• Karıştırma düzenekleri çok güçlü olmalıdır; sadece sıvı gübre fermentasyonunda basınçlı biyogaz ile pnömatik karıştırma yapılabilir</li> <li>• Materyal devridaim olanakları: Serbest reaktör bölmesinde dalgıç motor karıştırma mekanizmaları, bir merkezi dikey kılavuz borusunda aksel karıştırma mekanizması, harici pompalarla hidrolik devridaim, bir kılavuz boruya biyogazın basınçla gönderilmesi sayesinde pnömatik devridaim, reaktör tabanındaki memeler sayesinde biyogazla karıştırma</li> </ul>
Bakım	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menhol girişi kolaylaştırmaktadır</li> </ul>

### 3.2.2 Biyogaz üretimi

#### 3.2.2.1 Fermentör yapı biçimleri

Fermentör yapı biçimleri, fermentasyon tipine çok yakın bir şekilde bağlıdır. Materyal fermentasyonu için tam karışım yöntemi, tapa akış yöntemi ve özel yöntemler kullanılabilir.

#### Tam karıştırmalı yöntem

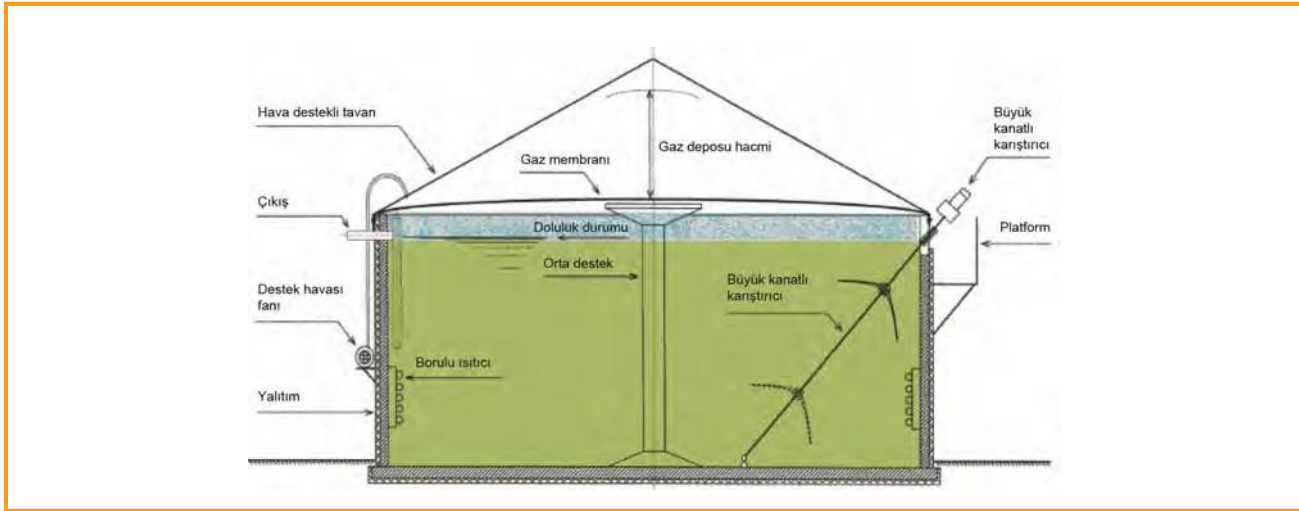
Ağırlıklı olarak tarımsal biyogaz üretimi alanında si-

lindirik, dik duran tam karışimli reaktörler kullanılmaktadır. Bunlar halen (2009) tesis mevcudunun yaklaşık % 90'ını teşkil etmektedir. Fermentörler beton zeminli, çelik veya demirli beton duvarlı bir tanktan oluşur. Tanklar tümüyle veya kısmen yere gömülü, ya da tümüyle yerüstünde olabilir.

Tankların üzeri, taleplere veya konstrüksiyon tarzına göre farklı şekillerde uygulanabilecek gaz geçirmez bir kapakla örtülür. Genellikle folyo çatılar ve beton tavanlar kullanılır. Tam karışım, karıştırıcılar tarafından reaktörde gerçekleştirilir. Spesifik özellik-

Tablo 3.19: Tapa akışlı biyogaz reaktörlerinin özellikleri; [3-1] ve [3-3] uyarınca

Referans değerler	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Büyüklüğü: Yatay fermentörlerde 800 m<sup>3</sup>'e, dik duran fermentörlerde yakl. 2.500 m<sup>3</sup>'e kadar</li> <li>• Materyal: Ağırlıklı olarak çelik ve paslanmaz çelik, ayrıca demirli beton</li> </ul>
Uygunluk	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Yaş fermantasyon: Yüksek kuru madde içeren pompalanabilir materyaller için uygundur</li> <li>• Katı madde fermantasyonu: Karıştırma ve taşıma teknolojilerinin materyale uygun olması gerekir</li> <li>• Kesik besleme ve sürekli olmayan besleme için öngörülmüştür</li> </ul>
Avantajları	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Küçük tesislerde kompakt, düşük maliyetli yapım</li> <li>+ Engellenmiş akış nedeniyle fermantasyon basamaklarının ayrılması</li> <li>+ Yapı tarzına bağlı olarak yüzer örtülerden ve çökelti tabakalarından kaçınma</li> <li>+ Kısa devre akımlarının oluşmasını genel olarak engellemek suretiyle bekleme sürelerine uyulması</li> <li>+ Düşük bekleme süreleri</li> <li>+ Etkin ısıtılabilir, kompakt yapı tarzı nedeniyle düşük ısı kaybı</li> <li>+ Yaş fermantasyon: Güçlü, güvenli çalışan ve enerji tasarrufu sağlayan karıştırıcılar kullanılabilir</li> </ul>
Dezavantajlar	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tankların yer ihtiyacı</li> <li>- Taze materyalin aşılması eksiktir veya fermantasyon artıklarının geri aktarımıyla gerçekleştirilmesi gerekir</li> <li>- Sadece küçük boyutlarda ekonomik olarak üretilebilir</li> <li>- Karıştırıcıda yapılacak bakım çalışmaları, fermantasyon tankının tam olarak boşaltılmasını gerektirir</li> </ul>
Özel durumlar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tapa akışlı reaktör olarak yuvarlak veya köşeli kesit</li> <li>• Yatay veya dikey olarak yapılabilirler, ancak genellikle yatay konumda kullanılırlar</li> <li>• Dik durduğu takdirde engellenmiş akış genellikle dikey, nadiren de yatay Ek yapılar tarafından gerçekleştirilir</li> <li>• Karıştırma düzenekleri ile ya da bunlar olmadan işletilebilir</li> </ul>
Yapı formları	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bağlanacak bütün düzenekler ve boru hatları için açıklıklar öngörülmelidir</li> <li>• Güvenlik için gaz bölmesine bir aşırı basınç valfi takılmalıdır</li> </ul>
Bakım	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Arıza durumunda reaktöre girebilmek için en az bir menhol öngörülmelidir</li> <li>• Fermentördeki çalışmalar esnasında güvenlik önlemlerine uyulmalıdır</li> </ul>



Şekil 3.22: Tam karışım fermentör, uzun akslı karıştırıcı ve diğer yapılarla birlikte [Anlagen- und Apparatebau Lütke GmbH]

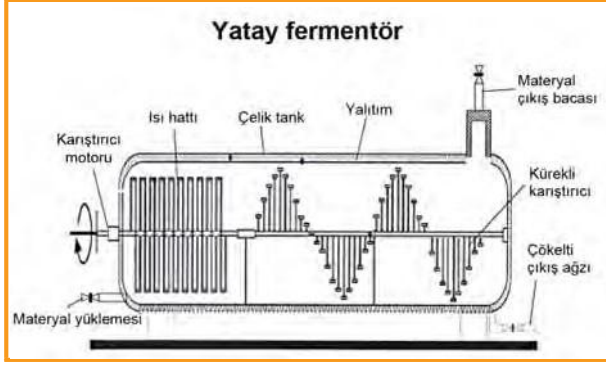
ler tablo 3.18'de gösterilmiştir, Şekil 3.22 bir kesit göstermektedir. Farklı karıştırıcı formları 3.2.2.3 içinde daha ayrıntılı olarak ele alınmaktadır.

### Tapa akışlı (Engellenmiş akım) yöntem

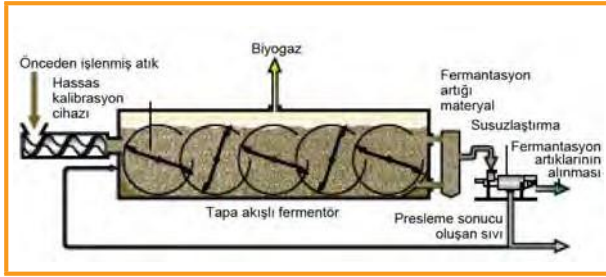
Tapa akışlı biyogaz tesisleri – yaş fermantasyonda tank sürekli akışlı sistem olarak da bilinir – yuvarlak veya dört köşe kesitli bir fermentörde tapa akışını (engellenmiş akım) gerçekleştirmek için yüklenen ham

materyalin yer değiştirme etkisini kullanır. Akış yönü boyunca bir karışımın gerçekleşmesi için genellikle kanatlı miller veya özel olarak tasarlanmış bir akım hatları kullanılır. Bu tür tesislerin özellikleri tablo 3.19'da karakterize edilmiştir.

Esas olarak yatay ve dikey tapa akış fermentörleri bulunmaktadır. Tarımda genelde sadece yatay fermentörler kullanılır. Tapa akış yönteminde dikey fermentörler sadece münferiten kullanılır ve bu incele-



Şekil 3.23: Tapa akışlı reaktör (Yaş fermantasyon) [3-4]



Şekil 3.24: Tapa akışlı reaktör (Katı madde fermantasyonu) [Strabag-Umweltanlagen]

menin konusu değildir. Tapa akış reaktörünün yapısı sıvı fermantasyonu ve katı madde fermantasyonu için şekil 2.23 ile şekil 3.25'te gösterilmiştir.

Genelde yatay çelik tanklar olarak uygulanan fermentörler fabrikada üretilir ve oradan tedarik edilir. Ancak fermentörün kullanım yerine nakliyesi sadece belli bir tank büyüklüğüne kadar mümkündür. Bu tekniğin uygulaması ana fermentör olarak küçük tesislerde ya da ön fermentör olarak tam karışimli ana fermentörleri olan daha büyük tesislerde söz konusu

olabilir. Yatay fermentörler daha büyük üretim hacmi gerçekleştirmek için paralel olarak da kullanılır.

Fermente olmamış materyalin istenmeden fermentörden çıkma ihtimali tapa akış prensibinde ortadan kaldırılmıştır ve bekleme süresi materyalin tümü için daha yüksek bir güvenceyle sağlanabilir [3-3].

### Kesikli besleme yöntemi

Kesikli besleme yöntemi, mobil konteynır tesisleri veya sabit kutu fermentörleri (konteynır) olarak tasarlanmıştır. Bu yöntem geçtiğimiz yıllarda ticari düzeye ulaşmış ve pazarda kendisini kabul ettirmiştir. Özellikle demir betonlu kutu fermentörleri mısır veya ot silajı gibi dökülebilir materyallerin fermantasyonunda kullanılmaktadır.

Kesikli besleme yönteminde fermentör biyokütleyle doldurulur ve hava sızdırmayacak şekilde kapatılır. Ham materyale karıştırılan aşı materyalinde bulunan mikroorganizmalar sayesinde, fermentörde havanın bulunduğu ilk aşamada aerob fermantasyon ile ısınma, daha sonra ısı açığa çıkmasına bağlı kompostlaşma prosesi gerçekleşir. İşletme sıcaklığına erişilmesinden sonra hava beslemesi kesilir. Ortamdaki oksijenin tükenmesinden sonra, yaş fermantasyonda biyokütleyi biyogaza dönüştüren mikroorganizmalar aktifleşir. Biyogaz, fermentöre bağlanmış olan gaz toplama hatları aracılığı ile kullanım yerine aktarılır. [3-1].

2 ila 8 üniteli – genellikle 4 – fermentör bataryalarının amaca en uygun olduğu tespit edilmiştir. Bu sayede kesikli beslemeli gaz üretimi gerçekleştirilir.

Bir fermentör bataryasında fermentörden sızan sıvıyı tutan ve tekrar biyogaza dönüştüren bir perkolat deposu vardır. Ayrıca perkolat sıvısı, materyal aşı-



Şekil 3.25: Tapa akışlı fermentör; uygulama örnekleri, silindirik (solda), dikdörtgen, üstünde gaz deposu mevcut (sağda) [Novatech GmbH (solda), DBFZ (sağda)]



Şekil 3.26: Kutu fermentör (konteynır tip) örneği; fermentör bataryası [Weiland, vTI] ve fermentör kapısı [Paterson, FNR]

laması için fermentördeki materyalin üzerine pülverize edilir. Kutu fermentör ve fermentör bataryası örneği şekil 3.26'da gösterilmiştir.

### Özel yöntemler

Yaş fermantasyon ve katı madde fermantasyonu yukarıda açıklanan ve çok yaygın olarak kullanılan yöntemlerin dışında, yukarıda belirtilen kategorilerin hiç birine dahil edilemeyen başka yöntemler de vardır. Gelecekte nasıl bir anlam kazanacakları henüz tam olarak tahmin edilemeyen bir dizi yeni görüş de ortaya çıkmıştır.

Yaş fermantasyon için özel yöntemler alanında Doğu Almanya'da materyal karışımının çift bölme yöntemiyle (karabiber tanesi prensibi) gerçekleştirildiği fermantasyon yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemde hidrolik materyal devridaimi gaz üretiminden kaynaklanan ve önceden tespit edilen bir aşırı basınca ulaşıldığında basıncın serbest bırakılmasına dayanan otomatik bir basınç tesisi ile sağlanır. Bundan ötürü devridaim için elektrik enerjisi kullanımından imtina edilebilir. Buna karşın fermentörün yapımı daha zordur. Tarımsal alanlarda bu teknolojiye dayanan, fermentör hacimleri 400 ila 6.000 m<sup>3</sup> arasında değişen, ağırlıklı olarak az miktardayenilebilir bitkisel materyal (NawaRo) içeren sıvı gübre fermantasyonu ve atık su çamuru fermantasyonu için kurulmuş 50'nin üstünde biyogaz tesisi bulunmaktadır. Çift bölmeli bir fermentörün yapısı şekil 3.27'de görülmektedir.

Katı fermantasyon alanında kesik besleme prensibi çeşitli özel formlarda uygulanmaktadır. Tüm farklılıklarına rağmen bu yöntemde dökülebilir materyaller için kapalı bir mekan ortaktır.

Çok basit bir çözüm olarak silaj teknolojisinden esinlenerek folyo hortum fermantasyonu geliştirilmiştir. Burada ısıtılabilir bir beton plaka üzerinde uzun-



Şekil 3.27: Çift bölmeli fermentör [ENTEC Environment Technology Umwelttechnik GmbH]

luğu 100 m'yi bulan gaz geçirmez bir plastik hortum, bir doldurma düzeneği vasıtasıyla fermantasyon materyali ile doldurulur. Biyogaz entegre bir toplama hattında toplanır ve bir kombine ısı ve güç santraline aktarılır.

Biriktirme yöntemi olarak da yukarıdan yükleme sistemi kullanılır. Materyalin nemlendirilmesi, fermantasyon materyalinin sıvı altında kalmasına kadar periyodik bir sızma işlemi ile gerçekleştirilir.

Yeni bir uygulama da, karışımli kutu (konteynır) fermentörde iki basamaklı yöntemdir. Fermentöre monte edilmiş olan helezon mili ile materyal homojenleştirilir, taşıyıcı helezonlar bir sonraki basamağa nakil işlemini gerçekleştirir. Kesikli besleme fermentörleri kapısız üretilir. Dökülebilir materyal bunun yerine tümüyle kapsülendir, bir helezonlu besleyici ile içe veya dışa aktarılır.

İki basamaklı bir katı madde – yaş fermantasyon işlemi bir kutu bölümünde hem hidrolizi, hem de fer-



Şekil 3.28: Katı madde fermantasyonunda özel yapı biçimlerine örnekler (solda), karışım kutu (konteynır) fermentör (ortada), kuru-yaş fermantasyon yönteminin metan basamağı ve harici gaz deposu (sağda) [ATB Potsdam (sol), Mineralit GmbH (orta), GICON GmbH (sağ)]

mentasyon materyalinin yıkanmasını sağlar. Hidrolizden ve yıkanmadan çıkan sıvı bir hidroliz tankına aktarılır. Oradan da metan basamağına besleme yapılır. Yani bu yöntem metan oluşumunu birkaç saatten az bir sürede başlatıp sona erdirmeye yeteneğine sahiptir, bundan ötürü de düzenleyici enerji olmaya uygundur. Özel yapı formlarına dair genel bakış şekil 3.28’de görülmektedir.

### 3.2.2.2 Fermentörün konstrüksiyonu

Fermentörler genel olarak ısı yalıtımlı esas fermantasyon tankından, bir ısıtma sisteminden, karıştırma düzeneklerinden ve çökeltilerin ve fermente olmuş materyalin dışarı taşınması sisteminden oluşmaktadır.

#### Tank konstrüksiyonu

Fermentörler çelikten, paslanmaz çelikten ve demirli betondan imal edilebilir.

**Demirli beton** suya doymuş olması nedeniyle yeteri kadar gaz yalıtımlıdır, bunun için gereken nem hammaddede ve biyogazda bulunmaktadır. Fermentörler kurulacakları yerde betondan dökülebilirler veya hazır parçalar bir araya getirilebilir. Beton tanklar, zemin özellikleri izin verdiği takdirde tümüyle veya kısmen yerin altına yerleştirilebilirler. Tank tavanı betondan yapılabilir, yer altında bulunan tankların üst kısımları taşıt trafiğine izin verebilir, ancak burada biyogaz harici bir gaz deposunda toplanmalıdır. Fermentör aynı anda gaz deposu olarak da kullanılacaksa, gaz geçirmez folyo çatılar kullanılır. Belirli bir tank büyüklüğünden sonra, beton tavanlarda orta desteklerin kullanılması gereklidir. Burada usulüne uygun olmayan uygulamalarda tavanda çatlak oluşması tehlikesi bulunmaktadır. Geçmişte yaşanan tecrübelerde sık sık çatlak oluşması, su ve hava sızıntısı ve beton korozyonu oluşumu gözlenmiş, bazı uç örneklerde fermentörün yıkılması bile söz konusu olmuştur.

Bu gibi sorunların oluşumu yeterli bir beton kalitesi ve fermentörün profesyonel olarak planlanmasıyla engellenmelidir. Alman Federal Çimento Sanayi Birliği, “Biyogaz Tesislerindeki Tanklar İçin Beton” başlıklı LB 14 çimento broşürünü yayınlamıştır. [3-13] Bu broşürde demirli beton fermentöründe kullanılacak beton malzemesinin ne gibi özelliklere sahip olması gerektiğine dair tavsiyelerde bulunulmuştur. Biyogaz tesislerinin yapımında kullanılacak beton için en önemli veriler tablo 3.20’de bir araya getirilmiştir. Bunun dışında LB 3 [3-10] ve LB 13 [3-11] tarımsal çimento broşürlerinde de konuyla ilgili ek bilgiler temin edilebilir. Yapımı sürmekte olan bir demirli beton fermentörü örneği şekil 3.29’da görülmektedir.

**Çelik ve paslanmaz çelikten** yapılmış tanklar, bir beton temel üzerine oturtulur ve bu temele bağlanır. Bunun için sargılı sac şeritler ve kaynaklanmış veya vidalanmış çelik plakalar kullanılır. Ardından vidalanan yerlerin yalıtımı yapılmalıdır. Çelik fermentörler daima yer üstüne kurulur. Genel olarak çatı kısmı gaz deposu olarak kullanılır ve gaz geçirmez bir folyoyla kapanır. Çelik tankların referans değerleri ve özellikleri tablo 3.21’de gösterilmiştir. Şekil 3.30’da örnekler görülmektedir.

### 3.2.2.3 Karıştırma ve karma teknoloji

Fermentör içeriğinin iyi bir şekilde karıştırılması birden fazla nedenden ötürü mutlaka sağlanmalıdır:

- Ham materyalin biyolojik aktif fermentör sıvısıyla temasının sağlanması yoluyla aşılması
- Fermentör içinde ısının ve besin maddelerinin düzenli dağılımı
- Çökelti ve yüzer tabakaların engellenmesi
- Fermantasyon materyalinden oluşan biyogazın tam olarak dışarıya alınması.

Fermantasyon materyali çok düşük düzeyde ham materyal beslemesi, konveksiyon akımları ve gaz baloncuklarının çıkmasıyla sağlanır. Ancak pasif karıştırma





Şekil 3.29: Bir beton fermentörün yapımı  
[Johann Wolf GmbH & Co Systembau KG]

yeterli olmadığı için, karıştırma prosesi aktif olarak desteklenmelidir.

Karıştırma işlemi çürütme tankındaki karıştırıcılar ile mekanik, fermentörün dışına yerleştirilmiş pompalar tarafından hidrolik ya da biyogazın fermentöre basınçla gönderilmesi ile pnömatik olarak gerçekleştirilir.

Yukarıda belirtilen son iki seçenek, ikincil derecede önemlidir. Almanya'da tesislerin yaklaşık % 85-90 kadarında karıştırıcı olarak mekanik düzenekler kullanılmaktadır [3-1].

### Mekanik karıştırma

Fermentasyon materyalinin mekanik karıştırma işlemi, karıştırıcıların kullanılmasıyla gerçekleştirilmektedir. İtmeye ve yoğurmaya dayanan karıştırıcılar bulunmaktadır. Bunların kullanımı esas olarak karıştırılacak maddenin viskozitesine ve katı madde oranına bağlıdır.

Her iki sistemin kombine edildiği durumlar da ender değildir. Bu sayede daha iyi bir karıştırma sağlanır.

Karıştırıcılar sürekli veya kesikli olarak çalıştırılabilir. Uygulama örnekleri, karıştırma aralıklarının her biyogaz tesisinin materyal özellikleri, tank büyüklükleri, yüzer tabaka oluşturmaya eğilimleri vb. gibi kendine özgü koşullarına göre ampirik olarak optimize edilmesi gerektiğini ortaya koymuştur. Tesis işletmeye alındıktan sonra, güvenlik gereği daha uzun ve sık karıştırılır. Edinilen bu tecrübeler hem aralıkların sürelerinin ve sıklığının optimasyonunda, hem de karıştırıcıların ayarlanmasında kullanılmaktadır. Burada farklı karıştırıcı tipleri de kullanılabilir.

Karıştırma yapılan dikey fermentörlerde genellikle **dalgıç motorlu karıştırıcılar** (DMK) kullanılır. İki veya üç kanatlı olan seri DMK'lar ile iki parçalı büyük kanatlı DMK'lar arasında ayırım yapılmaktadır. İtme tabanlı bu karıştırıcılar, şanzımsız ve redüktörlü elektrikli motorlar tarafından çalıştırılır. Bu karıştırıcılar tümüyle materyalin içine daldırıldıkları için mahfazaları basınçlı suyu sızdırmayacak ve korozyonu engelleyecek şekilde mantolanır ve bu suretle ortamda bulunan madde tarafından soğutulur [3-1]. Dalgıç motorlu kanatlı karıştırıcılar için referans değerler tablo 3.2'de belirtilmiş, şekil 3.31'de örnekler verilmiştir.

İtme tabanlı **uzun akslı karıştırıcılarda** alternatif olarak motor fermentöre eğik olarak monte edilen bir karıştırıcı milin sonunda bulunur. Motor fermentörün dışına yerleştirilmiştir, ancak fermentöre mil girişi fermentörün çatısından veya folyo çatılı fermentörlerde duvarın üst kısmından gerçekleştirilir ve gaz geçirmez bir yapıya sahiptir. Miller buna ilave olarak fermentör zeminine yerleştirilmiş bir veya birden fazla küçük kanatlı pervaneyle ya da büyük kanatlı karıştırıcılarla donatılmış olabilir. Tablo 3.23 uzun akslı karıştırıcıların referans değerlerini vermektedir, Şekil 3.32'de ise örnekler görülmektedir.

Fermentörün itme tabanlı mekanik karıştırılmasının bir başka uygulaması da **eksenel karıştırıcılar**dir. Eksenel karıştırıcılar Danimarka'daki biyogaz tesislerinde sıklıkla kullanılırlar ve kesintisiz işletilirler. Genellikle fermentörün tepesindeki bir mile merkezi olarak monte edilmişlerdir. Fermentörün dışında bulunan tahrik motorunun hızı, bir şanzıman tarafından oldukça düşürülür. Eksenel karıştırıcılar fermentörün içinde, içeride aşağıya ve duvarlarda yukarıya doğru daimi bir akım oluşturmalıdır. Eksenel karıştırıcıların referans değerleri ve uygulama parametreleri tablo 3.24'te bir araya getirilmiştir, şekil 3.34'te bir örnek gösterilmektedir.

**Kanatlı veya çıkık tipi karıştırıcılar** yavaş dönen uzun akslı karıştırıcılardır. Karıştırma etkisi materyalin itilmesinden ziyade yoğrulmasına dayanmakta olup, özellikle KM bakımından zengin materyalin iyi bir şekilde karışmasını sağlamaktadır. Bu karıştırıcılar hem dikey karıştırma düzenine sahip fermentörlerde, hem de yatay fermentörlerde kullanılmaktadır.

*Yatay* fermentörlerde karıştırıcı aks yapı tarzına bağlı olarak yatay konumdadır, bu aksa bağlı olan kanatlar karıştırma işlemi gerçekleştirilmektedir. Yatay tapa akışı, materyalin fermentöre aktarılmasıyla oluşturulur. Karıştırıcıların hareket millerinde veya karıştırma kollarında genellikle fermentasyon mater-

Tablo 3.20: Biyogaz tesislerindeki tanklarda kullanılacak betonun referans değerleri ve uygulama parametreleri; [3-10], [3-11], [3-13]

Referans değerler	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sıvı teması olan bölmede fermentörler için C25/30; gaz bölümünde C35/veya bzw. C30/37 (1p) dona maruz kalan bölgeler, ön depolar ve sıvı gübre depolarında = C25</li> <li>Uygun beton koruma teknikleri kullanılırsa daha düşük beton mukavemeti mümkündür</li> <li>Su-çimento değeri = 0,5. Ön depolar ve sıvı gübre depoları için = 0,6</li> <li>Çatlak genişliği kısıtlaması matematiksel olarak = 0,15 mm</li> <li>Yalıtım kaplamasının beton örtüsü, asgari iç çapı 4 cm</li> </ul>
Uygunluk	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bütün fermentör tipleri (yatay ve dikey) ve tanklar</li> </ul>
Avantajları	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Temel ve fermentör bir yapı parçası olabilir</li> <li>+ Hazır parça montajı kısmen mümkün</li> </ul>
Dezavantajlar	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sadece don olmayan dönemlerde üretilebilir</li> <li>- Yapım süresi çelik fermentörlere göre daha uzun</li> <li>- Yapım aşamasından sonra gündeme gelen zorunlu açıklıklar, büyük güçlüklerle kapatılabilir.</li> </ul>
Özel durumlar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zemin ısıtıcılarında ısıtmadan kaynaklanan gerilimler dikkate alınmalıdır</li> <li>• Gaz yalıtımı sağlanmış olmalıdır</li> <li>• Kısmen yapının içindeki büyük sıcaklık farklarından kaynaklanan gerilimler,</li> <li>• Hasar oluşumunun engellenmesi için yapım aşamasında takviyeler dikkate alınmalıdır</li> <li>• Özellikle sürekli olarak materyal ile temas etmeyen beton yüzeyler (gaz bölümü) asit korozyonuna karşı kaplamalarla korunmalıdır (örneğin Epoksit ile)</li> <li>• Resmi makamlar genellikle bir kaçak tanıma sistemi talep etmektedir</li> <li>• Sülfat dayanıklılığı sağlanmalıdır (HS çimentosu kullanımı)</li> <li>• Çatlak ve hasar oluşumunun engellenmesi için tank statüğü kurulum yerine özel koşullara göre hesaplanmalıdır</li> </ul>

Tablo 3.21: Biyogaz tesislerindeki tanklarda kullanılan çeliğin referans değerleri ve uygulama parametreleri

Referans değerler	<ul style="list-style-type: none"> <li>Galvanizli/emaye yapı çeliği St 37 veya paslanmaz çelik V2A, korozyon oluşabilecek gaz bölümünde V4A</li> </ul>
Uygunluk	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bütün yatay ve dikey fermentörler ve tanklar için</li> </ul>
Avantajları	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Ön hazırlık ve kısa yapım süresi</li> <li>+ Açıklıkların yapılmasında esneklik</li> </ul>
Dezavantajlar	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gerekli temel ancak don olmayan dönemlerde atılabilir</li> <li>- Karıştırıcı düzenekler için ek bir destek gereklidir</li> </ul>
Özel durumlar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Özellikle sürekli olarak materyal ile temas etmeyen yüzeylerde (gaz bölümü) korozyon nedeniyle yüksek kaliteli materyaller veya koruyucu kaplama kullanılmalıdır.</li> <li>• Özellikle temel ve çatı bağlantılarında gaz yalıtımı sağlanmalıdır</li> <li>• Resmi makamlar genellikle bir kaçak tanıma sistemi talep etmektedir</li> <li>• Yapı çeliğinden tankların kaplamalarında hasar oluşumunun mutlaka önlenmelidir.</li> </ul>



Şekil 3.30: Yapım aşamasındaki paslanmaz çelik fermentör [Anlagen- und Apparatebau Lütke GmbH]

Tablo 3.22: Dalgıç motorlu kanatlı karıştırıcıların referans değerleri ve uygulama parametreleri; [3-2], [3-16], [3-17]

Referans değerler	<p><i>Genel:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kullanım süresi materyale bağlıdır, başlangıç aşamasında tespit edilmelidir</li> <li>• Büyük fermentörlere birden fazla karıştırıcı kurulabilir</li> </ul> <p><i>Pervane:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aralıklı çalıştırmada yüksek dönü hızı (500 ila 1.500 d/dak)</li> <li>• Güç aralığı: &lt; 35 kW</li> </ul> <p><i>Büyük kanat:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aralıklı çalıştırmada düşük dönü hızı (50 ila 120 d/dak)</li> <li>• Güç aralığı: &lt; 20 kW</li> </ul>
Uygunluk	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bütün materyaller yaş fermantasyonda, dikey fermentörde</li> <li>• Aşırı yüksek viskozitelere uygun değildir</li> </ul>
Avantajları	<p><i>Pervane:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>+ Türbülanslı akım oluşturur, bundan ötürü fermentörde iyi bir karışım elde edilir, yüzer tabakalar ve çökelti tabakaları kırılabilir.</li> <li>+ Çok iyi hareketlilik sayesinde bütün fermentör hacminin istenilen şekilde karıştırılması sağlanabilir</li> </ul> <p><i>Büyük kanat:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>+ Fermentörde çok iyi bir karışım elde edilebilir,</li> <li>+ Daha düşük türbülanslı akım sağlar ayrıca kullanılan her kWel başına seri çalışan TMR'lere göre daha büyük itme gücü sağlar</li> </ul>
Dezavantajlar	<p><i>Genel:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Kılavuz raylar üzerinden hareketli parçaların birçoğu fermentöre alınabilir</li> <li>- Bakım çalışmalarında fermentörün açılması gerekir, ancak boşaltma işlemine genelde gerek kalmaz (vinçli donanımda)</li> <li>- Aralıklı karıştırma nedeniyle çökeltme ve yüzey katmanı oluşabilir.</li> </ul> <p><i>Pervane:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Kuru madde bakımından zengin materyallerde boşluklar oluşabilir. (Karıştırıcı "kanat çevresinde oluşan boşlukta döner")</li> </ul> <p><i>Büyük kanat:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Karıştırıcının yönü işletmeye alınmadan önce saptanmalıdır</li> </ul>
Özel durumlar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kılavuz boruların fermentör tavanından geçirilmesi durumunda borular gaz yalıtımlı olmalıdır</li> <li>• Aralıklı kumanda örneğin zaman devreli saat veya diğer proses kumandalarıyla gerçekleştirilebilir</li> <li>• Motor mahfazaları bütünüyle sıvı yalıtımlı olmalıdır, motor mahfazasında otomatik delik tanma sistemleri kısmen mevcuttur</li> <li>• Yüksek fermentör sıcaklıklarında bile motorun soğutulması sağlanmalıdır</li> <li>• Frekans dönüştürücüyle devrin yumuşak şekilde artırılması mümkündür</li> </ul>
Yapı formları	<p><i>Pervane:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dalgıç tip şanzımsız ve redüktörlü, pervaneli elektrikli motorlar</li> <li>• Pervane çapı yakl. 2.0 m'ye kadar mümkündür</li> <li>• Materyal: Korozyona dayanıklı, paslanmaz çelik veya kaplanmış dökme demir</li> </ul> <p><i>Büyük kanat:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dalgıç tip şanzımsız ve redüktörlü, çift kanatlı elektrikli motorlar</li> <li>• Kanat çapı: 1.4 ila 2.5 m arasında</li> <li>• Materyal: Korozyona dayanıklı, paslanmaz çelik veya kaplanmış dökme demir, plastik kanatlar veya cam elyafıyla güçlendirilmiş epoksit reçine</li> </ul>
Bakım	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Motorun fermentörden çıkartılması zor</li> <li>• Bakım ve motor çıkartma açıklıkları fermentörde bulunmalıdır.</li> <li>• Fermentördeki çalışmalar esnasında güvenlik önlemlerine uyulmalıdır</li> </ul>

yalini ısıtmaya yarayan entegre ısıtma kangalları (Şekil 3.23) bulunur. Karıştırıcı günde birçok kez kısa bir süre için düşük devirde çalıştırılır. Referans değerler tablo 3.25'te bulunmaktadır.

Dikey karıştırma düzenekli fermentörlerde yatay karıştırma mili bir çelik konstrüksiyon yardımıyla yataklanır. Milin yönü daha sonra değiştirilemez. Uygun, itme tabanlı bir karıştırıcıyla fermentörün karıştırılması gerçekleştirilir. Konuyla ilgili bir örnek

şekil 3.34'te verilmiştir. Özellikler tablo 3.25'te görülebilir. .

### Pnömatik karıştırma

Fermantasyon materyalinin pnömatik olarak karıştırılması bazı üreticiler tarafından sunuluyorsa da, bu yöntem tarımsal biyogaz tesislerinde ikincil öneme sahiptir.

Tablo 3.23: Uzun akslı karıştırıcıların referans değerleri ve uygulama parametreleri

Referans değerler	<p><i>Pervane:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Orta ve yüksek devirli çalışma (100–300 d/dak)</li> <li>Kullanılabilir güç aralıkları: &lt; 30 kW</li> </ul> <p><i>Büyük kanat:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Düşük devirli çalışma (10–50 d/dak)</li> <li>Kullanılabilir güç aralıkları: 2–30 kW</li> </ul> <p><i>Genel:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Kullanım süresi materyale bağlıdır, başlangıç aşamasında tespit edilmelidir</li> <li>Materyal: Korozyona dayanıklı, çelik kaplama, paslanmaz çelik</li> </ul>
Uygunluk	<ul style="list-style-type: none"> <li>Yaş fermantasyonda tüm materyaller, dikey fermentörde</li> </ul>
Avantajları	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Fermentörde çok iyi bir karışım elde edilebilir</li> <li>+ Fermentörde pek az hareketli parça bulunur</li> <li>+ Tahrik düzeneğinin bakımı fermentörün dışında kolaylıkla yapılır</li> <li>+ Sürekli işletimde çökme ve yüzme süreçleri engellenebilir</li> </ul>
Dezavantajlar	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sabit kurulum nedeniyle yetersiz karışım söz konusu olabilir</li> <li>- Bundan ötürü çökelti ve yüzer tabakaların oluşması mümkündür</li> <li>- Aralıklı karıştırmada çökeltme ve yüzen abakalar oluşabilir.</li> <li>- Dışarıda bulunan motorlarda, motor ve şanzıman gürültüleri nedeniyle sorunlar oluşabilir</li> <li>- Fermentörde bulunan yataklar ve miller arızalanabilir, bir sorun olduğunda fermentörün kısmen veya bütünüyle boşaltılması gerekebilir</li> </ul>
Özel durumlar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Karıştırıcı mil fermentör giriş noktasının gaz yalıtımlı olması gerekir</li> <li>• Aralıklı çalıştırmada kumanda örneğın zaman devreli saat diğer proses kumandalarıyla gerçekleştirilebilir</li> <li>• Frekans dönüştürücüyle devrin yumuşak şekilde artırılması mümkündür</li> </ul>
Yapı formları	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dışarıda bulunan şanzımanlı/şanzımsız elektrikli motorlar, içeride bulunan bir veya birden fazla pervane veya kanat çiftli karıştırıcı akslar, gereğinde parçalama takımlı (bkz. Bölüm Parçalama)</li> <li>• Kısmen aks ucu yere sabitlenmiştir, yüzer veya döner tipte</li> <li>• Kuyruk mili bağlantısı mümkündür</li> </ul>
Bakım	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Motorun bakımı fermentör dışında yapılan montaj nedeniyle basittir ve prosese ara vermeden gerçekleştirilebilir</li> <li>• Fermentörden çıkartılmaları veya fermentörün boşaltılması gerektiği için pervanelerin ve aksların tamiri zordur</li> <li>• Bakım açıklıkları fermentörde bulunmalıdır.</li> <li>• Fermentördeki çalışmalar esnasında güvenlik önlemlerine uyulmalıdır</li> </ul>



Şekil 3.31: Pervaneli DMK (solda), kılavuz borusu sistemi (ortada), büyük kanatlı DMK (sağda) [Agrartechnik Lothar Becker (solda, ortada), KSB AG]

Pnömatik karıştırmada biyogaz fermentör tabanından fermentöre basınçla gönderilir. Bu sayede yükselen gaz baloncukları dikey bir hareket yaratır ve materyalin karıştırılmasını sağlar.

Sistemler, karıştırma işlemi için gerek duyulan mekanik parçaların (pomplar ve kompresörler) fermentörün dışında düzenlenmiş olmasından ve bundan ötürü daha düşük bir aşınmaya maruz kalmalarından kaynaklanan bir avantaja sahiptir. Yüzen tabakaların parçalanmasında bu teknikler fazla işe yaramaz, bundan ötürü sadece yüzer tabaka oluşturmaya çok az eğilimi bulunan akışkan materyallerde kullanılabilirler. Pnömatik karıştırma sistemlerinin referans değerleri tablo 3.26'da bulunmaktadır.

#### Hidrolik karıştırma

Hidrolik karıştırmada materyal pomplar yardımıyla yatay ve ek olarak dikey yönde döndürülebilir ve karıştırma memeleri ile fermentöre basınçla gönderilir. Fermantasyon materyalinin emilmesi ve püskürtülmesi, fermentör içeriğının mümkünse tam olarak karışacağı şekilde gerçekleştirilmelidir.



Şekil 3.32: Fermentör tabanında yatağı olan ve olmayan, iki karıştırma takımlı uzun akslı karıştırıcılar [WELTEC BIOPOWER GmbH; Grafik: Armatec FKM-Armaturen GmbH & Co. KG]

Tablo 3.24: Biyogaz tesisleri için eksenel karıştırıcıların referans değerleri ve uygulama parametreleri

Referans değerler	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sürekli işletimde yavaş çalışan karıştırıcılar</li> <li>• Kullanılabilir güç aralıkları: &lt; 25 kW</li> <li>• Devir sayısı materyale bağlıdır, başlangıç aşamasında tespit edilmelidir</li> <li>• Materyal: Korozyona dayanıklı, genellikle paslanmaz çelik</li> <li>• Güç ihtiyacı: Örneğin 3.000 m<sup>3</sup>'de 5.5 kW, genellikle bundan fazla</li> </ul>
Uygunluk	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Yaş fermantasyonda bütün materyaller, sadece büyük dikey fermentörlerde</li> </ul>
Avantajları	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Fermentörde iyi bir karışım elde edilebilir</li> <li>+ Fermentörde pek az hareketli parça bulunur</li> <li>+ Tahrik düzeneğinin bakımı fermentörün dışında kolaylıkla yapılır</li> <li>+ İnce yüzer örtüler aşağıya doğru hareketlendirilebilir.</li> <li>+ Sürekli çökelen ve yüzen tabakalar geniş ölçüde engellenebilir</li> </ul>
Dezavantajlar	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sabit kurulum nedeniyle yetersiz karışım söz konusu olabilir</li> <li>- Bundan ötürü çökelti ve yüzer tabakaların oluşması mümkündür, özellikle fermentörün kenarındaki alanlar buna uygundur</li> <li>- Mil yatakları yüksek aşınabilirlik derecesiyle karşı karşıyadır, bundan ötürü yoğun bakıma ihtiyaçları vardır</li> </ul>
Özel durumlar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Karıştırıcı mil girişinin gaz yalıtımlı olması gerekir</li> <li>• Frekans dönüştürücülerle devir sayısı düzenlenebilir</li> </ul>
Yapı formları	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dışarıda bulunan şanzımanlı elektrikli motorlar, içeride bulunan bir veya birden fazla pervaneye veya kanada sahip, dikey veya asılı karıştırıcılar</li> <li>• Pervane montajı akış oluşumunun sağlanması için bir kılavuz boruda gerçekleştirilebilir</li> <li>• Eksantrik düzenleme mümkündür</li> </ul>
Bakım	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Motorun bakımı fermentör dışında yapılan montaj nedeniyle basittir ve prosese ara vermeden gerçekleştirilebilir</li> <li>• Fermentörden çıkartılmaları veya fermentörün boşaltılması gerektiği için pervanelerin ve millerin tamiri zordur</li> <li>• Bakım açıklıkları fermentörde bulunmalıdır.</li> <li>• Fermentördeki çalışmalar esnasında güvenlik önlemlerine uyulmalıdır</li> </ul>

Hidrolik karıştırıcı sistemler de karıştırma işlemi için gerek duyulan mekanik parçaların fermentörün dışında düzenlenmiş olmasından ve bundan ötürü daha düşük aşınmaya maruz kalmalarından kaynaklanan avantaja sahiptirler. Hidrolik karıştırma sistemleri de yüzer tabakaların parçalanmasında sadece belli koşullarda etkili olabilir, bundan ötürü sadece yüzer tabaka oluşturmaya az eğilimi bulunan akışkan materyallerde kullanılabilirler. Pompa teknolojilerinin

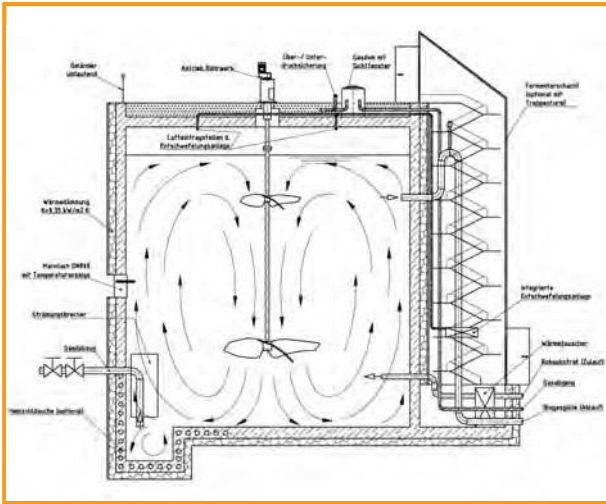
değerlendirilmesi için ek olarak bölüm 3.2.1.4 verileri de dikkate alınmalıdır. Tablo 3.27 hidrolik karıştırmanın referans değerlerine ve uygulama parametrelerine dair genel bilgi vermektedir.

#### Fermente olmuş materyalin alınması

Tam karışımli fermentörler normalde gaz çıkışını engellemek için sifon prensibine göre çalışan bir taşma hattına sahiptir. Fermente olmuş materyal pompalar

Tablo 3.25: Dikey ve yatay fermentörlerde kullanılan kanatlı/çarklı karıştırıcıların referans değerleri ve uygulama parametreleri

Referans değerler	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aralıklı işletimde düşük dönüş hızlı karıştırıcılar</li> <li>• Güç ihtiyacı: Güçlü bir şekilde kullanım yerine ve materyale bağlı, katı madde fermantasyonunda yüksek materyal direnci nedeniyle çok daha yüksek</li> <li>• Devir sayısı materyale bağlıdır, alıştırma aşamasında tespit edilmelidir</li> <li>• Materyal: Korozyona dayanıklı, genellikle çelik kaplama ama paslanmaz çelik de mümkün</li> </ul>
Uygunluk	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Yaş fermantasyondaki bütün materyaller (özellikle KM bakımından zengin materyaller)</li> </ul>
Avantajları	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Fermentörde iyi bir karışım elde edilebilir,</li> <li>+ Tahrik düzeninin bakımı fermentörün dışında kolaylıkla yapılabilir, kuyruk mili bağlantısı mümkündür</li> <li>+ Çökeltme ve yüzme engellenebilir</li> </ul>
Dezavantajlar	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kanatların bakımı için fermentörün boşaltılması gerekir</li> <li>- Katı madde fermantasyonunda yaşanacak arızalarda bütün fermentörün elle boşaltılması gerekir (gerekli olduğu takdirde karıştırmak (ek karıştırıcı) ve pompalayarak boşaltma mümkündür)</li> <li>- Sabit kurulum nedeniyle yetersiz karıştırma söz konusu olabilir, fermentördeki hareket ek düzeneklerle sağlanmalıdır (yatay fermentörlerde genellikle sıkıştırma helezonları, dikey karıştırma kazanlı fermentörlerde ise itme tabanlı karıştırıcılar tarafından)</li> </ul>
Özel durumlar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Karıştırıcı mil girişinin gaz yalıtımlı olması gerekir</li> <li>• Frekans dönüştürücülerle devir sayısı düzenlenebilir</li> </ul>
Yapı formları	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dışarıda bulunan şanzımanlı elektrikli motorlar, içeride bulunan bir veya birden fazla kanat, ilave karıştırma düzeneği olarak ısı değiştiricilerinin kanatlarla birlikte bir ünite teşkil edecek şekilde aksa monte edilmeleri kısmen mümkündür (yatay fermentörlerde)</li> </ul>
Bakım	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Motorun bakımı fermentör dışında yapılan montaj nedeniyle basittir ve prosese ara vermeden gerçekleştirilebilir</li> <li>• Kanatların ve milin tamirata, fermentörün boşaltılması gerektiği için zordur</li> <li>• Bakım açıklıkları fermentöre entegre edilmiş olmalıdır</li> <li>• Fermentördeki çalışmalar esnasında güvenlik önlemlerine uyulmalıdır</li> </ul>



Şekil 3.33: Eksenel karıştırıcılar [ENTEC Environmental Technology Umwelttechnik GmbH]



Şekil 3.34: Kanatlı karıştırıcı [PlanET GmbH]

yardımıyla da fermentörden çıkartılabilir. Materyalin depodan alınmadan önce materyalin karıştırılması tavsiye edilir. Bu sayede örneğin tarım sektöründe ki gibi son alıcılar, biyogübrenin sabit kıvamından ve kalitesinden emin olabilirler. Bu tür uygulamalar için, ekonomikliğin iyileştirilmesi bakımından sürekli olarak bir motora bağlı kalmak zorunda bulunmayan kuyruk mili ile çalışan karıştırıcılar kendilerini ispat

etmiştir. Bunun yerine fermantasyon artıklarının çıkartılması için, istenildiği zaman uygulanmak üzere bir traktöre bağlanabilirler.

Yatay fermentörlerde fermente olmuş materyal fermentöre alınan materyal girişi nedeniyle bir taşıma hattıyla ya da materyal yüzeyinin altında bulunan bir tahliye borusuyla dışarı alınır.

Tablo 3.26: Fermentörün pnömomatik olarak karıştırılmasının referans değerleri ve uygulama parametreleri

Referans değerler	<ul style="list-style-type: none"> <li>Güç ihtiyacı: Örneğin 1.400 m<sup>3</sup>lük bir fermentör için 15 kW gücünde kompresör, kesik beslemeli işletme</li> <li>Kullanılabilir güç aralıkları: 0,5 kW'dan itibaren biyogaz tesislerinin bütün alanlarında mümkün</li> </ul>
Uygunluk	<ul style="list-style-type: none"> <li>Düşük yüzer tabaka oluşumuna sahip çok akışkan materyaller</li> </ul>
Avantajları	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Fermentörde iyi bir karışım elde edilebilir</li> <li>+ Gaz kompresörlerinin fermentör dışında bulunmasından ötürü kolay bakım</li> <li>+ Çökelti katmanları engellenir</li> </ul>
Dezavantajlar	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Biyogaz giriş düzeneklerinin bakımı için fermentörün boşaltılması gerekir</li> </ul>
Özel durumlar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kompresör teknolojisinin biyogazın bileşimine uygun olması gerekir</li> </ul>
Yapı formları	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Memelerin fermentör tabanına düzenli dağılımı veya biyogazın dikey bir kılavuz borudan mamut pompa prensibi ile enjeksiyonu</li> <li>• Hidrolik veya mekanik karıştırma kombinasyonu kullanılabilir</li> </ul>
Bakım	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gaz kompresörünün bakımı fermentör dışında yapılan montaj nedeniyle basittir ve prosese ara vermeden gerçekleştirilebilir</li> <li>• Biyogaz enjeksiyonu için kullanılan yapı parçalarının tamiri zordur, çünkü fermentör içeriğinin boşaltılması gerekebilir</li> <li>• Fermentördeki çalışmalar esnasında güvenlik önlemlerine uyulmalıdır</li> </ul>

Tablo 3.27: Fermentörün hidrolik olarak karıştırılmasının referans değerleri ve uygulama parametreleri

Referans değerler	<ul style="list-style-type: none"> <li>Yüksek debiye sahip pompaların kullanılması</li> <li>Güç verileri: Bölüm 3.2.1.4'deki diğer pompa güçleri gibidir</li> <li>Materyal: Pompalarda olduğu gibi</li> </ul>
Uygunluk	<ul style="list-style-type: none"> <li>Yaş fermantasyondaki bütün kolay pompalanabilir materyaller</li> </ul>
Avantajları	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Ayarlanabilir daldırılmalı dairesel pompalar veya kılavuz borularla fermentörde iyi bir karışım elde etmek, bununla birlikte çökelti ve yüzer tabakaların parçalanmasını sağlamak mümkündür</li> </ul>
Dezavantajlar	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Belirli bir akım sağlayamayan harici pompalar ile çökelti ve yüzer tabakaların oluşması mümkündür</li> <li>- Belirli bir akım sağlayamayan harici pompalar ile çökelti ve yüzer tabakaların oluşması engellenemez</li> </ul>
Özel durumlar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Düzenek özellikleri için bkz. Bölüm 3.2.1.4</li> </ul>
Yapı formları	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Daldırılmalı dairesel pompa veya kuru ortamda bulunan dairesel pompa, eksantrik helezonlu pompa veya döner pistonlu pompa, bkz. Bölüm 3.2.1.4</li> <li>• Harici pompalarda giriş yerleri hareketli kılavuz borularla veya memelerle donatılabilir; çeşitli çıkış yerlerinin devreye sokulması mümkündür</li> </ul>
Bakım	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bölüm 3.2.1.4'te belirtilen düzeneğe özel bakım bilgileri burada da geçerlidir</li> </ul>

### 3.2.2.4 Diğer yan düzenekler

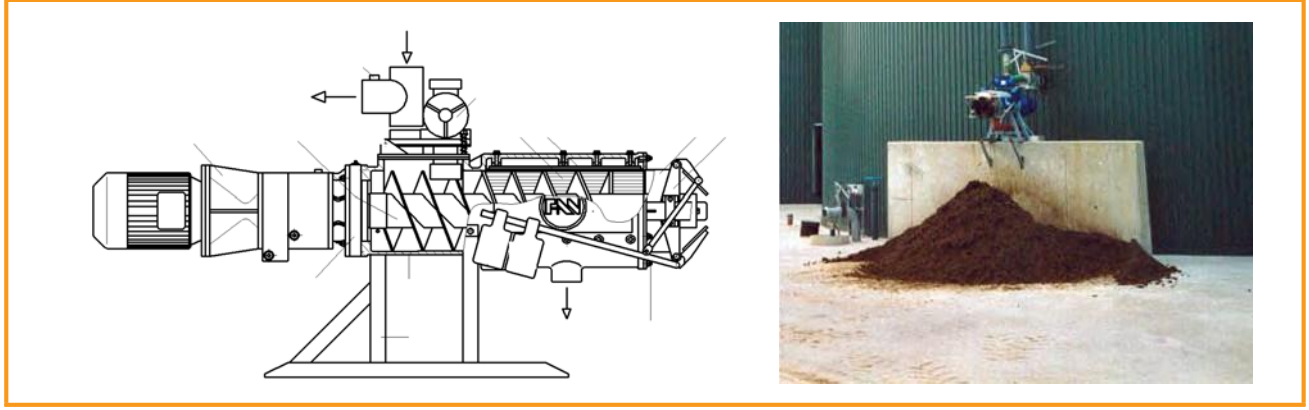
Pek çok biyogaz tesisi, işletme süreci bakımından aslında mutlak gereklilik taşımayan, ancak bazı münferit durumlarda – genellikle materyale bağlı olarak – faydalı olabilecek düzeneklere sahiptirler. Aşağıda köpük ve çökelti tabakası oluşumuna karşı alınacak tedbirler tanıtılmaktadır. Bunun yanı sıra biyogaz prosesinin ardından gelen katı-sıvı ayırımı aşaması açıklanmaktadır.

#### Köpük kapanı ve köpükle mücadele

Kullanılan materyale veya kullanılan materyal bileşimine bağlı olarak yaş fermantasyon esnasında fermentörde köpük oluşumu söz konusu olabilir. Bu köpük biyogaz tahliyesinde kullanılan gaz hatlarını tıkayabilir,

bundan ötürü gaz hatları fermentörde mümkün olduğu kadar üst kısımlarda yapılmalıdır. Köpük kapanları köpüklerin fermentörlere veya depo havuzlarına açılan materyal hatlarına nüfuz etmesini de engellemektedir. Bu düzenlemeye dair izlenimler şekil 3.36'dan edinilebilir.

Bunun dışında fermentörün gaz bölmesine, aşırı köpük oluşumu durumunda alarm veren bir köpük sensörü de takılabilir. Aşırı köpük oluşması durumunda fermentöre köpük oluşmasını engelleyen maddeler de püskürtülebilir, ancak bunun için fermentörde gerekli düzeneklerin bulunması lazımdır. Bu bir püskürtme düzeneği olabilir. Ancak püskürtme borularının çok küçük deliklerinin korozif gaz atmosferine maruz kalacağı da unutulmamalıdır. Düzeneğin mutlaka köpük püskürtmesine gerek kalmadan



Şekil 3.35: Helezonlu seperatör [FAN Separator GmbH (solda); PlanET Biogastechnik GmbH]



Şekil 3.36: Düşük arıza riskli gaz tahliye düzenekleri; yukarı doğru açılan gaz borusu girişi (solda materyal girişi) [DBFZ]

düzenli bir şekilde çalıştırılması, korozyonu engelleyebilir. Köpük engelleyici olarak örneğin yağlar – tercihen bitkisel yağlar – kullanılabilir. Acil durumlarda sıvı aşamasında pülverize edilecek su da yardımcı olur.

#### Fermentörden çökeltilerin çıkartılması

Çökeltiler veya çökelti tabakaları yaş fermantasyon esnasında örneğin kum gibi ağır maddelerin çökmesiyle oluşur. Ağır maddelerin ayrılması için ön depolar ağır madde tutucularla donatılır, ancak örneğin tavuk gübresinde olduğu gibi kum çok güçlü bir şekilde organik materyale bağlı olabileceği için, ön depoda genellikle taşlar ve diğer kaba ağır maddeler ayrılabilir. Kumun büyük kısmı ancak fermentördeki biyolojik bozunma süreci esnasında serbest kalır.

Örneğin domuz gübresi gibi belirli materyaller bu tür tabakaların oluşmasını hızlandırabilir. Çökelti tabakaları zaman içerisinde çok büyüyebilir, hatta fermentörün kullanılabilir hacminin dahi küçülmesine neden olabilir. Yarısına kadar kumla dolu fermentörlere bile tesadüf edilmiştir. Ayrıca çökelti tabakaları son derece sertleşebilirler ve yerlerinden ancak kepçe ve dozerlerle sökülmeleri mümkün olabilir. Çökelti

katmanlarının fermentörden çıkartılması bir zemin temizleyici veya zemin tahliye deliği yardımıyla yapılabilir. Çok yoğun çökelti tabakası oluşumunda çökeltileri dışarı atma sistemleri her zaman gerektiği şekilde çalışmaz, bundan ötürü çökelti tabakalarını elle veya makineyle temizlemek için fermentörü açmak gerekebilir. Çökeltilerin çıkartılması için kullanılacak olası teknikler tablo 3.28'de gösterilmiştir. Yüksekliği 10 m'den daha fazla olan fermentörlerde oluşan statik basınç kum, kireç ve çamuru tahliye etmek için yeterli olabilir.

#### Katı-sıvı ayırımı

Biyogaz üretiminde istiflenebilen materyallerin oranının yükselmesiyle birlikte, seyreltme sıvılarının kökenlerine ve fermantasyon artığı deposunun kapasitesine daha çok dikkat etmek gereklidir. Bu depo genellikle ortaya çıkan sıvı gübre için planlanmıştır, ancak fermantasyondan sonra arda kalan artık materyali alamaz. Bu durumda bir katı-sıvı ayırımı ekonomik ve teknolojik açıdan uygun olacaktır. Presleme suyu, seyreltme suyu veya sıvı gübre olarak kullanılabilir; katı kısım ise küçük hacimli alanlarda depolanabilir veya kompostlaştırılabilir.

Katı-sıvı ayırımı için bantlı pres filtre, santrifüjler veya vidalı/helezonlu ayırıcılar kullanılabilir. Helezonlu ayırıcıların ağırlıklı kullanımından ötürü tablo 3.29'da bunların referans değerleri tanıtılmıştır. Bir ayırıcının kesiti ve uygulama örneği şekil 3.35'de görülmektedir.

#### 3.2.2.5 Isıtma ve ısı yalıtımı

##### Fermentörün ısı yalıtımı

Isı kayıplarını düşürmek için fermentörlerin ayrıca ısı yalıtım malzemeleriyle kaplanmaları gerekir. Isı yalıtımı için piyasada satılan türden, kullanım alanına (zemine yakınlığı vb.) göre farklı özelliklere sahip ol-



Tablo 3.28: Çökelti çıkartma sistemleri teknikleri

Referans değerler	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Çökelti çıkartma sistemleri için kullanılan düzeneklerin referans değerleri, daha yukarıda tanımlanmış olan münferit düzeneklerin değerleriyle aynıdır.</li> </ul>
Uygunluk	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zemin temizleyiciler sadece yuvarlak ve düz tabanlı, dik fermentörlerde bulunur</li> <li>• Dikey ve yatay fermentörlerde tahliye helezonları</li> <li>• Dik fermentörlerde konik fermentör tabanları</li> </ul>
Özel durumlar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Çökelti çıkartma sistemleri için kullanılan düzeneklerin referans değerleri, daha yukarıda tanımlanmış olan münferit agregatların değerleriyle aynıdır.</li> <li>• Tahliye helezonları ya sıvı sızdırmayacak şekilde fermentör duvarından, ya da gaz geçirmeyecek şekilde fermentör duvarından geçirilmelidir</li> <li>• Tahliye güçlü kokulara neden olabilir</li> <li>• Tahliye helezonları için fermentöre bir pompa karteri entegre edilmiş olmalıdır</li> </ul>
Yapı formları	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Çökelti tabakasının dışarı çıkartılması için dışarıdan tahrikli zemin temizleyici</li> <li>• Fermentör zemininde tahliye helezonları</li> <li>• Alış pompalı, çökelti tabakası karıştırıcılı veya yıkama düzenekli konik fermentör tabanı</li> </ul>
Bakım	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sabit kurulumlu sistemlerde bakım çalışmaları fermentörün boşaltılmasına bağlıdır, bundan ötürü dışarıda bulunan tahrik düzenleri veya çıkartılabilir düzenekler avantajlıdır</li> <li>• Fermentördeki çalışmalar esnasında güvenlik önlemlerine uyulmalıdır</li> </ul>

Tablo 3.29: Helezonlu ayırıcı teknolojisi

Uygunluk	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Besleme helezonları tarafından hareket ettirilebilen, pompalanabilir materyaller</li> <li>• % 10 kuru madde ile % 20 kuru madde içeren materyaller (ürün katı aşamada % 30 kadar katı madde içerebilir)</li> </ul>
Özel durumlar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Örneğin osilatör gibi ek seçenekler su tahliyesini daha efektif kılabilir</li> <li>• Tam otomatik işletme mümkündür</li> </ul>
Yapı formları	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Açıkta duran düzenek</li> <li>• Çok düşük bekleme sürelerine sahip tesislerde biyogaz tesisinin önüne kurulum mümkündür; bu sayede karıştırıcıların tasarımında tasarruf ve katı maddelere bağlı arızaların, çökelti ve yüzer tabakaların oluşumunun engellenmesini sağlayabilir</li> <li>• Seyreltme suyunu geri aktarmak ve fermantasyon artığı deposunda karıştırıcı tasarrufunda bulunmak için fermantasyondan sonra kurulum</li> </ul>
Bakım	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kolay ulaşılabilir düzenek, prosesin tümüne ara vermeden bakım mümkün</li> </ul>

ması gereken materyaller kullanılabilir (bkz. Tablo 3.30). Yalıtım maddeleri örnekleri içeren tablo 3.31'den parametreler alınabilir. Hava koşullarından korunması için yalıtım materyali trapez saca veya ahşapla kaplanır.

#### Fermentör ısıtıcısı

Optimal bir fermantasyon prosesi sağlamak için, fermentörde dengeli bir sıcaklığın sağlanması gerekir. Burada asıl belirleyici olan ön tanımlı ısıya onda birlik bir farkla uyulmasının sağlanması değil, ısı dalgalanmalarının mümkün olduğu kadar düşük tutulmasıdır. Bu, hem zamana bağlı ısı dalgalanmalarını, hem de fermentörün farklı alanlarındaki ısı dağılımıyla ilgilidir [3-3]. Güçlü sıcaklık değişimleri ve belirli ısı değerlerinin üstüne çıkılması veya altına düşülmesi, fermantasyon prosesinin engellenmesine veya en kötü durumda prosesin sona ermesine neden olabilir. Isı dalgalanmalarının nedenleri çok çeşitlilik gösterebilir:

- Ham materyal yüklemesi
- Yetersiz ısı yalıtımı, efektif olmayan veya yanlış boyutlandırılmış ısıtma, yetersiz karıştırma nedeniyle oluşabilecek ısı katmanları veya ısı bölgeleri oluşumu
- Isıtıcıların konumu
- Yazın ve kışın aşırı dış sıcaklıklar
- Düzeneklerin çalışmaması.

İhtiyaç duyulan proses ısısının sağlanması ve ısı kayıplarının telafi edilmesi için materyalin ısıtılması gerekir, bu da harici veya fermentöre entegre edilen ısı aktarıcıları veya ısıtıcılar tarafından gerçekleştirilebilir.

Fermentöre **entegre ısıtıcılar** fermentördeki fermantasyon materyalini ısıtırlar. Tablo 3.32 kullanılan teknolojilere dair genel bilgileri içermektedir. Şekil 3.37'de örnekler görülmektedir.

Tablo 3.30: Yalıtım maddelerinin referans değerleri [3-12], [3-13]

Referans değerler	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Materyal fermentörde veya toprak yüzeyinin altında: PU sert köpük gibi kapalı gözenekli maddeler ve cam yünü, nem nüfuzunu engellemek için kullanılırlar</li> <li>• Materyal toprak yüzeyinin üstünde: Amyant, mineral elyaflı yastıklar, sert köpük yastıklar, ekstruder köpüğü, styrodur, plastik köpük maddeler, polistrol</li> <li>• Materyal kalınlığı: 5-10 cm olabilir, ancak 6 cm altında yalıtım etkisi düşüktür; uygulama değerleri hesaplamadan ziyade tecrübelerle dayanır; kaynaklarda 20 cm'ye kadar yalıtım kalınlıklarından bahsedilir</li> <li>• U değerleri 0,03-0,05 W/(m<sup>2</sup> · K) arasında bulunur</li> <li>• Taban bölgesindeki yalıtım maddesinin mukavemeti, tümüyle dolu fermentörün yükünü taşıyacak kadar dayanıklı olmalıdır</li> </ul>
Yapı formları	• Isı yalıtımı içeriden veya dışarıdan yapılabilir, ancak genel olarak bu iki yöntemden biri diğerinden daha avantajlı değildir.
Özel durumlar	• Bütün yalıtım materyalleri kemirgenlere karşı dayanıklı olmalıdır

Tablo 3.31: Yalıtım maddeleri referans değerleri - örnekleri

Yalıtım maddesi	Isı iletkenliği [W/m · K]	Uygulama tipi
Mineral elyaflı yalıtım maddesi (yakl. 20-40 kg/m <sup>3</sup> )	0,030-0,040	WV, WL, W, WD
Perlitli yalıtım maddeleri (150-210 kg/m <sup>3</sup> )	0,045-0,055	W,WD,WS
Polistrol partikül köpüğü EPS (15 kg/m <sup>3</sup> < ham yoğunluk)	0,030-0,040	W
Polistrol partikül köpüğü EPS (20 kg/m <sup>3</sup> < ham yoğunluk)	0,020-0,040	W, WD
Polistrol partikül köpüğü EPS (25 kg/m <sup>3</sup> < ham yoğunluk)	0,030-0,040	WD, W
Polistrol partikül köpüğü EPS (30 kg/m <sup>3</sup> < ham yoğunluk)	0,020-0,035	WD, W, WS
Köpük camı	0,040-0,060	W, WD, WDS, WDH

Uygulama tipleri: WV kopma ve kesme mukavemeti talebine sahip; WL, W basınç talebine sahip değil; WD basınç talebine sahip; WS özel kullanım alanları için yalıtım maddeleri; WDH basınç altındaki zeminin artırılmış mukavemeti ; WDS özel kullanım alanları için artırılmış mukavemet

**Harici ısı değiştiriciler** fermentasyon materyalini fermentöre yüklemeye önce ısıtır, dolayısıyla materyal fermentöre önceden ısıtılmış olarak girer. Bu sayede materyalin fermentöre yüklenmesi esnasında ısı dalgalanmalarının önüne geçilmiş olunur. Harici ısı aktarıcılarının kullanımında ya ısı aktarıcısı tarafından sürekli bir materyal devridaimi gerçekleştirilmelidir, ya da fermentör ısını sabit tutmak için ilave bir dahili ısıtıcı olanağı sağlanmalıdır. Harici ısı aktarıcılarının özellikleri tablo 3.33'de görülebilir.

### 3.2.3 Fermente olmuş materyalin depolanması

#### 3.2.3.1 Sıvı fermentasyon artıkları

Depolama esas olarak yer havuzlarında ve silindirik veya dört köşeli tanklarda (yüksek ve hemzemin tanklar) gerçekleşir. Genel olarak beton ve paslanmaz çelik/çelik-emaye dairesel tanklar kullanılır. Bunların temel yapısı karıştırmalı fermentörlere benzemektedir (bkz. Bölüm 3.2.2.1 Fermentör yapı biçimleri). Fermentasyon artıklarının çıkartılmalarından önce homojenleştirilmeleri için bir karıştırıcı-

cıya donatılmış olabilirler. Sabit bağlantılı karıştırıcılar (örneğin dalgıç motorlu karıştırıcılar) ya da bir kuyruk mili ile tahrik edilen yan, mafsallı ve traktör kuyruk milinden hareketli karıştırıcılar kullanılabilir. Bunun ötesinde depolar bir kapakla örtülmüş olabilir (gaz geçiren veya geçirmeyen). Her iki tür de koku emisyonlarının düşürülmesini sağlar ve depolanma esnasında besin maddeleri kayıplarını asgariye indirir. Gaz yalıtımlı örneğin folyo tavan gibi kapaklar (bkz. Bölüm 3.2.4.1 Entegre depolar) bunun ötesinde fermentasyon artıklarının artık gaz potansiyelini kullanma imkanı da sağlar ve ek gaz deposu olarak da kullanılabilirler. Kullanılan materyale, bekleme süresine ve proses yönetimine bağlı olarak gaz yalıtımlı bir kapatma zorunluluğu tartışması hâlâ devam ediyor olsa bile, pek çok yeni yayında sadece bu tür bir kullanım öngörülmektedir. EEG'nin 01.01.2009 tarihli güncel versiyonunda da Federal Emisyon Koruma Kanunu uyarınca izin verilmiş tesisler de sadece gaz geçirmeyecek şekilde kapatılmış fermentasyon deposu kullandıkları takdirde NaWaRo bonusuna hak kazanırlar. (bkz. Bölüm 7).

Tablo 3.32: Entegre ısıtıcıların referans değerleri ve uygulama parametreleri; [3-1], [3-12]

Referans değerler	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Materyal: Fermentasyon bölmesine ya da karıştırma düzeneği olarak paslanmaz çelik borulara, PVC veya PEOC'ye döşendiğinde (plastikler düşük ısı iletkenliği nedeniyle döşenmelidir), alışılmış zemin ısıtması şeklinde betonda normal zemin ısıtıcı hatlarının döşenmesinde</li> </ul>
Uygunluk	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Duvar ısıtıcıları: Bütün betonarme fermentör tipleri</li> <li>• Zemin ısıtıcısı: Bütün dikey fermentörler</li> <li>• Dahili ısıtıcı: Bütün fermentör tiplerinde, ancak daha fazla dikey fermentörlerde</li> <li>• Karıştırma düzeneklerine bağlı ısıtıcılar: Bütün fermentör tiplerinde, ancak daha çok yatay fermentörlerde</li> </ul>
Avantajları	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Fermentörün içinde bulunan ve karıştırıcılara bağlı ısıtıcılar iyi bir ısı iletkenliğine sahiptir</li> <li>+ Zemin ve duvar ısıtıcıları çökeltilere neden olmaz</li> <li>+ Karıştırma düzeneklerine entegre ısıtıcılar çok fazla miktarda materyali ısıtabilirler</li> </ul>
Dezavantajlar	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zemin kaloriferlerinin etkisi çökelti tabakası oluşumu nedeniyle ciddi şekilde azalabilir</li> <li>- Fermentör içindeki ısıtıcılar çökelmeye neden olabilir, bu yüzden duvara belli bir mesafeye yerleştirilmeleri gerekebilir</li> </ul>
Özel durumlar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Isıtıcı boruları havalandırılabilir olmalıdır, bunun için aşağıdan yukarı akışı sağlanmalıdır</li> <li>• Beton içine döşenmiş ısıtıcı hatları ısı gerilimlerine neden olur</li> <li>• Fermentör büyüklüğüne göre iki ya da daha fazla sayıda ısıtıcı çemberi döşenmelidir</li> <li>• Isıtıcı düzenekleri diğer sistemleri engellemelidir (örneğin sıyrıcı)</li> <li>• Termofil fermentasyon için duvarda veya zeminde döşeli ısıtıcılar uygun değildir</li> </ul>
Yapı formları	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zemin ısıtıcısı:</li> <li>• Duvara döşeli ısıtıcılar (çelik fermentörlerde dış duvarda da mümkündür)</li> <li>• Duvarın önüne yerleştirilmiş ısıtıcılar</li> <li>• Karıştırma düzeneklerine entegre ya da onlarla kombine edilen ısıtıcı</li> </ul>
Bakım	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Isı aktarımının sağlanması için ısıtıcıların düzenli olarak temizlenmesi gerekir</li> <li>• Fermentöre veya yapıya entegre edilmiş ısıtıcılar çok kötüdür ve ulaşımları mümkün değildir</li> <li>• Fermentördeki çalışmalar esnasında güvenlik önlemlerine uyulmalıdır</li> </ul>



Şekil 3.37: Fermentöre döşenmiş paslanmaz çelik ısıtıcı borular (iç tarafta) (solda); fermentör duvarına ısıtıcı hortumların montajı (sağda) [Biogas Nord GmbH; PlanET Biogastechnik GmbH (sağ)]

Yer havuzları genellikle dört köşeli, zemine yerleştirilmiş ve plastik folyoyla kaplanmış depolardır. Bu havuzların büyük kısmının üzeri açıktır, sadece pek az bir kısmı emisyonun azaltılması için folyoyla kapatılmıştır.

Fermentasyon artığı deposunun büyüklüğü, fermentasyon artıklarının kullanma zamanına göre belirlenir. Bu bağlamda Gübre Yönetmeliği'ne ve Bölüm 10'a (Fermentasyon artıklarının dışarı aktarılması) atıfta bulunmaktadır. Genel olarak fermentasyon artığı depoları en az 180 günlük depolama kapasitesine sahiptir.

### 3.2.3.2 Katı fermentasyon artıkları

Katı fermentasyon artıkları katı madde fermentasyonunda veya yaş fermentasyonun fermentasyon ürününün ayrı bir bileşeni olarak ortaya çıkar. Katı fermentasyon artıkları kullanım amaçlarına göre açık alanda veya hangarlarda, ya da mobil kaplarda veya konteynurlarda depolanır. Depolama genellikle beton veya asfalt kaplı sıvı sızdırmayan yüzeylerin üzerinde yığın halinde gerçekleşir ve katı gübre depolanmasına benzer. Depolama alanı olarak bazen boş seyyar silolar da kullanılır. Damlayan sıvılar, presleme suyu

Tablo 3.33: Isı değiştircilerinin referans değerleri ve uygulama parametreleri; [3-3], [3-12]

Referans değerler	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Materyal: Genelde paslanmaz elik</li> <li>• Yapılan iş tesis kapasitesine ve proses ısısına bağlıdır</li> <li>• Boru apı biyogaz tesislerindeki alışıldık materyal boru çapları kadardır.</li> </ul>
Uygunluk	• Bütün fermentör tipleri, tapa akış (engellemeli akış) fermentöründe sık kullanım
Avantajları	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ çok iyi bir ısı aktarımı sağlanabilir</li> <li>+ Ham materyal fermentörde ısı şokuna neden olmaz</li> <li>+ Materyal hacminin tümüne ısıtıcıyla ulaşılabilir</li> <li>+ Harici ısı aktarıcıları kolay temizlenebilir ve bakımı kolay yapılıdır</li> <li>+ Isı iyi düzenlenebilir</li> </ul>
Dezavantajlar	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gerektiği takdirde ilave bir fermentör ısıtıcısı takılmalıdır</li> <li>- Harici ısı aktarıcısı ek maliyetler getiren ilave bir düzeneğtir.</li> </ul>
Özel durumlar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Isı aktarıcıları havalandırılabilir olmalıdır, bunun için aşağıdan yukarı akışı sağlanmalıdır</li> <li>• Termofil proses işletimine çok uygundur</li> </ul>
Yapı formları	• Spiral veya ifte borulu ısı değiştirici
Bakım	• Bakım ve temizleme için uygun erişilebilirlik

Tablo 3.34: Folyo örtü malzemelerinin referans değerleri ve uygulama parametreleri, veriler kısmen [3-3]'den

Referans değerler	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 4.000 m<sup>3</sup>'e kadar gaz deposu hacmi</li> <li>• Yüksek basınç: 5-100 mbar</li> <li>• Folyo geçirgenliği: Günde % 1-5 biyogaz kaybı olacağı dikkate alınmalıdır</li> <li>• Materyaller: Butil kauçuk, polietilen-polipropilen karışımı, EPDM kauçuk</li> </ul>
Uygunluk	• Dikey fermentör ve fermantasyon sonrası tankı bulunan, mümkün olduğu kadar büyük çaplı bütün biyogaz tesisleri
Avantajları	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Ek binaya gerek yoktur</li> <li>+ Ek alana gerek yoktur</li> </ul>
Dezavantajlar	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fermentörün gaz bölmesindeki güncel metan konsantrasyonu büyük gaz bölmesindeki güçlü gaz karışımı nedeniyle ölçülemez ve bundan ötürü mikroorganizmaların aktiviteleri bilinemez</li> <li>- Gaz bölmesindeki ısı yalıtımı, ek çatı olmadan düşüktür</li> <li>- Ek atı olmadan rüzęara karşı hassastır</li> </ul>
Özel durumlar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hava üflemele çift folyo (hava destekli tavan) ile ısı yalıtımı mümkündür</li> <li>• Karıştırıcılar fermentörün çatısına monte edilemez</li> </ul>
Yapı formları	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fermentörün üzerinde çatı olarak folyo vardır</li> <li>• Folyo bir hava destekli tavanın altındadır</li> <li>• Folyo yükseltilmiş tavanlı bir fermentörün sabit çatısı altındadır</li> <li>• Bağımsız duran ve sabit folyo yastık</li> <li>• Aynı bir binada veya tankta yerleştirilmiş folyo yastık</li> <li>• Fermentör üzerinde bir ara tavanda folyo yastık</li> <li>• Folyo uvalı, bir binada asılı (örneğin kullanılmayan bir samanlık)</li> <li>• Hava destekli tavanın altında folyo depo</li> </ul>
Bakım	• Genellikle bakım gerektirmez

veya nüfuz eden yağmur suyu toplanmalı ve biyogaz tesisine geri gönderilmelidir. Yağmur nüfuzu ek tenteler ve sabit çatılar ile minimize edilebilir.

elik konteynırlar sıvı artıkların preslenmesiyle elde edilen katı artıklar için kullanılır. Bunlar örneğin ayırıcının (bkz. şekil 3.36) altına konur ve tümüyle dolduktan sonra değiştirilir. Burada da yağmur suyunun konteynıra girmesi tankın üzerinin bir tenteye kapatılmasıyla engellenebilir. Alternatif olarak katı sıvı ayırımı ile katı kısımların depolanması aynı han-

garda gerçekleşebilir. Bu düzenlenmede gerektiğinde kirli hava toplanarak bir kirli hava temizleme ünitesine (örneğin yıkayıcı ve/veya biyofiltre) aktarılabilir.

### 3.2.4 Üretilen biyogazın depolanması

Biyogaz değişken miktarlarda ve kısmen büyük miktarlarda elde edilir. Bu nedenle ayrıca sabit kullanım miktarlarından ötürü, uygun ara depolarda depolanması gerekir. Gaz depoları gaz yalıtımlı, basına daya-

Tablo 3.35: Harici biyogaz depolarının referans değerleri ve uygulama parametreleri, veriler kısmen [3-3]'den

Referans değerler	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2.000 m<sup>3</sup> hacmi kadar gaz depoları tedarik edilebilir (bundan daha büyük hacimler müşterinin arzuna göre özel üretim olarak hazırlanır)</li> <li>• Aşırı basınç: 0,5-30 mbar</li> <li>• Folyo geçirgenliği: Günde % 1-5 biyogaz kaybı olacağı dikkate alınmalıdır</li> <li>• Materyaller: PVC (çok uzun ömürlü değildir), Butil kauçuk, polietilen-polipropilen karışımı</li> </ul>
Uygunluk	• Bütün biyogaz tesisleri için
Avantajları	+ Oluşan güncel biyogazın metan konsantrasyonu fermentörün gaz bölümünde ölçülebilir (düşük gaz miktarı nedeniyle orada karışım azdır) ve mikroorganizmaların faaliyetlerini ortaya koyar
Dezavantajlar	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gerektiği takdirde ek yer ihtiyacı</li> <li>- Gerektiği takdirde ek bina</li> </ul>
Özel durumlar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Üzerine ağırlıklar konulması suretiyle kombine ısı ve enerji santraline sevk için basınç artırılabilir</li> <li>• Binalarda bulunduğu takdirde, patlayıcı özelliğe sahip karışımların oluşmasını engellemek için binada çok iyi bir havalandırmanın bulunuyor olmasına dikkat edilmelidir</li> <li>• Doluluk durumuna bağlı olarak kombine ısı ve enerji santralinin motor gücü uyumlu hale getirilebilir</li> </ul>
Yapı formları	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bağımsız duran ve sabit folyo yastık</li> <li>• Ayrı bir binada veya tankta yerleştirilmiş folyo yastık</li> <li>• Fermentör üzerinde bir ara tavanda folyo yastık</li> <li>• Folyo çuvalı, bir binada asılı (örneğin kullanılmayan bir samanlık)</li> <li>• Hava destekli tavanın altında folyo depo</li> </ul>
Bakım	• Geniş ölçüde bakım gerektirmez

nıklı, çeşitli nesnelere, UV'ye, ısıya ve hava koşullarına dirençli olmalıdır. İşletime alınmadan önce gaz depolarının yalıtkanlığı kontrol edilmelidir. Güvenlik nedenleriyle gaz depoları yüksek ve düşük basınç sınırlarıyla donatılmış olmalıdır, bu sayede depodaki iç basınçta izin verilmeyen yükseklikteki değişimler engellenmiş olur.

Gaz depolarıyla ilgili diğer güvenlik talepleri ve kuralları "Tarımsal Biyogaz Tesislerinde Güvenlik Kuralları" [3-18] içinde bulunmaktadır. Depolar günlük biyogaz üretiminin yaklaşık dörtte birlik kısmının depolanacağı şekilde üretilmelidir, sıklıkla bir veya iki günlük üretim hacmi tavsiye edilir. Düşük, orta ve yüksek basınç depoları bulunmaktadır.

En sık kullanılan gaz depoları, 0,5 ila 30 mbar arasında basınca sahip **düşük basınç depolarıdır**. Düşük basınç depoları, güvenlik taleplerine cevap verecek folyolardan oluşur. Folyo depolar gaz kubbeleri olarak fermentörün üstüne monte edilir (entegre depo) ya da harici gaz depoları olarak kurulur. Detaylı açıklamalar 3.2.4.1 ve 3.2.4.2'de bulunmaktadır.

**Orta ve yüksek basınç depoları** biyogazı 5 ila 250 bar arasında değişen işletme basınçlarında çelik basınç kaplarında ve tüplerinde depolar [3-1]. Bunların işletmesi zor ve maliyetlidir. 10 bar'a kadar olan basınç depolarında 0,22 kWh/m<sup>3</sup>'e kadar enerji ihtiyacı ve 200-300 bar'a kadar olan yüksek basınç depolarında yakl. 0,31 kWh/m<sup>3</sup> enerji ihtiyacı hesaplanmaktadır. Bundan ötürü tarımsal biyogaz tesislerinde neredeyse hiç kullanılmazlar.

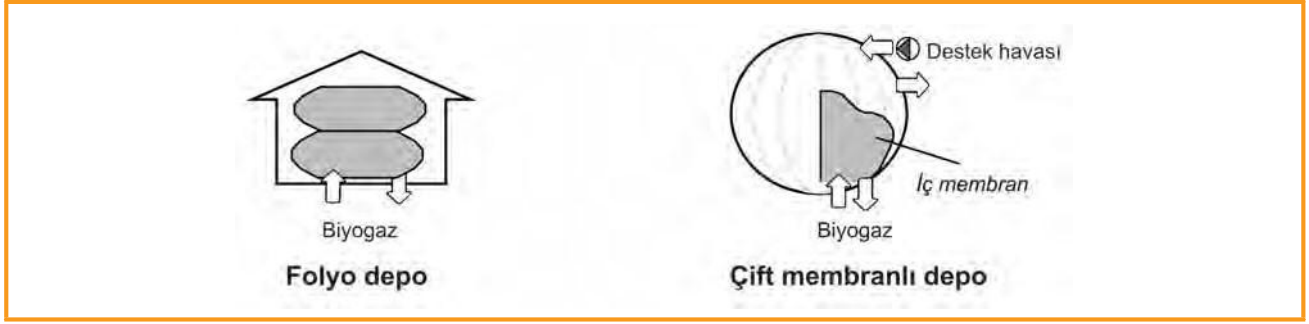
### 3.2.4.1 Entegre depolar

Fermentörün kendisi veya fermantasyon sonrası tankı ya da fermantasyon artığı deposu bir gaz deposu olarak kullanılacaksa, folyo örtüler kullanılır. Folyo gaz geçirmeyecek bir şekilde tankın üst kısmına monte edilir. Tanka, depo boş olduğu zaman folyoyu taşıyabilecek bir yapı yerleştirilir. Gaz deposunun doluluk durumuna göre folyo gerginleşmektedir. Referans değerler tablo 3.34'ten alınabilir, örnekler şekil 3.38'te görülebilir.

Çok yaygın olarak kullanılan hava destekli tavanlarda, hava koşullarına karşı koruyucu olması için esas depo örtüsünün üzerine ikinci bir folyo daha yerleştirilir. Her iki folyo arasındaki boşluğa bir fanla hava üflenir. Üstteki folyo daima gergin dururken, alttaki folyo depolanacak biyogaz miktarına uyum sağlar. Bu sistemde gaz basıncı geniş ölçüde stabil kalacaktır.

### 3.2.4.2 Harici depolar

Harici alçak basınç depoları folyo yastıkları formunda olabilir. Folyo yastıkları hava etkilerine karşı korunmak üzere uygun binaların içinde bulunur ya da ikinci bir folyoyla kaplanır (Şekil 3.39). Harici gaz depolarına ait bir fotoğraf şekil 3.40'da görülmektedir. Harici gaz depolarının özellikleri tablo 3.35'de belirtilmiştir.



Şekil 3.38: Folyo depo [ATB Potsdam]



Şekil 3.39: Bir hava destekli çatının alt konstrüksiyonu (solda); Hava destekli tavanı olan biyogaz tesisi [MT-Energie GmbH]

Tablo 3.36: Acil gaz yakma bacasının referans değerleri ve uygulama parametreleri

Referans değerler	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3.000 m<sup>3</sup>/s hacmine kadar akım mümkündür</li> <li>• Yanma sıcaklığı 800–1.200 °C</li> <li>• Materyal: Çelik veya paslanmaz çelik</li> </ul>
Uygunluk	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bütün biyogaz tesisleri için</li> </ul>
Özel durumlar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Açık veya gizli yanma mümkün</li> <li>• Yahtılmış yanma odaları ile TA Luft koşulları da sağlanmış olur, ancak acil gaz yakma bacalarında bu zorunlu değildir</li> <li>• Doğal çekim akımı ya da fan kullanılır</li> <li>• Güvenlik uyarılarına, özellikle en yakın binaya olan mesafeyle ilgili olanlara dikkat edilmesi gerekir</li> <li>• Brülör memesinden önce gazın basıncının yükseltilmesi gerekir</li> </ul>
Yapı formları	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Küçük bir beton temel üzerinde elle çalışan ya da otomatize edilebilen münferit düzenekler</li> </ul>
Bakım	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geniş ölçüde bakım gerektirmez</li> </ul>

### 3.2.4.3 Gaz yakma bacası

Gaz depolarının artık başka gaz depolanamayacak hale gelmeleri ve/veya gazın örneğin bakım çalışmaları ya da çok kötü kalite nedeniyle değerlendirilemeyecek durumda olması halinde, kullanılmayan kısmın çevreye zarar vermeyecek şekilde tasfiye edilmesi gerekir. Konuyla ilgili işletme iznine dair koşullar her eyalette farklı olup, 20 m<sup>3</sup>/s ve daha büyük gaz akımlarında kombine ısı ve enerji santraline

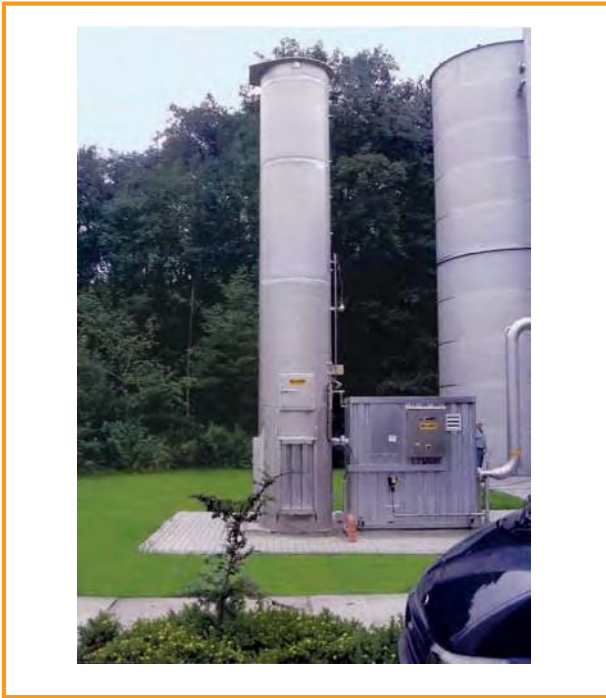
alternatif bir kurulum olması gerekmektedir. Bu kurulum ikinci bir kombine ısı ve enerji santrali şeklinde olabilir (örneğin büyük bir santral yerine küçük iki santral). Bir yakma bacasının kurulumu ise gaz tasfiyesinin sağlandığının ispatı bakımından doğru bir uygulamadır. Baca genellikle resmi daireler tarafından da talep edilir. Biyogaz alanında kullanılan gaz yakma bacalarının referans değerleri tablo 3.36'da bulunmaktadır. Şekil 3.41'de örnekler görülmektedir.



Şekil 3.40: Bağımsız çift membranlı depo örneği [Schüsseler, FNR]

### 3.3 Önemli teknik eserler

Tesis ve çalışma güvenliğine, ayrıca çevrenin korunmasına dair yasal kuralların yanı sıra, biyogaz tesisindeki teknik koşullar ile de ilgilenen bir dizi eser bulunmaktadır. Aşağıda bunların önemli olan bazıları görülmektedir:




Şekil 3.41: Bir biyogaz tesisinin acil gaz yakma bacası [Haase Umwelttechnik AG]

- VDI Yönerge 3475 Yaprak 4 (taslak) Emisyonun azaltılması – Tarımda biyogaz tesisleri – Enerji bitkilerinin ve çiftlik gübresinin fermantasyonu
- VDI Yönerge 4631 (taslak) Biyogaz tesisleri için uyum kriterleri
- DIN 11622-2 Fermantasyon maddesi silosu ve sıvı gübre tankı
- DIN 1045 Beton, demirli beton ve gerilimli betondan taşıyıcılar
- DIN EN 14015 Çevre sıcaklığında ve daha yüksek ısılarda sıvıların depolanması için bulunduğu yere göre hazırlanmış, yerüstü, dikey, silindirik, rımu ve üretimi
- DIN 18800 Çelik yapılar
- DIN 4102 Yapı maddelerinin ve yapı parçalarının yangın özellikleri
- DIN 0100 Kısım 705 Düşük gerilim tesislerinin kurulumu
- VDE 0165 Kısım 1/ EN 60 079-14 Gaz patlaması tehlikesi bulunan alanların elektrikle işletme araçları - Kısım 14: Gaz patlaması tehlikesi bulunan alanlarda elektrikli tesisler (Maden ocağı yapımı hariç)
- VDE 0170/0171 Gaz patlaması tehlikesi bulunan alanlar için elektrikli işletme araçları
- VDE 0185-305-1 Paratoner
- G 600 Gaz tesisatları için teknik kurallar DVGW-TRGI 2008
- G 262 Kamuya ait gaz dağıtım şebekesinde rejeneratif kaynaklardan gelen gazlar
- G 469 Gaz şebekesi hatlarında ve tesislerinde basınç ölçüm yöntemleri
- VP 265 vd Biyogazın doğalgaz şebekelerine verilmesi ve hazırlanması için tesisler

Bölüm 5.4 İşletme Güvenliği'nde biyogaz tesislerinin işletimiyle ilgili olarak gereken diğer güvenlik talepleriyle ilgili geniş bilgiler verilmiştir. Bu bölümde zehirlenme ve boğulma, ayrıca yangın ve patlama tehlikelerine karşı güvenlik kuralları ele alınmaktadır.

### 3.4 Kaynakça

- [3-1] Schulz, H.; Eder, B.: Biogas-Praxis: Grundlagen, Planung, Anlagenbau, Beispiel, 2. überarbeitete Auflage, Ökobuch Verlag, Staufen bei Freiburg, 1996, 2001, 2006
- [3-2] Weiland, P.; Rieger, Ch.: Wissenschaftliches Messprogramm zur Bewertung von Biogasanlagen im Landwirtschaftlichen Bereich; (FNR-FKZ: 00NR179); 3. Zwischenbericht; Institut für Technologie und Systemtechnik/Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL); Braunschweig; 2001

- 
- [3-3] Jäkel, K.: Managementunterlage „Landwirtschaftliche Biogaserzeugung und -verwertung“, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, 1998 / 2002
- [3-4] Neubarth, J.; Kaltschmitt, M.: Regenerative Energien in Österreich – Systemtechnik, Potenziale, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte; Wien, 2000
- [3-5] Hoffmann, M.: Trockenfermentation in der Landwirtschaft – Entwicklung und Stand, Biogas – Energieträger der Zukunft, VDI-Berichte 1751, Tagung Leipzig 11 und 12. März 2003
- [3-6] Aschmann, V.; Mitterleitner, H.: Trockenvergären: Es geht auch ohne Gülle, Biogas Strom aus Gülle und Biomasse, top agrar Fachbuch, Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster-Hiltrup, 2002
- [3-7] Beratungsempfehlungen Biogas, Verband der Landwirtschaftskammern e. V., VLK-Beratungsempfehlungen 2002
- [3-8] Block, K.: Feststoffe direkt in den Fermenter, Landwirtschaftliches Wochenblatt, S. 33–35, 27/2002
- [3-9] Wilfert, R.; Schattauer, A.: Biogasgewinnung und -nutzung – Eine technische, ökologische und ökonomische Analyse; DBU Projekt 15071; Zwischenbericht; Institut für Energetik und Umwelt gGmbH Leipzig, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL); Braunschweig, Dezember 2002
- [3-10] Zement-Merkblatt Landwirtschaft LB 3: Beton für landwirtschaftliche Bauvorhaben, Bauberatung Zement
- [3-11] Zement-Merkblatt Landwirtschaft LB 13: Dichte Behälter für die Landwirtschaft, Bauberatung Zement
- [3-12] Gers-Grapperhaus, C.: Die richtige Technik für ihre Biogasanlage, Biogas Strom aus Gülle und Biomasse, top agrar Fachbuch, Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster-Hiltrup, 2002
- [3-13] Zement-Merkblatt Landwirtschaft LB 14: Beton für Behälter in Biogasanlagen, Bauberatung Zement
- [3-14] Kretzschmar, F.; Markert, H. (2002): Qualitätssicherung bei Stahlbeton-Fermentern; in: Biogasjournal Nr. 1/2002
- [3-15] Kaltschmitt, M.; Hartmann, H.; Hofbauer, H.: Energie aus Biomasse – Grundlagen, Techniken und Verfahren; Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 2. neu bearbeitete und erweiterte Auflage 2009
- [3-16] Gesprächsnotiz Dr. Balssen (ITT Flygt Water Wastewater Treatment); September 2009
- [3-17] Postel, J.; Jung, U.; Fischer, E.; Scholwin, F.; Stand der Technik beim Bau und Betrieb von Biogasanlagen – Bestandsaufnahme 2008, Umweltbundesamt (Hrsg.); Online erijilebilir adres [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)
- [3-18] Bundesverband der landwirtschaftlichen Berufsgenossenschaften (Hrsg.); Technische Information 4 – Sicherheitsregeln für Biogasanlagen; Kassel; 10/2008; Online erijilebilir adres [http://www.praevention.lsv.de/lbg/fachinfo/info\\_ges/ti\\_4/titel.htm](http://www.praevention.lsv.de/lbg/fachinfo/info_ges/ti_4/titel.htm)
- [3-19] Oechsner H.; Lemmer A.: Was kann die Hydrolyse bei der Biogasvergärung leisten?; VDI-Gesellschaft Energietechnik: BIOGAS 2009. Energieträger der Zukunft.; VDI-Berichte, Band 2057; VDI-Verlag, Düsseldorf, 2009



# Seçilmiş bazı materyallerin tanımı



Bu başlıkta seçilmiş materyaller yakından incelenecektir. Hem materyallerin kökeni, hem de kuru madde (KM), organik kuru madde (OKM), besin maddeleri (N, P, K) veya mevcut organik zararlı maddeler gibi en önemli özellikleri ele alınmaktadır. Ayrıca beklenen gaz verimleri ve gaz kalitelerinin yanı sıra materyallerin kullanımı hakkında bilgiler de verilmektedir.

Potansiyel mevcut materyallerin çok fazla olması nedeniyle tümünün açıklanması mümkün olmadığından, bu başlık altında yeterli bilgiye yer verilemeyecektir. Burada belirtilen materyaller yıllık kalite dalgalanmalarına da tabidir, bu nedenle bu başlık altında sunulan materyal verileri ve gaz verimleri mutlak değerleri temsil etmemektedir. Bu nedenle daha ziyade söz konusu parametrelerin aralığı ve ortalama değerleri verilmiştir.

Biyogaz ve metan verimleri ile ilgili bilgiler her defasında norm metreküp (Nm<sup>3</sup>) olarak ifade edilir. Gaz hacmi sıcaklığa ve hava basıncına bağlı olduğundan (ideal gaz yasası), hacmin normlandırılması, farklı işletme koşullarının karşılaştırılabilirliğini sağlar. Normlandırılmış gaz miktarı 0 °C sıcaklığı ve 1.013 mbar hava basıncını referans almaktadır. Bu şekilde biyogazın metan oranı için kesin bir ısı değer tayin

edilebilir, bu metan için 9,97 kWh/Nm<sup>3</sup>tür. Isıl değeri sayesinde yine, çeşitli işletme içi karşılaştırma hesapları için gerekli olabilecek enerji üretimiyle bağlantı kurulabilir.

## 4.1 Tarımsal materyaller

### 4.1.1 Çiftlik gübresi

Almanya'daki çiftlik hayvanları yetiştiriciliği hakkındaki istatistikler esas alındığında, özellikle sığır ve domuz yetiştiriciliğinde, biyogaz tesislerinde enerji bakımından faydalanma açısından olağanüstü bir potansiyel ortaya çıkmaktadır. Özellikle hayvancılık alanında işletme kapasitelerinin büyümesi ve dışkının müteakip kullanımı konusunda artan çevresel gereklilikler yüzünden, oluşan sıvı veya katı gübre için alternatif değerlendirme ve işleme yolları bulunmalıdır. İklimin korunması açısından da depolama emisyonlarının belirgin oranda düşürülmesi için çiftlik gübresinin enerji bağlamında kullanımı gereklidir. Çiftlik gübresinin önemli özellikleri tablo 4.1'den görülebilir.

Tablo 4.1: Çiftlik gübresinin besin maddesi değerleri ([4-1]'e göre, değiştirilmiş)

Materyal		KM	OKM	N	NH <sub>4</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
		[%]	[% KM'de]				
Sıvı sığır gübresi	Δ	6-11	75-82	2,6-6,7	1-4	0,5-3,3	5,5-10
	Ø	10	80	3,5	bildirilmemiş	1,7	6,3
Sıvı domuz gübresi	Δ	4-7	75-86	6-18	3-17	2-10	3-7,5
	Ø	6	80	3,6	bildirilmemiş	2,5	2,4
Sığır gübresi	Δ	20-25	68-76	1,1-3,4	0,22-2	1-1,5	2-5
	Ø	25	80	4,0	bildirilmemiş	3,2	8,8
Kanatlıların gübresi	Ø	40	75	18,4	bildirilmemiş	14,3	13,5

Δ: Ölçme değerleri aralığı; Ø: Ortalama değer

Sıvı sığır gübresinin biyogaz verimi her ton materyal başına 20-30 Nm<sup>3</sup> ile sıvı domuz gübresine göre biraz daha düşüktür (bkz. Tablo 4.2). Ayrıca sıvı sığır gübresinden elde edilen gaz, sıvı domuz gübresinden elde edilen gaza kıyasla daha düşük metan oranına sahiptir, bundan dolayı metan verimi de daha düşüktür. Bunun nedeni çiftlik gübrelere farklı bileşimine dayanmaktadır. Sıvı sığır gübresi ağırlıklı olarak karbonhidrat, sıvı domuz gübresi ağırlıklı olarak protein içerir, bu da domuz gübresinde metan oranlarının artmasını sağlar [4-3]. İlk etapta biyogaz verimi, organik kuru madde oranlarına bağlıdır. Pratikte çoğu zaman söz konusu olduğu üzere, sıvı çiftlik gübresinin seyreltilmesi söz konusu olursa (örneğin ahırın veya sağımlı yerinin temizliği nedeniyle), o zaman gerçek materyal verileri ve biyogaz verimleri, tablo 4.2’de gösterilen değerlere göre büyük ölçüde sapma gösterebilir.

Tablo 4.2: Çiftlik gübresinin gaz verimi ve metan randımanını ([4-2]’e göre, değiştirilmiş)

Materyal		Biyogaz üretimi	Metan verimi	Özgül Metan
		[Nm <sup>3</sup> /t Materyal]	[Nm <sup>3</sup> /t Materyal]	[Nm <sup>3</sup> /t OKM]
Sıvı sığır gübresi	Δ	20-30	11-19	110-275
	Ø	25	14	210
Sıvı domuz gübresi	Δ	20-35	12-21	180-360
	Ø	28	17	250
Sığır gübresi	Δ	60-120	33-36	130-330
	Ø	80	44	250
Kanatlıların gübresi	Δ	130-270	70-140	200-360
	Ø	140	90	280

Δ: Ölçme değerleri aralığı; Ø: Ortalama değer

Sıvı sığır ve domuz gübrelere biyogaz tesislerinde kullanımı, pompalanabilirliği ve sıvı gübre tanklarında kolayca depolanabilmesi sayesinde, problemsiz bir şekilde mümkündür. Ayrıca bunlar nispeten düşük kuru madde oranları nedeniyle diğer materyallerle (komateryaller) iyi bir şekilde kombine edilebilmektedir. Buna karşın katı gübrenin eklenmesi, nispeten yüksek bir teknik külfet gerektirmektedir. Sert kıvamı nedeniyle katı gübre, piyasada bulunan her katı madde ekleme teknolojisi ile işlenememektedir.

#### 4.1.2 Yenilenebilir hammaddeler

Yenilenebilir hammaddeler, Yenilenebilir Enerjiler Yasası’nın (EEG) 2004 yılındaki ilk değişikliğinden sonra, biyogazdan elektrik üretilmesi ile bağlantılı olarak ayrı bir önem kazanmıştır. Bu zamandan beri yeni yapılan biyogaz tesislerinin çoğunda yenilenebilir hammaddeler kullanılmaktadır. Aşağıdaki başlıkta en sık kullanılan hammaddelerin bir kısmı ayrıntılı açıklanmakta ve bunların materyal özellikleri ile biyogaz verimleri ile ilgili bilgiler verilmektedir.

Yetiştirme kararı alınırken sadece bitki kültürü ön planda tutulmamalı, özellikle imkana göre komple ürün nöbeti hakkında kapsamlı bir inceleme yapılmalıdır. Örneğin çalışma ekonomisi konularının ve alternatif bitki yetiştirme yöntemlerinin sürdürülebilirlik kriterlerinin dahil edilmesiyle, yenilenebilir hammaddelerin yetiştirilmesinin bütünsel bir optimizasyonu gerçekleştirilebilir.

##### 4.1.2.1 Mısır

Mısır, tarıma dayalı biyogaz tesislerinde en sık kullanılan materyaldir. [4-4]. Mısır, hektar başına yüksek enerji verimliliği ve fermantasyona uygunluğunun iyi olması sayesinde, biyogaz tesislerinde kullanılmak için çok uygundur. Verimliliği bölgeye ve çevre koşullarına çok bağlıdır ve kumlu topraklarda 35 t ham mahsülden (YM) yüksek verimli topraklarda 65 t YM/hektarın üzerine kadar çıkabilir. Verimlilik ortalama olarak yaklaşık 45 t YM/hektardır. Mısır nispeten mütevazı bir bitkidir ve bu nedenle hemen her bölge için uygundur.

Hasatta mısır bitkisinin tamamı kıyılır ve silolarda depolanır. Bu sırada kuru madde oranı % 28’in altında ve % 36’nın üzerinde olmamalıdır. Eğer KM oranı % 28 KM’den küçükse, çok miktarda sızıntı suyu çıkışıyla bağlantılı olarak ciddi enerji kayıpları hesaba katılmalıdır. Eğer KM oranı % 36 KM’nin üzerindeyse, silaj yüksek lignin oranına ve böylelikle daha düşük bir parçalanabilirliğe sahiptir. Bunun dışında silaj uygun şekilde sıkıştırılmaz, bu da silaj kalitesini ve böylelikle saklama stabilitesini olumsuz etkilemektedir. Silonun içinde depolandıktan sonra kıyılmış bitki bileşenleri sıkıştırılır (örneğin tekerlekli kepçe, traktör) ve bir folyoyla hava sızdırmayacak şekilde kapatılır. Yaklaşık 12 haftalık bir silajlama aşamasından sonra biyogaz tesisinde kullanılabilir. Materyal verileri ve ortalama biyogaz verimliliği, bu başlığın sonunda gösterilmiştir.

Silo mısır olarak bitkiden komple faydalanmanın yanında sadece koçandan faydalanılması, pratikte belirli bir anlam taşır. Farklı hasat yöntemleri ve dönem-

leri sayesinde öğütölmüş mısır başağı (LKS), corn-cob-mix (CCM) ve taneli mısır yaygın çeşitlerdir. LKS ve CCM genellikle hasat sonrasında silolanır. Taneli mısır ya ıslak silajlanır, parçalanır ve silajlanır veya kurutulabilir. Sözü edilen materyallerin enerji yoğunluğu, mısır silajına göre önemli ölçüde yüksektir, ancak alansal enerji verimliliği, bitkinin artıklarının tarlada kalması nedeniyle daha düşüktür.

#### 4.1.2.2 Tahıl – Tam bitki silajı (GPS)

Tahıl tam bitki silajının üretilmesi için neredeyse tüm tahıl türlerinin yanı sıra olgunluğun zaman olarak birlikte gerçekleşmesi halinde bunların karışımları da uygundur. Bölgesel özelliklere bağlı olarak, deneyimlere göre en yüksek kuru kütle verimliliğini gerçekleştirebilen tahıl türünün ekimi tercih edilmelidir. Çoğu bölgede bu çavdar ve tritikale ile elde edilmektedir [4-5]. Hasat yöntemi mısırdaki yöntemle aynıdır, tahıl GPS’de de saplar kıyılır ve silolanır. Hasat, faydalanma sistemine bağlı olarak en yüksek kuru kütle verimliliği zamanında gerçekleştirilmelidir (tek kültürlü sistem). Bu, çoğu tahıl türünde süt olumunun sonu/hamur olumunun başıdır [4-7]. Tahıl GPS durumunda bölge ve yıllık kuru kütle verimliliğine bağlı olarak 7.5 ila yaklaşık 15 t KM/hektar elde edilir, bu % 35 KM durumunda 22 ila 43 t ham mahsul/hektarlık bir ham mahsul verimliliği anlamına gelir [4-6].

Yeşil çavdar silajının üretilmesi pratikte çok yaygın bir yöntemdir. Burada çavdar GPS’ye göre belirgin ölçüde erken, aralıklı hasat yöntemiyle silajlanır. Yani önce biçilir ve ardından 1 ila 2 gün soldurulduktan sonra kıyılır ve silajlanır. Hasattan hemen sonra genellikle enerji üretimi için bir ardıl bir ekim yapılır. (çift kültürlü sistem). Yüksek su tüketimi nedeniyle bu yöntem her bölge için uygun değildir. Bunun haricinde hasat ürününün çok düşük KM oranlarına sahip olması durumunda, silajlama sırasında güçlükler meydana gelebilir (örneğin sızıntı suyu çıkışı, silonun üzerinde araçla çıkılabilirlik). Tahıl GPS yanı sıra gaz verimi değerleri, bu başlığın sonunda gösterilmiştir.

#### 4.1.2.3 Ot silajı

Otun ekilmesi ve hasadı veya ot silajından faydalanma, mısırdaki olduğu gibi iyi mekanize edilebilir. Ot silajının hasadı, aralıklı yöntemle uygulanır, bu arada solmuş otun toplanması, yükleme arabasıyla veya bir kıyıcı makine ile gerçekleştirilebilir. Daha iyi kıyım performansı nedeniyle ot silajında biyogaz kullanımı için kıyıcı makine seçeneği tercih edilmelidir.

Ot silajı, tek ya da çok yıllık olarak tarlaye ekimden veya daimi yeşil alanlardan üretilebilir. Bölge ve çevre koşulları yanı sıra yeşil alan kullanımı yoğunluğuna bağlı olarak verimlilikler çok değişkendir. Yağış ve hava koşullarına bağlı olarak yoğun faydalanma durumunda yılda üç ila beş biçim mümkündür. Bu bağlamda bir yandan yüksek mekanizasyon masrafları, diğer yandan, fermantasyon sırasında problemlere neden olabilecek, olası yüksek azot yükleri dikkate alınmalıdır. Ancak ot silajı, faydalanılan geniş doğa koruma alanlarından da elde edilebilir, ancak bu sırada yüksek lignin oranları nedeniyle düşük verim gerçekleşmektedir. Ot silajının çok sayıda farklı üretme olanakları nedeniyle literatürde, materyal verimlerinde ve biyogaz veriminde değişim aralığı, tablo 4.3 ve tablo 4.4’te belirtilmiş değerlerin çok üzerinde bulunmaktadır.

Bu bağlamda, biyogaz tesisleri için ot silajının üretilmesi durumunda, sindirilebilirliğin veya parçalanabilirliğin ön planda bulunması gerektiği ifade edilmiştir. Bu nedenle kuru madde oranlarının imkana göre % 35 KM üzerinde bulunmamasına dikkat edilmelidir. Çok yüksek KM oranlarında lignin ve elyaf oranları artmakta, bu yüzden parçalanma derecesi ve dolayısıyla organik kuru kütle üzerinden metan verimi, belirgin ölçüde düşmektedir. Bu, ot silajının prosese eklenebilmesine rağmen yüksek kuru kütle oranları ve kısmen uzun elyafı niteliği nedeniyle proses tekniği ile ilgili problemlere neden olabilmektedir (örneğin yüzer tabakaların çabuk oluşması, karıştırma mekanizması kanatlarına sarılması).

#### 4.1.2.4 Tahıl taneleri

Tahıl taneleri, materyal yelpazesine takviye olarak biyogaz tesislerinde kullanılmak üzere çok uygundur. Çok yüksek biyogaz verimleri ve hızlı parçalanabilirlikleri nedeniyle özellikle biyogaz üretiminin hassas kontrolü için çok uygundurlar. Burada tahılın türü önemli değildir. Hızlı bir ayrışma sağlamak için, tahıl tanelerinin dozajlama öncesinde küçültülmesi önemlidir (örneğin öğütme, ezme).

#### 4.1.2.5 Pancar

Yüksek kütle artışı nedeniyle pancar (şeker pancarı veya yemlik pancar) ekimi, yenilenebilir hammadde olarak uygundur. Özellikle şeker pancarı ekiminin, bazı bölgelerde geleneksel olarak büyük bir anlamı vardır. Piyasa düzenlemesi tedbirleri nedeniyle şeker üretimi için pancar miktarının gittikçe düşürülmesi gerekmektedir. Şeker pancarı tarımı, bilinen bir üretim yön-



temi olduğundan ve çeşitli bitki yapısı avantajlarını beraberinde getirdiğinden, biyogaz üretiminde kullanımı yaygınlaşmaktadır.

Pancar, toprak ve iklim açısından belli özellikler ister. Yüksek verimlilik gerçekleştirilebilmek için daha ziyade ılıman iklime ve derin tabanlı humuslu toprağa ihtiyaç duyar. Yağmurlama sulama olanağı, uygun bölgelerde verimin garanti edilmesine önemli ölçüde katkıda bulunabilir. Verim değerleri bölgesel koşullara ve çevre koşullarına bağlıdır ve şeker pancarında ortalama 50-60 t YM/hektardır. Yem pancarının veriminde ayrıca tür farkları ortaya çıkar, böylece kütleli pancarın verimi yaklaşık 90 t YM/hektar ve hayvan yemi pancarının verimi ise yaklaşık 60-70 t YM/hektardır [4-8]. Yaprak kütlelerinin veriminde türe özgü farklar ortaya çıkar. Buna göre pancar kütlelerinin yaprak kütlelerine oranı şeker pancarında 1:0,8 ve yemlik pancarda 1:0,5'tir. Yemlik pancar, yüksek kütle artışı nedeniyle „sadece“ 1:0,3-0,4'lük bir pancar yaprak oranına sahiptir [4-8]. Şeker pancarlarının materyal verileri ve gaz verimleri, tablo 4.3 ve 4.4'te görülmektedir.

Tablo 4.3: Seçilmiş yenilenebilir hammaddelerin madde verileri [4-1]'e göre, değiştirilmiş

Materyal		KM	OKM	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
		[%]	[% KM'de]		[% KM'de]	
Mısır silajı	Δ	28-35	85-98	2,3-3,3	1,5-1,9	4,2-7,8
	Ø	33	95	2,8	1,8	4,3
Tahıl-GPS	Δ	30-35	92-98	4,0	3,25	Veri yok
	Ø	33	95	4,4	2,8	6,9
Ot silajı	Δ	25-50	70-95	3,5-6,9	1,8-3,7	6,9-19,8
	Ø	35	90	4,0	2,2	8,9
Tahıl taneleri	Ø	87	97	12,5	7,2	5,7
Şeker pancarı	Ø	23	90	1,8	0,8	2,2
Yemlik pancar	Ø	16	90	Veri yok	Veri yok	Veri yok

Δ: Ölçme değerleri aralığı; Ø: Ortalama değer

Şeker pancarlarının biyogaz üretiminde kullanımında iki temel güçlük ortaya çıkmaktadır. Bir yandan pancar, fermentöre aktarma sırasında zemine çökelen ve fermentasyon tankını küçülten, yapışmış topraktan temizlenmelidir. Bunun için makineyle ıslak yıkama yöntemi geliştirilme safhasındadır. Öte yandan pancarın düşük kuru kütle oranları nedeniyle

Tablo 4.4: Seçilmiş yenilenebilir hammaddelerin biyogaz verimleri [4-2],[4-6],[4-9],[4-10]'ye göre değiştirilmiş

Materyal		Biyogaz verimi	Metan verimi	Özgül Metan verimi
		[Nm <sup>3</sup> /t Materyal]	[Nm <sup>3</sup> /t Materyal]	[Nm <sup>3</sup> /t OKM]
Mısır silajı	Δ	170-230	89-120	234-364
	Ø	200	106	340
Tahıl-GPS	Δ	170-220	90-120	290-350
	Ø	190	105	329
Tahıl taneleri	Ø	620	320	380
Ot silajı	Δ	170-200	93-109	300-338
	Ø	180	98	310
Şeker pancarı	Δ	120-140	65-76	340-372
	Ø	130	72	350
Yemlik pancar	Δ	75-100	40-54	332-364
	Ø	90	50	350

Δ: Ölçme değerleri aralığı; Ø: Ortalama değer

depolanması çok zor olmaktadır. Bu bağlamda pratikte mısırla karışık bir silajlama veya folyo hortumlarda ya da lagünlerde ayrı bir silajlanır. Pancarın kışlanması ve kullanımı ile ilgili yöntemler deneme safhasındadır.

## 4.2 Tarım endüstrisi yan ürünleri

Bu başlıkta tarım endüstrisinde işlenen, seçilmiş materyaller konusunda bilgiler yer alacaktır. Burada sadece bitkilerin veya bitki bileşenlerinin işlenmesi sırasında oluşan materyaller veya bileşik ürünler söz konusudur. Açıklanan materyaller, EEG 2009 uyarınca salt bitkisel yan ürünlerin pozitif listesinden örnek şeklinde bir alıntı oluşturmaktadır. Bunlar, maddesel özellikleri sayesinde ve uygun bölgesel koşullarda, biyogaz kullanımını için özellikle uygundur. Bu arada bu materyallerin çöp özelliklerine sahip oldukları veya Biyolojik Çöp Yönetmeliği (BioAbfV) ek 1'de buldukları dikkate alınmalıdır (bkz. Bölüm 7.3.3.1). Netice itibarıyla biyogaz tesisi uygun bir izne sahip olmalı ve fermentasyon atıklarının ön işlenmesi yanı sıra değerlendirilmesi bakımından BioAbfV taleplerini yerine getirmelidir (bkz. Bölüm 7.7.2.3). Tabloda bulunan değerlerin incelenmesi sırasında temel olarak, materyallerin açıklanmış özelliklerinin pratikte çok değişken olduğu ve burada belirtilmiş aralıkların dışına çıkabilecekleri dikkate alınmalıdır. Bu temel olarak ana ürünlerin üretim yöntemlerinin (örneğin farklı yöntemler, cihaz

ayarları, gerekli ürün kalitesi, ön işlemler vs.) yanı sıra hammaddelerin değişken kalitelerine dayandırılmaktadır. Ağır metal oranları da çok değişebilmektedir [4-11].

#### 4.2.1 Bira üretimi

Bira üretiminde çeşitli yan ürünler oluşurken, bunlardan bira posası % 75 ile ana kısmı oluşturmaktadır. Hektolitreye bira başına yaklaşık 19,2 kg posa, 2,4 kg maya ve tortu, 1,8 kg sıcak trub, 0,6 kg soğuk trub 0,5 kg diyotomlu çamur ve 0,1 kg malt unu oluşmaktadır [4-12].

Bu başlık altında miktar bakımından en büyük bölümü posa oluşturduğundan, sadece posa yakından incelenecektir. Yine de diyotomlu çamur dışında kalan bölümler aynı şekilde biyogaz tesislerinde kullanılmak için uygundur. Fakat oluşan miktarların sadece bir bölümü gerçekten kullanılabilir, çünkü oluşan yan ürünler başka şekilde, örneğin gıda endüstrisinde (bira mayası) veya hayvan yemi (posa, malt unu) olarak da kullanılmaktadır. Materyal verileri ve gaz verimleri 4.4 başlığı altında derlenmiştir.

Depolama ve kullanım nispeten az sorunludur. Ancak açık depolama durumunda nispeten hızlı, kayda değer enerji kayıpları ve küf mantarı oluşur, bu yüzden böylesi bir durumda silajlama uygulanmalıdır.

#### 4.2.2 Alkol üretimi

Tahıl, pancar, patates veya meyveden alkol üretiminde yan ürün olarak şilempe oluşur. Alkol üretiminde litre alkol başına yaklaşık 12 katı şilempe oluşur, bu günümüzde kurutma sonrasında hayvan yemi veya gübre olarak kullanılmaktadır [4-12]. Taze şilempenin kullanımı, düşük kuru kütle oranları ve buna bağlı nakliye sorunları nedeniyle durumda koşullu mümkündür. Bu bağlamda, alkol üretimiyle bağlantılı biyogaz üretimi için ortaya çıkan olanaklar yer almaktadır. Şilempenin fermantasyonu sayesinde biyogaz elde edilir. Bu da yine bir kombine ısı ve güç santralinde, alkol üretimi için gerekli proses enerjisinin elektrik ve ısı biçiminde üretilmesi için kullanılabilir. Bu sayede yenilenebilir hammaddelerin bir ardışık kullanımı mümkün olmakta, bu da şimdiki kadarki şilempe değerlendirme yöntemlerine göre sürdürülebilir ve kaynaklar açısından verimli bir alternatif oluşturmaktadır.

Materyal verileri ile ilgili bilgiler tablo 4.6'da ve verimi ile ilgili bilgiler bölüm 4.4 altında tablo 4.7'de gösterilmiştir.

#### 4.2.3 Biyodizel üretimi

Biyodizel üretiminden elde edilen yan ürünler preslenmiş kolza küspesi ve ham gliserindir. Yüksek gaz verimleri (Tablo 4.6) sebebiyle, her iki maddenin de tarımsal biyogaz tesislerinde komateryal olarak kullanımı uygundur. Preslenmiş kolza küspesinde gaz verimliliğinin yüksekliğini, kalan yağ oranı belirlerken, bu da yine yağ preslerinin ayarları ve hammaddelerin yağ oranlarına bağlıdır. Bu nedenden dolayı pratikte çeşitli preslenmiş kolza küspelerinin gaz verimlerinde kesinlikle farklılıklar görülmektedir. Bir ton biyodizelin üretiminde yaklaşık 2,2 t preslenmiş kolza küspesi ve 200 kg gliserin oluşmaktadır [4-13]. Ancak bu yan ürünlerin biyodizel üretiminde kullanımı, sorunsuz bir şekilde mümkün değildir ve ilk etapta harfiyen kontrol edilmelidir. Bu, preslenmiş kolza küspesinin fermantasyonu sırasında, biyogaz içinde çok yüksek oranda hidrojen sülfür ( $H_2S$ ) oluşması ile açıklanmaktadır [4-14]. Bu, kolza yağının yüksek protein ve sülfür oranlarına dayanmaktadır. Ham gliserininde kısmen, metanojen bakteriler üzerinde önleyici bir etkiye sahip olan, % 20'nin üzerinde metanol bulunması bir problem olarak görülmektedir [4-15]. Bu nedenden dolayı gliserin sadece düşük miktarlarda prosese aktarılmalıdır.

Ham gliserinin yenilenebilir hammaddelerle ve çiftlik gübresiyle kofermantasyonu ile ilgili araştırmalar, gliserin ilavesinin maksimum % 6 kütle oranında ilave edilmesinin, belirgin bir kofermantasyon etkisine neden olduğunu göstermiştir. Bu, karışım sayesinde, orantısız olarak münferit materyallerden beklenenin çok üzerinde metan üretildiği anlamına gelmektedir. Aynı araştırmalar, % 8'in üzerinde bir gliserin ilave miktarından itibaren, artık pozitif bir kofermantasyon etkisinin mevcut olmadığı veya hatta, metan oluşumunun engellenmesinin hesaba katılması gerektiğini ortaya koymuştur. Özetlemek gerekirse, biyodizel üretiminden elde edilen yan ürünlerin, komateryal olarak uygun olduğunu, ancak düşük oranlarda kullanılmalarının önerilmesi gerektiği tespit edilmiştir.

#### 4.2.4 Patateslerin işlenmesi (Nişasta üretimi)

Patatesten nişasta üretimi sırasında, organik açıdan yüklenen atık suların yanında yan ürün olarak patates posası da oluşmaktadır. Bu temel olarak kabuklardan, hücre duvarlarından ve nişasta üretimi sonrasında geride kalan, çözünmemiş nişasta hücrelerinden oluşmaktadır. İşlenmiş her ton patates başına yaklaşık 240 kg posanın yanı sıra 760 litre patates şilempesi ve 400-600 litre proses suyu [4-16] oluşmaktadır.



Günümüzde posaların bir bölümü hayvan yemi olarak çiftçilere verilmekte ve şilempenin büyük bölümü, tarlalarda gübre olarak kullanılmaktadır. Ancak yem olarak kullanım, oluşan miktarın sadece küçük bir bölümünü oluşturduğundan ve şilempe tarlalarda aşırı gübrelemeye ve yeraltı sularının tuzlanmasına neden olabildiğinden, orta vadede başka değerlendirme alternatifleri gereklidir.

Yan ürünler, iyi fermente edilebilir materyaller olduğundan, biyogaz tesislerinde değerlendirme olanağı vardır. Maddesel özellikler, tablolar 4.6 ve 4.7’de görülmektedir.

Hijyen tedbirleri veya depolama ile ilgili özel talepler söz konusu değildir, ancak şilempe veya proses suyunun, fermentasyon işlemi için depolama tanklarında depolanması durumunda tekrar ısıtılmaları gerektiği ve bunun için ekstra enerjiye ihtiyaç duyulduğu unutulmamalıdır.

#### 4.2.5 şeker üretimi

Kristal şeker üretimi için şeker pancarlarının işlenmesi sırasında, genellikle hayvan yemi olarak kullanılan çeşitli yan ürünler oluşmaktadır. Bunlar bir yanda pancarların kıyılması ve akabinde şekerin ekstraksiyonu sonrasında oluşan yaş pancar posası ve öte yanda şeker kristallerinin koyulaşmış şeker şurubundan ayrılmasından sonra artakalan melastır. Yaş pancar posasının bir kısmı, melas karıştırılması ve içerik suyunun preslenmesiyle işlenerek melaslı kuru küspe halini alır ve aynı şekilde hayvan yemi olarak kullanılır [4-17, 4-18].

Melas, hayvan yemi olarak kullanılmasının yanında, maya fabrikalarında veya alkol imalathanelerinde hammadde olarak da kullanılır. Gerçi burada kullanılabilir miktar büyük ölçüde sınırlanmaktadır, ancak yaş pancar posası ve melas, kalan şeker oranı nedeniyle biyogaz üretimi için uygun bir komateryal oluşturmaktadır (bkz. ek 4.8. Tablo 4.9).

Depolama ve kullanım ile ilgili özel hijyenik talepler henüz bulunmamaktadır. Preslenmiş küspeler daha uzun süre dayanmaları için silolanır, bu ya tek materyal olarak folyo hortumlarda veya karışık materyal olarak örneğin mısır silajı ile birlikte gerçekleştirilmektedir. Melas uygun depolama haznelerinde stoklanır. Bu, preslenmiş küspe ve melasın (Eylül Aralık ayları dışında) tüm yıl boyunca temin edilmesi isteniyorsa gereklidir.

#### 4.2.6 Meyve işlemeçiliğinin yan ürünleri

Üzüm ve meyvenin şarap ve meyve suyu olarak işlenmesi sırasında yan ürün olarak tortu oluşmakta-

Tablo 4.5: EEG 2009’un pozitif listesi uyarınca salt bitkisel yan ürünlerden standart biyogaz üretimleri

Salt bitkisel yan ürün	Standart biyogaz üretimi EEG’ye ek 2 no V [kWh <sub>e</sub> /t	
	YM]	[Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /t YM]
Bira posası (taze veya preslenmiş)	231	62
Sebze artıkları	100	27
Sebze (ayıklanmış)	150	41
Tahıl (artıkları)	960	259
Alkol üretiminden tahıl (buğday) şilempesi	68	18
Tahıl tozu	652	176
Bitkisel yağların işlenmesinden elde edilen gliserin	1.346	364
Şifalı ve baharatlı bitkiler	220	59
Patates (ayıklanmış)	350	95
Patates (pürelenmiş)	251	68
Nişasta üretiminden patates şilempesi	43	12
Nişasta üretiminden patates proses suyu	11	3
Nişasta üretiminden patates posası	229	62
Patates kabukları	251	68
Alkol üretiminden patates şilempesi	63	17
Pancar şekeri üretiminden melas	629	170
Meyve tortusu (taze, işlenmemiş)	187	51
Öğütülmüş kolza tohumu	1.038	281
Kolza küspesi (artık yağ oranı yakl. % 15)	1.160	314
Kesme çiçek (ayıklanmış)	210	57
Şeker pancarından şeker üretimi sonrası preslenmiş küspe	242	65
Şeker pancarı posası	242	65

dır. Bunlardan, halen yüksek şeker oranları nedeniyle tercihen alkol üretiminde faydalanılır. Ancak hayvan Tortular hayvan yemi veya pektin üretimi için ana madde olarak kullanım alanı bulur. Hektolitre şarap veya meyve suyu başına yaklaşık 25 kg tortu hektolitre meyve nektarı başına yaklaşık 10 kg tortu oluşmaktadır [4-12]. Tablo 4.6 ve 4.7’de konuya ilişkin önemli bilgilere yer verilmiştir

Yabancı veya aykırı maddeler, önceki üretim prosesi nedeniyle beklenmemekte olup, bir hijyenleş-

tirme de gerekli değildir. Uzun süreli depolama durumunda materyallerin silajlanması gereklidir.

### 4.3 EEG uyarınca salt bitkisel yan ürünler

Aşağıda EEG uyarınca salt bitkisel yan ürünler (salt bitkisel yan ürünlerin pozitif listesi) yasal olarak belirlenmiş standart biyogaz verimleri ile birlikte eksiksiz bir şekilde gösterilmiştir (bkz. Bölüm 7.3.3.2). Bu başlık altında açıklanmış materyallerle bir kıyaslanabilirliğin mümkün kılınması için yasal olarak belirlenmiş standart biyogaz verimleri (kWhel/t YM olarak) metan verimine dönüştürülür (Tablo 4.5). Bu sırada kombine ısı ve güç santralinde elektrik verimi % 37 verimi ve metanın alt ısıl değeri 9,97 kWh/Nm<sup>3</sup> olarak alınır. (bkz. Tablo 4.5).

Esas itibarıyla yasal dayanakta yan ürünlerin madde özellikleri ile ilgili sadece çok kaba bilgilerin verilmiş olması problem olarak görülmektedir. Yan ürünlerin gaz verimini etkileyen madde özellikleri (özellikle kuru madde ve artık yağ oranı), pratikte çok büyük değişkenliğe sahip olduğundan (bkz. Bölüm 4.2), gerçekte elde edilebilir yasal olarak belirlenmiş gaz verimleri ile ilgili ciddi sapmalar mümkün olmaktadır. Bu yüzden izin verilmiş salt bitkisel yan ürünlerden elde edilen biyogaz verimliliklerinde zorunlu koşullarla eksik veya fazla değerlendirmeler oluşmaktadır.

### 4.4 Salt bitkisel yan ürünlerin materyal verileri ve gaz verimi

Aşağıdaki tablolarda, 4.2 başlığından seçilmiş materyallerin materyal verileri ve gaz verimleri görülmektedir. Çeşitli parametrelerin hem minimum maksimum değerleri hem de ortalama değerleri verilmiştir. Hem madde verilerinde hem de gaz verimlerinde kısmen önemli dalgalanma nedeniyle, "materyal kalitesinin" pratikte çok geniş olduğu ve üretim açısından birçok faktörden etkilendiği görülmektedir. Burada sunulan veriler oryantasyon amacı taşır ve pratikte elde edilebilir sonuçlar kısmen belirgin ölçüde yukarı veya aşağı sapabilmektedir.

### 4.5 Budama ve çim biçme artıkları

Park alanlarının ve yeşillendirilmiş yol kenarlarının belediye tarafından bakımı sonucu, büyük miktarda

Tablo 4.6: Seçilmiş salt bitkisel yan ürünlerin madde verileri [4-2],[4-6],[4-12],[4-17]'ye göre

Materyal		KM	OKM	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
		[%]	[km'de %]	[km'de %]		
Bira posası	Δ	20-25	70-80	4-5	1,5	Veri yok
	Ø	22,5	75	4,5	1,5	Veri yok
Tahıl şilempesi	Δ	6-8	83-88	6-10	3,6-6	Veri yok
	Ø	6	94	8	4,8	Veri yok
Patates şilempesi	Δ	6-7	85-95	5-13	0,9	Veri yok
	Ø	6	85	9	0,73	Veri yok
Meyve şilempesi	Δ	2-3	ca. 95	Veri yok	0,73	Veri yok
	Ø	2,5	95	Veri yok	0,73	Veri yok
Ham gliserin	[4-1]	100	90	Veri yok	Veri yok	Veri yok
	[4-15]	47	70	Veri yok	Veri yok	Veri yok
Kolza küspesi		92	87	Veri yok	Veri yok	Veri yok
Patates posaları	Ø	ca. 13	90	0,5-1	0,1-0,2	1,8
Patates şilempesi	Δ	3,7	70-75	4-5	2,5-3	5,5
	Ø	3,7	72,5	4,5	2,8	5,5
Şekerpancarı dilimleri	Δ	22-26	95	Veri yok	Veri yok	Veri yok
	Ø	24	95	Veri yok	Veri yok	Veri yok
Melas	Δ	80-90	85-90	1,5	0,3	Veri yok
	Ø	85	87,5	1,5	0,3	Veri yok
Elma tortusu	Δ	25-45	85-90	1,1	1,4	Veri yok
	Ø	35	87,5	1,1	1,4	Veri yok
Üzüm posası	Δ	40-50	80-90	1,5-3	3,7-7,8	Veri yok
	Ø	45	85	2,3	5,8	Veri yok

Δ: Ölçme değerleri aralığı; Ø: Ortalama değer

Tablo 4.7: Tarım endüstrisinden seçilmiş materyallerin biyogaz verimlilikleri [4-1],[4-2], [4-12], [4-15] değiştirilmiş

Materyal		Biyogaz verimi	Metan verimi	Özgül Metan verimi
		[Nm <sup>3</sup> /t Substrat]	[Nm <sup>3</sup> /t Substrat]	[Nm <sup>3</sup> /t OKM]
Bira posası	Δ	105-130	62-112	295-443
	Ø	118	70	313
Tahıl şilempesi	Δ	30-50	18-35	258-420
	Ø	39	22	385
Patates şilempesi	Δ	26-42	12-24	240-420
	Ø	34	18	362
Meyve şilempesi	Δ	10-20	6-12	180-390
	Ø	15	9	285
Ham gliserin	Δ	240-260	140-155	170-200
	Ø	250	147	185
Kolza küspesi	Ø	660	317	396
	Δ	70-90	44-50	358-413
Patates posaları	Ø	80	47	336
	Δ	50-56	28-31	825-1100
Patates şilempesi	Ø	53	30	963
	Δ	60-75	44-54	181-254
Şeker pancarı	Ø	68	49	218
	Δ	290-340	210-247	261-355
Melas	Ø	315	229	308
	Δ	145-150	98-101	446-459
Elma tortusu	Ø	148	100	453
	Δ	250-270	169-182	432-466
Üzüm posası	Ø	260	176	448

Δ: Ölçme değerleri aralığı; Ø: Ortalama değer

budama ve çim biçme artıkları oluşmaktadır. Ancak bu malzeme sadece sezona bağlı olarak oluştuğundan, biyogaz hammaddesi olarak tüm yıl hazır tutulmak üzere silajlanmalıdır. Fakat kullanımları bu geniş dağılıma sahip olmaları nedeniyle, yüksek nakliye masrafları göz önünde bulundurulduğunda, şartlı

Tablo 4.8: Budama artıklarının madde özellikleri [4-12], [4-19]

Materyal	KM	OKM	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Biyogaz üretimi	Metan verimi	Metan verimi
	[%]	[km'de %]	[km'de %]		[Nm <sup>3</sup> /t YM]	[Nm <sup>3</sup> /t YM]	[Nm <sup>3</sup> /t OKM]
Budama artıkları	12	87	2,5	4	175	105	369

olarak mantıklıdır. Oluşan miktarlar çok düşükse ve zamansal olarak gecikmişse, o zaman kullanma taze durumda da gerçekleştirilebilir. Ancak bu kullanım oldukça dikkatli yapılmalıdır, çünkü bakterilerin kendini yeni materyal kalitesine uyarlaması gerekir ve çok büyük proses bozulmaları mümkün olabilmektedir. Bazı önemli materyal verilerinin yanı sıra biyogaz verimi ile metan oranı tablo 4.8'de görülebilir. Genel olarak budama ve çim biçme artıkları biyogaz üretimine değil, bilakis daha ziyade kompostlamaya uygundur.

İşlemler, silajlama sırasında sözü edilen lojistik zorlukların dışında sorunsuzdur. Gerekirse malzeme biyogaz tesisine getirilmeden önce dallar veya taşlar gibi gereksiz maddelerden temizlenmelidir.

#### 4.6 Çevre düzenleme malzemeleri

Çevre düzenleme malzemeleri kavramı, etkinliğe bağlıdır ve şayet öncelikli olarak çevre düzenlemesine hizmet ediyorsa, tarımsal üretim ve bahçecilik faaliyetinden doğan malzemeleri kapsamaktadır [4-20]. Çevre düzenleme malzemesinin olduğu alanlara, hem doğal koruma alanları, hem de üzerinde vejetasyon tekniğine ait bakım tedbirlerinin ele alındığı alanlar girmektedir. Böylece korunmuş biyotoplardan, sözleşmeli doğa koruma alanlarından ve tarımcılık, çevre veya benzeri destek faaliyetlerinden elde edilen budama ve çim biçme ürünleri, çevre düzenleme malzemesi sayılmaktadır. Ayrıca yol kenarındaki yeşillikler, belediyelerin budadıkları yeşilliklerin yanı sıra özel ve kamu bahçelerinin ve parklarının bakımından, spor ve golf sahaları bakımının yanı sıra akarsu ve göllerin kenar şeritlerinden elde edilen budama artıkları, çevre düzenleme malzemesi sayılmaktadır. Doğal koruma alanlarında bu işlemlerin çoğunlukla yılda sadece bir kez gerçekleşebileceği gerçeği nedeniyle bu malzeme ağırlıklı olarak yüksek kuru kütle ve lignin oranlarına sahiptir. Bu düşük gaz verimliliği ve kötü bir silajlama uygunluğu anlamına gelmektedir. Bunun haricinde açıklanan maddelerin kullanımı, işleme açısından belirli teknikleri veya yöntemleri şart koşmaktadır ve bunlar günümüzde çok yüksek maliyetlidir veya teknik açıdan henüz olgunlaşmamıştır. Buna karşın veje-



tasyon bakım tedbirlerinden, elde edilen çevre düzenleme malzemeleri, örneğin belediyelerin çim biçme artıkları ve spor ile golf sahası çim biçme artıkları, düşük oranda odunlaşmaya sahiptir ve böylece daha kolay fermente edilebilmektedir.

2 Cent/kWhel tutarında çevre düzenleme materyali kullanım bonusunu alabilmek için bir takvim yılı içinde kullanılan maddelerin % 50'den fazlası, çevre düzenlemesinden gelmelidir (ayrıca bkz. Bölüm 7.3.3.2).

## 4.7 Kaynakça

- [4-1] Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL): Faustzahlen Biogas; Darmstadt, 2007
- [4-2] Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL): Faustzahlen Biogas; 2. Aufl., Darmstadt, 2009
- [4-3] Weiland, P.: Grundlagen der Methangärung – Biologie und Substrate; VDI-Berichte, Nr. 1620 „Biogas als regenerative Energie – Stand und Perspektiven“; S. 19–32; VDI-Verlag 2001
- [4-4] Weiland, P. et al.: Bundesweite Evaluierung neuartiger Biomasse-Biogasanlagen; 16. Symposium Bioenergie-Festbrennstoffe, Biokraftstoffe, Biogas; Bad Staffelstein 2007, S.236–241
- [4-5] Weiland, P.: Stand und Perspektiven der Biogasnutzung und –erzeugung in Deutschland; Gülzower Fachgespräche, Band 15: Energetische Nutzung von Biogas: „Stand der Technik und Optimierungspotenzial“; S. 8–27; Weimar 2000
- [4-6] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.: Standortangepasste Anbausysteme für Energiepflanzen; Gülzow, 2008
- [4-7] Karpenstein-Machan, M.: Energiepflanzenbau für Biogasanlagenbetreiber, DLG Verlag; Frankfurt/M., 2005
- [4-8] Dörfler, H. (Hrsg.): Der praktische Landwirt; 4. Aufl.; BLV Verl.-Ges., München; 1990
- [4-9] Hassan, E.: Untersuchungen zur Vergärung von Futterrübensilage; BLE-Projekt Az. 99UM031; Abschlußbericht; Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Braunschweig; 2001
- [4-10] Schattauer, A.: Untersuchungen zur Biomethanisierung von Zuckerrüben; Masterarbeit angefertigt im Institut für Technologie und Biosystemtechnik; Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL); Braunschweig; 2002
- [4-11] Bischoff, M.: Erkenntnisse beim Einsatz von Zusatz- und Hilfsstoffen sowie Spurenelementen in Biogasanlagen; VDI Berichte, Nr. 2057; „Biogas 2009 – Energieträger der Zukunft“; VDI Verlag, Düsseldorf 2009, S.111–123
- [4-12] Wilfert, R.; Schattauer, A.: Biogasgewinnung und –nutzung – Eine technische, ökonomische und ökologische Analyse; DBU-Projekt, 1. Zwischenbericht; Institut für Energetik und Umwelt GmbH, Leipzig; Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Braunschweig; 2002
- [4-13] Anonymus: Die Herstellung von Biodiesel; innovas news; Anwendungsbeispiel Biogas 3/98; München, 1998
- [4-14] Wesolowski, S.; Ferchau, E.; Trimis, D.: Untersuchung und Bewertung organischer Stoffe aus landwirtschaftlichen Betrieben zur Erzeugung von Biogas in Co- und Monofermentationsprozessen; Schriftenreihe des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie Heft 18/2009; Dresden, 2009
- [4-15] Amon, T.; Kryvoruchko, V.; Amon, B.; Schreiner, M.: Untersuchungen zur Wirkung von Rohglycerin aus der Biodieselerzeugung als leistungssteigerndes Zusatzmittel zur Biogaserzeugung aus Silomais, Körnermais, Rapspresskuchen und Schweinegülle; Universität für Bodenkultur Wien, Department für Nachhaltige Agrarsysteme; Wien, 2004
- [4-16] Umweltbericht; Emsland-Stärke; Download vom 16.09.2002; [www.emsland-staerke.de/d/umwelt.htm](http://www.emsland-staerke.de/d/umwelt.htm)
- [4-17] Schnitzel und Melasse – Daten, Fakten, Vorschriften; Verein der Zuckerindustrie; Landwirtschaftsverlag Münster-Hiltrup, 1996
- [4-18] Konzept zur Qualität und Produktsicherheit für Futtermittel aus der Zuckerrübenverarbeitung; Broschüre; 2. Aufl.; Verein der Zuckerindustrie; 2003
- [4-19] KTBL Arbeitspapier 249 – Kofermentation; Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft – KTBL; Darmstadt 1998
- [4-20] Empfehlung der Clearingstelle EEG vom 24.09.2009, <http://www.clearingstelle-eeeg.de/EmpfV/2008/48>



## 4.8 Ek

Tablo 4.9: Materyal özelliklerine genel bakış

Materyal	KM [%]	OKM [km <sup>3</sup> /de %]	N <sup>a</sup>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> [km <sup>3</sup> /de %]	K <sub>2</sub> O	Biyogaz üretimi [Nm <sup>3</sup> /t YM]	CH <sub>4</sub> -Verimi [Nm <sup>3</sup> /t YM]	CH <sub>4</sub> -Verimi [Nm <sup>3</sup> /t OKM]
<b>Çiflik gübresi</b>								
Sıvı Sığır gübresi	10	80	3,5	1,7	6,3	25	14	210
Sıvı Domuz gübresi	6	80	3,6	2,5	2,4	28	17	250
Sığır gübresi	25	80	5,6	3,2	8,8	80	44	250
Kanatlıların gübresi	40	75	18,4	14,3	13,5	140	90	280
Samansız at gübresi	28	75	Veri yok	Veri yok	Veri yok	63	35	165
<b>Yenilenebilir hammaddeler</b>								
Mısır silajı	33	95	2,8	1,8	4,3	200	106	340
Tahıl GPS	33	95	4,4	2,8	6,9	190	105	329
Yeşil çavdar silajı	25	90				150	79	324
Tahıl taneleri	87	97	12,5	7,2	5,7	620	329	389
Ot silajı	35	90	4,0	2,2	8,9	180	98	310
Şeker pancarı	23	90	1,8	0,8	2,2	130	72	350
Yemlik pancar	16	90	Veri yok	Veri yok	Veri yok	90	50	350
Ayçiçeği silajı	25	90	Veri yok	Veri yok	Veri yok	120	68	298
Sudan otu	27	91	Veri yok	Veri yok	Veri yok	128	70	286
Şeker darısı	22	91	Veri yok	Veri yok	Veri yok	108	58	291
Yeşil çavdar <sup>b</sup>	25	88	Veri yok	Veri yok	Veri yok	130	70	319
<b>Ürün işleme sanayisi atıkları</b>								
Bira posası	23	75	4,5	1,5	0,3	118	70	313
Tahıl şilempesi	6	94	8,0	4,8	0,6	39	22	385
Patates şilempesi	6	85	9,0	0,7	4,0	34	18	362
Meyve şilempesi	2,5	95	Veri yok	0,7	Veri yok	15	9	285
Ham gliserin <sup>c</sup>	Veri yok	Veri yok	Veri yok	Veri yok	Veri yok	250	147	185
Preslenmiş kolza küspesi	92	87		24,8		660	317	396
Patates posaları	13	90	0,8	0,2	6,6	80	47	336
Patates şilempesi	3,7	73	4,5	2,8	5,5	53	30	963
Z -pres posası	24	95	Veri yok	Veri yok	Veri yok	68	49	218
Melas	85	88	1,5	0,3	Veri yok	315	229	308
Elma tortusu	35	88	1,1	1,4	1,9	148	100	453
Üzüm posası	45	85	2,3	5,8	Veri yok	260	176	448
<b>Budama ve çim biçme artıkları</b>								
Budama artıkları	12	87,5	2,5	4,0	Veri yok	175	105	369

a. Depolama kayıpları dikkate alınmaksızın fermentasyon artıklarındaki N oranları

b. Soldurulmuş

c. Biyodizel üretimi prosesine bağlı olarak pratikte çok değişken sonuçlar

# Biyogaz tesislerinin işletilmesi



Doğru planlanmış bir biyogaz tesisinin ekonomikliği, komple prosesin kullanılabilirliği ve kapasitesi ile belirlenmektedir. Bu sırada kullanılan teknolojinin işlevselliği ve işletme güvenliğinin yanı sıra biyolojik prosesinin sabit ve yüksek ayrıştırma performansı, belirleyici faktörlerdir.

Teknik tesislerin işletilmesi sırasında, önlenemez arızalar oluşabildiği için, arızaların belirlenmesi, hataların teşhis edilmesi ve giderilmesi için uygun aletlerin el altında bulunması gerekir. Proses kontrolü bu sırada daima personel ile etkileşim ile gerçekleşir, otomasyon düzeyi çok farklı olabilir. Denetleme ve kural algoritmalarının otomasyonunun avantajları, sürekli kullanılabilirlik ve uzman personelden belirli bir bağımsızlığın elde edilmesinde yatmaktadır. Ayrıca verilerin uzaktan aktarımı, personelin tesiste ve proses denetiminde bulunmasını gereksiz kılmaktadır. Kapsamlı bir otomasyonun dezavantajları ise oluşan fazla masraflardır. Bu avantajların ve dezavantajların tesis özelliklerine göre farklı değerlendirilmesi gerektiğinden, biyogaz tesisleri için standardize edilmiş bir ölçme tekniği donanımından söz edilemez. Kullanılan aletlerin, söz konusu spesifik koşullara uyarlanması gerekmektedir.

Aşağıda önce, biyolojik prosesin gözlemlenmesine hizmet edebilecek ölçme büyüklükleri incelenmektedir.

Uygulamalar, yaş fermentasyon tesisleri ile ilgilidir. Kutu fermentörlerinde (konteynır) sapma gösteren özellikler her defasında belirtilmektedir.

## 5.1 Biyolojik prosesin denetimine dair referans veriler

Biyolojik prosesin denetlenmesi ve düzenlenmesi procese bir müdahale sayılmaktadır.

Tarımsal alanda anaerobik bozunmanın proses hedefi, normal durumda sabit bir metan üretim miktarıdır. En sık kullanılan proses tipi, sürekli beslemeli

tam karıştırmalı reaktördür (İng. CSTR:Continuous Stirred Tank Reactor). Sabit işletme şartları sağlandığında, sabit bir metan üretimine ulaşılmaktadır. Sabit durumda proses büyüklükleri değişmez ve procese özgü maksimum miktarlar elde edilir. [5-26].

$$V \frac{dS}{dt} = Q_{in} \cdot S_o - Q_{out} \cdot S + V \cdot r_s = 0$$

*Denklem 5.1: Sabit işletme durumu (Q: debi (l · d<sup>-1</sup>) (giriş,çıkış), V: Fermentör hacmi (l), r<sub>s</sub>: Tepkime oranı g · (d · l)<sup>-1</sup>, S<sub>o</sub>: Yüklenen materyal miktarı (g · l<sup>-1</sup>), S: Çıkan materyal miktarı (g · l<sup>-1</sup>))*

Bu nedenle yükleme oranı, bekleme süresi, ulaşılabılır çözünme derecesi ve gaz üretim oranı gibi büyüklükler, tesisin boyutlandırması ve kullanılan materyal yardımıyla belirlenmektedir. Tesis işletmecisi tarafından, bu büyüklüklerin mümkün olduğunca sabit tutulması sağlanmalıdır. Ancak önlenemez arızalar meydana geldiğinden (örneğin materyal özelliklerinin değişmesi, pompaların devre dışı kalması, dezenfeksiyon maddelerinin aktarılması gibi arızalar) sabit duruma pratikte ulaşılamaz. Bu arızalar hedef duruma göre sapmalara neden olur ve bunlar, sebebin teşhis edilmesi ve giderilmesi için tespit edilmek zorundadır.

Sabit durumdan sapma doğrudan madde akımlarının hesaplanmasıyla tespit edilebilir. Ancak pratik uygulamada girişin ve çıkışın hassas bir şekilde ölçülmesi ve çoğu durumda gerçekten içeri aktarılmış materyal miktarının ve üretilmiş gaz miktarının ölçülmesi bir problem oluşturur, bu nedenle mutlak, kapalı bir kütle hesaplaması, gerekir, ancak bu zordur. Bu nedenden dolayı birçok tesiste uyarlanmış kısmi çözümlerle çalışılmakta, bununla birlikte bunlar stabil bir prosesin temin edilmesi için her zaman yeterli olmamaktadır.

Aşağıda bu bağlamda biyolojik prosesin değerlendirilmesi için kullanıma sunulmuş ve en kullanışlı ölçme büyüklükleri tanıtılmaktadır.

### 5.1.1 Biyogaz üretim oranı

Oluşan biyogaz miktarı madde değişim ve hedef büyüklüğünü gösteren önemli bir değişkendir. Biyogaz üretim oranı, zaman birimi başına üretilen gaz miktarını (örneğin  $d^{-1}$ ) bilinen besleme miktarında ve materyal bileşiminde, spesifik biyogaz üretiminin hesaplanması için temel oluşturur (materyal ve hacim bakımından). Biyogaz üretim oranının ölçülmesi, metabolizma işlemlerinin hesaplanması ve metanojen popülasyonunun performansının değerlendirilmesi açısından kaçınılmazdır.

Gaz halindeki akışların kaydedilmesi için cihazların kurulumu sırasında, sensörlerin konumlandırılmasına dikkat edilmelidir. Münferit fermentörlerin proses durumunun gözlemlenmesi gerekiyorsa, bunların gaz üretim oranı bağımsız olarak da kaydedilmelidir. Folyo çatı durumunda gaz üretim oranının hesaplanması için depolama hacmi dikkate alınmalı, bu, gaz bölmesindeki doluluk seviyesi (örneğin halatlı konum enkoderi), iç basınç ve sıcaklık sayesinde yapılabilmektedir. Gaz bölmesindeki sensörler, patlama korunmasını karşılamalıdır. korozyon ve yüksek neme karşı dayanıklı olmalıdır. Folyo çatılar, biyogazın depolanmasına da yaradığından, gaz üretim oranının ve kombine ısı ve güç santrali gücünün kontrol edilmesi için mevcut depolama hacminin ölçülmesi, büyük önem taşımaktadır.

Boru hatlarındaki gaz akışlarının ölçülmesi sırasında, üretici tarafından verilen giriş yollarının, laminer akımların oluşturulmasını sağladığı dikkate alınmalıdır. Biyogaz hattındaki hareketli parçalara sahip ölçme cihazları, biyogaz ile birlikte taşınan kirlilikler nedeniyle arızalara maruz kalabilmektedir. Termik ve akış ölçmesine yarayan cihazların yanı sıra girdaplı akış ölçerler biyogaz teknolojisinde kullanılmaktadır.

### 5.1.2 Gaz bileşimi

Biyogazın bileşimi, çeşitli konuların değerlendirilmesine hizmet edebilir. Münferit bileşenler ve bunların proses için anlamı aşağıda kısaca açıklanmaktadır.

#### 5.1.2.1 Metan

Biyogazın içindeki metan oranı, metanojen biyogenezlerin değerlendirilmesine yarar. Gaz üretim oranıyla bağlantılı olarak metan üretim oranı hesaplanabilir –

sabit beslemeye rağmen bu belirgin şekilde düşüyorsa, o zaman metanojen arkelerin engellendiği düşünülmelidir. Metan veriminin değerlendirilmesi için münferit fermentörlerde ölçme noktaları öngörülmalıdır. Metan konsantrasyonları, biyogaz teknolojisinde enfraruj sensörler veya ısı iletkenlik sensörleri ile ölçülmektedir.

Kombine ısı ve güç santrali için gazdaki metan oranının % 40-45'in altına düşmemesi önemlidir, çünkü motorlar daha düşük metan oranlarında biyogazı değerlendirememektedir.

#### 5.1.2.2 Karbondioksit

Karbondioksit, hidroliz/asit oluşumu fazının yanı sıra metan oluşumu sırasında oluşur. Suyun içinde çözünür ve böylece önemli hidrojen karbonat tamponunu oluşturur. Materyal bileşimi değiştirilmemiş olmasına rağmen biyogazdaki metan/karbondioksit oranı düşerse, bunun nedeni, metan oluşumu karşısında güçlenmiş bir asit oluşumu olabilir. Bu durumda çözünme prosesindeki kütle akımlarının dengesi bozulmuştur. Bunun nedeni yüklemelerde ki bir dalgalanma veya metanojen popülasyonun bir nedenle engellenmesi olabilir.

Karbondioksit metan gibi enfraruj sensörlerle veya ısı iletkenlik sensörleriyle ölçülmektedir.

#### 5.1.2.3 Oksijen

Oksijen biyogazın içinde sadece biyolojik desülfürizasyona aktarıldığında belirlenebilir olmalıdır. Bu durumda oksijen ölçümü, desülfürizasyon için gerekli oksijenin ayarlanmasına yarayabilmektedir. Oksijen, elektrokimyasal sensörlerle ve paramanyetik sensörlerle ölçülebilir.

#### 5.1.2.4 Hidrojen sülfür

Kombine ısı ve güç santrallerinin üreticileri, hidrojen sülfür konsantrasyonu için sınır değerler vermektedir, çünkü hidrojen sülfürün oksidasyon ürünleri güçlü korozyon özelliklerine sahiptir. Ölçüm bu nedenle ilk etapta kombine ısı ve güç santralinin korunmasına yararlamaktadır.

Metanojen arkelerin çok yüksek hidrojen sülfür miktarı nedeniyle etkilenmesi ancak yüzde aralığındaki konsantrasyonlarda (yakl. 20.000 ppm) söz konusu olur, bu tarımsal biyogaz tesislerinde nadiren ortaya çıkmaktadır. Hidrojen sülfür elektrokimyasal sensörlerle ölçülmektedir.

### 5.1.2.5 Hidrojen

Hidrojen, metan oluşum sürecinde önemli bir ara üründür ve metana dönüştürülmeden önce, öncelikli olarak asit oluşumu ve asetik asit oluşumu sırasında açığa çıkar. Biyogazın içindeki hidrojen konsantrasyonunu, proses arızalarının belirlenmesi için kullanılan çok sayıda deney yapılmıştır. Bu sırada özellikle yüksek zincirli yağ asitlerinden asetik asit oluşumu ve hidrojenin metan olarak yeniden değerlendirilmesi, teorik olarak sadece dar bir konsantrasyon aralığında müştereken gerçekleşmesi için önem taşımaktadır. Bu parametrenin uygunluğu tartışmalıdır, çünkü biyogazda hidrojen konsantrasyonunun tayini ve arıza her zaman açık bir şekilde aynı anda gerçekleşmez. Biyogazın içindeki hidrojen konsantrasyonu basit bir şekilde elektrokimyasal sensörler yardımıyla ölçülebilir. Hidrojen kısmi basıncının fermentasyon materyalinde ayar parametresi olarak uygunluğu şimdiye kadar çok fazla araştırılmamıştır.

Biyogaz alanındaki gaz analiz cihazlarının çoğu üreticisi, modüler cihazlar sunmaktadır, bu arada kullanıcı, sensör türünü ve ölçme yeri ve sayısını seçebilmektedir. Elektrokimyasal sensörlerde bunların kendilerini zaman içerisinde "tüketmelerine" (ölçüm yapamaz duruma gelmeleri) ve enfraruj sensörlere göre daha güçlü bir ölçüm etkinliğine sahip olduklarına dikkat edilmelidir. Sensörlerin düzenli bir kalibrasyonu gereklidir.

### 5.1.3 Sıcaklık

Genel olarak tepkime hızı yükselen sıcaklıklarla birlikte artmaktadır. Ancak biyolojik prosesler sıcaklık bakımından hassasiyet arz ederler, çünkü organik yapılar (örneğin proteinler) artan sıcaklıklarla birlikte instabil olabilir ve işlevselliğini yitirebilir. Anaerobik proseslerin teknik uygulanması için temelde iki sıcaklık aralığı ayırt edilmektedir:

- Mezofilik alan yakl. 37 ila 43 °C
- Termofilik alan yakl. 50 ila 60 °C

Anaerobik fermentasyon sırasında neredeyse hiç sıcaklık oluşmadığından (bazı NawaRo tesisleri hariçinde), materyal fermentasyon sıcaklığına kadar ısıtılmalıdır. Bu sırada sıcaklığın sabit tutulması önemlidir. Özellikle termofilik proses, sıcaklık dalgalanmalarına yüksek reaksiyon göstermektedir.

Bazı durumlarda mısır silajı kullanan tesisler, soğutmayı gerekli kılabilecek kadar ısınmaya maruz kalmışlardır.

Sıcaklıkların ölçülmesi için kullanılan sensörler, tabakalaşmaların ve eksik karışmanın tespit edilebil-

mesi için farklı yüksekliklerde yerleştirilmiş olmalıdır. Ayrıca sensörlerin ölü bölgelerde veya sıcaklık kontrol elemanlarına çok yakın takılmamış olmasına dikkat edilmelidir. Sıcaklığın ölçülmesi için ısı çiftler (örneğin PT 1000 veya PT 100) veya termal elemanlar uygundur.

### 5.1.4 Giriş miktarı ve doluluk seviyeleri

Çözünme proseslerinin hesaplanması için verilen materyal miktarının hassas bir ölçümü mutlaka gereklidir. Sıvı materyallerin yüklenmesi yanında katı maddeler de fermentöre yüklendiğinde, çeşitli ölçme sistemleri kullanım alanı bulmaktadır.

Katı maddeler tartılır, bu tekerlekli teraziler veya aktarma sistemlerindeki tartma düzenekleri vasıtasıyla gerçekleştirilir. Bu arada tartma düzenekleri daha hassastır ve otomasyonlu proses kumandalarına daha basit bir şekilde entegre edilebilmektedir. Tartma düzenekleri için "seyyar" hazneleri şart koşan basınç sensörleri kullanılmaktadır. Bu nedenle bu sensörlerin bulunduğu bölgedeki kirlenmeler, aynı şekilde ön deponun besleme sırasında doldurulması gibi engellenmelidir.

Sıvı materyaller için boru hatlarında akış (debi) ölçme düzenekleri kullanılabilir veya ön depo bulunması durumunda aktarılan hacim, doluluk seviyesi cihazları vasıtasıyla da belirlenebilir.

Doluluk seviyeleri (fermentör için de) basınç sensörleri (fermentörün içinde hidrostatik basınç) veya ultrason veya radar vasıtasıyla yüzeye olan mesafe ölçümleriyle belirlenebilmektedir. Sensörlerin seçilmesi sırasında korozyon mukavemetine ve kirlere karşı dayanıklılığa dikkat edilmelidir, çünkü fermentördeki bakım çok külfetlidir. Sensörlerin seçilmesi ve düzenlenmesi sırasında, fermentör tabanındaki çökelti (örneğin kum), köpük oluşumu, gaz bölmesinde sülfür çökeltisi gibi özel durumlar nedeniyle ölçümlerin olumsuz etkilenmemesine dikkat edilmelidir. Ayrıca patlamaya karşı bir korunma da sağlanmış olmalıdır.

Akış (debi) ölçme düzenekleri için, hareketli parçalar olmadan ölçülen maddenin içinde bulunabilen cihazlar uygun olarak belirlenmiştir. Genellikle indüktif ve kapasitif sensörler kullanılmakla birlikte, nadiren ultrason veya ısı iletkenlik sensörleri de kullanım alanı bulmaktadır. Yönteme bağlı olarak ölçüm noktalarından yeterli mesafe öncesinde laminer akımların oluşması gereklidir. Akış (debi) ölçümü, uygun sürgü düzeneği sayesinde birden çok besleme hattının bir boru hattı üzerinden yönlendirilebilmesi, bir ölçme cihazıyla birden fazla

besleme yolunun denetlenebilmesi avantajına sahiptir.

### 5.1.5 Materyal özellikleri

Kütle hesaplaması için aktarılan materyal miktarının yanında, materyalin konsantrasyonu ve bileşimi de bilinmelidir.

Konsantrasyon için kuru madde oranı (KM) ve organik kuru madde oranı (OKM) gibi parametreler kullanılmaktadır. Sıvı materyaller için kimyasal oksijen ihtiyacı (CSB) da kullanılabilir, ayrıca Total Organic Carbon (TOC) da bazen kullanım alanı bulur. Pratikte sadece iki ilk parametre önemlidir.

Materyal içindeki çözülebilir miktarların belirlenmesi için ilk adım olarak su oranının veya kuru madde oranının belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için numune 105 °C sıcaklıkta laboratuvarında ağırlık sabit kalana kadar kurutulur. Bu arada proses sırasında online belirleme yapabilen mikrodalga ve yakın enfraruj bazlı yeni sensörler de geliştirilmiştir.

Bozunabilirliğin değerlendirilmesi için bir referans nokta, kuru maddedeki organik bileşenlerin oranının belirlenmesi sayesinde elde edilmektedir. Organik kuru madde, kurutulmuş numunenin 550 °C'de yakılması ile arda kalan miktardan hesaplanan bir parametredir. Yanma kaybı da denilen kütle kaybı, organik kuru madde olarak tanımlanır. Bu değer bir parametredir, ancak test edilen maddenin bozunabilirliği veya beklenen biyogaz üretimi hakkında fikir vermez. Literatürde bulunan referans değerler yardımıyla, materyalin ve OKM oranının bilinmesi sayesinde beklenen gaz üretimi tahmin edilebilmektedir. Numunenin kurutulması sırasında uçucu maddeler (örneğin su buharında uçucu asitler) dışarı atılır, bunlar daha sonra analiz sonucunda bulunmaz. Özellikle asitlenmiş materyallerin kullanılması (örneğin silajlar) durumunda, bu şekilde gaz potansiyelinin tahmini sırasında ciddi hatalar meydana gelebilir. Bu nedenle Weissbach tarafından, uçucu maddelerin dikkate alındığı bir düzeltme geliştirilmiştir. Ancak bu yöntem belirgin şekilde daha külfetlidir [5-18].

Numunenin akkor haline getirilmesi sırasında, materyaldeki inert içerik madde oranını temsil eden bir yanma artığı geride kalmaktadır. Büyük miktarda kum içeren materyallerde, yanma artığı vasıtasıyla kum oranı, bir eleme kombinasyonu ile de ayrıca kumun tane büyüklüğü dağılımı tahmin edilebilir [5-19]. Kum içeriği, aşındırıcı özellikleri ve fermentörde çökme nedeniyle bazı materyallerde (örneğin kanatlı gübresi) önem taşımaktadır.

Materyal özelliklerinin bir diğer şekilde belirlenmesi, materyal bileşenlerinin Weender'e göre sınıflandırılması (sindirilebilirlik, organik maddelerin yem olarak uygunluğunu açıklayan ham elyaf, ham protein, ham yağ ve azot içermeyen ekstrakt maddeleri, ayrıca bkz. 2.3.4.1) veya van Soest'e göre derecelendirilmesi (Hemiselülöz, selülöz ve lignin) sayesinde elde edilebilmektedir. Bu bileşenler, oluşturulan ara ürünlerin türünü belirlemektedir. Bu nedenle ani materyal değişimleri durumunda, gerekli bakteri popülasyonu mevcut olmadığından veya küçük büyüme oranlarına sahip olduğundan bozunamayan ara ürünlerin aniden zenginleşmesi söz konusu olabilir. Yem maddesi analitiği yardımıyla beklenen gaz verimi, organik kuru madde oranı temel alınarak daha hassas belirlenebilmektedir. Bu nedenle bu analitik, materyallerin kalitesinin değerlendirilmesi için daha uygundur.

Materyal konsantrasyonunun belirlenmesi, güvenilir bir kütle hesaplaması için vazgeçilmez bir büyüklüktür, materyal bileşimi konusunda ki ek analizlerden de, materyal kalitesinin değerlendirilmesinde faydalanılabilir.

### 5.1.6 Organik asitlerin konsantrasyonunun belirlenmesi

Organik asitler, biyogaz oluşumunda bir ara üründür. Asitler, pH değerine bağlı olarak sulu çözeltide ayrışmaktadır. Söz konusu oranlar şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$f = \frac{10^{pK_s - pH}}{1 + 10^{pK_s - pH}}$$

*Denklem 5.2: [5-20]'ye göre ayrışma faktörünün hesaplanması (f: Ayrışma faktörü, pK<sub>s</sub>: Asit sabitinin negatif, dekadik logaritması, pH: pH değeri)*

Sabit durumdayken asit oluşumu ve dönüşümün hızları aynıdır, böylece fermentördeki konsantrasyon sabittir. Asit oluşumunun artması ve/veya bozunmanın engellenmesi durumunda, oluşan asitler çoğalır ve konsantrasyon artar. Bakteri büyümesi, Monod tarafından açıklanmış yasalara uygun olarak materyal konsantrasyonuna bağlı olduğundan, asit konsantrasyonunun yükselmesi, büyüme hızı artışını beraberinde getirir, böylece proses belirli sınırlar çerçevesinde kendi kendini stabilize eder. Ancak asitlerin oluşum hızı, asidi bozuşturan mikroorganizmaların kapasitesini daimi olarak aşarsa, konsantrasyon tekrar artar. Bundan sonra müdahalede bulunulmazsa,

asitler, fermentasyon materyalinin tamponlama kapasitesinin tükendiği noktaya kadar birikir ve pH değeri düşer. Asit bozunumu, asitlerin ayrışmamış bölümünün yükselmiş konsantrasyonları durumunda engellenir – bu etki, pH değeri düşerken güçlenir.

Sabit durumda izin verilen maksimum asit konsantrasyonları için bir sınır değerinin belirlenmesi güçtür, çünkü ayarlanan konsantrasyon, bekleme süresi, kullanılan materyal ve mevcut engelleyici maddeler gibi faktörlere bağlıdır.

Bir fikir vermek için, yandaki tabloda bazı literatür değerleri listelenmiştir.

Prosesinin değerlendirilmesi için özellikle asit konsantrasyonunun sabit kalması önemlidir. Asit konsantrasyonu artarsa, dikkatli olmak gerekir. Dinamik koşullar altında, yani asit konsantrasyonlarının değişmesi durumunda bir proses değerlendirmesi için, proses modelleri gereklidir.

Tablo 5.1: İzin verilen maksimum asit konsantrasyonları için sınır değerleri

Yazar	Sınır değeri Konsantrasyon Asetik asit eşdeğeri (mg · l <sup>-1</sup> )	Yöntem, not
[5-20]	200 Ayrışmamış asit	Öne devrelenmiş hidrolik reaktörlü, termofilik işletilen karıştırma tankı reaktörü
[5-20]	300 (adapte edilmiş biyojenez) ayrışmamış asit	Öne devrelenmiş hidrolik reaktörlü, termofilik işletilen karıştırma tankı reaktörü
[5-21]	30-60 Ayrışmamış asit	Aralıksız mezofilik işletilen karıştırma tankı reaktörü (CSTR)
[5-2]	80 (20 üzerinde engelleme artışı) Ayrışmamış asit	Bilgi yok
[5-22]	100-300 Toplam asit	Atık su çamuru çürümesi normal proses durumu
[5-22]	1.000-1.500 Toplam asit	Başlangıç sürecinde atık su çamuru çürümesi normal
[5-22]	1.500-2.000 Toplam asit	Atık su çamuru çürümesi Devrilme tehlikesi, Beslemeyi durdur veya alkali ekleme
[5-22]	4.000 Toplam asit	Atık su çamuru çürümesi, Kısa vadede düzeltme şansı neredeyse hiç yok
[5-23]	< 1.000 Toplam asit	Stabil fermentasyon

Asitlerin toplam konsantrasyonu yanında, münferit asitlerin konsantrasyonu ilave bilgiler sağlayabilir. Spektrum, yüksek zincirli asitlerin, asetik asit karşısında daha güçlü arttığını gösteriyorsa, o zaman bu asitlerin asetik aside dönüştürülmesi engellenir. Yüksek zincirli asitlerin asetik aside dönüştürülmesi, sadece düşük hidrojen konsantrasyonlarında gerçekleşen endojen bir prosestir, ayrıca bu mikroorganizmaların büyüme oranı küçüktür. Bu uygunsuz önkoşullar nedeniyle bu kısmi proses, proses içinde darboğaz oluşturabilir. Yükselen propiyonik asit konsantrasyonları, uygun şekilde sadece yavaş olarak bozunurlar.

Bazı yayınlarda, asetik asit ve propiyonik asit oranına, prosesin değerlendirilmesi için atıfta bulunulur, ancak burada şimdiye kadar genel geçerliliğe sahip bir örnek ispatlanamamıştır.

Organik asitlerdeki konsantrasyonun belirlenmesi için çeşitli yöntemler vardır (şimdiye kadar bu analizler için, laboratuarda analiz edilen bir numunenin alınması gerekmektedir):

- Yığın parametre olarak (örneğin DIN 38414-19'a göre su buharı damıtımı)
- Spektrum olarak (örneğin gaz kromatografisi) veya
- Bir titrasyonun sonuçlarından deneysel olarak belirlenmiş parametreler baz alınarak hesaplanır (FOS – uçucu organik asitler)

DIN 38414-19'a göre yığın parametrenin belirlenmesi, FOS değerinin giderek artan yaygınlığı nedeniyle neredeyse hiç uygulanmamaktadır. Bu belirleme, su buharıyla uçucu asitlerin gerekli damıtımı nedeniyle daha külfetlidir, ancak FOS değerinin belirlenmesinden daha doğrudur.

Gaz kromatografisi (seçenek olarak sıvı kromatografi de mümkün) vasıtasıyla asit spektrumunun belirlenmesi, külfetli ölçme tekniğini ve materyal ile deneyimi şart koşmaktadır. Sonuç olarak sadece asitlerin toplamı değil, bu şekilde düşük yağ asitlerinin münferit kısımlarının konsantrasyonları da belirlenebilir. Bu yöntem, sözü edilen metotların en hassasıdır.

Basit belirlenecek parametre olarak son yıllarda FOS değeri kullanılmıştır. [5-24]. FOS değeri çoğu zaman TAC değeri ile kombine kullanılmaktadır (FOS/TAC).

FOS/TAC değeri bir titrasyon ile belirlenmektedir. TAC kısaltmasının kökeni tam olarak belli değildir, literatürde çeşitli tanımlamalar kullanılır, dil açısından bunların hiçbir isabetli ve doğru değildir. TAC değeri pH 5'e kadar yapılan bir numunenin titrasyonu sırasında 0,1 N sülfürik asitte "A tüketimi" için bulunur. Tüketilen asit miktarı, uygun bir karbonat konsantrasyonuna dönüştürülür (mg CaCO<sub>3</sub>/l). Daha

sonra pH 4.4'e kadar titrasyona devam edilirse, "B asit tüketimi"nden, organik asitlerdeki konsantrasyona varılabilir. Asit konsantrasyonları için kullanılan hesaplama formülleri, deneyseldir:

Numune miktarı: 20 ml (santrifüjlenmiş)

TAC: Tüketim A x 250 [mg/l CaCO<sub>3</sub>]

FOS: ((Tüketim B x 1,66) - 0,15) x 500 [mg/l HAc]

Çoğu zaman FOS/TAC oranı, proses değerlendirmesi için kullanılır. Bu sırada çeşitli proseslerin analiz sonuçlarının, formüllerin deneysel doğası nedeniyle kıyaslanamaz olduğu dikkate alınmalıdır. FOS/TAC değeri deneyimlere bağlı olarak 0,8'den büyük olmamalıdır. Burada da istisnalar vardır ve asitlerde olduğu üzere, değer değiştirilmesi sayesinde problemlerin tanınabilir olduğu bilinmektedir. Sonuçların değerlendirilmesi sırasında, hesaplamanın hangi yönüme göre gerçekleştirildiği dikkate alınmalıdır.

### 5.1.7 pH değeri

Biyolojik prosesler, pH değerine çok bağlıdır. Metan oluşumu için optimum pH değeri aralığı, dar bir pencereden bakıldığında yaklaşık 7 ve 7.5 arasındadır, bu arada bu aralığın altında ve üstünde de olabilmektedir. Tek kademeli yöntemde genellikle pH değeri otomatik olarak optimum aralıkta kendini ayarlar, çünkü bakteri grupları kendi kendini düzenleyen bir sistem oluşturmaktadır. İki kademeli proseste hidroliz kademesindeki pH değeri nispeten düşüktür, normalde 5 ve 6.5 arasındadır, çünkü asit oluşturan bakteriler burada kendi optimumlarını ortaya koyarlar. pH değeri metanojen kademedeki, maddenin tamponlama kapasitesi ve bozunma aktiviteleri sayesinde tekrar nötr aralığa yükseltilir.

pH değeri, amonyak, organik asitler ve hidrojen sülfür gibi önemli metabolizma ürünlerinin çözünme dengelerini kontrol eder. Maddenin (genellikle hidrojen karbonat ve amonyum) tamponlama kapasitesi normalde stabil bir pH değeri sağlamaktadır. Yine de belirgin değişiklikler meydana gelirse ve pH değeri optimum değerden farklı bir değer alırsa, bu çoğu kez ciddi bozuklukların bir işaretidir ve hemen müdahale edilmelidir.

### 5.1.8 Mikro elementlerin konsantrasyonu

Mikro element olarak, çok düşük konsantrasyonlarda bulunan mineral maddeler tanımlanmaktadır. Sadece yenilenebilir hammaddelerle (şilempe dahil) işletilen

tesislerde, mikro elementlerin eklenmesiyle giderilebilen proses sorunları meydana gelmektedir. Sorunlar, düşen gaz üretimi ve artan asit değerleri ile kendini göstermektedir. Sıvı gübre bazlı işletilen tesislerde, bu fenomenler gözlenmemektedir. Mutlak mekanizmalar ve gerçekten sınırlandırılacak maddeler şimdiye kadar teşhis edilememiştir, ancak yenilenebilir hammaddelerde bulunan mikro element konsantrasyonları, çiftlik gübrelerinde bulunan miktarların çok altında bulunmaktadır [5-26].

Bazı satıcılar tarafından proses optimizasyonu için uyarlanmış mikro element karışımları piyasaya arz edilmektedir. Demir iyonlarının demir klorür veya çoğunlukla desülfürizasyon için kullanılan demir hidroksit biçiminde eklenmesinin, halihazırda stabilize edici etkiye sahip olabileceğine dair bilgiler bulunmaktadır. Bu, sülfitin zor çözünür metal sülfidler oluşmasına, bu sayede mikro elementlerin bulunurluğunun kısıtlanmasına dayandırılmaktadır. Eğer sülfid öncelikli olarak demir tarafından bağlanırsa, diğer metallerin bulunurluğu artar. Aşağıdaki tabloda münferit elementler ile ilgili referans değerler gösterilmektedir.

Tablo 5.2: Mikro elementlerle ilgili referans değerler

Element	Referans değerler [5-28]	Referans değerler [5-27]
	mg/kgTS	Konsantrasyon mg/l
Kobalt	0,4-10 (optimum 1,8)	0,06
Molibden	0,05-16 (optimum 4)	0,05
Nikel	4-30 (optimum 16)	0,006
Selenyum	0,05-4 (optimum 0,5)	0,008
Volfram	0,1-30 (optimum 0,6)	
Çinko	30-400 (optimum 200)	
Mangan	100-1500 (optimum 300)	0,005-50
Bakır	10-80 (optimum 40)	
Demir	750-5000 (optimum 2400)	1-10 [5-29]

Referans değerleri veren ve kullanımını açıklayan bir yöntem konusunda [5-28] patent için başvurulmuştur.

Mikro elementlerin katılması sırasında, yüksek konsantrasyonlarda engelleyici etkide bulunabilen ve zararlı madde sayılan ağır metallerin söz konusu olduğuna dikkat edilmelidir. Ekleme her halükarda gerektiği kadar çok ve mümkün olduğu kadar az ölçütüne göre yapılmalıdır.



### 5.1.9 Azot, amonyum, amonyak

Azot içeren organik materyallerin bozunması sırasında azot amonyaka ( $\text{NH}_3$ ) dönüştürülür. Amonyak suda ayrışır ve amonyum oluşur.

Azota hücre yapısı için ihtiyaç duyulur ve böylelikle hayati öneme sahip bir besin maddesidir.

Öte yandan materyalde yüksek konsantrasyonlarda amonyak/amonyum bulunmasının, metan oluşumu üzerinde önleyici etkiye sahip olduğu ispatlanabilmiştir. Engellemeye neden olan tam mekanizmalar hakkında, ortak bir görüş yoktur, görünen odur ki bakteriler yükselen konsantrasyona adapte olabilecek durumdadır. Bu nedenle sınır değerler hakkında net ifadeler söylemek güçtür, çünkü artan amonyak/amonyum konsantrasyonlarına tepkime, prosese özgüdür.

Birçok sonuç engelleyici etkinin, ayrışmamış bölümden, yani amonyaktan ortaya çıktığını işaret etmektedir, engelleyici etkinin mevcut konsantrasyona, sıcaklığa ve pH değerine bağlılığı ortaya çıkmaktadır. Buradan, termofilik tesislerin amonyak konsantrasyonlarıyla mezofilik tesislere göre daha hassas tepkimeye girdiği sonucu ortaya çıkmaktadır. Bağlam aşağıdaki denklem ile belirtilmiştir.

Şekil 5.1 ayrışma dengesini ve [5-2]'ye göre bir engellemeyi göstermektedir. Engellemenin mutlak değerleri mutlaka tüm prosesler için geçerli değildir.

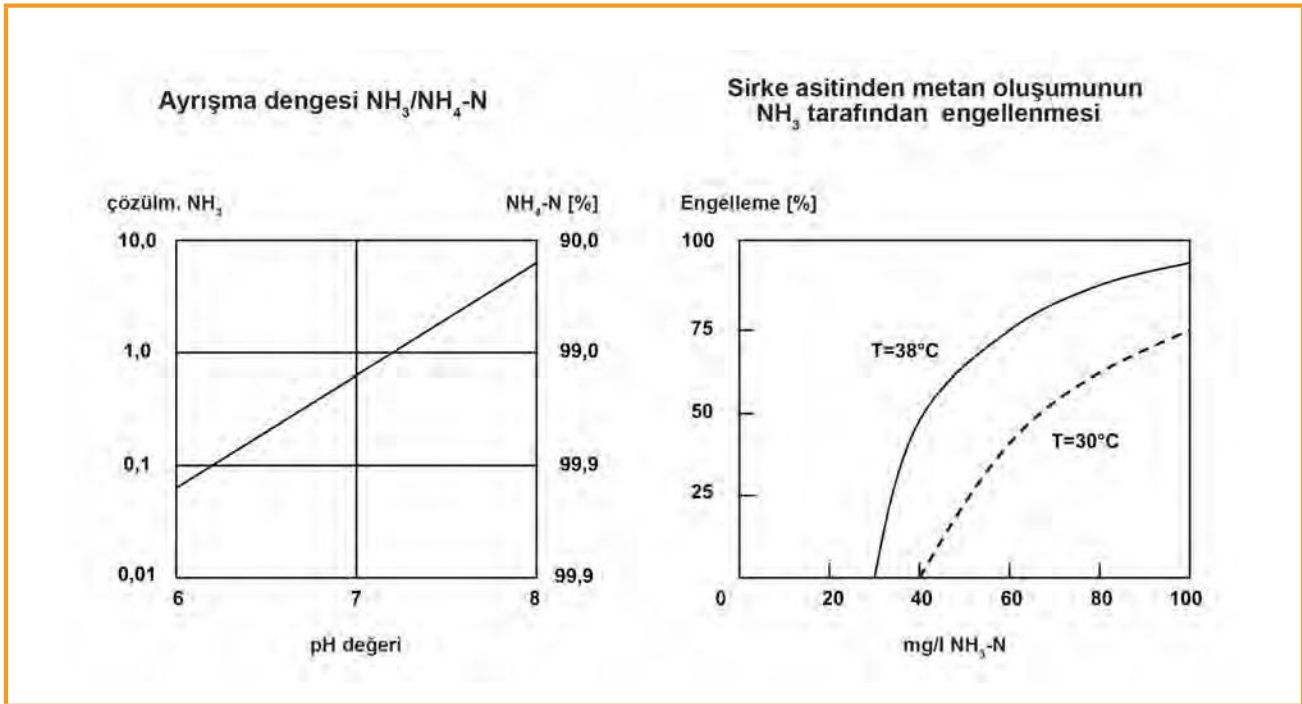
$$c_{\text{NH}_3} = c_{\text{NH}_4} \cdot \frac{10^{\text{pH}}}{e^{273+T} + 10^{\text{pH}}}$$

Denklem 5.3: [5-30]'a göre amonyak konsantrasyonunun hesaplanması ( $c_{\text{NH}_3}$  amonyak konsantrasyonu ( $\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ ),  $c_{\text{NH}_4}$  amonyum konsantrasyonu ( $\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ ),  $T$  sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ ))

(bkz. altta), ancak engelleyici etkinin prensip olarak akışı uyarlanabilir.

Tablo 5.3. amonyak/amonyum engellemesi konusu ile ilgili çeşitli yayınları göstermektedir. Bu sırada değerlerin birbirine göre önemli ölçüde sapma gösterdiği açıkça görülmekte, bu da amonyak/amonyum engellemesi hakkında genel geçerli ifadelerin yapılamayacağını altını çizmektedir.

[5-21] artan amonyum konsantrasyonlarıyla bağlantılı olarak, aynı anda artan asit konsantrasyonlarından söz etmektedir, bu ilişki pratikte de gözlenebilmektedir. Artan asit konsantrasyonları, asitten faydalanan popülasyonların, maksimumuna yakın bir büyüme oranına ulaşması sonucunu çıkarabilir. Bu uygunsuz koşullara rağmen stabil bir işletme mümkündür, ancak tesisin yüklenmesinde ki dalgalanmalarda dikkatli olmak gerekir, çünkü proses bunları metabolizme aktivitesinin artırılması ile karşılayamaz.



Şekil 5.1:  $\text{NH}_3$  tarafından asetik asitten metan oluşumunun engellenmesi ([5-2]'ye göre)

Bu durumda gaz üretimi belirli koşullar altında bir süre sabit kalır, ancak asitler fermantasyon materyalinde zenginleşir. Yüksek amonyum konsantrasyonları tampon görevi yapar ve böylece organik asitlerin artan konsantrasyonları mutlak olarak pH değerinin değişmesine neden olmaz.

Uzun uyum sağlama süreleri (bir yıla kadar) önkoşulu altında, mikroorganizmalar yüksek amonyak konsantrasyonlarına adapte olabilmektedir. Sabit yataklı reaktörlerle yapılan araştırmalar, bunların yüksek konsantrasyonlara, karıştırmalı reaktörlerden daha iyi adapte olabildiklerini göstermiştir. Bu, adaptasyon sırasında bakteri yaşının bir rol oynadığını düşündürmektedir – böylece karıştırmalı reaktörlerde yüksek bekleme süreleri, engelleme etkisinin kontrol altına alınması için bir strateji olacaktır.

Şimdiye kadar amonyak konsantrasyonu, yükleme oranı ve bekleme süresi bakımından sınırların çizildiğine dair hiçbir açık bulgu yoktur. Uyum sağlama zaman ister ve dalgalanan bozunma performansları ile bağlantılıdır. Bu yüzden uyum sağlama prosesi, ekonomik risk ile bağlantılıdır.

Amonyak/Amonyum, iyona duyarlı sondalarla, küvet testleriyle veya klasik yöntemlerle damıtma ve titrasyon (DIN 38406. E5) sayesinde ölçülebilmektedir. Sondaların kullanımı pratikte çok yaygın değildir, laboratuvarında numune alınması sonrasında belirleme daha kullanışlıdır. Sınır konsantrasyonu prosese özgü olduğundan, proses durumu bakımından amonyak konsantrasyonu tek başına çok fazla bir şey ifade etmez. Amonyak oranını tahmin edebilmek için amonyum oranının belirlenmesiyle birlikte, daima pH değeri de belirlenmelidir. Bu, ortaya çıkan sorunlarda, nedenin teşhis edilmesine yardımcı olabilir.

### 5.1.10 Yüzer tabakalar

Elyafli materyale sahip tesislerde yüzer tabakaların oluşması bir sorun teşkil edebilir. Yüzer tabakalar, elyafli malzemenin üste yüzmesi ve yüzeyde keçeleşme nedeniyle katı bir yapı oluşturması ile oluşur. Tabaka uygun karıştırma mekanizmaları sayesinde karıştırılmazsa, birkaç metre kalınlığa kadar büyüyebilir ve bu durumda manuel olarak temizlenmelidir.

Ancak yüzey yapısının belirli bir stabilitesi, gaz odasına hava eklenmesi sayesinde desülfürizasyon yapılan tesislerde kesinlikle istenen bir durumdur. Burada yüzey, sülfürden arındırılan bakteriler için yaşam yüzeyi olarak görev yapar.

Yüzer tabaka bir optimizasyon problemi oluşturur ve çoğu durumda tesis işletmecisi tarafından izleme

Tablo 5.3: Amonyakın engelleme konsantrasyonları ile ilgili literatür bilgileri

Yazar	Konsantrasyon	Not
[5-33]	> 3000 mg · l <sup>-1</sup> NH <sub>4</sub>	Engelleme etkisi
[5-32]	> 150 mg · l <sup>-1</sup> NH <sub>3</sub>	Engelleme etkisi
[5-31]	500 mg · kg <sup>-1</sup> NH <sub>3</sub> 1200 mg · l <sup>-1</sup> NH <sub>3</sub>	Stabil işletme, Artan asit, Konsantrasyonları, Engelleme etkisi
[5-30]	< 200 mg · l <sup>-1</sup> NH <sub>3</sub>	Stabil işletme
[5-21]	bozunma Derecesi %	
	106 mg · l <sup>-1</sup> NH <sub>3</sub>	71
	155 mg · l <sup>-1</sup> NH <sub>3</sub>	62
	207 mg · l <sup>-1</sup> NH <sub>3</sub>	61
	257 mg · l <sup>-1</sup> NH <sub>3</sub>	56
		Stabil işletme, her durumda, ancak düşmüş bozunma performansı ve artan asit konsantrasyonu
[5-34]	> 700 mg · l <sup>-1</sup> NH <sub>3</sub>	Engelleme etkisi

penceresinden gözlemlenerek çözümlenmektedir. Şimdiye kadar yüzer örtülerin oluşumunu algılayan hiçbir ölçme tekniği bulunmamaktadır.

### 5.1.11 Köpük oluşumu

Köpük oluşumu, yüzey etkin materyallerin neden olduğu, indirgenmiş yüzey geriliminin bir sonucudur. Biyogaz oluşum sürecinde köpük oluşumunun kesin nedeni bilinmemektedir. Bu, optimal olmayan koşullarda (örneğin bozulmuş silaj, yüksek amonyum konsantrasyonları ile kombine aşırı yük görünümüleri) ortaya çıkmaktadır. Yüzey etkin ara ürünlerin veya bakteri gruplarının zenginleşmesinin, prosesle kombine bir şekilde güçlü bir gaz oluşumuyla buna neden olması mümkün gözükmemektedir.

Gaz hatlarının tıkanması durumunda ve fermentördeki basıncın köpüğü örneğin fazla basınç emniyet düzenleri üzerinden dışarı bastırması halinde köpük ciddi bir problem oluşturabilir. Kısa vadeli çözüm olarak köpük gidericilerin yardımı olur, uzun vadede sebep teşhis edilmeli ve giderilmelidir.

Ölçme tekniği açısından köpük oluşumu çeşitli doluluk seviyesi ölçme cihazlarının kombinasyonu sayesinde kaydedilebilir. Buna göre bir basınç sensörü köpüğe reaksiyon göstermezken, ultrason sensörleri köpüğü yüzeyin değişimi olarak belirleyecektir. Farklı iki ölçüm seviyesi köpük yüksekliğini vermektedir.

### 5.1.12 Proses değerlendirilmesi

Proses değerlendirilmesi, elde edilen ölçme değerlerinin değerlendirilmesi ve yorumlanması sayesinde gerçekleşir. Halihazırda tespit edildiği üzere kütle akımlarının hesaplanması, prosesin açıklanması için en güvenilir yöntemdir. Pratikte bu, zor olması nedeniyle gerçekleştirilememektedir. Ayrıca pratikte ölçme değerlerinin kaydedilmesi sırasında bazı özellikler ortaya çıkmaktadır, bu nedenle burada laboratuvar analizi ve procese online bağlanmış sensörler arasındaki farklara kısaca değinmek gerekmektedir. Laboratuvarda materyal numunelerinde uygulanacak tüm analizler, temsili bir numune alınmasını şart koşar, daha sonra numunenin bir laboratuvara taşınması gerekmektedir. Bu tip analizler külfetlidir, yüksek masraflara neden olurlar ve sonuçlar gecikmeli şekilde alınabilir. Buna karşın doğrudan ölçüm yapan sensörler, nispeten yüksek bir ölçme yeteneğine sahiptir, ölçme değerleri anında elde edilir. Ölçülen değer başına masraflar belirgin ölçüde düşüktür, veriler proses otomasyonuna basit bir şekilde entegre edilebilir.

Maalesef kütle hesaplaması için gerekli ölçme büyüklükleri şu anda online sensörler ile kaydedilememektedir, bu yüzden destekleyici laboratuvar analizleri kaçınılmazdır. Gerekli büyüklükler ve bunların kullanılabilirliği aşağıdaki tabloda derlenmiştir.

Sunulan tüm büyüklüklerin devamlı denetlenmesi çok külfetlidir ve bazı tesislerde gerekli de değildir. Talepleri karşılayacak, tesise özgü kısmi çözümler bulunmalıdır. Düzenleme ve bunun için gerekli ölçme tekniği için kriterler şunlardır:

- İzin verilen proses sapması
- Hedeflenen otomasyon derecesi
- Proses özellikleri.

Kritik proses durumlarının (asit zenginleşmesi, müetakip engelleme ve azalan gaz üretimi ile birlikte) erken belirlenmesi, ağır güç üretim kayıplarının önüne geçilebilmesi açısından her proses denetiminde mutlaka gereklidir. Bunun haricinde gaz üretiminin ayarlanabilmesi açısından denetim yeterince hassas olmalıdır – kombine ısı ve güç santralinin kapasitesi sağlanmış olmalıdır.

Otomasyon derecesi tesisin büyüklüğüne bağlıdır. Tesis ne kadar büyükse, birçok kısmi proses giderek gözden kaçmaya başlar ve bir otomasyon kaçınılmaz olur. Gelişen otomasyonla birlikte uzman personelden belirli bir bağımsızlık da sağlanır, uzaktan denetim gerçekleştirilebilir ve insana dayalı hatalar azaltılabilir.

Tablo 5.4: Ölçme büyüklükleri ve bunların kullanılabilirliği

Kütle hesaplaması ile ilgili ölçme büyüklükleri	Online kullanılabilirlik
Giriş bileşimi	KM belirleme geliştiriliyor, tüm diğer parametreler için laboratuvar analizi
Ara ürünler (Organik asitler)	Laboratuvar analizi şart
Çıkış miktarı	Online ölçülür
Bileşim Fermantasyon artışı	KM belirleme geliştiriliyor, tüm diğer parametreler için laboratuvar analizi
Oluşan gaz miktarı	Online ölçülür
Bileşim Biyogaz	Online ölçülür

Proses özellikleri bakımından, bilhassa yüksek bir yüklenme oranına ve/veya kısa bekleme sürelerine sahip tesislerin, yüksek konsantrasyonlarda engelleyici maddelere sahip olduğu veya değişken materyal karışımlarının kullanıldığı, procese yüksek bir aşırı yük binmesi riskinin olduğu tespit edilmektedir. Bunlara proses denetimi sırasında uygun bir şekilde çözüm bulunması gerekmektedir.

Proses denetimi ile ilgili değerlendirme bölüm 5.3 altında bulunmaktadır.

## 5.2 Tesis gözetimi ve otomasyon

Proseslerin ve tesislerin kontrol edilmesi için çeşitli olanaklar kullanıma sunulmuştur. Pratikte kullanılan uygulamaların yelpazesi, işletme günlüklerinden tam otomasyonlu veri toplama ve ayarlama sistemlerine kadar uzanmaktadır (Şek. 5.2). Hangi otomasyon derecesinin gerçekleştirileceği kararının alınması sırasında, proses kontrolünün hangi noktaya ulaşacağı, tesisin hangi oranda uzman personelden bağımsız işletilebilir olacağı ve hangi proses özelliklerinin bir otomasyonu zorunlu olarak gerektirdiği dikkate alınmalıdır.

Otomasyonun artmasıyla birlikte proses kontrolünün ve böylelikle tesisin de gözlenebilirliği artmaktadır. Böylece yüksek otomasyonlu sistemlerde hafta sonlarında ve tatil günlerinde de verilerin toplanması ve düzenli bir işletme sağlanabilmektedir. Otomasyonun artmasıyla birlikte tesis işletmesi, işletme personelinin daha bağımsız bir hale gelir. Proses özellikleri bakımından, tesislerin büyüklüğünün artmasıyla birlikte, denetlenecek proses parametrelerinin sayısının da arttığı tespit edilmektedir. Belirli bir büyüklük-

ten sonra akışların otomasyonu kaçınılmazdır. Yüksek yükleme oranı ve bir eksiklik durumu (örneğin mikro elementler) veya engelleyici maddelerin bulunması eğilimine sahip tesislerde, ağır bozukluk riski artmaktadır. Burada otomasyonlu veri toplama ve proses ayarlama, proses bozukluklarının zamanında belirlenmesi ve giderilmesi olanağını sağlamaktadır.

İşletme günlüklerinde verilerin dokümantasyonu ve kısmi proseslerin manuel veya zaman kontrollü ayarlanması, küçük, sıvı gübre bazlı tesislerde halen sıklıkla uygulanmaktadır. Ancak verilerin sonradan elektronik biçimde kaydedilmemesi halinde, verilerin değerlendirilmesi ve kesintisiz dokümantasyonu çoğunlukla söz konusu olmamaktadır. Bu yüzden proseslerin optimizasyonu güçleşmektedir.

Uygulamanın taleplerine bağlı olarak çeşitli otomasyon çözümleri kullanıma sunulmuştur. Otomasyon kavramı altında kumanda, ayarlama ve görselleştirme işlemleri bulunmaktadır. Bir otomasyonun önkoşulu, prosesin denetlenmesidir, yani kullanıma sunulan proses verilerinin sürekli toplanması ve kaydedilmesidir.

Biyogaz tesislerinde proses kontrolü için çoğu durumda programlanabilir mantıksal denetleyiciler (PLC) kullanılmaktadır. Bu cihazlar prosese yakın bir şekilde otomasyonun birçok görevini üzerine almaktadır. Biyogaz tesisleri için bunlar, bir yandan pompa çalışma zamanları, besleme periyotları, karıştırma periyotları vs. gibi tüm teknik akışları denetleyen ve diğer yandan biyolojik prosesleri de denetlemesi gereken, yerine getirilmesi gereken tüm kontrol görevlerini üstlenirler. Bunun için gerekli tüm ölçme büyüklüklerinin toplanmasının (örneğin motorların durumları, güç girişi, devirler, bunun yanında pH değeri, sıcaklıklar, gaz üretim miktarları, gaz bileşimi vs. gibi proses parametreleri) sağlanmış olması, bunun yanı sıra valfler, karıştırma mekanizması motorları ve pompa motorları gibi aktörlerin uygun şekilde devreye sokulması gerekmektedir. Ölçme büyüklüklerinin toplanması için sensörden alınan büyüklükler, çevirgeçler yardımıyla PLC tarafından algılanabilen standart sinyallere dönüştürülmektedir.

Aktörlerin devrelenmesi röleler üzerinden gerçekleşir, bu sırada kontroller basitçe zaman kumandalı olabilir veya giren ölçme büyüklüklerine tepki şeklinde tanımlanmış olabilmektedir. Bu kumanda olanaklarının bir kombinasyonu aynı şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Ayarlama tekniği bakımından tüm PLC tiplerinde standart PID (Proportional Integral Differential) ayarlayıcı ve kısmen basit Fuzzy-Logic-Regler (bulanık mantık düzenlemesi) entegre edilmiş-

tir. Ancak programlama sayesinde başka ayarlama algoritmalarına da manuel olarak geçilebilmektedir.

Bir PLC, kalbi bir mikroişlemci olan bir merkezi yapı grubundan (CPU: Central Processing Unit) oluşmaktadır. Bu işlemcilerin performansı PLC'nin kategorisine bağlı olarak farklıdır. Farklar işleme hızında ve işlevlerin fazlalığında yatmaktadır. Yelpaze bu sırada uygun fiyatlı nispeten küçük CPU'lardan, yüksek performanslı işlemciler ve buna uygun işlem kapasitesine sahip yüksek kapasiteli sistemlere kadar uzanmaktadır.

Bir PLC seçiminde gerçek zamanlı bariyerler önemli bir rol oynamaktadır. Bu sırada gerçek zaman, otomasyon sisteminin proses tarafından öngörülmuş bir zaman dahilinde reaksiyon göstermek zorunda olduğu zamandır. Eğer bu durum söz konusuysa, otomasyon sistemi gerçek zaman özelliğine sahiptir. Biyogaz prosesi yüksek gerçek zaman taleplerine sahip olmadığından, biyogaz tesislerinde çoğu zaman alt ile orta fiyat segmentindeki PLC'ler favoridir.

CPU'nun yanında tüm üreticiler tarafında, CPU'ya devrelenmek üzere çok sayıda modül teklif edilmektedir. Bu modüllerin arasında, sinyal enkoderlerinin ve ölçme sondalarının girişi ve çeşitli aktörlere ve analog göstergeler elemanlarına çıkış için modüller bulunmaktadır. Biyogaz alanı için, RS 232 ara birimlerin üzerinden kontrol edilen, ölçme cihazları için özel devreler ilginç olabilir.

İletişim için veri yolu iletişimi ile ilgili çeşitli iletişim işlemcileri arz edilmektedir.

### 5.2.1 Veri yolu sistemi

Son yıllarda otomasyon teknolojisinde, yüksek performanslı bir iletişim teknolojisi ile mümkün kılınan bir gelişme olan desantralizasyon giderek gelişti. Veri yolu sistemleri desantral bir tesis kontrolü için günümüzde vazgeçilmezdir, bunlar, münferit katılımcılar arasında iletişim görevi yapmaktadır. Veri yolu sistemleriyle tüm tesis bileşenleri birbiriyle ağ şeklinde birleştirilebilir.

SPS'te olduğu gibi çeşitli tipte yapıya sahip veri yolu tipleri kullanıma sunulmaktadır. Hangi veri yolu iletişiminin uygun olduğu yine prosese ve bunun gerçek zaman talepleri yanı sıra ortam özelliklerine bağlıdır (örneğin patlama bölgesi). Bir çok tesiste kullanılan yerleşik bir standart PROFIBUS-DP'dir. Bu, birçok kilometrelik mesafelerin köprülenmesini mümkün kılmaktadır. Birçok cihaz bu veriyolu iletişimini desteklemektedir, bu sırada PROFINET ve ETHERNET geliştirmeleri daha sık kullanım alanı bulmaktadır.

### 5.2.2 Projelendirme

PLC'nin bir diğer bileşeni, süre giden proses kontrolünün temelini oluşturan programdır. Bu program projelendirme safhasında özel bir geliştirme ortamıyla, yani projelendirme yazılımıyla geliştirilir ve PLC üzerine entegre edilir. PLC'nin görevlerine bağlı olarak bu akış programı, basit kumanda görevlerinden, karmaşık kontrol mekanizmalarına kadar olan bir uygulama alanını kapsamaktadır. Manuel bir erişimin sağlanabilmesi için otomatik ve manuel işletim projelendirilebilir.

Şayet kumanda ünitesinin programı tarafından öngörülmemiş bir durum oluşursa, tesis manuel olarak işletilebilir durumda olmalıdır. Bunlar ekstrem proses durumları veya pompaların devre dışı kalması vs. gibi arızalar olabilir. Büyük arızalar veya kazalar için tesisin otomatik olarak kapatılması öngörülmelidir. Bu sırada tesisin tamamı veya söz konusu tesis bölümü, belirli sensörlerin veya bir acil kapatma düğmesinin devreye girmesi sayesinde güvenli bir işletme durumuna geçer. Kumanda sisteminin kendisinin besleme geriliminin devre dışı kalması durumunda da yine güvenlik tedbirleri elde bulunmalıdır. Bu durum için kumanda ünitelerinin üreticileri, kumanda ünitesinin enerjiyle beslenmeye devam edilebilmesi için kesintisiz güç kaynaklarını (UPS) sunmaktadır. Böylece kumanda ünitesi kalan süre içerisinde tesisi kontrollü bir şekilde kapatabilmektedir. Bu sayede tesisin beklenmeyen durumda çalışması önlenmektedir.

### 5.2.3 Uygulamalar/Görselleştirme

Modern otomasyon çözümlerinin bir diğer bileşeni, uygun görselleştirmeye sahip PC'ler ve panel varyasyonlarıdır. Bunlar bir veri yolu sistemi üzerinden bir-biriyle bağlanır ve toplamda otomasyon çözümünü oluştururlar. Görselleştirmeler neredeyse tüm tesislerde kullanılır ve teknik duruma uygundur. Çeşitli modellerde sunulan ve bir tesisin küçük bir bölümünün tasvir edilmesi için kullanılan paneller sık karşımıza çıkmaktadır.

Örneğin materyal besleme pompasının desentral bir görselleştirilmesi durumunda bir panel çözümünün kullanılması düşünülebilmektedir. Bu sırada otomatik işletimde yerinde tüm önemli veriler (örneğin motor devri, motor sıcaklığı, besleme miktarı, arızalar vs.) gösterilir. Manuel işletmeye geçildikten sonra pompa manuel olarak kontrol edilebilir.

Panel teknolojisi gelişmeye devam etmektedir, öyle ki artık karmaşık görselleştirme görevlerinden ku-

manda görevlerine kadar paneller üzerinden sistemler çözülmektedir.

Görselleştirmenin "klasik" çözümü, PC bazlı görselleştirmedir. Bu, kısmi proseslerin tek tek gösterilmesinin yanında, karmaşık kontrol merkezi işlemlerinin gösterilmesine kadar uzanır. Tüm bilgilerin birlikte değerlendirildiği ve prosesin veya tesisin insan kararlarıyla yönetildiği düzenekler, kontrol merkezi olarak tanımlanır.

PC uygulamaları vasıtasıyla PLC'nin verilerine erişebilmek için, Windows uygulaması ve PLC arasındaki iletişimi düzenleyen bir standart oluşturulmuştur. OPC sunucusu, üreticiden bağımsız bir iletişimin kurulabilmesine olanak tanıyan, standardize edilmiş bir iletişim platformudur. Bu sayede, her katılımcının partnerlerinin ara yüzleri hakkında daha net bilgilere ihtiyaç duyulmaksızın, çeşitli kumanda ve kontrol sistemlerinin yanı sıra diğer uygulamalar arasında esnek bir ağ kurulabilir, aynı şekilde uygulama, kumanda ünitesi sisteminin iletişim ağı üzerinden herhangi bir bilgiye ihtiyaç duymamaktadır. Bu sayede üreticiden bağımsız uygulamalar, örneğin veri toplama veya özel uyarlanmış bir görselleştirme, mümkündür.

### 5.2.4 Veri toplama

Büyük teknik bir alanda güvenli veri toplamak için veri tabanları kullanılmaktadır. PLC üreticileri kendi veri toplama sistemlerini sunmakla birlikte, üreticiden bağımsız çözümlerin tercih edilmesi yerinde olur, çünkü bunlar erişim olanakları bakımından daha esnek bir yapıya sahiptir.

Toplanan çok sayıda verinin arasından kaydedilecek veriler seçilebilir. Böylece tesis işletiminin uzun süreler boyunca değerlendirilmesi mümkün olmaktadır. Örneğin arıza bildirimleri gibi olaylar da kaydedilebilmektedir.

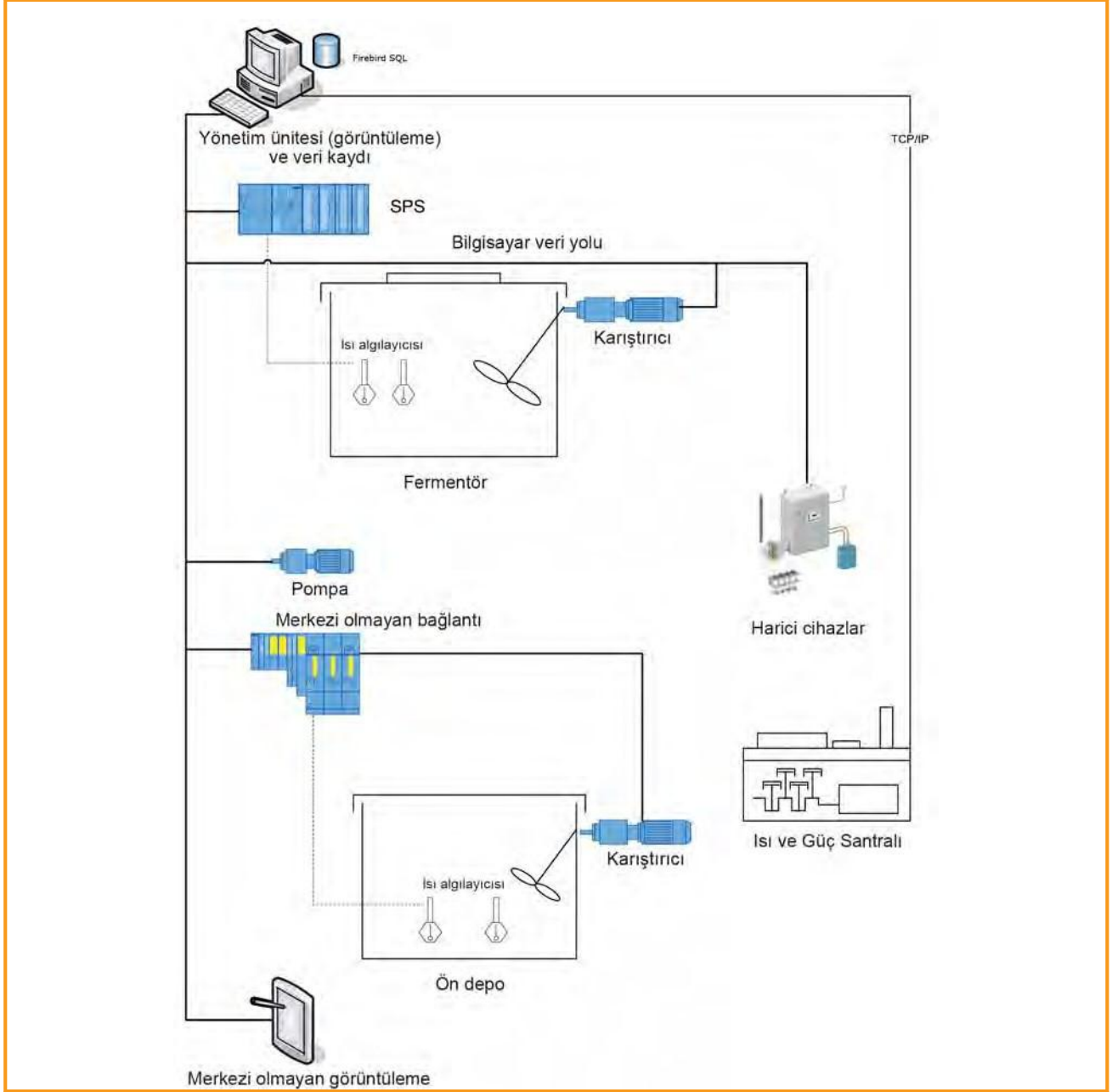
Doluluk seviyeleri, pompa çalışma süreleri vs. gibi salt teknik olayların denetlenmesinin ve kontrol edilmesinin detaylı bir açıklaması konusundan bu noktada imtina edilmiştir. Bu proseslerin uyumluluğu ve kontrolü, teknik duruma uygundur ve normalde herhangi bir problem teşkil etmezler.

### 5.2.5 Proses kontrolü

Proses kontrolü, proses hedefinin sağlanmasına hizmet eder. Kontrolör, ölçme verilerinin değerlendirilmesi sayesinde, hedef duruma göre sapmayı belirler ve geri dönüş için gerekli tedbirleri başlatır.

Kumandanın tersine kontrol sırasında proses tepkimesi kontrol işlemine dahil edilir. Salt kumanda





Şekil 5.2: Tesis gözetim şeması

işlemleri, anaerobik bozunma prosesi için uygun değildir, çünkü öngörülemeyen arızalarda kontrol mekanizması proses içindeki değişiklikleri kaydetmez ve böylece yeterli bir reaksiyon gösteremez. Her türlü proses kontrolü – bunun işletici tarafından yapılması durumunda bile – proses durumunun yeterince doğru bir şekilde açıklanmasını mümkün kılan ölçüleri şart koşmaktadır, aksi takdirde proses bozuklukları zamanında belirlenemez ve arızaların oluşması durumunda ciddi güç üretim kayıpları meydana gelebilir.

Biyogaz tesislerinde proses kontrolü biyolojik proses bakımından çoğu durumda tesis işletmecisi tara-

findan uygulanır. İşletici, proses durumunu tahmin edebilmek için, mevcut ölçme değerlerini kendisinin deneyime dayalı değerleriyle ve güç parametreleriyle karşılaştırır. Metodun etkinliği, bulunurluğa ve personelin bilgi durumuna çok bağlıdır.

Otomasyonlu bir proses denetimi ve ayarlaması kurulacaksa, ölçme değerlerinin toplanması ve değerlendirilmesi ile ilgili talepler daha fazladır, çünkü tesis işletmecisi karar verici olarak hazır bulunmaz ve böylece kontrol için sadece elektronik ortamda bulunan proses bilgileri kullanılabilir.

Biyoloji için otomatik kontrollere büyük teknik bir alanda uygulama durumunda uygun değildir. Ancak

Tablo 5.5: Kontrol metotları

Kontrol metotları	Uygulama	Notlar
PID (Proportional Integral Differential) kontrolör	Eğer az veri bulunuyorsa, hiçbir model bulunmuyorsa ve kontrol yolu davranışı hakkında çok bilgi yoksa	İyi sonuçlar, basit giriş-çıkış stratejileri ve doğrusal davranış ile kısıtlı
Fiziksel proses odaklı modeller	Dahili proses akışlarının bilinmesi gerekli	Kesin parametre belirleme gerekli, bunun için ölçme verileri gerekiyor, doğrusal olmayan davranış için uygun
Nöronal ağlar	Hiçbir simülasyon modeli bulunmuyorsa, hiçbir proses anlaşılabilirliği gerekmez, büyük veri miktarları gerekli	Çok iyi sonuçlar, ancak öğrenme türünde dikkat, kontrolör black box kalır
Bulanık mantık	Düşük veri miktarları gerekli, bir simülasyon modeli bulunmuyorsa uzman bilgisi gerekli	Proseste doğrusalsızlıklar ve çoklu giriş ve çıkış senaryoları durumunda kullanılabilir, uzman bilgisi entegre edilebilir, basit kullanım

tesis işletmesinin artan endüstrileşmesiyle ve hedeflenen verimlilik artışlarıyla birlikte gelecekte daha fazla kullanım alanı bulacaktır. Aşağıda çok fazla ayrıntıya girilmeksizin bazı olanaklar tanıtılmaktadır. Bu nedenle ilgili ihtisas literatürüne atıfta bulunulmuştur.

#### 5.2.5.1 Kontrol için standart yöntem

Anaerobik bozunma prosesinin kontrol edilmesi için halihazırda çeşitli yöntemler ön plana çıkmıştır. Prosesin kontrol edilmesi sırasında prosesin doğrusal olmayan karakteri ve işleyen prosesin karmaşıklığı, sorun teşkil etmektedir.

#### PID Kontrolör

Proportional-Integral-Differential Kontrolör (PID), feedback control endüstriyel uygulamalarında en yaygın algoritmadır. Burada üç kontrol mekanizması kombine edilir. Orantısal eleman, ayar büyüklüğü değişiklik genliğini belirleyen faktörü temsil eder. Ayar büyüklüğü, prosesin istenen durumdan sapması oranında değiştirilir. Bu sırada kullanılan faktör orantısallık faktörüdür. Bu kontrolör, bir entegral bileşen kadar genişletilebilir. Bu bileşene, sistemde kalıcı bir değişiklik durumunda bir sapma meydana geldiğinde ve orantısallık faktörü tarafından karşılanamadığında gerek duyulur. Bu problem, sapmanın entegraline orantısal bir eleman vasıtasıyla çözülmüştür. Diferansiyel eleman, sapmanın artışla orantılıdır ve güçlü sapsmalara karşı hızlı bir tepki olanağı sağlamaktadır.

PID kontrolörü doğrusal, dinamik olmayan bir davranışa sahiptir. Çeşitli ölçme büyüklükleri arasında hiçbir bağlantı gösterilememiştir.

PID kontrolörü, biyogaz tesisleri üzerinde de birçok uygulama için kullanılabilen, çok yaygın bir kon-

$$u = u_0 + k_p e + k_i \int e dt + k_d \frac{de}{dt}$$

Denklem 5.4: PID kontrolörü ( $u$  kontrolör çıkışı,  $u_0$  regülatör temel çıkışı,  $e$  proses sapması,  $k_p$  orantısallık faktörü,  $k_i$  integral elemanın faktörü,  $k_d$  diferansiyel elemanın faktörü)

trolör tipidir. Böylece desülfürizasyon için biyogaz içindeki gerekli oksijenin ayarlanması veya fermentördeki sıcaklık ayarlaması için kullanılabilir. Belirli önkoşullar altında bu basit algoritma, biyogaz prosesinin ayarlanması için de kullanılabilir [5-35], [5-37].

Temel olarak kontroller sözü edilen tüm yöntemlerle gerçekleştirilebilir, bu laboratuvar ölçütünde ispatlanmıştır. Ancak fiziksel proses odaklı modelleri baz alan, bilgi bazlı sistemlerde veya nöronal ağlarda geliştirilen kontroller, şimdiye dek pratik işletimde çok kullanılmamıştır.

#### 5.2.5.2 Diğer yaklaşımlar

Birçok tesis imalatçısı, biyolojik prosesin optimizasyonunu hedefleyen, işletmeye eşlik eden danışmanlık ve analiz paketleri de sunmaktadır. Hizmetler bağımsız firmalar tarafından da danışmanlık arzı ve anında yardım olarak sunulmaktadır. Bir diğer olanak olarak proses dinamiği bazında doğrudan bir proses analizi teklif edilmektedir (“proses ile iletişim”). Burada prosesin dinamik cevabına dayanarak gelen bir “arıza” üzerine prosesin performansı değerlendirilir.

İnternette, işletmecilerin problemler hakkında bilgi alışverişinde bulunabilecekleri çeşitli forumlar

Tablo 5.6: Biyolojik prosesin denetlenmesi ile ilgili olarak biyogaz tesisleri için ölçme programı (normal işletme)

Proses değerlendirmesi ile ilgili büyüklükler	Birim	Tesis senaryosu 1	Tesis senaryosu 2
Yükleme miktarı	m <sup>3</sup>	günlük	günlük
Yüklenen bileşim	kg KM/m <sup>3</sup> ; kg OKM/m <sup>3</sup>	aylık	haftalık
Sıcaklık	°C	günlük	günlük
Ara ürünler (Organik asitler)	g/l	aylık	haftalık
Çıkış miktarı	m <sup>3</sup>	günlük	günlük
Fermentasyon artığı bileşimi	kg KM/m <sup>3</sup> ; kg OKM/m <sup>3</sup>	aylık	haftalık
Oluşan gaz miktarı	m <sup>3</sup>	günlük	günlük
Biyogaz bileşimi	% Hac. metan, karbondioksit, Hidrojen sülfür, opsiyonel oksijen	günlük	günlük
pH değeri	-lg H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>	aylık	haftalık
	İlave ölçümler		
Amonyum konsantrasyonu, Toplam azot	g/l g/kg	aylık	haftalık
Mikro elementler	g/l	İhtiyaca göre	İhtiyaca göre
Hammadde özgül gaz üretimi	l/kg OKM	aylık	haftalık
Yükleme oranı	kg OKM/m <sup>3</sup> · d	aylık	haftalık
Bekleme süresi	d	aylık	haftalık
Üreteç özgül gaz üretimi	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> · d	aylık	haftalık

da bulunmaktadır. İlaveten bazı organizasyonlar tarafından tesis işletmecileri ve personeller için eğitimler düzenlenmektedir.

### 5.3 Başlangıç aşamasında ve düzenli işletimde proses kontrolü

#### 5.3.1 Düzenli işletme

Aşağıda, proses biyolojisinin değerlendirilmesi için hangi proses parametrelerinin alınması gerektiği kısaca belirtilmiştir, bu arada gerekli iş tesis tipine ve işletme şekline bağlı olduğundan, iki tesis senaryosu ayırt edilmektedir. Verilerin toplanması sırasında başlangıçta bunun online mı yoksa manuel mi gerçekleştiği hiçbir rol oynamaz. Önemli olan verilerin uygun bir değerlendirme için hazırlanmasıdır.

Senaryo 1: Normal tesis, sıvı gübre bazlı, düşük yüklenme oranı (2 kg OKM/m<sup>3</sup> · d'den küçüktür), engelleyici maddeler yok, asit konsantrasyonu normal işletimde azdır 2 g/l .

Senaryo 2: Yüksek yüklenme oranına sahip tesisler, değişken materyal bileşimi ve kalitesi, gerekirse engelleyici maddeler (örneğin amonyum 3 g/l'den büyüktür), asit konsantrasyonları normal işletimin

yanı sıra besleme rejiminin değiştirilmesi durumunda yüksektir 2 g/l.

Arızalara sahip, yani değişken proses parametrelerine sahip tesisler, senaryo 2'deki gibi en azından bir ölçme yoğunluğuyla test edilmelidir. Dinamik proses durumlarında daima prosesin kendi kendine stabilizasyonunun mümkün olduğu aralığı terk etme riski bulunmaktadır. Bu nedenle işletme rejiminin değişimine, materyal değişimine, yüklenen giriş miktarının artırılması vs. gibi durumlarda daima nispeten büyük bir ölçme yoğunluğu gerçekleştirilmelidir.

Prosesin işletmeye bağlı olarak engelleyici etkiye sahip maddelere (örneğin amonyak) maruz kaldığı biliniyorsa, bu maddelerin ayrıca gözlemlenmesi gerekmektedir. Böylece bir sorunun nedeni daha hızlı bir şekilde belirlenebilmektedir.

Prosesin kontrolü ve değerlendirilmesi sonucu bozunma miktarının düştüğü anlaşılırsa, bir sonraki adım sebebin analiz edilmesidir. Arızaların sebepleri ve bunların giderilmesi bölüm 5.4.1 altında işlenmektedir. Veriler elektronik olarak toplanmalı ve hazırlanmalıdır, çünkü bu sayede uzun vadeli gelişmeler ve ilişkiler daha iyi bir şekilde izlenebilir olmaktadır.

Proses değerlendirmesi çoğu tesiste tesis işletmecisinin deneyimine dayanmaktadır. Bu değerlendirme daha kesin ve objektif olarak bir proses gözlemcisi



tarafından gerçekleştirilebilir. Proses gözlemcileri verileri prosesin matematik modelleri ile değerlendirilmektedir. Özellikle materyal değiştirme gibi dinamik proses değişikliklerinde veya besleme miktarı değişikliklerinde proses akışının değerlendirilmesi model olmadan mümkün değildir. Aynı şey ileride besleme miktarlarının oluşturulması ile ilgili proses davranışı tahminleri için de geçerlidir.

Proses değerlendirmesi baz alınarak sadece model bazlı düzenlemeler, proses gelişimi ile ilgili öngörülerde bulunacak konumdadır. Ölçme değerleri bir modele entegre edilmemişse, bunlar her halükarda statik bir moment girişi için uygundur ve böylece dinamik bir düzenleme için kullanılamamaktadır.

Tesis işletimi için genel olarak besleme rejiminin, eğer yapılacaksa, etkiler takip edilebilir olacak şekilde değiştirilmesi gereklidir. Yani sadece bir parametre değiştirilmeli ve tüm diğerleri sabit tutulmalıdır. Aksi takdirde etkilerin sebepleri tayin edilemez ve proses optimizasyonu imkansız olur.

Normal işletme için mono fermentasyonlar engellenmeli ve çok yönlü, ancak zaman boyunca mümkün mertebe eşit kalan materyal bileşimleri tercih edilmelidir. Bir optimizasyon için karışım oranlarının, yükleme oranı ve bekleme süresi arasında optimum bir ilişki olacak şekilde değiştirilmesi gerçekleştirilmelidir.

Biyolojik proses, sabit koşullar altında en verimli durumdadır. Bu nedenle sabit besleme miktarlarının ve yüksek bir hassasiyete sahip materyal bileşiminin ayarlanması, proses optimizasyonu için önemli bir adımdır.

### 5.3.2 Başlangıç prosesi

Başlangıç prosesleri normal işletmeye göre, sabit duruma henüz ulaşılmaması bakımından farklılık gösterir. İşleyen süreçler proses parametrelerinin sürekli değişimini içermektedir. Bu durumda prosesin güvenli bir şekilde tam yüke getirilebilmesi için, normal işletmeye göre daha büyük bir ölçme yoğunluğu gereklidir, çünkü proses stabil değildir ve çok daha hızlı bir şekilde çökme eğilimine sahiptir.

Başlatma sırasında fermentörler, tüm sıvı giriş ve çıkışlarının (sıvı blokları) sızdırmalıkları sağlanana kadar, mümkün olduğu kadar kısa bir süre içinde doldurulmalıdır. Başlatma işlemi sırasında, fermentörün gaz bölgesinde patlayabilir gaz karışımlarının oluşabileceği özellikle dikkate alınmalıdır. Bu nedenle doldurma seri bir şekilde yapılmalıdır. Başlatma için yeteri kadar aşılama malzemesi kullanıma sunulmuşsa, gaz bölmesini küçük tutmak için aşılama mal-

zemesi suyla seyreltilmelidir. Kıvılcım oluşumunu engellemek için karıştırma mekanizmaları başlatma aşaması sırasında daldırılarak çalıştırılmalıdır.

Doldurma işleminden sonra fermentör kapasitesi yeknesak olarak ayarlanır, ardından materyal beslemesine başlanabilir.

İlk başlatma sırasında, bozulma prosesine katılan bakterilerin aşılama maddesi olarak yeteri miktarda eklenmesi ile, başlatma süresi kısaltılabilir. Eklenen aşılama miktarı ne kadar büyük olursa, başlatma aşaması o kadar kısadır. Bundan dolayı ideal durum, başlatılacak fermentörün komple, başka bir tesisten fermentasyon artışıyla doldurulmasıdır. Bulunurluğa bağlı olarak çeşitli tesislerin fermentasyon artıkları, sıvı gübre ve sudan oluşan bir karışım kullanılabilir. Su ilave edilmesi sırasında, sistemin temel tamponlama kapasitesinin, artan bir seyreltmeyle düşürüldüğü gözden kaçırılmamalıdır. Sonuç itibarıyla çok hızlı uygulanan bir yükleme artışında, kolayca proses düzensizlikleri meydana gelebilir, bu yüzden fermentörün "çökme" tehlikesi belirgin şekilde yükselmektedir.

Sıvı gübre kullanımı temelde başlatma prosesi üzerinde pozitif etkide bulunur. Bunun sebebi genellikle, mikro elementlerin yanı sıra çok sayıda çeşitli bakteri popülasyonlarının yüksek oranda bulunmasıdır. Özellikle sıvı sıgır gübresi yeterince metanojen arkeler içermektedir, böylece proses hızlı bir şekilde kendiliğinden stabilize olur. Buna karşın sıvı domuz gübresi metanojenik mikroorganizmalar bakımından o kadar zengin değildir, ancak prensip olarak kullanılabilir.

Ayarlama sonrasında nötr aralıkta stabil bir pH değerinin, oluşan biyogazda % 50'nin üzerinde metan oranının ve 2.000 mg/l'den küçük kısa zincirli yağ asidi konsantrasyonunun oluşması beklenmelidir. Bundan sonra beslemeye başlanabilir. Besleme tam yüke ulaşılan kadar yavaş yavaş, kademeli bir şekilde artırılmalıdır. Her artıştan sonra, gaz üretim oranı, metan oranı, FOS/TAC değeri veya asit konsantrasyonu ve pH değeri stabilize edilene kadar beklenmelidir, daha sonra yükleme oranının yeniden artırılması ele alınabilir. FOS/TAC sınırlı bir anlam taşır, ancak başlatma aşamasında proses stabilitesinin değerlendirilmesi için kontrol parametresi olarak uygundur, çünkü oldukça basit, yüksek yoğunlukta ve uygun maliyetli bir şekilde ölçülebilmektedir. Proses stabilitesi ile ilgili güvenilir geri bildirimler elde edebilmek için ilaveten arada sırada, mevcut asitlerin türünün teşhis edilmesi için, asit spektrumu incelenmelidir.

Normalde bir yük artışını kısa süreli artan bir FOS/TAC değeri takip eder. Hatta belirli koşullar altında gaz üretimi hafif gerilemektedir. Artışın mik-

tarına bağlı olarak bu etki az veya çok belirgin bir şekilde görülebilmektedir. Bundan sonra eşit kalan besleme durumunda FOS/TAC değeri tekrar stabilize olmalıdır ve gaz üretimi yüklemeye uygun bir seviyeye doğru yol almalıdır. Ancak bundan sonra bir yük artışına devam edilmelidir. Sabit besleme durumunda, ilaveten artan FOS/TAC değerinde gaz üretimi belirli bir süre boyunca düşerse, o zaman halihazırda bir proses bozukluğu söz konusudur. Bu durumda başka yük artışı gerçekleştirilmemeli ve hatta belirli koşullar altında, FOS/TAC değerinin gelişimine bağlı olarak, yükleme miktarı düşürülmelidir.

Özet olarak aşağıdaki noktaların başlatma süreci üzerinde açık bir şekilde pozitif etkide bulunduğu bilinmektedir:

- Taze sıvı sığır gübresi veya iyi çalışan biyogaz tesislerinin aktif aşılama çamuru kullanımı
- Biyolojik parametrelerinin uyumlu, yoğun ölçme programı (bakınız Tablo 5.6)
- Materyal beslemesi ve kalitesinde devamlılık
- Arızasız tesis işletimi.

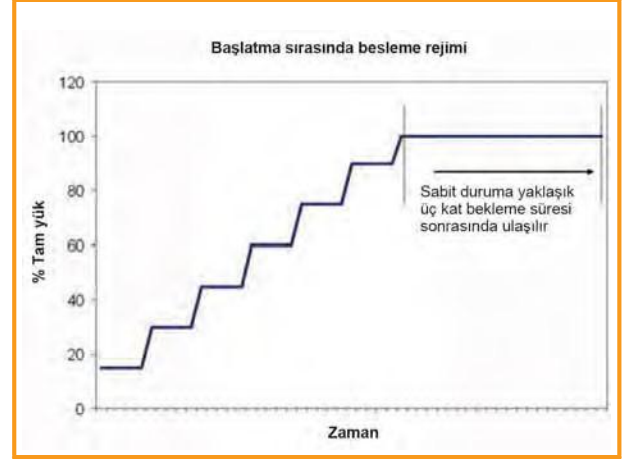
Tam yük beslemesine ulaşılmadıysa, henüz sabit bir durum söz konusu değildir. Sabit durum ancak üç katı bekleme süresi sonunda elde edilmektedir.

Özel tedbirler, amonyağın beklenen yüksek konsantrasyonlarında gereklidir. Proses bu durumda gerekiyorsa aylar hatta bir yıl kadar sürebilen uzun adaptasyon aşamalarına ihtiyaç duymaktadır. Bu durum finansmanın planlanmasına kadar büyük bir rol oynamaktadır. Bu durumda her halükarda, halihazırda benzer materyaller kullanan bir tesisten fermentasyon artığı kullanılması önerilmektedir. Hedeflenen nihai amonyum konsantrasyonunun, bakterilerin hemen son duruma adapte olabilmeleri için mümkün olduğu kadar çabuk ayarlanması gereklidir, aksi takdirde her yeni artış için yeni bir adaptasyon gerekli olacaktır. Başlangıçtan beri nihai durumda da kullanılacak materyal karışımının beslenmesi halinde, nihai konsantrasyona daha hızlı bir şekilde ulaşılacaktır.

Sadece NawaRo'larla(yenilenebilir bitkisel kaynaklar) işletilen ve sıvı gübreyle başlatılan tesislerde, mikro elementler bakımından eksiklik belirtileri ancak yaklaşık 6-12 aydan sonra ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle özellikle bu tesislerde, başlatma başarılı olduktan sonra da proses dikkatli bir şekilde gözlemlenmelidir.

Her durumda ilk işletme yılı sırasında prosesin gözlemlenmesi bakımından daha yüksek bir çaba gerekmektedir.

Enerji bitkileriyle veya peyzaj atıklarıyla, konteynır yöntemine göre işletilen katı madde fermentasyon tesislerinde, başlatma için mevcut tesislerin fermente



Şekil 5.3: Başlatma sırasında besleme rejimi

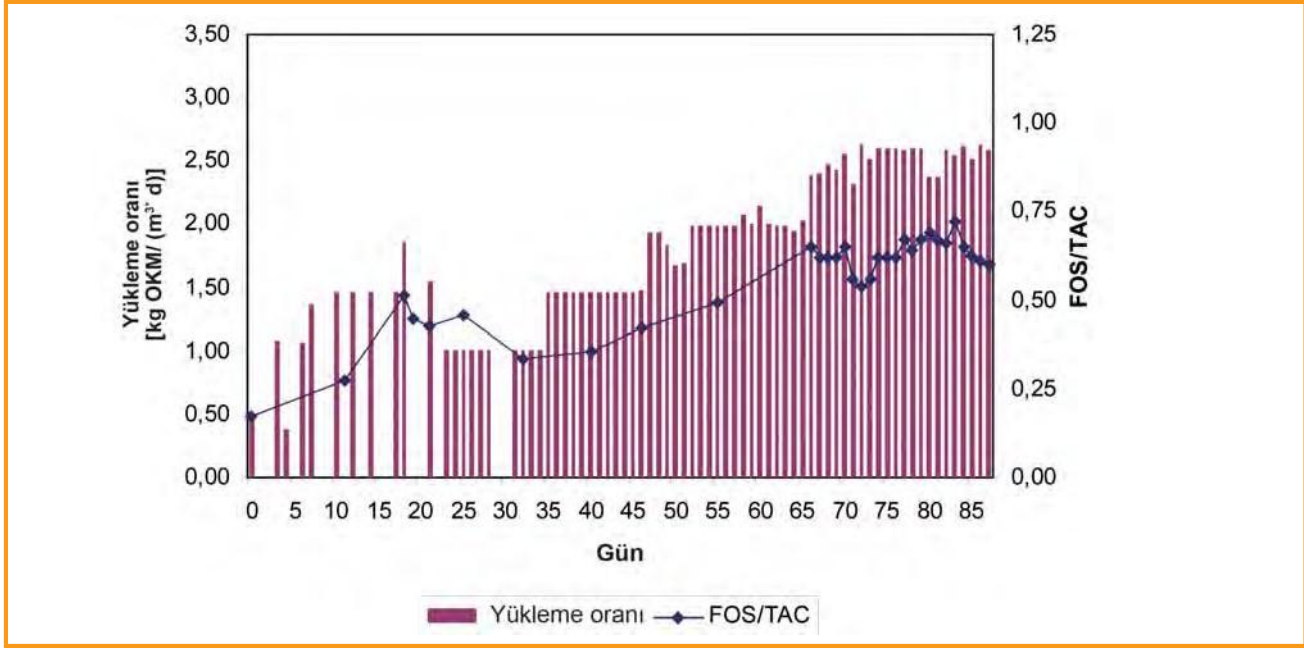
olmuş malzemesinin kullanılması önerilmektedir. Sıvı gübre, katı madde fermentasyonunun başlatılması için uygun değildir, çünkü yüzer maddeler nedeniyle, kutu fermentörün süzme memesinde tıkanmalara neden olabilmektedir. Bunun yerine süzme sıvısı olarak duru suyla ve dolu kutu fermentörlerle başlanmalıdır veya bunlar tercihen fermente olmuş malzemeyle doldurulmuş olmalıdır.

Aşağıda, her biri 4.000 m<sup>3</sup> çalışma hacmine sahip üç fermentörü bulunan bir biyogaz tesisinin başlatma işletimi, örnek olarak açıklanmaktadır. Düzenli tesis işletimine ulaşılan kadar, çeşitli başlatma stratejileri açıklanmaktadır.

Fermentör 1	İki tesisten fermentasyon artığı karışımı (her biri % 20), sıvı sığır gübresi (% 10), su (% 50), yakl. % 1.5 YM'lik kuru madde oranı, doldurma ve ayarlama için yaklaşık gerekli zaman 25 gün
Fermentör 2	Üç farklı tesisin fermentasyon artıklarının karışımı (yaklaşık % 44), sıvı sığır gübresi (% 6), fermentör 1'den fermentasyon artığı (% 50)
Fermentör 3	Fermentör 1 ve 2'den fermentasyon artıklarıyla komple doldurma

Fermentör 1: 37 °C'lik işletme sıcaklığına ulaşıldıktan sonra ilk katı madde yüklemesine başlanmıştır. Materyal olarak sadece mısır silajı kullanılmıştır.

Bu örnekte seçilmiş başlatma stratejisi materyalin önce partiler halinde, yüklemeler arasında gaz üretim miktarına bağlı bekleme zamanları ile birlikte, değerlendirilmesine göre eklenmesi gerçekleştirilmiştir. Başlangıçtan beri nispeten yüksek yükleme oranları seçilmiştir ve materyal yüklemeleri arasındaki zaman giderek düşürülmüştür. Bu başlatma stratejisinin avantajı, tam yük işletimine, küçük adımlarla aralıksız



Şekil 5.4: Başlatma aşaması fermentör 1

bir artışa göre genellikle daha hızlı ulaşılabilmektedir. Bu sırada bir diğer yük artışı için belirleyici parametre olarak bir yandan FOS/TAC oranının gelişmesi ile birlikte yağ asidi konsantrasyonlarının gelişmesinin yanı sıra fermantasyonun gaz üretiminin gözlemlenmesi de etkili olmaktadır.

Yükleme oranı ve fermentör 1'in başlatma işletimi sırasında FOS/TAC değeri, şekil 5.4'te grafiksel olarak gösterilmiştir. Parti şeklinde uygulanan beslemelerin ciddi proses bozukluklarına neden olduğu görülmektedir. Halihazırda nispeten ilk düşük yüklemelerden sonra FOS/TAC değerlerinin ikiye katlandığı görülmektedir. Güçlü dalgalanmaların nedeni, sistemin çok yüksek su oranına ve bununla bağlantılı düşük tamponlama kapasitesidir. Sonucunda, pH değerinin materyal aktarımına çok hızlı bir şekilde tepkime gösterdiği gözlemlenebilir. Normalde pH değeri, pratik işletimde neredeyse hiçbir değişikliğin belirlemediği ekstrem atıl bir parametredir. Oluşan dengesizlikler nedeniyle başlatma stratejisi 32. işletme gününden itibaren, aralıksız bir materyal beslemesine dönüştürülmüştür. Yükleme miktarlarının yavaş ancak aralıksız bir şekilde artırılması sayesinde, yükleme oranının 110. işletme gününe kadar ortalama 2,6 kg OKM/m<sup>3</sup> · d'ye artırılması mümkün olmuştur. Başlangıçta yüklemenin partiler halinde yapılma stratejisi, yüksek aşılama çamuru etkinliği ve yoğun proses kontrolü gibi doğru önkoşullar altında, tam yük işletimine daha hızlı ulaşılabildiğini sağlayabilmektedir. Gösterilen örnekte, yüksek su oranı neticesinde düşük tam-

ponlama kapasitesi yüzünden bu stratejinin uygun olmadığı ortaya çıkmıştır.

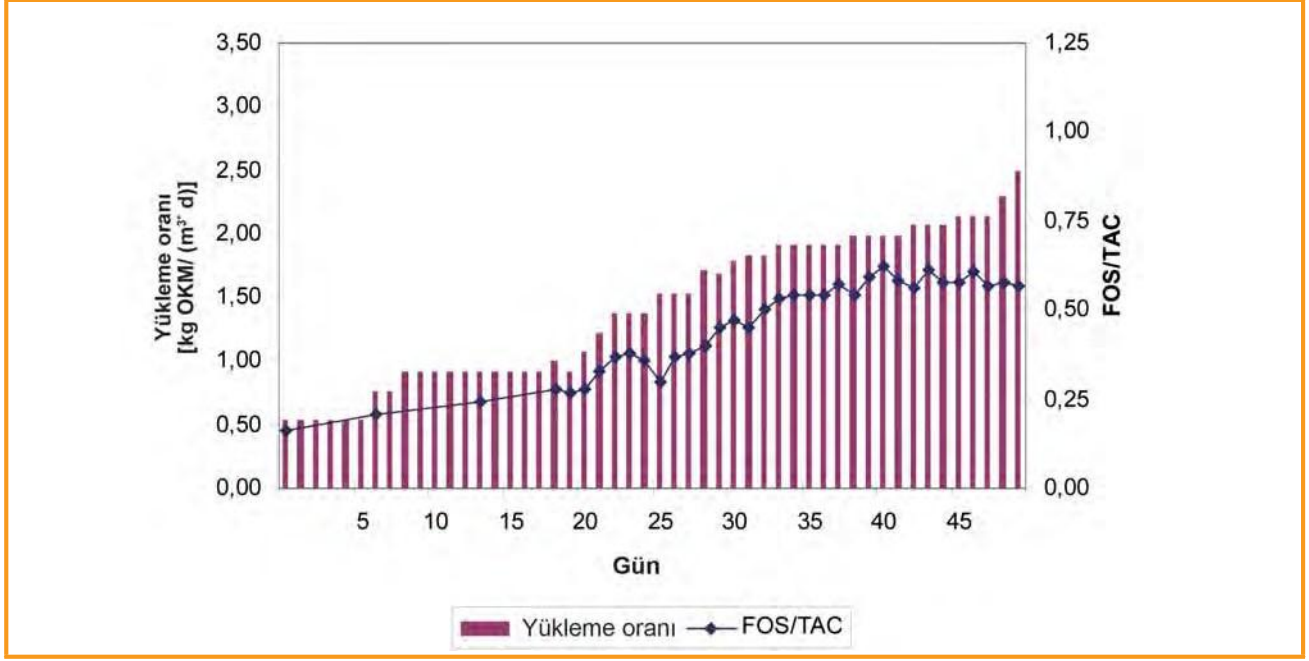
Fermentör 2'nin doldurulması, ilk fermentörün başlatma işletimine paralel gerçekleşmiştir.

Fermentör 2'nin başlatma işletimi şekil 5.5'te görülmektedir. 50. işletme gününe kadar yükleme oranı, artan FOS/TAC değerleri eğilimi altında yaklaşık 2,1 kg OKM/m<sup>3</sup> · d'ye artmıştır. Artan FOS/TAC değerine rağmen fermentör hızlı ve kontrollü bir şekilde tam yüke çıkartılabilmektedir.

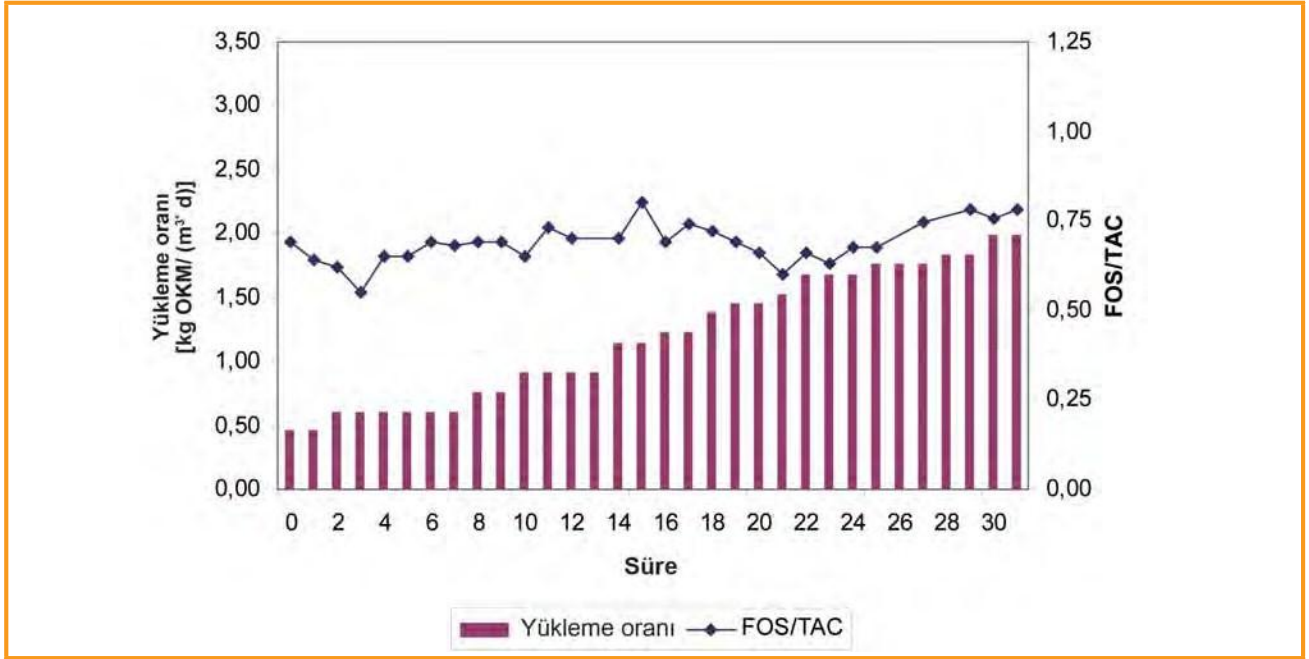
Fermentör 3'ün başlatma işletimi şekil 5.6'da grafiksel olarak görülmektedir. Burada 30 gün içinde yükleme oranının sabit FOS/TAC değerleri altında yaklaşık 2,1 kg OKM/m<sup>3</sup> · d'ye artırılması başarılmıştır. Fermantasyon artışı ile ilk dolun, kısa bir zaman içerisinde tam yüklemeye izin vermektedir. Artan FOS/TAC değerleri halihazırda fermantasyon artışında uygun sınırlar içerisinde yer almaktadır.

Farklı ilk dolunlar, tam yüke yükseltme durumunda, proses stabilitesi ve hız üzerindeki açık etkilerini göstermektedir. Fermantasyon artışı oranı ne kadar yüksek olursa ve mikroorganizmalar materyal özelliklerine ne kadar iyi adapte olursa, fermentörün o kadar hızlı ve stabil başlatılabildiği görülmektedir.

Aşağıda mikro element eksikliği nedeniyle engelleme açısından tipik bir akış görülmektedir. Başarılı başlatma sonrasında tesis 60 ile 120 gün arasında ki bir zaman içerisinde stabil bir şekilde işletmeye alınabilmektedir.



Şekil 5.5: Başlatma aşaması fermentör 2

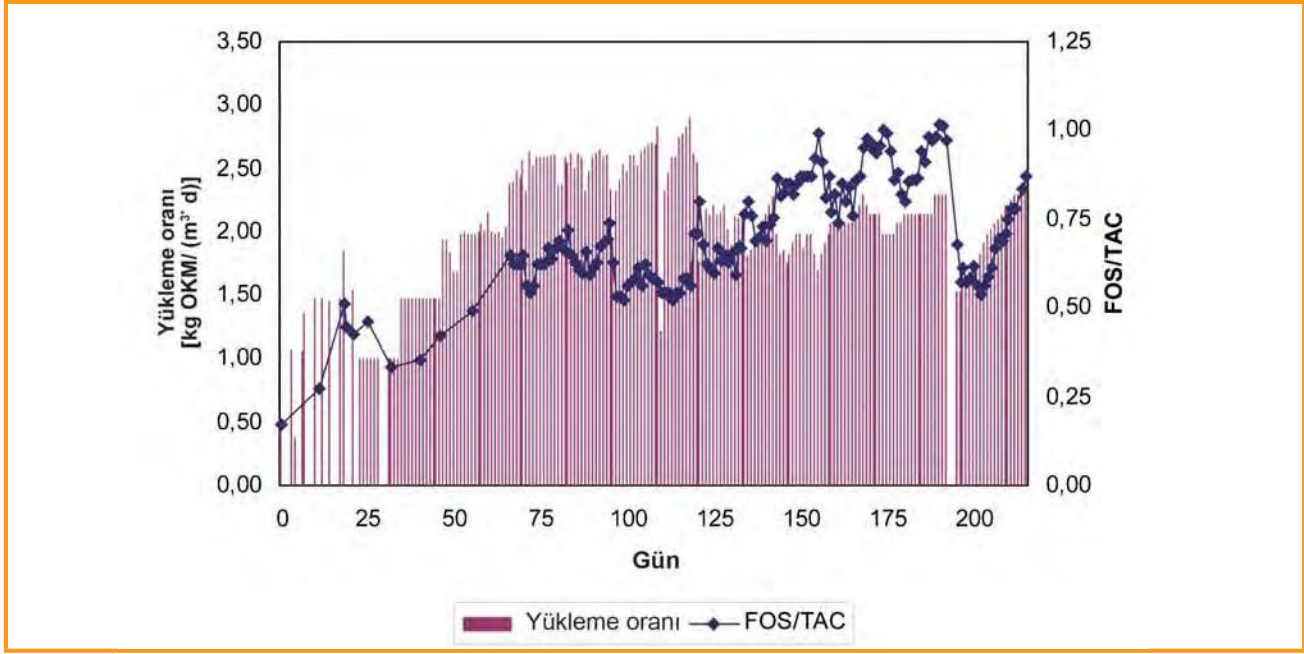


Şekil 5.6: Başlatma aşaması fermentör 3

Ancak sürekli işletimle aşılama malzemesi (fermantasyon artıkları ve sıvı gübre) fermentörden uzaklaşır ve materyale (mısır silajı) uygun konsantrasyonlar ayarlanır. Bu durumda materyal yeterince mikro element içermez, bu, engellenmiş metan oluşumu şeklinde ifade edilen bir soruna neden olmaktadır. Bu engellenmenin sonucunda oluşan asitler artık bozunmaz ve yaklaşık 120 günlük işletme sonrasında FOS/TAC değerleri stabil işletimde ve daha sonra

düşürülmüş yüklenme oranına rağmen yükselir (bkz. Şekil 5.7).

Nedenler ve olası karşı tedbirler 5.4.2 başlığı altında daha kapsamlı bir şekilde açıklanmıştır. Eğer bu aşamada müdahalede bulunulmazsa, kaçınılmaz olarak fermentörün "çökmesi" meydana gelir. Bu proses bozukluğunun, aşılama malzemesi ve işletme yönetimine bağlı olarak ancak birkaç ay işletme sonrasında meydana geldiğini tekrar belirtmek gerekir.



Şekil 5.7: Mikro elementler eksikliği altında başlatma aşaması fermentör 1

## 5.4 Arıza yönetimi

### 5.4.1 Proses bozukluklarının sebepleri

Biyogaz tesisindeki anaerobik bozunmanın negatif etkilenmesi ve böylece bir standart dışı durumda proses bozukluklarından söz edilir. Bu yüzden kullanılan materyaller sadece yetersiz ölçüde parçalanabilir. Neticite itibariyle proses bozuklukları tesis boyutlarından bağımsız olarak, biyogaz tesisinin ekonomikliği üzerine negatif etkide bulunmaktadır. Bu nedenden dolayı proses bozuklukları mümkün olduğunca hızlı belirlenmeli ve giderilmelidir.

Proses bozuklukları, bakterilerin veya münferit bakteri gruplarının ortam koşulları optimum düzeyde olmadığına ortaya çıkmaktadır. Etkileme derecesinin ne kadar belirgin olduğuna veya ortam koşullarının hangi zaman aralığında negatif yönde değiştiğine bağlı olarak proses bozukluğu az ya da çok hızlı gerçekleşir. Çoğu durumda proses bozuklukları kendini yağ asidi konsantrasyonlarının sürekli artması şeklinde ortaya koymaktadır. Bu davranış asıl nedenden bağımsız olarak ortaya çıkmakla birlikte, asetik asit ve metan oluşturan bakterilerin, ortam dalgalanmalarına diğer bakteri gruplarına göre daha hassas reaksiyon göstermesiyle açıklanmaktadır. Müdahaleler olmadan proses bozukluğunun tipik gidişi şu şekilde görülmektedir:

- Yağ asidi konsantrasyonlarının artması  
Önce asetik asit ve propiyonik asit, devam eden

yükleme durumunda izobütrik asit ve izovaleriyon asidi

- FOS/TAC oranının sürekli artışı (paralel olarak yağ asidi artışı)
- Metan oranının düşmesi
- Sabit besleme durumunda gaz veriminin düşmesi
- pH değerinin düşmesi, prosesin asitlenmesi
- Gaz üretiminin tamamen çökmesi.

Eksiklik görünüşleri (mikro elementler), sıcaklık dalgalanmaları, engelleyici maddeler (amonyak, dezenfeksiyon maddeleri, hidrojen sülfür) gibi proses bozukluklarının olası nedenleri, besleme ve prosese aşırı yük binmesi durumunda hatalar aşağıda açıklanmaktadır. Başarılı bir tesis işletimi için, proses bozukluklarının mümkün olduğu kadar erken bir aşamada tanınması çok önemlidir (bkz. Bölüm 5.1). Sadece bu şekilde sebepler zamanında belirlenebilir ve giderilebilir, ekonomik hasar minimize edilebilir.

Mikro element eksikliği ve amonyak inhibisyonu problemi 5.1.8 ve 5.1.9 başlıkları altında işlenmektedir.

Biyogaz tesislerinin pratik işletiminde, proses sıcaklığının düşmesi için bir çok neden söz konusu olabilmektedir. Fermentörün ısıtılması özellikle Almanya'daki mutedil sıcaklıklarda merkezi bir önem arz etmektedir ve ısıtma devre dışı kaldığında fermentasyon sıcaklığı nispeten hızlı bir şekilde düşebilmektedir. Bu sırada aşağıdaki senaryonun gösterdiği gibi esas itibariyle ısıtıcının bozuk olması gerekmektedir.

Kombine ısı ve güç santralinin devre dışı kalması nedeniyle belirli bir süre sonra fermentör ısıtıcısı için kullanılacak olan atık ısı kaybolur. Sıcaklık düşüşü metan bakterilerinin etkinliğini engeller, çünkü bunlar sadece dar bir sıcaklık aralığında canlı kalmaktadır [5-1]. Hidroliz ve asetojeniz bakterileri bu bağlamda daha az duyarlıdır ve bir sıcaklık düşüşü durumunda da canlı kalabilmektedir. Ancak bu durumda, özellikle materyal beslemesinin zamanında azaltılmaması veya yapılmaması durumunda, asitlerde artma meydana gelir.

Böylesi bir durumda halihazırdaki mevcut sıcaklık engellemesine, komple fermentör içeriğinin asitleşmesiyle birlikte pH değerinin düşmesi de eklenmektedir.

Ancak ısıtılmamış büyük miktarlarda materyalin eklenmesi, fermentörün yetersiz ısıtılması, sıcaklık sensörlerinin devre dışı kalması nedeniyle de fermentör sıcaklığının düşmesi sonucu ortaya çıkabilmektedir. Stabil bir proses için mutlak sıcaklık değil, bilakis sabit bir sıcaklık seviyesi önemlidir. Sıcaklık değişimi kısa süre içinde gerçekleşiyorsa (yukarı veya aşağı doğru), bu durumda çoğunlukla bozunmanın olumsuz etkilenmesi hesaba katılmalıdır. Bu nedenle fermentasyon sıcaklığının düzenli şekilde kontrol edilmesi, başarılı bir tesis işletimi için büyük önem taşımaktadır.

Bölüm 5.1.3'te açıklandığı üzere, belirli materyallerin kullanılması durumunda proses sıcaklığının artması söz konusu olabilir. Sıcaklık, ilave ısıtma enerjisi kullanılmasına gerek kalmaksızın, mezofilik sıcaklık aralığından, termofilik sıcaklık aralığına "kayar". Kurallara aykırı işletme yönetimi durumunda, mezofilik sıcaklık aralığından termofilik sıcaklık aralığına geçiş sırasında en kötü sonuç olarak prosesin tamamen çökmesi gerçekleşebilir.

Bir biyogaz tesisinin işletme koşulları, mümkün olduğu kadar sabit tutulmalıdır. Bu reaktördeki ortam koşulları için olduğu kadar, materyallerin nitelikleri ve dozajlaması için de geçerlidir. Materyal ilavesi sırasında hatalar şu durumlarda söz konusudur:

- Uzun bir zaman çok fazla materyalin yüklenmesi
- Materyalin çok düzensiz eklenmesi
- Farklı bileşime sahip materyallerin yüklenmesinin hızlı bir şekilde gerçekleşmesi
- Bir "besleme molasından" sonra (örneğin teknik arızalar nedeniyle) çok fazla materyalin ilave edilmesi.

Özellikle başlatma aşamasında ve düzenli işletme sırasında materyalin değiştirilmesi durumunda, çoğu hatalar materyal eklenmesi sırasında yapılmaktadır. Bu nedenden dolayı özellikle bu durumlarda proses yoğun bir şekilde gözlenmelidir. Bunun haricinde eş-

lik eden proses analitiğinin yoğunlaştırılması önerilmektedir. Bazı materyallerde bileşim bakımından ciddi dalgalanmalar meydana gelmekte, bunlar daha sonra yükleme oranında da istenmeyen dalgalanmalara neden olmaktadır.

#### 5.4.2 Proses bozukluklarının işlenmesi

Halihazırda bahsedildiği üzere bir proses bozukluğu sadece sebebinin bilinmesi ve yok edilmesi halinde sürdürülebilir şekilde giderilebilmektedir. Ancak durumun (kısa süreli) rahatlatılabilmesine olanak tanıyan bazı teknik tedbirler de bulunmaktadır. Aşağıda proses stabilizasyonunun temel tedbirlerinden bahsedilmekte ve bunların etkileri açıklanmaktadır. Bu tedbirlerin başarısı temelde proses bozukluğu derecesine, yani mikroorganizmaların halihazırda hangi ölçüde negatif etkilenmiş olduğuna bağlıdır. Bunun haricinde proses, tedbirlerin uygulanması yanı sıra müteakip iyileşme aşaması sırasında da dikkatli bir şekilde gözlemlenmelidir. Bu sayede başarı/başarısızlık fark edilebilir ve gerekiyorsa başka tedbirler alınabilir. Akabinde önceki başlıkta açıklanmış sebepler doğrultusunda proses bozukluklarının giderilmesi ile ilgili olanaklar gösterilmektedir.

##### 5.4.2.1 Proses stabilizasyonu ile ilgili tedbirler

###### Yükleme miktarının azaltılması

Yükleme miktarının azaltılması sayesinde (normalde eşit materyal bileşimi durumunda), yükleme oranı düşürülür. Bu, prosesin etkili bir şekilde rahatlamasını sağlamaktadır. Materyal eklenmesinin azalma miktarına bağlı olarak müteakiben üretilen biyogazın miktarı hissedilir derecede artar. Bu, o zamana kadar zenginleşen yağ asitlerinin bozunmasına dair bir işarettir, bu arada asetik asit çok hızlı ve propiyonik asit çok yavaş bozunmaktadır. Propiyonik asitlerin çok yüksek konsantrasyonlarında, bunların artık bozunmaması mümkündür. Bundan sonra proses yükünün azaltılması ile ilgili diğer tedbirlerin uygulanması gerekmektedir.

Yükleme miktarının indirgenmesinden sonra gaz üretimi sabit kalırsa, o taktirde bu, belirgin şekilde fazla beslenmiş bir fermentör anlamına gelmektedir. Yükleme miktarları ancak yağ asidi konsantrasyonları kontrol edildikten ve gaz üretimi belirgin şekilde indirgindikten sonra tekrar hafif yükseltilmelidir.

###### Malzeme geri aktarımı/yeniden sirkülasyon

Yeniden sirkülasyon, malzemenin ardıl depolanmış bir depodan (fermantasyon sonrası deposu, ferman-

tasyon artışı deposu) fermentöre geri aktarılması anlamına gelmektedir. Pompalama sayesinde, şayet yöntem teknik açıdan uygulanabilir durumdaysa, temelde iki pozitif etki elde edilmektedir. Bir yandan seyreltme gerçekleşir, yani yeniden sirkülasyon sürecine bağlı olarak fermentördeki “Zararlı madde konsantrasyonu” düşürülür. Bunun haricinde fermentöre, bozunmada tekrar etkin olacak bir şekilde katılabilen “acıkmış” bakteriler eklenmektedir.

Bu yöntem özellikle çok kademeli tesisler için önerilmektedir. Tek kademeli tesislerde bu işlem sadece gaz sızdırmayan fermantasyon artışı tanklarında ve sadece acil durumlarda uygulanmalıdır. Malzeme geri dönüşü sırasında yeniden sirküle edilen malzemenin sıcaklığına dikkat edilmeli ve gerekiyorsa ek ısıtma sayesinde fermentördeki sabit sıcaklık seviyesi bozulmamalıdır.

### Giriş bileşiminin değiştirilmesi

Giriş bileşiminin değiştirilmesi, birçok açıdan prosesi stabilize edebilmektedir. Bir yandan enerji açısından zengin bileşenlerin (örneğin tahıl tanesi) ikame edilmesi/kullanılmaması yüzünden karışımın değiştirilmesi, yükleme oranını düşürebilir ve böylece bir yük azaltımına neden olabilir. Öte yandan giriş bileşiminin, eğer normalde kullanılmıyorlarsa, sıvı veya katı çiftlik gübreleriyle (örneğin sıvı sığır gübresi) takviye edilmesi, ilave mikro element ve diğer bakteri gruplarının arzı, nispeten pozitif bir etki meydana getirebilmektedir. Başka bir biyogaz tesisinin fermantasyon materyalinin eklenmesi aynı şekilde pozitif bir etki oluşturabilmektedir. Yenilenebilir hammaddelerin mono fermantasyonu bakımından, başka bir materyal bileşiminin eklenmesinin, normalde proses stabilitesi üzerine pozitif etkide bulunacağı bildirilmelidir.

#### 5.4.2.2 Mikro element noksanlığı

Genellikle mikro element noksanlığı, çiftlik gübrelерinin (sıvı sığır gübresi, sıvı domuz gübresi, katı sığır gübresi, katı domuz gübresi) eklenmesi sayesinde dengelenebilmektedir. Eğer bu materyaller, yeterince bulunmuyorsa veya çeşitli sebeplerden dolayı kullanılmıyorsa, piyasada çeşitli mikro element katkıları bulunmaktadır. Burada genellikle kompleks karışımlar söz konusudur. Ancak mikro elementler de, aşırı eklemede bir yandan proses üzerinde engelleyici bir etkiye neden olabilecek [5-16] ağır metaller söz konusu olduğundan ve öte yandan tarımsal alanlarda gübre olarak kullanılması durumunda ağır metallerin miktarı zenginleştiğinden, bunların miktarları mümkün olduğu kadar düşük tutulmalıdır [5-17]. Olanak-

lara göre sadece gerçekten noksanlığı görülen mikro elementlerin eklenmesi gerekmektedir. Bunun için fermentör malzemesinin giriş materyallerinde bulunan mikro element analizi, yardımcı olabilecektir. Ancak burada külfetli ve yüksek maliyetli bir işlem söz konusudur.

Mikro element ekleme verimliliğini artırmak için prosese ekleme öncesinde, kimyasal desülfürizasyon için demir tuzları ilave edilebilmektedir (bkz. Bölüm 2.2.4). Bu sayede ayrılan hidrojen sülfürün büyük bölümü çöktürülebilir ve mikro elementlerin biyoyararlanımı iyileştirilir. Temelde üretici tavsiyelerine dikkat edilmeli ve bunlara uyulmalıdır.

#### 5.4.2.3 Sıcaklığın olumsuz etkilerine karşı önlemler

Prosesin kendi kendine ısınmasına dayalı bir sıcaklık sorunu söz konusuysa, o taktirde iki olanak vardır. Ya proses soğutulur veya proses sıcaklığının değiştirilmesi gerçekleştirilir. Soğuk suyun eklenmesi sayesinde, oldukça dikkatli bir şekilde gerçekleşmesi gereken bir soğutma etkisi elde edilebilmektedir. Proses sıcaklığının mezofilik aralıktan termofilik aralığı geçirilmesi hedefleniyorsa, o taktirde geçişin gerçekleştiği zaman aralığında amaca yönelik bir biyolojik destek gerekmektedir. Mikroorganizmalar önce daha yüksek sıcaklık seviyesine adapte olmalı veya yeniden oluşmalıdır. Bu zaman aralığında proses oldukça dengesizdir ve hiçbir şekilde fazladan materyal verilerek “çökme” durumuna getirilmemelidir.

#### 5.4.2.4 Amonyak inhibisyonuna karşı önlemler

Amonyakın olumsuz etkisine karşı alınacak tedbirler, tesis işletimine esaslı müdahaleler gerektirmektedir. Genellikle amonyak engellemeleri protein açısından zengin giriş maddelerinin kullanılması sonucu meydana gelmektedir. Bilindiği üzere bir amonyak engellemesi söz konusuysa, ya sıcaklık düşürülmeli veya giriş bileşimi değiştirilmelidir. Giriş bileşiminin değiştirilmesi, yüklemede azot miktarının düşürülmesi sonucuna neden olacaktır. Böylece fermentörde engelleyici amonyak konsantrasyonu uzun vadede düşürülebilmektedir. Asitlenme halihazırda çok ilerlemişse, asit konsantrasyonunun kısa vadede düşürülmesi için ardıl devrelenmiş fermentörden fermantasyon artışı değişimi yapılması önerilmektedir.

Her ikisi yavaş şekilde, yoğun proses denetimi altında gerçekleştirilmelidir. Ayrışmamış amonyak oranının indirgenmesi için pH değerinin düşürülmesi uzun vadede oldukça zor uygulanabilmektedir ve bu nedenle tavsiye edilmemektedir.

#### 5.4.2.5 Hidrojen sülfür inhibisyonuna karşı önlemler

Hidrojen sülfürün olumsuz etkileri, tarımsal biyogaz tesislerinde oldukça seyrek görülmektedir. Hidrojen sülfür engellemesi daima materyale bağlıdır, yani giriş maddelerinin yüksek kükürt oranlarına bağlıdır. Bir yandan tarımsal biyogaz tesislerinde ağırlıklı olarak nispeten düşük kükürt oranlarına sahip giriş materyalleri kullanılmaktadır. Öte yandan gazın içindeki H<sub>2</sub>S oranları, bunların gaz değerlendirilmesi üzerindeki negatif etkileri yüzünden her halükarda düşürülmelidir. Hidrojen sülfür engellemesinin giderilmesi için aşağıdaki tedbirler alınabilmektedir:

- Sülfür çökeltme için demir tuzlarının eklenmesi
- Kükürt içeren hammaddelerin oranını düşürme
- Suyla seyreltme.

pH değerinin tamponlama maddeleri sayesinde yükseltilmesi kısa vadede H<sub>2</sub>S'nin toksisitesini azaltabilir, ancak uzun vadede uygulanmamalıdır.

#### 5.4.3 Teknik arızaların ve problemlerin giderilmesi

Tarımsal biyogaz tesislerinin yapı tipleri ve teknik donanımları bakımından büyük farklar nedeniyle bu noktada teknik arızaların giderilmesi ile ilgili hiçbir genel eylem tavsiyesi verilememektedir. Ancak genellikle münferit tesis bileşenleri ile ilgili eylem tavsiyeleri ve tedbirleri içeren konularda, biyogaz tesisi kullanma kılavuzunda atıfta bulunmak yerinde olur.

Teknik arızalarda ve problemlerde, bunların zamanında fark edilmesi ve giderilmesi belirleyici bir önem taşımaktadır. Bunun için otomasyonlu bir alarm sistemi mecburi olarak gereklidir. Proses idare sisteminde, temel tesis bileşenlerinin işletme durumu toplanır ve denetlenir. Bir teknik arıza söz konusuysa, bu durumda sistemde bir alarm mesajı gerçekleşir, bu yine telefon çağrısı veya SMS üzerinden tesis işletmecisine / işletme personeline aktarılabilir. Bu yöntem sayesinde arızalara hızlı bir şekilde reaksiyon gösterilebilmektedir. İşletmenin uzun süre boyunca olumsuz etkilenmesini engellemek için, tesis işletmecisinin seçilmiş yedek parçaları/aşınan parçaları sürekli stokta bulundurması önemlidir. Buna göre onarım ve devre dışı kalma süreleri kısaltılabilmektedir. Bunun haricinde acil durumlarda mümkün olan her zaman güvenilir bir servis ekibi tesis işletmecisinin yanında bulunmalıdır. Bu genellikle doğrudan tesis üreticisi veya harici uzman servisler tarafından sağlanmaktadır. Teknik arıza risklerini minimize etmek için düzenli kontrollerin yanı sıra bakım periyotlarına uyulması, tesis işletmecisi tarafından sağlanmalıdır.

## 5.5 İşletme güvenliği

### 5.5.1 Çalışma ve tesis koruması

Biyogaz bir gaz karışımıdır ve metandan (% 50-75 hacim), karbondioksit (% 20-50 hacim), hidrojen sülfür (% 0,01-0,4 hacim) yanı sıra diğer eser gazlardan [5-1], [5-6] oluşmaktadır. Biyogazın özellikleri tablo 5.7'de diğer gazların özellikleriyle kıyaslanmaktadır. Tablo 5.8'de münferit biyogaz bileşenlerinin özellikleri görülmektedir.

Belirli konsantrasyonlarda biyogaz havadaki oksijenle birleştiğinde patlayıcı özelliğe sahip bir atmosfer oluşturabilir, bu nedenle bir biyogaz tesisinin kurulması ve işletilmesi sırasında, tesis koruma bölgesindeki özel güvenlik yönergelerine uyulmak zorundadır. Bunun dışında örneğin boğulma veya zehirlenmenin yanı sıra mekanik türden (örneğin ezilme tehlikesi) başka tehlikeler de söz konusudur.

İşveren veya biyogaz tesisi işletmecisi, biyogaz tesisi ile bağlantılı tehlikeleri belirlemek, değerlendirmek ve şayet gerekiyorsa, uygun tedbirleri almakla yükümlüdür. Tarımsal meslek kooperatifleri federal derneğinin "Biyogaz tesisleri için güvenlik kuralları" [5-6] bu bağlamda biyogaz tesisleri için temel güvenlikle ilgili konuların derli toplu bir özetini vermektedir. Burada tarımsal meslek kooperatiflerinin „İşyerleri, yapısal tesisler ve düzenekler“ (VSG 2.1) [5-9] madde 1 ile ilgili uygulama talimatı bağlamında güvenlik yönergeleri açıklanmakta ve somutlaştırılmaktadır. İlave dikkate alınması gereken düzenlemeler ile ilgili notlar verilmektedir.

Bu başlık, bir biyogaz tesisinin işletilmesi sırasındaki potansiyel tehlikeler hakkında genel bir bakış açısı sağlamayı ve bu konuya dikkat çekmeyi amaçlamaktadır. Risklerin değerlendirilmesi için esaslar ve tesis işletmesinin bununla bağlantılı güvenlik konuları, her defasında sözü edilen yönetmeliklerin [5-6], [5-8], [5-9], [5-10] geçerli kurallarına uymalıdır.

#### 5.5.1.1 Patlama ve yangın tehlikesi

Yukarıdaki bölümde bahsedildiği üzere, biyogaz hava ile birleştiğinde, belirli koşullar altında patlayıcı özelliğe sahip bir gaz karışımı oluşturabilir. Biyogazın ve bunun münferit bileşenlerinin patlama bölgeleri tablo 5.7 ve tablo 5.8'de gösterilmiştir. Sınırların üzerinde patlama tehlikesinin bulunmadığı, ancak yine de açık ateş, elektrikli cihazların kısa devre kıvılcımları veya şimşek çakması yüzünden yangınlar meydana gelebileceği unutulmamalıdır.



Tablo 5.7: Gazların özellikleri [5-6]

		Biyogaz	Doğal gaz	Propan	Metan	Hidrojen
Isıl değeri	kWh/m <sup>3</sup>	6	10	26	10	3
Yoğunluk	kg/m <sup>3</sup>	1,2	0,7	2,01	0,72	0,09
Havaya göre yoğunluk oranı		0,9	0,54	1,51	0,55	0,07
Tutuşma sıcaklığı	°C	700	650	470	600	585
Patlama bölgesi	%-Hac.	6-22	4,4-15	1,7-10,9	4,4-16,5	4-77

Tablo 5.8: Biyogaz bileşenlerinin özellikleri [5-6], [5-7], [5-8]

		CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	CO	H
Yoğunluk	kg/m <sup>3</sup>	0,72	1,98	1,54	1,25	0,09
Havaya göre yoğunluk oranı		0,55	1,53	1,19	0,97	0,07
Tutuşma sıcaklığı	°C	600	-	270	605	585
Patlama bölgesi	%-Hac.	4,4-16,5	-	4,3-45,5	10,9-75,6	4-77
AGW (MAK değeri)	ppm	Veri yok	5000	10	30	Veri yok

Bu nedenle biyogaz tesislerinin işletilmesi sırasında özellikle fermentör tanklarının ve gaz depolarının yakın çevresinde, patlayabilir gaz hava karışımlarının yanı sıra artan yangın tehlikesinin oluşabileceği hesaba katılmalıdır. Bir patlayabilir atmosferin oluşması olasılığına bağlı olarak çeşitli tesis bölgeleri „BGR 104 – patlama koruma kuralları” sayesinde “patlama tehlikesi altındaki bölgeler” (Ex bölgeleri) [5-10] şeklinde sınıflandırılır ve buralarda uygun işaretleme, tedbir ve güvenlik önlemleri alınmak zorunludur.

### Bölge 0

“0” bölgelerinde patlayabilir bir atmosfer sürekli, uzun süreler boyunca veya zaman olarak ağırlıklı şekilde oluşmaktadır [5-6], [5-10]. Ancak bu tip bölgeler normal durumlarda biyogaz tesislerinde bulunmamaktadır. Fermentör tankları da böyle bölgeler oluşturmamaktadır.

### Bölge 1

Bölge 1. normal işletimde arada sırada patlayabilir atmosferin oluşabileceği bölgeleri açıklamaktadır. Bunlar gaz depolarının giriş açıklıklarındaki veya fermentör tankının gaz ileten kısımlarında ki basınçlandırma düzeneklerinin, yüksek basınç emniyet subaplarının veya acil yakma bacasının yakınlarındaki bölgelerdir [5-6]. Bu bölgelerin etrafında 1 m'lik bir daire alanında (havalandırma açıkken) bölge 1 güvenlik tedbirleri uygulanmalıdır. Yani bu bölgede sadece bölge 0 ve bölge 1 için ilgili izne sahip ex korumalı işletme maddeleri ve cihazlar kullanılmalıdır. Kapalı mekanlarda

biyogazın açığa çıkması temelde engellenmelidir. Ancak bu tedbirler (bölge 1) mümkünse tüm mekana genişletilir [5-6].

### Bölge 2

Bu bölgelerde patlayabilir gaz hava karışımlarının ortaya çıkması normal koşullar altında beklenmemektedir. Ancak yine de söz konusu olursa, bunun nadir bir durum olduğu ve uzun sürmeyeceği düşünülmelidir (örneğin servis çalışmaları veya arıza durumu sırasında) [5-6], [5-10].

Bu örneğin fermentörün giriş açıklıkları yanı sıra iç kısmı ve gaz depolarında giriş ve çıkış açıklıklarının yakın çevresi ile ilgilidir. Söz konusu bölgelerde 1 ila 3 m'lik bir çevrede, bölge 2 tedbirleri alınmalıdır. [5-10].

Patlama tehlikesi altındaki bölgelerde (bölge 0-2) BRG 104. bölüm E2 uyarınca kıvılcım kaynaklarının engellenmesi için tedbirler alınmalıdır [5-10]. Kıvılcım kaynakları örneğin sıcak yüzeyler (turbo şarj), açık alevler veya mekanik ve elektriksel olarak üretilen kıvılcımlar olabilir. Ek olarak böylesi bölgeler ilgili ikaz ve uyarı levhalarıyla donatılmalıdır.

#### 5.5.1.2 Zehirlenme ve boğulma tehlikesi

Biyogazın açığa çıkması bilindiği üzere doğal bir süreçtir ve bu nedenle sadece biyogaz tesisleri ile kısıtlı değildir. Özellikle hayvansal üretimde, geçmişte biyogaz gazlarla bağlantılı olarak mütemediyen ölümcül kazalar meydana gelmiştir (örneğin sıvı gübre yer altı depoları, yem siloları vs.).

Biyogaz yeterince yüksek konsantrasyonlarda bulunursa, bulunduğu zehirlenme veya boğulma belirtilerinden ölüme kadar sonuçlara yol açabilir. Özellikle sülfürden arındırılmamış biyogazın içerdiği hidrojen sülfür ( $H_2S$ ) oranı, düşük konsantrasyonlarda bile ağır toksik etkiye sahiptir (bkz. Tablo 5.9).

Tablo 5.9: Hidrojen sülfürün toksik etkisi [5-7]

Konsantrasyon (havada)	Etki
0,03-0,15 ppm	Algılama eşiği (çürük yumurta kokusu)
15-75 ppm	Gözlerde ve solunum yollarında tahriş, mide bulantısı, kusma, baş ağrısı, bayılma
150-300 ppm (% 0,015-0,03)	Koku sinirlerinin felç olması
> 375 ppm (% 0,038)	Zehirlenme yüzünden ölüm (saatler sonra)
> 750 ppm (% 0,075)	Bayılma ve 30-60 dakika içinde solunum durması yüzünden ölüm
1000 ppm'den itibaren (% 0,1)	Solunum felci yüzünden birkaç dakika içerisinde hızlı ölüm

Bunun haricinde özellikle kapalı ve derinde bulunan mekanlarda, biyogaz nedeniyle oksijenin olmaması yüzünden boğulmalar meydana gelebilmektedir. Gerçi biyogaz  $m^3$  başına yaklaşık 1.2 kg nispi yoğunluk (D) ile havadan daha hafiftir, ancak ayrışım eğilimine sahiptir. Bu sırada daha ağır olan karbondioksit ( $D = 1.98 \text{ kg/m}^3$ ) zemin bölgesinde toplanırken, daha hafif olan metan ( $D = 0,72 \text{ kg/m}^3$ ) yukarı doğru yükselmektedir.

Bu nedenden dolayı kapalı mekanlarda, örneğin tadilat yapılmış gaz deposu, her zaman yeterince havalandırma sağlanmalıdır. Bunun haricinde potansiyel tehlike bölgelerinde (fermentör, bakım bacaları, gaz tankı vs.) kişisel koruyucu donanımlar (örneğin gaz ikaz cihazları, solunum koruma vs.) kullanılmalıdır.

### 5.5.1.3 Bakım ve muhafaza

Karıştırma, pompalama ve temizleme düzeneklerinin bakım standlarının, temelde işlem koridor üzerinde düzenlenmesi gerektiği dikkate alınmalıdır [5-6]. Eğer bu mümkün değilse, olası gaz çıkışı durumunda boğulma ve zehirlenme tehlikesini etkisizleştirmek için sabit monte edilmiş bir cebri havalandırma öngörülmelidir.

### 5.5.1.4 Kimyasallarla çalışma

Biyogaz tesislerinde çeşitli kimyasallar kullanım alanı bulmaktadır. Bunlar sıklıkla çeşitli demir tuzları formunda kimyasal desülfürizasyon için, pH değerinin stabilizasyonu için ilave madde olarak, proses optimizasyonu için kompleks mikro element veya enzim karışımı olarak kullanılmaktadır. Sözü edilen katkıları hem sıvı hem de katı biçimde (toz) bulunmaktadır. Bu ürünler genellikle zehirli ve aşındırıcı özelliklere sahip olduğundan, kullanımdan önce ürün bilgileri dikkate alınmalı ve dozaj ile uygulama bakımından üreticinin talimatlarına (örneğin toz maskesi, aside dayanıklı eldivenler vs.) mutlaka uyulmalıdır. Kimyasalların kullanımı temelde gerekli asgari ölçüye indirilmelidir.

### 5.5.1.5 Diğer potansiyel kaza tehlikeleri

Şimdiye kadar sözü edilen tehlike kaynaklarının yanında diğer kaza kaynakları, örneğin merdivenlerden düşme tehlikesi veya doldurma açıklıklarının içine düşme tehlikesi (katı madde yükleyici, temizleme hunisi, bakım davlumbazları vs.) bulunmaktadır. Burada kapaklar (klapeler, ızgaralar) veya yeterli yapı yüksekliği (> 1.8 m) yüzünden içeriye düşmenin engellenmesi temin edilmelidir [5-6]. Ayrıca hareketli tesis parçaları (karıştırma milleri, helezonlar vs.) diğer tehlike kaynaklarını oluşturmaktadırlar ve bunlar uygun uyarı levhalarıyla açıkça işaretlenmelidir.

Kombine ısı ve güç santralleri bölgesinde kurallara aykırı kullanım veya arızalar yüzünden ölümcül elektrik çarpmaları meydana gelebilir, çünkü burada birkaç yüz voltluk gerilimlere ve üç haneli amper aralığında akım şiddetine sahip elektrik enerjisi üretilmektedir. Aynı tehlike karıştırma mekanizmaları, pompalar, besleme düzenekleri vs. üzerinde de oluşmaktadır, çünkü bunlarda aynı şekilde yüksek elektrik gücüyle çalışılmaktadır.

Ayrıca bir biyogaz tesisinin ısıtma veya soğutma sistemleri (motor soğutucusu, fermentör ısıtıcısı, ısı konvertörü vs.) arızaları durumunda yanma tehlikesi bulunmaktadır. Bu, kombine ısı ve güç santrallerinin parçaları veya olası mevcut acil sistemler (örneğin gaz yakma bacası) ile de ilgilidir.

Bu tipte kazaları önlemek için söz konusu tesis parçalarında iyi görünür uyarı notları asılmalı ve işletme personeli bu bağlamda bilgilendirilmiş olmalıdır.

## 5.5.2 Çevre koruma

### 5.5.2.1 Hijyenleştirme talepleri

Hijyenleştirmenin hedefi, materyal içinde bulunması muhtemel mikropların ve patojen mikroorganizmaların etkisizleştirilmesi ve böylece salgın ve hijyenik açıdan sorunsuz bir ortamın oluşturulmasıdır. Tarımsal hammadde ve artık maddelerin yanında diğer ticari sektörlerin biyogen atıklarının kullanılması durumunda bu gerekli olmaktadır.

Bu durumda hukuki dayanaklar olarak AB yönetmeliği no. 1774/2003 yanı sıra biyolojik çöp yönetmeliğinden [5-13] bahsedilmelidir. AB yönetmeliği, insanların tüketimi için öngörülmemiş hayvansal yan ürünlerin işlenmesi için hijyen yönergelerini içermektedir [5-11]. Biyogaz tesislerinde resmi onaya göre kategori 2 malzemeleri buhar basıncı sterilizasyonundan sonra (küçültme < 55 mm, 3 bar basınçta asgari 20 dakika boyunca 133 °C [5-12]), sıvı gübre, ön işlenmemiş mide ve bağırsak içeriği yanı sıra kategori 3 malzemesi (örneğin mezbahe atıkları), hijyenleştirme sonrasında (yaklaşık 1 saat boyunca asgari 70 °C) kullanılabilir. Ancak sözü edilen yönetmelik tarımsal biyogaz tesislerinde neredeyse hiç uygulama alanı bulmamaktadır. Hayvansal yan ürünler olarak sadece mutfak ve yemek artıkları kullanılırsa, o zaman sözü edilen yönetmelik uygulama alanı bulmamaktadır. Biyolojik atık yönetmeliğine tabi olan düzenlemeler kullanılırsa, bir hijyenleştirme gerekli olmaktadır. Bu sırada 55 °C'lik bir asgari sıcaklığın yanı sıra, reaktörün içinde en az 20 günlük bir hidrolik bekleme süresi sağlanmalıdır.

### 5.5.2.2 Havanın temiz tutulması

Biyogaz tesislerinin işletilmesi sırasında havanın temiz tutulması ile ilgili çeşitli taleplere uyulmalıdır. Burada özellikle koku, zararlı madde ve toz emisyonları ile ilgili talepler söz konusudur [5-12]. Düzenlenmiş hukuki dayanakları Federal Emisyon Koruma Yasası (BImSchG) ve bunun uygulama hükümlerinin yanı sıra havanın temiz tutulması ile ilgili teknik talimat (TA Luft) oluşturmaktadır. Yasanın hedefi, çevrenin zararlı çevre etkilerine karşı korunmasının yanı sıra bunun oluşmasının engellenmesidir. Bu hukuki yönerge izin süreci çerçevesinde sadece toplam gücü 1 MW veya fazla olan büyük biyogaz tesislerinde ve biyolojik atıkların işlenmesi ile ilgili tesislerde uygulama alanı bulmaktadır (bkz. Bölüm 7.7.2).

### 5.5.2.3 Suların korunması

Biyogaz tesislerinin işletilmesi sırasında çevre üzerindeki zararlı etkiler mümkün olduğunca engellenmelidir. Bu, suların korunması bakımından çok genel olarak, biyogaz tesisinin yapısal bakımdan, yüzey sularının yanı sıra yer altı suları hiçbir şekilde kirletilmeyecek şekilde tasarlanmış olması anlamına gelmektedir. Hukuki düzenlemeler ülkelere özgü şekilde birbirine göre farklılık gösterebilir, çünkü suların korunması ile ilgili özel talepler ayrıca doğal bölge koşullarına (örneğin su koruma bölgesi) bağlıdır ve resmi kontrole tabidir.

Tarımsal biyogaz tesislerinde ağırlıklı olarak bulunan sıvı gübre, gübre şerbeti ve silaj sızıntı suyu gibi maddeler suyu tehdit etme sınıfı 1'e (suyu zayıf tehdit edici) sınıflandırılır, yenilenebilir hammaddeler aynı değerlendirmeye sahiptir [5-14]. Netice itibarıyla sözü edilen maddeler yüzünden yüzey ve yer altı sularının kirlenmesi, komple üretim zinciri boyunca engellenmelidir. Bu pratikte, tüm depo yerlerinin, depo ve fermentasyon kaplarının yanı sıra boru ve pompa hatlarının sıvı kaçırmaz ve izin verilen yapı tipinde uygulanmış olması gerektiği anlamına gelmektedir. Silaj yerlerine özellikle dikkat edilmelidir, çünkü burada uygunsuz hasat koşulları ve çok yüksek sıkıştırma basınçları durumunda ciddi miktarlarda silaj sızıntı suyu oluşabilmektedir. Çıkan fermentasyon ve sızıntı sularının ayrıca toplanması ve değerlendirilmesi yükümlülüğü bulunmaktadır. Bunların genelde ciddi miktarlarda organik bileşen içermesi nedeniyle, fermentör tanklarına aktarılması önerilmektedir. Özellikle büyük yağışlardan sonra gereksiz yere büyük miktarlarda yüksüz suların prosese aktarılması için, kirlenmiş ve yüksüz suyun ayrılması mantıklıdır. Bu, iki hat sistemi ve yüksüz suyun manuel değiştirme üzerinden su alıcısına yanı sıra kirli su ve sızıntı sularının biyogaz tesisine aktarılmasını sağlayan bağımsız drenaj sistemleri sayesinde gerçekleştirilebilmektedir [5-15].

Bunun haricinde münferit tesis bileşenlerinin bağlantı noktalarına özellikle dikkat edilmesi gerekmektedir. Özellikle materyal kabulü (katı maddeler ve sıvılar) yanı sıra fermentasyon artıklarının taşıma/dışarı aktarma araçlarına yüklenmesi bunların arasında sayılmaktadır. İstenmeyen malzeme çıkışı (örneğin taşma veya artık miktarlar) engellenmelidir veya kirlenmiş suyun bu bölgelerden toplanması temin edilmiş olmalıdır.

Bunun haricinde kombine ısı ve güç santralinin kurulum yerleri yanı sıra yeni, eski ve gerekiyorsa tutuşturma yağının depolanması, geçerli yönetmelik-

lere göre tasarlanmalıdır. Örneğin şanzıman ve motor yağının olası kaçakları belirlenmeli ve giderilebilmelidir [5-14].

#### 5.5.2.4 Gürültü koruması

Biyogaz tesislerinin gürültü kaynaklarını ağırlıklı olarak trafik gürültüsü oluşturmaktadır. Gürültü oluşumunun sıklığı ve yoğunluğu, tesis konseptine ve kullanılan hammaddeye bağlıdır. Tarımsal biyogaz tesislerinin büyük bölümünde trafik gürültüsü, materyalin yüklenmesi ile (taşıma, depolama/dozajlama sistemi) bağlantılı olarak her gün 1-2 saat boyunca oluşmaktadır. Materyallerin hasat edilmesi veya depolanması yanı sıra fermantasyon artıklarının dışarı nakledilmesi sırasında, artan trafik ve böylece gürültü oluşumu hesaba katılmalıdır.

Bir kombine ısı ve güç santralinde örneğin gaz değerlendirilmesi ile bağlantılı diğer yoğun gürültülü makineler genellikle mekansal açıdan kapalı, ses yalıtımlı bölgelerde kurulmuştur. Gürültü emisyonları için hukuki dayanak olarak, gürültüye karşı koruma ile ilgili teknik talimat (TA gürültü) geçerlidir.

## 5.6 Tesis optimizasyonu için notlar

Bu optimizasyonun amacı, bir prosesin gerçek durumunu belirli bir özellik bakımından, etki faktörlerinin hedefe yönelik değişimi sayesinde, tanımlanmış bir hedefe (optimum) ulaşılan kadar değiştirmektir.

Genel olarak bir biyogaz tesisinin işletilmesi, teknik, ekonomik ve çevre üzerine ki etkisi açısından optimize edilebilmektedir (Şek. 5.8). Bu sırada bu konular, birbirinden bağımsız optimize edilemez, bunlar daha çok birbirini karşılıklı etkilemektedir. Ayrıca bir optimizasyon probleminin çözülmesi sırasında, tek bir çözüm olanağı düşünülmemelidir, daha ziyade çok sayıda farklı çözüm olanağı değerlendirilmelidir.

Çeşitli olası çözümler daha sonra değerlendirme kriterlerinin temel alınması ile birbiriyle karşılaştırılabilmektedir. Değerlendirme için örneğin masraflar, gaz verimliliği veya çevre etkilerinin minimize edilmesi kullanılabilir. Daha sonra nihai bir değerlendirme ve tedbir amacıyla bir karar alınabilmesinin mümkün kılınması için belirlenmiş bir hedefin konularına uygun olarak değerlendirme kriterleri öncelikli önemlerine göre sınıflandırılmalıdır.

Pratikte sorumluluk sahibi her biyogaz tesisi işletmecisi bildirilen çerçeve koşulları (tesisi özgü olanlar

da dahil) altında elde edilecek toplam optimum şartları hedeflemelidir. Çerçeve koşulları değişirse, şimdiye kadarki hedef büyüklüklerinin korunup korunamayacağı veya uyarlanıp uyarlanamayacağı kontrol edilmelidir.

Optimizasyon, gerçek ve hedef durumun tanımlanmış olması şart koşmaktadır. Gerçek durumun tanımlanması, tesis işletmesindeki uygun verilerin toplanması sayesinde gerçekleşir. Eğer örneğin tesisin kendi enerji ihtiyacı düşürülecekse, hangi bileşenlerin enerji tüketimine katkıda buldukları ve kullandıkları enerji miktarları araştırılmalıdır. Hedef durum planlama verilerine dayanarak, kullanılan teknolojilerin kıyaslanabilir güç verilerinden, teknik durumu yansıtan yayınlardan, diğer işletmecilerin ifadelerinden (örneğin forumlar, uzman görüşmeleri vs.) ya da hazırlanmış ekspertizlerden tanımlanabilmektedir.

Gerçek hedef durumunun tanımlanmasını sonra somut hedef değerlerinin tanımlanması, bu hedef değerlere ulaşılması için tedbirlerin gerçekleştirilmesi ve ardından hedef değerlere ulaşılması bakımından tedbirlerin geçerli hale getirilmesi ve başka bölümler üzerine olası etkiler takip etmektedir.

Her şeyden önce ilgili proses verilerinin toplanması ve dokümantasyonu alanında birçok tesiste eksikler bulunmaktadır, böylece çoğunlukla gerçek durumun kalifiye bir analizi mümkün değildir. Buradan kıyaslama değerlerinin üretilmesi için verilerin sadece sınırlı kapsamda yardımcı olduğu sonucu çıkmaktadır. Prosesle ilgili verilerin kapsamlı bir şekilde derlenmesi, federal ölçme programları [5-38] çerçevesinde gerçekleştirilmiştir ve ayrıca KTBL, biyogaz tesislerinin işletilmesi ile ilgili referans veriler yayınlamaktadır.

"Biyogaz tesisleri için kalite kriterleri" VDI yönetmeliği 4631'de, prosesin değerlendirilmesi ile ilgili temel referans büyüklükleri sunmuştur. Burada, verilerin toplanması için fayda sağlayan, kapsamlı kontrol listeleri de kullanıma sunulmaktadır.

Aşağıda, biyogaz tesisinin değerlendirilmesi ve ardından optimizasyonu için başvurulabilecek bazı seçilmiş parametreler listelenmelidir.

İşletim için genellikle işletme koşullarının mümkün olduğu kadar sabit tutulmak zorunda olduğu bilinmelidir. Sadece bu şekilde mantıklı bir gerçek durum tanımlanabilmektedir.

Tesis üzerinde konseptiyonel bir değiştirme gerçekleşirse, proses hedefleri uygun şekilde uyarlanmalıdır.



Şekil 5.8: Optimizasyon olanakları

### 5.6.1 Teknik optimizasyon

Bir biyogaz tesisinin işletme optimizasyonu, teknolojinin büyük oranda temini, devre dışı kalma sürelerinin minimize edilmesini ve sorunsuz bir proses yönetimini hedefler.

Bu hedef tabii ki tesislerin ekonomisi üzerine dolaylı etkilerde bulunur, çünkü tesis sadece yüksek bir yüklemeye planlanan gücü üretebilmektedir. Öte yandan yüksek bir teknolojik kurulum yüksek masraflara da yol açar, uygun masraf fayda analizi, ekonomik optimizasyon çerçevesinde uygulanmalıdır.

Komple tertibatın yararlanılabilirliğinin tahmin edilmesi için genellikle işletme saatlerinin yanı sıra tam yük saatlerinin toplanması ve dokümantasyonu işe yaramaktadır. İlave devre dışı kalma süreleri ve düzenlenmiş arıza nedenleri yanı sıra çalışma zamanları ve arızaları gidermek için mali yükün bilinmesi gerekiyorsa, prosesdeki zayıf noktalar teşhis edilmelidir.

Teknik düzeneklerin yararlanılabilirliği çok genel anlamda aşağıdaki tedbirler sayesinde artırılabilir:

- Bakım periyotlarına uyulması
- İleriye dönük bakım
- Arızaların belirlenmesi için ölçme tekniğinin kurulması
- Önemli yedek parçaların stokta tutulması
- Üretici veya bölgesel atölyeler tarafından hızlı servis hizmetinin verilmesi
- Kritik bileşenlerin gereksiz kullanımı
- Düşük aşınmaya sahip elemanların ve malzemelerin kullanılması.

Kullanılan teknolojinin işlevselliği, stabil bir bozunma prosesi için önkoşuldur. Besleme veya karıştırma sırasında sistemlerin devre dışı kalmaları söz konusu olursa, biyolojik proses doğrudan etkilenmektedir. Bi-

yolojik sürecin optimizasyonu açısından bölüm 2 yanı sıra bu başlığın ilgili bölümlerine bakılmalıdır.

### 5.6.2 Tüm tesisin verimlilik analizi (enerji akışları bazında materyal kullanımı )

Yüksek bir teknolojik düzey kullanılıyorsa, tesisin enerji ihtiyacının ve muhtemel enerji kayıplarının araştırılması ve muhtemel tasarruflar belirli koşullar altında verimlilik artırılabilir. Burada, temel enerji akımlarının ve zayıf noktaların belirlenmesi için tesisin komple incelenmesi olanağı bulunmaktadır. Bu sırada aşağıdaki hususlar dikkate alınmalıdır:

- Materyal hazırlama (miktar, materyalin kalitesi, silajlamanın kalitesi, materyal girişi)
  - Silaj kaybı (silajlama kalitesi, besleme, kesit yüzünün büyüklüğü, sızma suyu)
- Proses biyolojisi (besleme periyotları, ulaşılan bozunma derecesi, özgül biyogaz miktarı, ve bileşimi, tesisin stabilitesi, materyal bileşimi, asit konsantrasyonları)
- Gazın değerlendirilmesi (kombine ısı ve güç santrali etki derecesi (elektrikli ve termik), metan değişimi, motor ayarları, bakım periyotları)
- Fermantasyon artığı (fermantasyon artığında kalan gaz potansiyeli, fermentasyon artığının değerlendirilmesi)
- Metan kayıpları (kaçaklar yüzünden emisyonlar)
- Tesis işletimi için iş yükü ve arızaların giderilmesi, bekleme zamanları
- Tesisin kendi enerji tüketimi
  - Sayaç değerlerinin düzenli toplanması (enerji tüketimi, süreler )
  - Elektrik tüketimlerinin sınırlanması (örneğin karıştırma mekanizmaları, besleme sistemi, kombine güç ve ısı santrali...)
  - Karıştırma sistemlerinin, karıştırıcı çalışma sürelerinin ve karıştırma yoğunluğunun koşullara uydurulması
  - Gereksiz yüklemelerin yapılmaması
  - Verimli ve düşük tüketimli materyal hazırlama ve aktarma tekniklerinin kullanılması
- Isı faydalanma konsepti.

Genel olarak biyogaz tesislerinde, "Biyogaz tesisi sistemi"nin, birbiriyle uyumlu çalışan çok sayıda münferit bileşenden oluştuğu unutulmamalıdır. Bu nedenle planlama aşamasında zincirin bütün olarak çalışması gerektiği dikkate alınmalıdır – çalışan münferit bileşenlerin tedarik edilmesi çalışan bir biyogaz tesisi anlamına gelmez.

Pratikte yöntem zinciri dahilinde, ardıl düzenlenmiş tesis elemanlarının performansını ve böylelikle

ekonomikliğini sınırlayan bir “darboğaz” oluşması sıkça gözlemlenmektedir. Çoğu zaman örneğin gaz üretme performansı, kombine ısı ve güç santralının kapasitesine ulaşmaz, ancak örneğin değiştirilmiş bir materyal karışımı veya 2. fermentör kademesinin kapasitesinin daha iyi kullanılması sayesinde ihtiyaç duyulan gaz üretim performansına ulaşılabilmektedir.

Bu nedenle enerji akımlarının toplanmasının yanında, madde akım toplamları da tesis işletimindeki açıkları belirlemek için uygun bir yoldur.

### 5.6.3 Ekonomik optimizasyon

Ekonomik optimizasyon, masrafların düşürülmesini ve verimliliğin artırılmasını hedefler. Ekonomik optimizasyon, teknik optimizasyon gibi tüm kısmi proseslerin üzerinde uygulanabilmektedir. Burada da ilk adım, masraflara yol açan sebeplerin teşhis edilmesi, daha sonra da bu masrafların uygun şekilde azaltılmasıdır.

Komple tesis gücü hakkında bir ilk fikir edinmek için elektrik üretim maliyeti (örneğin €/kWh olarak) veya özgül yatırım masrafları (€/kW elektriksel kurulu güç) işe yaramaktadır. Bunlar için karşılaştırmalı araştırmalar bulunmaktadır, (örneğin federal ölçme programı [5-38]), böylece tesisin komple ekonomisinin bir düzenlenmesi mümkün olmaktadır. Detaylı bir araştırma için aşağıdaki ekonomik verilerin analizi ve kıyaslanması yapılabilir:

- İşletme masrafları
  - Personel masrafları
  - Bakım masrafları
  - Onarımlar için masraflar
  - Enerji için masraflar
  - Muhafaza masrafları
- Yatırım masrafları (amortisman), tasfiye, faiz
- Materyal masrafları (materyal kalitesi ve materyal miktarları ile bağlantılı)
- Üretilen elektrik ve ısı gelirleri
- Materyal için gelirleri
- Fermantasyon artıkları/gübre gelirleri.

### 5.6.4 Çevre etkilerinin minimize edilmesi

Çevre etkilerinin minimize edilmesi, çevre üzerindeki etkilerin azaltılmasını hedeflemektedir. Burada özellikle havaya, suya ve toprağa zararlı maddelerin yayılması incelenmektedir.

- Sızıntı suyu (silaj sızıntı suyunun) toplanması ve değerlendirilmesi, depo yüzeylerinden akma)

- Biyogaz tesisinin metan emisyonları (fermantasyon artığı deposunun gaz kaçırmaz şekilde kapatılması, kaçakların belirlenmesi, gaz değerlendirme sırasında kaçaklar, motor ayarları, bakımlar)
- Formaldehit, NO<sub>x</sub>, sülfür oksit, karbonmonoksit (sadece kombine ısı ve güç santrallerinde, motor ayarları, eksoz gazı temizleme)
- Koku emisyonları (üzeri kapatılmış besleme, depo yüzeyleri ve fermentasyon artığı deposu, ayrılmış fermentasyon artıkları)
- Gürültü emisyonları
- Fermantasyon artıklarının çıkartılmasından sonra: Amonyak emisyonları, azot oksit emisyonları (boşaltma ve işleme sırasında).

Çevre üzerine olumsuz etkilerin yanında, silaj sızıntı suyu, metan ve amonyakın kontrolsüz emisyonları, komple tertibatın verimliliği bakımından kayıplar anlamına gelmektedir. Burada emisyonun azaltılması için yapısal veya işletmeye dayalı bir tedbir kesinlikle ekonomik olabilir (örneğin fermentasyon artığı deposunun gaz kaçırmaz şekilde kapatılması). Esas olarak tesis düzenli olarak olası emisyonlar bakımından araştırılmalıdır, burada çevre ve ekonominin yanında çoğunlukla güvenlikle ilgili konular da dikkate alınmalıdır.

## 5.7 Kaynakça

- [5-1] Kloss, R.: Planung von Biogasanlagen; Oldenbourg Verlag München, Wien, 1986
- [5-2] Kroiss, H.: Anaerobe Abwasserreinigung; Wiener Mitteilungen Bd. 62; Technische Universität Wien, 1985
- [5-3] Weiland, P.: Grundlagen der Methangärung – Biologie und Substrate; VDI-Berichte, Nr. 1620 „Biogas als regenerative Energie – Stand und Perspektiven“; S. 19-32; VDI-Verlag 2001
- [5-4] Resch, C.; Wörl, A.; Braun, R.; Kirchmayr, R. : Die Wege der Spurenelemente in 100% NAWARO Biogasanlagen; 16. Symposium Bioenergie-Festbrennstoffe, Flüssigkraftstoffe, Biogas; Kloster Banz, Bad Staffelstein, 2007
- [5-5] Kaltschmitt, M.; Hartmann, H.: Energie aus Biomasse – Grundlagen, Techniken und Verfahren; Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 2001
- [5-6] Technische Information 4, Sicherheitsregeln für Biogasanlagen; Bundesverband der landw. Berufsgenossenschaften e.V.; Kassel 2008
- [5-7] Falbe, J. et al. (Hrsg); Römpp Chemie Lexikon; Georg Thieme Verlag; 9. Auflage; Stuttgart, 1992
- [5-8] Arbeitsplatzgrenzwerte (TRGS 900); Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin; Download vom 30.06.09; [http://www.baua.de/nn\\_5846/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/TRGS/TRGS-900/content.html? nnn=true](http://www.baua.de/nn_5846/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/TRGS/TRGS-900/content.html? nnn=true)

- [5-9] „Arbeitsstätten, bauliche Anlagen und Einrichtungen“ (VSG 2.1); Bundesverband der landwirtschaftlichen Berufsgenossenschaften; Download vom 30.06.09; [http://www.lsv.de/lsv\\_all\\_neu/uv/3\\_vorschriften/vsg21.pdf](http://www.lsv.de/lsv_all_neu/uv/3_vorschriften/vsg21.pdf)
- [5-10] BGR 104 – Explosionsschutz-Regeln, Sammlung technischer Regeln für das Vermeiden der Gefahren durch explosionsfähige Atmosphäre mit Beispielsammlung zur Einteilung explosionsgefährdeter Bereiche in Zonen; Carl Heymanns Verlag; Köln, 2009
- [5-11] Verordnung (EG) Nr. 1774 des Europäischen Parlaments und des Rates; Brüssel 2002
- [5-12] Görsch, U.; Helm, M.: Biogasanlagen-Planung, Errichtung und Betrieb von landwirtschaftlichen und industriellen Biogasanlagen; Eugen Ulmer Verlag, 2. Auflage, Stuttgart 2007
- [5-13] Verordnung über Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden (Bioabfallverordnung - BioAbfV), 1998
- [5-14] „Errichtung und Betrieb von Biogasanlagen-Anforderungen für den Gewässerschutz“; Anlagenbezogener Gewässerschutz Band 14; Niedersächsisches Umweltministerium, Hannover, 2007
- [5-15] Verhülsdonk, C.; Geringhausen, H.: Cleveres Drainage-System für Fahrtilos; top agrar Nr. 6/2009
- [5-16] Seyfried, C.F. et al.: Anaerobe Verfahren zur Behandlung von Industrieabwässern. Korrespondenz Abwasser 37, S. 1247-1251, 1990
- [5-17] Bischoff, M.: Erkenntnisse beim Einsatz von Zusatz- und Hilfsstoffen sowie Spurenelementen in Biogasanlagen; VDI Berichte, Nr. 2057; „Biogas 2009- Energieträger der Zukunft“; VDI Verlag, Düsseldorf 2009, S.111-123
- [5-18] Weißbach, F. und C. Strubelt: Die Korrektur des Trockensubstanzgehaltes von Maissilagen als Substrat für Biogasanlagen. Landtechnik 63 (2008), H. 2. S. 82-83
- [5-19] Kranert, M. Untersuchungen zu Mineralgehalten in Bioabfällen und Gärrückständen in Müll und Abfall Ausgabe 11/2002 S.612-617
- [5-20] Tippe, H. (1999): Prozessoptimierung und Entwicklung von Regelungsstrategien für die zweistufige thermophile Methanisierung ligno-zellulosehaltiger Feststoffsuspensionen, Dissertation an der TU Berlin, Fachbereich 15, Lebensmittelwissenschaften und Biotechnologie.
- [5-21] Kroeker, E.J., Schulte, D. D. (1979): Anaerobic treatment process stability in Journal water pollution control Federation Washington D.C. 51 p. 719-728
- [5-22] Bischofberger, W.; Böhnke, B.; Seyfried, C.F.; Dichtl, N.; Rosenwinkel, K.H. (2005): Anaerobtechnik; Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York;
- [5-23] Braun, R. (1984): Biogas-Methangärung organischer Abfallstoffe, 1. Aufl. Springer-Verlag, Wien, New York.
- [5-24] K. Buchauer; A comparison of two simple titration procedures to determine volatile fatty acids in influents to waste-water and sludge treatment processes; Water SA Vol. 24 No 1; Januar 1998
- [5-25] Rieger, C. und Weiland, P. (2006) : Prozessstörungen frühzeitig erkennen in Biogas Journal 4/06 S. 18-20
- [5-26] Braha, A. (1988): Bioverfahren in der Abwassertechnik: Erstellung reaktionskinetischer Modelle mittels Labor-Bioreaktoren und Scaling-up in der biologischen Abwasserreinigung. Udo Pfriemer Buchverlag in der Bauverlag GmbH, Berlin und Wiesbaden
- [5-27] Sahm, H. Biologie der Methanbildung, Chemie- Ingenieur Technik 53, Nr.11 (1981)
- [5-28] Europäische Patentanmeldung Patentblatt 2008/49, Anmeldenummer 08004314.4. Oechsner, Hans et al. 2008
- [5-29] Mudrack und Kunst: Biologie der Abwasserreinigung Spektrum Verlag 2003
- [5-30] Dornak, C; (2000): Möglichkeiten der Optimierung bestehender Biogasanlagen am Beispiel Plauen/Zobes in Anaerobe biologischen Abfallbehandlung, Tagungsband der Fachtagung 21-22.2. 2000, Beiträge zur Abfallwirtschaft Band 12, Schriftenreihe des Institutes für Abfallwirtschaft und Altlasten der TU Dresden
- [5-31] Resch, C.; Kirchmayer, R.; Grasmug, M.; Smeets, W.; Braun, R. (2005) Optimised anaerobic treatment of household sorted biodegradable waste and slaughterhouse waste under high organic load and nitrogen concentration in half technical scale. In conference proceedings of 4 th International symposium of anaerobic digestion of solid waste 31.8.05-2.9.05 Kopenhagen
- [5-32] Mc Carty, P.L.; McKinney (1961): Salt toxicity in anaerobic digestion Journal water pollution control Federation Washington D.C. 33, 399
- [5-33] Mc Carty, P.L. (1964): Anaerobic waste treatment Fundamentals-Part 3 Toxic material and their controls Pub. Works Nov., 91
- [5-34] Angelidaki, I.; Ahring, B.K. (1994): Anaerobic thermophilic digestion of manure at different ammonia loads: effect of temperature. Wat Res 28: 727-731
- [5-35] Liebetau, J. Regelungsverfahren für die anaerobe Behandlung von organischen Abfällen, Rhombos Verlag 2008
- [5-36] Holubar, P.; Zani, L.; Hager, M.; Fröschl, W.; Radak, Z.; Braun, R.; (2003): Start up and recovery of a biogas reactor using a hierarchical network based control tool, J.Chem.Technol. Biotechnol. 78 847-854
- [5-37] Heinzle, E.; Dunn, I.J.; Ryhiner, G.B. (1993): Modelling and control for Anaerobic Wastewater treatment, Advances in Biochemical Engineering Biotechnology, Vol 48, Springer Verlag 1993
- [5-38] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (Hrsg.): Biogas-Messprogramm II, Gülzow, 2009



# Biyogazın hazırlanma ve değerlendirme olanakları

Almanya'daki güncel biyogaz kullanımı, tesisin bulunduğu yerde elektrik üretimine dayanır. Bu amaçla ağırlıklı olarak elektrik üretimi için jeneratörü çalıştıran içten yanmalı motorlar kullanılır. Bunun ötesinde biyogazı mikro gaz türbinlerinde, yakıt hücrelerinde ve stirling motorlarında da kullanma imkanı bulunmaktadır. Jeneratör ile elektrik enerjisi üretimi dışında ki değerlendirme yöntemlerikazanılan biyogazın elektriğe dönüştürülmesine hizmet etmesine rağmen, bu güne kadar yok denecek ölçüde az gerçekleştirilmiştir. Bir diğer kullanım alanı ise uygun brülörlerde veya ısıtma kazanlarında ısı enerjisi üretimi amaçlı kullanımındır.

Bunun yanı sıra son yıllarda biyogazın hazırlandıktan sonra doğalgaz şebekesine verilmesi seçeneği de yaygın kullanım alanı bulmuştur. Ağustos 2010 tarihinde üretilen biyometanı doğalgaz hattına veren 38 tesis bulunuyordu [6-9]. Çok sayıda başka proje de önümüzdeki yıllarda gerçekleştirilecektir. Burada Almanya Federal hükümetinin 2020 yılına kadar altı milyar metreküp doğalgazı biyogaz ile ikame etmeye yönelik iddialı hedefini de unutmamak gerekir. Şebeke beslemesine alternatif olarak biyometanın doğrudan yakıt olarak kullanılması da söz konusudur, ancak bu Almanya'da henüz çok küçük bir oranda gerçekleşmiştir.

Kazanılan ham gazın doğrudan kullanımı, gazın içinde biyogaza özgü kükürt gibi maddelerin bulunmasından ötürü aslında mümkün değildir. Biyogaz bu nedenle çeşitli kombinasyonlarda kullanım imkânlarının ön koşulu olarak bu bölümün başında ele alınan çeşitli arındırma işlemlerinden geçer.

## 6.1 Gaz arındırma ve gaz hazırlama

Ham biyogaz su buharına doymuştur ve metan ( $\text{CH}_4$ ) ile karbondioksitin ( $\text{CO}_2$ ) yanı sıra, azımsanmayacak miktarlarda hidrojen sülfür ( $\text{H}_2\text{S}$ ) de içerir.

Hidrojen sülfür toksittir ve hoş olmayan çürük yumurta kokusu yayar. Hidrojen sülfür ile biyogazda bulunan su buharı bir araya geldiğinde sülfürik asit oluşur. Asitler biyogazın değerlendirilmesinde kullanılan motorlar ve bunun öncesinde ve sonrasında bulunan yapı parçalarına (gaz hattı, atık gaz hattı) zarar verirler. Kükürt bileşenleri, sistem çıkışındaki arındırma basamaklarında ( $\text{CO}_2$ 'den arındırma) güç azalmasına neden olur.

Bundan ötürü tarımsal biyogaz tesislerinde normalde kükürtten arındırma ve kazanılan biyogazın kurutulması işlemi gerçekleşir. Biyogazda bulunan diğer maddelere veya kullanılan diğer teknolojilere (örneğin doğalgaz ikamesi olarak) bağlı olarak, daha geniş çerçevede bir gaz hazırlama sistemine gerek olabilir. Kombine ısı ve güç santrali üreticileri, asgari taleplerini kullanılan yanıcı gazların özelliklerine göre ayarlarlar. Bu, biyogazın kullanımı için de geçerlidir. Daha uzun bakım aralıkları ve motorların hasar görmesinin engellenmesi için yanıcı gazların özelliklerine uyulmalıdır.

### 6.1.1 Desülfürizasyon

Desülfürizasyon işlemi esnasında çeşitli yöntemler kullanılır. Biyolojik, kimyasal ve fiziksel desülfürizasyon yöntemleri olabileceği gibi, uygulama durumuna göre kaba ve ince desülfürizasyondan da söz edilebilir. Uygulanan yöntem ya da yöntemler kombinasyonu, bunun ardından gelen yararlanma sistemine göre düzenlenir. Ele alınan yöntemlerin karşılaştırılması bir genel bakış tablo 6.1'de görülmektedir.

Gaz bileşiminin yanı sıra biyogazın özellikle desülfürizasyon düzeneğinde oluşan akış hızı önemli bir



Tablo 6.1: Desülfürizasyon işlemi sürecine genel bakış [6-32]

Yöntem	Enerji ihtiyacı		İşletim maddeleri		Hava girişi	Safalık ppmv olarak	DVGW Gerçekleşti mi? <sup>a</sup>	Problemler
	El.	Term.	Tüketim	Atığa çıkarma				
Fermentörde Biyo. desülfürizasyon	++	o	++	++	Evet	50-2.000	Hayır	Kesin olmayan Proses kontrolü
Harici biyo. desülfürizasyon	-	o	+	+	Evet	50-100	Hayır	Kesin olmayan Proses kontrolü
Biyogaz yıkayıcı	-	o	-	+	Hayır	50-100	Hayır	Yüksek işlem maliyeti
Sülfür çökelimi	o	o	--	o	Hayır	50-500	Hayır	Ağır işleyen yöntem
Dahili kimyasal desülfürizasyon	o	o	--	--	Evet	1-100	Hayır	Hızla azalan arındırma etkisi
Aktif karbon	o	o	--	-	Evet	< 5	Evet	Yüksek atık miktarları

a. DVGW yönergesi G 260 uyarınca

++ özellikle avantajlı, + avantajlı, o nötr, - dezavantajlı, -- özellikle dezavantajlı

Tablo 6.2: Fermentördeki biyolojik desülfürizasyonun referans değerleri ve uygulama parametreleri

Referans değerler	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Üretilen biyogaz miktarının % 3-6'sı oranında hava ilavesi</li> </ul>
Uygunluk	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Üzerinde yeterli gaz bölmesi bulunan bütün fermentörler</li> <li>• Akabinde doğalgaz şebekesine besleme anlamlı değildir</li> </ul>
Avantajları	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Çok düşük maliyet</li> <li>+ Kimyasal kullanımına gerek kalmaz</li> <li>+ Bakım ve arıza gerektiren durumlar ortaya çıkarmayan teknoloji</li> <li>+ Kükürt fermantasyon artıklarına geri döner ve böylece gübre olarak kullanılabilir</li> </ul>
Dezavantajlar	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gerçekten serbest bırakılan hidrojen sülfür miktarı belli değildir</li> <li>- Hidrojen sülfür bozunması amaçlı optimasyon sağlanamaz</li> <li>- Oksijen ilavesi nedeniyle prosesin olumsuz etkilenmesi ve metan oksidasyonu ihtimali</li> <li>- Gaz bölümündeki gece, gündüz ve yıllık sıcaklık dalgalanmaları, desülfürizasyon üzerinde olumsuz etki yaratabilir</li> <li>- Serbest bırakılan gaz miktarındaki dalgalanmalara müdahale edilemez</li> <li>- Fermentörde korozyon ve patlayıcı gaz karışımlarının oluşma tehlikesi</li> <li>- Doğalgaz kalitesinde hazırlanmaya uygun değil</li> <li>- Isıl değeri/ısıl değerinin düşmesi</li> </ul>
Özel durumlar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kükürt bakterileri için büyüme yüzeyleri bulunmalıdır veya ayrıca oluşturulmalıdır, çünkü mevcut yüzey genellikle desülfürizasyon için yeterli değildir.</li> <li>• Reaktöre yapılan oksijen beslemesinin düzenlemesiyle optimasyon ve kesintisiz hidrojen sülfür ölçümü mümkündür</li> </ul>
Yapı formları	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gaz akışının manuel kumandası için düzenleme valfi ve akış göstergesi bulunan çok küçük kompresörler ya da akvaryum pompaları</li> </ul>
Bakım	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Neredeyse hiç gerekli değil</li> </ul>

rol oynar. Bu, proses kontrolüne bağlı olarak ciddi dalgalanmalar gösterebilir. Özellikle yüksek geçici biyogaz üretim miktarları ve bunun sonucu oluşan yüksek akım hızları, fermentörün ham materyalle yüklenmesinden sonra ve karıştırıcıların çalışması esnasında gözlenebilir. Kısa süreli yüksek akış hızları, ortalama değer % 50'sinin üzerinde gerçekleşebilir. Kükürttten arındırmanın güvenilir bir şekilde gerçekleşmesi için genellikle aşırı boyutlandırılmış kükürttten arındırma sistemleri kullanılır ya da farklı yöntemler kombine edilir.

### 6.1.1.1 Fermentörde biyolojik desülfürizasyon

Biyolojik desülfürizasyon sıklıkla fermentörde uygulanır, ancak sonrasında uygulanacak yöntemler de düşünülebilir. *Sulfobacter oxydans* bakterisi hidrojen sülfürü oksijen kullanmak suretiyle elementer kükürte dönüştürür, bu da fermantasyon artıklarıyla birlikte reaktörden dışarı atılır. Bakteri bunun için fermentörde yeterince bulunan besin maddelerine ihtiyaç duyar. Bu bakteriler her yerde buldukları için, ayrıca eklenmelerine gerek yoktur. Gereken oksi-

jen örneğin çok küçük bir kompresörle (örneğin akvaryum kompresörü) içeri hava üflenmesi suretiyle fermentöre aktarılmış olur. Ulaşılan kalite, kükürtten arındırılmış gazın kombine ısı ve güç santrallerinde yakılabilmesi için genellikle yeterlidir. Sadece ham gaz içindeki nispeten büyük konsantrasyon dalgalanmaları kükürt konsantrasyonunda büyük değişimler neden olabilir, bu da kombine ısı ve güç santralleri üzerinde olumsuz etki yapar. Buna karşın bu yöntem doğalgaz kalitesine ulaşma için uygun değildir, çünkü yükselen azot ve oksijen konsantrasyonları çok zor ayrıştırılabilir ve bu da gazın yanma özelliklerine olumsuz etki yapar. Fermentörde biyolojik desülfürizasyonun özellikleri tablo 6.2’de belirtilmiş olup, Şekil 6.1’de bir örnek verilmiştir.

#### 6.1.1.2 Harici reaktörlerde biyolojik desülfürizasyon – damlatmalı filtre yöntemi

Yukarıda belirtilen dezavantajlardan kaçınabilmek için biyolojik desülfürizasyon fermentörün dışında, damlatmalı filtre olarak anılan bir yöntemle de yapılabilir. Bazı firmalar bu yöntem için ayrı kaplarda düzenlenmiş biyolojik desülfürizasyon filtreleri satmaktadır. Bu sayede desülfürizasyon için gereken hava ve oksijen beslemesi gibi çerçeve koşullarına daha kesin bir şekilde uyma imkanı bulunmaktadır. Fermente olmuş materyalin gübre etkisini yükseltmek için, proste ortaya çıkan kükürt fermantasyon artışı depo-



Şekil 6.1: Fermentörün gaz bölmesine hava üflenmesi için gaz düzenlemesi [DBFZ]

sundaki fermente olmuş materyale yeniden eklenebilir.

Hidrojen sülfürün bir filtre yardımıyla absorbe edildiği (oksijen eklemek suretiyle çözeltinin rejenerasyonu) damlatmalı filtre yönteminde % 99’a kadar bozunma oranlarına ulaşılabilir, bu da 50 ppm (kükürt) altında bir atık gaz konsantrasyonlarına neden olabilir [6-24]. Yaklaşık % 6 oranında yüksek hava ilavesi nedeniyle bu yöntem biyometan hazırlanması için uygun değildir [6-5].

Tablo 6.3: Harici biyolojik desülfürizasyon sistemlerinin referans değerleri ve uygulama parametreleri

Referans değerler	<ul style="list-style-type: none"> <li>• % 99 oranının üstünde arındırma mümkün (örneğin 6.000 ppm’den &lt; 50 ppm)</li> <li>• Teknik her boyuttan biyogaz tesisi için temin edilebilir</li> </ul>
Uygunluk	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bütün biyogaz üretim sistemleri</li> <li>• Kaba desülfürizasyon</li> <li>• Damlatmalı filtre sütunu gazın enterkonnekte sisteme beslenmesi için uygun değildir</li> </ul>
Avantajları	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Gerçekte serbest bırakılan hidrojen sülfür miktarına göre boyutlandırma mümkün</li> <li>+ Besin maddeleri, hava ilavesi ve ısı yönetimi ile hidrojen sülfür bozunmasının hedefli optimasyonu sağlanabilir</li> <li>+ Fermentöre oksijen girmesi nedeniyle proses olumsuz etkilenmez (çünkü hava ilavesi fermentörün dışında gerçekleşmektedir)</li> <li>+ Kimyasal kullanımına gerek kalmaz</li> <li>+ Kolaylıkla güçlendirilebilir teknoloji</li> <li>+ Yeterli boyutlandırmada gaz miktarındaki kısa süreli dalgalanmalar gaz kalitesi üzerinde negatif bir etki yaratmaz</li> </ul>
Dezavantajlar	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ek maliyet getiren ilave düzeneç (Damlatmalı filtre sisteminde optimum ısı sınırları 28–32 °C)</li> <li>- Ek bakım ihtiyacı (besin maddesi hazırlanması)</li> <li>- Biyogaza çok fazla hava veren damlatmalı filtre sistemi</li> </ul>
Özel durumlar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Harici desülfürizasyon sistemleri</li> </ul>
Yapı formları	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plastikten veya çelikten yapılmış ve bağımsız inşa edilen, taşıyıcılarla dolu sütunlar, kazanlar veya konteynırlar, kısmen bir mikroorganizma emülsiyonu geri yıkamasıyla (damlatmalı filtre yöntemi)</li> </ul>
Bakım	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Biyolojik mikroorganizma emülsiyonları büyük zaman aralıklarıyla tekrar doldurulmalı ya da taşıyıcılar uzun vadede değiştirilmelidir</li> </ul>



Şekil 6.2: Harici biyolojik desülfürizasyon sütunları, sağda bir gaz deposunun yanında [S&H GmbH & Co. Umwelt-engineering KG]

### 6.1.1.3 Biyokimyasal gaz yıkama – Biyo yıkayıcı

Damlatmalı filtre yönteminin ve dahili desülfürizasyonun aksine, biyo yıkayıcı biyogazın doğalgaz kalitesinde hazırlanabilmesi için kullanılacak tek biyolojik yöntemdir. İki basamaklı bu yöntem bir dolgulu kolondan ( $H_2S$ 'nin inceltmiş bir potasyum oksit çözeltisiyle absorbiyonu), bir biyoreaktör (yıkamış çö-

zeltinin havadaki oksijenle rejenerasyonu) ve bir kükürt ayırıcısından (elementer kükürtün ayrılması) oluşur ve ayrı rejenerasyon ile biyogaza hava karışmasını engeller. Bu sayede her ne kadar bir damlatmalı filtre sistemindekine benzer çok yüksek sülfür yükleri elimine edilebilirse de ( $30.000 \text{ mg/m}^3$ 'e kadar), bu teknoloji çok karmaşık aletler gerektirdiğinden sadece yüksek gaz üretimi ya da  $H_2S$  yükleri bulunan tesislerde kullanılabilir. Özellikler tablo 6.4'de gösterilmektedir.

### 6.1.1.4 Sülfadın çökeltilmesi

Kimyasal desülfürizasyonun bu yöntemi fermentörde gerçekleşir. Bu yöntem de biyolojik desülfürizasyon yöntemleri gibi kaba desülfürizasyona yarar (100 ila 150 ppm arasındaki  $H_2S$  değerlerine ulaşılabilir [6-35]). Tablo 6.5'de belirtilen demir bağlantılarının fermentöre verilmesiyle birlikte, kükürt kimyasal olarak fermentasyon materyaline bağlanır, bu sayede de hidrojen sülfür olarak serbest bırakılması baskılanmış olur. Tablo 6.5'de belirtilen özellikler nedeniyle bu yöntem ilk etapta küçük biyogaz tesisleri, ya da düşük  $H_2S$  yükü ( $< 500 \text{ ppm}$ ) bulunan tesisler için uygundur [6-35].

Tablo 6.4: Harici biyokimyasal gaz yıkayıcılarının referans değerleri ve uygulama parametreleri

Referans değerler	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kostik soda ve demir hidroksidle mümkündür</li> <li>• 10 ila <math>1.200 \text{ Nm}^3/\text{h}</math> arasındaki gaz miktarları için sistemler mevcuttur.</li> <li>• Ham gaz miktarı ile tesis büyüklüğü arasındaki uyuma bağlı olarak, % 95'in üstünde çok yüksek arındırma oranları mümkündür</li> </ul>
Uygunluk	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bütün biyogaz üretim sistemleri</li> <li>• Kaba desülfürizasyon</li> </ul>
Avantajları	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Gerçekte serbest bırakılan hidrojen sülfür miktarına göre boyutlandırma mümkün</li> <li>+ Besin maddesi, hava takviyesi ve ısı yönetimi ile hidrojen sülfür bozunmasının otomatikleştirilmiş Hedefe yönelik optimasyonu mümkündür</li> <li>+ Oksijen ilavesi nedeniyle proses zarar görmez</li> <li>+ Fermentörün gaz bölmesindeki yapı parçalarında güçlü korozyondan kaçınma (dahili biyolojik desülfürizasyona kıyasla)</li> </ul>
Dezavantajlar	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ek maliyet getiren ilave düzeneğe (kostik soda, taze su)</li> <li>- Kimyasal ihtiyacı ortaya çıkar</li> <li>- Kostik sodanın seyreltilmesi için taze su ilavesine ihtiyaç duyulur (demir hidroksilde değil)</li> <li>- Ek bakım maliyeti</li> </ul>
Özel durumlar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kullanılan sodanın arıtma tesislerinde arıtılması gerekir, ancak kimyasal açıdan sorunsuzdur (sadece kostik sodada)</li> <li>• Harici desülfürizasyon sistemleri</li> </ul>
Yapı formları	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plastikten sütunlar veya kazanlar şeklinde, bağımsız inşa edilen, taşıyıcılarla dolu, sodanın geri yıkınmasıyla</li> </ul>
Bakım	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kimyasallar nispeten büyük zaman aralıklarıyla doldurulmalıdır</li> <li>• Demir hidroksit ortam havasının havalandırılmasıyla birçok kez rejenere edilebilir, ancak oluşan güçlü ısı tutuşmalara neden olabilir</li> </ul>

Tablo 6.5: Dahili kimyasal desülfürizasyonda referans değerler; [6-13] uyarınca

Referans değerler	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ayrışmada kullanılacak kimyasal maddeler demir tuzları (demir-III-klorür, demir-II-klorür, demir-(II)-sülfat) olabilir, demir hidroksit de uygundur</li> <li>Kılavuz değer [6-20]'ye göre: Her bir m<sup>3</sup> materyal için 33 g Fe eklenir</li> </ul>
Uygunluk	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bütün yaş fermantasyon sistemleri</li> <li>Kaba desülfürizasyon</li> </ul>
Avantajları	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Çok iyi ayrıştırma oranları</li> <li>+ Desülfürizasyon için ilave düzeneğe gerek yoktur</li> <li>+ İlave bakım maliyeti yoktur</li> <li>+ Giren materyal kütlelerine göre dozajlama mümkündür</li> <li>+ Oksijen ilavesi nedeniyle proses zarar görmez</li> <li>+ Fermentörün gaz bölmesindeki yapı parçalarında güçlü korozyondan kaçınma (dahili biyolojik desülfürizasyona kıyasla)</li> <li>+ Gaz serbest kalış oranlarında ki (üretim) dalgalanmalar, biyogazda kalite kaybına neden olmaz</li> <li>+ Biyogazın gaz hatlarına beslenebilmesi için sonradan ince desülfürizasyon yapılmaya uygundur</li> </ul>
Dezavantajlar	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Giriş materyalindeki kükürt oranına göre boyutlandırma zordur (genellikle fazla dozajlama gereklidir)</li> <li>- Sürekli kimyasal kullanımı nedeniyle cari giderlerin yükselmesi</li> <li>- Kapsamlı güvenlik düzenekleri nedeniyle yükselen yatırım maliyetleri</li> </ul>
Özel durumlar	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fermentördeki kimyasal desülfürizasyon kısmen fermentörün gaz bölmesindeki biyolojik desülfürizasyon yeterli gelmediği zaman başlatılır</li> <li>Açığa çıkan demir sülfid nedeniyle topraktaki demir konsantrasyonu hızla yükselebilir</li> </ul>
Yapı formları	<ul style="list-style-type: none"> <li>İlave küçük taşıma teknolojisiyle manuel veya otomatik dozajlama</li> <li>Çözelti veya silindirik pelet ve tane şeklinde içeriye aktarma</li> </ul>
Bakım	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bakım gerektirmez ya da çok az gerektirir</li> </ul>

### 6.1.1.5 Aktif karbon adsorpsiyonu

İnce desülfürizasyon yöntemi olarak kullanılan aktif karbon adsorpsiyonu, hidrojen sülfürün kullanılan aktif karbonun üst yüzeyindeki katalitik oksidasyonuna dayanır. İyileştirilmiş bir reaksiyon hızı ve yükleme kapasitelerinin artırılması için, aktif karbonun su geçirmez hale getirilmesi veya dozajlanması mümkündür. Su geçirmez hale getirmek için potasyum iyodür ve kalsiyum karbonat kullanılabilir. Yeterli bir desülfürizasyonun koşulu, su buharı ve oksijenin mevcudiyetidir. Bundan ötürü su geçirmez hale getirilmiş aktif karbonlar, hava içermeyen gazlar için kullanılmaya uygun değildir. Kısa bir süre önce piyasaya çıkmış olan dozajlanmış aktif karbonlar (potasyum permanganat), hava içermeyen biyogazlar için de kullanılabilir. Mikro gözeneklerin blokajı söz konusu olmadığı için, burada da desülfürizasyon yeteneği artış göstermektedir [6-35].

### 6.1.2 Kurutma

Gaz değerlendirme düzeneklerini yüksek aşınmadan ve tahribattan korumak, ya da müteakiben gelecek olan arındırma basamaklarının taleplerini karşılamak için su buharı biyogazdan ayrılmalıdır. Biyogazın alabileceği su veya su buharı miktarı, gazın ısısına bağlıdır. Biyogazın oransal nemliliği fermentörde % 100'dür, yani biyogaz bu şekilde su buharına doy-

muştur. Biyogazın kurutulması için yoğunlaştırarak kurutma, adsorpsiyonlu kurutma (silika jeli, aktif karbon), ayrıca absorpsiyonlu kurutma (glikol yıkama) kullanılabilir. Bu yöntemler aşağıda kısaca açıklanacaktır.

#### 6.1.2.1 Yoğunlaştırarak kurutma

Bu yöntemin işleyiş ilkesi, biyogazın yoğuşma noktasının altına düşecek şekilde soğutulmasıyla yoğuşma suyunun ayrıştırılmasıdır. Biyogazın soğutulması genellikle gaz hattında gerçekleştirilir. Gaz hattının döşenmesi esnasında, yoğuşma, gaz hattının en derin noktasına monte edilen bir ayrıştırıcıda gerçekleşir. Gaz hattı yer altından geçiriliyorsa, bu durumda soğutma etkisi daha güçlüdür. Biyogazın soğutulmasında ön koşul, gaz hattının soğutma işlemine yeter uzunluğa sahip olmasıdır. Su buharının yanı sıra suda çözünen gazlar ve aerosol gibi istenmeyen bir dizi içerik maddeleri de biyogazdan ayrılır. Nem ayrıştırıcılar düzenli olarak boşaltılmalı, bu yüzden de kolay erişilebilir olmalıdırlar. Nem ayrıştırıcının donması, donmaya dayanıklı bir yapı tarzıyla mutlaka engellenmelidir. İlave soğukluk, soğuk suyun ısısının aktarılmasıyla elde edilir. [6-35] uyarınca bu yöntemle 3-5 °C'nin altında yoğuşma noktalarına ulaşılır, bu sayede de su buharı oranı % 0,15 Hac. (Çıkış miktarı: % 3,1 Hac., 30 °C, yükleme oranı) kadar düşer. Önceden yapılacak bir kom-

Tablo 6.6: Aktif karbon ile desülfürizasyonda referans değerler

Referans değerler	• Su geçirmez hale getirilmiş (potasyum iyodür, kalsiyum karbonat) veya dozajlanmış (postayum permanganat) aktif karbonlar
Uygunluk	• Bütün biyogaz üretim sistemleri • 150 ila 300 ppm arasındaki yüklemelerde ince desülfürizasyon için
Avantajları	+ Çok iyi ayrıştırma oranları (< 4 ppm mümkündür [6-25]) + Uygun yatırım maliyetleri + Dozajlanmış aktif karbonda oksijen ilavesi nedeniyle proses zarara uğramaz + Fermentörün gaz bölmesindeki yapı parçalarında güçlü korozyondan kaçınma (dahili biyolojik desülfürizasyona kıyasla) + Yöntem biyogazın gaz hatlarına beslenmesine uygundur
Dezavantajlar	- Oksijen ve su buharı içermeyen biyogazlar için uygun değildir (istisna: Su geçirmez hale getirilmiş aktif karbonlar) - Zor rejenerasyon nedeniyle yüksek işletme maliyetleri (450 °C üzerindeki ısılarda buhar [6-4]) - Aktif karbonun atığa çıkartılması - Ayrıştırılan kükürtün kullanımı mümkün değildir
Özel durumlar	• Aktif karbon ile desülfürizasyon, özellikle kükürtüz gazlar istenildiği takdirde gerçekleştirilir
Yapı formları	• Plastikten veya çelikten sütunlar şeklinde, bağımsız duran, aktif karbonla dolu
Bakım	• Aktif karbonun düzenli olarak değiştirilmesi gerekir

presyon bu etkiyi daha da güçlendirebilir. Bu yöntem sonrasında gazın yakılmasıyla birlikte ulaşılan son tekniktir. Gaz hatlarına gaz beslemesinin taleplerine ancak koşullu olarak karşılık verir, çünkü DVGW Çalışma Belgeleri G260 ve G262'nin taleplerine ulaşamamaktadır. Ancak sonradan uygulanacak olan arındırma yöntemleri (basınç değişikliği adsorbsiyonu, adsorbsiyona dayanan desülfürizasyon yöntemi) bu durumun düzelmesine yardım edebilirler [6-35]. Yoğunlaştırarak kurutma bütün hacimsel akımlar için uygulanabilir.

#### 6.1.2.2 Adsorbsiyon kurutması

Zeolit, silika jeli veya alüminyum oksit tabanlı çalışan adsorbsiyon yöntemlerinde çok daha iyi kurutma sonuçları elde edilebilir. Bunlarda -90 °C'ye kadar yoğunlaşma noktaları mümkündür [6-22]. Sabit bir yatağa monte edilmiş olan adsorberler karşılıklı olarak ortam basıncında ve 6-10 bar'da işletilirler ve küçük ve orta debilerde uygundur [6-35]. Adsorbe edilmiş materyalin rejenerasyonu, soğuk ya da sıcak rejenerasyon olarak gerçekleştirilebilir. Rejenerasyon tedbirlerine dair daha kesin bilgiler [6-22] veya [6-35] içinde okunabilir. Ulaşılabilir sonuçları nedeniyle bu yöntem bütün kullanım opsiyonlarına uygundur.

#### 6.1.2.3 Absorbsiyon kurutması

Absorbtif ve buna bağlı olarak fiziksel bir yöntem olan, aslında doğalgaz hazırlanmasından kaynaklanan glikol yıkama, biyogazı absorblayıcı bir sütunda karşı

akımla glikol veya trietilen glikol taşıyan bir yöntemdir. Bu esnada hem su buharı, hem de daha yüksek hidro karbonlar ham biyogazdan ayrıştırılabilir. Rejenerasyon ise glikol yıkaması tarafından ve yıkama çözeltilisinin 200 °C'ye kadar ısıtılmasıyla gerçekleşir, bu esnada inhibitörlerin buharlaşması gerçekleşir [6-37]. Ulaşılabilir yoğunlaşma noktaları olarak literatürde 100 °C verilmektedir [6-30]. Bu yöntem ekonomik nedenlerden ötürü yüksek debili akımlara (500 m<sup>3</sup>/h) uygundur [6-5], bu şekilde ilk etapta gaz hatlarına biyogaz beslemesi kullanım opsiyonu olarak ortaya çıkar.

#### 6.1.3 Karbondioksit ayrışması

Karbondioksit ayrıştırması, ilk etapta gazın şebeke beslemesi için kullanılması durumunda gereklidir. Metan oranının yükseltilmesiyle birlikte, yanma özelliklerinin DVGW Çalışma Belgesi'nde talep edilen değerlere uyumlaştırılması mümkün olur. 2006'dan bu yana Almanya'da 38 tesis, hazırladıkları biyogazı doğalgaz şebekesine vermeye başladılar. Hazırlama yöntemi olarak hem Almanya'da, hem de diğer Avrupa ülkelerinde ağırlıklı olarak kimyasal yıkama yapılan basınçlı suyla yıkama ve basınç değişimli adsorbsiyon yöntemi kullanılmaktadır. Uygulanacak yöntemin seçimi için belirleyici olan gazın özellikleri, ulaşılabilir gaz kalitesi, metan kalitesi ve son olarak da yerel özelliklere göre değişiklik gösterebilecek hazırlama maliyetleridir. Tablo 6.7'de hazırlama işleminin belli başlı özellikleri bir araya getirilmiş ve sonraki bölümlerde daha ayrıntılı açıklanmıştır.

Tablo 6.7: Metan zenginleştirme yöntemlerinin karşılaştırılması [6-5],[6-35]

Yöntem	Etki prensibi/Referans özellikler	Ulaşılabilir CH <sub>4</sub> Oranı	Diğerleri
Basınç değişikliği Adsorbsiyonu (PSA)	Basınç değişikliği ile değişken fiziksel Adsorbsiyon ve desorbsiyon	>% 97	Çok sayıda gerçekleştirilmiş proje, önceden desülfürizasyon ve kurutma gerekli, düşük tesis düzenlenebilirliği, Yüksek elektrik ihtiyacı, ısı ihtiyacı yok, yüksek metan kaybı, proses kimyasalı yok
Basınçlı suyla yıkama (DWW)	Çözücü olarak suyla Çözücü olarak suyla; Basıncın düşürülmesiyle rejenerasyon	>% 98	Gerçekleştirilmiş birçok proje, önceden desülfürizasyon ve kurutma gerekmez, gaz debisine esnek uyum, yüksek elektrik ihtiyacı, Isı gerektirmez, yüksek metan kaçağı, proses kimyasalları gerektirmez
Amin yıkama	Soda kullanılarak kimyasal adsorbsiyon (Amin), H <sub>2</sub> O buharı ile rejenerasyon	>% 99	Gerçekleştirilen birkaç proje, küçük gaz debileri için, düşük elektrik ihtiyacı (basıncsız yöntem), çok yüksek ısı ihtiyacı, asgari metan kaçağı, yüksek yıkama maddesi ihtiyacı
Genosorb yıkama	Genosorb DWW ile aynı (ya da Selexol) çözücü olarak	>% 96	Az sayıda gerçekleştirilen proje, ekonomik olarak tavsiye edilir, desülfürizasyon ve kurutma gerekmez, esnek uyumlulaşma, çok düşük elektrik ihtiyacı, düşük ısı ihtiyacı, yüksek metan kaçağı
Membran ayırma işlemi	Gözenekli membranda gaz ayırımı için basınç düşüşü onun dışında gazların difüzyon hızı	>% 96	Az sayıda gerçekleştirilen proje, desülfürizasyon ve kurutma gerekmez, çok yüksek elektrik ihtiyacı, ısı ihtiyacı yok, yüksek metan kaçağı, proses kimyasalına gerek duymaz
Cyrogen işlemi	Rektifikasyon yoluyla gaz sıvılaştırma, çok düşük sıcaklıklarda ayırma	>% 98	Pilot tesis statüsü, önceden desülfürizasyon gerekli, çok yüksek elektrik ihtiyacı, çok düşük metan kaçağı, proses kimyasalına gerek duymaz

### 6.1.3.1 Basınç değişimli adsorbsiyon (PSA)

Fiziksel gaz ayrıştırması için aktif karbon, moleküler eleklerin (zeolit) ve karbon moleküler eleklerin kullanılması basınç değişimli adsorbsiyon olarak anlaşılmaktadır (PSA: Pressure Swing Adsorption). Bu yöntem teknolojinin son seviyesidir ve çok sık uygulanmaktadır. Özellikle Almanya'da bu güne dek çok sayıda proje bu teknolojiyle gerçekleştirilmiştir. Adsorbsiyonun dört döngüsünün süresine göre (yani 6 ila 10 bar arasında basınç için H<sub>2</sub>O buharı ve CO<sub>2</sub> alınması), desorbsiyon (basınç azalması), boşaltma (yani ham veya ürün gazıyla yıkama ile yeniden desorbsiyon) ve basınç yükseltilmesi için biyogaz hazırlama tesislerinde dört ila altı adsorber aynı anda çalışmaktadır. Bu tesis konfigürasyonunda yaklaşık % 97 safılıkta (hacmen) CH<sub>4</sub> elde edilir. Ham ve/veya ürün gazıyla yeni yıkama döngülerinin başlatılması ve atık gazın yoğunlaştırıcıya kısmen geri döndürülmesi, metan üretiminin maliyetinin artmasına neden olur. Maliyetlerin artmasına karşın adsorbanların kullanım süreleri usulüne uygun çalıştırmada neredeyse sınırsızdır, ancak yine de bunun için kükürtsüz ve kurutulmuş bir ham gaza ihtiyaç duyulur. Aksi takdirde su, hidrojen sülfür ve diğer muhtemel minör bileşenler karbon moleküler eleklerinin üzerine emilecek, bu

da PSA ayırma gücünün kalıcı bir şekilde zarar görmesine, hatta durmasına neden olacaktır. Toplam enerji ihtiyacı diğer yöntemlere göre daha düşüktür, ancak elektrik ihtiyacı sürekli basınç değişimi nedeniyle görece daha yüksek bir konumdadır. Bu yöntemin daha küçük kapasiteler için uygun olması da bir avantajdır. PSA'nın dezavantajı halen atık hava içinde bulunan görece yüksek metan kaybıdır (yakl. % 1-5). Bu kayıp metan yüksek sera gazı etkisi nedeniyle sonradan okside edilmelidir.

### 6.1.3.2 Basınçlı suyla yıkama (DWW)

Basınçlı suyla yıkama biyogaz için Avrupa'da en fazla uygulanan hazırlama yöntemidir (bütün tesislerin yaklaşık % 50'si). Bu yöntem CH<sub>4</sub> ile CO<sub>2</sub>'nin sudaki değişik çözünürlüklerini kullanır. Önceden arındırılmış biyogazın basıncı (yani fermentörden taşınmış muhtemel su damlacıklarının veya çakıl dolguda nemin ayrıştırılması) ilk olarak yaklaşık 3 bara, sonra da bir kompresör basamağıyla yaklaşık 9 bara yükseltilir, ardından da H<sub>2</sub>O ile hazırlanmış adsorbsiyon sütununa (damlama yataklı reaktör) karşı akım olarak aktarılır [6-5]. Hidrojen sülfür, karbondioksit, amonyak ile ham gazda bulunması muhtemel tozlar ve mikroorganizmalar, sütunun içinde bulunan suda çözünür.

Bu maddeler daha sonra suyun geriliminin düşürülmesiyle sistemden atılır. Bu yöntemde önceden bir desülfürizasyon veya kurutma gerekli değildir. Bu yöntemin bir başka avantajı, sahip olduğu yüksek esnekliktir. Ham gazın içerdiği CO<sub>2</sub> oranına göre basınç ve ısı, aynı zamanda tesis üretim miktarına göre (mevcut kapasitenin % 40 ila 100'ü ayarlanabilir) düzenlenebilmektedir [6-5]. Bunun yanı sıra sürekli ve tam otomatik işletme, kolay bakım, neme doymuş gazın hazırlanma imkânı (akabinde yapılacak kurutmayla), uygulamayla kanıtlanmış güvenilirlik, H<sub>2</sub>S ve NH<sub>3</sub>'ün birlikte absorpsiyonu ve suyun absorpsiyonu (sınırsız yararlanabilirlik, tehlikesiz, maliyet) birer artı nokta olarak değerlendirilebilir [6-5]. Yöntemin dezavantajı yüksek elektrik sarfiyatı, ayrıca nispeten yüksek ve ardından oksidasyonu getiren metan kaçığıdır (yakl. % 1).

### 6.1.3.3 Kimyasal yıkama (Amin)

Amin yıkama, biyogazın basınçsız olarak bir sıvıyla temas ettirilmesi, bu esnada da karbondioksitin yıkama maddesine geçmesine dayanan kimyasal bir absorpsiyon işlemidir. Yıkama maddeleri olarak CO<sub>2</sub> ay-

rışımı için sıklıkla monoethanolamin (MEA) (düşük basınç yönteminde ve sadece CO<sub>2</sub> yıkanacaksa) veya diethanolamin (DEA) (yüksek basınç yönteminde ve rejenerasyon olmadan) kullanılır. CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>S ayrışımı için methyldiethanolamin (MDEA) veya triethanolamin (TEA) kullanılır [6-5]. Yıkama maddesinin yeniden üretimi için absorpsiyon basamağı bir rejenerasyon basamağından sonra başlatılır, bu esnada genellikle su buharı kullanılır. Bundan ötürü de yüksek bir termik enerji ihtiyacı ortaya çıkar, bu da bu yöntemin büyük dezavantajını teşkil eder. Dolayısıyla başarılı ısı konseptleri, bu teknolojinin en büyük optimizasyon potansiyelidir. Ayrıca yetersiz rejenerasyon nedeniyle sürekli bir çözücü madde tüketimi de bir başka dezavantajdır. Buna karşın amin yıkama çok yüksek ürün gaz kalitesine (> % 99) çok düşük bir metan kaçığı (< % 0,1) ile ulaşabilmek gibi bir avantaja sahiptir. Bu yöntem geçmişte Almanya ve Avrupa'da sadece münferit olarak uygulanırken, artık özellikle Almanya'da amin yıkamaya sahip hazırlama tesislerinin sayısı giderek artmaktadır. Amin yıkama özellikle küçük gaz debileri ve düşük maliyetli ısı kaynakları bulunan yerlerde kullanılmaktadır.



Şekil 6.3: Biyogaz hazırlama tesisi (genosorb yıkama), Ronnenberg [Urban, Fraunhofer UMSICHT]

#### 6.1.3.4 Fiziksel yıkama (Seleksol, Genosorb)

Basınçlı suyla yıkama yönteminin işleyiş prensibine benzeyen genosorb yöntemi, esasen geliştirilmiş bir seleksol yöntemine dayanmaktadır. Burada su yerine bir yıkama çözeltisi (genosorb) 7 bar basınçta biyogazla temas ettirilir, bu esnada karbondioksit ve hidrojen sülfür suda da ayrıştırılabilir. Bu sayede genosorb yıkama her üç inhibitörü tek uygulama adımında ayrıştırabilen tek işlemdir. Ancak ekonomik sebeplerden ötürü desülfürizasyonu ve kurutulması tamamlanmış biyogaz kullanılmalıdır. Yıkama çözeltisinin rejenerasyonu 50 °C'de gerilimin adım adım azaltılması ve ardından ortam havasıyla yıkanması ile gerçekleştirilir. Burada gereken ısı [6-35] uyarınca gaz kompresöründen atık ısı kuplajı yardımıyla sağlanabilir. Metan kaçağı olarak üreticiden % 1 ila 2 oranları verilmektedir, bunlar da (kaçak metan) akabinde termik bir oksidasyon basamağı ile işlenmelidir. Enerji açısından bu yöntem basınçlı suyla yıkamaya ve basınç değişimli adsorbsiyon yöntemine göre biraz daha yüksek bir enerji ihtiyacına sahiptir.

#### 6.1.3.5 Membran yöntemi

Membran tekniği biyogaz alanında görece yeni bir yöntemdir ve henüz geliştirme aşamasında bulunmaktadır. Yine de münferit bazı membran ayırıştırma (Avusturya, Kißlegg-Rahmhaus) yöntemleri kullanılmaktadır. Yöntem, metan ile diğer gaz bileşenlerinin farklı büyüklükteki gaz moleküllerinin farklı büyüklükteki difüzyon hızları tarafından ayrıştırılmasına dayanır. Nispeten küçük bir molekül olan metan, membranların birçoğunun içinden örneğin karbondioksit veya hidrojen sülfürden daha fazla geçer. Bu esnada gazın saflığı membran türü, membran yüzeyi, akım hızı ve ayırma basamaklarının sayısı tarafından ayarlanabilir.

#### 6.1.3.6 Cryogen ayırma

Cryogen gaz hazırlama (yani CH<sub>4</sub> ile CO<sub>2</sub>'nin düşük ısılarda ayrıştırılması) bir yandan sıvı CO<sub>2</sub> oluşan rektilifikasyonu (gaz sıvılaştırma), öte yandan da CO<sub>2</sub>'nin donmasını sağlayan düşük ısı ayırıştırmasını kapsar [6-5]. Bunların her ikisi de teknik olarak çok zor yöntemlerdir, çünkü gazın önceden desülfürizasyonunu ve kurutulmasını gerektirirler. Özellikle biyogaz uygulamaları bağlamında henüz pratikte sınanmamışlardır. Bu yöntemde her şeyden önce yüksek enerji ihtiyacı bir sorun olarak öne çıkmaktadır. Ulaşılan gaz

kaliteleri (> % 99) ve düşük metan kaybı (< % 0,1) yöntemin geliştirilmesinin önünü açmaktadır.

#### 6.1.4 Oksijenin ayrılması

Oksijenin ham biyogazdan ayrılması, biyometanın doğalgaz şebekesine verilmesi esnasında önemli olabilir. DVGW kurallarının yanı sıra bu konudaki uluslararası anlaşmalar da dikkate alınmalıdır. Hazırlama işlemi olarak paladyum-platin katalizatörlerinde katalitik ayırma ve bakır kontaktlarda kemisorpsiyon öne çıkmıştır. Daha ayrıntılı bilgiler [6-35] içinde bulunabilir.

#### 6.1.5 Diğer eser gazların ayrılması

Biyogazdaki eser gazların arasında amonyak, siloksan ve BTX (benzol, toluol, xylo) ve benzerleri de bulunmaktadır. Ancak tarımsal biyogaz tesislerinde bu maddelerin sıklıkla ortaya çıktığını söylemek çok doğru olmaz. Varlıkları genellikle DVGW Kurallarında [6-35] sınır değerlerin altında kalmakta, hatta bazı ender durumlarda tespit bile edilememektedir. Bunun nedeni, bu maddelerin daha önce açıklanmış olan desülfürizasyon, kurutma ve metan zenginleştirme gibi saflaştırma yöntemleriyle de ayrılabilir olmalarıdır.

#### 6.1.6 Doğalgaz kalitesine dönüştürme

Biyogaz beslemesi esnasında saflaştırma basamaklarının sona ermesinin ardından, hazırlanan biyogazın talep edilen doğalgaz kalitesine nihai şekilde uyumlaştırılması gerekir. Bunlar her ne kadar mevcut doğalgaz kriterleri tarafından belirleniyor olsa da, biyogaz üreticisi için DVGW Çalışma Belgesi G 260 ve G 262 önem taşımaktadır. İnce uyumlaştırmadan ise şebeke işletmecisi sorumludur, bundan ötürü cari işletme giderlerini de üstlenmek durumundadır (diğer bilgiler için bkz. Bölüm 7.4.3). Bu esnada şu noktalara dikkat edilmesi gerekir:

##### 6.1.6.1 Odorizasyon

Kokusuz biyometan kaçağı söz konusu olduğu zaman da algılanması gerektiğinden, koku maddelerinin sürekli ilavesine ihtiyaç duyulur. Bunun için ağırlıklı olarak merkaptan veya tetrahydrothiophen (THT) gibi kükürt içeren organik bileşenler kullanılır. Son yıllarda ekolojik ve teknik sebeplerden ötürü, kükürt içermeyen odorizasyon araçları kullanımı eğilimi başlamıştır. Karışım biyogaza enjeksiyon ya da baypas



düzenlemesi ile verilebilir. Odorizasyon kontrolü tekniğine dair kesin veriler DVGW Çalışma Belgesi G 280-1 içinde bulunmaktadır.

### 6.1.6.2 Isıl değer ayarlaması

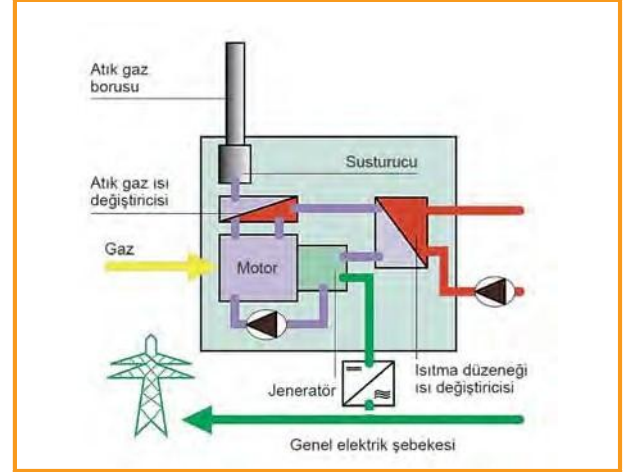
Şebekeye verilen biyogaz, mevcut doğalgazla aynı yanma özelliklerine sahip olmalıdır. Bunun için ısı değeri, görece yoğunluk ve wobbe endeksi birer ölçüttür. Bu değerler izin verilen sınırlar içinde bulunmalıdır, ancak görece yoğunluk geçici olarak aşılabilir ve wobbe endeksinin altına düşülemez. Konuyla ilgili kesin veriler DVGW Çalışma Belgeleri G260 ve G685 içinde bulunmaktadır. Referans değerlerin ayarlanması hava ilavesi (biyogazın aşırı yüksek ısı değeri söz konusu olduğunda) veya genellikle propan-bütan karışımı sıvı gaz ilavesi (biyogazın aşırı düşük ısı değeri söz konusu olduğunda) ile gerçekleştirilir. Sıvı gaz ilavesi bir yandan şebekeye bağlı yüksek basınç uygulamalarında (depo, CNG dolum yeri) yeniden sıvılaştırma tehlikesi söz konusu olduğunda, öte yandan da DVGW Çalışma Belgesi G486 verileri tarafından kısıtlanabilir. Miktarların yeniden değerlendirilmesinde kullanılan matematiksel yöntemin sınırları nedeniyle propan ile bütanın azami karıştırılma miktarı % 5 ile 1.5 mol ile sınırlanmıştır.

### 6.1.6.3 Basınç ayarlaması

Biyometanın şebekenin farklı basınç seviyelerine verilmesi için, şebeke basıncından çok az daha yüksek bir basınç gereklidir. Besleme basamakları olarak alçak basınç (< 0,1 bar), orta basınç (0,1 ila 1 bar) yüksek basınç şebekeleri (1 bar'dan itibaren) söz konusudur. 16 bar'dan itibaren yüksek basınç şebekelerinden söz edilir [6-5]. Biyogazın yoğunlaştırılması için sıklıkla vidalı ve pistonlu kompresörler kullanılmaktadır. Bazı tekniklerin uygulanması ile (PSA,DWW) gaz 5-10 bar basınçla verilebilir. Dolayısıyla ek bir basınçlandırma istasyonuna gerek duyulmaz.

## 6.2 Güç-ısı koplajıyla kullanım

Güç-ısı koplajı (KWK) kavramı, elektrik ve ısının aynı anda üretilmesi anlamına gelmektedir. Duruma göre güç-ısı koplajı tesislerinin elektrik veya ısı üretenler arasında karar verilebilir. Yüksek etkililiği nedeniyle tesislerin ısı üretmesi tercih edilmelidir. Bu işlem için neredeyse daima bir jeneratöre bağlanmış olan kombine ısı ve güç santralleri kullanılır. Motorlar, doğrudan bağlanan jeneratörün şebeke frekansına uyumlu



Şekil 6.4: Bir kojenerasyon santralinin yapısı [ASUE]



Şekil 6.5: Biyogaz kojenerasyon santrali, gaz yakma bacalı kompakt yapım tarzında komple modül [Haase Energietechnik AG]

elektrik enerjisi üretebilmesi için sabit devirle çalıştırılır. Jeneratörün tahriki veya elektrik üretimi için alternatif veya perspektifsel olarak alışıldık içten yanmalı motorlar ve içten yanmalı gaz motorları dışında mikrogaz türbinleri, stirling motorları veya yakıt hücreleri de kullanılabilir.

### 6.2.1 içten yanmalı motorlu kombine ısı ve güç santralleri

BHKW modülü içten yanmalı bir motor ile buna uyarlanmış bir jeneratörün yanı sıra atık gazlardan, soğutma suyundan ve yağ çevriminden ısı enerjisi geri kazanmaya yarayan ısı aktarma sistemlerinden, ısı dağıtımı için hidrolik düzeneklerden, elektrik dağıtımı

Tablo 6.8: Gazlı benzinli motorların referans değerleri ve uygulama parametreleri

Referans değerler	<ul style="list-style-type: none"> <li>• &gt; 1 MW'ye kadar elektrik gücü, 100 kW altında nadiren rastlanır</li> <li>• Elektrik verimleri % 34-42 (elektrikli anma güçleri &gt; 300 kW durumunda)</li> <li>• Ömrü: yakl. 60.000 çalışma saati</li> <li>• Yaklaşık % 45 metan oranı üzerinde kullanılabilir</li> </ul>
Uygunluk	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temelde tüm biyogaz tesisleri, ekonomik kullanım için daha ziyade daha büyük tesislerde</li> </ul>
Avantajları	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Özel olarak gazın değerlendirilmesi için yapılmış</li> <li>+ Emisyon sınır değerlerine büyük ölçüde uyuluyor (ancak formaldehit değerlerinde sınır değerlerinin aşılması mümkün)</li> <li>+ Bakım için düşük iş yükü</li> <li>+ Toplam etki derecesi, çift yakıtlı motorlardan daha yüksek</li> </ul>
Dezavantajlar	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Çift yakıtlı motorlar karşısında az miktarda artan yatırım maliyetleri</li> <li>- Düşük parça sayılarında imalat yüzünden daha yüksek gider</li> <li>- Alt güç bölgesinde çift yakıtlı motorlara göre daha düşük elektrik verimi</li> </ul>
Özel durumlar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Düşük ısı ihtiyacında aşırı ısınmayı engellemek için bir acil durum radyatörü öngörülmelidir</li> <li>• Gaz kalitesine bağlı olarak güç ayarlaması mümkün ve önerilmektedir</li> </ul>
Yapı formları	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tek başına ünite olarak bir binada veya kompakt yapı tipinde konteynerde</li> </ul>
Bakım	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bkz. başlık Bakım</li> </ul>

ve BHKW kumandası için elektrikli devre ve kumanda düzeneklerinden oluşmaktadır. Motor olarak gaz motorları veya çift yakıtlı motorlar kullanılır. Çift yakıtlı motorlar geçmişte çok sık kullanılırken, yeni tesislerde üçte iki oranında gaz motorları kullanılmaktadır. Bunlar Otto ilkesine göre ayrı bir ateşleme yakıtı olmadan çalışır, aradaki tek fark sadece kompresyondadır. Bir biyogaz kombine ısı ve güç santralinin şematik yapısı ve örnekler şekil 6.4 ve şekil 6.5'de gösterilmiştir.

### 6.2.1.1 Gaz motorları

Gaz motorları, Otto ilkesine göre çalışan ve özel olarak gazla çalışmaları için tasarlanmış motorlardır. Motorlar, nitrik asit emisyonunu -asgariye indirmek için yüksek miktarda hava ile çalıştırılan fakir karışımla çalışan motorlardır. Fakir karışım modunda motorda daha az yakıt yakılabilir, bu da motorların performanslarının düşmesine neden olur. Bu da motorların egsoz turbo yükleyici tarafından doldurulması suretiyle dengelenir. Gazlı benzinli motorlar biyogazda en az yaklaşık % 45 oranında bir metan payına ihtiyaç duyarlar Daha düşük metan oranlarında çalışmazlar.

Biyogazın mevcut olmadığı durumlarda gazlı motorlar örneğin doğalgaz gibi diğer gaz türleriyle de çalıştırılabilmektedir [6-12]. Bu da örneğin motorların atık ısısı üzerinden gereken proses sıcaklığını sağlamak üzere biyogaz tesisinin çalıştırılmasında faydalı olabilir. Biyogaz için gaz kontrol hattının yanı sıra, yedek gaz için de ayrı bir hattın çekilmesi gerekmektedir.

Gazlı motorların biyogaz kullanımı bakımından önem taşıyan referans verileri tablo 6.8'de gösterilmiştir.

### 6.2.1.2 Çift yakıtlı motorlar

Çift yakıtlı motorlar dizel prensibine göre çalışırlar. Bunlar özel olarak gaz yakılması için geliştirilmemiştir ve böylelikle modifikasyonlara tabi tutulmalıdır. Biyogaz bir gaz karıştırıcısı üzerinden yanma havasına karıştırılır ve bir enjeksiyon tertibatı üzerinden yanma odasına aktarılan tutuşturma yakıtı üzerinden tutuşturulur. Tutuşturma yakıtı oranı, eklenen esas yanıcı madde gücünün yaklaşık % 2-5'i oranında olacak şekilde ele alınmaktadır. Püskürtülen tutuşturma yakıtının nispeten düşük miktarı yüzünden, enjeksiyon memelerinin soğutmasının bulunmaması nedeniyle, bunların karbonlaşması [6-12] ve böylece daha çabuk aşınması tehlikesi bulunmaktadır. Çift yakıtlı motorlar da yüksek hava miktarıyla çalışırlar. Yük ayarlaması, aktarılan tutuşturma yakıtı miktarının veya gaz miktarının ayarlanması ile gerçekleştirilir.

Biyogaz beslemesinin devre dışı kalması durumunda çift yakıtlı motorlar saf tutuşturma yakıtı veya dizel yakıtı ile çalıştırılabilir. Yedek yakıtlara geçiş problemsiz bir şekilde mümkündür ve biyogaz tesisinin ilk çalıştırılması sırasında proses ısısı hazırlanması için gerekli olabilir.

Tutuşturma yakıtı olarak EEG uyarınca sadece kolza metil esteri veya diğer kabul görmüş biyokütleler gibi rejeneratif tutuşturma yakıtları söz konusu olur. Ancak uygulama sırasında motor üreticilerinin

Tablo 6.9: Çift yakıtlı motorların referans değerleri ve uygulama parametreleri

Referans değerler	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Yanma için % 2-5 tutuşturma yakıtı oranı</li> <li>• Yaklaşık 340 kW'ye kadar elektrik gücü</li> <li>• Ömrü: yakl. 35.000 çalışma saati</li> <li>• Elektrik verimleri % 30-44 (daha küçük tesislerde % 30)</li> </ul>
Uygunluk	• Temelde tüm biyogaz tesisleri, ekonomik kullanım için daha ziyade daha küçük tesislerde
Avantajları	+ Standart motorların uygun maliyetli kullanımı + Gazlı benzinli motorlara kıyasla alt güç bölgesinde yükselen elektrik verimi
Dezavantajlar	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Enjeksiyon memelerinin karbonlaşması atık gaz yüklerinin (NO<sub>x</sub>) artmasına ve daha sık bakım çalışmalarına neden olur</li> <li>- Motorların biyogaza özgü geliştirilmesi söz konusu değil</li> <li>- Komple verimleri gazlı benzinli motorlardan daha düşük</li> <li>- İlave bir yanıcı madde (tutuşturma yakıtı ) kullanılmalıdır</li> <li>- Zararlı madde çıkışı sık sık TA- hava içinde verilen sınır değerlerini aşıyor</li> <li>- Kısa ömürler</li> </ul>
Özel durumlar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Düşük ısı ihtiyacında aşırı ısınmayı engellemek için bir acil durum radyatörü öngörülmelidir</li> <li>• Gaz kalitesine bağlı olarak güç ayarlaması mümkün ve önerilmektedir</li> </ul>
Yapı formları	• Tek başına ünite olarak bir binada veya kompakt yapı tipinde konteynerde
Bakım	• Bkz. başlık Bakım

Tablo 6.10: BImSchV no. 1.4 (1.1 ve 1.2 dahil) 4.'e [6-16] göre içten yanmalı motorlar için TA hava emisyon sınır değerleri

Zararlı madde	Birim	Gazlı benzinli motorlar		Çift yakıtlı motorlar	
		Anma gücü			
		< 3 MW	≥ 3 MW	< 3 MW	≥ 3 MW
Karbon monoksit	mg/m <sup>3</sup>	1.000	650	2.000	650
Nitrojen oksit	mg/m <sup>3</sup>	500	500	1.000	500
Kükürt dioksit ve kükürt trioksit Kükürt dioksit olarak verilmiştir	mg/m <sup>3</sup>	350	350	350	350
Toplam toz	mg/m <sup>3</sup>	20	20	20	20
Organik maddeler: Formaldehit	mg/m <sup>3</sup>	60	20	60	60

kalite taleplerine uyulmalıdır. Çift yakıtlı motorların referans değerleri ve uygulama parametreleri tablo 6.9'da görülmektedir.

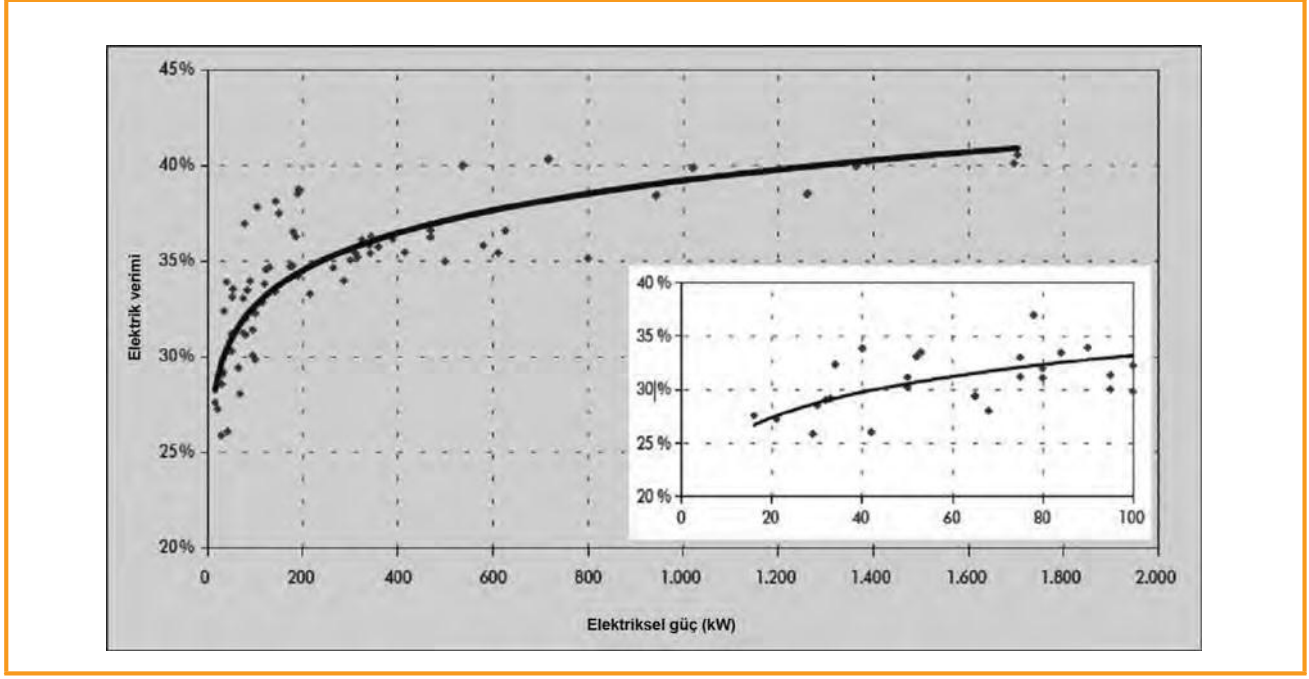
### 6.2.1.3 Atık gazların azaltılması ve atık gazların temizlenmesi

Biyogazla çalıştırılması öngörülmüş sabit içten yanmalı motor tertibatları, yasa koyucu tarafından Federal Emisyon Koruma Yasasına (BImSchG) göre, ısı gücü 1 MW veya üzerindeyse, izne gerek duymaktadır. Havanın temiz tutulması için teknik talimat (TA Hava), bu durum için uyulması gereken sınır değerler vermektedir. Kurulu ısı gücü 1 MW'ın altındaysa, BImSchG'ye göre izne tabi değildir. Bu durumda TA-Hava içinde öngörülen değerler, işletici yükümlülüklerinin kontrolü ve yerine getirilmesi sırasında bilgi kaynağı olarak ele alınmalıdır. Yani teknik duruma

uygun olarak önlenemeyen zararlı çevre etkisinin bir asgari ölçüyle kısıtlanması yükümlülüğü bulunmakta, ancak bu, izin veren makamlar tarafından farklı şekilde ele alınmaktadır [6-33]. TA-Hava içinde bildirilen sınır değerler, çift yakıtlı ve gazlı benzinli motorlar için bir ayırım yapmaktadır. Tablo 6.10 içinde TA- havanın talep edilen 30 Temmuz 2002 tarihli sınır değerleri bulunmaktadır.

İyi temizlenmiş bir yanma gazının hazırlanması, atık gazdaki zararlı madde oranlarının minimize edilmesini sağlar. Örneğin kükürt dioksit, biyogazın içinde bulunan hidrojen sülfürün (H<sub>2</sub>S) yanması sırasında oluşmaktadır. Biyogaz içindeki istenmeyen mikro elementlerin konsantrasyonları düşükse, bunların atık gazda bulunan yanma ürünlerinde ki mevcut konsantrasyonu da düşüktür.

Azot oksit emisyonlarının minimize edilmesi için motorlar fakir karışımda çalıştırılır. Fakir çalışma sa-



Şekil 6.6: Biyogaz kojenerasyon santralinin elektriksel verimi [6-41]

yesinde, yanma sıcaklığının düşürülmesi ve bu sayede azot oksitlerin oluşumunun azaltılması mümkündür.

Biyogazla işletilen BHKW'lerde katalizörler normalde kullanılmamaktadır. Biyogazın içinde bulunan örneğin hidrojen sülfür gibi maddeler, katalizörlerin devre dışı kalmasına ve zarar görmesine neden olmaktadır.

Fakir karışımla çalıştırılan gazlı benzinli motorlar, normalde TA-Hava içinde talep edilen sınır değerlere sorunsuz bir şekilde uymaktadır. Çift yakıtlı motorlar genellikle gazlı benzinli motorlara göre daha kötü atık gaz değerlerine sahiptirler. Özellikle azot oksit ( $NO_x$ ) ve karbonmonoksit (CO) emisyonları, belirli koşullar altında TA-Hava içinde belirlenmiş sınır değerleri aşabilmektedir. Ayrıca motorların ateşlenmesi için kullanılan ateşleme yakıtı yüzünden atık gazda kurum partikülleri bulunmaktadır [6-33], [6-7], [6-26]. En son bulgulara göre çoğu zaman formaldehit emisyonlarına uyulması sırasında sorunlar oluşmaktadır [6-15]. TA -Hava veya EEG 2009 (40  $mg/m^3$ ) emisyon değerlerine uyulması için ardıl oksidasyon sistemleri veya aktif karbon filtreler kullanıma sunulmuştur, ancak bunların kullanımı henüz yaygınlaşmamıştır.

#### 6.2.1.4 Jeneratörler

Kombine ısı ve güç santrallerinde kullanılan jeneratörler, asenkron ya da senkron jeneratörlerdir. Asenk-

ron jeneratörlerin kullanımı yüksek kör akım nedeniyle sadece 100  $kW_{el}$  gücünden daha küçük sistemlerde anlamlıdır [6-27]. Bu nedenle biyogaz tesislerinde normalde senkron jeneratörler kullanılır.

#### 6.2.1.5 Elektrik verimi ve güç

Bir kombine ısı ve güç santralının elektriksel verimi, ona aktarılan enerjiyi hangi etkinlikle kullandığının bir ölçütüdür. Toplam etki derecesi elektrik ve termik etki derecesinin toplamından oluşur ve normal durumda % 80 ila 90 arasındadır. Yani en iyi durumda aktarılan toplam gücünün % 90 kadar kullanılabilir.

Anma gücü şu formüle göre hesaplanır:

$$\dot{Q}_F = (\dot{v}_B \cdot H_i)$$

Denklem 6-1:  $Q_F$  = Anma gücü [kW];  $v_B$  = biyogaz debisi [ $m^3/h$ ];  $H_i$  = biyogazın ısı değeri [ $kWh/m^3$ ]

Gazlı benzinli motorlar ve çift yakıtlı motorlar için temel kural olarak elektrik ve ısı veriminin her defasında toplam verimin % 50'si kadar olduğu kabul edilebilir. Elektriksel verim motorun mekanik etki derecesinden ve jeneratörün etki derecesinden oluşmaktadır ve her iki etki derecesinin çarpılmasıyla elde edilmektedir. Ulaşılan etki derecelerine genel bakış şekil 6.6'da görülmektedir.

Çift yakıtlı motorlarla işletilen BHKW'lerin elektriksel verimleri % 30 ve 43 arasında bulunur ve düşük güç bölgesinde, aynı elektrik gücünde gazlı benzinli motorlarla işletilen BHKW'lerinkinden yüksektir. Gazlı benzinli motorlarla işletilen BHKW'lerin etki dereceleri % 34 ve 40 arasında bulunmaktadır. Artan elektrik gücüyle birlikte elektriksel verim hem çift yakıtlı motorlarda hem de gazlı benzinli motorlarda artmaktadır. Verimleri, BHKW üreticileri ve test standı koşulları altında (doğalgaz ile sürekli çalıştırma) belirlendiğinden, pratik uygulamada biyogaz tesisinde elde edilen değerler çoğu zaman üretici bilgilerine göre daha düşüktür. Özellikle pratikte çok nadir durumlarda aralıksız tam yük altında çalıştırma yapıldığı ve kısmi yük işletimindeki verimlerinin, tam yük işletimindekine göre daha düşük olduğu dikkate alınmalıdır. Bu, üniteye özgü olarak ve teknik kataloglardan elde edilebilmektedir.

Bir BHKW'nin elektriksel verimini, güç kapasitesinin yanı sıra zararlı gaz emisyonları gibi çok sayıda faktör etkileyebilir. Özellikle örneğin bujiler, motor yağı, valfler ve pistonlar gibi motor bileşenlerinin yanında hava, gaz veya yağ filtresi yaşlanmaya bağlı bir aşınmaya tabidir. BHKW'nin ömrünü uzatma hedefiyle aşınmaya maruz kalan bu bileşenlerin düzenli aralıklarla değiştirilmesi gerekmektedir. Genellikle uyulacak bakım döngüleri BHKW üreticisi tarafından verilir. Ayrıca BHKW'nin örneğin lamda değeri, ateşleme zamanı ve subap boşluğu gibi ayarları, elektriksel verimi ve gücü, ayrıca atık gaz emisyonlarını da belirlemektedir. Bakım ve ayarın uygulanması, işletmecinin kendisi tarafından veya var olan bakım sözleşmeleri üzerinden, BHKW üreticisinin bir servis ekibiyle veya tesis işletmecisi tarafından görevlendirilmiş bir işletme tarafından yapılmaktadır. Genel olarak BHKW'nin TA-Hava sınır değerleri bölgesinde ayarlanmasının, yanma kalitesi, elektrik gücü ve elektriksel verimi üzerine önemli bir etkide bulunduğu belirlenmiştir [5-26].

#### 6.2.1.6 Isı değiştirici

Elektrik üretimi esnasında ortaya çıkan ısıdan faydalanabilmek için, bir ısı değiştirici öngörülmalıdır. Yanmalı motorlarla çalışan bir BHKW'de ısı çeşitli sıcaklık seviyelerinde ortaya çıkar. En büyük ısı miktarı, yanmalı motorların soğutma suyu sistemi üzerinden kazanılabilir. Sıcaklık seviyesi nedeniyle soğutma suyu ısı veya proses enerjisi olarak kullanılabilir. Şekil 6.7 bir ısı dağıtıcısını göstermektedir. Isı değiştirici olarak genellikle plakalı ısı aktarıcılar kullanılmaktadır [6-13]. Çekilen ısı ardından bir dağıtıcı ile her bir ısıtma döngüsüne aktarılır.



Şekil 6.7: Isı dağıtıcısı [MT-Energie-GmbH]

Atık gazların (eksoz) sıcaklık seviyesi yaklaşık 460 ila 550 °C arasında bulunmaktadır. Atık gaz ısısının çekilmesi için paslanmaz çelikten yapılmış, genellikle boru şeklinde atık gaz ısı değiştiricileri kullanılmaktadır [6-13]. Tipik olarak kullanılan ısı değiştiricileri çeşitli basınç aralıklarında bulunan buhar, sıcak su ve termik yağdır.

İşletmenin kendisinin ısı ihtiyacı, BHKW'nin atık ısıyla çok hızlı bir şekilde karşılanabilir. Isı ihtiyacı sadece kışın yüksektir, yazın ise fazla ısı harici bir faydalanım imkânı olmadığı takdirde soğutucular tarafından dışarı atılmalıdır. Fermentörün ısıtılması için kullanılan ve toplam ısı miktarının yaklaşık % 20-40 kadarına karşılık gelen ısının yanı sıra, ilave olarak örneğin işletmenin kendisi veya konutlar da ısıtılabilir. BHKW'ler geleneksel ısıtma teknolojisiyle tam bir uyum içindedir, bundan ötürü ısıtma döngüsüne kolaylıkla bağlanabilirler. BHKW'nin devre dışı kalması durumunda genellikle mevcut olan ısıtma kazanı acilen devreye alınmalıdır.

İşletme içi ısı köprülerinin (örneğin ahır ısıtıcısı, süt soğutucusu) yanı sıra işletmenin sınırları dışına ısı satışı, işletmenin ekonomik açıdan büyük başarı kazanmasına neden olabilir. NaWaRo (yenilenebilir bitkisel kaynaklar) için materyal maliyetlerinin giderek yükseldiği dikkate alındığı takdirde, bir tesis belki de ancak dışarıya ısı sattığı takdirde ekonomikliğini sağlamaya başlayacaktır. Dışarıya ısı satma, EEG'nin KWK bonusu tarafından da desteklenmektedir. Tesisler, ısı faydalanımları EEG 2005 kurallarına uygun olduğu takdirde, ürettikleri kWh elektrik başına 2 Cent alacaklardır. Yeni tesisler için, ısı faydalanımı EEG 2009 Pozitif Listesi anlamında gerçekleştiği takdirde, bu bonus kWh başına 3 Cent'e yükselir. Aynı durum EEG 2009'u karşılayan mevcut tesisler için de geçerlidir.

Isı satışı için uygun imkanlar bulunduğu takdirde, fermentörün daha iyi yalıtılması veya fermentöre daha etkin ısı girişi sağlanarak işletmede ısı tasarrufu yapılması da faydalı olacaktır. Ancak ısı satışı söz konusu olduğu takdirde, ısı tedarikinin sürekliliğinin sağlanması, yani sık bakım aralıklarının ve devre dışı kalma sürelerinin bir şekilde kısaltılması gerektiği unutulmamalıdır. Potansiyel ısı kullanıcıları yakınlarında bulunan sını ve resmi kuruluşlar (bahçe üretimi yapan işletmeler, balık çiftlikleri, ahşap kurutma tesisleri vb.) veya konutlardır. Isı faydalanımının özel bir potansiyelini, yüksek enerji tüketen işleme ve kurutma prosesleri teşkil etmektedir. Bir başka alternatif ise güç-ısı-soğuk kuplajı oluşturmaktadır (bkz. 6.2.5.2).

#### 6.2.1.7 Gaz kontrol hattı

Biyogazın etkin bir şekilde kullanılabilmesi için, gaz motorları gazın fiziksel özellikleri bağlamında taleplerde bulunurlar. Bunlar özellikle biyogazın gaz motoruna aktarıldığı basınç (genelde 100 mbar) ve tanımlanmış bir debidir. Parametreler bu istekleri yerine getiremedikleri takdirde, örneğin fermentörde yeteri kadar gaz açığa çıkmadığı zaman motorlar kısmi yükte çalıştırılır veya kapatılır. İsteklere sabit olarak uymak ve güvenlik taleplerini karşılayabilmek için BHKW'nin hemen önüne bir gaz kontrol hattı monte edilir.

Gaz kontrol hattı bütün gaz hattını kapsayacak şekilde Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e. V. (DGWV) yönergelerine uygun olmak zorundadır. Bütün gaz hatları ya sarı boyayla boyanmalı, ya da sarı oklarla işaretlenmelidir. Kontrol hattı bağımsız olarak kilitlenebilen iki vanasına (mıknatıs valf), kurulum mekanının dışında bir kapama vanasına, bir alev kesicisine ve bir düşük basınç sensörüne sahip olmalıdır. Gaz miktarını tespit etmek için bir gaz sayacının ve biyogazdaki partikülleri ayırmak için bir ince filtrenin gaz hattına bağlanması tavsiye edilir. Gerektiği takdirde hatta bir de kompresör monte edilmelidir. Şekil 6.8'de bir gaz kontrol hattı örneği görülmektedir.

Gaz hatlarının kurulumu için yoğunlaşma tahliyesi düzeneğinin entegre edilmesi de özel bir öneme sahiptir, çünkü en küçük yoğunlaşma miktarları bile küçük gaz basınçları nedeniyle gaz hattının aşınmasına neden olabilir.



Şekil 6.8: Gaz kontrol hattı BHKW [DBFZ]

#### 6.2.1.8 İşletim, bakım ve kurulum mekanları

BHKW'lerde biyogaz kullanımı, mutlaka uyulması ve dikkate alınması gereken bazı çerçeve koşullarına sahiptir. Asıl işletimin yanı sıra belirtilen bakım aralıklarına ve BHKW'nin kurulum mekanı taleplerine de dikkat edilmelidir.

#### İşletim

BHKW tesisleri farklı düzenleme, gözetim ve kumanda tedbirleri nedeniyle normal durumda genel olarak tam otomatik çalışırlar. BHKW işletimine dair bir değerlendirme yapabilmek için, aşağıdaki verilerin eğilim belirlemek amacıyla bir işletme defterine kaydedilmeleri gerekir:

- Ulaşılan çalışma saatleri
- Başlatma sayısı
- Motor soğutma suyu sıcaklığı
- Isıtma suyunun gidiş ve geliş sıcaklıkları
- Soğutma suyu basıncı,
- Yağ basıncı,
- Atık gaz sıcaklığı,
- Atık gaz karşı basıncı,
- Yakıt tüketimi,
- Üretilen güç (termik ve elektrik).

Bu veriler BHKW kumanda panelinde kaydedilebilir ve belgelenebilir. BHKW kumandasının biyogaz tesisinin kontrol devreleriyle, ayrıca veri alışverişinin merkezi bir kontrol sistemiyle ya da internet üzerinden üreticinin de uzaktan tanınmasını sağlayan uzak veri aktarımıyla birleştirilmesi çoğunlukla gerçekleştirilmektedir. Yine de, bütün elektronik gözetim uygulamalarına rağmen tesis her gün gezilmeli ve gözle

kontrol edilmelidir. Çift yakıtlı motorlu BHKW'lerde tüketilen gaz miktarının yanı sıra, tutuşturma yakıtı da ölçülmelidir.

BHKW'nin ısı verimine dair bir yorum yapabilmek için, üretilen elektrik miktarının yanı sıra üretilen ısı miktarı da ısı sayaçları tarafından ölçülmelidir. Bu şekilde ihtiyaç duyulan proses ısısına ya da BHKW'nin ısı döngüsüne bağlı diğer tüketicilerin (örneğin ahırlar vb.) ihtiyaç duyduğu ısı miktarlarına dair de yorum yapılabilir.

Motorların yeteri miktarda gazla beslenebilmeleri için, asıl gaz kontrol hattına giriş noktasından önce uygun bir akış basıncı sağlanmış olmalıdır. Basıncı düşük olan biyogazın depolamasında uygun gaz kompresörleriyle basıncın yükseltilmesi gerekir.

Motorların güvenli bir şekilde çalışması için yağlama yağı büyük bir rol oynamaktadır. Yağlama yağı, motorlarda oluşan asitleri nötralize eder. Eskime, kirlenme ve nitratlanma, ya da nötralizasyon yeteneğinde azalma gibi nedenlerden ötürü yağlama yağı motorun türüne, yağa ve işletme saatine bağlı olarak düzenli aralıklarla değiştirilmelidir. Düzenli yağ değiştirme aralıklarının yanında, yağ değiştirme işleminden önce yağdan numune alınmalıdır. Yağ numunesi, bu konuda uzmanlaşmış bir laboratuvarında analiz edilebilir. Laboratuvar sonuçlarına göre yağ değiştirme aralıklarının sıklığına ve motorun aşınma durumuna dair bir yorum yapılabilir [6-12]. Bu görevler sıklıkla bakım sözleşmeleriyle devredilmektedir. Yağ değiştirme aralıklarını uzatmak için, üreticiler tarafından sunulan daha büyük karterler ile kullanılan yağ miktarı artırılır.

### Bakım

Bir BHKW'nin biyogazla işletilmesi, önceden belirlenmiş bakım aralıklarına uyulmasını gerektirir. Yağ değişimi veya aşınan parçaların değiştirilmesi gibi koruyucu bakım önlemleri de buna dahildir. Yetersiz bakım ve muhafaza BHKW'nin zarar görmesine ve ciddi maliyetlerin ortaya çıkmasına yol açabilir.

Her BHKW üreticisi bir kontrol ve bakım planı hazırlamaktadır. Bu planlar çerçevesinde modüllerin muhafazası ve bakımı için hangi faaliyetlerin hangi zaman dilimlerinde yapılacağı öngörülmektedir. Farklı bakımlar arasındaki süre, motor tipi vb. gibi faktörlere bağlıdır. BHKW üreticileri tarafından verilen eğitimler, bazı çalışmaların kendi başına yapılabilmesini de olanaklı kılmaktadır [6-12].

Bakım planlarının yanı sıra, servis anlaşmaları da sunulmaktadır. BHKW'nin satın alınmasından önce servis sözleşmelerinin ayrıntılarının açıklığa kavuşturulması gerekmektedir, bu esnada aşağıdaki hususlara özel bir önem atfedilmelidir:

- Hangi faaliyetler işletmeci tarafından yürütülecek,
- Servis sözleşmesi hangi formda yapıldı,
- İşletim materyallerini kim karşılıyor,
- Sözleşme süresi nedir,
- Sözleşme büyük bir revizyonu da kapsıyor mu,
- Plan dışı sorunlar nasıl çözülecek.

Servis sözleşmesine hangi hizmetlerin dahil edileceği, bir ölçüde işletmecinin yerine getirmek durumunda olduğu işlere de bağlıdır. VDMA (Güç Makinaları Birliği) (Fachgemeinschaft Kraftmaschinen) tarafından bakım ve muhafaza sözleşmeleri için bir şartname ve sözleşme örneği hazırlanmıştır. Bu şartname temelinde VDI Yönergesi 4680 „Servis Sözleşmeleri İçin BHKW Esasları“ oluşmuştur. Sözleşmelerin yapısına ve içeriğine dair bilgiler buradan temin edilebilir [6-2]. VDMA uyarınca servis sözleşmelerinin çeşitli sözleşme formları tanımlanabilir.

**Kontrol sözleşmesi**, kontrol edilecek tesisin mevcut durumunun tespitine ve değerlendirilmesine dair bütün tedbirleri kapsar. Ücretlendirme için genel bir fiyat belirlenebilir, ya da harcanan emeğe göre belirlenebilir, ancak bu kontrolün bir kereye mahsus olarak mı, yoksa düzenli olarak mı yapılacağı tespit edilmelidir.

**Bakım sözleşmesi**, hedef durumun korunması için gereken tüm tedbirleri kapsar. Yerine getirilecek faaliyetler, sözleşmenin bir bileşeni olacak bir liste halinde düzenlenmelidir. Bu faaliyetler periyodik olarak ya da duruma bağlı olarak uygulanabilir. Sözleşme ortağı emeğe göre veya götürü olarak belirlenebilir. Sözleşme koşullarına göre, kullanıcı tarafından düzeltilmeyen arızaların giderilmesi de hizmetlerin kapsamına alınabilir.

**Onarım sözleşmesi**, hedef durumun yeniden tesis edilmesi için alınması gereken bütün tedbirleri kapsar. Uygulanacak faaliyetler münferit durumun koşullarına göre belirlenir. Ücretlendirme normal olarak emeğe göre hesaplanır [6-1].

Tam bakım sözleşmesi olarak da anılan **Çalışır halde tutma sözleşmesi**, güvenli bir işletimin korunması için alınması gereken tedbirlerin tümünü kapsar (bakım ve tamir çalışmaları, yedek parça takılması, yakıt dışında işletme maddeleri). Sözleşme, süresi (genelde 10 yıl) itibarıyla bir genel rektifiye şartı da içermelidir. Bu sözleşme en genel anlamıyla bir garanti hizmetidir. Ücretlendirme genellikle götürü olarak hesaplanır [6-1].

Çift yakıtlı motorların ömrü ortalama olarak 35.000 işletme saatidir [6-28] [6-29], bu da yılda 8.000 işletme saatinden yaklaşık 4 ½ yıla karşılık gelmektedir. Bundan sonra motorda genel rektifiye yapılmalıdır, ancak bu durumda genellikle motor yenisiyle değiştirilmek-





Şekil 6.9: Bir binanın ya da konteynır içindeki BHKW [Seva Energie AG]

tedir, çünkü motor fiyatlarının düşüklüğü nedeniyle rektifiye düşünülmemektedir. Gazlı motorlarda 60.000 işletme saati veya yaklaşık 7 ½ yıllık bir ortalama ömür söz konusudur. Bundan sonra motorda genel rektifiye uygulanır. Burada motor bloğu ve krank mili hariç neredeyse bütün parçalar değiştirilir. Genel bir rektifiyeden sonra aynı uzunlukta bir ömür beklenmektedir [6-2]. Motorun ömrü neredeyse tümüyle bakım ve muhafazaya bağlıdır, bundan ötürü büyük farklılıklar gösterebilir.

#### Kurulum mekanları

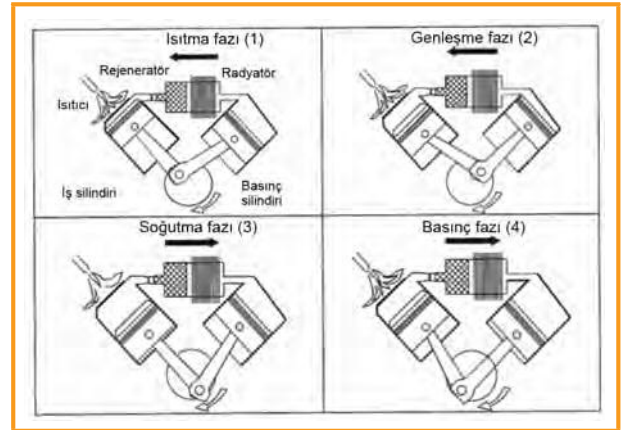
Kombine ısı ve güç santralleri sadece bu işe uygun binalara yerleştirilmelidir. Gürültü emisyonunu düşürmek için binalar gürültüyü engelleyen yalıtım malzemesiyle ve BHKW modüllerinin kendileri de gürültü engelleyici bir kapakla kapatılmalıdır. Bakım çalışmalarının uygulanması için yeterli alanın yanı sıra, motorların hava ihtiyacını karşılayabilmek için yeterli hava tedarikine de dikkat etmek gerekir. Bunun için uygun havalandırma ve kirli hava atma fanları kullanılabilir. BHKW kurulum mekanlarının diğer ayrıntılı taleplerine dair daha fazla bilgi, tarımsal biyogaz tesislerinin güvenlik kurallarından edinilebilir.

Açık havada kurulum için ses yalıtımlı konteynırlara yerleştirilmiş BHKW modülleri bulunmaktadır. Bu konteynırlarda normalde BHKW üreticilerinin kurulum yerlerine dair talepleri gerçekleştirilmiştir. Konteynır yapı tarzının bir diğer avantajı da, sistemin BHKW üreticisi tarafından akabinde bir testle birlikte komple montajının sağlanmasıdır. Kurulumdan işletmeye almaya kadar ihtiyaç duyulan süre, böylelikle bir ya da iki güne düşürülmektedir. Şekil 6.9'da BHKW'nin kurulum örneği gösterilmektedir.

#### 6.2.2 Stirling motorları

Stirling motoru bir sıcak gaz veya genişleme motorudur. Burada pistonlar – yanmalı motorlarda olduğu gibi – yanıcı gazların içten yanma sonucu genişlemeleriyle değil, harici bir enerji kaynağından gelen enerji veya ısı aktarımıyla genişleyen bir gazın sağladığı güçle hareket eder. Enerji veya ısı kaynağının stirling motorundaki asıl güç üretimiyle olan bağlantısının kesilmesinin ardından, ihtiyaç duyulan ısı, örneğin biyogazla çalışan bir brülör gibi farklı enerji kaynaklarından sağlanabilir.

Stirling motorunun temel prensibi, bir gazın bir ısı değişikliği esnasında belli bir hacim değiştirme işi yapması esasına dayanır. Bu çalışma gazı sabit yüksek sıcaklıkta bir bölme ile sabit düşük sıcaklıkta bir bölme arasında gidip geldiği takdirde, motorun sürekli işletimi mümkün olur. Bu şekilde çalışma gazı bir çevrim içine girer. Motorun çalışma prensibi şekil 6.10'da gösterilmiştir.

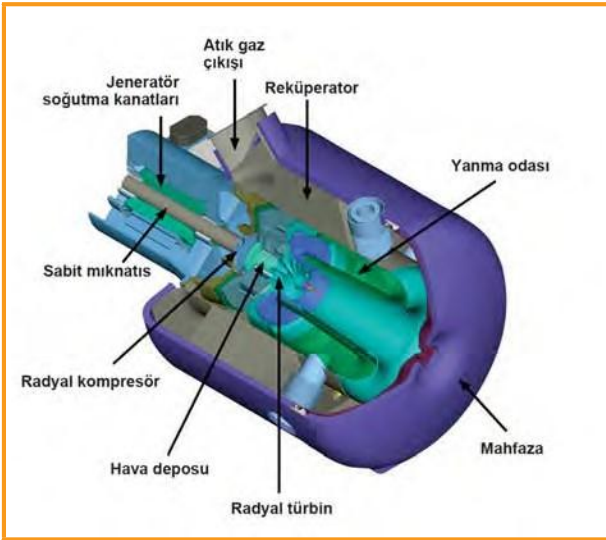


Şekil 6.10: Bir stirling motorunun çalışma tarzı [6-21]e göre 6.14'den



Sürekli yanma nedeniyle stirling motorları düşük zararlı madde ve gürültü emisyonuna sahip oldukları gibi, bakım ihtiyaçları da düşüktür. Yapı parçalarına az yük binmesi ve kapalı gaz çevrimi nedeniyle, bakım giderleri de düşüktür. Elektriksel verimi geleneksel gaz motorlarına kıyasla düşüktür ve % 24 ila 28 arasında bulunmaktadır. Stirling motorlarının gücü öncelikli olarak 100 kW<sub>el</sub> 'den daha azdır. [6-34]. Dış yanma nedeniyle biyogaz kalitesi beklentisi düşüktür, bu yüzden de düşük metan oranlarına sahip gazlar da kullanılabilir [6-14]. Biyogazın önceden saflaştırılmasına gerek duymaması, stirling motorunun geleneksel biyogaz yanmalı motorlara kıyasla en büyük avantajı olabilir. Dezavantaj olarak yük değişimi esnasındaki yavaşlıktan söz edilebilir, ancak kombine ısı ve güç santralleri gibi sabit tesislerde bu durum örneğin taşıtlara kıyasla çok daha önemsiz bir rol oynamaktadır.

Doğalgazla çalışan stirling motorları, çok küçük güç sınıflarıyla piyasada satılmaktadır. Ancak stirling motorlarının biyogaz teknolojisinde rekabet edebilir hale gelebilmesi için, daha çok çeşitli teknik gelişmelerin gerçekleşmesi gerekmektedir. Stirling motoru tıpkı çift yakıtlı motor ya da gazlı motor sistemleri gibi BHKW'de kullanılabilir. Buna rağmen Almanya'da henüz az sayıda pilot proje yürütülmektedir.



Şekil 6.11: Bir mikrogaz türbininin yapısı [Energietechnologie GmbH]

### 6.2.3 Mikrogaz türbinleri

Mikrogaz türbinleri ya da mikro türbinler, 200 kW<sub>el</sub> olmak üzere alt elektriksel güç alanında, düşük yanma odası sıcaklığına sahip küçük, hızlı çalışan gaz

türbinlerini tanımlamaktadır. Halen ABD ve Avrupa'da çeşitli mikrogaz türbini üreticileri bulunmaktadır. Mikrogaz türbinleri etki derecesini iyileştirmek için "normal" gaz türbinlerinin aksine, yanma havasının ön ısıtılmaya tabi tutulduğu bir reküperatör bulunmaktadır. Bir mikrogaz türbininin yapısı şekil 6.11'de gösterilmiştir.

Gaz türbinlerinde hava çevreden emilir ve bir kompresörde sıkıştırılır. Hava bir yanma odasına girer ve burada biyogaz eklenmek suretiyle yanar. Bu arada gerçekleşen ısı yükselmesi, hacim genişlemesine neden olur. Sıcak gazlar, gerilimlerinin düşürüldüğü bir türbine girerler. Bu arada kompresörün çalıştırılması için gerekenden çok daha fazla güç açığa çıkar. Kompresörün tahriki için gerek duyulmayan enerji ile elektrik üretmek amacıyla bir jeneratör çalıştırılır.

Yaklaşık 96.000 d/dak'lık bir devirle yüksek frekanslı alternatif elektrik enerjisi üretilir, bu elektrik enerjisi de bir güç elektroniği üzerinden elektrik şebekesine verilebilecek şekilde hazırlanır. Mikrogaz türbinleri biyogaz için kullanılacaksa, doğalgaz işletimine göre yanma odalarında veya yakıt memelerinde değişikliklerin yapılması gerekir. [6-8]. Mikrogaz türbinlerinin ses emisyonları yüksek bir frekans alanında bulunurlar ve iyi bir şekilde yalıtılabilirler.

Biyogaz, mikrotürbinin birkaç barlık yüksek basıncın bulunduğu yanma odasına girmek zorunda olduğu için, gaz basıncının artırılması gereklidir. Yanma odası basıncının yanı sıra akış ve kütle debisine bağlı gaz hattı, valf ve brülör üzerinden basınç kayıpları dikkate alınmalı, basınç 6 bar seviyesine çıkartılmalıdır. Bunun için mikrogaz türbininin yakıt tarafında bir kompresör çalıştırılır.

Biyogaz içinde bulunan istenmeyen yan maddeler (özellikle de su ve siloksan) mikrogaz türbinine zarar verebilirler, bu yüzden gazın kurutulması veya filtreden geçirilmesi (10 mg/m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub> üzerindeki siloksan miktarlarında) gerekmektedir. Buna karşın mikrogaz türbini kükürte karşı gaz motorlarından daha büyük bir toleransa sahiptir. Mikrogaz türbinleri % 35 ila 100 metan oranına sahip biyogazı kullanabilirler [6-7], [6-8].

Hava beslemesiyle kesintisiz yanma ve düşük yanma odası basıncı, mikrogaz türbinlerinin motorlara göre çok daha düşük atık gaz emisyonuna sahip olmasına neden olur. Bu da atık gaz kullanımında örneğin yem maddelerinin doğrudan kurutulması ya da seralarda bitkilerin CO<sub>2</sub> ile gübrelenmesi alanlarında yeni yöntemlerin kullanılmasını mümkün kılar. Atık ısı görece yüksek bir sıcaklık seviyesinde bulunmaktadır ve sadece atık gazlar üzerinden taşınabilir. Bundan ötürü ortaya çıkan ısı, yanmalı motorlara

kıyasla daha düşük maliyetli ve teknik bakımdan kullanımı daha basittir. [6-8], [6-39], [6-37].

Bakım aralıkları en azından doğalgazla çalıştırılan mikrogaz türbinlerinde, motorlara kıyasla çok daha uzundur. Bakım aralığı olarak üreticiler yaklaşık toplam 80.000 saatlik bir ömürde 8.000 saatte bir bakım önermektedirler. Yaklaşık 40.000 saatlik bir çalışmadan sonra genel bir rektifiye ve sıcak gazla temas eden parçaların değiştirilmesi gereklidir.

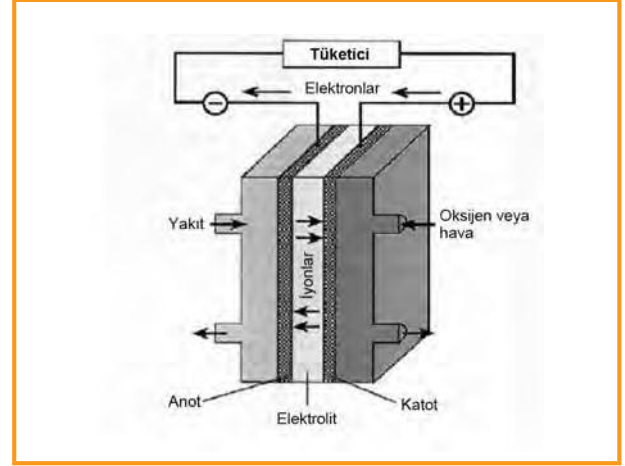
Mikrogaz türbinlerinin bir dezavantajı, yaklaşık % 30 düşük elektriksel verimleridir. Geleneksel biyogaz motorlarına göre bu oldukça düşük bu değer yine de iyi bir kısmi yük etkisiyle (% 50-100) ve bakımlar arasındaki sabit verim değeriyle telafi edilmektedir. Eşdeğer performansa sahip diğer motorlara kıyasla yatırım giderleri % 15-20 daha yüksektir [6-39]. Ancak mikrogaz türbinlerinin piyasada daha çok kullanımıyla birlikte, fiyatların da düşeceği tahmin edilmektedir. Finansal destek, mikrogaz türbinleri kullanımına 1 ct/kWh<sub>el</sub> teknoloji bonusu desteği veren EEG 2009 tarafından sağlanmaktadır. Halen biyogazla çalışan mikrogaz türbinleri üzerinde denemeler yapılmaktadır, ancak pratik önemleri henüz çok yükselmiş değildir.

#### 6.2.4 Yakıt hücreleri

Yakıt hücrelerinin etki tarzı, biyogazdan enerji kazanımının geleneksel yöntemlerinden asli olarak ayrılmaktadır. Kimyasal enerjinin elektriğe dönüşmesi burada doğrudan gerçekleşir. Yakıt hücreleri neredeyse emisyonuz bir işletme tarzında % 50'ye kadar varan yüksek elektriksel verimi garanti eder. Kısmi yük uygulamasında da yüksek verimlere ulaşılabilir.

Yakıt hücrelerinin fonksiyon prensibi, suyun elektrolizinin aksi yönüne benzerlik gösterir. Elektroliz su moleküllerinin elektrik enerjisi yardımıyla hidrojen (H<sub>2</sub>) ve oksijene (O<sub>2</sub>) ayrılırlar. Buna karşın bir yakıt hücresinde H<sub>2</sub> ve O<sub>2</sub> elektrik enerjisi verilmek suretiyle ısıya ve suya (H<sub>2</sub>O) dönüştürülür. Böylece yakıt hücresi elektrokimyasal reaksiyon için hidrojen ve oksijene "yakıt" olarak ihtiyaç duyar [6-17]. Yakıt hücrelerinin yapısı prensip olarak daima aynıdır. Asıl hücre, bir elektrolit tarafından ayrılan ve gaz taşıyan iki levhadan (anot ve katot) oluşur. Elektrolit olarak farklı yakıt hücresi tiplerinde farklı maddeler kullanılabilir. Şekil 6.12'de yakıt hücrelerinin bir çalışma örneği görülmektedir.

Biyogazın yakıt hücrelerinde kullanılabilir hale gelmesi için hazırlanması gerekir. Her şeyden önce kükürtün bölüm 6.1.1'de anlatılan yöntemlerle ayrılması gerekir. Biyogazın reformasyonunun yardımıyla



Şekil 6.12: Bir yakıt hücresi çalışma prensibi [vTI]

metan hidrojene dönüştürülür, bunun için farklı yakıt hücresi tiplerinde [6-31] detaylı olarak bir araya getirilmiş olan çeşitli basamaklar uygulanmaktadır. Yakıt hücreleri kullandıkları elektrolitlerin tipine göre isimlendirilir ve düşük (AFC, PEMFC, PAFC, DMFC) ve yüksek ısı yakıt hücreleri (MCFC, SOFC) olarak alt gruplara ayrılırlar. Hangi hücrenin kullanım için en uygun olduğu ısı değerlendirmesinin ve kullanılabilir güç sınıflarının türüne bağlıdır.

Polimer elektrolit membran (PEM) yakıt hücreleri, küçük biyogaz tesislerindeki kullanım için başarı vaat eden bir olasılık teşkil etmektedirler. İşletim sıcaklıkları (80 °C) sayesinde ısı doğrudan mevcut bir sıcak su şebekesine aktarılır. Kullanılan elektrolitin türüne göre PEM'in yüksek kullanım ömrü olabilir, ancak yine de yakılan gazın içindeki kirlenmelere karşı çok hassastır. Her şeyden önce reformasyon esnasında oluşan karbonmonoksit halen eleştirel gözle bakılmaktadır.

PAFC (Phosphoric Acid Fuel Cell) yakıt hücrelerinin en gelişmiş olanıdır. Bu yakıt hücresi doğalgaz kullanımı için dünyada en sık tercih edilendir ve halen uygulama testinde 80.000 işletme saatini geçebilen yegane ticari yakıt hücresidir [6-31]. Halen biyogazın yakıt olarak kullanımı için 100-200 kW<sub>el</sub> güçlerde PAFC hücreleri temin edilebilmektedir. % 40'lara kadar elektriksel verim mümkündür. PAFC karbondioksit ve karbonmonoksit karşı daha az duyarlıdır.

MCFC (Molten Carbonate Fuel Cell) elektrolit olarak bir karbonat eriyiği ile çalıştırılır, karbonmonoksit karşı duyarlı değildir ve % 40 hacimsel oranına kadar karbondioksidi tolere eder. Çalışma sıcaklığı nedeniyle (600–700 °C) reformasyon hücrenin içinde de gerçekleşebilir. Hücrenin atık ısısı örneğin ardıl devrelenmiş türbinlerde kullanılmaya devam edilebilir. MCFC sistemlerinde 40-300 kW<sub>el</sub> büyüklüğündeki

güçler için elektriksel verimi % 50'ye kadar yükseltilebilir ve şu anda piyasaya girme aşamasında bulunmaktadır [6-31].

Bir diğer yüksek ısı yakıt hücresi de SOFC'dir (Solid Oxide Fuel Cell). Bu yakıt hücresi 600 ila 1.000 °C arasındaki sıcaklıklarda çalışır. Yüksek bir elektriksel verime sahiptir (% 50'ye kadar) ve burada da metanın hidrojene reformasyonu hücre içinde gerçekleştirilebilir. SOFC kükürte karşı düşük bir duyarlılık geliştirmiştir, bu da biyogazın değerlendirilmesinde bir avantaj sağlamaktadır. Ancak biyogaz için uygulaması halen araştırma ve pilot proje aşamasında bulunmaktadır. Mikrobiyogaz şebekelerinin en küçük alanları için kullanımı öngörülebilir.

Üreticiler tarafından halen PEMFC tercih edilmektedir, ancak bu da daha küçük güç alanlarında SOFC ile rekabet etmektedir (SOFC'nin etki derecesi daha yüksektir, ancak maliyeti de aynı şekilde daha fazladır) [6-31]. PAFC ise piyasada baskın olmaya devam etmektedir.

Bütün yakıt hücresi tipleri için yatırım giderleri henüz çok yüksektir ve motorlarla işletilen BHKW ile rekabet etmekten çok uzaktır. [6-31] uyarınca PEMFC'nin maliyeti 4.000 ila 6.000 €/kW arasında bulunmaktadır. Buradaki hedef 1.000 ila 1.500 €/kW dilimine ulaşmaktır. Yatırım giderlerinin ne ölçüde aşağı çekilebileceği ve halen kısmen mevcut olan teknik problemlerin özellikle biyogaz kullanımı konusunda nasıl çözüleceği çeşitli pilot projelerle araştırılmaktadır.

### 6.2.5 Elektrikle çalışan güç-ısı kuplajında atık ısı kullanımı

Doğalgaz/biyometan alanında BHKW'lerin kontrolü için ağırlıklı nokta ısı ihtiyacıdır. Bu, BHKW ısı ihtiyacına göre işletilmesi esnasında elektriğin herhangi bir kısıtlamaya tabi olmaksızın verilebileceği anlamına gelmektedir. Bundan ötürü ısı üretimi amacıyla da çalışan BHKW'ler genelde bir ısı tüketim noktasının ısı ihtiyacının ana yükünü karşılamalıdır (yıllık ihtiyacın % 70-80'ini), bu arada uç tüketim ihtiyacı için ek kazanılarda hazır bulundurulmalıdır. Elektrikle üretimi ağırlıklı çalışan güç-ısı kuplajlarından ise BHKW'nin yük eğrilerinden elektrik ihtiyacı tanımlandığı zaman söz edilebilir. Bu da ancak bir elektrik beslemesi olmadığı ya da görece sabit bir elektrik ihtiyacı söz konusu olduğunda gerçekleştirilebilir. Yeterli sayıda ısı köprüsü bulunan büyük tesisler veya sanayi kuruluşları buna uygundur. Yüksek çalışma saatlerine ulaşabilmek için ısı depolama imkanlarının mevcut olması ve ek olarak ana yükü karşılaması gerekir. Bu tesisler sıklıkla bir

yük yönetimine sahiptirler. Bu, BHKW'nin ihtiyaç anında faydalanım opsiyonlarını değiştirebileceği anlamına gelmektedir ki, bu da örneğin konutlarda veya hastanelerde avantajlı olabilmektedir.

Pratik olarak desentral elektrik kazanımlı biyogaz tesislerinin büyük kısmının, aslında üretilen elektrik miktarının azami ikmal edilebilen elektrik miktarına göre düzenlenebildiği bir elektrikli güç-ısı kuplajı olduğu anlamına gelmektedir. Bu sadece kullanıma hazır gaz miktarı ya da BHKW'nin büyüklüğü tarafından sınırlandırılmaktadır. Olası ısı faydalanım konseptlerinin ekonomikliğine dair genel bir bakış bölüm 8.4'te yer almaktadır.

Üçüncü, geleceğe yönelik, ancak burada ayrıntılı ele alınmayan bir başka işletme tarzı olarak, şebeke üzerinden faydalanım gündeme gelmektedir. Burada birden fazla tesis için merkezi bir noktadan bir güç seviyesi belirlenmektedir (sanal santral). Her iki işletme tarzı arasında seçimin ne şekilde yapılacağı, esas olarak ekonomik bakış açılarına bağlıdır.

#### 6.2.5.1 Isı hazırlanması/Isı dağılımı (Yakın ısı şebekeleri)

Yerinde elektrik üreten bir biyogaz tesisinin ekonomik olarak işletilmesi için belirleyici faktörlerden birisi, elektrik kazanımı esnasında ortaya çıkan ısının satılmasıdır. Özellikle kırsal bölgelerde bu ısı civar sakinlerine satılabilir. Genel bir satış için yakın ısı şebekelerinin kurulumu söz konusu olabilir. Bu şebeke, suyu 90 °C (gidiş) ve 70 °C (geliş) sıcaklığı ile nakleden çift sarmal yalıtımlı çelik veya plastik borulardan oluşmaktadır. Biyogaz tesisinin ısısının şebekeye verilmesi ısı aktarıcılarını ile gerçekleşir, binalar ve aktarım istasyonları ısı sayaçlarıyla donatılır. Yakın ısı boruları bir sızıntı tanıma sistemine sahip olmalı ve trafik yüklerine ve düşük ısılara dayanabilmeleri için yeterli derinliğe (1 m) döşenmeleri gerekmektedir. Bunun dışında aşağıdaki noktalara da dikkat edilmelidir:

- Zamanında ön planlama ve konsept oluşturulması
- Yüksek bir asgari ısı satımı seviyesi
- Yeterli sayıda şebekeye bağlı konut ünitesi (asgari 40)
- Şebekeye bağlı konut ünitelerinin birbirlerine mümkün olduğunca yakın bulunmaları.

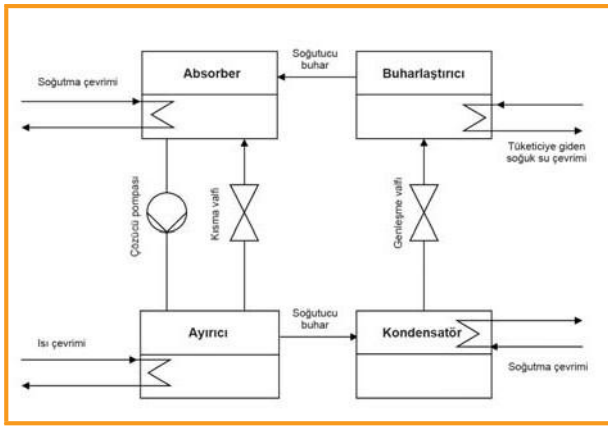
Şebekeye bağlı ısı alıcıları için büyük enerji piyasalarına karşı bağımsızlık, buna bağlı yüksek tedarik güvencesi ve nihai olarak enerji maliyetlerinde düşüş bir avantaj olarak ortaya çıkmaktadır. Isı pazarlamasının bu formu bu güne dek çok sayıda biyoenerji köyünde (örneğin Jühnde, Freiamt veya Wolpertsthausen) gerçekleştirilmiştir. Hat uzunlukları 4 ila 8 km arasında



değişmektedir. Yakın ısı şebekelerinin ekonomikliği bölüm 8.4.3'te ayrıntılı olarak ele alınmaktadır.

### 6.2.5.2 Soğuk üretimi

Yanma prosesinden kaynaklanan ısıdan bir başka istifade yöntemi ise bu ıyı soğuca dönüştürmektir. Bu, adsorbsiyon ve absorbsiyon olmak üzere ikiye ayrılan sorbsiyon yöntemleri tarafından gerçekleştirilir. Sahip olduğu yüksek önemden ötürü ve prensibi eski buz-dolaplarından bilinen absorbsiyon soğutma makinesi açıklanacaktır. Bu yöntemin çalışma prensibi şekil 6.13'te gösterilmiştir.



Şekil 6.13: Bir absorbsiyon soğutma makinesinin çalışma şeması



Şekil 6.14: Bir biyogaz tesisinde absorbsiyon soğutma makinesi örneği [DBFZ]

Biyogaz tesisinde gerçekleştirilmiş bir örnek şekil 6.14'te görülebilir.

Soğuk üretmek için soğutucu ve çözücülerden oluşan bir çalışma maddesi çifti kullanılır. Çözücü bir soğutucu maddeyi absorbe eder, sonra ondan yine

ayrılır. Çalışma maddesi çifti olarak 6/12 °C sıcaklık alanı için su (soğutucu) ve lityumbromid (çözücü), -60 °C'ye kadar olan sıcaklık alanı için amonyak (soğutucu) ve su (çözücü) kullanılabilir.

Çözücü ve soğutucu, ekstaktörde birbirinden ayrılacaktır. Bunun için çözeltinin ısıtılması gerekir, bu amaçla da BHKW tarafından kullanıma sunulan ısı değerlendirilir. Soğutucu düşük kaynama noktası nedeniyle ilk olarak buharlaşır ve kondensatöre ulaşır. Artık içinde soğutucu bulunmayan çözücü ise absorbere ulaşır. Soğutucu, kondensatörde soğutulur ve bu şekilde sıvılaştırılır. Bunun ardından bir genleşme valfinde istenilen sıcaklığa karşılık gelen buharlaştırma basıncına tabi tutulur. Soğutucu buharlaştırıcıda ısı almak yoluyla buharlaşır. Tüketicilerin bağlı bulunduğu soğuk döngüsünün asıl soğutması esas olarak burada gerçekleşir. Bu esnada oluşan soğutucu buharı absorbere akar. Soğutucu absorberde çözücü tarafından alınır (emilir), böylece döngü tamamlanmış olur [6-13], [6-38].

Burada tek hareketli yapı parçası çözücü pompasıdır, bundan ötürü bu tesislerin aşınma ve dolayısıyla bakım giderleri çok düşüktür. Absorbsiyon soğutma sistemlerinin bir başka avantajı kompresyon soğutma sistemlerine göre daha düşük enerji tüketmeleridir, ancak diğeri kadar düşük sıcaklıklar üretemezler. Bu yöntem günümüzde sütleri soğutma veya ahır iklimlendirmesi gibi çeşitli tarımsal alanlarda kullanılmaktadır.

### 6.2.5.3 Ardıl elektrik kazanımı konseptleri

ORC tekniği (Organic Rankine Cycle) ile BHKW'nin çok yüksek olmasa bile fazla atık ısısının, hangi kısımlarının tekrar elektrik enerjisine dönüştürülebileceğini saptamaya yarayan bir teknolojidir. Bu teknolojinin prensibi buhar gücü prosesine dayanmaktadır (bkz. [6-14]), ancak burada akışkan olarak su değil, düşük kaynama ve yoğunlaşma noktalarına sahip başka maddeler uygulama alanı bulmaktadır. Bu proses ilk kullanım yeri olan jeotermik elektrik üretiminden kaynaklanmaktadır ve bu alanda yıllardan beri başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. Akışkan olarak halihazırda çevre dostu maddeler (silikon yağı) denenmekte olup, bu sayede bu güne dek kullanılan kolay tutuşabilir (tuluol, pentan, propan) veya çevreye zarar veren (FCKW) maddeleri piyasadan giderek çekilmektedir. ORC prosesi her ne kadar bu güne dek ahşabın yakıt olarak kullanıldığı ısı santrallerinde gerçekleştirildiyse de, bu teknolojinin motorlarda biyogaz yakımıyla kombinasyonu henüz geliştirme aşamasındadır.

Tahminen 1 MW<sub>el</sub> gücündeki bir BHKW'nin ürettiği güce ek olarak ORC prosesi tarafından da 70-100 kW<sub>el</sub>'lik (% 7-10) bir güç üretilebilir [6-28].

[6-19]'a göre bu güne dek yaklaşık 100 kW<sub>el</sub> gücünde bir ORC prototipi geliştirilmiştir. Halen ardıl ORC teknolojisini kullanarak işletmeye geçmiş olan az sayıda biyogaz tesisi bulunmaktadır.

ORC teknolojisine alternatif olarak, ilave bir jeneratörü doğrudan atık gaz türbinine bağlamak ve bu sayede ek bir elektrik gücü oluşturarak motor verimini yükseltmek gibi yeni gelişmeler de bulunmaktadır.

## 6.3 Gaz beslemesi

### 6.3.1 Doğalgaz şebekesine besleme

Biyometanın şebekeye verilmesi, Almanya'da iyi bir altyapıya sahip doğalgaz şebekesinde gerçekleşmektedir. Hem batı, hem de doğu Almanya'da hem halkın ihtiyacını genel olarak karşılayan, hem de biyometan satışına olanak sağlayan büyük doğalgaz sistemleri bulunmaktadır. Toplam şebeke uzunluğu yaklaşık 375.000 km olarak verilebilir [6-5]. Doğalgaz tedariki ağırlıklı olarak Avrupa'daki yabancı ülkelere yapılan ithalatla gerçekleşmektedir (% 85). Burada özellikle Rusya (% 35), Norveç (% 27) ve Danimarka (% 19) taşıyıcı bir rol üstlenmektedir [6-10]. Farklı tedarikçiler nedeniyle Almanya'da beş ayrı doğalgaz şebekesi oluşmuştur, bunların taşıdığı gaz kalitesi arasında farklılıklar vardır (H ve L gaz şebekeleri).

Hazırlanan biyogazın şebekeye verilmesi farklı şebeke tiplerinde farklı basınç basamaklarında gerçekleşebilir. Örneğin düşük (100 mbar'a kadar), orta (100 mbar ila 1 bar) ve yüksek basınç şebekeleri (1 ila 120 bar) bulunmaktadır. Sıklıkla uluslararası uzak iletim şebekesi, bölgelerarası iletim şebekesi, bölgesel iletim şebekesi ve bölgesel dağıtım şebekesi arasında fark gözetilmektedir [6-5]. Arz giderlerinin optimizasyonu için hazırlama işleminin çıkış basıncı, sonradan oluşabilecek sıkıştırma giderlerini asgariye indirebilmek için mevcut şebeke basıncına uyumlaştırılmalıdır. Hazırlanan biyogazın aktarılması için iletim hattında bulunan besleme noktasındaki basınç üzerinde bir basınç gerekmektedir. Her besleme noktası, basınç seviyesinin gözetimi için kendi basınç düzenleme ölçüm istasyonuna sahip olmalıdır.

Biyogazın şebekeye verilebilmesi için geçtiğimiz yılda bir dizi yasal kolaylık sağlanmıştır. Yenilenebilir Enerjiler Yasası'nın yeniden düzenlenmesinin (01.01.2009) yanı sıra, 2008 ve 2009 yıllarında yeni-

den düzenlenmiş olan GasNZV (Gaz Şebekesine Giriş Yönetmeliği) ve GasNEV (Gaz Şebekesi Ücretlendirme Yönetmeliği) yardımıyla, ekonomik ve teknik bakımdan bazı tartışmalı konular biyogaz beslemesi lehine sonuçlandırılmıştır. Bunun ötesinde, şebeke bağlantısının yatırım giderlerinin, yani özellikle gaz basıncı düzenleme sisteminin, kompresörlerin ve kamusal doğalgaz şebekesine bağlantı hattının giderlerinin, biyogaz tesisinin doğalgaz şebekesine olan her 75 veya 25 kilometresinin 10 km uzunluğunda olan kısmının şebeke işletmecisi ve biyogazı şebekeye veren kişi tarafından karşılanması karara bağlanmıştır. Bunun ötesinde biyogazı şebekeye veren kişinin bir kilometreye kadar olan bir mesafe için şebeke bağlantısına katılım payı 250.000 € ile sınırlandırılmıştır. Cari işletme giderleri ise şebeke işletmecisine ait olmaya devam etmektedir. 2008 yılında yapılan ilk yeniden düzenlemede en önemli yenilik, biyometan üreticisine gelecekte öncelikli şebeke bağlantısı ve gaz iletimi sağlanacağı idi [6-11]. Akışın zayıf olduğu şebeke bölgelerinde (dağıtıcı şebekesi) veya dönemlerde ("ılık yaz gecesi") şebekeye verilecek miktar alışı kapasitesinin üstünde bulunabilir, şebeke işletmecisi de bu nedenle fazla gazı yoğunlaştırma ve bir üstteki şebekeye vermek zorundadır. Yüksek basınç şebekelerine gaz vermek, bugünkü teknik seviyede mümkün değildir. Yine de çeşitli debiler için farklı güç ve boyutta kompresörler piyasada bulunmaktadır. Yasal çerçeve koşullarına dair daha geniş bilgiler bölüm 7'den alınabilir.

Şebekeye verilecek olan biyogazın niteliğine yönelik talepler aynı şekilde düzenlenir ve genel kabul gören DVGW kurallarında belgelenir. Çalışma Belgesi G262 ise gazların rejeneratif kaynaklardan gazın tedarikine dair talimatlar vermektedir, G260 gaz kalitesini düzenlemektedir ve G685 şebekeye verilen biyometanın ücretini düzenlemektedir. Biyogazı şebekeye veren kişi biyometanı bu düzenlemelerde talep edilen kalitelere uygun olarak hazırlamakla yükümlüdür, ince uyumlaşma (ısı değeri ayarı, kokulandırma, basınç ayarı) şebeke işletmecisine aittir. Karışık ve dengesiz bölgelerden kaçınmak için, bu kurallara mümkün olduğu kadar kesin bir şekilde uyulması gerekir.

Biyogazın şebekeye verilmesi amacı söz konusu olduğunda, BHKW'nin artık yer almayacak olması dışında biyogaz tesisinin konfigürasyonunda asli bir değişiklik olmayacaktır. BHKW'nin olmaması nedeniyle proses için gerekli elektrik enerjisi ve ısısının hazırlanmasında alternatif yöntemler düşünülmelidir. Elektrik enerjisi şebekeden alınabilir, fermentö-



rün ısıtılması ve gerektiği takdirde hazırlama teknolojilerinin zorunlu proses ısısı (örneğin amin yıkama) örneğin ısı kazanlarından temin edilebilir. Bir başka imkan da, ihtiyaç duyulan proses enerjisini temin edebilecek şekilde işletilen bir BHKW'nin paralel olarak çalıştırılmasıdır. Geri kalan biogaz şebekeye verilmek üzere kullanılabilir.

### 6.3.2 Mikrogaz şebekelerine besleme

Bir mikrogaz şebekesi, biyogaz tesisinin boru hatlarıyla bir veya birden fazla gaz değerlendirme tesisine (uydu BHKW) olan bağlantısıdır. Mikrogaz şebekeleri sadece biyogazın üretildiği yerde yeteri kadar kullanılmadığı, ancak kabul edilebilir bir yakınlıkta ısı alıcıları bulunduğu takdirde gündeme gelir. Prensip bakımından bu yöntem biyometanın doğalgaz şebekesine verilmesine benzemektedir. Aradaki fark daha düşük saflaştırma maliyetidir. Gazın enerji içeriği değiştirilmek zorunda kalmadığı için sadece 6.1.1. ve 6.1.2'de belirtilen yöntemlerle gazın kurutulması ve desülfürizasyonu gereklidir. Bir başka avantaj ise iyileştirilmiş ısı kullanımı ve buna bağlı olarak toplam veriminin yükselmesidir.

Prensip olarak iki yöntem kullanılmaktadır: Biri sadece biyogaz ile işletme, diğeri doğalgaza sürekli (talep edilen gaz kalitesine ulaşma) karıştırma. Tercih edilen uygulama alanları arasında kapalı hesap üniteleri, belediye kuruluşları, sanayi prosesleri ve büyük tarımsal işletmeler bulunmaktadır.

Mikrogaz şebekelerinin desteklenmesi bugüne dek EEG'ye göre mümkün değildir, çünkü finansal yük ağırlıklı olarak yatırım harcamalarından oluşmaktadır. İşletme giderleri ise daha düşük oranda kalmaktadır. Yatırım teşviki pazarı özendirme programı üzerinden mümkündür, buna göre 300 m'den uzun olan ham biyogaz hatlarına % 30'luk bir destek verilmektedir [6-6].

Mikrogaz şebekeleri bugüne dek Almanya'da birçok kez gerçekleştirilmiştir. Braunschweig'da ve Eichhof Tarım Merkezi'nde ki biyogaz şebekeleri buna iyi birer örnek teşkil etmektedir. Bir mikrogaz şebekesinde bütün bonuslar EEG 2009 uyarınca alınabileceğinden, biyogazın bu kullanım şekli biyogaz beslemesinin etkili bir seçeneğini oluşturmaktadır.

## 6.4 Taşıtlar için yakıt

İsveç'te ve İsviçre'de biyogaz uzun yıllardan bu yana otobüslerde, kamyonlarda ve özel alanlarda da yakıt olarak kullanılmaktadır. Almanya'da da geniş uygu-



Kaynak: Paterson (FNR)

lama imkanı bulamayan pek çok proje üretilmiştir. Jarmeln'de saf biyometan satan bir biyometan yakıt istasyonunun yanı sıra, 2009'dan bu yana 70'ten fazla yakıt istasyonunda doğalgaza biyogaz karıştırılmaktadır [6-3]. Ancak bu durumun sebebi halen ekonomik olmaktan ziyade politiktir (reklam).

Biyogaz taşıtlar için kullanılacak ise, şu anda kullanılmakta olan motorlu taşıtlar tarafından kabul edilebilecek bir kalitede hazırlanması gerekir. Motorlar için korozif etkisi olan örneğin hidrojen sülfür gibi maddelerin yanı sıra karbondioksit (CO<sub>2</sub>) ve su buharı da biyogazdan ayrıştırılmalıdır. İlgili taşıtlar genellikle doğalgazla çalıştıkları için, biyogazın doğalgaz kalitesinde (bkz. Bölüm 6.3.1) hazırlanması tavsiye edilir.

Gazla çalışan taşıtlar dünya pazarlarında satışa sunulmaktadır ve bütün isim yapmış motorlu taşıt üreticileri tarafından üretilmektedir, ancak Almanya'daki arz hâlâ sınırlıdır. Bu alanda monovalan veya bivalan motorlu çeşitli modeller bulunmaktadır. Monovalan taşıtlar sadece gazla çalışır, ancak acil durumlar için küçük bir benzin depoları vardır. Bivalan işletimde ise motor gazla veya istenildiği takdirde benzinle de çalışır. Sıkıştırılmamış biyogaz ile hatırı sayılır yakıt deposu hacmi ihtiyacı nedeniyle kayda değer bir mesafe katedilemez. Bundan ötürü biyogaz taşıtın bagajında veya altında bulunan basınçlı tanklarda yaklaşık 200 bar basınçla depolanır.

Temmuz 2002'den bu yana biyolojik yakıtlar vergisizdir, bundan ötürü biyogaz istasyonlarının yapımı

için gereken planlama güvencesi mevcuttur. Biyogazın hazırlama giderleri besleme tesisleri kısmında bulunmaktadır. Burada biyometanın gereken basınç basamağına yükseltilmesi için yoğunlaştırma maliyetleri söz konusudur.

## 6.5 Biyogazın termik kullanımı

Hazırlanan biyogazın ısı sağlanması için yakılması sorunsuz olarak mümkündür. Bunun için kullanılan brülörler, genellikle çeşitli yakıtlar için ayarlanabilen türdendir. Doğalgaz kalitesinde hazırlanmamış biyogaz için cihazların biyogaz işletimine göre ayarlanması gerekir. Demir harici metallere ve düşük kaliteli çelik alaşımlardan parçalar içeren cihazlarda, biyogazın içerdiği hidrojen sülfür nedeniyle korozyon tehlikesi mevcuttur, bundan ötürü bu metallere değiştirilmesi ya da biyogazın saflaştırılması gerekmektedir.

Atmosferik ve fanlı brülörler mevcuttur. Atmosferik cihazlar yanma için gereken havayı çevrelerinden kendileri emerler. Gereken gaz ön basıncı yaklaşık 8 mbar dolayındadır ve genellikle biyogaz tesisi tarafından temin edilebilir. Fanlı brülörlerde yanma için gereken hava bir fan tarafından temin edilir. Burada brülörde ihtiyaç duyulan ön basınç asgari 15 mbar dolayındadır. Gaz ön basıncının sağlanması için, gaz kompresörlerinin kullanımına da gerek vardır [6-13].

Biyogazın ısı üretimi için kullanılması, Yenilenebilir Enerjiler Isı Yasası'nın yeniden düzenlenmesiyle önem kazanmaktadır. Yasaya göre mal sahipleri 01.01.2009 tarihinden sonra inşa edilmiş binalarda, ısı üretiminin yenilenebilir enerjiler üzerinden gerçekleştirmekle yükümlüdürler. Ancak bu yasanın yeni yapılarla sınırlı olmasının (Baden-Württemberg hariç) yanı sıra, biyogaz kullanımında KWK tesislerinden gelen ısıyla da sınırlıdır.

## 6.6 Kaynakça

- [6-1] Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e. V. (ASUE), Energiereferat der Stadt Frankfurt Referat 79A.2, BHKW-Kenn-daten 2001
- [6-2] Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e. V. (ASUE), Energiereferat der Stadt Frankfurt Referat 79A.2, BHKW-Kenn-daten 2005
- [6-3] Bio-Erdgas an Karlsruher Erdgas-Tankstellen, <http://www.stadtwerke-karlsruhe.de/swka/aktuelles/2009/07/20090711.php>, zuletzt besucht: 06.08.2009
- [6-4] Brauckmann, J.: Planung der Gasaufbereitung eines mobilen Brennstoffzellenstandes. Diplomarbeit, Fraunhofer UMSICHT und FH Münster, 2002
- [6-5] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (Hrsg.): Einspeisung von Biogas in das Erdgasnetz, Leipzig, 2006
- [6-6] Daniel, J.; Scholwin, F., Vogt, R.: Optimierungen für einen nachhaltigen Ausbau der Biogaserzeugung und -nutzung in Deutschland, Materialband:D - Biogasnutzung, 2008
- [6-7] Dielmann, K. P.; Krautkremer, B.: Biogasnutzung mit Mikrogasturbinen in Laboruntersuchungen und Feldtests, Stand der Technik und Entwicklungschancen, Elfes Symposium Energie aus Biomasse Biogas, Pflanzenöl, Festbrennstoffe, Ostbayerisches Technologie-Transfer-Institut e. V. (OTTI) Regensburg, Tagungsband, 11/2002
- [6-8] Dielmann K. P.: Mikrogasturbinen Technik und Anwendung, BWK Das Energie- Fachmagazin, 06/2001, Springer VDI Verlag, 2001
- [6-9] Einspeiseatlas, <http://www.biogaspartner.de/index.php?id=10104> zuletzt besucht: 07/2010
- [6-10] FORUM ERDGAS: Sichere Erdgasversorgung in Deutschland. [http://www.forum-erd-gas.de/Forum\\_Erdgas/Erdgas/Versorgungssicherheit/Sichere\\_Erdgasversorgung/index.html](http://www.forum-erd-gas.de/Forum_Erdgas/Erdgas/Versorgungssicherheit/Sichere_Erdgasversorgung/index.html), (letzter Zugriff: 06.08.2009)
- [6-11] Gasnetzzugangsverordnung (GasNZV) vom 25. Juli 2005 (BGBl. I S. 2210), zuletzt geändert durch Artikel 2 Abs. 3 der Verordnung vom 17. Oktober 2008 (BGBl. I S. 2006)
- [6-12] Heinze, U.; Rockmann, G.; Sichtung, J.: Energetische Verwertung von Biogas, Bauen für die Landwirtschaft, Heft Nr. 3, 2000
- [6-13] Jäkel, K.: Managementunterlage „Landwirtschaftliche Biogaserzeugung und -verwertung“, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, 1998/2002
- [6-14] Kaltschmitt, M.; Hartmann, H.: Energie aus Biomasse Grundlagen, Techniken und Verfahren, Springer-Verlag, 2009



- [6-15] Neumann, T.; Hofmann, U.: Studie zu Maßnahmen zur Minderung von Formaldehydemissionen an mit Biogas betriebenen BHKW; erschienen in der Schriftenreihe des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Heft 8/2009, Dresden
- [6-16] Novellierung der TA-Luft beschlossen, Biogas Journal Nr. 1/2002, Fachverband Biogas e.V., 2002
- [6-17] Mikro-KWK Motoren, Turbinen und Brennstoffzellen, ASUE Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e. V., Verlag Rationeller Erdgaseinsatz
- [6-18] Mitterleitner, Hans: persönliche Mitteilung 2004
- [6-19] ORC-Anlage nutzt Abwärme aus Biogasanlagen, <http://www.energynet.de/2008/04/23/orc-anlage-nutzt-abwarme-aus-biogasanlagen/> zuletzt besucht: 05.08.2009
- [6-20] Polster, A.; Brummack, J.; Mollekopf, N.: Abschlussbericht 2006 - Verbesserung von Entschwefelungsverfahren in landwirtschaftlichen Biogasanlagen, TU Dresden
- [6-21] Raggam, A.: Ökologie-Energie; Skriptum zur Vorlesung; Institut für Wärmetechnik; Technische Universität Graz, 1997
- [6-22] Ramesohl, S.; Hofmann, F.; Urban, W.; Burmeister, F.: Analyse und Bewertung der Nutzungsmöglichkeiten von Biomasse. Studie im Auftrag von BGW und DVGW. 2006.
- [6-23] Rank, P.: Wartung und Service an biogasbetriebenen Blockheizkraftwerken, Biogas Journal Nr. 2/2002, Fachverband Biogas e. V., 2002
- [6-24] Richter, G., Grabbert, G., Shurrab, M.: Biogaserzeugung im Kleinen. Gwf-Gas Erdgas (1999), Nr. 8, S.528-535
- [6-25] Swedish Gas Center: Report SGC 118 – Adding gas from biomass to the gas grid. Malmö, 2001, verfügbar unter: <http://www.sgc.se/dokument/sgc118.pdf>
- [6-26] Schlattmann, M.; Effenberger, M.; Gronauer, A.: Abgasemissionen biogasbetriebener Blockheizkraftwerke, Landtechnik, Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster, 06/2002
- [6-27] schmittenerotec GmbH, [http://www.schmitt-enerotec.de/deutsch/bhkw/bhkw\\_technik.htm](http://www.schmitt-enerotec.de/deutsch/bhkw/bhkw_technik.htm) Zugriff 31.07.09
- [6-28] Schneider, M.: Abwärmenutzung bei KWK – innovative Konzepte in der Verbindung mit Gasmotoren, Kooperationsforum Kraft-Wärme-Kopplung – Innovative Konzepte für neue Anwendungen, Nürnberg, 28. September 2006
- [6-29] Schnell, H-J.: Schulungen für Planer- und Servicepersonal, Biogas Journal Nr. 2/2002, Fachverband Biogas e. V.,
- [6-30] Schönbacher, A.: Thermische Verfahrenstechnik: Grundlagen und Berechnungsmethoden für Ausrüstungen und Prozesse. Springer-Verlag, Heidelberg, 2002



Kaynak: Paterson (sol), Schüsseler (FNR)



- [6-31] Scholz, V; Schmersahl, R.; Ellner J.: Effiziente Aufbereitung von Biogas zur Verstromung in PEM-Brennstoffzellen, 2008
- [6-32] Solarenergieförderverein Bayern e. V.: Biogasaufbereitungssysteme zur Einspeisung in das Erdgasnetz – Ein Praxisvergleich, München, 2008
- [6-33] Termath, S.: Zündstrahlmotoren zur Energieerzeugung Emissionen beim Betrieb mit Biogas, Elfes Symposium Energie aus Biomasse Biogas, Pflanzeöl, Festbrennstoffe, Ostbayrisches Technologie-Transfer-Institut e. V. (OTTI) Regensburg, Tagungsband, 11/2002
- [6-34] Thomas, B.: Stirlingmotoren zur direkten Verwertung von Biobrennstoffen in dezentralen KWK-Anlagen, Vortrag Staatskolloquium BWPLUS, Forschungszentrum Karlsruhe, 7. März 2007
- [6-35] Urban, W., Girod, K., Lohmann, H.: Technologien und Kosten der Biogasaufbereitung und Einspeisung in das Erdgasnetz. Ergebnisse der Markterhebung 2007–2008
- [6-36] Weiland, P.: Neue Trends machen Biogas noch interessanter, Biogas Strom aus Gülle und Biomasse, top agrar Fachbuch, Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster-Hiltrup, 2002
- [6-37] Weiland, P.: Notwendigkeit der Biogasaufbereitung, Ansprüche einzelner Nutzungsrouten und Stand der Technik. Vortrag im Rahmen des FNR-Workshops „Aufbereitung von Biogas“ vom 17./18.06.2003 in Braunschweig.
- [6-38] Wie funktioniert eine Absorptionskältemaschine, <http://www.bhkw-info.de/kwkk/funktion.html>  
Zugriff 05.08.2009
- [6-39] Willenbrink, B.: Einsatz von Micro-Gasturbinen zur Biogasnutzung, Erneuerbare Energien in der Land(wirt)schaft 2002/2003 – Band 5, 1. Auflage Dezember 2002, Verlag für land(wirt)schaftliche Publikationen, Zeven
- [6-40] Willenbrink, B.: Einsatz von Micro-Gasturbinen zur Biogasnutzung, Firmenschrift PRO2
- [6-41] ASUE (2005): BHKW Kenndaten
- [6-42] Aschmann V., Kissel R., Gronauer, A.: Umweltverträglichkeit biogasbetriebener BHKW in der Praxis, Landtechnik 2/2008, S. 77-79





# 7 Hukuki ve idari çerçeve koşulları

Biyogaz tesislerinin hem planlanması, hem de işletilmesi sırasında, tesis işletmecisi için de çok sayıda hukuki soru oluşmaktadır. İşletici, henüz tesis kurulmadan önce şebeke bağlantısı, sözleşmenin şekillenmesi ve izin hukukuna bağlı talepler hakkında fikir yürütmek durumundadır. Tesisin konseptasyonu sırasında, Yenilenebilir Enerjiler Yasası'nda (EEG) öngörülen ödenek oranları ve bonusların dikkate alınması kaydıyla, tesisin tasarlanması, kullanılan maddelerin, kullanılan teknolojinin seçimi ve enerjiden faydalanma ile ilgili çeşitli imkanlar karşılıklı olarak değerlendirilmelidir. Sonuç itibarıyla tesis işletmecisi, işletmenin faaliyeti sırasında ilgili tüm kamu hukuku taleplerine uymalı, tesisi EEG kriterleriyle uyumlu bir şekilde işletmeli ve yasal olarak talep edilen tüm zorunlulukları sağlamalıdır.

## 7.1 Biyokütleden elektrik üretiminde teşvik

Biyogaz tesislerinin işletilmesi Almanya'da temelde EEG tarafından teşvik edilmektedir.

Son olarak 1. Ocak 2009 tarihinde revize edilen EEG'nin tüm amacı, iklim ve çevrenin korunması amacıyla yönelik, elektrik tedarikinde yenilenebilir enerjilerin oranının, 2020 yılına kadar en az yüzde 30'a çıkartılmasıdır. Bu noktada biyokütleden desentral elektrik üretimi – Biyokütle Yönetmeliği'ne (BiomasseV) göre, biyokütleden kazanılan biyogaz da buna dahildir – bu bağlamda etkili bir katkıda bulunabilir.

EEG'ye göre bir biyogaz tesisinin işletmecisi, tesisi genel elektrik şebekesine bağlama ve tesiste üretilen elektriği şebekeye satma hakkına sahiptir. Konvansiyonel elektrik üreticileri karşısındaki bu imtiyazlar, sadece şebekeye bağlanmakla sınırlı değildir:

Tesis işletmecisi ayrıca şebekeye verilen elektrik için, 20 yıllık bir süre boyunca yasal olarak belirlenmiş

bir ikmal ödeneği alacaktır. Ödeneğin yüksekliği ayrıca tesisin büyüklüğüne, işletmeye alma zamanına ve kullanılan hammaddelere göre de belirlenmektedir. İkmal ödeneğinin belirlenmesinde, EEG 2009'da öngörülen çeşitli bonuslar bilhassa önem taşımaktadır.

### 7.1.1 EEG'deki bonus sistemi

EEG'de öngörülen bonuslar, sofistike bir teşvik sistemi sayesinde, iklim ve çevre dostu, inovatif ve verimli bir şekilde biyokütleden elektrik kazanımının sağlanmasına hizmet etmektedir. Böylece örneğin yenilenebilir hammaddelerden (NawaRo) elde edilen elektrik üretimi özel teşvik almaktadır. 2004 yılında yürürlüğe giren NawaRo-Bonus ile yasa koyucu, iklimin korunması doğrultusunda, enerji bitkilerinin ekilmesini, hem de sıvı gübre kullanımını amaçlı bir şekilde teşvik etmek istemektedir. İklimin korunmasına EEG'deki çok sayıda düzenleme de, örneğin güçlüğü kuplajında işletme için bonus (KWK bonusu), katkıda bulunmaktadır. Buna göre elektrik üretimi sırasında oluşan atık ısıyı uygun bir kullanım noktasına aktaran ve böylece fosil enerjilerin yakılması ile bağlantılı CO<sub>2</sub> emisyonlarını önleyen tesis işletmecileri, belirgin ölçüde yüksek ödenek elde etmektedir. Orta veya uzun vadede daha verimli bir elektrik üretimi vaat eden, ancak günümüzde henüz rekabetçi olmayan inovatif teknolojiler, teknoloji bonusu üzerinden teşvik edilmektedir.

### 7.1.2 Piyasa Teşvik Programı ve Yenilenebilir Enerjiler Isı Yasası

Biyogaz tesisleri, EEG'ye göre ikmal ödeneğinin yanında, piyasa teşvik programı çerçevesinde de bir destekleme elde edebilmektedir. Piyasa teşvik programına göre biyogaz tesisleri ile bağlantılı olarak bir yandan yenilenebilir enerjilerden gelen ısıyla ikmal

edilen yakın ısı şebekeleri. diğer yandan ham biyogaz hatları, yatırım sübvansiyonlarıyla desteklenmektedir. Gaz işlenmesi ile ilgili projeler için de ilgili yönerge-lerde yatırım maliyeti sübvansiyonlarının tahsisi ön-görölmüştür.

#### Isı şebekeleri ve ham biyogaz hatları için yatırım maliyeti sübvansiyonları

9. Temmuz 2010 tarihindeki Isı Piyasası'nda (Piyasa Teşvik Programı) yenilenebilir enerjilerin kullanımı ile ilgili tedbirlerin desteklenmesi yönergesi madde 14.1.4.1 uyarınca bir ısı şebekesi aşağıdaki şartlarda desteklenebilir.

- En az yüzde 50 oranında yenilenebilir kaynaklardan üretilen ısı satılmalıdır ve
- Yıl ve metre hat başına ortalama asgari bölgesel ısıtmanın 500 kWh olması.

Miktarına bağlı olarak yeni bir tahsisat çerçevesinde destekleme, yeni kurulan metre hat uzunluğu başına 60 € ve öte yandan yeni kurulmuş veya takviye edilmiş metre hat uzunluğu başına 80 € tutmaktadır. KWKG'ye göre bir teşvik talebinde de bulunulursa, piyasa teşvik programına göre ilave destekleme hat metre başına sadece 20 Euro tutmaktadır. Ev aktarma istasyonları da, halihazırda yakın ısı şebekesinin işletmeye alınması sırasında bir bağlantı sözleşmesi imzalandıysa ve bir bağlantı mecburiyeti yoksa, 1.800 € tutarında teşvik edilebilir. Bu arada bu teşvik eksiksiz olarak binanın sahibine aktarılmalıdır. Yönergenin 14.1.5 maddesine göre ayrıca ısı depoları, biyogazın doğal gaz kalitesinde hazırlanması için tesisler ve hazırlanmamış biyogaz için biyogaz hatları da teşvik edilmektedir. Gaz yoğunlaştırıcı da dahil olmak üzere ham biyogaz hatları, gaz kurutma düzeneği ve yoğunlaşma bacaları, 300 m (kuş uçuşu) uzunluğunda olmaları ve biyogazın bir KWK kullanımına veya doğal gaz kalitesinde hazırlamaya aktarılmasını halinde teşvik edilebilir net yatırım masraflarının yüzde 30'una kadarı desteklenmektedir.

Biyogaz için dolaylı bir destekleme, Yenilenebilir Enerjiler Isı Yasası'ndan (EEWärmeG) bulunmaktadır. Bundan sonra yeni binalar için ısı tedariki, belirli bir oranda yenilenebilir enerjiler ile gerçekleştirilmelidir (kullanım zorunluluğu). Bu zorunluluk, biyogaz kullanımını ile de yerine getirilebilmektedir. Şimdiye kadar ki önkoşul, biyogazın yüksek verimliliğe sahip bir güç-ısı santralinde kullanılması ve bu sayede ısı ihtiyacının en azından yüzde 30'unun karşılanmasıydı. Ayrıca binanın ısı ihtiyacının, büyük oranda yenilenebilir enerjilerden – mesela biyogaz kullanılan BHKW'nin atık ısısından – beslenen bir yakın ısı şebekesi üzerinden karşılanması halinde kullanım zorunluluğu yerine getirilmiş sayılmaktadır.

## 7.2 Şebeke bağlantısı ve elektrik beslemesi

Tesis işletmecisi, EEG'ye göre teşviki alabilmek için, tesiste üretilen elektriği genel elektrik şebekesine bağlamalı ve elektrik şebekesi işletmecisinin kullanımına sunulmalıdır. Bunun için önce fiziksel bir şebeke bağlantısı gereklidir ve tesis bunun üzerinden elektrik şebekesine bağlanmalıdır.

### 7.2.1 Şebeke bağlantısı

Tesis işletmecisinin, kendi biyogaz tesisinin planlanması ve kurulması aşamasında, ilgili şebeke işletmecisi ile irtibata geçmesi ve şebeke bağlantısının tüm modalitelerini açıklığa kavuşturması bilhassa önemlidir. Bunun için tesis işletmecisi şebeke işletmecisini öncelikle belirli bir lokasyonda bir biyogaz kombine ısı ve güç santrali kurma ile ilgili niyeti hakkında bilgilendirmelidir. Bu sırada şebeke işletmecisine tahmini kurulu elektrik gücü de bildirilmelidir.

Şebeke bağlantısı ele alınmadan önce genellikle bir şebeke uyumluluk testi gerçekleştirilmelidir. Şebeke uyumluluk testinin amacı, tesis işletmecisinden temin edilmesi düşünülen elektrik gücünün şebekeye fiziksel ve şebeke tekniği açısından belirli şartlar altında verilmesinin mümkün olup olmadığının belirlenmesidir. Şebeke uyumluluk kontrolünü pratikte çoğunlukla şebeke işletmecisi yapar, ancak şebeke işletmecisi üçüncü bir kişiyi de bununla görevlendirebilir. Bu durumda şebeke işletmecisi, test için gerekli tüm verileri tesis işletmecisine aktarmakla yükümlüdür.

Tesis işletmecisinin temel hedefi, şebeke bağlantısı için masrafları mümkün olduğu kadar düşük tutmak ve tesise en yakın noktadan şebekeye vermektir. Bu, yasada öngörülen nizamla da uygundur. Ancak şebeke birleşme noktası, yani elektrik şebekesine verilen nokta, belirli şartlar altında daha da uzakta olabilir. Yasal şebeke birleşme noktasının belirlenmesi, bununla ilişkili masrafların tesis işletmecisi ve şebeke işletmecisi arasındaki dağılımı açısından büyük önem taşır ve bu nedenle sıklıkla hukuki anlaşmazlıklara neden olmaktadır. (bkz. şebeke birleşme noktasının belirlenmesi 7.2.1.1).

Belirli koşullar altında şebeke birleşme noktasında verilecek elektriğin problemsiz bir şekilde alınabilmesi ve aktarılabilmesi için şebekenin optimize edilmesi, geliştirilmesi veya takviye edilmesi gerekmektedir. Yasa bu bağlamda bir kapasite artırımından bahsetmektedir. Eğer biyogaz kombine ısı ve güç santralinde üretilen elektriğin alınması bakımından gereklyse tesis işletmecisi, şebeke işletmecisinden bir



an evvel ekonomik açıdan mantıklı bir kapasite artırımını gerçekleştirmesini talep etme hakkına sahiptir. Eğer şebeke işletmecisi tesis işletmecisinin talebini karşılayamıyorsa, tesis işletmecisi gerekiyorsa tazminat talep etme hakkına sahiptir (bkz. ayrıntılarıyla kapasite artırımını 7.2.1.2).

Tesis ve şebeke işletmecisinin şebeke birleşme noktası konusunda uzlaşması halinde, tesis işletmecisi, şebeke bağlantı kapasitesinin bağlayıcı rezervasyonu hakkında bir başvuruda bulunmalıdır. Ardından – henüz tesis kurulmadan da – **şebeke bağlantısının oluşturulmasına** başlanabilir. Tesis işletmecisi bu konuda çoğu zaman şebeke işletmecisini görevlendirmektedir. Fakat şebeke bağlantısının uzman bir üçüncü kişi tarafından da yapılmasını isteyebilir. Aynı şey verilen elektriğin ölçülmesi için de geçerlidir. Şebeke bağlantısı işlemleri için masrafları da temelde tesis işletmecisi karşılar (maliyetin karşılanması için ayrıca bkz. 7.2.1.3).

Tesis işletmecisinin şebeke bağlantısı talebi doğrudan EEG'den kaynaklanmaktadır. Bu nedenle bir şebeke bağlantı sözleşmesi mutlaka gerekli değildir. Ancak tesis işletmecisi ve şebeke işletmecisi arasındaki özellikle teknik soruların açıklığa kavuşturulması için bir şebeke bağlantı sözleşmesinin imzalanması mantıklı olabilir. Tesis işletmecisi sözleşmeyi imzalamadan önce hukuki açıdan kontrol ettirmelidir.

#### 7.2.1.1 Şebeke birleşme noktasının belirlenmesi

Elektrik şebekesine bağlantının gerçekleştirileceği nokta yasada şebeke bağlantı noktası olarak tanımlanır. EEG'ye göre bağlantı temelde, gerilim seviyesi bakımından akımın alınması açısından teknik uygunlukta ve biyogaz tesisine (kuş uçuşu) en kısa mesafeye sahip yerde yapılmalıdır. Ancak, başka bir şebekenin daha uzaktaki başka bir noktasında şebeke bağlantısının toplamda daha düşük masraflara yol açması söz konusuysa, o takdirde bu, diğer şebekenin söz konusu noktasında gerçekleştirilmelidir. Ancak 1 Ocak 2009 tarihinde değiştirilmiş EEG'ye göre, aynı şebekenin daha uzak bir noktasında bağlantının daha uygun olması halinde de bunun geçerli olup olmadığı açık değildir.

Maliyet karşılaştırması sırasında bir genel inceleme yapılmalı, bunda, alternatif olarak dikkate alınacak seçeneklerde, masrafları şebeke işletmecisinin mi yoksa tesis işletmecisinin mi karşılamak zorunda olduğu, öncelikle önemli değildir. Daha ziyade, genel ticari bir karşılaştırmaya dayanarak yasal şebeke birleşme noktası belirlenmelidir. Bu bağlamda gerekli hangi işlemlere göre tesis işletmecisi-

nin ve hangi işlemlere göre şebeke işletmecisinin masrafları karşılaması gerektiğine, ancak ikinci adımda karar verilmelidir.

Bu temel ilke, bir örneğe dayanarak somutlaştırılmalıdır: Tesis işletmecisi A, kendi çiftliğinin hemen yakınına, elektrik gücü 300 kW olan bir biyogaz tesisi kuruyor ve tesisi genel elektrik şebekesine bağlamak istiyor. Kombine ısı ve güç santralinin lokasyonuna olan en kısa mesafe (15 m), bir alçak gerilim hattına sahiptir. Ancak alçak gerilim hattı, gerilim seviyesine bakıldığında, teknik açıdan akımın alınması için uygun değildir. Bu nedenle bir orta gerilim şebekesine sahip en yakın bağlantı noktası aranmalıdır. Ancak buradaki bağlantı – örneğin yüksek maliyetli bir şebeke tadilatının gerekmesi nedeniyle – daha uzaktaki başka bir orta gerilim şebekesine göre daha pahalı olacaksa, tesis daha uzaktaki noktaya bağlanmalıdır. Masraf dağılımı ile ilgili konu burada öncelikli değildir. (bu konudaki detaylar için bkz. 7.2.1.3).

Fakat tesis işletmecisi, yukarıda sözü edilen ilkelere göre belirlenenin haricinde bir şebeke bağlantı noktasını seçme hakkına sahiptir. Bu özellikle tesis işletmecisinin bu sayede nispeten hızlı bir bağlantıya ve böylece daha erken bir elektrik satış imkanına ulaşabilmesi durumunda mantıklı olabilir. Bu durumda fazla masrafları karşılamak zorundadır.

Ancak neticede şebeke işletmecisi son kararı verme hakkına sahiptir ve nihai bir şebeke bağlantı noktası belirleyebilir. Eğer bu hakkını kullanırsa, en yakında bulunan ve ekonomik açıdan en uygun yasal bağlantı noktasına yapılan bağlantı ile karşılaştırıldığında ortaya çıkan fazladan masrafı karşılamak durumundadır.

#### 7.2.1.2 Kapasite artırımı

Düşük şebeke kapasitesi nedeniyle akım yasal şebeke bağlantı noktasından alınamıyorsa, bu durumda tesis işletmecisi, şebeke işletmecisinin bir an evvel şebekeyi optimize ederek, güçlendirerek veya geliştirerek mevcut teknik seviyeye ulaştırmasını talep edebilir. Bu talep bir yapı veya emisyon koruma kanunu izni almadan veya ön bildirim bulunmadan önce de söz konusudur. Ancak tesisin planlamasının ilerlemiş olması gereklidir. Örneğin detay planlamalar için görevlerin verilmiş olması veya üretim için sözleşmelerin hazır bulunması gerekir.

Şebeke işletmecisi, tadilata ancak ve sadece tesis işletmecisi onu buna davet ettikten sonra başlamak durumundadır.

### 7.2.1.3 Şebeke bağlantısı ve şebeke tadilatı için masrafların karşılanması

Biyogaz tesisinin genel elektrik şebekesine bağlanması nedeniyle oluşan masraflar bakımından yasa, şebeke bağlantı masrafları ve şebeke tadilat masrafları ayrımını yapmaktadır. Buna göre tesis işletmecisi, tesisin şebekeye bağlanması ile ilgili masrafları karşılarken, şebeke işletmecisi, şebekenin optimizasyonu, güçlendirilmesi ve tadilatını karşılamak zorundadır. Pratikte belirli bir işlemin – örneğin bir elektrik hattının döşenmesi veya bir trafo merkezinin kurulması – şebeke bağlantı işlemi olarak mı yoksa şebeke tadilat işlemi olarak mı değerlendirileceği çoğunlukla tartışmalıdır. Bu sırada bir yandan işlemin, şebekenin işletilmesi için gerekli olup olmadığı ve kurulan hatlarda veya diğer tesis parçalarında mülkiyetin kime ait olduğu veya olacağı, belirleyicidir. Bu münferit durum zor sınırlama sorunlarını ortaya çıkarabilir. Tesis işletmecisi, kendi düşüncesine göre şebekeye ait olan ve kendi bağlantı tesisine ait olmayan hatların, transformatörlerin veya diğer tertibatların mülkiyetini üzerine almaktan kaçınmalıdır.

Tesisin şebekeyle birleştirilmesi için gerekli yapısal işlemler için masraflar çok farklı olabileceğinden ve şebeke birleşme noktasına bağlı olduğunda, birleşme noktasının tesis işletmecisi açısından bilhassa önemli olduğu görülmektedir.

#### „Şebeke bağlantısı“ kontrol listesi

- Şebeke işletmecisine vaktinde bağlantı talebi
- Şebeke işletmecisi veya üçüncü bir kişi tarafından şebeke uyumluluk kontrolü
- Önemli: Doğru şebeke bağlantı noktasının belirlenmesi
- Gerekliyse şebeke tadilatı talebinin geçerli hale getirilmesi
- Gerekliyse bir şebeke bağlantı sözleşmesinin imzalanması
- Bağlantı ve tadilat işleri

### 7.2.2 İkmal yönetimi

EEG'ye göre 100 kW'ın üzerindeki elektrik gücüne sahip biyogaz veya diğer EEG tesislerinin işleticileri, şebeke işletmecisi üzerinden verimli bir ikmal yönetiminin mümkün kılınması için, biyogaz tesisini belirli teknik düzeneklerle donatmakla yükümlüdür. İkmal yönetimi, şebekeye aşırı yük binmesini engellemeye yaramaktadır. Bu amaç doğrultusunda şebeke işletmecisi, 100 kW'nin üzerinde bir güce sahip elektrik üretim tesislerini, yasal olarak belirlenmiş durumlarda kısıtlama veya şebekeden çıkartma hakkına sahiptir. Ancak bu sırada yenilenebilir enerjilerden ve

güç-enerji kuplajından elde edilen elektriğin, konvansiyonel olarak üretilen elektriğe göre daima önceliğe sahip olduğunu dikkate almalıdır. Bu nedenle şebeke işletmecisi, şebekeye aşırı yük binme riski durumunda, önce konvansiyonel elektrik üretme tesislerini düzenlemelidir.

Ayrıntılı bakıldığında yasa, 100 kW'ın üzerinde bir güce sahip biyogaz tesislerinin, ikmal gücünün uzaktan kumandayla düşürülmesini mümkün kılan ve aynı zamanda söz konusu ikmal ölçen ve bu verileri şebeke işletmecisinin kullanımına sunan, bir teknik veya işletmesel düzenek ile donatılmış olmasını öngörmektedir. 1 Ocak 2009 tarihinden önce işletmeye alınmış biyogaz tesislerinin donanımı, en geç 2010 yılı sonuna kadar iyileştirilmelidir.

Şebeke işletmecisi bir tesisi belirli bir süre boyunca engellerse, bu durumda tesis işletmecisine kayıp EEG ödemeleri ve aynı şekilde eğer varsa kayıp ısıtma getirileri için tazminat ödemek zorundadır. Ancak bu arada tesis işletmecisi yapmadığı harcamaları – özellikle yakıt masraflarını – mahsup ettirmek zorundadır.

### 7.2.3 Elektrik ikmal ve doğrudan pazarlama

EEG ödeneğinin alınması için önkoşul, elektriğin genel şebekeye ikmal ve şebeke işletmecisinin kullanımına sunulmasıdır. Bağımsız bir şebekeye (örneğin fabrika şebekesi) veya üçüncü bir kişinin şebekesine bağlanması halinde, genel şebekeye ikmal ticari-mali olarak da gerçekleştirilebilir.

Gerçi tesis işletmecisi, üretilen elektrikten veya elektriğin bir kısmından, kendi öz ihtiyacını karşılamak için faydalanma veya doğrudan tesise bağlanmış üçüncü kişilere elektrik ikmal sağlama konusunda serbesttir. Fakat tesis işletmecisi her iki durumda da herhangi bir EEG ödeneği almamaktadır.

Tesis işletmecisi zaman zaman EEG ödeneğinden vazgeçebilir ve genel elektrik şebekesine verilen elektriği, elektrik toptan piyasasında (örneğin Leipzig Elektrik Borsası EEX'te) veya doğrudan üçüncü kişilere satmak suretiyle, bizzat doğrudan pazarlayabilir. Elektriğin bir elektrik borsasına satılması durumunda elektriğin üretim yönteminden bağımsız satışı gerçekleşir, yani "Gri elektrik". Ancak bunun yanında tesis işletmecisi, yenilenebilir enerjilerden elde edilen elektrik üretiminin ekolojik katma değerini, yeşil elektrik sertifikaları (örneğin RECS) biçiminde pazarlama olanağına sahiptir. Buna karşın ikili sevkiyat sözleşmelerinde "Yeşil elektrik" olarak doğrudan satış da dikkate alınmaktadır. Doğrudan pazarlama sadece tesis işletmecisinin kendi eliyle sat-

tiği elektrik gelirin, tesis işletmecisinin EEG ödeneği nedeniyle elde edebileceği gelirden yüksek olması durumunda ekonomiktir.

Doğrudan pazarlama durumunda tesis işletmecisi tam takvim ayları belirlemelidir. EEG ödeneği ve doğrudan pazarlama arasında aylık geçişler yapılabilir, ancak geçişi her defasında önceki takvim ayının başından önce şebeke işletmecisine bildirmekle yükümlüdür. Örneğin bir tesis işletmecisi Ekim 2010 itibariyle doğrudan pazarlamaya geçmek istiyorsa, o taktirde bunu en geç 31 Ağustos 2010 itibariyle şebeke işletmecisine bildirmek zorundadır. Daha sonra Kasım 2010 itibariyle tekrar EEG ödeneğini geçerli kılmak istiyorsa, bunu en geç 30 Eylül 2010 tarihine kadar şebeke işletmecisine açıklamak durumundadır.

Bu sırada bir takvim ayı içinde elektriğin tamamı yerine belirli bir yüzde oranını doğrudan pazarlamak ve kalan elektrik için EEG ödeneğini geçerli kılmak, tesis işletmecisinin elindedir. Bunun önkoşulu, doğrudan pazarlanacak elektriğin yüzde oranını, aynı şekilde söz konusu önceki ayın başlangıcından önce bildirmesi ve daha sonra buna ispat edilecek şekilde her zaman uymasındır. Yüzde oranı ayın her çeyrek saati için sağlanmış olmalıdır.

### 7.3 EEG Ödeneği

Genel elektrik şebekesine, yenilenebilir enerjilerden üretilen elektrik ilk kez verildikten sonra, EEG ödeneği hakkı oluşmaktadır. Talep burada tesis işletmecisine, yani mülkiyet durumundan bağımsız olarak tesisi elektrik üretimi için kullanan kişiye aittir ve alan elektrik şebekesinin işletmecisine yöneliktir.

#### 7.3.1 Ödeneğin belirlenme esasları

Aşağıda, ödenek miktarının ve ödenek süresinin tek tek nasıl belirlendiği ayrıntılı bir şekilde açıklanmaktadır. Bu sırada önce esaslar belirtilmekte, daha sonra ödenek miktarı ve süresi için ölçüt oluşturan tesis ve işletmeye alma kavramı ve son olarak EEG içinde öngörülen, biyogazdan elektrik kazanılması için çeşitli bonuslar tek tek ele alınabilmektedir.

##### 7.3.1.1 Ödenek miktarı

EEG ödeneğinin miktarını, tesisin büyüklüğü, işletmeye alma tarihi ve enerji kaynağı da belirler. Ayrıca yasa koyucu farklılaştırılmış bir bonus sistemi yardımıyla, belirli hammaddelerin, inovatif teknolojilerin

kullanımı ve verimli bir ısı faydalanımı için çeşitli teşvikler koymaktadır.

Ödeneğin belirlenmesi sırasında öncelikle biyogaz tesisinin büyüklüğü dikkate alınmalıdır: Bir tesisin kurulu elektrik gücü ne kadar büyük olursa, üretilen elektrik için ödenek bir o kadar düşük olmaktadır. Böylece yasa koyucu, üretilen her kilowatt saat elektrik için spesifik masrafların, tesis büyüklüğü arttıkça düşmesi durumunu dikkate almaktadır. Dengeleme adına yasa koyucu tarafından bilhassa teşvike değer bulunan küçük tesisler, daha yüksek bir ödenek almaktadır.

Tesis büyüklüğüne göre bu farklılaştırma sırasında EEG, yasal olarak belirlenmiş güç eşiklerine dayanarak ödeneğin "sorunsuz" bir derecelendirmesini öngörmektedir. Tesisin elektrik gücünün belirli bir güç eşiğini aşması durumunda, ödeneğin belirlenmesi sırasında elektrik üretimi, söz konusu güç eşiklerine oranlanmalıdır. Böylece bir biyogaz tesisinden elde edilen elektrik için ortalama EEG ödeneği oranı, her defasında münferit güç oranları için tahsis edilen ödeneğin ortalamasından hesaplanmaktadır. Bu sayede bir eşik değerinin olağandışı aşılması durumunda, ortalama ödeneğin sadece düşük oranda azalması ve lokasyona adapte edilmiş bir biyogaz tesisinin ekonomik açıdan mantıklı olması sağlanmaktadır.

Elektrik ikmalinin hangi güç grubuna dahil edileceğine tesisin kurulu elektrik gücü değil, bilakis yıllık ortalama güç ölçütü oluşturur. Yıllık ortalama gücün belirlenmesi için bir takvim yılında ikmal edilmiş toplam elektrik miktarı, söz konusu takvim yılının tam zaman saatine – yani genellikle 8.760'a – bölünmelidir. Bu, örneğin revizyon çalışmaları nedeniyle belirli bir süre boyunca elektrik üretmemiş tesislerin, kesintisiz tam yük işletimi durumunda alacaklarına göre, kilowatt saat başına daha yüksek bir ortalama ödenek almasına neden olmaktadır.

##### 7.3.1.2 Ödeneğin süresi

EEG ödeneği hakkı zamansal bakımdan sınırsız değildir, bilakis biyogaz tesisinin işletmeye alındığı yılın kalan süresi dahil olmak üzere 20 takvim yıllık bir süre ile kısıtlıdır. Örneğin bir tesis 1 Temmuz 2010 tarihinde işletmeye alınır, ödenek süresi 1 Temmuz 2010 tarihinde başlar ve 31 Aralık 2030 tarihinde sona erer. Bu sırada bir tesisin işletmeye alınma tarihi, kullanılan enerji kaynağından bağımsızdır. Örneğin bir tesis önce doğalgaz ile işletilir ve sonra biyogaza geçerse, ödenek süresi halihazırda doğalgaz veya fuel oil ile işletmeye alındıktan itibaren başlar.

Yasal ödenek süresi, tesis işletmecisi elektriği doğrudan pazarlarsa da devam eder. Yasal ödenek süresi yasada öngörülmemiştir ve – EEG’de 1 Ocak 2009 tarihinden beri tesislerin yeniden işletmeye alınması artık mümkün olmadığından – ciddi ilave yatırımlarla da elde edilememektedir. Jeneratörlerin değiştirilmesi de ödenek süresinin yeniden başlamasına neden olmaz.

Yasal ödenek süresinin sona ermesinden sonra EEG ödeneği hakkı sona ermektedir. Tesis işletmecisinin elektriği öncelikli ikmal etme hakkı saklı kalmakla birlikte, elektriğin satışı konusunda daha çok kendisi çaba göstermek zorundadır.

### 7.3.1.3 Degresyon

Bir tesisin işletmeye alındığı yıl için geçerli ödenek miktarı, tüm yasal ödenek süresi boyunca sabit kalır.

Ancak bir yıl sonra işletmeye alınmış tesisler için, daha önceki bir yılda işletmeye alınmış tesislere göre daha düşük ödenek oranları geçerlidir. EEG, yenilenebilir enerji kaynağına bağlı olarak yasal asgari ödeneye göre az veya çok miktarda bir indirim öngörmektedir. Bu sayede genel itibarıyla fiyatların düşmesini sağlayan, teknik ilerlemeye eşlik eden, yenilenebilir enerjilerden elde edilen elektrik üretiminin büyüyen rantabilitesine olduğu kadar, tesis inşaatındaki üretim artışlarına da katkıda bulunulması amaçlanmaktadır.

Biyogazdan elde edilen elektrik için yıllık düşüş – hem temel ödenek hem de bonuslar bakımından – yüzde 1.0 ile degradasyon cetvelinin alt kısmında yer almaktadır. Bu aynı zamanda tesis işletmecisinin, biyogaz tesisini mevzu bahis yılın sonuna kadar işletmeye almasını da ekonomik bakımdan cazip hale getirmektedir. Öte yandan bir takvim yılı sonundan hemen önce işletmeye alma durumunda ekonomik avantaj, bu sayede önlenebilir degradasyon bakımından, toplamda açıkça daha kısa garantili bir EEG ödenek süresinin ekonomik dezavantajı – nispeten çok kısa bir süre için işletmeye alma yılı nedeniyle- tartışılmalıdır.

Böylece örneğin 31 Aralık 2009 tarihinde işletmeye alınan 150 kW güce sahip bir tesisin işletmecisi, kWh başına 11.67 Cent tutarında bir temel ödenek almaktadır. Ancak tesisi 1 Ocak 2010 tarihinde işletmeye alırsa, kWh başına sadece 11.55 Cent tutarında bir meblağ alacaktır. İlk durumda ödenek yirmi yıl ve sadece bir gün için ödenirken, buna karşın ikinci durumda yirmi yıl ve 364 gün için ödenmektedir. Böylece ödenek tutarının daha az olmasına rağmen, toplamda EEG ödenek hacmi artmaktadır. Fakat elektrik fiyatları gelişiminin öngörülebilir olmadığı da dikkate alınmalıdır. Buna göre halihazırda on yıl

içinde kendi kendine pazarlama, EEG ödeneğinden daha çekici olabilir ve bu yüzden daha uzun bir ödenek süresinin avantajı geçersiz olabilir.

### 7.3.2 Tesis kavramı ve işletmeye alma – ödenek miktarının doğru belirlenmesi

Hem tesis kavramı hem de tesisin işletmeye alınması, her defasında temel alınan ödenek oranları açısından belirleyici bir anlam taşır.

Tablo 7.1: 2011 yılında işletmeye alınmış biyogaz tesisleri için ödenek oranları

	EEG madde 18 paragraf 2 bağlamında tesis gücü	Ödenek oranları cent/kWh (işletmeye alma 2011) <sup>a</sup>
Temel ödenek	< 150 kW	11,44
biyokütleden elektrik için	< 500 kW < 5 MW < 20 MW	9,00 8,09 7,63
Havayı koruma bonusu	< 500 kW	+0,98
NawaRo bonusu	< 500 kW < 5 MW	+6,86 +3,92
Sıvı gübre bonusu	< 150 kW < 500 kW	+3,92 +0,98
Tarımlı koruma bonusu	< 500 kW	+1,96
KWK bonusu	< 20 MW	+2,94
Teknoloji bonusu	< 5 MW	+1,96 / +0,98 <sup>b</sup>

- a. Yasanın açıklamasında belirtildiği üzere EEG’de sözü edilen ödenek oranları önce toplanır, sonra yüzde 1’lik yıllık degradasyon ile mahsup edilir ve ancak bundan sonra virgül sonrası iki hanede yuvarlanır. Bu nedenle söz konusu ödenek münferit durumda burada sözü edilen ödenek oranı miktarına göre sapma gösterebilir.
- b. 350 norm metre küp üzerindeki gaz hazırlama tesislerinin maksimum kapasitesinde ve saat başına maksimum 700 norm metre küp/saat hazırlanmış ham gaz.

#### 7.3.2.1 EEG bağlamında tesis

EEG’ye göre “Tesis”, yenilenebilir enerjilerden elektrik üreten tüm tesisleri kapsar, yani temelde kombine ısı ve güç santraline sahip her biyogaz tesisi de bu kapsamdadır. Bu arada 2009 yılı öncesinde geçerli hukuki konuma kıyasla, tesisin yenilenebilir enerjilerden elektrik üretecek konumda olması için artık “bağımsız” olmasına gerek yoktur. Böylece yasada belirtildiği üzere başka bir tesis kavramının ortaya konulması amaçlanmaktadır.

Kendine bağlı birden fazla kombine ısı ve güç santrali bulunan bir biyogaz tesisi, hukuki açıdan kolay kategorize edilememektedir.

Burada – EEG'nin takas makamının tavsiyesine (dosya sayısı 2009/12) rağmen – birçok soru tartışmalıdır ve henüz nihai olarak açıklığa kavuşmamıştır. Aşağıdaki uygulamalar sadece yazarın kişisel fikrini ortaya koymakla birlikte, herhangi bir genel bağlayıcılığa sahip değildir ve münferit durumda bir hukuki danışmanlık yerine geçmemektedir.

Biyogaz tesisi lokasyonunda işletilen ve biyogaz üretimi için aynı düzenekleri (fermentör, fermentasyon atığı tankı vs.) ortak kullanan **birden fazla kombine ısı ve güç santrali**, yazarın düşüncesine göre EEG'nin takas makamının tavsiyesinin aksine, henüz geniş tesis kavramı nedeniyle her defasında bağımsız birer tesis sayılmayıp, bilakis müşterek bir tesisin parçası sayılmakla birlikte, bu görüşe göre EEG madde 19 paragraf 1 uyarınca ilave önkoşulların yerine getirilmiş olup olmadığı sorusu, söz konusu bile değildir. Böylece ödenek miktarı için ölçüt oluşturan tesis gücü, bir takvim yılında ikmal edilen toplam elektrik miktarına dayanarak belirlenmelidir. Diğer bir deyişle: Ödenegin belirlenmesi sırasında kural gereği müşterek kombine ısı ve güç santrallerinin ortak bir hat üzerinden ikmal edilen güçleri, her halükarda toplanmaktadır. Sonuç itibarıyla – aynı işletme saati önkoşuluyla – örneğin 300 kW kombine ısı ve güç santraline sahip bir biyogaz tesisi, iki adet 150-kW güç modülüne sahip bir biyogaz tesisi ile aynı ikmal ödenegini almaktadır.

„Uydu kombine ısı ve güç santralleri“ ise bir özel durum oluşturmaktadır. Burada, bir ham biyogaz hattı üzerinden doğrudan biyogaz üretim tesisi ile bağlantılı olan, ilave kombine ısı ve güç santralleri söz konusudur. Biyogaz üretim tesisinde halihazırda bulunan kombine ısı ve güç santrallerine yeteri kadar mesafenin bulunması durumunda, bir uydu kombine ısı ve güç santrali, bağımsız tesis olarak kabul edilmektedir. Fakat EEG, tesis hukuku açısından hangi önkoşullar altında bu bağımsızlığın kabul edileceği konusunda hiçbir somut fikir zikretmemektedir. Pratikte bu bağlamda “doğrudan alansal yakınlık” temel kriteri için artan bir şekilde ölçek olarak yaklaşık 500 m'lik bir tesis mesafesi ortaya çıkmıştı. Bu mesafenin üzerinde bir uydu kombine ısı ve güç santrali, bağımsız tesis olarak geçerli olacaktı. Ancak çekilen bu sınır, EEG'nin Takas (Clearing) makamı tarafından da 14 Nisan 2009 tarihli öneride (dosya No 2008/49) net bir şekilde ifade edildiği üzere, yasa metninde herhangi bir dayanağa sahip değildir. Bu nedenle yazarın düşüncesine göre objektif bir üçüncü kişinin görüşüne başvurulmalı ve münferit durumda bir takdir kararı alınmalıdır. Verimli bir ısı faydalanımı, hariç tutulan

kombine ısı ve güç santrali için tesis hukukuna uygun bir bağımsızlığı desteklemektedir.

Bir uydu kombine ısı ve güç santrali kurulmadan önce, yetkili şebeke işletmecisi ile tesis hukuku açısından bu durum açıklığa kavuşturulmalıdır.

### 7.3.2.2 Birden fazla tesisin bir araya toplanması

Belirli koşullar altında ödeneğin belirlenmesi sırasında birden fazla biyogaz tesisi, yukarıda açıklanmış tesis kavramına göre birer münferit tesis olmalarına rağmen, birlikte değerlendirilmelidir.

Bu düzenlemenin amacı, kötüye kullanılan tesis tasarımlarının önlenmesidir. Yasa koyucu bununla birlikte, potansiyel açıdan daha büyük bir biyogaz tesisinin, ödenek optimizasyonu amacıyla ulusal ekonomiye aykırı bir şekilde birden çok küçük biyogaz tesisine bölünmesini engellemeyi amaçlamaktadır. Bunun arka planında, kademeli ödenek oranları nedeniyle birden fazla tesisin, bir komple tesise göre nispeten yüksek ödenek alması yatmaktadır (bkz. 7.3.1.1).

Tek tesis şeklinde toplama konusunda EEG açık hukuki kriterler sıralamaktadır. Tüm bu önkoşulların bulunması halinde, birden fazla tesisin toplanması söz konusu olur.

Birden çok bağımsız biyogaz tesisi EEG madde 19 paragraf 1'e göre ödeneğin belirlenmesi sırasında aşağıdaki durumlarda bir tesis şeklinde birleştirilir:

- Aynı arsanın üzerinde veya doğrudan mekansal yakınlıkta kurulmuş olmaları,
- Her birinin biyogaz veya biyokütleden elektrik üretmeleri,
- Münferit biyogaz tesislerinde üretilen elektriğin, tesis gücüne bağlı olarak EEG uyarınca ödeneğinin sağlanması ve
- Münferit biyogaz tesislerinin birbirini takip eden on iki takvim ayı dahilinde işletmeye alınmış olmaları.

Ancak EEG madde 19 paragraf 1 metnine göre birleştirme son işletmeye alınmış jeneratör için ödeneğin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilmektedir. Jeneratör bu sırada genel itibarıyla BHKW'ye uygundur.

*Örnek: Ödenek hukuku açısından birleştirilecek üç tesiste işletmeye alınan ilk tesisin ödenek talebi, ikinci tesisin işletmeye alınmasından sonra da aynı kalır.*

*Buna karşın ikinci tesisin ödenek talebinin belirlenmesi sırasında, yasal önkoşulların kümülatif olarak bulunması halinde, EEG madde 19 paragraf 1 uygulama alanı bulur, her iki tesis böylelikle birleştirilebilir.*

*Yine ikinci biyogaz tesisinin ödenek talebi de, üçüncü tesisin işletmeye alınması sırasında değişmeden kalır. Üçüncü biyogaz tesisinin ödeneğinin belirlenmesi için,*



*yasal önkoşulların bulunması halinde üç biyogaz tesisi tek bir tesis olarak kabul edilir.*

Böylece EEG madde 19 paragraf 1'in hükmü hem temel ödenek talebi hem de tutarları aynı şekilde belirli güç eşikleri ile bağlantılı olan her bonus üzerine talepler ile de ilgilidir. Bu iklim koruma, yenilenebilir hammaddeler, sıvı gübre, tarımsal koruma ve teknoloji bonusunda söz konusudur.

### 7.3.2.3 Tesis konfigürasyonu örnekleri

Bazı somut örnekler, çeşitli tesis tasarımlarının tesis durumu ve bununla birlikte ödenek üzerinde nasıl etkide bulunduğu hakkında fikir vermektedir. Örneklerin değerlendirilmesi sadece bu makale yazarının kişisel görüşüdür, genel bir bağlayıcılığı yoktur ve münferit durumda bir hukuki danışmanlık anlamına gelmez.

*Örnek 1: Bir biyogaz tesisi bir fermentörden, bir fermantasyon sonrası tankından, bir fermantasyon atığı deposundan ve biyogaz tesisi kurulum yerinde işletilen, birden çok kombine ısı ve güç santralinden oluşmaktadır.*

Burada yazarın görüşüne göre kombine ısı ve güç santralinden ve bunların işletmeye alınma zamanından bağımsız olarak, sadece bir tesis bulunmaktadır. Buna karşın EEG takas makamının görüşüne göre bu sadece kombine ısı ve güç santrallerinin, birbirini takip eden 12 aylık süreler içinde işletmeye alınmış olması halinde geçerlidir (EEG madde 19 par. 1).

*Örnek 2: Bir biyogaz tesisi, ham biyogaz hatları üzerinden iki kombine ısı ve güç santraliyle doğrudan biyogaz tesisi lokasyonunda ve doğrudan biyogaz tesisi arazisine komşu, 150 metre mesafedeki bir arazinin üzerinde bulunan üçüncü bir kombine ısı ve güç santraliyle bağlantılıdır. Tüm kombine ısı ve güç santralleri 2009 yılında işletmeye alınmıştır.*

Bu durumda sözü edilen ilk iki kombine ısı ve güç santrali, örnek 1'de olduğu üzere bir tesis olarak geçerlidir. Üçüncü kombine ısı ve enerji santrali de ödeme hukuku açısından bu tesisle birleştirilmelidir, çünkü burada bağımsız bir tesis söz konusu değildir. Bu bağlamda biyogaz tesisinden yeterince mekansal ve işlevsel ayrılma mevzubahis değildir.

*Örnek 3: Bir biyogaz tesisi, ham biyogaz hatları üzerinden iki kombine ısı ve güç santraliyle doğrudan biyogaz tesisi lokasyonunda ve doğrudan komşu olmayan üçüncü bir kombine ısı ve güç santraliyle (800 metre mesafede bulunan arazinin üzerinde), bağlantılıdır. Üçüncü kombine ısı ve güç santrali, yakın bir meskun mahalde bulunmaktadır; atık ısıdan konutların ısıtılma-*

*sında faydalanılmaktadır. Tüm kombine ısı ve enerji santralleri 2009 yılında işletmeye alınmıştır.*

Bu durumda da sözü edilen ilk iki kombine ısı ve güç santrali, bir tesis olarak geçerlidir. Ancak üçüncü kombine ısı ve güç santrali – örnek 2'dekinden farklı olarak – biyogaz tesisinden mekansal ve işlevsel ayrılık nedeniyle bağımsız bir tesis sayılır. Böylece burada iki tesis söz konusudur: bir tarafta iki kombine ısı ve güç santraline sahip biyogaz tesisi ve diğer tarafta üçüncü tek kombine ısı ve güç santrali. Üç tesisin EEG madde 19 paragraf 1'e göre birleştirilmesi de söz konusu değildir, çünkü üçüncü kombine ısı ve güç santrali ana tesise "doğrudan mekansal yakınlıkta" bulunmamaktadır.

*Örnek 4: Her defasında bir fermentörden, bir fermantasyon sonrası tankından, bir fermantasyon atığı deposundan ve eşit güce sahip bir kombine ısı ve güç santralinden oluşan ve hiçbir şekilde birbirine bağlantısı bulunmayan on biyogaz tesisi, birbirine göre 20'şer metre mesafede, münferit biyogaz tesisleri olarak parselenmiş bir alanın üzerinde bulunmaktadır. Tüm biyogaz tesisleri 2009 yılında işletmeye alınmıştır.*

Bu durumda her biyogaz tesisinde EEG madde 3 no. 1 bağlamında eksiksiz bir bağımsız tesis söz konusudur. Ancak ödeneğin belirlenmesi amacıyla biyogaz tesisleri EEG madde 19 paragraf 1'e göre, birbirine doğrudan yakınlıkta bulduklarından ve on iki ay içinde işletmeye alındıklarından, bir tesis şeklinde birleştirilmektedir.

EEG madde 19 paragraf 1 temelde 2009 yılından önce işletmeye alınmış olan tesislerde kullanım alanı bulmaktadır. Bu nedenle özellikle tesisler 1 Ocak 2009 tarihinden itibaren öncelikle ciddi ödenek kayıplarıyla mücadele etmek zorundaydı. Ancak 1 Ocak 2010 tarihinde yasaya eklenmiş EEG madde 66 paragraf 1a nedeniyle, halihazırda 1 Ocak 2009 tarihinden önce modüler tesis olarak işletilmiş olan tesisler, EEG madde 19 paragraf 1'den farklı olarak bağımsız tesis olarak geçerlidir. Yasal gerekçeye uygun olarak böyle tesislerin işletmecileri, 1 Ocak 2009 itibarıyla ödeneği geriye dönük şekilde tam kapsamlı talep edebilir. Eski tesisler hakkında EEG madde 19 paragraf 1 uygulaması karşısında önceden birçok tesis işletmecisi anayasaya aykırılık itirazında ve – başarısızlık durumunda – Federal Anayasa Mahkemesi karşısında ihtiyati hukuki tedbir talebinde bulunmuştur.

### 7.3.2.4 İşletime alma zamanı

Ödenek miktarı bakımından tesis gücünün yanında, işletmeye alma yılı da özel bir anlam taşımaktadır, çünkü ödenek oranları, degradesyon nedeniyle (bkz.



üstte 7.3.1.3) her sonraki işletmeye alma yılıyla birlikte düşmektedir.

Bir tesis EEG'ye göre, ancak teknik işletme hazırlığının oluşturulmasından sonra, ilk kez işletmeye alınmış sayılmaktadır. Bu sırada 1 Ocak 2009 tarihinden itibaren, tesis jeneratörünün en başından beri yenilenebilir enerjilerle mi, yoksa önce – mesela ilk çalışması sırasında – fosil kaynaklarla mı işletildiği sorusu önemsizdir. Tesis işletmeye hazırsa ve tesis işletmecisi, elektrik ikmalini mümkün kılmak için kendi açısından gerekli her şeyi yapmışsa, işletmeye alma için şebekeye elektrik ikmal zorunlu olarak gerekli değildir. Deneme işletimi ile tesis henüz işletmeye alınmış sayılmaz.

Bir kez işletmeye alınmış jeneratörün daha sonra başka bir yere kaydırılması, işletmeye alma zamanı açısından hiçbir şey değiştirmez. Halihazırda kullanılmış jeneratörün daha sonra yeni bir kombine ısı ve güç santraline takılması durumunda bile, bu elektrik üretme ünitesi için halihazırda kullanılmış jeneratörün ilk işletmeye alınması zamanı, EEG'ye göre ödenek süresinin uygun ölçüde kısalması çıkarsamasıyla birlikte geçerlidir.

### 7.3.3 Tek tek ödenek miktarı

Aşağıda temel ödenek ve çeşitli bonuslar yanı sıra ilgili ödenek önkoşulları tek tek tanıtılacaktır. 2011 yılında işletmeye alınan biyogaz tesisleri için ödenek miktarı, tablo 7.1'de genel kapsamda gösterilmiştir.

#### 7.3.3.1 Temel ödenek

Biyogazdan elektrik kazanılması sırasında 2011 yılında işletmeye alınmış biyogaz tesislerinde, 150 kW'ye kadar tesis gücünde kilowatt başına 11.4 cent, 500 kW'ye kadar tesis gücünde kilowatt başına 9.0 cent 5 MW'ye kadar tesis gücünde kilowatt saat başına 8.09 cent 20 MW'ye kadar tesis gücünde kilowatt saat başına 11.4 cent temel ödenek hakkı oluşmaktadır.

Temel ödeneğin belirlenmesi aşağıdaki örneğe dayanarak somutlaştırılmaktadır: Bir biyogaz tesisinin 2011 yılında işletmeye alınan kombine ısı ve güç santrali, 210 kW'lik bir kurulu elektrik gücüne sahiptir. Kombine ısı ve güç santrali 2011 yılında 8.322 tam kullanım saatine ulaşıyor. Bu nedenle EEG bağlamında yıllık ortalama güç 200 kW olarak hesaplanıyor. Kademeli temel ödenek nedeniyle elektriğin  $\frac{3}{4}$  kadarı (200 kW'nin 150 kW'si) kilowatt saat başına 11.44 Cent ve gücün  $\frac{1}{4}$  kadarı (200 kW'nin 50 kW'si) kilowatt saat başına 9.00 Cent ile bedellendirilir. Bu

nedenle ortalama temel ödenek kilowatt saat başına yaklaşık 10.83 cent kadar olur.

Temel ödenek hakkı için ön koşul, elektriğin Biyokütle Yönetmeliği bağlamında biyokütleden üretilmesidir. Biyokütle Yönetmeliği'nde biyokütle, fitokütle ve zookütle kökenli, fitokütle ve zookütlenin yanı sıra yan ürünlerden ve atık ürünlerden elde edilen enerji kaynağı olarak tanımlanmıştır. Biyokütleden elde edilen gaz da bu anlamda biyokütle sayılmaktadır.

Biyogaz tesislerinde kullanılan gelen materyaller biyokütle tanımı kapsamına girmektedir. Ancak belirli maddelerin Biyokütle Yönetmeliği madde 3 uyarınca biyokütle olarak kabul edilmemiş olması dikkate alınmalıdır. Bunların arasında belirli hayvansal yan ürünlerin yanı sıra atık su çamuru ile atık su ve çöp gazı da sayılmaktadır.

Gerçi 2009 yılından beri, Biyokütle Yönetmeliği'ne uygun olmayan, fakat geniş anlamda biyokütle olarak değerlendirilmesi gereken materyallerde de EEG tesislerinde kullanılabilir (örneğin atık su çamuru). Fakat bu durumda sadece orantısız olarak Biyokütle Yönetmeliği bağlamında biyokütle kullanım miktarı kadar elektrik ödeneği verilir.

Ancak münhasırlık prensibinin bu açılımı yasal gerekçeye göre biyogaz üretimi konusunda bu şekilde geçerli sayılmıyor: kullanılan biyogazın kendi, EEG madde 27 paragraf 1 bağlamında tahsisi gerektiren biyokütle kullanım maddesi olması gerektiğinden, Biyokütle Yönetmeliği'nin taleplerini karşılaması gerekir. Bu nedenden dolayı biyogazın kendisi, Biyokütle Yönetmeliği bağlamında sadece biyokütleden üretilmelidir. Ancak biyogaz, mesela atık su gazı gibi diğer gaz halindeki yakıtlarla "Diğer Amaçlara Yönelik Biyokütle" (bkz. Biyokütle Yönetmeliği madde 3 no. 11) elektrik üretmek üzere müştereken kullanılabilir.

1 Ocak 2009 tarihinden itibaren büyük tesisler için EEG ikmal ödeneği genellikle güç-ısı kuplajının işletimi ile bağlantılıdır. Yine 5 MW üzerinde güce sahip biyogaz tesislerinden elde edilen elektrik, aynı zamanda ısı üretimi için de kullanılması halinde ödenek hakkına sahiptir. Bu zorunluluk ile işletmecilerin, büyük biyogaz tesislerini sadece uygun ısı alıcılarının yakınında kurmaya teşvik edilmesi amaçlanmaktadır.

#### 7.3.3.2 Yenilenebilir hammaddelerin kullanımı için bonuslar

EEG, yenilenebilir hammaddelerin (NaWaRo) kullanımını için bir bonus tahsis ederek, örneğin çöplerden elde edilen biyokütle kullanımı ile kıyaslandığında salt bitkisel materyallerin gerektirdiği daha yüksek

mali külfetleri dengelemeyi amaçlamaktadır. Bu sayede tarım, orman ve bahçe işletmelerinde oluşan biyokütlelerin değerlendirilmesinin iyileştirilmesi çerçevesinde, bir NaWaRo işletmesinin ilave mali bir çekim gücü olmadan çoğu kez ekonomik olmayan küçük tesislerin teşvik edilmesi amaçlanmaktadır.

NaWaRo bonusu tam olarak incelendiğinde, bir yandan kullanılan materyale ve diğer yandan elektrik üretim türüne bağlı, kısmen tesis gücüne göre kademelendirilmiş birçok bonus söz konusudur. EEG'ye ek 2 no II.1 yenilenebilir hammaddeyi şöyle tanımlar

*“Tarım, orman veya bahçe işletmelerinde veya çevre düzenlemesi çerçevesinde oluşan ve biyokütle tesisinde kullanılmak üzere hasat, saklama veya kullanım için gerçekleştirilen hazırlığın dışında hiçbir değişikliğe tabi tutulmayan bitkiler veya bitki bileşenleri”.*

Sıvı gübre yenilenebilir hammaddelerle eşit tutulmuştur.

Yenilenebilir hammadde sayılan materyaller, nihai sayılmayan bir pozitif listede bulunmaktadır. Ayrıca EEG – nihai olarak formüle edilmiş – yenilenebilir hammadde sayılmayan ve kullanımları netice itibarıyla NawaRo bonusundan hariç tutulan materyallerin bir negatif listesini de içermektedir.

### Genel NawaRo bonusu

Genel NawaRo bonusu 5 MW'lik tesis gücüne kadar tahsis edilir ve – kullanılan NawaRo biyokütlesi türünden bağımsız olarak - 2011 yılında işletmeye alınan biyogaz tesisleri için 500 kW'lik güce kadar kilowatt saat başına 8.86 cent ve bunun üzerindeki her 500 kW güç için kilowatt saat başına 3.92 cent'tir. Ge-

Tablo 7.2: EEG'nin pozitif listesi uyarınca salt bitkisel yan ürünlerden standart biyogaz kazanımları (seçenek) <sup>a</sup>

Salt bitkisel yan ürün	Standart biyogaz kazanımı EEG'ye ek 2 no V [kWh <sub>e</sub> /t	
	YM]	[Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /t YM]
Bira posası (taze veya preslenmiş)	231	62
Sebze artıkları	100	27
Bitkisel yağların işlenmesinden elde edilen gliserin	1.346	364
Patates kabukları	251	68
Meyve tortusu (taze, işlenmemiş)	187	51
Öğütülmüş kolza tohumu	1.038	281
Kolza küspesi (artık yağ oranı yakl. % 15)	1.160	314

a. Eksiksiz bilgi için bkz. Bölüm 4. Tablo 4.5.

nel NawaRo bonusunun tahsis edilmesi, sadece sürdürülebilir materyallerin ve bitkisel yan ürünlerin kullanılmasının zorunlu olması yanında, ayrıca tesis işletmecisinin, kullanılan biyokütle türü, miktarı ve kökeni ile ilgili bilgileri içeren bir hammadde günlüğü tutmasını şart koşmaktadır. Tesis işletmecisi aynı işletme arazisi üzerinde, yenilenebilir hammaddelerin dışında başka materyalleri kullanan başka bir biyokütle tesisi işletmemelidir.

Biyogazdan elektrik üretilmesi sırasında yenilenebilir hammaddelerin ve sıvı gübrenin yanında belirli, salt bitkisel yan ürünlerin kullanımına da izin verilmektedir. İzin verilen yan ürünlerin listesi aşağıda belirtilmiştir ve örneğin patates küspesi veya patates kabukları, bira posası ve tahıl şilempesini (DDGS) kapsar. Ancak NawaRo bonusu hakkı sadece reel olarak yenilenebilir hammaddelerden veya sıvı gübreden elde edilen elektrik üretimi tutarında söz konusudur. Bonuslandırılabilir elektriğin oranı salt bitkisel yan ürünlerin yasal olarak belirlenmiş standart biyogaz kazanımı esas alınarak belirlenmeli ve çevre eksperleri tarafından onaylanmalıdır.

Yenilenebilir hammaddelerden elektrik üretimi ile ilgili tüm hammadde listeleri (yenilenebilir hammaddeler pozitif listesi, yenilenebilir hammaddeler negatif listesi, salt bitkisel yan ürünlerin pozitif listesi) üzerine bir genel bakış için bkz. EEG ile ilgili ek 2.

Biyogazdan elektrik üretim tesisinin emisyon koruma hukuku açısından izne ihtiyaç duyması halinde, NawaRo bonusunun tahsis edilmesi için ayrıca fermantasyon atığı deposunun gaz geçirmez şekilde kapatılmasının yanı sıra bir arıza durumu veya fazla üretim için ilave gaz tüketim düzeneklerinin hazır tutulması şarttır. Ancak EEG ile ilgili ek 2 numara I. 4 metnine göre sadece mevcut fermantasyon artığı depolarının kapatılması gerekmektedir; buna karşın fermantasyon artığı deposunun mevcut olması, NawaRo bonusu için önkoşul değildir. Tesis işletmecisi tarafından kullanılan ancak biyogaz tesisine ait olmayan veya başka depolarda önceki bekleme süreleri nedeniyle artık metan emisyonları söz konusu olmayan fermantasyon artığı depolarının da gaz geçirmez şekilde kapatılmak zorunda olup olmadığı tartışmalıdır. Ek talepler, bir geçiş yönetmeliğinin bulunmaması nedeniyle, 1 Ocak 2009 tarihinden önce işletmeye alınmış tesisler için de geçerlidir. Ancak böylesi bir kapatma düzeneklerinin sonradan ilave edilmesi, tesis işletmecisi için ekonomik açıdan neredeyse kabul edilemeyecek bir masraf olduğundan, bu, belirli koşullarda orantısız ve hukuka aykırı olarak değerlendirilebilir (özellikle fermantasyon artıklarının

depolanmasının teknik noktaları ile ilgili olarak bkz. Bölüm 3.2.3).

### **Sıvı gübre bonusu**

Genel NawaRo bonusunun ötesinde, biyogazdan elektrik kazanılması sırasında, sıvı gübre kullanımı için ilave bir bonus talebi oluşur. Sıvı gübre bonusu sayesinde tarımsal işletmelerde bulunan sıvı gübre-den, biyogaz üretiminde daha çok faydalanılması ve işlenmemiş ve böylelikle metan emisyonuna neden olan sıvı gübrenin, tarlada kullanımının azaltılması amaçlanmaktadır. Bonus sadece 500 kW'lık bir tesis gücüne kadar tahsis edilmiştir. Bu sınırlama ile normalde büyük sıvı gübre miktarlarının uzun mesafelere muhtemel nakliyesinin ("Sıvı gübre dolaşımı") önüne geçilmesi amaçlanmaktadır.

Bu bağlamda sıvı gübre olarak (EG) No. 1774/2002/EG (AB Hijyen Yönetmeliği) yönetmeliğindeki tanıma göre şu anlaşılmaktadır:

*„Ek VIII Bölüm III'e göre veya başka bir şekilde biyogaz veya kompostlama tesislerinde dönüştürülmüş, işlenmiş veya işlenmemiş, saman karışmış veya karışmamış çiftlik hayvanı dışkısı ve/veya idrarı yanı sıra guano.“*

Sıvı gübre bonusu kademeli bir şekilde yapılandırılmıştır ve 2011 yılında işletmeye alınmış biyogaz tesislerinde 150 kW'ye kadar güç için kilowatt saat başına 3.92 cent, bunun üzerindeki güç için 500 kW'ye kadar 0,98 cent'tir. Daha yüksek güce sahip tesisler için, sıvı gübre bonusu aynı oranlarda geçerlidir.

Sıvı gübre bonusunun tahsis edilmesi, sıvı gübre payının, biyogaz üretiminde kullanılan hammadde-ler içindeki payının en az % 30 olması şartına bağlıdır. Sıvı gübrenin payı, tesisteki kullanılan biyokütlenin toplamı esas alınarak belirlenir, kütlelerin belirlenmesi tartılarak gerçekleştirilmelidir.

% 30 kütle oranı eşiği şartı her zaman, yani sürekli olarak yerine getirilmiş olmalıdır. Bu arada asgari orana daimi olarak uyulmasının ispat edilmesinde, tesis işletmecisi tarafından tutulması gereken kullanılan materyal günlüğü esas teşkil etmektedir. Bu durum yıllık olarak en geç takip eden yılın 28 Şubat tarihine kadar, bir çevre eksperinin raporu ile kanıtlanmalıdır. Kullanılan materyal günlüğünün bilgilerine, bu çevre incelemesinin oluşturulması sırasında başvurulur.

Elektrik kazanımı amacıyla bir gaz şebekesinden gaz alan tesisler, sıvı gübre bonusu tahsil edemezler. Bununla özellikle biyometan olarak bilinen doğal gazın, doğalgaz şebekesinden alınması kastedilmektedir (bunun için ayrıca bkz. 7.4 ). Gaz değişimi esasıyla işletilen bu tesisler için, artırılmış NawaRo bonusu kilowatt saat başına 7.0 centte kalmaktadır. Buna kar-

şın biyogazı doğrudan bir mikrogaz hattı üzerinden veya dolaylı şekilde bir gaz üretme tesisi üzerinden elde eden elektrik üretme tesisleri, yazarın düşüncesine göre bu düzenlemenin dışında kalmaktadır (bunun için bkz. 7.3.2.1). Yasa sistematığı bunun lehindedir: Bu tesisler, hat üzerinden biyometan sayılan doğalgazı değil, bilakis "gerçek" biyogazı almakta, böylece esasında EEG'ye ek 2 tümce 3 no. VI. 2. b'de öngörülmüş, EEG madde 27 paragraf 2'nin yasal kur-gusuna burada hiçbir şekilde ihtiyaç duyulmamaktadır. Ayrıca münferit gaz hatlarında EEG'ye ek 2 tümce 3 no. VI. 2. b bağlamında bir gaz şebekesi söz konusu değildir. Diğer yandan istisnai düzenleme – gaz hatlarının uzunluğuna göre hukuken kesin olmayan bir farklılaştırma çekincesiyle – her zaman kullanılacak ve her biyogaz ısı ve güç santrali bir gaz hattı üzerinden fermentörle birleştiğinden, istisnai düzenleme hüviyetini yitirecektir.

### **Çevre bakım bonusu**

NawaRo bonusu çerçevesinde başka bir ilave bonus, çevre düzenleme sonucu oluşan atıkların kullanımında tahsis edilen çevre düzenleme bonusudur. Bir biyogaz tesisinde ağırlıklı olarak çevre düzenlemesi çerçevesinde oluşan bitkiler ve bitki bileşenleri kullanılıyorsa, o zaman 2011 yılında işletmeye alınan biyogaz tesisleri için yasal ödenek, kilowatt saat başına 1.96 cent artar. Bu bonus da sadece 500 kW'lık tesis gücüne kadar tahsis edilmektedir. Daha yüksek güce sahip tesisler, orantısız bir bonus hakkına sahiptir.

Çevre düzenleme sonucu oluşan atıklarda başka şekilde kullanılamayan ve böylelikle ekonomiye kazandırılmayan, bilakis çevre düzenlemesinin önlenemeyen yan ürünü olarak "oluşan" artık maddeler söz konusudur. Çevre düzenleme bonusuyla bu artık maddeler için bir değerlendirme alternatifi yaratılmakta ve aynı zamanda biyokütle alanında alan rekabetlerinin yaratılması için yasa koyucu tarafından istenen bir katkı sağlanmaktadır.

Bu yeni çevre düzenleme bonusunun münferit talep önkoşullarının detayları halen tartışılmaktadır (bunun için bkz. 4.5). EEG takas makamı Eylül 2009 tarihinde, çevre düzenleme bonusu ile ilgili 2008/48 sayılı tavsiye prosedürünü imzalamıştır. Bu, çevre düzenleme atıklarının geniş kapsamlı bir tanımını ele almaktadır. "Ağırlıklı olarak" yani % 50'nin üzerinde çevre düzenleme atıklarının kullanılıp kullanılmayacağı değerlendirmesi için taze kütlelerin ağırlığı söz konusu referans büyüklüğü olacaktır.

EEG, çevre düzenleme bonusu için – sıvı gübre bonusu kapsamından farklı olarak önkoşulların her daim bulunması gerektiğini açıkça talep etmemekte-

dir. Bu nedenle asgari oranın yerine getirilmesi, takvim yılı sonunda bir dengeleme çerçevesinde yeterli olacaktır.

### 7.3.3.3 İklim koruma bonusu

1 Ocak 2009 tarihinde yasanın yeniden düzenlenmesiyle yasa koyucu ilk kez biyogaz tesisleri için iklim koruma bonusunu EEG'ye almıştır. Düzenlemenin hedefi, kombine ısı ve güç santrallerinde biyogazın yanması sırasında oluşan ve kanserojen niteliğe sahip formaldehit emisyonlarının azaltılmasıdır. Bonus bu nedenle kısmen formaldehit bonusu olarak da tanımlanır. Bonus sayesinde düşük emisyonlu motorların kullanımı veya katalizör donatılarının teşvik edilmesi amaçlanmaktadır.

Temel ödenek, 2011 yılında işletmeye alınan ve 500 kW'ye kadar bir tesis gücü için, tesis işletmesindeki formaldehit emisyonlarının yasal olarak düzenlenmiş sınır değeri aşmaması halinde, kilowatt saat başına 0,98 cent artmaktadır. EEG yönergelerine göre bir noktadan gaz şebekesine ikmal edilen ve başka bir noktada tekrar alınan "sanal" biyometanı elektrığe dönüştüren tesisler bonusun dışında tutulmaktadır.

Ayrıca bonus tahsisi, Federal Emisyon Koruma Yasası'na (BImSchG) göre izne tabi biyogaz tesisleri ile kısıtlıdır. BImSchG'ye göre izne, özellikle 1 MW'nin üzerinde anma ısıl güce sahip tesisler ihtiyaç duymaktadır. Daha düşük anma ısıl güce sahip tesisler sadece belirli durumlarda BImSchG tarafından izne tabi tutulmaktadır (bunun için bkz. Bölüm 7.5.1). Böyle bir tesis sadece yapı iznine ihtiyaç duyarken, BImSchG'ye göre izne ihtiyaç duymuyorsa, bunun işletmecisi formaldehit bonusunu talep edemez.

1 Ocak 2009 tarihinden önce işletmeye alınmış olan tesislerin işletmecileri için bonus aynı şekilde geçerli olabilir. Bu, eski tesislerde EEG'nin geçiş düzenlemesinin açık metnine göre, tesisin BImSchG iznine ihtiyaç duymadığı durumda da geçerlidir.

Bir tesis işletmecisinin hangi emisyon değerlerinde bonusu alabileceği tartışmalıdır. Yasa, "Havanın temiz tutulması için teknik talimattaki (TA- Hava) asgari emisyon hükmüne uygun formaldehit sınır değerlerine" uyulması gerektiğini öngörmektedir. Buna göre belirlenen sınır değerlerini yetkili makam, emisyon koruma hukukundaki izin kararına göre belirlemektedir. Yetkili makam bu sırada TA-Hava emisyon değerlerini temel alır, buna göre atık gazdaki formaldehit oranı, 60 mg/m<sup>3</sup>lük konsantrasyonu aşmamalıdır, fakat emisyon kısıtlama değerini de dikkate almak durumundadır. Emisyon kısıtlama değeri nedeniyle yetkili makam münferit durumda daha düşük emis-

yon değerlerini de düzenlemeli ve/veya tesis işletmecisine, emisyonun kısıtlanması için daha somut tedbirler sunmalıdır. Bu kriterler, her defasında izin tebligatında belirlenmiş sınır değerlerin, tesis işletmecisinin bonus talebi için de ölçüt oluşturması anlamına gelmektedir. Emisyon Koruması Federal/Ülke Çalışma Komisyonu (LAI)'nin 18. Eylül 2008 tarihli kararı uyarınca, sınır değerlerin korunması için ispat ile ilgili resmi tebligat sadece formaldehit emisyonlarının maksimum 40 mg/m<sup>3</sup> olması halinde düzenlenmektedir.

Sınır değerlere uyulması hakkındaki kanıt, emisyon koruma hukuku denetimi için ülke hukukuna uygun belge üzerinden sınır değerlere uyulması ile yerine getirilmektedir. İşletmeci, TA-Hava'nın emisyon kısıtlama yasağında ki ilgili formaldehit sınır değerlerine uyulduğuna dair resmi belgeyi, emisyon raporunu yetkili makama sunduktan sonra elde etmektedir. Belge daha sonra şebeke işletmecisine kanıt olarak sunulabilmektedir.

### 7.3.3.4 KWK bonusu

EEG, KWK bonusu ile elektrik üretimi sırasında oluşan atık ısının kullanımı için güçlü bir mali çekicilik yaratmaktadır. Isının kullanımı, biyogaz tesisinin toplam enerji verimliliğini artırır ve fosil yakıtların azaltılmasına katkıda bulunmaktadır. EEG'de yapılan değişikliklerle yasa koyucu mali çekiciliği yeniden güçlendirmiş ve bonusu kilowatt saat başına 2.0'dan 3.0 cente (2009 yılında işletmeye alma durumunda) yükseltmiştir. Ancak aynı zamanda ısıdan mantıklı bir şekilde faydalanmak için ısı kullanımı ile ilgili konular da sıkılaştırılmıştır.

Bonustan yararlanabilmek için tesis bir yandan güç-ısı kuplajında elektrik üretmeli, öte yandan üretilen ısıdan faydalanmak için mantıklı bir konseptte sahip olmalıdır.

EEG, güç-ısı kuplajında elektrik üretimi bakımından, güç-ısı kuplajı yasasına (KWKG) atıfta bulunmaktadır. Ardından tesis enerjiiyi aynı zamanda elektrıği ve faydalı ısıya dönüştürmelidir. Bu önkoşula uyulması, seri olarak üretim yapan 2 MW'ye kadar KWK tesisleri için, termik ve elektrik gücün yanı sıra elektrik referans rakamını ortaya koyan ilgili üretici evrakları ile belgelenebilir. 2 MW'ın üzerinde güce sahip tesisler için, tesisin AGFW'nin FW 308 çalışma kağıdının taleplerine uygun olduğuna dair bir kanıt ortaya konulmalıdır.

EEG'ye göre mantıklı bir ısı faydalanımı ancak pozitif listeye göre bir faydalanma (bakınız EEG'ye ek 3 no. III) gerçekleştiğinde söz konusu olmaktadır.

Pozitif liste üzerinde örneğin belirli binaların m<sup>2</sup> faydalı alan başına yıllık maksimum 200 kWh'lık bir ısı kullanımı, belirli talepleri yerine getiren bir ısı şebekesine ikmal veya belirli endüstriyel proseslerde proses ısısı olarak kullanımda söz edilmektedir. Pozitif listede sözü edilen münferit ısı faydalanımları bakımından hâlâ cevabı bulunamayan bir dizi soru bulunmaktadır.

Negatif listeye göre izin verilmeyen ısı faydalanımları için örnekler (EEG ile ilgili ek 3 no. IV) belirli, ısı yalıtımı olmayan bina tiplerinin ısıtılması ve ORC veya Kalina-Cycle-Proseslerinde ısıdan faydalanımdır. Negatif listede izin verilmeyen ısı faydalanımları liste sonunda yer almaktadır. EEG ile ilgili ek 3 no. IV.2'ye göre **ORC- veya Kalina-Cycle-Modüllerinde** ısı faydalanımı durumunun KWK bonusundan hariç tutulması sadece bir kombine ısı ve güç santralının atık ısısının böylesi bir ardıl elektrik kazanımı modülünde orantısal kullanımı ile ilgilidir; ayrıca böyle bir ısı faydalanımı, ısı ve güç santrali ile ardıl elektrik kazanımı modülünün normalde EEG madde 3 paragraf 1'e göre bir komple tesis oluşturması ve böylece ardıl elektrik kazanımı modülünde ısı faydalanımının, halihazırda tesis dışında bir ısı faydalanımı oluşturmaması nedeniyle bir bonus talebinin olmamasını gerektirmektedir. Ancak temelde ısı ve güç santralinden gelen (kalan) ısı, ardıl elektrik kazanımı prosesini geçtikten sonra pozitif listeye uygun başka bir kullanıma aktarılırsa, yazarın görüşüne göre KWK bonusu bu bağlamda hem ardıl elektrik kazanımı modülünde, hem de kombine ısı ve güç santralinde üretilen elektrik için sağlanmalıdır. Kombine ısı ve enerji santralinde üretilen elektriğin KWK elektriği olarak muamele görmesi, EEG'ye ek 3 no. IV.2'ye herhangi bir aykırılık oluşturmaz, çünkü harici kullanılan ısı miktarının belirlenmesi sırasında ardıl elektrik işleme prosesinde tüketilen ısı oranı artık dikkate alınmamaktadır. Buna karşın ardıl elektrik kazanım modülünde üretilen elektrik için KWK bonus talebinin sınırlandırılması, güç-ısı kuplajının yanında ilave bir ardıl elektrik kazanımını devreye sokan böylesi tesislerin gerekçelendirilmemiş kötüleşmesine neden olacaktır.

Pozitif liste bağlamında bir ısı faydalanımı gerçekleşmezse, tesis işletmecisi bonusu belirli koşullar altında aynı şekilde elde edebilir. Önkoşul kümülatif olarak

- hedeflenen ısı faydalanımından negatif listede bahsedilmemiş olması,
- üretilen ısı, fosil enerji taşıyıcılarından elde edilen ısıyı kıyaslanabilir kapsamda, yani en az yüzde 75 oranında ikame etmesi ve

- ısı üretilmesi ile kW ısı güç başına en az 100 € tutarında fazladan masrafın oluşması.

"İkame" talep önkoşulunun nasıl anlaşılacağı açık değildir. En başından beri BHKW'den atık ısıyla beslenen yeni binalarda, fosil enerji kaynakları gerçekten olmasa da her halükarda potansiyel olarak ikame edilebilir. Bu bağlamda, potansiyel bir ikamenin de yeterli olacağı düşünülmelidir. Tesis işletmecisi, ısı üretilen BHKW tarafından kullanıma sunulmamış olması halinde, fosil enerji kaynaklarının kullanılmış olacağını uygun şekilde ortaya koymalıdır.

Fazla masraflara ısı konvertörü, buhar üretici, hatlar ve diğer teknik düzenekler için masraflar eklenebilir, ancak artan yakıt masrafları eklenemez.

Pozitif listeye uygun bir ısı faydalanımının bulunmasının veya fosil enerji taşıyıcılarının ikame edilmesinin ve fazladan gerekli yatırım masraflarının kanıtı, **onaylı bir çevre eksperinin ekspertizi** ile sağlanmalıdır.

#### "KWK bonus" kontrol listesi

1. Isı güç kuplajında üretilen elektrik
2. Isı faydalanımı
  - a) Negatif listede değil
  - b) Pozitif liste
    - Enerji tasarrufu yönetmeliği bağlamında yılda metrekaresine faydalı alan başına 200 kilowatt saate kadar ısı kullanımı,
    - En azından 400 metre uzunluğa kadar bir şebekede ve faydalı ısı ihtiyacının yüzde 25 altında kayıplarla ısı beslemesi,
    - Belirli endüstriyel prosesler için proses ısısı olarak kullanım ve ısı üretimi amaçlı kullanım için ahşap pelet üretimi,
    - Kanatlı yetiştiriciliği için işletme binalarının ısıtılması
    - Aşağıdaki üst sınırlarla ahırların ısıtılması:
      - Kanatlı besisi: Hayvan başına 0,65 kilowatt saat,
      - Dişi domuz yetiştiriciliği: Yılda dişi domuz başına 150 kilowatt saat, yavru domuz başına 7.5 kilowatt saat,
      - Yavru domuz yetiştiriciliği: Yavru domuz başına 4.2 kilowatt saat,
      - Domuz besiciliği: Yetiştirilen besi domuzu başına 4.3 kilowatt saat
    - Bitkilerin yetiştirilmesi ve çoğaltılması için örtü altı tesislerin ısıtılması için burada c) altında sözü edilen önkoşulların yerine getirilmesi
    - Gübre üretimi için fermantasyon artıklarının hazırlanması amacıyla proses ısısı olarak kullanım.
  - c) b)'ye alternatif: Fosil enerji kaynaklarının en az % 75 oranında ikame edilmesi ve kW ısı güç başına en az 100 € fazla masraf

### 7.3.3.5 Teknoloji bonusu

Teknoloji bonusuyla inovatif, enerji verimliliği yüksek ve bu sayede çevreyi ve iklimi koruyan teknolojilerin ve tesislerin kullanımı için bir mali teşvik yaratılmaktadır.

Bonus, bir yandan doğalgaz kalitesinde hazırlanmış biyogazın kullanımı, diğer yandan elektrik üretimi sırasında inovatif tesis teknolojisinin kullanımı için verilmektedir. Gazın hazırlanması şu durumlarda desteklenir:

- Hazırlama sırasında maksimum yüzde 0,5'lik metan emisyonlarının oluşması,
- Hazırlama için elektrik tüketiminin norm metreküp ham gaz başına maksimum 0,5 kWh olması,
- Biyogazın hazırlanması ve üretilmesi için proses ısısının tamamının yenilenebilir enerjilerden veya tesisin kendi atık ısısından üretilmesi ve
- Gaz hazırlama tesisinin maksimum kapasitesinin saat başına 700 norm metreküp olması.

Teknoloji bonusu, bu tip gaz hazırlama tesislerinde üretilen gazdan elde edilen elektriğin tamamı için, gaz hazırlama tesisinin 350 norm metreküp hazırlanmış gazın maksimum kapasitesine kadar 2.0 ct/kWh ve 700 norm metreküp hazırlanmış gazın maksimum kapasitesine kadar 1.0 ct/kWh kadardır.

Biyogazdan elektrik üretilmesi alanında özellikle inovatif tesis teknolojileri, EEG'ye ek 1'e göre yakıt hücreleri, gaz türbinleri, buharlı motorlar, Organic-Rankine-Tesisleri, Kalina-Cycle-Tesisleri ve Stirling-Motorları gibi çoklu yakıt karıştırma tesisleridir. Ayrıca samandan termokimyasal konversiyon ve ardıl çürüme ile biyolojik atıkların fermantasyonu tesisleri de buna dahildir.

31 Aralık 2008 sonrasında işletmeye alınmış tesislerde kuru fermantasyon için bonus artık verilmemektedir, çünkü birçok kuru fermantasyon tesisi, inovatif, iklimi koruyan yasal talebi yerine getirmemektedir.

Yukarıda sözü edilen teknolojilerin ve yöntemlerin desteklenmesi için önkoşul, bunların ya minimum yüzde 45'lik bir elektrik verimine sahip olmaları veya en azından geçici olarak ve belirli kapsamda bir ısı faydalanımının gerçekleşmesidir.

İnovatif tesis teknolojilerinin kullanılması durumunda bonus genellikle 2.0 ct/kWh kadardır. Bonus sadece bu teknolojilerin veya yöntemlerin uygulandığı elektrik oranı üzerinden uygulanmaktadır. Bir kombine ısı ve güç santralinde şartlara uygun olmayan başka yöntemler vasıtasıyla da elektrik üretilirse, o zaman tesis işletmecisi bu oran için herhangi bir teknoloji bonusu almayacaktır.

#### „Kanıtlar“ bonus kontrol listesi

- KWK bonusu  
2 MW güç üzeri: Bir çevre eksper tarafından ısı güç kuplajında elektrik üretiminin yıllık kanıtı  
2 MW güce kadar: Uygun üretici evraklarının sunulması sayesinde ısı güç kuplajında elektrik üretiminin bir defalık ispatı  
Bir ısı kullanımının pozitif liste kapsamında olması veya fosil enerjilerin % 75 oranında ikame edilmesinin ve kW başına 100 € tutarında fazla masrafın oluşmasının bir çevre eksper tarafından kanıtlanması.
- NawaRo bonusu  
Kullanılan maddelerin türü, miktarı ve birimi yanı sıra kökeni hakkında bilgilere ve belgelere sahip kullanım maddesi günlüğü  
Bir çevre eksper tarafından bitkisel yan ürünlerin oranının ispatı
- Sıvı gübre bonusu  
Tesiste her zaman en az kütle olarak yüzde 30 sıvı gübre kullanıldığının bir çevre eksper tarafından kanıtlanması
- Havayı koruma bonusu  
Yetkili makamın bir belgesi ile formaldehit sınır değerlerinin korunduğunun kanıtlanması
- Teknoloji bonusu  
Madde I. 1 a)-d)'ye göre tesisin gaz hazırlama için ön koşulları sağladığının kanıtlanması
- Çevre düzenlemesi bonusu  
Çevre düzenleme atıklarının toplam kütleyle oranının miktarı hakkında bir çevre eksper tarafından ispat

## 7.4 Gazın hazırlanması ve ikmali

Biyogazın üretildiği yerde, yani biyogaz tesisinin yakınlarında kullanılması ekonomik ve ekolojik açıdan her zaman mantıklı değildir. Çünkü elektrik üretimi sırasında zorunlu olarak ısı da oluşur ve ısı enerjisinin biyogaz tesisinin bulunduğu yerde çoğu zaman mantıklı bir kullanım imkanı bulunmamaktadır. Bu nedenle biyogaz üretiminin ve faydalanımının mekansal olarak ayrılması belirli koşullar altında mantıklı olabilir. Burada biyogazın birkaç yüz metreden birkaç kilometreye kadar mesafede bulunan bir uydu tesiste kullanılmak üzere taşınabilmesini sağlayan bir ham biyogaz hattının kurulmasının yanında (bunun için bkz. 7.3.2.1), genel doğalgaz şebekesine gaz hazırlanması ve ikmali de söz konusu olmaktadır. İkmal gerçekleştirildikten sonra biyogaz daha sonra istenen her noktada “sanal” olarak tekrar alınabilir ve bir kombine ısı ve güç santralinde elektrik ve ısıya dönüştürülebilir.

### Gaz ikmal projeleri için geri ödeme destekleri

Biyogaz hazırlama ve besleme tesisleri belirli önkoşullar altında piyasa teşvik programına göre teşvike ihtiyaç duymaktadır. 20 Şubat 2009 tarihli yenilenebilir enerjilerden ısı piyasasında faydalanım ile ilgili tedbirlerin teşvikiyle ilgili yönetmelikler madde 14.1.5 b)'ye göre bu bağlamda preparasyonun atmosfere salınan metan emisyonları azami % 0,5. hazırlama ve ikmal sırasında maksimum elektrik tüketimi norm metreküp ham gaz başına 0,5 kilowatt saat olmalıdır. Ayrıca yenilenebilir enerjilerden (veya bataklık gazı) elde edilen proses ısısının üretilmesi kanıtlanmalıdır. Geri ödeme destekleri 350 m<sup>3</sup>/saat'e kadar hazırlanmış ham biyogaza („Biyometan“) sahip bir tesis büyüklüğünde, teşvik edilebilir yatırım masraflarının % 30'una kadarını karşılamaktadır. Teşvik, kamusal kaynaklardan elde edilen diğer teşviklerle birleştirilemez ve 31 Aralık 2010 tarihi ile sınırlandırılmıştır. Teşvikin MAP 14.1.5 b)'ye göre teşvik edilip edilmeyeceği, redaksiyon sona erdiğinde henüz karara bağlanmamıştır.

### 7.4.1 EEG ödeneği için önkoşullar

Bu şekilde kendi BHKW'sinde biyometan kullanan BHKW işletmecisi – bir mikrogaz hattı üzerinden biyogaz aktarımındaki gibi – temel olarak biyogaz tesisi lokasyonunda elektrik enerjisi elde ettiği şekilde ödenek ile aynı ödeneği almaktadır. Buna doğalgaz şebekesine ikmal durumunda, gaz hazırlanması için teknoloji bonusu ilave edilmektedir: EEG ile ilgili ek 1 uyarınca, biyogazın doğalgaz kalitesinde hazırlanması ve bu sırada belirli önkoşullara uyulmuş olması halinde ödenek 2.0 ct/kWh artmaktadır (bunun için bkz. 7.3.3.5). Buna karşın tesis işletmecisi, biyogaz aktarımı durumunda iklim koruma bonusunu (bunun için bakınız 7.3.3.3) ve sıvı gübre bonusunu (bunun için bakınız 7.3.3.2) talep edemez.

Ancak EEG madde 27 paragraf 3 uyarınca EEG ödeneği talebi sadece, EEG ek 3 bağlamında aynı zamanda ısı faydalanımı söz konusu olması durumunda üretilen elektriğin KWK elektrik payı için söz konusudur. Bu nedenle sonuç olarak sadece ısıyla çalışan BHKW'ler EEG'ye göre gaz hazırlaması teşvikinden faydalanabilmektedir.

Ödenek talebi için diğer önkoşul, BHKW'de sadece biyometan kullanılmasıdır. Münhasırlık prensibi burada, doğalgaz ve biyogaz arasında dönüşümlü bir işletimin mümkün olmadığı anlamına gelmektedir. BHKW işletmecisi takvim yılının sonunda reel olarak kullanılan miktara uygun miktarda biyogazın diğer noktada gaz şebekesine ikmal edilmesini ve kendi BHKW'sine aktarılmış olmasını sağlamalıdır. Aksi takdirde EEG ödeneği talebinin tamamen kaybedilmesi riskine girer.

### 7.4.2 Tedarik noktasından BHKW'ye taşıma

Tedarik edilen biyometan tedarik sonrasında doğrudan doğalgaz şebekesindeki mevcut doğalgaz ile karıştırıldığından, biyometanın ilgili BHKW'ye fiziksel olarak taşınması mümkün değildir. Daha çok BHKW'de sıradan doğal gaz kullanılmaktadır. Ancak hukuken bu BHKW'de kullanılan doğal gaz, EEG madde 27 paragraf 2'nin önkoşulları altında biyogaz olarak geçerlidir.

Bu bağlamda ilk önkoşul, alınan gaz miktarının ısı eşdeğerliliği bakımından, başka noktada gaz şebekesine aktarılan, biyokütleden elde edilmiş gazın miktarına eşit olmasıdır. Miktarların takvim yılı sonuna uygun olması yeterlidir.

Ödenek talebi ile ilgili diğer önkoşul, belirli bir BHKW için tedarik miktarının reel olarak belirlenmesidir. Fiziksel bir taşımının bulunmaması nedeniyle devretme mecburen tedarik eden ile BHKW işletmecisi arasında yapılacak bir sözleşme ile gerçekleşmelidir. Tedarik edilen biyometan miktarlarının BHKW işletmecisine sevk edildiğine dair basit bir biyometan sevkiyat sözleşmesinin yanında burada başka sözleşmeler – örneğin distribütörlerin eklenmesi veya kullanılabilir sertifikalardan veya merkezi bir biyometan sicilinden faydalanma - mümkündür. Bu sırada gazı tedarik eden, tedarik edilen biyometanın biyojenik özelliğinin, bir ikinci şekilde pazarlanamayacağını, bilakis daima bir BHKW'ye aktarılacağını garanti etmelidir.

#### 7.4.2.1 İletim modeli

Gazı tedarik eden sözleşmede yer alan sevkiyat yükümlülüğünü özellikle gaz satıcısı sıfatına sahip olması ve BHKW işletmecisinin alım noktasına kadar sevkiyatı üstlenme ile karşılayabilir. Gerçi bu durumda biyometanın fiziksel değil, ancak gaz ekonomisi kurallarına uygun olarak sanal anlamda ikmal noktasından alım noktasına taşınması gerçekleşmektedir. Bunun için gazı tedarik eden genellikle bağımsız bir biyogaz bilançosu çerçeve sözleşmesinden faydalanır. Ancak bu durum BHKW'nin alım noktasının bir biyogaz bilanço çerçevesine ait olması, biyometanın sadece BHKW'de kullanıldığı hakkında yeterli bir kanıt değildir. Bunun arka planında, bu durumda biyogaz bilançosunun yıl sonunda negatif bir bakiyeye sahip olması, gaz şebekesi işletmecisinin bu bakiyeyi biyometan ile karşılama yükümlülüğüne sahip olmaması yatmaktadır. Böylece tesis işletmecileri, bizzat gazı tedarik edenler üzerinden sevkiyat durumunda da elektrik şebekesi işletmecisine, gerçekten takvim



yılı boyunca ısı eşdeğerliliğine uygun bir biyogaz miktarının tedarik edilmiş olduğunu ve BHKW'sine aktarılacağını garanti etmelidir.

#### 7.4.2.2 Sertifika modeli

Ancak diğer yandan gazı tedarik eden, alım noktasına biyometan sevkiyatından vazgeçebilir ve bunun yerine BHKW işletmecisine sadece tedarik edilen biyometanın biyojen özelliğinin değerlendirilmesini bedel karşılığında devredebilir. Bunun için gazı tedarik eden sıradan doğal gaz gibi pazarlar ve bu şekilde biyojen özelliği fiziksel olarak tedarik edilmiş gazdan ayırır. Biyojen özellik daha sonra – elektrik alanında olduğu gibi – bağımsız bir yer tarafından kontrol edilmiş sertifikalarla bağımsız şekilde gösterilebilir. BHKW işletmecisi bir doğal gaz satıcısından sıradan doğalgazı almaya devam eder ve sadece gazı tedarik edenden biyometan sertifikalarının gerekli miktarını satın alır. Ancak sertifika modelinde, tesis işletmecisinin EEG'nin farklı ödenekleri ve bonusları için, gerekli gaz ve tesis özelliklerinin yeterince belgelemesi ve çifte pazarlamanın önlenmesi hâlâ sorun teşkil etmektedir. Bu konular sertifikaların kullanım öncesinde mutlaka yetkili elektrik şebekesi işletmecisi ile açıklığa kavuşturulmalıdır.

Biyometan sicilinin planlanan, redaksiyon sonlandırıldığında henüz sonuçlandırılmamış düzenlenmesi sayesinde biyometan ticaretinin basitleştirilmesi amaçlanmaktadır.

### 7.4.3 Şebeke bağlantısı ve şebeke kullanımı için hukuki çerçeve koşulları

Gazın hazırlanması ve tedarik edilmesi sadece teknik güçlükler nedeniyle kalmaz, bilakis bazı hukuki zorluklar da bulunmaktadır. Fakat gaz tedarikinin çerçeve koşulları, gaz şebekesi giriş yönetmeliğinin (GasNZV) ve gaz şebekesi ücret yönetmeliğinin (GasNEV) değiştirilmesiyle birlikte önemli ölçüde iyileştirilmiştir. GasNZV ve GasNEV ilk kez Nisan 2008 tarihinde ve daha sonra tekrar Temmuz 2010 tarihinde değiştirilmiştir<sup>1</sup>.

#### 7.4.3.1 Öncelikli şebeke bağlantısı

Değiştirilen GasNZV'ye göre gaz şebekesi işletmecisi, biyogaz hazırlama ve tedarik tesislerini öncelikli olarak kendi şebekesine bağlama yükümlülüğüne sahip-

tir. Şebeke bağlantısını ve tedarikini sadece teknik olarak mümkün olmaması veya ekonomik açıdan uygun olmaması durumunda reddedebilir. Şebekenin tedarik edilen gaz miktarlarını teknik ve fiziksel bakımdan alabilecek durumda olması halinde, şebeke işletmecisi, mevcut iletim sözleşmeleri nedeniyle kapasite darboğazları risklerinin oluşması halinde bile alımı reddedemez. Şebeke işletmecisi ekonomik olarak mantıklı olması halinde, tüm yıllık tedariki mümkün kılmak için her türlü tedbiri almakla yükümlüdür. Bunların arasında örneğin, yaz aylarında fazla miktardaki gazın geri beslemesi için gerekli olacak yüksek bir basınç düzeyine çıkarmak için bir kompresörün kurulması da bulunabilir.

#### 7.4.3.2 Şebeke bağlantısında mülkiyet ve masrafların karşılanması

Değiştirilmiş GasNZV, şebeke bağlantısı durumunda masrafların karşılanması açısından da tedarik eden bakımından çok sayıda imtiyaz öngörmektedir. Buna göre şebeke bağlantısı için yatırım masrafları, genel doğalgaz şebekesine bağlantı hattının birinci kilometresi de dahil olmak üzere, redaksiyon sona erdiğinde henüz bildirilmemiş GasNZV değişikliğine göre bağlantı alıcısı tarafından artık sadece 250.000 € tutarı karşılanmalıdır. Bağlantı hattının uzunluğunun bir kilometreyi aşması halinde şebeke işletmecisi bundan sonra 10 kilometreye kadar uzunluklarda ilave masrafların % 75'ini karşılamaktadır. Şebeke bağlantısı şebeke işletmecisinin mülkiyetine geçmektedir. Bu kişi, bakım ve oluşan işletme giderlerini de tam karşılamak durumundadır, bu arada (bu kitabın) redaksiyon(u) sona erdiğinde henüz ilan edilmemiş GasNZV değişikliğine göre % 96'lık bir asgari yararlanılabilirliği garanti etmek zorundadır.

#### 7.4.3.3 Tedarik edilen biyometanın dengelenmesi

Belirli bir BHKW için belirli bir gaz miktarının belirli bir aktarımı için EEG ödeneğinin yanında tedarik edilen gaz ayrıca gaz ekonomisi kurallarına uygun şekilde dengelenmeli ve taşınmalıdır. Burada da değiştirilen GasNZV, gazı tedarik eden için kolaylaştırmalar içermektedir. Buna göre yüzde 25 oranında yükseltilmiş bir esneklik çerçevesine ve 12 aylık bir dengeleme zaman aralığına sahip özel biyogaz dengeleme grupları öngörülmüştür. Böylesi bir biyogaz dengeleme grubundan faydalanım, tedarik edilen biyogazın, tedarikin yaz aylarında BHKW'nin çalışma biçimine uygun şekilde kısılmasına gerek kalmaksızın, ısıyla ça-

1. Temmuz 2010 tarihli değişiklik bu kitabın redaksiyonu sona erdiğinde henüz kabul ve ilan edilmemiştir.

lıştırılan bir BHKW’de kullanılmasını da mümkün kılmaktadır.

## 7.5 Isı faydalanımı ve sevkiyat

Eğer bir biyogaz BHKW’in güç-ısı kuplajında kullanılırsa, o zaman KWK bonusunun (7.3.3.4 KWK Bonus önkoşullarına bkz.) geçerli olması için atık ısının onaylı bir ısı faydalanım konsepti çerçevesinde kullanımı gereklidir. KWK bonusunun geçerli olması için 1 Ocak 2009 tarihinden sonra işletmeye alınmış tüm tesislerde, EEG’ye ek 3 no. III’e göre pozitif liste bağlamında bir ısı faydalanımı kanıtlanmalıdır. Bu arada KWK bonusu talebi, diğer bonus önkoşullarının bulunması durumunda temelde ısı faydalanımının üçüncü şahıslar üzerinden mi yoksa bizzat tesis işletmecisi tarafından mı gerçekleştiğinden bağımsızdır.

### 7.5.1 Hukuki çerçeve koşulları

EEG’ye ek 3 no. III. 2 bağlamında (ısı şebekesine tedarik) bir ısı faydalanımının gerçekleştirilmesi durumunda günümüzde belirli türde ısı şebekelerinin inşa edilmesi ile ilgili teşvikler hem **Piyasa Teşvik Programı** (bakınız 7.1) hem de KWKG tarafından öngörülmektedir. Teşvik edilebilir ısı şebekelerinin özelliği, ya ısı güç çevriminden veya yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen belirli oranda ısıyla beslenmeleridir. Bu bağlamda yakın gelecek için, EEG ve KWK ısı şebekelerinin artan şekilde gelişmesi için önkoşullar yaratılmıştır.

Yakın ve uzak ısı şebekelerinin önemi, belediyelerin ve belediye birliklerinin **EEWärmeG** Madde 16 uyarınca sadece iklimin ve kaynakların korunması amacıyla, bir genel yakın ve uzak ısı tedariki şebekesine bağlantı ve kullanım zorunluluğunun gerekçelendirilmesi bakımından eyalet hukuku izinlerinden faydalanabilmeleri sayesinde de artmaktadır. Böylece uygun şekilde gerekçelendirilmiş bağlantı ve kullanım zorunlulukları bakımından oluşan kararsızlıklar, ilgili belediye yönetmelikleri ile giderilmektedir. Bu yönetmelik sayesinde belediyeler, nihai enerjinin orantısal olarak yenilenebilir enerjilerden veya ağırlıklı olarak KWK tesislerinden geldiği genel ısı tedarik şebekeleri ile ilgili bağlantı ve kullanım düzenlemelerini çıkartmaları için teşvik edilmektedir.

Ayrıca EEWärmeG biyogazın yanı sıra biyogazdan elektrik kazanımının yanında ısı üretimi için de potansiyel alıcı pazarını büyütmektedir. 31 Aralık 2008 tarihinden sonra inşaat izni verilen yeni binaların sahipleri, EEWärmeG’ye göre 2009 yılından beri mev-

cut faydalanma yükümlüklerini, biyogazla çalışan BHKW’den kısmi ısı ihtiyacını karşılama ile de yerine getirebilmektedir. Şayet faydalanma yükümlülüğü biyogaz kullanımı ile yerine getirilecekse, mülk sahibi ısı enerjisi ihtiyacının en az yüzde 30’unu gaz halindeki biyokütleden faydalanmak suretiyle karşılamalıdır. Bu sırada ısı tedariki için hazırlanmış ve beslenmiş biyometanın kullanılması durumunda EEWärmeG’ye ek no. II. 1’e göre özel taleplerin yerine getirilmesi gerekmektedir. Ayrıca alternatif olarak bir binanın ısı ihtiyacının, büyük ölçüde yenilenebilir enerjilerden – mesela bir biyogaz BHKW’sinin atık ısısından – tedarik edilen bir ısı şebekesi üzerinden karşılanması halinde kullanım zorunluluğu yerine getirilmiş sayılmaktadır.

Ayrıca KWK bonus talebinin gerekçelendirilmesi dikkate alınmadığında üçüncü kişilere ısı tedariki, birçok proje için giderek artan öneme sahip bir ekonomik noktası oluşturmaktadır.

### 7.5.2 Isı sevkiyatı

Tesis işletmecisi ısıyı ya bir ısı şebekesi işletmecisine veya doğrudan ısı tüketicisine sevk etmektedir. Doğrudan ısı tüketicisine sevk etme durumunda genelde iki sevk konsepti bulunur: BHKW ya biyogaz tesisinde işletilir ve oluşan ısı buradan, ısı hatları veya bir ısı şebekesi üzerinden ısı tüketicisine aktarılır. Biyogazın bir ham gaz hattı veya – uygun şekilde hazırlandıktan sonra – genel doğalgaz şebekesi üzerinden, ısı ihtiyacı bölgesine taşınması ve burada elektriğe dönüştürülmesi daha verimlidir. Bu sayede taşıma sırasında oluşan ısı kayıpları önlenmektedir.

Tesis işletmecisi ısı enerjisini bir ısı şebekesi dağıtıcısına satarsa, o zaman tesis işletmecisi ve nihai alıcı arasında doğrudan sözleşme anlamında bir ilişki oluşmamaktadır. Isı şebekesi işletmecisi ve nihai alıcı bağımsız bir ısı sevkiyat sözleşmesi imzalanır. Buna karşın tesis işletmecisi bizzat ısı sevkiyatçısı olarak ortaya çıkarsa, o zaman doğrudan ısı alıcısı ile bir ısı sevkiyat sözleşmesi imzalar (bunun için bakınız 7.6.3). Tesis işletmecisi, ısı sevkiyatı ile bağlantılı yükümlükleri devralmak istemiyorsa, bir üçüncü kişiyi bununla görevlendirebilir (Contracting-sözleşme).

### 7.5.3 Isı şebekeleri

Bir ısı şebekesinin kurulması genel itibarıyla özel bir izne ihtiyaç duymamaktadır. Ancak ısı şebekesi işletmecisi, çoğunlukla gerekli olan ısı hatlarını yabancılara ait araziler üzerinde döşeyebilmek için için kullanım haklarının düzenlenmesini dikkate almalıdır.

İlgili arazi sahibiyle, içeriğinde kullanım izni için bedelin düzenlendiği ve borçlar hukukuna tabi kullanım sözleşmesinin imzalanmasına ilaveten, bu bağlamda tapu siciline bu geçiş hakkının kaydedilmesi sayesinde arazi kullanımının aynı teminatı önerilmektedir. Sadece bu sayede ısı sevkiyatçısının, arazinin satışı durumunda sonraki sahibi karşısında da ısının aktarılması için arazinin kullanılmasına hakkına sahip olması garanti altına alınabilmektedir. Isı hatlarının genel trafik yolları boyunca döşenmesi durumunda ısı şebekesi işletmecisi, yetkili karayolları dairesiyle bir yol kullanım sözleşmesi imzalamalıdır. Bunun için belirli koşullar altında götürü veya sevk edilen kilowatt saat başına belirlenecek bir ücret ödenmelidir.

## 7.6 Sevk sözleşmelerinin şekillendirilmesi

### 7.6.1 Ham biyogaz sevkiyatı

Bir gaz alıcısına biyogaz satışının veya sevkiyatının düzenlenmesi için üretici ve alıcı arasında bir biyogaz sevkiyat sözleşmesi imzalanmalıdır.

Bu sırada üreticinin gazı doğrudan biyogaz üretme tesisinden işlenmemiş ham biyogaz olarak mı yoksa genel gaz şebekesine ikmal etmek üzere hazırlanmış biyogaz ("biyometan") olarak mı satacağına bağlı olarak farklı düzenleme ihtiyacı oluşmaktadır.

Ham biyogaz sevkiyatı ağırlıklı olarak iki şekilde karşımıza çıkmaktadır: Ya biyogaz alıcısı ham biyogazı biyogaz üretme tesisine yakın bir noktada elektrik üretimi için kullanır ve gazı doğrudan bir ham biyogaz hattı üzerinden, genel gaz şebekesini ayrıca kullanmaksızın alır veya gaz şebekesi ikmal için hazırlamak üzere yakında bulunan bir hazırlama tesisinden alır.

Her iki durumda örneğin GasNZV'ye göre nitelik talepleri, gaz hazırlaması için teknoloji bonusu talebi önkoşulları açısından, gaz şebekesi ücret yönetmeliğine (GasNEV) göre kaçınılan şebeke masraflarının karşılanması veya olabilecek sorunlar için ikmale özgü kriterler ile ilgili herhangi bir düzenleme gerekli değildir.

Her ham biyogaz sevkiyat sözleşmesi detaylı bir şekilde ilgili projenin teknik, ekonomik ve hukuki gereksinimlerine göre uyarlanmalıdır. Bu noktada sadece, diğer gerekli konuların (örneğin sorumluluk, riskin taşınması, ekonomiklik, bölünebilir hükümler, yazılı biçim, mahkeme durumu vs.) yanında her halükarda dikkate alınması gereken birkaç noktadan söz etmek yerinde olur:

- **Gaz sevkiyatının kapsamı:** Burada yıllık, günlük veya saatlik hazırlama miktarları, asgari ve azami sevkiyat veya alım miktarları, tercihen konulacak biyogaz fiyatının uygun şekilde adaptasyonu düzenlenebilir.
- **Ödeneğin düzenlenmesi:** Sözleşme, kilowatt saat başına somut bir fiyatın belirlenmesinin yanında, düzenli ve uzun vadeli sözleşme süresi nedeniyle, örneğin bir veya birden fazla endekse (fuel oil, materyal veya tüketici fiyat endeksi) bağlantılı fiyat ayarlama hükmünün yanı sıra gerekiyorsa sevkiyat miktarı bakımından fiyat artış hükmünü içermelidir. Tüm ödeme hukuku düzenlemelerinde – şayet biyogazdan elektrik kazanımı öngörülmüşse – EEG'ye göre ödenek oranları önemli bir kriter oluşturmaktadır; bu nedenle yasal ödenek düzenlemelerinin değiştirilmesi durumu için uyumluluk hükümleri eksik olmamalıdır.
- **Mülkiyetin devri:** Mülkiyetin devrinin sözleşmeyle belirlenmesi için aktarma noktası için net bir tanımlama (örneğin aktarma gaz tankının giriş flanşı) kaçınılmazdır.
- **Biyogazın EEG uyumluluğu:** Biyogaz alıcısı biyogazı genellikle elektrik kazanımında kullanacağından, biyogaz üreticisinin EEG ikmal ödeneğini haklı kılacak, biyogazın belirli özelliklerinin mevcut olduğuna dair açıklaması, her biyogaz sevkiyat sözleşmesinde yer almalıdır. Biyogaz tesisinin büyüklüğüne ve elektrik üreticisi tarafından beklenen EEG bonuslarına bağlı olarak bu durumda gaz niteliğinden başka taleplerde (örneğin gaz sızdırmaz bir fermantasyon artığı deposu örtüsü ve ilave gaz tüketim düzenekleri) garanti edilmelidir.
- **Gaz kalitesi:** Gaz şebekesi ikmalinden bağımsız olarak, sevk edilecek ham biyogazın kalitesi bakımından belirli asgari talepler de düzenlenebilir (örneğin asgari metan oranının belirlenmesi veya karbondioksit ya da hidrojen sülfür oranları için sınır değerler).
- **İşletme kesintileri:** Sevkiyat sözleşmesi, işletme arızaları veya sevkiyat olumsuzlukları durumunda yapılacaklar, özellikle diğer sözleşme tarafının zamanında bilgilendirilmesinin yanı sıra bununla bağlantılı yükümlülük düzenlemeleri, konusunda düzenlemeler öngörmelidir.
- **Ölçüm:** Sevk edilen biyogaz miktarının ölçülmesi kadar kalite taleplerinin korunması bakımından sorumluluk, uygulama ve masrafların karşılanması hakkındaki bir düzenleme kaçınılmazdır; ölçme düzeneği amaca uygun olarak mümkün olduğunca, mülkiyet devrinin gerçekleştiği noktaya bağlanmalıdır.



### 7.6.2 Biyometan sevkiyatı

Ham biyogaz sevkiyatından farklı olarak alıcılara hazırlanmış biyometan sevk edilmesi sırasında, özellikle genel gaz şebekesine ikmal ile bağlantılı ilave sorular oluşmakta, bunlar münferit duruma uygun olarak biyometan sevkiyat sözleşmesinde bir düzenlemeye ihtiyaç duymaktadır.

Aşağıdaki noktalar her halükarda biyometan sevkiyat sözleşmesinde düzenlenmelidir:

- **Gaz sevkiyatının kapsamı:** Burada da ham biyogaz sevkiyat sözleşmesi ile ilgili yer alan konular geçerlidir.
- **Ödeneğin düzenlenmesi:** Bu konu altında, özellikle biyometanın ikmalden hemen önce veya sonra alıcıya geçmesi gereken durumlarda, biyometan tedarikçisi ve alıcısı arasındaki ilişki bakımından, GasNEV madde 20a'ya göre kaçınılan şebeke masrafları için ikmal edilen ve ödenmesi gereken biyogazın kilowatt saat eşdeğeri başına 0,7 ct ücreti kimin ödemesi gerektiği ile ilgili bir düzenleme de bulunmalıdır. Bu ücret şebeke işletmecisi tarafından taşıma müşterilerine ödenmelidir.
- **Mülkiyetin devri:** Mülkiyetin devri noktası olarak birçok nokta, örneğin hazırlama tesisinin şebeke tarafındaki çıkış flanşı, ikmal istasyonunun hemen önünde, içinde veya sonrasında bir nokta ya da ikmal sonrasında, biyometan alıcısının bulunduğu yerde bir nokta da söz konusu olmaktadır. Burada da devir noktası olarak net bir noktanın tanımlanmış olması önemlidir.
- **Biyogazın EEG uyumluluğu:** Biyometan sevkiyatında bir elektrik kazanımının planlanması durumunda, EEG'ye göre yasal önkoşulların yerine getirilmesi gerekmektedir. Burada gaz hazırlama için teknoloji bonusu açısından, hazırlama tesisi ile ilgili, biyometan tedarikçisi tarafından alıcılara temin edilmesi gereken belirli nitelikler özel bir önem taşımaktadır. Bonusun yüksekliği bakımından özellikle tesisin maksimum hazırlama kapasitesi bunların arasında sayılmaktadır.
- **Gaz kalitesi:** Biyometan ile ilgili mülkiyet devrinin en son ikmal noktasında gerçekleştiği ve böylece biyometan alıcısının taşıyıcı olarak bulunduğu uygulamalarda, alıcı, GasNZV madde 41f'ye göre gaz niteliği ile ilgili taleplerin korunmasını düzenli bir şekilde sağlamak isteyecektir. Bu kriterlere göre taşıyıcı, G 260 ve G 262 DVGW çalışma bültenlerinin gaz niteliği kriterlerini yerine getirmek zorundadır. Buna karşın şebeke işletmecisinin sorumluluk alanına giren, örneğin G 685 çalışma bülteninin kalibrasyon hukukuna dair kriterleri veya gazın

kokulandırılması gibi diğer talepler, ne biyometan tedarikçisi ne de taşımayı devralan bir alıcı tarafından sağlanmalıdır.

- **İşletme kesintileri:** Burada da ham biyogaz sevkiyat sözleşmesi ile ilgili belirtilen konular geçerlidir.
- **Ölçüm:** Ham biyogaz sevkiyatı durumunda olduğu gibi, gaz miktarı ve gaz niteliği ölçümü, mümkün mertebe gazı devretme noktasında gerçekleştirilmelidir.

Bunun yanında, biyometan üreticisinin gazın genel gaz şebekesi üzerinden taşınmasını da üzerine alması halinde, o ve şebeke işletmecileri arasında ilgili sözleşmeler imzalanmalıdır:

- İkmal şebekesi işletmecisiyle yapılan şebeke bağlantı ve ikmal sözleşmesi çerçevesinde, özellikle GasNZV'nin yukarıda sözü edilen kriterleriyle gaz niteliğinin uyumluluğu ile ilgili düzenlemelerin yanı sıra, yasal olarak düzenlenmiş şebeke bağlantısının oluşturulmasını aşan tedbirler için masrafların karşılanması bakımından – bu masraflar yarı yarıya karşılanmalıdır – özel düzenlemeler yapılmalıdır. Oluşan arızalar, ikmal kısıtlamaları veya kesintileri yanı sıra farklılaştırılmış kapatma matrisi durumunda yapılacaklar ile ilgili düzenlemelerin yer alması da tavsiye edilmektedir.
- Ayrıca dışa ikmal şebeke işletmecisiyle, iki sözleşme modeli çerçevesinde bir dışa ikmal sözleşmesi (çoğunlukla basitçe şebeke faydalanım sözleşmesi olarak da tanımlanır) imzalanmalıdır. Aynı dağıtım şebekesi bölgesinde çok sayıda alıcıya sevkiyat yapılması durumunda bu tedarikçi çerçeve sözleşmesi olarak da tanımlanmış olabilir.
- Son olarak yetkili dengeleme grubu şebeke işletmecisiyle bir dengeleme grubu sözleşmesi imzalanmalı, bu, GasNZV madde 41e'e göre biyogaz dengeleme grubu için özel imtiyaz kurallarına göre özel bir biyogaz dengeleme grubu sözleşmesine dönüştürülmelidir (genişletilmiş biyogaz dengelemesinin avantajları için bakınız 7.4.3.3).

### 7.6.3 Isı sevkiyatı

Bir ısı sevkiyatı yükümlülüğünün devralınması, biyogaz tesisi işletmecisi için özellikle besleme emniyeti bakımından, teknik ve hukuki taleplerle bağlantılıdır. Sevkiyat ilişkisinin şekline bağlı olarak, kesintisiz ısı beslemesinin ve pik yükün karşılanması için, ilave bir ısı üretme ünitesi, örneğin ağaç talaşı kazan tertibatı gerekli olabilir.

1. Redaksiyon bitiminde henüz yayınlanmamış değişikliğe göre GasNZV madde 35

Isı sevkiyat sözleşmeleri ağırlıklı olarak uzun vadeli imzalanmaktadır ve bu nedenle her iki sözleşme tarafı açısından önemli ekonomik anlam taşımaktadır. Sözleşme taraflarının ekonomik risklerini azaltmak için, ısının üretim masraflarının önemli ölçüde değişmesi durumunda devreye giren fiyat ayarlama hükümleri geçerlidir. Isı sevkiyat sözleşmeleri, sevkiyat projesinin özel bağımsız teknik ve ekonomik gerekliliklerine dayanmaktadır. Örnek sözleşmeler sadece nadir durumlarda büyük uyarlamalar olmadan kullanılabilir.

Isı sevkiyat sözleşmesi veya bunun münferit bileşenleri, belirsiz sayıda durum için baştan formüle ediliyorsa, o zaman otomatik olarak AVBFernwärmeV kriterleri geçerli olmaktadır. Bu yönetmelik sorumluluk düzenlemelerini, sözleşme müddeti ile ilgili düzenlemeleri, ölçme yönergelerini, giriş düzenlemelerini ve fiyat değişiklik hükümleri ile ilgili kriterleri de içermektedir. Ancak ısı tedarikçisi ve ısı alıcısı ısı sevkiyat sözleşmesinde, sözleşme imzalayan müşteriye AVBFernwärmeV şartlarının dışında alternatifler teklif ediliyorsa, AVBFernwärmeV haricinde kararlar da alınabilir.

Sevk edilecek ısı miktarının ve uzun süreli sözleşmelerdeki olağan fiyat ayarlaması da dahil olmak üzere ısı fiyatının merkezi olarak belirlenmesinin yanında, uzun vadeli bir ısı sevkiyat sözleşmesinde aşağıdaki noktalar ile ilgili düzenlemeler bulunmalıdır:

- **Isı sevkiyat yükümlülüğünün tipleri:** Burada tedarikçi açısından, arz edilen ısının öncelikli ve eksiksiz teslim alma zorunluluğunun yanında, alıcının eksiksiz ısı gücü ihtiyacının karşılanması yükümlülüğü ile ilgili düzenleme uygundur.
- **Ödeneğin düzenlenmesi:** AVBFernwärmeV enerji tasarrufu bakımından tasarruflu tüketim davranışı için bir teşvik olarak temelde tüketime bağlı olarak hesaplanacak bir ısı ödeneği öngörmektedir. Aynı şekilde ısı sevkiyat sözleşmeleri düzenli olarak aylık bir temel fiyatın yanı sıra tüketime bağlı bir çalışma fiyatı da düzenlemektedir. Ödenek kriterleri içerisinde gerektiğinde dikkate alınacak diğer faktörler arasında, ısı alıcısında bir ev bağlantısının düzenlenmesi için gereken masrafların yanı sıra bir ısı şebekesinin kurulması için muhtemelen müşteri tarafından ödenmesi gereken kurulum masrafı da yer almaktadır.
- **Mülkiyet ilişkileri ve bağlantı noktaları:** Çoğu durumda tedarikçinin mülkiyetinin aynı teminatının sağlanması için sınırlı kişisel kullanma hakkının tayin edilmesi kararlaştırılmalıdır.

- **EEG'ye uygun ısı faydalanımı:** Genel durumda üçüncü kişilere ısı sevkiyatı sayesinde aynı zamanda bir KWK bonusu hakkı gerekçelendirilmelidir. Bu bağlamda ısı sevkiyatçısının çıkarları doğrultusunda, ısının KWK bonusu ile ilgili yasal kriterlere uygun şekilde daimi olarak kullanılması ile ilgili bir düzenleme, sözleşmeye alınabilir.
- **Ölçüm:** Sevk edilen ısı miktarı, kalibre edilmiş bir ısı sayacı (hesaplama sayacı) üzerinden, devretme noktasında ölçülmelidir. Ölçme düzeneklerinin takılmasının yanı sıra tüketime bağlı hesaplama AVBFernwärmeV'de yasal olarak şart koşulmuştur.
- **Sorumluluk kuralları:** Sözleşme özellikle ısı sevkiyatının kesintiye uğraması yüzünden ısı alıcısının zararları için oluşan sorumluluklar ile ilgili düzenlemeler öngörmelidir.

#### 7.6.4 Elektrik sevkiyatı

Biyogaz tesisi işletmecisi açısından, elektrik sevkiyat sözleşmesinin imzalanmasına gerek yoktur, çünkü tesis işletmecisi EEG sayesinde zaten yetkili elektrik şebekesi işletmecisi karşısında, yasal olarak garanti edilmiş EEG ikmal ödeneğinin ödenmesi ile, arz edilen EEG elektriğinin tamamını teslim almak üzere bir yasal talebe sahiptir. Bu konu, tesis işletmecisi ile üçüncü bir kişi arasında, bu kişiye elektrik sevkiyatı ile ilgili olarak imzalanmış bir anlaşmaya aykırı değildir, ancak tesis işletmecisi bu durumda, açıkça daha çekici EEG ikmal ödeneği için üçüncü kişi karşısında hiçbir yasal talebe sahip değildir.

#### 7.7 Biyogaz tesislerinin ruhsatlandırılması

Bir biyogaz tesisinin ruhsatlandırılması için bir dizi yasa ve yönetmeliğin dikkate alınması gerekmektedir. Bu hukuki talepler yapı planlama ve yapı nizamnamesi mevzuatı, emisyon koruma mevzuatı, su mevzuatı, doğa koruma mevzuatı, çöp mevzuatı, gübre mevzuatı, hijyen mevzuatı ve çevre uyumluluk kontrolü yönergelerini kapsamaktadır.

Ayrıca tesiste hayvansal yan ürünlerin kullanılması durumunda, hayvan hastalıkları salgını mevzuatı ile ilgili hükümler de rol oynayabilmektedir.

Ruhsatlandırma usulü için dikkate alınması gereken çok sayıda yasanın bulunması, ruhsat başvurusu için uzmanlardan yardım alınmasının gerekliliğini ortaya koymaktadır. Ruhsatlandırma uygulamaları her eyalette farklı olduğundan, tesis işletmecisi ruh-

satlandırma için yerel makamlarla zamanında bağlantıya geçmelidir.

Aşağıda önce ruhsatlandırma yönteminin akışı gösterilmekte, daha sonra bununla bağlantılı olarak ulusal mevzuatın ruhsatlandırma için geçerli asli hukuk kriterleri tanıtılmaktadır. İlgili potansiyel yönetmeliklerin çok sayıda olması nedeniyle aşağıdaki bu bölüm sadece bir genel bakış sunmaktadır.

### 7.7.1 Ruhsatlandırma usulü

Yapı yönetmeliği ruhsatlandırma usulü veya Federal Emisyon Koruma Yasası'na göre daha zor olan biyogaz tesislerinin ruhsatlandırılması sırasında iki yöntem uygulanmaktadır.

Yapı yönetmeliği usulü çerçevesinde sadece yapı yönetmeliği ile ilgili izin ön koşulları kontrol edilirken, BImSchG madde 13 uyarınca emisyon koruma mevzuatı ruhsatı, tesis bakımından gerekli tüm kamu hukuku ruhsatlarını - su mevzuatı ruhsatı hariç - dahil etmektedir. Buna karşın yapı mevzuatı usulünün uygulanması için örneğin doğa koruma mevzuatı, su mevzuatı veya hijyen mevzuatı ruhsatları gibi ruhsatlandırmalara da başvurulmalıdır. Yapı ruhsatı alma yöntemi, eyaletlerin yapı nizamnamesi mevzuatlarına dayanmaktadır.

Emisyon koruma mevzuatı ruhsat alma yöntemi, tesis tipine göre ya normal ("formal") veya kısa basitleştirilmiş usulde, eyalet hukukuna göre yetkili makam – genellikle yetkili eyalet çevre dairesi – tarafından uygulanır. Basitleştirilmiş yöntemin genellikle üç ay sonra tamamlanmış olması gerekirken, formal usul için yetkili makama 7 ay süre tanınmaktadır. Her iki yöntem üç aylığına uzatılabilmektedir. Her iki yöntem arasındaki zaman farkı, basitleştirilmiş yöntemde kamu katılımının hariç tutulmasıyla açıklanmaktadır. Projenin resmen açıklanması ve buna ilaveten evrakların incelenmek üzere sunulması ve zamanında yapılmış itirazların açıklığa kavuşturulması için bir mütalaa tarihinin belirlenmesi gerekmektedir ve mütalaa uygulaması sadece formal yöntemde gerçekleşmektedir. Formal yöntem Çevre Uyumluluk Kontrolü Hakkındaki Yasa (UVPG)'ye göre biyogaz tesisi için bir çevre uyumluluk kontrolünün şart koşulduğu durumlarda uygulanmaktadır. Formal yöntem ayrıca çöplerin kullanımında belirli sınır değerlerin aşılması durumunda da uygulanmaktadır.

Emisyon koruma mevzuatı ruhsatlandırma yönteminin temel unsuru ve aynı zamanda uzun yöntem süresi için ana sorumlu, dilekçe verilmesi ile ilgili çok sayıda taleplerdir. 3 veya 7 aylık süre ancak tüm baş-

vuru evraklarının yetkili makama eksiksiz ve doğru bir şekilde sunulmasıyla başlar. Bu nedenden dolayı başvuru sahiplerine, ruhsatlandırma yöntemi konusunda uzmanlaşmış bir danışmanın yanı sıra sorumlu ruhsatlandırma makamıyla bir an evvel irtibata geçilmesi tavsiye edilmektedir.

#### 7.7.1.1 Uygulanabilir ruhsatlandırma usulü

Bir biyogaz tesisinin emisyon koruma mevzuatı ruhsatlandırma usulüne mi yoksa sadece yapı mevzuatı ruhsatlandırma usulüne mi tabi olduğu, Federal Emisyon Koruma Yasası ile ilgili dördüncü yönetmeliğe (4. BImSchV) göre belirlenmektedir. Biyogaz tesislerinin ruhsatlandırma mevzuatı sınıflandırması için kullanılan maddelerin türü ve miktarının yanı sıra bunlara ait yanmalı motorların veya gaz türbin tesislerinin ısı gücü belirleyicidir (bakınız genel bakış).

Biyogaz tesisinden mekan olarak ayrı, 1 MW altında ısı güce sahip BHKW'lerin kurulması, bazı eyaletlerde ruhsat gerektirmemektedir.

Biyogaz tesisleri, aşağıdaki maddelerden birinin yerine getirilmiş olması halinde emisyon koruma mevzuatı ruhsatına ihtiyaç duymaktadır (liste nihai değildir):

- BHKW'nin veya gaz türbininin 1 MW veya üzeri ısı güce sahip olması (4. BImSchV'ye ek maddeler 1.4 a) bb) sütun 2 ve 1.5 a) bb) sütun 2),
- Emisyon koruma mevzuatına tabi ruhsat zorunluluğu bulunan bir hayvan yetiştirme tesisi ile bağlantılı olması (4. BImSchV ile ilgili ek madde 7.1),
- Günde 1 tonun üzerinde kapasiteye sahip tehlikeli atıkların kullanılması (4. BImSchV ile ilgili ek madde 8.6 b), sütun 2),
- Gün başına 1 tonun üzerinde tehlikeli atığın depolanması (4. BImSchV ile ilgili ek madde 8.12),
- Günde 10 ton veya fazlası kapasiteye sahip tehlikeli olmayan atıkların kullanılması (4. BImSchV ile ilgili ek madde 8.6 b), sütun 2),
- Gün başına 10 ton veya üzerinde ya da 100 ton veya daha fazla toplam depolama kapasitesine sahip tehlikeli olmayan atıkların depolanması (4. BImSchV ile ilgili ek madde 8.12), veya
- 3 ton veya fazlası kapasiteye sahip haznelerde veya toplam depolama kapasitesi, 30 tonun üzerindeki depolarda biyogazın depolanması (4. BImSchV ile ilgili ek madde 9.1 b), sütun 2),
- Kapasitesi 6.500 m<sup>3</sup> veya daha fazla olan bir sıvı gübre deposu (4. BImSchV ile ilgili ek madde 9.36).

Bu eşik değerlerinin altında yapı ruhsatlandırması gerekmektedir.

4. BImSchV ile ilgili ek madde 9.36 bağlamında fermentasyon prosesi sonrasında oluşan fermentasyon materyali de işlenmelidir. Bir sıvı gübre deposunun 6.500 m<sup>3</sup> üzerinde veya altında kapasiteye sahip olup olmadığına bakılmaksızın, fermentasyon materyali ve ham sıvı gübre için oluşturulan depoların kapasitesi, toplanmalıdır. Burada fermentasyon prosesinin içinde gerçekleştiği fermentörün kapasitesi hesaba katılmaz, çünkü fermentör öncelikli olarak depolamaya değil biyolojik işlemeye hizmet etmektedir. Bir fermentasyon sonrası tankının depolama tankı olarak görülüp görülmeyeceği, duruma bağlı olarak verilecek bir karardır. Burada tankın ana amacı, yani bunun ağırlıklı olarak biyogaz üretimine mi yoksa depolamaya mı hizmet ettiği, belirleyicidir.

### 7.7.1.2 Ruhsatlandırma örnekleri

8.1 altında sözü edilen model tesisler (bkz. Tablo 8.1) kısmen yapı ruhsatlandırma usulüne ve kısmen emisyon koruma mevzuatı ruhsatlandırma usulüne tabidir. İlk etapta elektrik kazanımı ünitesinin ısı gücü belirleyicidir. 1 MW altında güce sahip tesisler genellikle bir yapı ruhsatlandırmasına ihtiyaç duymaktadır. Buna karşın 1 MW üzerinde ki tesisler için BImSchG ruhsatlandırması gereklidir.

Model tesislerin değerlendirilmesi sırasında, yüzde 35'lik bir elektrik veriminden hareket edilmektedir, buna göre elektriksel gücü 350 kW olan bir BHKW, emisyon koruma mevzuatı ile ilgili 1 MW güce sahiptir.

- Model tesis I (75 kW<sub>el</sub>; yenilenebilir hammaddelerin kullanımı ve asgari yüzde 30 sıvı gübre) genellikle bir yapı ruhsatına ihtiyaç duymaktadır, çünkü tesis sadece düşük bir güce sahiptir.
- Model tesis II (150 kW<sub>el</sub>; yenilenebilir hammaddelerin kullanımı ve asgari yüzde 30 sıvı gübre) genellikle bir yapı ruhsatına ihtiyaç duymaktadır, çünkü burada da sadece düşük bir güç söz konusudur.

Gelişmiş model tesisler

- III (350 kW<sub>el</sub>; yüzde 30 sıvı gübre ve yüzde 70 NawaRo kullanımı),
- IV (350 kW<sub>el</sub>; % 100 yenilenebilir hammaddelerin fermentasyonu; geri dönen malzemenin ayrıştırılması ve geri iletimi),
- V (350 kW<sub>el</sub>; Ek 2 EEG uyarınca sıvı gübre ve bitkisel yan ürünlerin fermentasyonu),
- VI (500 kW<sub>el</sub>; % 100 yenilenebilir hammaddelerin fermentasyonu; geri dönen malzemenin ayrıştırılması ve geri iletimi),

- IX (500 kW<sub>el</sub>; konteynır şeklinde katı madde fermentasyonu; katı gübre ve yenilenebilir hammaddelerin kullanılması)

her biri, basit usüle göre bir emisyon koruma mevzuatı ruhsatlandırmasına tabidir, çünkü bunların gücü, % 35'lik bir elektrik veriminin temel alınmasıyla güçleri 1.0 MW veya 1.43 MW kadardır ve böylece 1 MW sınırını aşmaktadır.

Model tesisler

- VII (500 kW<sub>el</sub>; sıvı gübre ve biyolojik atık fermentasyonu),
- VI (1.000 kW<sub>el</sub>; % 100 yenilenebilir hammaddelerin fermentasyonu; geri dönen malzemenin ayrıştırılması ve geri iletimi),

aynı şekilde basit yöntemle göre bir emisyon koruma mevzuatı ruhsatlandırmasına tabidir, çünkü bunların gücü, 1 MW sınırını, ayrıca fermentasyon artığı deposunun kapasitesi de 6.500 m<sup>3</sup>'ü aşmaktadır.

Model tesis X (% 100 yenilenebilir hammaddelerin fermentasyonu; BHKW yerine gaz hazırlama ve ikmali; saatte 500 m<sup>3</sup> ham gaz debisi) büyük fermentasyon artığı deposu nedeniyle aynı şekilde bir emisyon koruma mevzuatı ruhsatlandırmasına tabidir. Buna karşın burada toplam tesis gücü önem taşımamaktadır. Arka planda, toplam tesis gücünün sadece yanma ünitesi ile bağlantılı olarak önem taşıması yatmaktadır. Ancak gaz ikmali durumunda genel doğal gaz şebekesi üzerinden gaz alan BHKW'ler, biyogaz tesisinin bir parçası değildir. Bu nedenle gaz ikmaline sahip biyogaz tesisleri genel olarak sadece bir yapı mevzuatı ruhsatlandırmasına ihtiyaç duymaktadır. BImSchG'ye göre bir ruhsatlandırma zorunluluğu özellikle – model tesis X'teki gibi – sıvı gübre deposu ve gaz stoklama bakımından söz konusu olmaktadır.

### 7.7.2 Bir biyogaz tesisinin yasal talepleri

Bir biyogaz tesisinin temel ruhsatlandırma mevzuatı talepleri, yapı mevzuatından (yapı planlama ve yapı nizamnamesi mevzuatı), emisyon koruma mevzuatından, su mevzuatından, doğa koruma mevzuatından, çöp mevzuatından, gübre mevzuatından ve hijyen mevzuatından ortaya çıkmaktadır. Bu düzenlemeler aşağıda kısaca açıklanmaktadır, bu arada su ve doğa koruma mevzuatı detaylı olarak ele alınmayacaktır.

#### 7.7.2.1 Yapı mevzuatı

Yapı mevzuatında yapı planlaması ve yapı nizamnamesi mevzuatı arasında ayırım yapılmaktadır. Yapı planlaması mevzuatı kapsamında bir biyogaz tesisinin öngörülen bölgeye kurulup kurulamayacağı so-



rusu ele alınırken, yapı nizamnamesi mevzuatı açısından, tesisin niteliği ile ilgili kriterler ele alınır.

### Yapı planlaması mevzuatı

Biyogaz tesislerinin lokasyonunun yapı planlaması mevzuatına dair izni imar kanunu madde 29 ve devamındaki sayfalara dayanır (BauGB). Bir yapı projesi ruhsatı için yapının bir imar planı geçerlilik bölgesinde, plansız iç bölgede veya dış bölgede kurulup kurulmayacağına bağlı olarak çeşitli düzenlemeler ve izin talepleri geçerlidir.

Planlanan tesis lokasyonu **uygun bir imar planının** geçerlilik alanında bulunuyorsa, o zaman biyogaz tesisine izin verilmesi için projenin, imar planının ilgili maddelerine aykırı düşmemesi ve parselesyonun yapılmış olması gereklidir. Bu durumda bir biyogaz tesisinin kurulması – imar planındaki özel düzenlemeler hariç – temelde organize sanayi bölgeleri, sanayi bölgeleri, çekirdek, karışık ve köy bölgelerinde söz konusu olmaktadır.

Buna karşın tesisin plansız iç bölgede – yani bir imar planı oluşturulmamış, bağlantılı olarak imara açılmış yerleşim yerlerinde – kurulacaksa, o zaman bu projeye, tesisin kendi büyüklüğü ve genel görünümü itibarıyla yakın çevrenin karakteristiğine uyum sağlaması ve parselesyonun yapılmış olması durumunda izin verilmektedir. Bu bağlamda salt yerleşim bölgesinde bir biyogaz tesisine izin verilmemektedir.

Biyogaz tesisinin gerçekleştirilmesi için pratikte en sık karşılaşılan durum, dış bölgede bir tarımsal işletmenin yakınındaki bölgenin seçilmesidir. Yapı planlaması mevzuatı dış bölgedeki inşaat projelerine, özellikle imtiyazlı projelerin söz konusu olması halinde izin verilmektedir. Biyogaz tesislerinin imtiyazlandırılması sadece kısıtlı olarak mümkünken, şimdi biyogaz tesisleri için dış bölgede bağımsız bir yapı mevzuatı imtiyazı yaratılmıştır. BauGB madde 35 paragraf 1 no. 6'ya göre dış bölgede kurulacak bir biyogaz tesisine, projenin, halihazırdaki mevcut bir tarımsal veya ormancılık, bahçe veya hayvancılık işletmesi çerçevesinde biyokütlenin enerji üretimi amaçlı kullanımının yanı sıra biyogaz tesisinin genel tedarik şebekesine bağlanmasına hizmet etmesi durumunda izin verilmektedir. Ancak bu arada dış bölgedeki imtiyazlı izne sadece şu durumlarda izin verilir

- Projenin mevcut işletme ile mekânsal – işlevsel bir ilişkide olması,
- Ekoloji ve ulusal ekonomi açısından istenmeyen uzun nakliyenin oluşmaması için, kullanılan biyokütlenin ağırlıklı olarak – yani yüzde 50'nin üzerinde – bu işletmeden veya nispeten yakında bulunan işletmelerden sağlanması,

- Çiftlik kompleksi veya işletme lokasyonu başına sadece bir biyogaz tesisinin işletilmesi ve
- Biyogaz tesisinin kurulu elektrik gücünün 0,5 MW'yı aşmaması.

Federal İdari Mahkemesi tarafından Şubat 2009 tarihinde alınan kararlar, bu imtiyaz durumunun, içinde bir biyogaz tesisi işletilen bir tarımsal işletmenin, enerji üretimi amaçlı sadece biyokütle üretmesi durumunda da yerine gelmiş sayılacağını kabul etmiştir. Biyogaz tesisinin, "Klasik" yani enerjiye bağlı olmayan üretime dönük bir tarım işletmesi karşısında, bir ikincil öneminin gerekli olmadığı ifade edilmektedir.

Mahkeme aynı zamanda, dış bölgede imtiyazlı bir işletme kurmak için başvuru yapan kişinin, yukarıdaki niteliklerini – özellikle kullanılan biyokütlenin "ağırlıklı" kökenini, kendi işletme alanlarından veya yakında bulunan işbirliği ortaklarının işletme alanlarından sağlayacağını veya bunun en azından orta vadede teminatını – kabul edilir şekilde ispatlaması gerektiğini de ifade etmiştir. Bu ifade ile "yakında bulunan" tanımıyla genellikle biyogaz tesisine 15 ila 20 km'den daha uzakta olmayan işletme alanları kast edilmiştir.

Biyogaz tesisinin kurulu elektrik gücünün 0,5 MW'yi aşmaması gerektiği kriteri, bazı durumlarda güçlülere neden olmaktadır. Gazın yerinde elektrige çevrilmediği bilakis doğalgaz şebekesine ikmal edildiği veya bir mikrogaz hattı üzerinden mekânsal olarak uzaktaki bir BHKW'ye taşındığı biyogaz tesisleri, hiçbir elektriksel güce sahip değildir. Bu durumda 0,5 MW sınırı ile amaçlanan büyüklük kısıtlaması boşa çıkmaktadır. Bu nedenle çoğu eyalet (yönetim içerisinde ve bu nedenle tesis işletmecisi karşısında doğrudan hukuki bağlayıcılığa sahip değil) genelgelerle, 0,5 MW sınırının anma ısı gücüne veya yıllık gaz üretimine dönüştürülmesi gerektiğini belirlemişlerdir. Bu durumda sadece azami 1.5 MW (giriş) anma ısı gücüne, azami 2.3 milyon norm metreküp ham biyogaz değerinde yıllık gaz üretimine sahip biyogaz tesisleri imtiyazlıdır. Bu dönüşümün mantığı ve amacının, düzenlemeye uygun olmasına rağmen, BauGB madde 35 paragraf 1 no. 6'da herhangi bir dayanağı yoktur. Böylesi bir dönüşüm hesabına izin verildiğine dair bir idari mahkeme kararı, bu kitabın tamamlanmasına kadar kesinleşmemiştir.

Sözü edilen imtiyaz tedbirlerine sahip olmayan biyogaz tesislerine, dış bölgede sadece şimdiye kadar ki mevcut diğer imtiyaz koşulları dahilinde veya aksi taktirde münferit durumda, kamu çıkarlarını olumsuz etkilememeleri ve parselesyonun yapılmış olması durumunda izin verilmektedir.



Dış bölgede tesisi kurucusunun bir yapı ruhsatı alabilmek için ayrıca, tesisin kullanım süresini dolurmasından sonra geri sökeceğine dair bir yükümlülük üstlenmesi gerekmektedir. Yetkili makam bu geri sökme yükümlülüğünü genellikle bir kamu irtifak hakkı kaydı veya müteselsil banka teminatı ile sağlamaktadır.

İmtiyaz önkoşulları altına girmeyen biyogaz tesisleri için alternatif olarak projeye bağlı bir imar planının oluşturulması söz konusu olmaktadır.

Bu yolla belediye, inşaat projesine verilecek izni, inşaat sahibinin belediye ile planlayıcı bir uzlaşma içerisinde ve planlama ve parselleme masraflarının karşılanmasıyla birlikte, belediyeye imzalanan bir uygulama sözleşmesini baz alan bir süre dahilinde, gerekiyorsa gerekli parselleme tedbirlerini bizzat gerçekleştirme koşulu altında belirleyebilmektedir.

### Yapı nizamnamesi mevzuatı

Yapı nizamnamesi mevzuatı, yapının „nasıl“ uygulanacağını düzenler. Gerekli geliş yolları, biyogaz tesisinin komşu arsalara olan mesafesi, yangın koruma tedbirleri veya kaçış yolları ile ilgili düzenlemeleri içermektedir. Yapı denetimi, yapı nizamnamesi mevzuatını baz alarak yangın yerleri, gaz hazneleri, boru hatları ya da yanıcı gazlarla veya diğer tehlikeli maddelerle çalışmak üzere öngörülmüş benzeri düzenekler potansiyel risk taşıyan tesislerin sahip olacağı çalışma güvenliğini sağlamalıdır. Detaylar, eyaletlerin yapı nizamnamesi mevzuatlarında düzenlenmiştir ve burada ayrıntılı olarak ele alınmamıştır.

Tesis işletmecisi, ruhsatlandırma makamının oranlı - yani özellikle gerekli olmayan veya genel anlamda uygunsuz - müeyyideleri karşısında itirazda bulunarak ve/veya idari mahkemeye şikâyetle bulunarak kendini savunabilir.

#### 7.7.2.2 Emisyon koruma mevzuatı

Emisyon koruma mevzuatının hedefi, ruhsata tabi tesislerin kurulması ve işletilmesi nedeniyle insanı ve çevreyi zararlı çevre etkilerine (“Emisyonlar”) karşı koruyucu tedbirlerin yerine getirilmesidir. Buna bağlı olarak ruhsata tabi biyogaz tesisleri, zararlı çevre etkilerine ve diğer tehlikelere, genelde ve komşuluk açısından ciddi rahatsız edici durumlara ve dezavantajlara neden olmamalıdır. Bir biyogaz tesisinin inşası ve işletilmesi nedeniyle meydana gelebilecek emisyonlar, özellikle gürültü, hava kirliliği ve kokudur.

Tesis işletmecileri teknik seviyeye uygun olarak bu tip etkilerin ve tehlikelerin oluşmasına karşı önleyici tedbirler almalıdır. Örneğin karbon monoksit ve for-

maldehit yüzünden hava kirliliğinin önlenmesi bakımından (bunun için ayrıca bakınız 7.3.3.3) BImSchG baz alınarak yayınlanan Teknik Talimat (TA-Hava) somut referans değerler içermektedir.

Gürültü emisyonları için – tesis motorları veya çalışmaya bağlı araç trafiği nedeniyle - TA-Gürültü kriterleri dikkate alınmalıdır. Özellikle fermantasyon prosesi nedeniyle oluşan koku emisyonları GIRL koku emisyon yönetmeliğinin sınır değerlerini aşmalıdır. Buna göre işletmenin neden olduğu kokular genellikle, bir yılın toplam saatinin % 10-15'i kadar bir süre oluşması halinde ciddi anlamda rahatsız edici olarak kabul edilmiştir.

Biyogaz üretim tesisinden ayrı olarak kurulan, doğalgaz kalitesinde biyogaz hazırlanması ile ilgili tesisler, harici gaz depoları gibi gaz depolama faaliyetleri bakımından, emisyon koruma mevzuatı kapsamında ruhsatlandırma zorunluluğuna girebilirler. 4. BImSchV'ye göre 3 ton tesis kapasitesine sahip depolardaki yanıcı gazların depolanması için kurulan tesisler ruhsata tabidir. Fakat (doğal) gaz depolama tüpleri bunun dışında tutulmaktadır.

Emisyon koruma mevzuatı ruhsatlandırmasına tabi olmayan biyogaz tesisleri, zararlı çevre etkileri – açısından şayet teknik seviyeye göre engellenebiliyorsa - engellenecek, aksi taktirde asgari düzeye indirilecek ve oluşan atıklar kurallara uygun şekilde bertaraf edilecek şekilde kurulmalı ve işletilmelidir.

#### 7.7.2.3 Biyogaz tesislerinde maddeye bağlı talepler

##### Hammaddelerin kullanım izni

Tesiste kullanılacak materyallere bağlı olarak tesis işletmecisi EU-HygieneV veya biyolojik atık yönetmeliği (Bio-AbfV) kriterlerini yerine getirmelidir.

Biyokütle tesisinde hayvansal kökenli çiftlik gübresi dahil olmak üzere hayvansal yan ürünlerin kullanılması durumunda EU-HygieneV dikkate alınması gerekirken, mutfak ve yemek artıkları yanı sıra biyolojik atık konteyneri içerikleri de dahil olmak üzere bitkisel kökenli – hayvansal yan ürünler hariç - biyolojik atıkların fermantasyonu durumunda BioAbfV dikkate alınmalıdır.

EU-HygieneV'nin hayvan hastalıkları salgını ve hijyen mevzuatı yönetmelikleri, 1. 2 ve 3 olmak üzere kategorilere ayrılmakta ve biyogaz tesisi için çeşitli izin koşullarını belirlemektedir:

- Materyal işleyen ve hayvan bulunan tesis bölümleri arasında mesafe düzenlemeleri,
- Pastörizasyon / dezenfeksiyon ile ilgili kaçınılmaz hijyenleştirme düzeneği; daha önce 133 °C'ye kadar ısıtılan („İşleme metodu 1“) hayvansal yan ürünler

- veya hijyenleştirilmiş kategori 3 malzemesi kullanılıyorsa, hijyenleştirmeden imtina edilebilir,
- Hijyenleştirme sırasında ısı gelişiminin denetlenmesi ve kaydedilmesi ile ilgili cihazlar,
  - Yetersiz bir ısıtmanın engellenmesi için bir güvenlik sistemi,
  - Taştların ve haznelerin biyogaz tesisinden çıkmaları sırasında temizlenmesi ve dezenfekte edilmesi için uygun düzenekler,
  - Hijyenleştirme sırasında azami partikül büyüklüğü, asgari sıcaklık (70 °C) ve asgari bekleme süresi (60 dakika),
  - İzin şartlarına uyulmaması durumunda iznin iptal edilmesi.

Hayvansal yan ürünlerin kullanıldığı bir biyogaz tesisinin işletmecisi, EU-HygieneV'nin yanında Hayvansal Yan Ürünleri Berteraf Yasası'nı (TierNebG) ve Hayvansal Yan Ürünleri Berteraf Giderme Yönetmeliğini – Burada özellikle TierNebV madde 12 ve devamındaki sayfalar – de dikkate almalıdır.

BioAbfV şartları, içerisinde biyolojik atıkların fermente edildiği biyogaz tesisleri tarafından yerine getirilmelidir. BioAbfV ek 1'de sunulan tüm maddeler kullanılabilir. Burada listelenmiş maddelerin dışındaki maddelere, BioAbfV madde 6 paragraf 2 uyarınca, yetkili tarımsal ihtisas makamıyla koordineli bir şekilde, ruhsatlandırma makamı tarafından izin verilebilmektedir.

Karışımların getirilmesinden veya üretilmesinden önce, kullanılan biyolojik atıklar Bio-AbfV'ye göre bir işleme tabi tutulmalı, böylece salgın ve fitohijyenik sorunlar giderilmelidir. Buradan BioAbfV'ye ek 2 madde 2.1'e göre aşağıdaki şartlar ortaya çıkmaktadır:

- Biyogaz tesisi, 55 °C'lik bir asgari sıcaklığın ve 24 saatlik bir zaman aralığının yanı sıra reaktörde en azından 20 günlük bir hidrolik bekleme zamanının elde edildiği, termofilik bir çalışma şeklinde işletilmelidir.
- Düşük işletme sıcaklıklarında veya daha kısa süreli etki süresinde ya materyallerin 70°C sıcaklıkta 1 saat boyunca bir termik ön işleme tabi tutulması veya
- Ürünlerin 70 °C sıcaklıkta 1 saat boyunca ısıtılması koşuluyla bir termik ardıl işletme veya
- Ayrılmış fermantasyon artıklarının kompostlanması gereklidir.

Hijyenleştirme işleminin başarısını sağlamak için Bio-AbfV doğrudan ve dolaylı proses kontrollerinin yanı sıra fermantasyon artığının, hijyenik sorunsuzluğu bakımından nihai bir son ürün kontrolünü şart koşmaktadır. Tüm kontrolleri geçmemiş ürünler tekrar bakterileri öldüren bir işleme tabi tutulmalıdır.

Bir biyogaz tesisinde hem biyolojik atıklar hem de hayvansal yan ürünler kullanılıyorsa, her iki kullanım maddesi grubu için geçerli yönetmelikler aynı şekilde dikkate alınmalıdır. Şayet paralel düzenlemeler mevcutsa, her defasında daha katı yönetmelik esas alınmalıdır. Eğer sadece tarımsal kökenli yenilenebilir hammaddeler fermente ediliyorsa, o zaman fermantasyon artıkları için sadece gübre mevzuatı dikkate alınmalıdır.

### Fermantasyon artıkları ile ilgili şartlar

Biyogaz tesisi işletmecisi, geride kalan fermantasyon artıklarını akabinde tarımsal alanlarda veya benzeri alanlarda değerlendirmek üzere dışarı aktarmayı planlıyorsa, bu durumda sadece biyogaz tesisinde kullanım sonrasında bir tarımsal, ormancılık veya bahçe yetiştiriciliği amacıyla kullanımı için uygun materyalleri kullanılmalıdır. Kullanım maddeleri olarak bu bağlamda Gübre Yönetmeliği (DüMV)'ye göre gübre için temel madde olarak onaylanmış materyaller, örneğin yenilenebilir hammaddeler, çiftlik gübresi (örneğin sıvı gübre), izin verilmiş hayvansal yan ürünlerin yanı sıra temelde arazilerde değerlendirilmek için uygun olan ve BioAbfV ek 1'de sözü edilen hayvansal yan ürün evsafına sahip olmayan biyolojik atıklar söz konusu olmaktadır. DüMV şartları Bölüm 10.3.5 altında tek tek belirtilmiştir.

### Fermantasyon artıklarının arazilerde kullanılması

Fermantasyon artıklarının arazilerde kullanılması temelde, gübreleme sırasında iyi ihtisas pratiği bakımından Gübre Yönetmeliği (DüV) kriterlerine dayanmalıdır. DüV, hayvansal kökenli çiftlik gübrelerinin (örneğin sıvı gübre, gübre şerbeti veya kanatlı gübresi) ve sekonder hammadde gübrelerinin gübre olarak kullanılması bakımından kısıtlayıcı özel hükümler içermektedir: Bunlar belirli azami azot miktarlarını aşmamalıdır, aşırı azot içeren gübreler de tarlalara 1. Kasım ile 31 Ocak arasında yeşil alanlara 15 Kasım ile 31 Aralık arasında hiçbir şekilde uygulanmamalıdır.

Biyogaz üretimi çerçevesinde hayvansal yan ürünler kullanıldıysa, artıkların kullanılması EG-HygieneV şartlarını – burada özellikle madde 22 uyarınca kullanımın yanı sıra 181/2006/EG Uygulama Yönetmeliği ekler V ve VI, TierNebG ve TierNebV – burada özellikle TierNebV madde 23 – şartlarını karşılamalıdır. Tesis işletmecisi fermantasyon artıklarının gübre olarak satılmasını planlıyorsa, bunlar, gübre yönetmeliğine göre onaylanmış gübre tipini ortaya koymalıdır.

BioAbfV'ye giren fermantasyon artıklarının kullanılması sırasında BioAbfV'nin zararlı madde sınır

değerleri – özellikle burada sözü edilen ağır metal sınır değerleri – yanı sıra aynı şekilde burada düzenlenmiş azami uygulama miktarlarına – genellikle üç yıl içinde hektar başına 20 ton biyolojik atıktan daha fazla olmaması ilkesine (kuru kütle) uyulmalıdır.

## 7.8 Diğer kaynak önerileri

- Altrock, M.; Oschmann, V.; Theobald, C. (Hrsg.): EEG, Kommentar, 2. Aufl., München, 2008
- Battis, U.; Krautzberger, M.; Löhr, R.-P.: Baugesetzbuch, 11. Aufl., München, 2009
- Frenz, W.; Müggenborg, H.-J. (Hrsg.): EEG, Kommentar, Berlin, 2009
- Loibl, H.; Maslaton, M.; v. Bredow, H. (Hrsg.): Biogasanlagen im EEG, Berlin, 2009 (2. Auflage im Erscheinen)
- Reshöft, J. (Hrsg.): EEG, Kommentar, 3. Aufl., Baden-Baden, 2009
- Salje, P.: EEG - Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien, 5. Aufl., Köln / München, 2009
- Jarass, H. D.: Bundesimmissionsschutzgesetz, 8. Aufl., München, 2009
- Landmann/Rohmer: Umweltrecht, Band I / II, München, 2009

## 7.9 Kaynak dizini

- AGFW - Arbeitsblatt FW 308 (Zertifizierung von KWK-Anlagen - Ermittlung des KWK-Stromes -)
- AVBFernwärmeV – Verordnung über Allgemeine Bedingungen für die Versorgung mit Fernwärme – vom 20. Juni 1980 (BGBl. I S. 742), die zuletzt durch Artikel 20 des Gesetzes vom 9. Dezember 2004 (BGBl. I S. 3214) geändert worden ist
- BauGB – Baugesetzbuch in der Fassung der Bekanntmachung vom 23. September 2004 (BGBl. I S. 2414), das zuletzt durch Artikel 4 des Gesetzes vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585) geändert worden ist
- BauNVO – Baunutzungsverordnung – in der Fassung der Bekanntmachung vom 23. Januar 1990 (BGBl. I S. 132), geändert durch Artikel 3 des Gesetzes vom 22. April 1993 (BGBl. I S. 466)
- BImSchG – Bundes-Immissionsschutzgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 26. September 2002 (BGBl. I S. 3830), das zuletzt durch Artikel 2 des Gesetzes vom 11. August 2009 (BGBl. I S. 2723) geändert worden ist
4. BImSchV – Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen in der Fassung der Bekanntmachung vom 14. März 1997 (BGBl. I S. 504), die zuletzt durch Artikel 13 des Gesetzes vom 11. August 2009 (BGBl. I S. 2723) geändert worden ist
- BioAbfV – Bioabfallverordnung – in der Fassung der Bekanntmachung vom 21. September 1998 (BGBl. I S. 2955), zuletzt geändert durch Artikel 5 der Verordnung vom 20. Oktober 2006 (BGBl. I S. 2298)
- BiomasseV – Biomasseverordnung – vom 21. Juni 2001 (BGBl. I S. 1234), die durch die Verordnung vom 9. August 2005 (BGBl. I S. 2419) geändert worden ist
- EEG – Erneuerbare-Energien-Gesetz vom 25. Oktober 2008 (BGBl. I S. 2074), das zuletzt durch Artikel 12 des Gesetzes vom 22. Dezember 2009 (BGBl. I S. 3950) geändert worden ist
- EEWärmeG – Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz – vom 7. August 2008 (BGBl. I S. 1658), das durch Artikel 3 des Gesetzes vom 15. Juli 2009 (BGBl. I S. 1804) geändert worden ist
- DüV – Düngeverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 27. Februar 2007 (BGBl. I S. 221), die zuletzt durch Artikel 18 des Gesetzes vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585) geändert worden ist
- DüMV – Düngemittelverordnung vom 16. Dezember 2008 (BGBl. I S. 2524), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 14. Dezember 2009 (BGBl. I S. 3905) geändert worden ist
- GasNEV – Gasnetzentgeltverordnung – vom 25. Juli 2005 (BGBl. I S. 2197), die zuletzt durch Artikel 2 Abs. 4 der Verordnung vom 17. Oktober 2008 (BGBl. I S. 2006) geändert worden ist
- GasNZV – Gasnetzzugangsverordnung – vom 25. Juli 2005 (BGBl. I S. 2210), die zuletzt durch Artikel 2 Abs. 3 der Verordnung vom 17. Oktober 2008 (BGBl. I S. 2006) geändert worden ist



KrW-/AbfG – Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz vom 27. September 1994 (BGBl. I S. 2705), das zuletzt durch Artikel 3 des Gesetzes vom 11. August 2009 (BGBl. I S. 2723) geändert worden ist

KWKG 2002 – Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz vom 19. März 2002 (BGBl. I S. 1092), das zuletzt durch Artikel 5 des Gesetzes vom 21. August 2009 (BGBl. I S. 2870) geändert worden ist

TA Lärm – Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm – vom 26. August 1998 (GMBL. 1998, S. 503)

TA Luft – Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – vom 24. Juli 2002 (GMBL. 2002, S. 511)

TierNebG – Tierische Nebenprodukte-Beseitigungsgesetz vom 25. Januar 2004 (BGBl. I S. 82), das zuletzt durch Artikel 2 der Verordnung vom 7. Mai 2009 (BGBl. I S. 1044) geändert worden ist

TierNebV – Tierische Nebenprodukte-Beseitigungsverordnung vom 27. Juli 2006 (BGBl. I S. 1735), die zuletzt durch Artikel 19 des Gesetzes vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585) geändert worden ist

UVPG – Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung in der Fassung der Bekanntmachung vom 25. Juni 2005 (BGBl. I S. 1757, 2797), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 11. August 2009 (BGBl. I S. 2723) geändert worden ist

VO 1774/2002/EG – Verordnung 1774/2002/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 3. Oktober 2002 mit Hygienevorschriften für nicht für den menschlichen Verzehr bestimmte tierische Nebenprodukte (ABl. L 273 S. 1), zuletzt geändert durch Verordnung 1432/2007/EG vom 05. Dezember 2007 (ABl. L 320 S. 13)

VO 181/2006/EG – Verordnung 181/2006/EG der Kommission vom 1. Februar 2006 zur Durchführung der Verordnung 1774/2002/EG hinsichtlich anderer organischer Düngemittel und Bodenverbesserungsmittel als Gülle sowie zur Änderung der genannten Verordnung (ABl. L 29 S. 31)



Kaynak: Paterson (FNIR)

# Ekonomi



Bir biyogaz tesisinin yapımı konusunda verilecek kararın en önemli unsurları, kullanılan sermaye ve iş girdilerinin karşılığının yeterince alınıp alınmayacağıdır. Diğer bir deyişle: Planlanan tesis ekonomik olarak çalıştırılabilir mi?

Biyogaz tesisinin ekonomikliğine dair yapılacak bir tahmin, aşağıda belirtilen model tesisler bağlamında kolaylaştırılmaya çalışılmaktadır:

## 8.1 Model tesislerin tanımlanması – Varsayımlar ve referans değerler

Tesislerin boyutlandırılmasında ve materyallerin seçiminde, satış koşulları ile EEG 2009 uyarınca kısıtlamalar dikkate alınmıştır. İşletmeye alınma yılı olarak 2011 öngörülmüştür.

### 8.1.1 Tesis gücü

Tesislerin güçleri son yıllarda ciddi şekilde yükselmiştir. EEG 2009 “Sıvı gübre bonusu”nun [8-1] yerleşmesiyle giderek daha fazla sayıda küçük tesis 150 kW<sub>el</sub> güç alanı civarında inşa edilmeye başlanmıştır. Pratikte inşa edilen tesislerin yelpazesini burada verebilmek için, 75 kW ila 1 MW arasında elektriksel gücü bulunan dokuz model tesis ile biyogaz hazırlayan bir tesis oluşturulmuştur (bkz. Tablo 8.1). Tesis büyüklüklerinin seçiminde hem EEG’nin 150 ila 500 kW<sub>el</sub> arasındaki güç eşiklerine dair satış mevzuatıyla ilgili durumu, hem de Federal Emisyon Koruma Yasası’nın izin mevzuatına tabi eşikleri dikkate alınmıştır (BImSchG’ye göre izin verilen azami anma gücü, tesislerin sıklıkla 350 kW elektrik gücüne sahip olacak şekilde kurulmalarına neden olmaktadır). Bunun ötesinde bir tesiste, gaz üretimi ve doğalgaz hattına ikmal esnasında hangi giderlerin oluştuğu gösterilmektedir.

### 8.1.2 Materyaller

Materyal olarak tarımda genel olarak kullanılan ve biyogaz tesislerinde kullanım için uygun olan maddeler seçilmiştir. Bunların arasında tarım kökenli çiftlik gübreleri ve silajlar olduğu gibi, bitkisel hammaddelerin ileri işlenmesinden kaynaklanan yan ürünler de bulunmaktadır. Bir başka madde grubu olarak da organik atıklar dikkate alınmıştır. Yan ürünlerin kullanımını esnasında yenilenebilir hammaddeler için verilen bonus oransal olarak düşmekte, atıkların kullanılması durumunda ise bütün tesis için ortadan kalkmaktadır.

Aşağıdaki tablo, kullanılan materyaller için endeks verilerini ortaya koymaktadır. Gaz üretimi verilerinin dayanağını, KTBL Çalışma Grubu “Biyogaz Verimliliği” KTBL’nin düzeltilmiş “Tarımsal Biyogaz Tesislerinde Gaz Randımanı” eserinden alınan standart veriler teşkil etmektedir (bkz. Tablo 8.2) [8-4].

Biyogaz tesisinin hayvan yetiştiriciliği yapılan bir yerde olduğu ve bundan ötürü çiftlik gübresinden faydalanım için ayrı bir maliyet oluşmadığı kabul edilmektedir. Nakliyat gerekli olduğu takdirde, oluşacak taşıma giderlerinin de dikkate alınması gerekir. Yenilenebilir hammaddeler için KTBL veri bankasından alınan ortalama temin etme maliyetleri dikkate alınmıştır.

Bitkisel yan ürünler ve atıklar, tabloda belirtilen piyasa verileriyle değerlendirilecektir. Fiyatlar, biyogaz tesisine nakliyatı da kapsamaktadır. Sezonluk materyaller, biyogaz tesisinde depolanacaktır. Silajlarda fiyatlar taze ürünü bazındadır. Ortaya çıkabilecek % 12’lik üretim kayıpları, biyogaz tesisi tarafından karşılanacaktır. Sürekli olarak geliş sağlanan materyaller için tesislerde yaklaşık 1 haftalık bir ara depolama kapasitesi belirlenmiştir. Yasaya göre hijyenleştirilmesi gereken materyallerde (BioAbfV, AB yönergesi 1774. bkz. Böl. 7.7.2.3), bunların hijyenleştirilmiş ola-

Tablo 8.1: Model tesislerin özellikleri ve genel bakış

Model	Güç	Karakterize etme
I	75 kW <sub>el</sub>	
II	150 kW <sub>el</sub>	Yenilenebilir hammaddelerin ve % 30 sıvı gübre kullanımı (sıvı gübre bonusuna hak kazanmaya yeterli) Örnekler: Günlük kullanılan ham kütlede en az % 34 sıvı gübre oranı
III	350 kW <sub>el</sub>	
IV	350 kW <sub>el</sub>	% 100 yenilenebilir hammadde fermantasyonu; seperasyon ve resirkülasyonun geri dönüşü
V	500 kW <sub>el</sub>	EEK Ek 2 uyarınca sıvı gübre ve bitkisel yan ürünler fermantasyonu
VI	500 kW <sub>el</sub>	% 100 yenilenebilir hammadde fermantasyonu; seperasyon ve resirkülasyonun geri dönüşü
VII	500 kW <sub>el</sub>	Sıvı gübre ve biyolojik atık fermantasyonu Biyolojik atık fermantasyonu yapan tesisler NaWaRo bonusu ve buna bağlı olarak sıvı gübre bonusu alamazlar. Bundan ötürü ham kütledeki sıvı gübre oranı % 30'dan düşük olabilir.
VIII	1.000 kW <sub>el</sub>	% 100 yenilenebilir hammadde fermantasyonu; seperasyon ve resirkülasyonun geri dönüşü
IX	500 kW <sub>el</sub>	Konteynır yöntemiyle katı madde fermantasyonu; katı gübre ve yenilenebilir hammadde kullanımı
X	500 m <sup>3</sup> /h <sup>a</sup>	Yapı ve materyal kullanımı Ek VIII'de olduğu gibi; BHKW yerine gaz hazırlama ve ikmali

a. Bir saatte ham gaz debisi (500 m<sup>3</sup>/saat, yaklaşık 1 MW<sub>el</sub> güce karşılık gelir)

Tablo 8.2: Materyal referans verileri ve fiyatları

Materyal	KM	OKM	Biyogaz verimi	Metan miktarı	Metan verimi	Alış fiyatı
	%	KM içinde %	Nm <sup>3</sup> /t OKM	%	Nm <sup>3</sup> /t	€/t YM
Sığır gübresi, içinde: Yem artıkları	8	80	370	55	13	0
Sıvı domuz gübresi	6	80	400	60	12	0
Sığır gübresi	25	80	450	55	50	0
Mısır silajı, olgun, bol taneli	35	96	650	52	114	31
Tahıl taneleri parçalanmış	87	98	700	53	316	120
Ot silajı	25	88	560	54	67	34
Tahıl GPS, orta tahıl oranı	40	94	520	52	102	30
Gliserin	100	99	850	50	421	80
Kolza küspesi, Artık yağ oranı % 15	91	93	680	63	363	175
Tahıl (artıkları)	89	94	656	54	295	30
Yemek artıkları, orta yağlı <sup>a</sup>	16	87	680	60	57	5
Yağ ayırıcı yağı <sup>a</sup>	5	90	1000	68	31	0
Biyolojik atık <sup>a</sup>	40	50	615	60	74	0

a. Materyaller hijyenleştirilmiş olarak gelmektedir

rak tedarik edildiği ve bu işlemin bedelinin fiyata dahil olduğu kabul edilmektedir.

Tablo 8.3'de her bir model tesiste kullanılan materyallerin türüne dair genel bir bakış sunulmaktadır. Materyaller, I-III ve V no.lu tesislerin % 30'dan fazla çiftlik gübresi oranıyla sıvı gübre bonusunu almaya hak kazanacakları şekilde seçilmiştir.

Tesis V bitkisel yan ürünler kullandığı için (EEG 2009 Ek 2 uyarınca, bkz. Bölüm 7.3.3.2) yenilenebilir hammaddeler için düşürülmüş oranlı bonus almaya hak kazanmıştır. Tesis VII atık kullanmasından ötürü yenilenebilir hammaddeler için bonus almamaktadır.

IV, VI, VIII ve X numaralı tesisler EEG uyarınca % 100 yenilenebilir hammaddeler kullanmaktadırlar.

Tablo 8.3: Model tesislerde kullanılan materyaller [t YM/yıl]

Model tesisler	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Materyal kullanımı	% 30 sıvı gübre % 70 NawaRo		% 100 NawaRo		Yan ürünler	% 100 NawaRo	Biyolojik atıklar	% 100 NawaRo	FV <sup>a</sup>	Gaz hazırlanması
	75 kW <sub>el</sub>	150 kW <sub>el</sub>	350 kW <sub>el</sub>	350 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>	1.000 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>	500 m <sup>3</sup> /h <sup>b</sup>
Sıvı Sığır gübresi	750	1.500	3.000		3.500		4.000			
Sıvı Domuz gübresi					3.500					
Sığır gübresi									2.000	
Mısır, silaj, olgun, bol taneli	1.250	2.500	5.750	5.500		7.400		14.000	5.000	14.000
Tahıl taneleri parçalanmış			200			200		500		500
Ot silajı	200	200							2.600	
Tahıl GPS orta tane oranı				1.300		1.500		2.500	2.100	2.500
Gliserin					1.000					
Kolza küspesi % 15 artık yağ oranı					1.000					
Tahıl artıkları					620					
Yemek artıkları, orta yağlı							8.000			
Yağ ayırıcıdan gelen yağ							4.600			
Biyolojik atık							5.500			

a. FV: Katı madde fermantasyonu

b. Bir saatlik ham gaz debisi

Kullanılan materyalin pompalanabilirliğini sağlamak için fermantasyon artıklarının bir kısmı ayrılır ve sıvı faz resirküle edilir.

VIII ve X numaralı tesisler sadece gaz değerlendirilmesi bakımından birbirlerinden ayrılmaktadırlar. Tesis VIII elektrik ve ısı üretirken, Tesis X doğalgaz şebekesine ikmal etmek için gaz üretmektedir. Tesis IX konteynır yöntemi bir katı madde fermantasyon tesisidir (FV). Burada katı madde olarak sığır gübresi ve silajlar kullanılmaktadır.

### 8.1.3 Biyolojik ve teknik tasarım

Model tesisler için materyal seçimi, her bir tesisin materyallerden beklenen biyogaz ve enerji miktarıyla yıllık 8.000 saatlik bir çalışma kapasitesine ulaşabilmesine göre yapılmıştır. Kullanılan hammaddelere ve miktarlarına göre materyal deposu, üretece yükleme, fermentör ve fermantasyon atığı depolarına dair tasarım büyüklükleri saptanacaktır.

Ekonomikliği dikkate almak suretiyle bir tesisin biyolojik ve teknik bakımdan işletilmesini garanti altına almak için, tablo 8.4'de belirtilen parametreler kullanılmıştır.

I ve II numaralı model tesisler aşamalı olarak çalıştırılmaktadır, diğer bütün yaş fermantasyon tesisleri iki aşamalı bir prosese sahiptirler, ancak VIII ve X numaralı tesislerin her biri 1. basamakta 2 fermentöre ve 2. basamakta 2 fermentöre sahip olup, bunlar birbirlerine paralel olarak çalıştırılmaktadırlar.

Tablo 8.5. model tesislerde dikkate alınan teknikleri ve yapıları, yapı grupları şeklinde bir araya getirmiştir.

Diğer bütün varsayımlar, model tesislerin hesaplamaları için yapılmıştır:

**Katı madde girişi:** Model tesis VII hariç olmak üzere, kullanılan materyalin türü ve miktarı nedeniyle bütün tesisler için bir katı madde girişi sistemine gerektirir. Model VII'de hijyenleştirilmiş materyaller pompalanabilir fazda tedarik edilecek ve bir kabul deposunda karıştırılacaktır.

Tablo 8.4: Model tesislerin teknik ve yönetime dair referans verileri ve tasarım büyüklükleri

Teknik tasarım için seçilen bazı varsayımlar	
Yükleme oranı	Azami 2.5 kg OKM/m <sup>3</sup> .d kullanılabilir fermentör hacmi (toplam)
Proses kontrolü	Tek basamaklı proses kontrolü: < 350 kW <sub>el</sub> İki basamaklı proses kontrolü: ≥ 350 kW <sub>el</sub>
Yükleme oranı 1. İki veya çok basamaklı fermentör	Azami 5.0 kg OKM/m <sup>3</sup> .d kullanılabilir fermentör hacmi
Karışımındaki KM oranı	Azami % 30 KM, bunun dışında ayırma ve resirkülasyon (katı madde fermantasyonu dışında)
Mobil teknik	Taşınacak materyal miktarına bağlı olarak kepçeli veya yükleyicili traktör (veri dayanağı: KTBL veri bankası)
Fermentör hacimleri	Günde 2.5 kg OKM/m <sup>3</sup> yükleme oranı için gereken fermentör hacmi, artı % 10 güvenlik payı, asgari bekleme süresi 30 gün
Kurulu karıştırıcı gücü ve donanımı	Fermentör 1. basamak: 20-30 W/m <sup>3</sup> fermentör hacmi; Fermentör 2. basamak: 10-20 W/m <sup>3</sup> fermentör hacmi; Materyal özelliklerine ve fermentör büyüklüğüne bağlı olarak karıştırıcıların sayısı ve türü
Fermentasyon artığı deposu	Toplam fermentasyon artığı miktarı için 6 aylık depolama kapasitesi (sıvı gübre dahil), % 10 güvenlik payı, gaz geçirmeyecek şekilde kapalı
Isı satışı	Isı satışı: Üretilen ısı enerjisinin % 30'u, ısı fiyatı 2 ct/kWh, BHKW ısı değiştiricisi birimi
BHKW yapı tarzı	75 kW ve 150 kW: Çift yakıtlı motor; 350 kW Gazlı benzinli motor
BHKW etki derecesi	% 34'ten (75 kW) % 40'a kadar (1.000 kW) (veri dayanağı: ASUE BHKW referans Verileri 2005)
BHKW tam yük çalışma saatleri	Yılda 8.000 tam yük çalışma saati Bu büyüklük hedef büyüklük olarak anlaşılmalıdır ve optimal bir tesis işletimini gerektirir

Tablo 8.5: Model tesislerde kullanılan teknik

Yapı grubu	Karakterize etme ve ana yapı parçaları
Materyal deposu	Gerektiği takdirde betondan duvarlara sahip, betondan yapılmış silo plakaları, sıvı olarak tedarik edilen materyaller için ara depo olarak çelik tank
Materyal kabul tankı	Beton tank Karıştırma, parçalama ve pompalama düzenekleri, muhtemelen doldurma bacası, materyal hatları, doluluk oranı ölçümü, kaçak tespiti
Katı madde girişi (sadece NaWaRo'da)	Helezonlar, basınç pistonları veya yem karıştırıcıları Doldurma hunisi, tartı düzeneği, fermentör beslemesi
Fermentör	Yerüstünde kurulu, dikey beton tank Isıtma, yalıtım, kaplama, karıştırıcı, gaz geçirmez tank kapağı (gaz depolama), materyal ve gaz hatları, biyolojik desülfürizasyon, ölçüm, kumanda ve güvenlik tekniği, kaçak tespiti
500 kW <sub>el</sub> veya daha büyük harici biyolojik desülfürizasyonda	Teknik donanım ve borulama da dahil olmak üzere desülfürizasyon
BHKW	Çift yakıtlı motor veya gazlı benzinli motor Motor bloku, jeneratör, ısı değiştirici, ısı dağıtıcı, soğutucu, kumanda, gaz hatları, ölçüm, kumanda ve güvenlik tekniği, ısı miktarları ve elektrik sayacı, sensörler, yoğunlaşma suyu ayırıcısı, basınçlı hava istasyonu, gerektiğinde ek gaz tekniği, yağ tankı, konteyner
Gaz ikmali	Basınçlı suyla yıkama, sıvı dozajlaması, gaz analizi, odorizasyon, bağlantı hatları, biyogaz ısı kazanı
Gaz yakma bacası	Gaz tekniği dahil gaz yakma bacası
Fermentasyon artığı deposu	Beton tank Karıştırma sistemi tekniği, materyal hatları, boşaltma tekniği, gaz kaçağı tespiti, gaz geçirmez tank kapağı, ölçüm, kumanda ve güvenlik sistemi, biyolojik desülfürizasyon, gaz hatları, gerektiğinde seperatör



**Fermantasyon artığı deposu:** Bütün model tesislerde altı aylık sürelerde ortaya çıkan fermantasyon artığı miktarı için gaz geçirmeyecek şekilde kapalı depo kapasiteleri planlanmıştır. Bu sayede EEG'den NaWaRo bonusu almak için BlmSchG yükümlüsü biyogaz tesislerine mutlaka olması gereken gaz geçirmeyecek şekilde kapalı fermantasyon artığı deposu da eklenmiş olmaktadır. Mevcut sıvı gübre depolarının bu koşulları yerine getirecek şekilde düzenlenmesi, teknik olarak sıklıkla mümkün değildir.

**Hijyenleştirme:** Model tesis VII'de hijyenleştirilmeleri zorunlu materyaller işlenmektedir. Bu materyallerin hijyenleştirilmiş bir şekilde tedarik edildikleri ve bu sayede hijyenleştirme için teknik bileşenlere ihtiyaç duyulmadığı kabul edilmektedir. Hijyenleştirme giderleri materyal fiyatlarında dikkate alınmıştır.

**Gaz ikmali:** Gaz ikmal tesisi için, doğalgaz hattına kadar bütün işlem zinciri dikkate alınmaktadır. Ancak ham gaz veya saf gaz tedarikinde oluşan giderler de gösterilmektedir, çünkü uygulamada şebeke işletmecileri ve gaz tedarikçileriyle farklı işbirliği modellerine tesadüf edilmektedir. Yeniden düzenlenmiş Gaz Şebekesine Giriş Yönetmeliği § 33 Fıkra 1 uyarınca, şebeke

bağlantısı giderlerinin % 75 oranında şebeke işletmecisi, % 25 oranında da bağlantı alıcısı tarafından karşılanması hükmüne bağlanmıştır (bkz. ayrıca Bölüm 7.4.3.2). Bir kilometreye kadar olan şebeke bağlantıları için bağlantı alıcısının üst katılım payı 250.000 € olarak öngörülmüştür. Cari giderler şebeke işletmecisi tarafından sağlanacaktır. Model tesis X için bağlantı alıcısının şebeke bağlantısı için oluşacak giderlerin 250.000 € tutarındaki kısmını karşılayacağı öngörülmüştür.

#### 8.1.4 Teknik ve yöntem referans değerleri

Tablo 8.6. 8.7 ve 8.8. model tesislerin teknik ve yöntem referans değerlerine dair genel bir bakış sunmaktadır.

#### 8.1.5 Model tesislerin fonksiyonel birimleri için yatırımlar

Tablo 8.9 ve 8.10. her bir model tesis için öngörülen yatırım ihtiyacına dair genel bir bakış sunmaktadır. Verilen pozisyonlar aşağıdaki yapı gruplarını kapsar (bkz. Tablo 8.5):

- Materyal deposu ve yükleme
  - Materyal deposu

Tablo 8.6: I ila V arası model tesisleri teknik ve yöntem tekniği referans değerleri

Teknik ve yöntem tekniği verileri	Birim	I	II	III	IV	V
		% 30 sıvı gübre, % 70 NawaRo		% 100 NawaRo		Yan ürünler
		75 kW <sub>el</sub>	150 kW <sub>el</sub>	350 kW <sub>el</sub>	350 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>
Elektrik gücü	kW	75	150	350	350	500
Motorun yapım tarzı		Çift yakıtlı motor	Çift yakıtlı motor	Gazlı benzinli motor	Gazlı benzinli motor	Gazlı benzinli motor
Elektrik verimi	%	34	36	37	37	38
Termik verim	%	44	42	44	44	43
Brüt fermentör hacmi	m <sup>3</sup>	620	1.200	2800	3.000	3.400
Fermantasyon artığı deposu hacmi	m <sup>3</sup>	1.100	2.000	4.100	2.800	4.100
Materyal karışımının KM oranı (resirkülasyon dahil)	%	24,9	24,9	27,1	30,9	30,7
Ortalama hidrolik bekleme süresi	d	93	94	103	119	116
Yükleme oranı	kg OKM/m <sup>3</sup> · d	2,5	2,5	2,5	2,4	2,5
Gaz üretimi	m <sup>3</sup> /yıl	315.400	606.160	1.446.204	1.455.376	1.906.639
Metan oranı	%	52,3	52,3	52,2	52,0	55,2
İkmal edilen elektrik miktarı	kWh/yıl	601.114	1.203.542	2.794.798	2.800.143	3.999.803
Üretilen ısı miktarı	kWh/yıl	777.045	1.405.332	3.364.804	3.364.388	4.573.059

Tablo 8.7: VI ila IX arası model tesisleri için teknik ve yöntem tekniği referans değerleri

Teknik ve yöntem tekniği verileri	Birim	VI	VII	VIII	IX
		% 100 NawaRo 500 kW <sub>el</sub>	Biyolojik atıklar 500 kW <sub>el</sub>	% 100 NawaRo 1.000 kW <sub>el</sub>	Katı madde fer- mentasyonu: 500 kW <sub>el</sub>
Elektrik gücü	kW	500	500	1000	500
Motorun yapım tarzı		Gazlı benzinli motor	Gazlı benzinli motor	Gazlı benzinli motor	Gazlı benzinli motor
Elektrik verimi	%	38	38	40	38
Termik verim	%	43	43	42	43
Brüt fermentör hacmi	m <sup>3</sup>	4.000	3.400	7.400	3.900
Fermentasyon artığı deposu hacmi	m <sup>3</sup>	3.800	11.400	6.800	0
Materyal karışımının KM oranı (resirkülasyon dahil)	%	30,7	18,2	30,6	32,0
Ortalama hidrolik bekleme süresi	d	113	51	110	24 (-69) <sup>a</sup>
Yükleme oranı	kg OKM/m <sup>3</sup> · d	2,5	2,4	2,5	2,5
Gaz üretimi	m <sup>3</sup> /yıl	2.028.804	1.735.468	3.844.810	2.002.912
Metan oranı	%	52,1	60,7	52,1	52,6
İkmal edilen elektrik miktarı	kWh/yıl	4.013.453	4.001.798	8.009.141	4.002.618
Üretilen ısı miktarı	kWh/yıl	4.572.051	4.572.912	8.307.117	4.572.851

a. parantez içinde: Fermentasyon atıklarının aşılama materyali olarak geri dönüşü yoluyla oluşan toplam bekleme süresi

Tablo 8.8: Model tesis X için teknik ve yöntem tekniği referans değerleri

Teknik ve yöntem tekniği verileri	Birim	X Gaz hazırlama
Nominal güç	m <sup>3</sup> /h	500
Ortalama debi	m <sup>3</sup> /h	439
Toplam çalışma süresi	h/yıl	7.690
Fermentör ısıtıcısı için biyogaz sarfiyatı	%	5
Metan kaybı	%	2
Ham gaz ısı değeri	kWh/m <sup>3</sup>	5,2
Saf gaz ısı değeri	kWh/m <sup>3</sup>	9,8
İkmal gazı ısı değeri	kWh/m <sup>3</sup>	11,0
Brüt fermentör hacmi	m <sup>3</sup> /h	7.400
Fermentasyon artığı deposu hacmi	m <sup>3</sup> /h	6.800
Materyal karışımının KM oranı (resirkülasyon dahil)	%	30,6
Ortalama hidrolik bekleme süresi	d	110
Yükleme oranı	kg OKM/m <sup>3</sup> · d	2,5
Ham gaz	m <sup>3</sup> /yıl kWh/yıl	3.652.570 19.021.710
Saf gaz	m <sup>3</sup> /yıl kWh/yıl	1.900.128 18.621.253
İkmal gazı	m <sup>3</sup> /a kWh/a	2.053.155 22.581.100

Tablo 8.9: I ila V arası model tesislerin fonksiyonel birimleri için yatırımlar

Yatırımlar	Birim	I	II	III	IV	V
		% 30 sıvı gübre, % 70 NawaRo			% 100 NawaRo	Yan ürünler
		75 kW <sub>el</sub>	150 kW <sub>el</sub>	350 kW <sub>el</sub>	350 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>
Materyal depolama ve yükleme	€	111.703	183.308	291.049	295.653	196.350
Fermentör	€	72.111	108.185	237.308	259.110	271.560
Gaz değerlendirilmesi ve kumanda	€	219.978	273.777	503.466	503.996	599.616
Fermentasyon artığı deposu	€	80.506	117.475	195.409	178.509	195.496
Yapı grupları toplamı	€	484.297	682.744	1.227.231	1.237.269	1.263.022
Planlama ve izin	€	48.430	68.274	122.723	123.727	126.302
Toplam yatırımlar	€	532.727	751.018	1.349.954	1.360.996	1.389.324
Özel yatırımlar	€/kW <sub>el</sub>	7.090	4.992	3.864	3.888	2.779

Tablo 8.10: VI ila X arası model tesislerin fonksiyonel birimleri için yatırımlar

Yatırımlar	Birim	VI	VII	VIII	IX <sup>a</sup>	X <sup>b</sup>
		% 100 NawaRo 500 kW <sub>el</sub>	Biyolojik atıklar 500 kW <sub>el</sub>	% 100 NawaRo 1.000 kW <sub>el</sub>	Katı madde fermentasyonu: 500 kW <sub>el</sub>	Gaz hazırlama
Materyal depolama ve yükleme	€	365.979	173.553	644.810	452.065	644.810
Fermentör	€	309.746	275.191	593.714	810.000	593.714
Gaz değerlendirilmesi ve kumanda	€	601.649	598.208	858.090	722.142	1.815.317
Fermentasyon artığı deposu	€	211.098	555.528	371.503	0	371.503
Yapı grupları toplamı	€	1.488.472	1.602.480	2.468.116	1.984.207	3.425.343
Planlama ve izin	€	148.847	160.248	246.812	198.421	342.534
Toplam yatırımlar	€	1.637.319	1.762.728	2.714.928	2.182.628	3.767.878
Özel yatırımlar	€/kW <sub>el</sub>	3.264	3.524	2.712	4.362	---

a. [8-2], [8-3] kullanılmak suretiyle

b. [8-6] kullanılmak suretiyle

- Giriş tankı
- Katı madde girişi
- Fermentör
- Gaz değerlendirilmesi ve kumanda
  - Harici desülfürizasyon
  - BHKW (çevre dahil)
  - Gerektiğinde gaz hazırlaması ve şebeke bağlantısıyla gaz ikmal (doğalgaz şebekesine ikmal istasyonu ve bağlantı hattı)
  - Gaz yakma bacası
- Fermentasyon artığı deposu (gereğinde ayırma dahil).

## 8.2 Model tesislerin ekonomikliği

### 8.2.1 Gelirler

Biyogaz tesislerinde gelirler aşağıdaki gibi oluşturulabilir:

- Elektrik satışı
- Isı satışı:
- Gaz satışı
- Fermentasyon materyallerinin berteraf gelirleri
- Fermentasyon artığı satışları.

Biyogaz tesislerinin ana gelir kaynağı, gaz besleme tesisleri hariç elektrik enerjisinin satışlarıdır. Satış bedelinin yüksekliği ve ücret talebinin süresi (işletmeye girme yılı + 20 takvim yılı) yasalarla düzenlendiği için, elektrik satışından oluşacak gelirler risk olmadan planlanabilir niteliktedir (bkz. Bölüm 7.3.2). Kullanılan materyalin türüne ve miktarına, tesisin gücüne ve bonus almak için ön koşul olan diğer kriterlerin yerine getirilip getirilmediğine göre, satış fiyatı yakl. 8 ila. 30 ct/kWh arasında değişen oldukça değişken bir yapıya sahiptir. Bonuslar sadece yenilenebilir hammaddeler ve sıvı gübre, ortaya çıkan ısının mantıklı kullanımı, ilerici teknolojilerin kullanımı ve TA-Hava'nın formaldehit sınır değerlerine uyulması durumunda ödenmektedir (bkz. Bölüm 7.3.3.3). Satış düzenlemeleri bölüm 7.3.1'de ayrıntılı olarak ele alınmaktadır. Model tesislerin burada varsayılan EEG ücretlendirme şartları, tesislerin 2011 yılında işletmeye alındıkları kabulüyle belirlenmiştir. Tablo 8.11. hangi model tesisin hangi bonus talebinde bulunabileceğini göstermektedir.

Isı satışı, elektrik satışına göre çok daha zor bir işittir. Bu yüzden daha bölge seçiminde bile olası ısı alıcılarına dikkat edilmelidir. Uygulamada üretilen ısı enerjisinin hepsini mantıklı bir şekilde kullanmak mümkün olmayacaktır, çünkü bir yandan proses ısısı için belirli bir yüzdeye ihtiyaç duyulurken, öte yandan ısı alıcılarının birçoğunun sezonluk olarak çok farklı ısı ihtiyaçları bulunmaktadır. Biyogaz tesisi tarafından kullanıma ısı miktarı, tesisin kendi ısı ihtiyacı nedeniyle potansiyel alıcıların ısı ihtiyacına karşındır.

Bu model tesisler için, üretilen ısı enerjisinin % 30'unun mantıklı, yani EEG Ek 3 uyarınca kullanıldığı ve 2 ct/kWh karşılığında satılabileceği kabul edilmektedir.

Yani tesis ısı fiyatının yanı sıra, üretilen elektrik miktarının % 30'u karşılığında 2.94 ct/kWh tutarında KWK bonusu da almaktadır.

Üretilen biyogazı KWK prosesinde kullanmak yerine hazırlamak ve doğalgaz şebekesine ikmal etmek de bir hedef olabilir. Bu tesisler özünde gelirlerini sattıkları gazdan elde ederler. Bu konuda herhangi bir yasal düzenleme olmadığı için, gaz fiyatı üretici ile alıcı arasında pazarlık usulüyle tespit edilmelidir. Ancak EEG aynı zamanda ikmal edilen biyogazın (biyometan) bir başka noktada doğalgaz şebekesinden almayı ve EEG koşullarında elektriğe dönüştürme imkanını da öngörmektedir.

Ender durumlarda kullanılan materyalin tasfiyesinden de gelir elde edilebilir. Ancak bu konu dikkatle incelenmeli ve hesaba dahil edilmeden önce sözleşmeyle güvence altına alınmalıdır.

Fermantasyon artışı değerinin belirlenmesi birden fazla faktöre bağlıdır. Bölgedeki besin maddesi tedariğine göre pozitif veya negatif değerler bulunabilir, çünkü uzak mesafelere nakliye ve böylelikle yüksek nakliye giderlerinin göze alınması söz konusu olabilir. Kullanılan çiftlik gübresinin besin değeri, yetiştirilen hayvanlara göre hesaplanabilir. Model tesislerin maliyet hesabında, fermantasyon artışının bitki üretiminde 0 €/t karşılığında kullanıma sunulacağı kabul edilmiştir. Bu sadece tarlaya uygulama karşılar, ancak bu şekilde materyalin daha uygun fiyata kullanıma hazır hale gelmesini mümkün kılar.

## 8.2.2 Giderler

Giderler aşağıdaki şekilde yapılandırılabilir:

- Değişken giderler (materyal giderleri, işletme maddeleri, bakım ve tamirler ve laboratuvar analizleri) ve
- Sabit giderler (yatırıma bağlı giderler (örneğin amortisman, faiz, sigorta) ve işçilik giderleri).

Bu giderlerin her biri aşağıda açıklanacaktır.

### 8.2.2.1 Değişken giderler

#### Materyal giderleri

Materyal giderleri, genel giderlerin % 50'si kadarını oluşturabilirler. Bu özellikle sadece NaWaRo kullanan tesisler için geçerlidir. Her bir materyal için uygulanacak giderler tablo 8.2'de belirtilmiştir. Materyal giderlerinin toplamı tablo 8.12, 8.13 ve 8.14'te gösterilmektedir. Materyale göre değişen depolama veya muhafaza zararları nedeniyle, depolanacak miktar gerçekten tesiste kullanılmış olan miktardan daha fazladır.

#### İşletim maddeleri

İşletim maddeleri arasında ilk etapta elektrik, tutuşturma yakıtı, yağlama yağı, dizel, silaj örtüsü olarak folyolar ve kum çuvalları bulunmaktadır. Gaz ikmal sırasında iyileştirilmesi amacıyla gaza karıştırılan propan gideri de buna eklenecektir.

#### Bakım ve tamir

Bakım ve tamir giderleri olarak, yapı bileşenine göre yatırımın % 1-2 kadarı ayrılmaktadır. Bazı yapı parçalarında daha kesin veriler bulunmaktadır, bundan ötürü güce bağlı masrafın hesaplanabilmesi mümkündür (örneğin gazlı benzinli motorlu BHKW: 1.5 ct/kWhel).

#### Laboratuvar analizleri

Profesyonel bir proses kumandası için fermentör içeri-

Tablo 8.11: 2011 yılında işletmeye girecek model tesisler için satış talebi

Model tesisler	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
	% 30 sıvı gübre, % 70 NawaRo			% 100 NawaRo	Yan ürünler	% 100 NawaRo	Biyolojik atıklar	% 100 NawaRo	FV
	75 kW <sub>el</sub>	150 kW <sub>el</sub>	350 kW <sub>el</sub>	350 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>	1.000 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>
Temel fiyat	x	x	x	x	x	x	x	x	x
NawaRo bonusu	x	x	x	x	x <sup>a</sup>	x		x	x
Sıvı gübre bonusu	x	x	x		x <sup>a</sup>				
KWK bonusu <sup>b</sup>	x	x	x	x	x	x	x	x	x
İklim koruma bonusu					x	x	x	x	x
Fiyat ct/kWh <sub>el</sub>	23,09	23,09	20,25	17,88	14,08	18,52	11,66	15,93	18,52

a. Sadece yenilenebilir hammaddelerden ve sıvı gübreden elde edilen elektrik miktarı için (bkz. Bölüm 7.3.1)

b. Her defasında elde edilen ısı enerjisinin % 30'u için

ğinin laboratuvar analizi gereklidir. Model hesaplamalarında fermentör başına 6 analiz ve yılda her biri için 120 € ayrılmıştır.

### 8.2.2.2 Sabit giderler

#### Yatırıma bağlı giderler

Yatırıma bağlı giderler amortisman, faiz ve sigortalardan oluşmaktadır. Amortisman yapı bileşenine özgüdür. Binalar için 20 yıllık ve kurulu teknik için de 4-10 yıllık bir çizgisel bir amortisman söz konusudur. Sermaye için % 4'lük bir faiz hesaplanır. Burada uygulanan ekonomiklik hesaplamaları için öz ve yabancı sermaye ayırımı yapılmamaktadır. Sigorta giderleri model hesaplamalarında yatırım toplamının götürü % 0,5'i olarak ayrılmıştır.

#### İşçilik giderleri

Biyogaz tesisindeki faaliyetler genelde kadrolu personel tarafından uygulandığı ve materyal hazırlanması tarım sektörünün içinde düşünüldüğü takdirde, başka da özel işçilik olmadığına göre, yapılan iş sabit giderler arasında sayılabilir. İş süresi ihtiyacı esas olarak destek masrafları (kumanda, kontrol ve bakım) ve materyal yüklemesi dikkate alınarak hesaplanmaktadır. Destek masrafı İşyeri Organizasyonu Bölümü'ndeki şekil 9.5 uyarınca kurulu güçten bağımsız bir şekilde ele alınmıştır.

Materyal yüklemesi için zaman ihtiyacı, kullanılan materyallere ve uygulanan tekniğe bağlı olarak KTBL verileri üzerinden hesaplanmaktadır. Maaş olarak 15 €/saat kabul edilmektedir.

#### Arazi giderleri

Model tesislerin işletilmesi için ayrıca arazi giderleri dikkate alınmamıştır. Tesis bir kooperatif tesisi veya

sinai tesis olarak işletilecekse, kira ve benzeri giderler de dikkate alınmalıdır.

### 8.2.3 Hizmet – gider hesabı

Bir biyogaz tesisinin asgari işletme hedefi, konulan sermaye ve işgücü karşılığında yeterli gelir elde etme olmalıdır. Şirket kazancının bunun ötesine geçmesi, şirketin aldığı riski haklı çıkarır Müteakiben model tesisin işletiminden elde edilecek başarı gösterilmiştir.

Model I, yüksek satışına rağmen pozitif bir sonuç elde edememiştir. Bunun asıl sebebi, bu küçük tesisin çok yüksek özgül yatırım gideridir. (> 7.000 €/kW<sub>el</sub>).

Model II ve III'de özgül yatırım giderleri belirgin bir şekilde daha düşüktür. Ancak elde edilen kârın asıl sebebi, bu tesislerin aldığı sıvı gübre bonusudur. Bu bonus, gelir hanesine 47.000 € ve 66.000 € eklemiştir.

Sıvı gübre bonusunun önemi, aynı güce sahip Tesis III ile IV'ün karşılaştırılmasında da ortaya çıkmaktadır. NawaRo tesisi (IV) biraz daha yüksek genel giderlere sahip olması bir yana, sıvı gübre bonusu olmaması ve buna bağlı olarak daha düşük elektrik satış fiyatı nedeniyle kâr edememiştir.

Tesis V çok cüzi bir kâr elde etmiştir. Bunun asıl sebebi, elektriğin ağırlıklı olarak bitkisel yan ürünlerden kazanılmış ve buna bağlı olarak normalde tesisin hak kazandığı NaWaRo ve sıvı gübre bonuslarının elektrik miktarının % 10'undan az bir kısmı için ödenmiş olmasıdır.

500 kW gücünde NawaRo tesisi ve 500 kW gücünde atık tesisi yaklaşık 80.000 € ve 90.000 € olmak üzere birbirlerine yakın kâr elde etmişlerdir. Ancak bu kâr farklı şekillerde oluşmuştur. Sabit giderler aynı seviyede bulunurken, NaWaRo tesisi bariz bir şekilde daha yüksek materyal giderlerine sahiptir. Buna kar-

Tablo 8.12: Model tesisleri I-V için hizmet-gider hesabı

Hizmet – gider hesabı	Birim	I		II	III	IV	V
		% 30 sıvı gübre, % 70 NawaRo <sup>a</sup>		150 kW <sub>el</sub>	350 kW <sub>el</sub>	350 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>
<i>Hizmetler</i>							
İkmal edilen elektrik miktarı	kWh/yıl	601.114	1.203.542	2.794.798	2.800.143	3.999.803	
Ort. satış fiyatı	ct/kWh	23,09	23,09	20,25	17,88	14,08	
Elektrik satışı	€/yıl	138.809	277.922	565.856	500.730	563.258	
Isı satışı	€/yıl	4.662	8.457	20.151	20.187	27.437	
<b>Hizmetler toplamı</b>	<b>€/yıl</b>	<b>143.472</b>	<b>286.379</b>	<b>586.007</b>	<b>520.918</b>	<b>590.695</b>	
<i>Değişken giderler</i>							
Materyal giderleri	€/yıl	51.761	95.795	226.557	238.068	273.600	
İşletim maddeleri	€/yıl	17.574	29.387	36.043	42.900	45.942	
Tamir ve bakım	€/yıl	12.900	17.664	57.369	58.174	73.662	
Laboratuvar analizleri	€/yıl	720	720	1.440	1.440	1.440	
<b>Değişken giderler toplamı</b>	<b>€/yıl</b>	<b>82.956</b>	<b>143.566</b>	<b>321.408</b>	<b>340.582</b>	<b>394.643</b>	
<i>Katkı payı</i>	<i>€/yıl</i>	60.516	142.813	264.599	180.335	196.052	
<i>Sabit giderler</i>							
AfA	€/yıl	56.328	78.443	110.378	113.768	117.195	
Faiz	€/yıl	10.655	15.020	26.999	27.220	27.786	
Sigorta	€/yıl	2.664	3.755	6.750	6.805	6.947	
İşçilik	Ah/d	1,97	3,25	6,11	6,20	6,05	
İşçilik	Ah/yıl	719	1.188	2.230	2.264	2.208	
İşçilik	€/yıl	10.778	17.813	33.455	33.957	33.125	
<b>Sabit giderler toplamı</b>	<b>€/yıl</b>	<b>80.424</b>	<b>115.031</b>	<b>177.582</b>	<b>181.750</b>	<b>185.052</b>	
<i>Münferit ücretsiz hizmet</i>	<i>€/yıl</i>	-19.908	27.782	87.016	-1.415	10.999	
Genel giderler	€/yıl	750	1.500	3.500	3.500	5.000	
<b>Toplam gider</b>	<b>€/yıl</b>	<b>164.130</b>	<b>260.097</b>	<b>502.491</b>	<b>525.833</b>	<b>584.696</b>	
Elektrik üretim giderleri	ct/kWh <sub>el</sub>	26,53	20,91	17,26	18,06	13,93	
<b>Kâr/Zarar</b>	<b>€/yıl</b>	<b>-20.658</b>	<b>26.282</b>	<b>83.516</b>	<b>-4.915</b>	<b>5.999</b>	
<b>Toplam sermaye kârlılığı</b>	<b>%</b>	<b>-3,8</b>	<b>11,0</b>	<b>16,4</b>	<b>3,3</b>	<b>4,9</b>	

a. Yenilenebilir kaynaklar

şın NawaRo bonusu kadar yükseltilmiş olan elektrik satış fiyatı vardır (6.86 ct/kWh<sub>el</sub>), bu da 275.000 €/yıl gibi bir fazla gelire neden olmuştur. Atık tesisi daha düşük bir elektrik fiyatı almış, ancak materyal giderleri de çok düşük seviyede kalmıştır. Kullanılan atıklar için tasfiye geliri elde edilmiş olsaydı, ekonomikliğin daha da yükselmesi söz konusu olabilirdi.

Tesis VIII'in kârı benzer materyal kullanımına rağmen Tesis VI'dan daha düşük kalmıştır. EEG uyarınca 500 kW'tan daha büyük güçler için çok daha düşük elektrik satış fiyatları söz konusu olduğu için, tesis VIII'in elektriğinin ortalama satış fiyatı, tesis VI'nunkinden yaklaşık % 14 daha düşüktür. Bu, yatı-

rımlardaki vergi indirimindeki farklılıkla da karşılanamaz.

500 kW güce sahip katı madde fermantasyon tesisi yaklaşık 30.000 € tutarında kâr elde etmiştir. Materyal yönetimine bağlı olarak ortaya çıkan özellikle yüksek çalışma süreleri, ayrıca da daha yüksek sabit giderler, aynı güçle % 100 oranında NaWaRo kullanan yaş fermantasyon tesisi VI'nın kârından daha düşük bir kâr elde edilmesine neden olmuştur.

İkmal edilen biyogaz (biyometan) için henüz bir piyasa fiyatı bulunmadığı için, ikmal tesisi için hizmet-gider hesabı yerine sadece giderler belirtilecektir. Münferit pozisyonlar altında listelenen giderlerin her

Tablo 8.13: Model tesisleri VI-IX için hizmet-gider hesabı

Hizmet – gider hesabı	Birim	VI	VII	VIII	IX
		% 100 NawaRo 500 kW <sub>el</sub>	Biyolojik atıklar 500 kW <sub>el</sub>	% 100 NawaRo 1000 kW <sub>el</sub>	Katı madde fermentas- yonu 500 kW <sub>el</sub>
<i>Hizmetler</i>					
İkmal edilen elektrik miktarı	kWh/yıl	4.013.453	4.001.798	8.009.141	4.002.618
Ort. satış fiyatı	ct/kWh	18,52	11,66	15,93	18,52
Elektrik satışı	€/yıl	743.194	466.606	1.276.023	741.274
Isı satışı	€/yıl	27.525	27.450	49.900	27.455
<b>Hizmetler toplamı</b>	<b>€/yıl</b>	<b>770.719</b>	<b>494.055</b>	<b>1.325.922</b>	<b>768.729</b>
<i>Değişken giderler</i>					
Materyal giderleri	€/yıl	335.818	40.000	638.409	348.182
İşletim maddeleri	€/yıl	51.807	57.504	106.549	50.050
Tamir ve bakım	€/yıl	78.979	76.498	152.787	81.876
Laboratuar analizleri	€/yıl	1.440	1.440	2.880	1.440
<b>Değişken giderler toplamı</b>	<b>€/yıl</b>	<b>468.045</b>	<b>175.442</b>	<b>900.625</b>	<b>481.548</b>
<i>Katkı payı</i>	<i>€/yıl</i>	<i>302.674</i>	<i>318.613</i>	<i>425.297</i>	<i>287.182</i>
<i>Sabit giderler</i>					
AfA	€/yıl	135.346	143.657	226.328	147.307
Faiz	€/yıl	32.746	35.255	54.299	41.284
Sigorta	€/yıl	8.187	8.814	13.575	10.321
İşçilik	Ah/d	7,24	6,31	11,19	9,41
İşçilik	Ah/yıl	2.641	2.304	4.086	3.436
İşçilik	€/yıl	39.613	34.566	61.283	51.544
<b>Sabit giderler toplamı</b>	<b>€/yıl</b>	<b>215.893</b>	<b>222.291</b>	<b>355.485</b>	<b>250.456</b>
<i>Münferit ücretsiz hizmet</i>	<i>€/yıl</i>	<i>86.781</i>	<i>96.322</i>	<i>69.812</i>	<i>36.725</i>
Genel giderler	€/yıl	5.000	5.000	10.000	5.000
<b>Toplam gider</b>	<b>€/yıl</b>	<b>688.937</b>	<b>402.733</b>	<b>1.266.110</b>	<b>737.004</b>
Elektrik üretim giderleri	ct/kWh <sub>el</sub>	16,48	9,38	15,19	17,73
<b>Kâr/Zarar</b>	<b>€/yıl</b>	<b>81.781</b>	<b>91.322</b>	<b>59.812</b>	<b>31.725</b>
<b>Toplam sermaye kârlılığı</b>	<b>%</b>	<b>14,0</b>	<b>14,4</b>	<b>8,4</b>	<b>7,1</b>

biri, doğalgaz şebekesine ikmale kadar bütün prosesi kapsamaktadır. Bunun alt kümesi olarak toplam giderlerin yanı sıra ham gaz ve saf gaz hazırlanmasının özel giderleri (biyogaz tesisi gaz hazırlama ünitesi) de belirtilmiştir. Her bir üniteye farklı gaz ve enerji miktarları üretildiği için fiyatlar doğrudan karşılaştırılabilir değildir. Örneğin ikmal için propan karıştırılmıştır, bu gaz enerji içeriği enerji içeriğine göre üretilen biyogazdan çok daha düşük fiyatlıdır. Bundan ötürü ikmal gazı için saf gaza kıyasla daha düşük özel giderler oluşmaktadır.

### 8.3 Hassasiyet analizi

Hassasiyet analizi sayesinde, bir biyogaz tesisinin ekonomikliği üzerinde hangi faktörlerin en büyük etki sahibi olduğu belirlenecektir. Tablo 8.15 ve tablo 8.16'da, belirtilen büyüklüklerle ilgili faktörler değiştiği zaman, kârın da ne şekilde değiştiği gösterilmektedir.

En büyük etkiyi gaz veriminde, metan oranında, elektrik veriminde ve özellikle yüksek NaWaRo (yenilenebilir atıklar) oranına sahip tesislerdeki materyal giderlerindeki değişimler yapmaktadır. Tesisin özel alım giderleri arttıkça, alış maliyetlerindeki değişiklik önemi de aynı oranda artmaktadır, bu da, bu

Tablo 8.14: Model tesisi X için hizmet-gider hesabı

Gider hesabı	Birim	X Gaz hazırlama
<i>Hizmetler</i>		
İkmal edilen gaz	m <sup>3</sup> /yıl kWh/yıl	2.053.155 22.581.100
Saf gaz	m <sup>3</sup> /yıl kWh/yıl	1.900.128 18.621.253
Ham gaz	m <sup>3</sup> /yıl kWh/yıl	3.652.570 19.021.710
<i>Değişken giderler</i>		
Materyal giderleri	€/yıl	638.409
İşletim maddeleri	€/yıl	361.763
Tamir ve bakım	€/yıl	61.736
Laboratuvar analizleri	€/yıl	2.880
<b>Değişken giderler toplamı</b>	<b>€/yıl</b>	<b>1.064.788</b>
Katkı payı	€/yıl	-1.064.788
<i>Sabit giderler</i>		
AfA	€/yıl	267.326
Faiz	€/yıl	75.358
Sigorta	€/yıl	18.839
İşçilik	Ah/d	11,75
İşçilik	Ah/yıl	4.291
İşçilik	€/yıl	64.358
<b>Sabit giderler toplamı</b>	<b>€/yıl</b>	<b>425.881</b>
Münferit ücretsiz hizmet	€/yıl	-260.897
Genel giderler	€/yıl	10.000
<b>Maliyetler</b>	<b>€/yıl</b>	<b>1.500.670</b>
<b>İkmal gazı hazırlama</b>		
<b>İkmal gazı özel giderleri</b>	<b>€/m<sup>3</sup></b> <b>ct/kWh</b>	<b>0,73</b> <b>6,65</b>
<i>Bu giderden:</i>		
<b>Saf gaz hazırlama gideri</b>	<b>€/yıl</b>	<b>1.334.472</b>
<b>Özel giderler</b>	<b>€/m<sup>3</sup></b>	<b>0,70</b>
<b>Saf gaz hazırlama</b>	<b>ct/kWh</b>	<b>7,17</b>
<i>Bu giderden:</i>		
<b>Ham gaz hazırlama gideri</b>	<b>€/yıl</b>	<b>1.030.235</b>
<b>Özel giderler</b>	<b>€/m<sup>3</sup></b>	<b>0,28</b>
<b>Ham gaz hazırlama</b>	<b>ct/kWh</b>	<b>5,42</b>

durumun küçük tesislerde büyük tesislere kıyasla daha fazla hissedilmesi anlamına gelir. Çalışma süresi, bakım ve tamir maliyeti ve ısı satışı gibi faktörlerde meydana gelecek değişiklikler daha düşük bir etkiye sahiptir. Ancak özellikle ısı satışında satış daha yüksek ısı kullanımına sahip bir ısınma konsepti gereğince daha yüksek fiyatlarla gerçekleştirilebilseydi, durum daha farklı bir şekilde ortaya çıkardı.

Aynı şekilde elektrik satış fiyatında yaşanacak 1 ct/kWh tutarındaki bir değişikliğin etkisi de büyük olacaktır, ancak pratikte bu faktöre etki etmek imkânsız gibidir. Bu örnek ise iklim koruma bonusunun kaybının nasıl bir etki yaratacağını ortaya koymaktadır. Tesis IV, V ve VIII bu durumda zarar bölgesine girmiş olurlardı.

Ek I'de sadece bir faktörün iyileştirilmesiyle kâr elde etmek mümkün değildir. Ancak gaz veriminin % 5 artmasına karşın maliyetin % 10 düşmesi işletme açısından olumlu bir sonuca neden olurdu.

Tesis II ve III daha düşük özel yatırımları ve yüksek elektrik satış fiyatı sayesinde daha yüksek bir istikrara sahiptir ve bazı parametrelerde yaşanacak negatif değişimlerde bile kâr bölgesinde kalır. Aynı sonuç atık tesisi için de geçerlidir (VII). Burada asıl gerekçe çok düşük materyal giderleridir.

#### 8.4 Seçilen bazı ısı kullanım seçeneklerinin ekonomikliği

KWK prosesi esnasında ortaya çıkan ısıdan faydalanma, elektrik satışıyla birlikte bir biyogaz tesisinin ekonomik başarısı açısından giderek daha fazla belirleyici bir büyüklük olmaktadır. Isı kullanım imkânlarının buna bir katkı sağlayıp sağlayamayacağı, sağlayacaksa da bunu ne şekilde yapacağı, her şeyden önce satın alınan ısı miktarlarına bağlı bir durumdur. Isı kullanımının ekonomik avantajlarının dayanaklarını Yenilenebilir Enerjiler Yasası'nın KWK bonusu teşkil etmektedir [8-1].

FNR tarafından desteklenen "Geleceğe yönelik biyogaz projelerinde örnek çözümler" başlıklı yarışma çerçevesinde KTBL 2008 yılında 62 biyogaz tesisinin verilerini inceledi. Sonuçlar, biyogaz prosesi dışında kullanılan ısının, üretilen elektriğe kıyasla ortalama olarak sadece % 39'u olduğunu ortaya koydu. Tesislerin 26'sı ısıyı kendi binalarında (atölye, büro) kullanmaktadır, 17 tesis ahır ısıtmaktadır, 16 tesis hastane, yüzme havuzu, okul ve çocuk yuvası gibi kamu binalarına ısı tedarik etmektedir, 13 tesiste de ısı kurutma işleminde kullanılmaktadır (bkz. Şekil 8.1).

Konutlar, mikrogaz şebekeleri, merkezi ısıtma veya bahçe bitkileri yetiştiriciliği ısı alıcısı olmak bakımından ikinci sırada yer almışlardır. çünkü bu tür ısı kullanımı yüksek oranda biyogaz tesisi için seçilen bölgeye bağlıdır.

Aşağıdaki alt bölümlerde seçilen bazı ısı kullanım yöntemlerinin ekonomikliği incelenmekte ve ortaya konulmaktadır. Model tesislerde de olduğu gibi, EEG

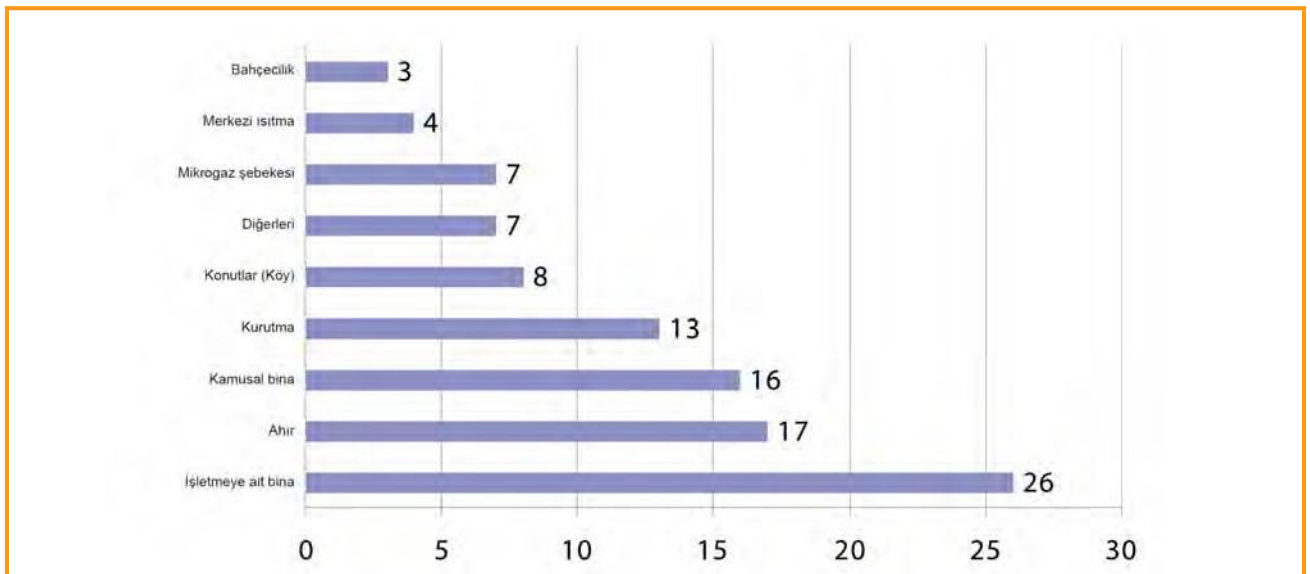


Tablo 8.15: Model tesisler I-V için hassasiyet analizi

Hassasiyet analizi €/yıl bazında kâr değişimi	I	II	III	IV	V
	% 30 sıvı gübre, % 70 NawaRo			% 100 NawaRo	Yan ürünler
	75 kW <sub>el</sub>	150 kW <sub>el</sub>	350 kW <sub>el</sub>	350 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>
Maliyetinin % 10 oranında değişmesi	6.965	9.722	14.413	14.779	15.193
Materyal giderlerinin % 10 oranında değişmesi	5.176	9.580	22.656	23.807	27.360
Gaz randımanı/metan oranı değişikliği Elektrik veriminde % 5 değişme	6.784	13.793	23.309	21.953	33.358
Çalışma saati süresinde % 10 değişiklik	1.078	1.781	3.346	3.396	3.312
Bakım ve tamirat maliyetinde % 10 değişiklik	1.290	1.766	5.737	5.817	7.366
Elektrik satış fiyatında 1 ct/kWh değişiklik	6.011	12.035	27.948	28.001	39.998
Isı satışının % 10 oranında değişmesi	1.166	2.114	5.038	5.047	6.859

Tablo 8.16: Model tesisleri VI ila IX için hassasiyet analizi

Hassasiyet analizi €/yıl bazında kâr değişimi	VI	VII	VIII	IX
	% 100 NawaRo 500 kW <sub>el</sub>	Biyolojik atıklar 500 kW <sub>el</sub>	% 100 NawaRo 1.000 kW <sub>el</sub>	Katı madde fermantasyonu: 500 kW <sub>el</sub>
Maliyetinin % 10 oranında değişmesi	17.628	18.772	29.420	19.891
Materyal giderlerinin % 10 oranında değişmesi	33.582	4.000	63.841	34.818
Gaz randımanı/metan oranı değişikliği Elektrik veriminde % 5 değişme	31.465	17.368	43.049	31.381
Çalışma saati süresinde % 10 değişiklik	3.961	3.457	6.128	6.436
Bakım ve tamirat maliyetinde % 10 değişiklik	7.898	7.650	15.279	6.174
Elektrik satış fiyatında 1 ct/kWh değişiklik	40.135	40.018	80.091	40.026
Isı satışının % 10 oranında değişmesi	6.881	6.862	12.475	6.864



Şekil 8.1: KWK prosesli biyogaz tesislerinde atık ısı faydalanım yolları [8-7]

2009 uyarınca KWK gelirlerinin hesaplanmasının dayanağını, işletmeye alınma yılı olan 2011 teşkil etmektedir. EEG içinde bulunan bonus da yıllık % 1 oranında bir degresyona tabiyse de, KWK bonusu pozitif-negatif listesinde belirtilen çekincelerin de dikkate alınmasıyla 2011 yılı için üretilen her kWh elektrik miktarı için 0,0294 €'dur.

### 8.4.1 Isı kullanım yolu olarak kurutma

#### 8.4.1.1 Tahıl kurutma

Tahıl kurutma biyogaz atık ısısından faydalanımın zamanla sınırlanmış bir versiyonudur. Tahıl, depolanma yeteneğinin süresini uzatmak için kurutulur. Ortalama olarak hasat edilen tahılın yaklaşık % 20'sinin % 20'lik tane neminden % 14 neme kadar kurutulması gerekmektedir - bu da genellikle sürekli kurutucular veya arabalı kurutucular yardımıyla gerçekleşmektedir. Tahılın BHKW atık ısı ile kurutulmasının avantajı, ısının örneğin bina ısıtılması gibi diğer ısı kullanım imkanlarının azaldığı yaz aylarında kullanılmasıdır.

Kurutma işleminin BHKW atık ısıyla gerçekleştirilmesinin, fosil enerji taşıyıcılarına kıyasla daha ekonomik olup olmadığını aşağıdaki hususlar ortaya koymaktadır:

Varsayımlar:

- Tahıl bir sürekli kurutucu ile kurutulacaktır.
- Hasat miktarının % 20'sindeki % 20'lik tane nem oranı, % 14'e inecek şekilde kurutulacaktır,
- Hasat miktarı 800 t/yıl – buna bağlı olarak da kurutulacak miktar 160 t/yıl'dır.
- Kurutma tesisi günde 20 saat, toplamda da yılda 10 gün çalışacaktır.

Belirtilen dönemde 160 t/yıl'lık bir tahıl miktarının kurutulmasında gereken ısı değiştirici gücü 95 kW olarak hesaplanmaktadır. Böylelikle yılda 18.984 kWh ısı enerjisi gerekmektedir.

Örneğin model tesis III'ün ısı üretimi 3.364.804 kWh/yıl ise, bu durumda 160 ton tahılın kurutulması için biyogaz tesisinde üretilen ısının yaklaşık % 0,6'sı kullanılacaktır. Kurutma için kullanılan enerji miktarı, yaklaşık 1.900 litre fuel oil'e eşdeğer miktardadır.

Tablo 8.17'de tahılın ısı taşıyıcılar üzerinden biyogaz ve fuel oil ile kurutulmasının iş ve giderleri karşılaştırılmıştır.

Fuel oil fiyatlarının 0,70 €/l olduğu kabul edilirse, fuel oil yerine biyogaz kullanılmasıyla yaklaşık 1.318 €/yıl tasarruf edilecektir. Bu durum, biyogaz ile kurutma seçeneğinde oluşan değişken giderlerin, fuel oil seçeneğine göre çok daha düşük olduğunu ortaya koymaktadır. Eşdeğer elektrik miktarı için KWK

Tablo 8.17: Biyogaz veya fuel oil ile tahıl kurutmanın iş - gider hesabı

Parametre	Birim	Tahıl kurutma yöntemi	
		Biyogaz	Fuel oil
<b>Hizmetler</b>			
KWK bonusu	€/yıl	470	0
<b>Giderler</b>			
Değişken giderler toplamı	€/yıl	224	1.673
Sabit giderler toplamı	€/yıl	1.016	1.132
İş toplamı	€/yıl	390	390
Genel giderler toplamı	€/yıl	150	150
<b>Giderler toplamı</b>	<b>€/yıl</b>	<b>1.780</b>	<b>3.345</b>
<b>Özel giderler</b>			
<b>Ton satılabilir tahıl başına gider</b>	<b>€/t</b>	<b>1,66</b>	<b>4,24</b>

bonusu yaklaşık 470 € tutarında hesaplandığı takdirde, BHKW atık ısı ile tahıl kurutma işleminde yılda 2.035 € tutarında bir gider avantajı sağlanacaktır. Hasat miktarına bağlı olarak biyogaz ile kurutma giderleri satılabilir tahıl için ton başına 1.66 € olarak hesaplanırken, aynı gider fuel oil için 4.24 €/t tutarındadır.

Tahıl kurutulması tek kurutma işlemi olduğu takdirde, EEG 2009 uyarınca KWK bonusuna hak kazanmak için yerine getirilmesi gereken uygunluk gereksinimi I.3 incelenmeli ve uygulanmalıdır: "...ısı üretimi nedeniyle ortaya çıkan ek masraflar (...) en azından kilowatt ısı güç başına 100 € tutarında olmalıdır". Bundan ötürü, bu kurutma işlemine gereğinde KWK bonusuna hak kazanmayı sağlayacak ek yatırımlar yapılmalıdır. Gerçi bu durumda giderler 3.023 €/yıl'a yükselecek, bu durumda da biyogaz ısı kullanımından kaynaklanan gider avantajı neredeyse dengelenecek ve satılabilir tahıl için biyogaz üzerinden ton başına 3.24 € olan özgül kurutma giderleri, 4.24 €/t olan fuel oil gideri karşısında yükselecektir.

Bu hesaplama örneğinin de gösterdiği gibi, tahıl kurutması için kullanılan düşük miktardaki bu atık ısı kullanımı bile tek ısı kullanımı seçeneği olarak ekonomik değildir. Bu seçeneğin sezonluk tamamlayıcı tedbiri olarak başka ısı kullanım konseptleriyle birlikte gerçekleştirilebilirliğinin incelenmesi uygun olacaktır.

Ancak kurutma amaçlı olarak daha büyük ısı miktarları satın alındığı takdirde (örneğin ücret karşılığı kurutma), aşağıdaki [8-8] örnek hesaplamada da görüldüğü üzere ekonomiklik sağlanmaktadır:

Tablo 8.18: Biyogaz BHKW atık ısı ile tahıl kurutma işleminde iş-gider hesabı, KWK bonusu ([8-9], [8-8]'e göre değiştirilmiş) dikkate alınmadan

	Birim	150 kW <sub>el</sub> Çatı bacası kurutucusu	500 kW <sub>el</sub> Çatı bacası kurutucusu	500 kW <sub>el</sub> İtmeli dönüşlü kurutucu	150 kW <sub>el</sub> Araba kurutma	500 kW <sub>el</sub> Araba kurutma
<b>Varsayımlar</b>						
Kurutma tesisi için gereken ısının bir ısı kaynağı (fuel oil) kullanımını yerine BHKW ısının bir ısı değiştirici üzerinden kazanılması ile gerçekleşmektedir						
Fermentör ısıtma için kullanılan ısının çıkartılmasından sonra biyogaz tesisinin faydalanılabilir ısı miktarı	MWh/yıl	1.136	3.338	3.338	1.136	3.338
Biyogaz <sup>a</sup> tesisinin kullanılan atık ısı	%/yıl	9	9	13	9	9
Kullanılan atık ısı	kWh	102.240	300.420	433.940	102.240	300.420
ürün miktarı (tahıl)	t YM/yıl	1.023	3.009	4.815	1.023	2.972
Kurulu ısı güç	kW	88	283	424	88	283
Toplam yatırım <sup>b</sup>	€	48.476	93.110	140.010	25.889	64.789
<b>Giderler</b>						
Yatırım ve çalışır halde tutma	€/yıl	4.966	10.269	15.468	3.025	8.182
Elektrik	€/yıl	844	1.878	2.450	738	1.633
İşçilik	h/yıl	260	260	293	326	456
	€/yıl	3.658	3.658	4.116	4.573	6.402
Sigorta	€/yıl	251	479	721	134	332
Giderler toplamı	€/yıl	9.979	16.544	23.048	8.796	17.005
<b>KWK bonusu olmadan kazanım</b>						
Malın <sup>c</sup> kurutma ile değer artışı	€/yıl	13.105	38.550	61.684	13.105	38.076
KWK bonusu	€/yıl	0	0	0	0	0
Hizmetler toplamı		13.105	38.550	61.684	13.105	38.076
<b>KWK bonusu olmadan kazanım</b>						
Kâr	€/yıl	3.126	22.006	38.636	4.309	21.071
Kâr eşiği	€/t YM	3,06	7,31	8,02	4,21	7,09

a. Kurutma dönemi Temmuz ve Ağustos, ancak bu dönemde çatı bacası kurutucusu ile araba kurutucusu biyogaz tesisinin termik gücünün % 50'sini kullanır, itmeli dönüşlü kurutucu ise biyogaz tesisinin termik gücünün % 75'sini kullanır

b. Kurutucu yatırımı, EEG Ek 3'den doğan hak talebi koşulları uyarınca; Ek maliyetler şartlar yerine getirildiğinde 100,- €/kurulu termik güç tutarındadır

c. Değer artışı daha iyi depolama yeteneği, daha iyi satış şansı sağlar: 10 €/t YM

Tablo 8.19: Biyogaz BHKW atık ısı ile tahıl kurutma işleminde iş-gider hesabı, KWK bonusu ([8-9], [8-8]'e göre değiştirilmiş) dikkate alınarak

	Birim	150 kW <sub>el</sub> Çatı bacası kurutucusu	500 kW <sub>el</sub> Çatı bacası kurutucusu	500 kW <sub>el</sub> İtmeli dönüşlü kurutucu	150 kW <sub>el</sub> Araba kurutma	500 kW <sub>el</sub> Araba kurutma
<b>KWK bonusu dahil kazanım</b>						
Malın <sup>a</sup> kurutma ile değer artışı	€/yıl	13.105	38.550	61.684	13.105	38.076
KWK bonusu	€/yıl	2.576	7.805	11.274	2.576	7.805
Hizmetler toplamı		15.681	46.355	72.958	15.681	45.881
<b>KWK bonusu dahil kazanım</b>						
Kâr	€/yıl	5.702	29.811	49.910	6.885	28.876
Kâr eşiği	€/t YM	5,57	9,91	10,37	6,73	9,72

a. 150 kW tesisin elektrik referans değeri : 0,857; 500 kW tesisin elektrik referans değeri : 0,884

Tablo 8.20: Biyogaz BHKW atık ısısı ile tahıl kurutma işleminde fuel oil tasarrufu

	Birim	150 kW <sub>el</sub> Çatı bacası kurutucusu	500 kW <sub>el</sub> Çatı bacası kurutucusu	500 kW <sub>el</sub> İtmeli dönüşlü kurutucu	150 kW <sub>el</sub> Araba kurutma	500 kW <sub>el</sub> Araba kurutma
<b>Fosil enerji taşıyıcılarının ikamesi</b>						
Tasarruf edilen fuel oil miktarı <sup>a</sup>	l/yıl	14.700	34.700	51.410	11.760	34.235
Tasarruf edilen fuel oil giderleri <sup>b</sup>	€/yıl	10.290	24.290	35.987	8.232	23.965

a. Kurutmada fosil enerji kaynağı olarak fuel oil kullanılması durumunda tasarruf edilen fuel oil miktarı. Fuel oil sıcak hava üretici verimi % 85  
b. Fuel oil fiyatı: 0,7 €/l

Biyogaz tesisinin ürettiği ısı miktarının % 9'unun yaz ayları olan Temmuz ve Ağustos'ta yaklaşık 50 gün kullanılacağından yola çıkılmaktadır. Ayrıca ısı üretimi için ek masrafların bir kilowatt ısı güç için en az 100 € olduğu, böylece güç açısından KWK bonusu alma hakkının dikkate alınabileceği de kabul edilmektedir.

Tablo 8.18 ve tablo 8.19 bu şartlar altında küçük biyogaz tesislerinde (150 kW) bile, tahılın daha iyi depolanabilme ve daha iyi satış şansı nedeniyle oluşan değer artışının 10 €/t YM ile değerlendirildiği kabul edildiğinde, hatırı sayılır bir kâr elde edilmesinin mümkün olduğunu göstermektedir. Sadece KWK bonusunun hesaba dahil edilmesi, kurutma seçeneğinin giderlerini karşılamaya yeterli değildir (bkz. ayrıca Tablo 8.19).

Biyogaz ısı kaynağı olarak fuel oilin yerine ikame edildiğinde, sadece tasarruf edilen fuel oil giderleri bile BHKW atık ısısı ile kurutma seçeneğinin toplam giderlerini karşılamaktadır (bkz. Tablo 8.18 ve 8.20).

Kullanılan teknikler karşılaştırıldığı zaman arabalı kurutma % 55 oranındaki daha düşük yatırımına rağmen, çatılı baca kurutucusuyla karşılanabilir niteliktedir. Bunun sebebi, arabalı kurutucuda % 25 veya % 75 oranında daha yüksek (örneğin romörk değişimi) çalışma ve makine giderleridir.

#### 8.4.1.2 Fermantasyon artıklarının kurutulması

Fermantasyon artıklarının kurutulması KWK prosesinden kazanılan ısının değerlendirilmesinde desteklenmeye değer bir yöntem olarak değerlendirilmiş ve bu sayede EEG pozitif listesine (2009) girmiştir. Bu ısı kullanım seçeneği, hazırlanan ürün gübre olarak kullanılacak ise KWK bonusuna da hak kazandırmaktadır. Ancak ısı değerlendirmesinin bu formu biyogaz tesisinin ekonomikliği üzerine pozitif olarak ancak başka gelir getirici ısı kullanım opsiyonları bulunmadığı takdirde etkili olabilir, çünkü gelirler genellikle KWK bonusları ile sınırlı kalmaktadır. Tarlaya uygulama giderlerinde bir düşme veya kurutma prosesi nedeniyle oluşacak değer artışı, sadece kurutulan

ürün için değerlendirme veya pazarlama konseptleri mevcut olduğu takdirde ulaşılabilir.

#### 8.4.2 Isı kullanım yöntemi olarak sera ısıtması

Seralar büyük ısı miktarlarını uzun bir dönem için satın alabilirler, bu bir yandan güvenilir bir gelir sağlar, öte yandan sera işletmecisi için düşük ısı temini giderleri anlamına gelmektedir. Müteakip örnekte farklı ürünler için ısı temini ve iki farklı sera büyüklüğü tanıtılacaktır.

Süs bitkisi yetiştiriciliğinde, kültüre özgü üç özel sıcaklık alanı (soğuk" (< 12 °C), bir "ılıman" (12-18 °C) bir de "sıcak" (> 18 °C) bulunmaktadır:

Ekonomiklik hesabı için 500 kW kurulu elektrik gücüne sahip bir biyogaz tesisi örnek olarak ele alınacaktır. KWK tesisi tarafından üretilen ısının toplam % 30'unun fermentörün ısıtılması için kullanılacağı varsayılmaktadır.

Bu şekilde üretilen ısının yılda yaklaşık 3.200 MWh'e karşılık gelen % 70'lik kısmı, ısıtma amaçlı olarak kullanılabilir.

Tablo 8.21'de 4.000 m<sup>2</sup> ila 16.000 m<sup>2</sup> arasında değişen bir cam altı alana sahip olan seralardaki farklı kültürlerin ısı ihtiyaçları ile 500 kW<sub>el</sub> gücünde bir BHKW'nin atık ısı potansiyelinin kullanımı, kültür ve sera büyüklüğü bağlamında karşılaştırılmaktadır.

Bu hesap örneğinde fuel oil ile ısı üretimi yerine BHKW atık ısısı ile ısı üretimi ele alınmaktadır. BHKW atık ısısı bu esnada temel yükü karşılamaktadır ve fuel oil ısıtıcısı beklenmeyen fazla ısı yükleri karşılamak için hazır durumdadır. Beklenmeyen ısı yüklerinin karşılanmasından doğan maliyetler hesaplarda dikkate alınmıştır (bkz. Tablo 8.22).

Isı BHKW'den sıcak su formunda alınmakta ve uygun uzunlukta bir yakın ısı aktarımı hattıyla seraya götürülmektedir.

Sera ısıtması her ne kadar ısı kullanım yöntemi olarak EEG pozitif listesine (2009) alınmışsa da, KWK bonusuna hak kazanmak için fosil kaynaklı ısı kullanımıyla aynı miktarda ısı ikame edilmesi ve ısı temini

için ek maliyetlerin kW ısı güç başına asgari 100 € tutarında olması koşullarının da sağlanması gerekmektedir.

Müteakip hesap örneğinde biyogaz tesisi tarafından ısı hazırlanması için ek maliyetler EEG tarafından talep edilen kW ısı güç başına 100 € tutarını aşmakta olup, güç olarak KWK bonusuna hak kazanılması dikkate alınmaktadır.

Bunun ötesinde, biyogaz tesisi işletmecisinin ısıyı 0,023 €/kWh karşılığında sattığı varsayılmaktadır. Bundan ötürü KWK bonusunun yanı sıra satıştan elde edilen ek gelirler de bulunmaktadır.

Süs bitkilerini “soğuk” ortamda yetiştiren sera işletmecisi için yukarıda belirtilen 0,023 €/kWh ısı giderlerine ve ısı hattı için ek yatırım giderlerine rağmen, fuel oil ile ısıtmaya göre 10.570 veya 78.473 €/yıl tutarında bir gider avantajı ortaya çıkmaktadır (bkz. Tablo 8.22).

Bu hesaplarda fuel oil fiyatı 70 Cent/l olarak dikkate alınmıştır.

“ılımlı” ve “sıcak” kültür yönetimleri için tasarruf potansiyeli daha yüksek ısı kullanımı nedeniyle, sabit giderlerdeki küçük bir artışa rağmen % 67’ye kadar çıkabilmektedir.

### 8.4.3 Isı kullanım seçeneği olarak belediyeler bölgesel ısı şebekesi

Yasal çerçeve koşulları, yeniden düzenlenen Yenilenebilir Enerjiler Isı Yasası Enerji-Güç Kuplağı Yasası ve eyaletlerin ve bölgelerin buna bağlı finansman imkanları, ayrıca düşük faizli krediler, eski ve yeni binaların ısı şebekelerine bağlanmalarına dayanak oluşturmaktadır. Tablo 8.23’de ısı iklimli yapılacak bir yerleşim yerinin referans verileri planlama örneğinde gösterilmiştir. Burada ahşap talaşı peleti kullanılması ile bir biyogaz tesisinin atık ısı karşılaştırılmıştır. Burada

temel yük (güç ihtiyacının yaklaşık % 30’u) bir ahşap peleti kazanı veya bir biyogaz tesisi tarafından karşılanacaktır, maksimum yükün karşılanması bir kalorifer yakıtlı ısı kazanı tarafından gerçekleştirilecektir (güç ihtiyacının yaklaşık % 70’i).

Yerleşim yeri 200 konuttan, bir okuldan ve bir idari binadan oluşmaktadır. Isı, bir sıcak su ısı şebekesi üzerinden tüketiciye dağıtılmaktadır. Yerleşim yerinin 3.6 MW büyüklüğünde bir ısı gücü ihtiyacı vardır, bundan ötürü ahşap pelet kazanı veya biyogaz tesisi asgari 1.1 MW ısı gücüne sahip olmalıdır.

Bu örnekler için 3.15 Mily. € (biyogaz) veya 3.46 Mily. € (ahşap peleti tesisi) tutarında yatırımlar söz konusu olacaktır. Biyogaz tesisi için yapılacak olan yatırım ısı üretimine dahil edilmeyecektir, buradan da daha düşük yatırım sonucu çıkmaktadır.

Bölgesel ısıtma hattı (ana hatla birlikte), aktarma istasyonu ve ev bağlantıları % 70 ile yatırımların en büyük kısmını oluşturmaktadır. Bölgesel ısıtma hattı için ortalama 410 €/m tutarında bir yatırım ihtiyacı saptanmış olup, bunun ısı borusu materyaline düşen kısmı sadece 50 ila 90 €/m’dir.

Biyogazla çalışan BHKW atık ısı satış fiyatına bağlı olarak ısı elde etme gideri 8.3 ila 11.6 ct/kWh’dir. Isı dağıtım giderlerinin payı 3.17 ct/kWh’dir. Bir başka önemli gider kalemini fuel oilin hazır bulundurulması (beklenmeyen ısı yük ihtiyaçları için) oluşturmaktadır. Bu örnekte, ahşap pelet kullanan ısıtıcıyla rekabet edebilmek için biyogazla çalışan BHKW atık ısının fiyatının 2.5 ct/kWh dolayında olması gerekir.

### 8.5 Farklı ısı kullanım seçeneklerinin nitel tasnifi

Tablo 8.25 farklı ısı kullanım seçeneklerinin nitel tasnifine dair genel bir bilgi sunmaktadır.

Tablo 8.21: Seraların yıllık enerji ihtiyacı ve 500 kW<sub>el</sub> gücünde biyogaz tesisinin atık ısı potansiyelinin farklı kültürler ve sera büyüklüklerinde kullanımı

Kültür yönetimi	Süs bitkileri soğuk		Süs bitkileri ılıman		Süs bitkileri sıcak	
	4.000	16.000	4.000	16.000	4.000	16.000
Cam altı yüzeyi [m <sup>2</sup> ]	4.000	16.000	4.000	16.000	4.000	16.000
Isıtmak için gereken ısı miktarı [MWh/yıl]	414	1.450	1.320	4.812	1.924	6.975
500 kW <sub>el</sub> gücünde bir biyogaz tesisinin kullanılan atık ısı potansiyeli [%]	13,3	46,4	42,2	100	61,6	100

Tablo 8.22: “Soğuk” kültür yetiştiriciliğinde iki sera büyüklüğü örneğinde fuel oil ve biyogaz BHKW atık ısı ile ısı üretiminde gider karşılaştırması

	Birim	Cam altı alanı			
		4.000 m <sup>2</sup>		16.000 m <sup>2</sup>	
		Isı temini yöntemi			
		Fuel oil	Biyogaz	Fuel oil	Biyogaz
Yatırım	€	86.614	141.057	155.539	216.861
Değişken giderler toplamı (tamirat ve yakıt giderleri)	€/yıl	37.770	22.235	129.174	45.105
Sabit giderler toplamı (amortisman, faiz, sigorta)	€/yıl	7.940	2.930	14.258	19.879
İşçilik toplamı	€/yıl	390	390	390	390
Genel giderler toplamı	€/yıl	500	500	500	500
Giderler toplamı	€/yıl	46.625	36.055	144.348	65.874
Fuel oil / Biyogaz ısıtıcısı farkı	€/yıl		10.570		78.473
Kalorifer yakıtına karşı biyogaz tasarrufu	%		22,7		54,4

Tablo 8.23: Temel yükü biyogaz kullanan BHKW atık ısı ve ağaç talaşı peleti yakılmasıyla karşılanan belediyeye ait bölgesel ısıtma şebekesi için ısı üretiminde varsayımlar ve temel veriler [8-10'a göre]

	Birim	Biyogaz BHKW atık ısı	Ağaç talaşı peleti
Hane adedi	Adet		200
Okul	Öğrenci		100
Yönetim/büro binası	Çalışanlar		20
<b>Toplam ısı gücü ihtiyacı</b>	<b>MW</b>		<b>3,6</b>
Biyogaz/ağaç talaşı peleti ısı gücü ihtiyacı	MW/yıl		1,1
Brülör ısı gücü ihtiyacı	MW/yıl		2,6
<b>Toplam ısı miktarı</b>	<b>MWh/yıl</b>		<b>8.000</b>
<b>biyogaz atık ısı/ısıtma şebekesi peleti ısı</b>	<b>MWh/yıl</b>	<b>5.600</b>	<b>5.200</b>
Şebeke uzunluğu	m		4.000
Yıllık ısı ihtiyacı	kWh/yıl		6.861.000

Tablo 8.24: Belediyeye ait bölgesel ısıtma şebekesi için biyogaz BHKW atık ısı satış fiyatına bağlı olarak ısı tedarik giderleri ve yatırım ihtiyacı [8-10]

Biyogaz atık ısı satış fiyatı	Birim	BHKW atık ısı			Ağaç talaşı peleti
		1	2,5	5	
Yatırım ihtiyacı <sup>a</sup>	€		3.145.296		3.464.594
Isı dağıtım <sup>b</sup> için yatırım ihtiyacı	€			2.392.900	
Giderler	€/yıl	571.174	655.594	796.294	656.896
Isı üretim giderleri	ct/kWh	8,32	9,56	11,61	9,57
Bunun içindeki ısı dağıtım giderleri <sup>b</sup>	ct/kWh			3,17	

a. İçerdikleri: Isıtma ve teknik binası, maksimum yükü karşılamak için tesis bileşenleri (brülör ve yağ deposu), ortak tesis kısımları, ( ara depo, elektronik teçhizat, ölçüm ve düzenleme sistemleri, sıhhi tesisat, havalandırma ve klima sistemleri), merkezi ısıtma şebekesi, yapı yan giderleri (planlama ve izin).

b. Biyogaz tesisi yatırımın bir parçası değildir. Isı BHKW'den sonra burada ele alınan şebekeye verilecektir.

Tablo 8.25: Çeşitli ısı kullanım seçeneklerinin nitel tasnifi

Isı kullanım seçeneği Isı köprüsü	Yatırımlar	Isı satış miktarı	Isı üretimi (ısı satışının sürekliliği)	KWK bonusu	Yedek fosil enerji kaynağı
<b>Kurutma</b>					
- Tahıl	++/+	0	-	(-) <sup>a</sup>	+
- Fermantasyon artıkları	0	++	++	+	-
- Ahşap talaşı peleti	+/0	+	0	(-) <sup>a</sup>	0/-
<b>Isıtma</b>					
- Bahçecilik	+/0	++	0 <sup>b</sup>	+	++
- Konut binaları	-	+/ <sup>++c</sup>	+ <sup>d</sup>	+	++
- Sanayi yapıları	+/0	+/ <sup>++c</sup>	++ <sup>d</sup>	+	++
- Ahır binası	+/0	0 <sup>e</sup>	0	+	+
<b>Soğutma</b>					
- Mandıralar	- <sup>f</sup>	++	++	+	++
- Süt ön soğutması	- <sup>f</sup>	0	+	-	-

++ = çok iyi veya yatırımlarda: Çok düşük

+ = iyi veya yatırımlarda: düşük

0 = orta veya yatırımlarda: nötr

- = kötü veya yatırımlarda: Yüksek veya çok yüksek

a. KWK bonus hakkı sadece ısı hazırlama nedeniyle oluşan ek maliyetler için bir kilowatt ısı güç için asgari 100 € tutarında ise kazanılır.

b. Isı satışı gereğinde sadece kış aylarında ve sıcaklık seviyesine göre, kültüre ve sera büyüklüğüne göre çok farklı olabilir

c. Isıtılacak konutun bileşimine göre yoğun yerleşimli ve kötü yalıtımlı binalar, ayrıca belediyeye ait ve büyük sanai alıcılar için ilginç olabilir

d. Sadece temel yükün ikamesi için kullanılacak. Maksimum yük başka enerji kaynakları tarafından karşılanmalıdır.

e. Isı satış miktarı EEG Ek 3 ısı üst sınırları tarafından sınırlanmıştır.

f. Absorpsiyonlu soğutma makinesi yatırımı

## 8.6 Kaynakça

- [8-1] EEG (2009): Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz)
- [8-2] Fraunhofer UMSICHT (2008): Technologien und Kosten der Biogasaufbereitung und Einspeisung in das Erdgasnetz. Ergebnisse der Markterhebung 2007–2008, Oberhausen
- [8-3] Gemmeke, B. (2009): – persönliche Mitteilungen
- [8-4] KTBL (2005): Gasausbeute in landwirtschaftlichen Biogasanlagen, Darmstadt
- [8-5] FNR (2005): Handreichung Biogasgewinnung und -nutzung. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (Hrsg.), Gülzow
- [8-6] vTI (2009): Bundesmessprogramm zur Bewertung neuartiger Biomasse-Biogasanlagen, Abschlussbericht Teil 1, Braunschweig

- [8-7] Döhler, S. und H. Döhler (2009): Beispielhafte Biogasprojekte unter dem neuen EEG im Rahmen des Bundeswettbewerb Musterlösungen zukunftsorientierter Biogasanlagen. Tagungsband Jahrestagung Fachverband Biogas e. V.
- [8-8] Gaderer, M., Lautenbach, M.; Fischer, T.; Ebertsch, G. (2007): Wärmenutzung bei kleinen landwirtschaftlichen Biogasanlagen, Bayerisches Zentrum für angewandte Energieforschung e. V. (ZAE Bayern), Augsburg, verändert
- [8-9] KTBL (2009): Faustzahlen Biogas. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (Hrsg.), Darmstadt
- [8-10] Döhler H. et al. (2009): Kommunen sollten rechnen; Joule 01.2009

# 9

## İşletme Organizasyonu

Bir işletme topluluğunda veya tarımsal işletmede bir biyogaz üretim tesisinin inşası ya da bir işletmenin biyogaz faaliyetine geçmesi esas olarak şu ana nedenlere bağlanabilir:

- Üretim tabanının genişletilmesi için yeni bir iş kolunun oluşturulması
- Biyogazdan üretilen elektrik için var olan fiyat güvencesine dayanarak, işletme gelirinin risklere karşı korunması
- Tüm yıl boyunca nakit akışının sağlanması
- Tarım alanlarının tarımsal piyasadan bağımsız olarak değerlendirilmesi
- Ana ve yan ürünlerin enerji üretimi amaçlı değerlendirilmesi
- Çiftlik gübresinin depolanmasından ve tarlaya uygulanmasından kaynaklanan emisyonların ve kokuların azaltılması
- Çiftlik gübresindeki besin maddelerinin bitkiler açısından yararlanabilirliğinin iyileştirilmesi
- Özerk enerji tedariki
- İmaj kazanımı

Biyogaz üretimi kararının gerçekleştirilmesinden önce, müteakip biyogaz üretimi ve değerlendirilmesi olasılıkları, her birinin taşıdığı risk değerlendirilmelidir (bkz. Şekil 9.1):

**Olasılık 1:** Halen mevcut ya da yeni kurulacak bir biyogaz tesisine materyal tedariki; yatırımlar bakımından düşük risk, ancak biyogazdan üretilen değerden düşük oranda yararlanma.

**Olasılık 2:** Biyogazdan elektrik üretecek ya da üretilen biyogazın bir gaz hazırlayıcısına satılacağı bir özel ya da ortak biyogaz tesisi; yatırımlar ve biyogaz tesisi işletimi bakımından yüksek risk, ancak biyogazdan üretilen değerden yüksek oranda yararlanma.

Biyogaz faaliyet alanının 1. olasılığı, pazar mahsulleri üretimi ile kıyaslanabilir. Ancak özellikle örneğin mısır silajı üretiminde, ham kütledeki % 30-40 KM oranı ve silajlanmış materyalin depodan alındıktan sonra azami 24 saat olan depolanabilme yeteneği bu-



Şekil 9.1: Biyogaz üretimi alanında bir çiftçinin sahip olduğu olasılıklar

lunmaktadır. Bu, depodan alınışından sonra sadece sınırlı bir taşınabilirliğe sahip olduğunu gösterir. Böylece üreticinin kendi silosu olması durumunda bölgesel bir pazardan söz edilebilir.

Güneydeki eyaletlerde sıkça görüldüğü üzere, tarladan doğrudan satışta silajlama kapasitesi tesiste bulunmaktadır. Burada da gerekli taşıma kapasitesi nedeniyle sadece bölgesel bir pazar mevcuttur.

Bu bölgeselleşme buna ilave olarak genellikle biyogaz tesisinin yanında depolanan fermantasyon artığının değerlendirilmesi için taşıma maliyeti nedeniyle de desteklenmektedir. Biyogaz tesisi işletmecisi açısından görece sabit materyal ihtiyacının güvenli temini için uzun vadeli sözleşmeler imzalanmaya çalışılmaktadır. Özellikle olağanüstü durumlarda ve değişken verim koşullarında, sözleşme koşullarının yerine getirilmesi çiftçi bakımından sorun olabilir.

Biyogaz faaliyet alanının 2. olasılığı ise bir hayvan yetiştirme tesisinin kurulmasıyla kıyaslanabilir. İşletmede yapılan faaliyetinin amacı gelir elde etmek, üretimi yaygınlaştırmak ve gelecekte yeni yatırımlar yapmaktır. Bunun için 6.000 ila 8.000 €/ha arasında değişen büyüklükte, sermaye ve araziye yaklaşık 20 yıllık uzun bir süre için bağlayan ilave yatırımlara ihtiyaç vardır. Hedeflerden biri de kullanılan sermayenin karşılığının maddi olarak uygun bir şekilde alınmasıdır. Bu da bir yatırım hesaplamasının yardımıyla denetlenebilir (bkz. Bölüm 8.2.3).



Tarımsal bir biyogaz tesisinin kurulmasının çıkış noktası, özellikle EEG'de 2009 yılında yapılan değişikliğe uygun olarak kullanılabilecek çiftlik gübresi miktarı, mantıklı olarak değerlendirilebilecek ısı miktarı, materyal hazırlanması için gereken alan ihtiyacı ve fermantasyon artıkları için değerlendirme potansiyeli olmalıdır.

Bunun dışında münferit olarak kullanılabilecek çiftlik gübresi miktarı ve kuru madde oranı (KM) da kaydedilmelidir (kılavuz değer 0,15... 0,2 kW/BHB-Büyükbaş Hayvan Birimi). Kullanılabilecek miktarların tespiti için, KM oranları biliniyorsa örneğin eyalet kurumlarının veya KTBL'nin kılavuz değerleri de kullanılabilir. Ancak tek bir sıvı gübre numunesinden alınacak sonucun çoğunlukla güvenilir olmadığı da bilinmelidir.

Buna ek olarak kullanılabilecek tarımsal artık maddeler (yem artıkları, silo kapatma için kullanılan materyaller vs.) ve gereğinde yararlanabilecek salt bitkisel yan ürünler, ek gider gerektirmeyen olası materyaller olarak, nakliye uzaklıkları da dikkate alınmak suretiyle miktar ve faydalanabilirlik bazında dikkate alınmalıdır. EEG ücretlendirme düzenlemeleri nedeniyle salt bitkisel yan ürünlerde KM oranı büyük öneme sahiptir, çünkü bu maddelerden üretilecek sabit elektrik enerjisi miktarı yaş materyal bazında NaWaRo bonusu alamayacaktır (bkz. Bölüm 7.3.3.2).

Bundan ötürü bir atık fermantasyonu düşünüldüğü takdirde biyolojik atıkların bulunabilirliği, gereğinde bunların muhafazası için gereken koşullar, fermantasyon biyolojisi ve hukuksal bakımdan sorunlu olup olmadıkları, ayrıca hijyenleştirme gerekliliği incelenmelidir.

Tarım ürünleri kullanılacak ise çiftçinin tarımsal biyogaz tesisini planlaması esnasında, sahip olduğu arazinin ne kadarlık kısmının biyogaz için tahsis edeceğini veya etmek istediğini, buralarda hangi üründen

ne miktarda yetiştirmek istediğini net bir şekilde tespit etmesi gerekir. Ortalama olarak 0,5 ha/kWel kabul edilebilir. Bu esnada ekim nöbeti ve çalışma ekonomisi konuları da dikkate alınmak suretiyle, birim organik kuru madde veya m<sup>3</sup> metan başına düşük maliyetli ve yüksek verimli ürün türleri tercih edilmelidir. Buna rağmen, eğer silajlık mısır üretimi tane mısıra göre verimli olacaksa veya kolza ekimi için mevcut alanların daha erken boşaltılması mümkün olabileceyse, mısır yerine diğer silajlanabilir bitkilerin ekilmesi işletme bakımından anlamlı olacaktır.

İşletme arazisinin tümüyle sığır yetiştiriciliğinde kullanılan temel yem ve biyogaz için materyal üretimi amacıyla planlanması genelde anlamlı değildir, çünkü bu şekilde pazara katılımı gerçekleştirmek artık mümkün olmaz. Ayrıca ekim nöbeti yapılması da bu tür çözümleri mümkün kılmaz.

Biyokütlenin satın alımı, işletmelerin kendi arazilerinde yeterli materyali üretmediği takdirde sıklıkla başvurulan bir yöntemdir. Burada da uzun vadeli – genellikle bir fiyat yükseltme koşulunu barındıran – sözleşmeler yapılmaya çalışılıyorsa da, bunların biyogaz tesisi için sağladıkları nesnel ve ekonomik güvence düşüktür. Bölgede yeni tesislerin yapımı ve 2007/08 yıllarında tarım ürünleri fiyatlarında yaşanan değişimler, bölgesel pazarı belirgin bir şekilde etkileyebilir. Tablo 9.1 materyal planlaması için dikkate alınması gereken çerçeve koşulları bir araya getirmektedir.

Biyogaz tesisinin hangi büyüklükte gerçekleştirileceğine dair verilecek kararda materyal hazırlanması, fermantasyon artıklarının anlamlı şekilde değerlendirilmesi ve anlamlı şekilde değerlendirilebilecek ısı miktarının yanı sıra teknik, hukuksal, idari ve ücretlendirme konularına da dikkat edilmesi gerekir. Bölgeden (ısı ihtiyacı, biyogaz sıvı gübre değerlendirilmesi, işletme büyüklükleri ve yapıları vs.), materyal temin edi-

Tablo 9.1: Materyal planlaması için dikkate alınması gereken çerçeve koşulları

Materyal planlaması	Çerçeve koşulları
<ul style="list-style-type: none"> <li>Mevcut çiftlik gübresi (KM ve OKM verileriyle)</li> <li>İşletmedeki kullanılabilir tarımsal artık maddeler</li> <li>Alan faydalanılabilirliği, randıman ve NawaRo ekimi giderleri</li> <li>Besin ve yem sanayinden artıklar<sup>a</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mevcut depo kapasiteleri (silajlar, fermantasyon artıkları için)</li> <li>İşletmenin ısı ihtiyacı ve civardaki alıcılar (miktar, yıllık durum)</li> <li>Elektrik ve ısı ikmal noktaları</li> <li>Kullanılabilir yapı maddeleri</li> <li>Fermantasyon artıklarının değerlendirileceği alanlar</li> <li>BioAbfV'nin dikkate alınması</li> <li>Hammaddeler ve fermantasyon artıkları değerlendirmesi için nakliye uzaklıkları</li> <li>Özel materyal oranlarının kullanımı nedeniyle ikmal ücretlendirmesinin maliyet hesabı<sup>a</sup></li> </ul>

a. Burada ikmal ücretlendirme düzeyi maliyet hesabı için EEG (2009) şartları dikkate alınmalıdır

lebilirliği ve çalışma ekonomisi konularından bağımsız olarak tasarlanan ve biyogaz tesisinin arzu edilen büyüklüğü olarak tanımlanan güç ciddi ekonomik ve yapısal sorunlara neden olabilir ve tavsiye edilmez.

Özetle bir biyogaz tesisinin tarımsal işletmeye maddi entegrasyonu esnasında şu faktörlerin çok önemli olduğu dikkate alınmalıdır:

- **Alan ihtiyacı** ve bağlayıcı süreler (20 yıl), ancak bunlar gereğinde örneğin materyal alımı nedeniyle değişebilir.
- **Gübreleme rejimi:** Tarlaya uygulanacak materyal miktarındaki olası yükselişler ve işletme döngüsündeki besin maddeleri.
- **Sabit değerlerin kullanımı:** Halen mevcut siloların, sıvı gübre depolarının vs. kullanımı
- **Çalışma ekonomisi:** Burada hammaddelerin üretimi, hasadı, depolanması veya temini, tesisin materyalin hazırlanması ve yüklemesi bakımından işletilmesi, proses gözetimi, kontrol faaliyetleri, makinelerin çalışır halde tutulması ve arızaların giderilmesi, fermentasyon artıklarının gübre olarak tarlaya uygulanması söz konusudur (örn: tahıl üretimi, hasadı ve depolanması: 6...8 h/ha mısır silajına karşı: 13...15 h/ha).

Riskin dengelenmesi için gerçekleştirme işlemi bir partner ile ortaklık şeklinde gerçekleştirilebilir. Bunun ötesinde biyokütle değerlendirilmesi için hammadde bitkilerinden ve sıvı gübreden, ayrıca örneğin yağlar gibi diğer maddelerden temel hizmetleri yerine getiren bir GbR kurulmalıdır (karş. Bölüm 9.2.2).

Aşağıda bir işletmenin yeniden yapılandırılmasındaki en önemli etki faktörleri açıklanmaktadır.

## 9.1 Bir işletmenin yeniden yapılandırılması – Optimizasyon perspektifleri ve düşünceleri

Tesisin hazırlanmasında ve kurulmasında, farklı hizmetler için çiftçinin katılımı gereklidir. Aşağıdaki liste, tesisin planlanması veya biyogaz tesisinin tarımsal işletmeye entegrasyonu esnasında çiftçinin vermesi gereken en önemli kararlara ve yapacağı faaliyetlere dair genel bir bakış sunmaktadır:

- Bölge seçimi
- Üretilen elektriğin ikmal için elektroteknik bağlantı konusunun, ayrıca genelde gereken yeni bir trafo tesisinin yapımı sorununun açıklığa kavuşturulması
- Tesisin ısıyla ilgili olarak işletmeye nasıl bağlanacağını açıklığa kavuşturulması

- Tesisin materyal ile ilgili olarak işletmeye nasıl bağlanacağını açıklığa kavuşturulması
- Ruhsatlandırma işlemi (başvuru hazırlığı)
- Ekspertiz (tesis lokasyonu için zemin ekspertizi, tankların statik hesapları, ayrıca yeni yapılacak binaların statik hesapları, şantiyenin güvenlik ve sağlık planları, TÜV raporu,..)
- Gereğinde komateryallerden kaynaklanan ilave fermentasyon artıkları nedeniyle depoların gereken büyüklüklere kavuşturulması
- Şantiye tesisi (dış aydınlatma, çitler, levhalar, yollar, su hatları, telafi edici bitki ekimi,..)
- Tesisin ısıtılması, başlatma aşamasında arıza giderimi ve ilk işletme yılına refakat hizmetleri.

### 9.1.1 Uygun bir tesis bölgesinin seçilmesi

Aşağıdaki şekil 9.2’de bölge seçiminin bütün önemli parametreleri belirtmiştir. Tesisin büyüklüğünün artmasıyla birlikte en uygun tesis yeri konusu giderek önem kazanmaktadır. Burada enerji ürünlerinin dağıtımını ve kullanımını olasılıkları bilhassa önemlidir (bkz. Bölüm 11.2.2).

Aynı şekilde, ısı nakliyesinin sadece kısa mesafelerde anlamlı olacağı ve alçak gerilim alanındaki elektrik iletiminin ciddi güç kayıplarına ve böylelikle ekonomik verimin düşmesine neden olacağı da dikkate alınmalıdır.

Tesis boyutlandırması için gereken materyal ve fermentasyon artığı nakliyesinin ne ölçüde gerçekleştirilebilir olduğu da, yer arayışı için önem taşımaktadır. Bunun ötesinde gereken miktar ve kalitedeki materyalin bölgede uzun vadeli olarak temin edilip edilemeyeceğinin de açıklığa kavuşturulması gerekir. Ayrıca hayvan yetiştiriciliğine, konut yapılarına veya hassas su havzalarına olan ve izin mevzuatınca belirlenmiş mesafelere de uyulması gerekmektedir. Gelecekte olası genişletme çalışmaları da planlamaya dahil edilmelidir.

İdari planlama parametrelerinin yanı sıra yeraltı suyu seviyesi veya yüzey durumu (toprak yapısı, kayalar vs.) gibi coğrafi faktörlerin de yer arayışına dahil edilmesi gerekmektedir. Tesislerin finansmanı için tesis yerinde ki belediyelerin, ilçelerin veya eyaletlerin sunduğu teşvikler de ilgi çekici olabilir.

### 9.1.2 Biyogaz tesisinin ekim nöbeti üzerindeki etkisi

Biyokütle üretimi nedeniyle ekim nöbetinin yeni bir yönelimi gerekebilir. Artık ön planda nakliyat giderlerini asgari seviyede tutmak için çiftliğe mümkün ol-



Şekil 9.2: Tesis yeri seçimine etki eden büyüklükler (KWK: Güç-Isı Kuplajı)

duğu kadar yakın, gaz üretiminde kullanılacak bitkisel üretim alanları yer almalıdır. Ancak bu hedefe tesis büyüklüğü, gereken materyal (NaWaRo) miktarı ve ekim nöbeti nedenleri ile her zaman ulaşılabilmesi mümkündür.

Bundan ötürü kapalı alanda domuz yetiştiriciliği yapan bir tesis işletmecisi için, kendi işletme alanına ektiği kış çavdarıyla artık domuzlarını beslemek yerine, bunları daha erken bir dönemde biyogaz üretimi için tam bitki silajı olarak hasat etmesi ekonomik açıdan çok daha anlamlı olacaktır. Domuzlar buna alternatif olarak satın alınan yemlik çavdarla beslenebilir. Erken çavdar hasadı nedeniyle uygun koşullarda ikinci ürün olarak silo mısıra ekme imkânı bulunmaktadır. Ana ürün koşulları altında mısır ekimi sonucunda, yan etki olarak ortaya çıkan fermantasyon artığını uzun dönemde ekolojik açıdan anlamlı olarak bitki yetiştiriciliğinde kullanma imkânı da doğmaktadır.

Ekim nöbetinin biyogaz üretimine yönelik değişimiyle tarım arazilerinin neredeyse bütün yıl ekili kalması sağlanabilir, bu da azot kullanımı bakımından pozitif bir etkidir.

Silajlık mısır hasadı esnasında toprağın nem durumuna göre olumsuz toprak koşulları durumunda motorlu taşıtla yapılacak bir çalışma toprak yapısına, özellikle de ikinci ürün mısır hasadına olumsuz etkide bulunabilir.

Hem tarım, hem de fermantasyon biyolojisi bakımından biyogaz tesislerinde geniş bir materyal karışımının uygun olduğu ispat edilmiştir. Tahıl GPS ekimi tarlaların daha erken dönemde boşaltılmasını sağladığı gibi, örneğin vaktinde bir kolza ekimini de mümkün kılar. Oldukça verimli bir tarla ürünü olan mısır,

ilkbaharda fermantasyon artıklarını iyi değerlendirebilir. Örneğin gaz üretiminin komanda aracı olarak tane tahıl kullanımı da tavsiye edilir. Ayrıca tane tahıl satın alınmak suretiyle, işletmede yetiştirilen hammaddelerde meydana gelebilecek verim dalgalanmaları dengelenebilir, bütün nakliye mesafelerinden ve miktarlarından tasarruf edilebilir.

### 9.1.3 Alan ve çalışma süresi ihtiyacı

Biyogaz faaliyet alanının entegrasyonu esnasında ekilen ürünün yapısındaki değişiklikler (örneğin tahıl yerine mısır ekimi) ve biyogaz tesisinin işletilmesi gibi çalışma ekonomisine dair konuların yanı sıra, yüksek sermaye ihtiyacı ve tarımsal alanların bu üretim koluna ayrılmasına da dikkat edilmelidir. Bir biyogaz tesisinin yapımı, süt üretimine benzer yükseklikte bir sermayenin ayrılmasını gerektirir. Çiftçi için alan ihtiyacı veya alanın ayrılması, biyogaz tesisinin büyüklüğüne ve hayvan yetiştirme ihtiyacına bağlıdır (bkz. Tablo 9.1 ve tablo 9.2). Temel yem ihtiyacının yanı sıra kesif yem de, süt ineği yetiştiriciliğiyle birlikte alanın belirlenmesine dahil edilmektedir.

Alan ihtiyacından, bitki üretiminin ve materyal hazırlanmasının çeşitli tarihlerinde ihtiyaç duyulan çalışma süresi ihtiyacı ve işgücünün ne kadar süreyle oluşacağı ortaya çıkar. Tarımsal bir biyogaz tesisinde kullanılan materyalin türü ve miktarına bağlı olarak yürütülen faaliyetler, teknik ve yapısal çözümler, bu işletmenin veya faaliyet dalının mevcut ya da kurulacak bir şirkete dahil edilmesi de çalışma süresini belirler.

Örnek: 150 kW gücünde bir biyogaz tesisi, alan çalışma süresi bağlamında, süt hayvanı yetiştiriciliği

Tablo 9.2: Çeşitli faaliyet alanlarının alan, sermaye ve çalışma süresi ihtiyacı

	Tahıl 65 dt/ha	Mısır 400 dt/ha	153 MK (8000 l) ha/inek	BGA 150 kW	BGA+ 150 MK
Alan ihtiyacı [ha]	1	1	118 ha	79	183 (67 ha BGA)
Bağlanan sermaye (€/ha)	876	2.748	4.660	6.126	5.106
Çalışma süresi ihtiyacı [Ah/ha]	9,3	15,5	65,6	31,1	66,7

BGA Biyogaz tesisi  
MK: Süt ineği

yapılan eşdeğer bir alandaki çalışma süresinin sadece % 50'sine ihtiyaç duyar (bkz. Şekil 9.3). Biyogaz tesisinin çalışma süresi ihtiyacının % 60'ı materyal yetiştirilmesinden, % 40'lık süresi de biyogaz tesisinin işletiminden oluşur.

Biyogaz üretimi ve hayvan yetiştiriciliği kombinasyonunda ekonomiklik, emisyon azaltılması ve sıklıkla çalışma ekonomisi bakımından belirgin sinerji etkileri ortaya çıkar. Önemli olan, biyogaz tesisinin büyüklüğünün ve bununla birlikte çalışma süresi ihtiyacının işletme koşullarına uydurulmasıdır.

Almanya'nın doğusunda bulunan büyük tarım işletmelerinde örneğin süt hayvancılığı tesisinin yem bitkileri yetiştiricisinin konu hakkındaki bilgisini biyolojik proseslere ve biyogaz tesisinin işletilmesine aktarmasının faydalı olduğu ispat edilmiştir.

Bir biyogaz tesisi için gerekli çalışma süresi, ağırlıklı olarak aşağıdaki önemli proses adımlarına göre belirlenir:

- Hammaddelerin (materyallerin) üretimi, hasadı ve depolanması
- Tesisin materyal hazırlanması ve yüklenmesiyle işletilmesi
- Tesisin proses kontrolü, bakım, çalışır halde tutma, arızaların ve hasarların giderilmesi, ayrıca diğer idari görevler
- Fermantasyon artıklarının dışarı alınması

Bütün bu proses adımları işletme için zorunludur. Ancak işletme tarzına ve materyallere göre çok farklı çalışma süreleri gerekli olabilmektedir. Çalışma süresinin planlanması, istenmeyen sürprizlerle karşılaşmaması için ön planlama safhasında ele alınmalıdır. Pratikte uygulanmış ve sınanmış alternatif çözümler de bulunmaktadır. Örneğin bitkisel üretim alanında ki çalışmalar, hasat edilen ürünün nakliyesi ve ferman-

tasyon artıklarının tarlaya uygulanması, işletme dışına da yaptırılabilir. Bakım ve gözetim (uzaktan gözetim) çalışmaları dahi uygun bir ücret karşılığında uzmanlar tarafından üstlenilebilir. İşletmeye uygun ve ekonomik bir çözüm, ancak işletme özelinde özenli bir planlama ile bulunabilir.

### 9.1.3.1 Hammaddelerin üretilmesi, hasadı ve depolanması

Üretim işletmenin kendisine ait alanlar üzerinde gerçekleşiyorsa, örneğin silajlanmak üzere mısır ekimi, tam bitki silajı için tahıl ekimi veya çayır biçimi yapıyorsa, elde geleneksel üretim tekniğinden gelen kapsamlı planlama verileri bulunmaktadır.

Bu veriler genel olarak kapsamlı uyumlaştırma çalışmalarına gerek kalmadan hammadde kazanımında da kullanılabilirler. Aşağıdaki hesaplamalar için bu yüzden KTBL veri tabanı "İşletme planlaması" maliyet hesaplama belgelerine başvurulmuştur [9-1].

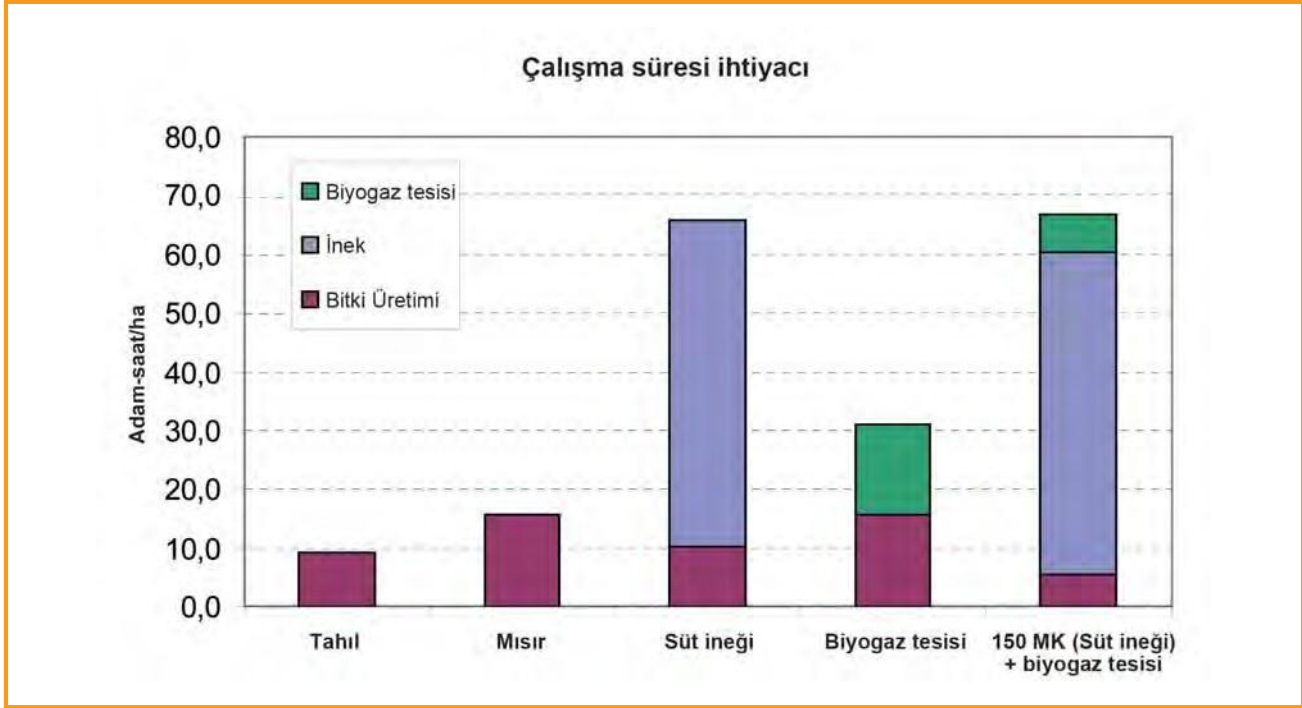
### Model tesis II için materyal üretimi çalışma süresi ihtiyacı

Çalışma ekonomisi üzerindeki etkilerin daha iyi anlaşılması ve hesapların yapılabilmesi için Model II (bkz. Bölüm 8) ele alınacaktır. Bu model tesis yaklaşık 150 büyük baş süt ineğine sahip olan bir sığır işletmesinden gelen sıvı gübreyi işlemektedir. Yenilenebilir hammadde olarak 5.750 ton mısır silajı ve 200 t tane tahıl kullanılmaktadır. 44 t/ha mısır silajı (50 t/ha mısır silajı -% 12 silajlama kaybı) ve 8 t/ha tane tahıl kullanıldığı kabul edilirse, bu enerji bitkilerinin ekileceği yaklaşık 156 ha (131 ha mısır, 25 ha tahıl) büyüklüğünde işlenecek alan anlamına gelmektedir.

Bu alanın işletmenin kendisine mi ait olduğu, kiralanmış mı olduğu, arazi değişimi veya bir işbirliği yoluyla mı elde edilmiş olduğu belirleyici bir rol oynamamaktadır. Bu alanlar artık temel yem tedariki için kullanılmayacaktır. Toplamda dengeli bir ekim nöbetinin olup olmadığının incelenmesi gerekir.

Model tesis II için 5 ha ortalama alan büyüklüğü ve tarla ile çiftlik arasında 2 km mesafe ile iyi üretim koşullarına sahip olduğu kabul edilmiştir. Tesis silajı kendisi yapmamaktadır, çünkü yüksek yatırım gerektiren bu zahmetli işin küçük ölçekli işletmelerde ücret karşılığı yaptırılması daha uygun görülmüştür. Tahıl hasadında ise bütün çalışmaların işletmenin kendisi tarafından yapılacağı öngörülmüştür.

Bu varsayımların ışığında yıllık yaklaşık 800 saat işgücüne (fermantasyon artıklarının tarlaya uygulanması hariç) ihtiyaç duyulduğu hesaplanabilir.



Şekil 9.3: Biyogaz üretimine entegrasyon esnasında çeşitli işletme dallarının özgül çalışma süresi ihtiyaçlarının sınıflandırılması (BGA: Biyogaz tesisi, İnek: Süt inekleriyle hayvan yetiştiriciliği (MK), PP: Bitki üretimi)

Aşağıda görülen tablo 9.3 ve 94'de beklenen çalışma süresi ihtiyacı örnek olarak gösterilmiştir. Veriler, çok sayıda planlama seçenekleri sunan KTBL veri bankasından alınmıştır.

Silajlık mısır hasadı döneminde, yani Eylül ve Ekim ayları başında, kullanılan tekniğe göre ürünü tarladan siloya götürmek ve kepçelerle depolamak için yaklaşık 800 adam/saat (Ah) işgücüne ihtiyaç duyulmaktadır.

Burada dikkat çekilmesi gereken nokta, fermantasyon artıklarının tarlaya uygulanması da dahil işletmenin üretilen her ton materyal için gereken yaklaşık 0,27 saat işgücününün, saatte 15.00 € ücret ve 4.00 € toplamı kadar çalışma gideri ile "yüklenmiş" olduğudur.

Silaj ve tahıl üretimi için her bir yıllık zaman döneminde gereken çalışma süresi ihtiyacı, örneğin satış veya hayvan besleme gibi başka türlü bir faaliyet için gerekenle aynıdır. Bu üretim yönteminde ortak olan, depolanan bir ürünün değerlendirilmesinin uzun bir zaman dilimi, hatta genellikle bütün bir yıl boyunca aynı şekilde gerçekleşmesidir. Bu durum, proses yönetiminin bütünü için pozitif olabilir. Her halükârda materyalin biyogaz tesisine yüklenmesi nispeten dengeli ve pek az dalgalanan bir çalışma süresi ihtiyacı duymaktadır.

Artık maddelerin vejetasyon döneminde ve sadece belirli zaman dilimlerinde ortaya çıkması ve değerlendirilmeleri gerekliliği nedeniyle çok daha az planla-

Tablo 9.3: Mısır silajı üretiminde çalışma süreçleri ve çalışma süresi ihtiyacı

Çalışma süresi (Mısır silajı üretimi)	Ah/ha
Ekim	4,9
Hasat ve nakliyat	0
Ücret karşılığı alınan hizmetler	
<b>Ah mısır toplamı</b>	<b>4,9</b>

Tablo 9.4: Tahıl üretiminde çalışma süreçleri ve çalışma süresi ihtiyacı

Çalışma süresi (Tahıl) Tahıl	Ah/ha
Ekim	5,07
Hasat ve nakliyat	1,1
<b>Ah mısır toplamı</b>	<b>6,17</b>

maya ihtiyaç duymaktadır veya öngörülebilir özelliktedir. Buna örnek olarak sadece belirli dönemlerde ortaya çıkan taze biçilmiş yeşilliklerin değerlendirilmesi veya sebze artıklarının değerlendirilmesi gösterilebilir. Çalışma ekonomisi ve proses tekniği bakımından, sezonluk olarak ortaya çıkan materyallerin değerlendirilmesi esnasında yaşanabilecek kısa vadeli tedarik boşluklarının giderilmesinde depolardaki "yedek materyallerin" kullanılması daima avantajlı olacaktır.

Tablo 9.5: Biyogaz tesislerinin işletilmesinde çalışma süresi ihtiyacı

İş safhası	Birim	Ortalama değer	Asgari	Azami
Kontrol safhası <sup>a</sup>	h/hafta	4,4	0,0	20,0
Veri kaydı <sup>a</sup>	h/hafta	2,7	0,0	9,9
Bakım <sup>a</sup>	h/hafta	3,2	0,0	14,0
Arıza giderilmesi <sup>b</sup>	h/hafta	2,7	---	---
<b>Toplam</b>	<b>h/hafta</b>	<b>13,0</b>		

a. [9-2]'ye göre değiştirilmiştir

b. [9-3]

Ağırlıklı olarak sezonluk materyallerin kullanılması durumunda materyal bileşiminde meydana gelebilecek yoğun değişimlerin fermantasyon süreci üzerinde olumsuz etki yapabileceği de gözden kaçırılmamalıdır.

Materyallerin tesisin kendi işletmesinden tedarik edilmemesi durumunda bu sorun daha da büyüyecektir. Burada bu getiri için ortaya çıkan çalışma süresi ihtiyacı hafife alınmamalıdır. Yine de bu çalışma süresi ihtiyacının boyutlarına dair elde somut bir veri bulunmamaktadır. Kalıcı ve mümkün olduğu kadar kesintisiz bir tedariki güvence altına almak, son tahlilde işletmecinin ticari yeteneğine bağlıdır. Bu işlem biyogaz tesisinin işletmecisi tarafından yapıldığı takdirde, bunun için gerekli olan çalışma süresi ihtiyacı elbette ki işletmedeki çalışma organizasyonu ve bundan kaynaklanan giderler üzerinde etkili olacaktır.

İşletme içi ve işletmeler arası nakliyat hem münferit tarımsal işletmelerde, hem de özellikle ortaklaşa işletilen biyogaz tesislerinde kaçınılmazdır. Burada planlanması gereken sadece ortaya çıkan ilave çalışma süresi ihtiyacı değildir, buna bağlı olarak oluşan giderler de belirleyici bir öneme sahip olabilir. Hayvan yetiştiriciliğinden gelen sıvı veya katı gübrenin veya ürün hazırlamasından gelen atıkların (tahıl, pancar, sebze, meyve) kullanılması sık sık söz konusu olmaktadır. Burada asıl belirleyici olan elektrik üretimi için "ürün değeri" ile nakliyat dahil "fiyat" arasındaki orandır.

İşbirliği veya tedarik sözleşmeleri imzalanmadan önce, nakliyat durumu mutlaka açıklığa kavuşturulmalıdır. Bu özellikle tesisin yerinin tespiti için de geçerlidir.

#### 9.1.3.2 Bir biyogaz tesisinin işletilmesi için çalışma süresi ihtiyacı

Biyogaz Ölçüm Programı II çerçevesinde Federal Almanya'da iki yıllık bir zaman dilimi için 61 biyogaz tesisinin işletme günlüklerindeki çalışma süreleri ihtiya-

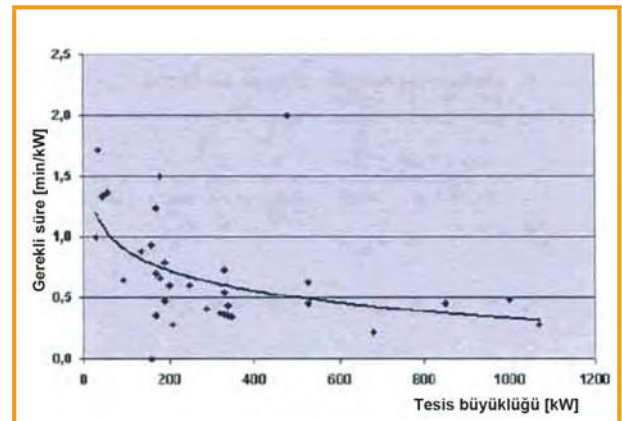
cına dair kapsamlı bir veri toplama çalışması yapılmıştır. Bir araya getirilen değerlerin sistemleştirilmesi ve değerlendirilmesi, tablo 9.5'de yer alan ortalama değerleri ortaya koymuştur.

Bu tabloda biyogaz tesislerinde teknik ve biyolojik arızaların giderilmesi için tespit edilen ortalama değer, Biyogaz Tesislerinin Zayıf Noktaları Analizi Projesi çerçevesinde 31 biyogaz tesisinin verileri bağlamında yapılan değerlendirmenin sonucudur.

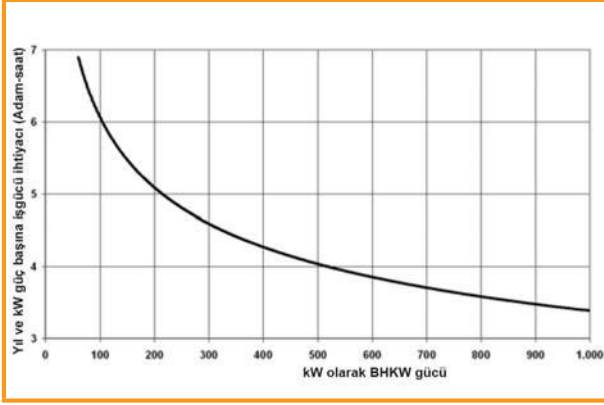
Bu değerlendirme ve diğer kayıtlar, tesisin nominal gücünün artmasıyla birlikte toplam çalışma süresi maliyetinin haftalık çalışan kişi saati bazında yükseldiğini ortaya koymaktadır (bkz. Şekil 9.4 ve 9.5). Biyogaz Ölçüm Programı II'nin sonuçları, hayvan sayısının büyüklüğü, ton/hafta bazında eklenen materyal miktarı ve çalışma süresi maliyeti arasında yakın bir ilişki olduğunu bu yargıyı tamamlayacak şekilde göstermektedir.

Maalesef maliyet rakamları bu güne dek her bir çalışma noktası için güvenilir çıkarımlar yapmaya izin vermemiştir.

[9-4] araştırmasında arızaların giderilmesi için çalışma süresi maliyetinin hesaba katılmaması, ancak [9-5]'te yapılan değerlendirmelerde tesisin işletilmesi için çalışma süresi hesabına dahil edildiğine dikkat edilmelidir.



Şekil 9.4: Tesis işletimi için çalışma süresi ihtiyacı [9-4]



Şekil 9.5: İşletmenin işletme ve bakımı için çalışma süresi ihtiyacı [9-5]

Bunun ötesinde anılan kaynaklarda işletimin çalışma adımları belirgin bir şekilde açıklanmamış, dolayısıyla verilerin karşılaştırılabilirliği sağlanamamıştır ve hangi çalışma adımlarının biyogaz tesisine ait olduğuna tam anlamıyla karar verilememektedir.

Model tesislerin ekonomiklik değerlendirmeleri için [9-5] değerlendirmesinin sonuçları temel alınmıştır.

### Model tesis III'ün işletilmesi için çalışma süresi ihtiyacı

Arızası giderilecek biyogaz tesisinin işletimi yukarıda belirtilen veri dayanağı [9-5]'e göre günde 4.5 h olmaktadır. Bunun anlamı, bu büyüklükte (350 kW<sub>el</sub>) bir biyogaz tesisinin rutin çalışmalarının, veri kayıtlarının, kontrol ve bakım faaliyetlerinin ve arıza giderme çalışmalarının yerine getirilmesi için yarım işgücünün planlanması gerektirir.

#### 9.1.3.3 Materyal hazırlanması ve fermentöre alınması için çalışma süresi ihtiyacı

Materyal tahsisi, depolardan alma ve hazırlama konusunda diğer tarımsal faaliyetlerle uyum gereği vardır, bu nedenle bu alandan belirli bir güvenilirliğe sahip referans değerler çıkarmak mümkündür. Genel olarak bakıldığında bir biyogaz tesisinin işletilmesi için gereken çalışma giderlerinin toplam giderlerin % 10'unun altında kaldığı ve bundan ötürü ekonomiklik üzerinde belirleyici bir öneme sahip olmadığı görülecektir. Buna rağmen çalışma ekonomisiyle ilgili darboğazlarda gerektiği takdirde ekonomiklik hesabında dikkate alınması gereken hizmetlerin değerlendirilmesi gereklidir. Gelecekte daha kesin planların yapılabilmesi için, çalışma süresi ihtiyacı bağlamında daha güvenilir referans değerlere ihtiyaç duyulacaktır.

Materyalin hazırlanması ve fermentöre alınması için çalışma süresi ihtiyacı büyük ölçüde materyal türü tarafından belirlenir.

Sıvı gübre gibi **sıvı materyaller** genelde ahırda depolanır, bir tanka aktarılır ve oradan da belli bir süreyle veya aralıklarla çalışan pompalar ile fermentöre pompalanır (bkz. Bölüm 8.1 Model tesisler). Çalışma süresi ihtiyacı arada bir yapılan kontroller ve ayarlarla sınırlıdır. Buradaki çalışma süresi ihtiyacı ve bakım çalışmaları için daha önce anılmış olan referans değerler dikkate alınmalıdır.

Şarap, alkol veya meyva suyu üretiminden gelen sıvı tortular ve posalarda da benzer durum söz konusudur.

Sıvı ve katı yağlar tedarikçilerin araçları tarafından tanklara veya kendi depolarına pompalanırlar. Gereken çalışma süresi ihtiyacı da genelde kontroller ve ayarlarla sınırlıdır.

**Katı materyal** kullanımında tarım kökenli mısır ve ot silajları en büyük paya sahiptir. Tahulların temizliği ve hazırlanması esnasında ortaya çıkan tahl taneleri ve atıkları da kullanılabilir. Köklü veya yumru bitkiler (pancar, soğan, patates) ile bunların işlenmesi sonucu ortaya çıkan artıklar da kullanılabilir.

Çalışma süresi ihtiyacının en büyük payını, ön deponun materyal ile yüklenmesi oluşturmaktadır. Farklı fermentör yükleme sistemlerinin doldurulması için (giriş deposu, eğik bir konveyörün veya basınçlı yükle düzeneğinin yükleme hunisi, üzerinden) genellikle mobil yükleme ve taşıma teknikleri kullanılmaktadır. Aşağıdaki örnek, planlamada kullanılacak temel süreleri ortaya koymaktadır.

Biyogaz tesislerinde yapılmış olan özel çalışma süresi ölçümleri henüz faydalanılabilir değildir.

Tablo 9.6. farklı yükleme düzeneklerinin kullanımındaki yükleme sürelerini bir araya getirmiştir.

Yükleme süresi referans değerlerinin kullanılması ve yılda işlenen materyal miktarlarıyla çarpılması, ayrıca gereken hazırlık safhasında ilave materyal temini için çalışma süresi ihtiyacı tahmin edilebilir.

Özellikle büyük biyogaz tesislerinde silaj alanından biyogaz tesisine kadar motorlu taşıtlarla gitmek gerekir ki, bu da çalışma süresi ihtiyacını ciddi şekilde yükseltmektedir. Uygun bir teknik çözüm seçimi ile çalışma süresi ihtiyacının azaltılması sağlanabilir.

### Model tesis III'te materyal hazırlanması ve materyalin yüklenmesi için çalışma süresi ihtiyacı

Yükleme düzeneklerinin doldurulması için bir teleskop yükleyicinin kullanıldığı varsayılmaktadır. Makinenin deposunun doldurulması, silo örtüsünün açılması ve tekrar kapatılması için günde 15 dakika

Tablo 9.6: Farklı yükleme sistemlerinin kullanılmasında gereken yükleme süreleri ([9-6], [9-7], [9-8]'e göre )

Yüklenecek madde	Yükleme süresi [dak/t]		
	Keççeli traktör, traktör	Tekerlekli keçe	Teleskop yükleyici
Mısır silajı (Yassı silo)	4,28...8,06	6,02	3,83
Ot silajı (Yassı silo)	4,19...6,20	4,63	3,89
Mısır silajı (Yassı silo), çakıllı yol, asılı	5,11	2,44	-
Ot silajı (Yassı silo), çakıllı yol, asılı	5,11	3,66	-
Katı gübre (Gübre sürücü plakası)	2,58	2,03	-
Büyük balya (dört köşe)	1,25	-	1,34
Tahıl (artıkları)	2,61 <sup>a</sup>	-	1,50 <sup>a</sup>

a. Düzeltmiş geçici değerler

Tablo 9.7: Model tesis III için materyal hazırlanması ve yükleme için çalışma süresi ihtiyacı/yıl hesaplanması

Materyal	Birim	Mısrısilajı	Tahıl
Materyal miktarı	t/yıl	5750	200
x Yükleme süresi	dak/t	3,83	1,50
Yükleme süresi için çalışma süresi ihtiyacı	Ah/yıl	368	5
+ Hazırlık safhası	dak/İşgünü	5	
x İşgünü	İşgünü/yıl	365	
Hazırlık safhası çalışma süresi ihtiyacı	Ah/yıl	30	
<b>Toplam çalışma süresi ihtiyacı</b>	<b>Ah/yıl</b>	<b>403</b>	

lık bir süreye ihtiyaç olduğu dikkate alınmıştır. Böylelikle materyal hazırlanması ve içeri alınması için gereken süre 403 Ah/yıl olarak saptanmıştır.

#### 9.1.3.4 Fermantasyon artıklarının dışarı alınması için çalışma süresi ihtiyacı

Model tesisi III'de yılda kullanılan yaklaşık 8.950 t materyalin (sıvı gübre ve NaWaRo) yaklaşık % 71'lik organik kuru maddesi biyogaza dönüştürülmektedir. Materyalin biyogaza dönüştürülmesi fermantasyon artığı kütlesinin de küçülmesine yol açar, dolayısıyla eski materyal kütlesinin sadece 7.038 t ağırlığındaki bir kısmının dışarı alınması gerekir.

Fermentördeki sıvı gübre miktarının tarlaya uygulanması için gereken çalışma süresi ihtiyacı burada dikkate alınmamaktadır, çünkü biyogaz tesisine getirilen sıvı gübre kütlesinin anaerob işleme olmadan da uygulanması maliyete neden olurdu. Aynı uygulama koşullarında ve teknik donanımda, çalışma ihtiyacı süresi de aynı olmalıdır.

5 ha büyüklüğünde parseller üzerinde hareketli hortumlu 12 m<sup>3</sup> hacminde, pompalı gübre römorkuyla, çiftlik ile arasında 2 km uzaklık bulunan bir tarlada, hektar başına ortalama 20 m<sup>3</sup> fermantasyon

artığını tarlaya uygulamak için gereken çalışma süresi ihtiyacı 1.01 Ah/ha veya 3.03 A.dakika/m<sup>3</sup>'dür. Ayrıca tarlaya atılacak olan ilave 4.038 t (7.038 t - 3.000 t sıvı gübre) fermantasyon artığı bu şekilde 204 Ah/yıl 'lık bir çalışma süresinin harcanmasına neden olur. Fermantasyon artıklarının uygulanması için toplam 355 Ah/yıl işgücü ihtiyacı planlanmalıdır.

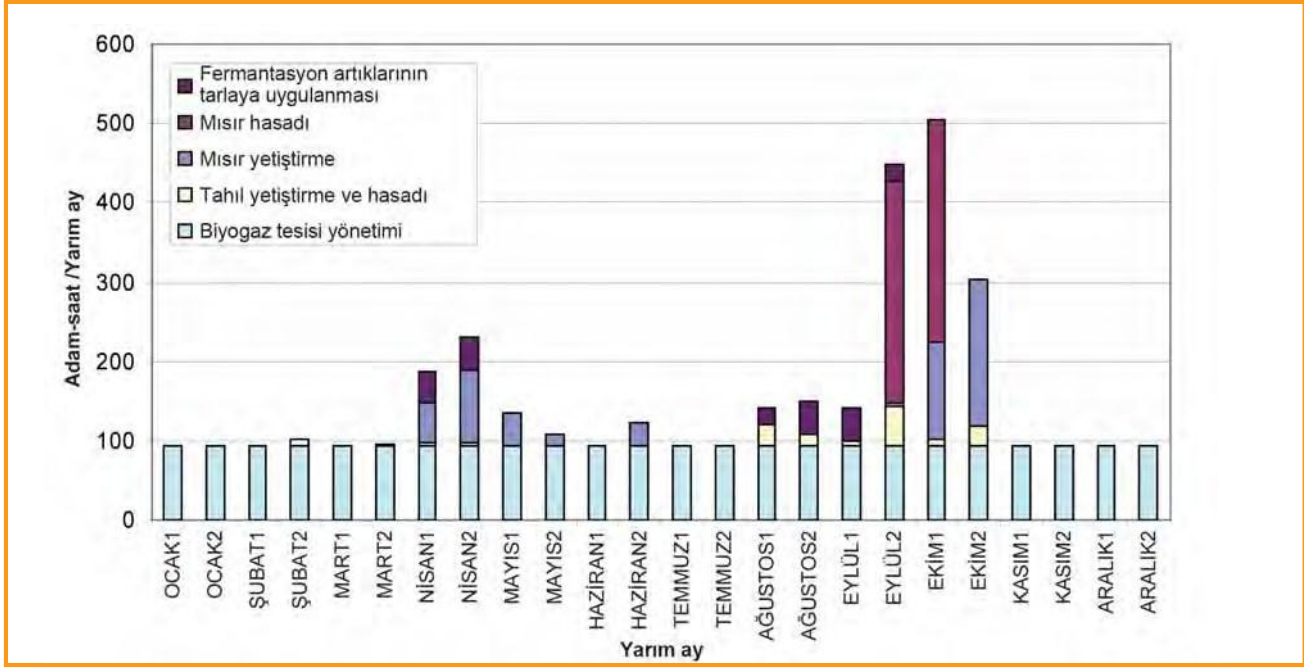
#### Model tesis III çalışma süresi ihtiyacı

Özetle denilebilir ki, külfetli hasat çalışmalarının işletme dışı kuruluşlara yaptırılıyor olduğu varsayımıyla birlikte, Model tesis III'ün yıllık çalışma süresi ihtiyacı yaklaşık 3.216 saat olarak belirlenmiştir.

Yaklaşık 2.230 Ah ile işletmenin materyal yüklenmesi de dahil bütün bir yıl boyunca işletilmesi esnasında, görece düzenli ve birbirini tekrar eden çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Bunun için daimi bir iş gücünün görevlendirilmesi gerekmektedir.

131 ha silajlık mısırın ekimi için 641 Ah (ilgili fermantasyon artıklarının tarlaya dağıtılması dahil) çalışma süresi ihtiyacı doğurmaktadır, hasat ise ücret karşılığında bir başka işletmeye yaptırılacaktır. Ancak gereğinde işletmenin kendisi tarafından da yapılabilecek nakliyat, depolama ve malzemenin siloda sıkıştırılması gibi işlemler için 490 Ah öngörülmüştür.





Şekil 9.6: Model tesis III için gerekli olan çalışma süresi ihtiyacı

#### 9.1.4 Teknikte zaman faktörü

Bir biyogaz tesisinin işletilmesinde belirleyici hedef, elektrik üretimi amaçlı kurulu güçten, biyogazı örneğin gaz yakma bacası kullanılmadan tahliye etmeksizin en iyi şekilde faydalanabilmektir.

Bunun ilk akla gelen anlamı, kombine ısı ve güç santralinin motorundan tam güçle yararlanılması gerektiğidir. Motordan tam güçle yararlanılabilmesi için, söz konusu motorun bir yıl zarfında mümkün olduğu kadar fazla saat tam kapasite koşulları altında, yani en yüksek verimde çalıştırılması gerekmektedir. Yani motorun kurulu gücü beklenen gerçekçi biyogaz randımanına en yüksek oranda uyum sağlamalıdır.

Ön planlamalar da % 100 tam kapasite çalışma esnasında, motorun 8.000 saat çalışması öngörülmektedir. Ekonomik risklere karşı daha yüksek güvenlik önlemleri alınmak istenirse, motorun yıllık çalışma süresi 7.000 saat olarak hesaplanmaktadır ("Güvenlik payı").

Yılda 7.000 saatlik bir kapasite ise şu anlama gelmektedir: Fermentasyon prosesinden üretilen biyogazı enerji üretimi amaçlı kullanabilmek için, motorun yıllık 8.000 h çalışma süresi için asgari % 13 büyütülmesi gerekmektedir. Bu ek kapasite (gaz nakliyatı, depolanması ve saflaştırılması için gereken diğer bütün düzeneklerde de) 1.000 €/kW ek yatırım anlamına gelmektedir! Bunun ötesinde motorun her gün

değişen çalıştır-durdur şeklinde işletilmemesi gerekir. Bundan ötürü ve sabit kalan bir proses ısısını sağlayabilmek için (sadece çalışan bir motor ısıtabilir!), yılda 7.000 tam kapasite çalışma saati hedefine motorun neredeyse kesintisiz olarak kısmi yük işletiminde (nominal yükün % 90'ı) çalıştırılmasıyla ulaşılabilir. Kısmi yük işletimi daima verimin azalması anlamına gelir. Verimin azalması daima şebekeye verilen elektrik miktarının, dolayısıyla da işletmecinin banka hesabının aleyhinedir.

Örneğin etki derecesinde % 5'lik bir azalmanın ne gibi ekonomik kayıplara yol açacağı, bölüm 8.3 Hassasiyet Analizi'nde geniş olarak ele alınmıştır.

Bu yüzden ekonomik açıdan BHKW'nin yılda 8.000 saat tam kapasiteyle çalıştırılması için çaba gösterilmelidir. Motordan bu kapasiteyle yararlanırken yeterli miktarda gaz deposu hacminin (> 7 h) bulundurulmasına ve etkili bir gaz deposu yönetiminin uygulanmasına dikkat edilmelidir. Normal çalışma esnasında aşağıdaki hususlar nedeniyle % 50'den fazla doluluk olmamasına dikkat edilmelidir:

- Homojenleştirme esnasında ortaya çıkan ek gaz üretimini depolayabilmek için
- Güneşin etkisiyle artan hacmi dengeleyebilmek için
- BHKW arızalarında ya da şebekeye bağlı nedenlerden ötürü durdurulmasında gaz depolayabilmek için.

## 9.2 Biyogaz tesislerinin yapımına dair vergi ve hukuksal açıklamalar

### 9.2.1 Biyogaz tesislerinin vergilendirilmesi

Biyogaz kazanımı ve faydalanımının teknik meselelerinin yanı sıra, vergi konuları da dikkate alınmalıdır. Aşağıda gelir vergisi, işletme vergisi ve katma değer vergisi bakımından en önemli vergi düzenlemeleri ve etkileri kısa bir genel bakış şeklinde ele alınacaktır.

#### 9.2.1.1 İrat vergisi bakımından etkileri

İrat vergisi bakımından cevaplandırılması gereken temel soru, bir biyogaz tesisinin işletilmesinin vergi açısından hâlâ tarım ve ormancılık gelirleri kapsamında mı bulunduğu, ya da işletme vergisi kapsamına mı girmiş olduğu meselesidir. Bunun ötesinde tesisin kurulması için alınan destekler, amortisman düzenlemeleri ve olası zarar hesapları önemli bir rol oynamaktadır.

#### Tarım ve sanayi arasındaki sınır

Biyogaz tesisinin vergi bakımından bir tarım kuruluşu mu, yoksa sanayi kuruluşu mu olarak kabul edileceği sorusunun cevaplandırılması için, öncelikle biyogaz tesisinin ne ürettiğinin tam olarak ortaya konulması gerekir. Tesiste biyogaz üretildiği takdirde, bu iş için gereken biyokütlenin ağırlıklı olarak işletmenin kendisi tarafından üretiliyorsa, maliye idaresi bunun hâlâ tarım ve ormancılık ana ürünü olduğu görüşünü savunabilir.

Buna karşın biyogazdan elektrik üretimi, artık tarım ve orman ekonomisine ait bir üretim faaliyeti olarak değerlendirilemez. Bundan ötürü elektrik üretimi sanayi gelirleri kapsamına alınmalıdır. Üniter bir üretim süreci söz konusuysa, yani biyokütleden doğrudan elektrik üretiliyorsa, biyogaz tesisinin tümü ve bununla birlikte elde edilen gelirlerin tümü bir sanayi işletmesini temsil eder.

Ne zaman ağırlıklı olarak işletmenin kendisinde üretim yapıldığının kabul edileceği meselesinde, işletmenin kendi ürettiği biyokütle ile kofermentörler arasındaki metreküp oranı değil, aksine “besin maddesi içeriği” ve bundan kaynaklanan biyogaz verimi arasındaki oran dikkate alınacaktır.

Aşağıdaki tablo, biyogazdan elektrik üreten bir işletmenin vergi durumunu göstermektedir.

#### Desteklemeler

Biyogaz tesisleri çoğu kez kamu kaynaklarından alınan desteklerle satın alınmakta veya kurulmaktadır.

Tablo 9.8: Biyogazdan elektrik üreten bir işletmenin vergi durumu

Biyogaz üretimi	Biyogaz kullanımı	Elektrik kullanımı
	İşletmenin kendisinde veya satış	Satılan miktar
Ağırlıklı olarak kendi üretiminden (bitkiler, bitki artıkları, sıvı gübre)	Tarım ve ormancılık	Sanayi
Ağırlıklı olarak yabancı üretimden (yemek artıkları, yağlar)	Tarım ve ormancılık satışta: Sanayi	Sanayi

Böyle bir durumda maliye idaresi vergi yükümlüsüne bir seçim hakkı tanımıştır. Bu desteklerin işletme geliri olarak değerlendirilmesi ve böylece derhal kâr etkili olarak vergilendirilmesi söz konusu olabilir. Öte yandan vergi yükümlüsü bu destekleri başarı üzerinde etkisiz, yani kâr üzerinde de etkili olmamakla değerlendirebilir. Bu durumda bir biyogaz tesisinin alış ve üretim maliyetlerinin ölçüm dayanağı, destekler kadar eksiltilmelidir. Alış veya üretim maliyetleri, biyogaz tesisinin sonradan yapılacak amortismanı üzerinde belirleyicidir.

Bundan ötürü, söz konusu desteklerin kâr etkili şirket geliri olarak kaydedilme olasılığı tercih edilirse, daha yüksek satın alma veya üretim giderleri nedeniyle vergi yükümlüsünün daha yüksek bir yıllık amortismanı olur. Desteklerin gelir üzerinde etkisi olmadığı kabul edilirse, bu durumda amortisman ölçüm dayanağı düşer ve yıllık amortisman da buna uygun olarak azalır.

#### Amortisman kuralları

Biyogaz tesisleri düzenli işletilen tesislerdir, bundan ötürü amortisman koşulları da buna uygun olarak sabit kıymetlere göre belirlenecektir.

Tarım ve ormancılık için hazırlanan genel AfA tablolarında biyogaz tesisleri için vergi bakımından 16 yıllık bir kullanma süresi vardır, bundan ötürü alış ve üretim maliyetlerinin yıllık % 6'sı oranında normal bir çizgisel AfA oranı söz konusudur. Ancak bütün biyogaz tesisi için geçerli bu statik amortisman oranı uygulamada başarılı olamamıştır, çünkü bir biyogaz tesisinin ekonomik kıymetlerinin her birinin farklı bir kullanım süresi bulunmaktadır. Bundan ötürü tesisi bağımsız kullanım ve işlev bakımından ayrı ayrı ekonomik kıymetlere bölmek daha anlamlıdır. Bu farklı ekonomik kıymetler arasında işletme binaları, çiftlik ve yol bağlantıları, silolar veya hareketli silo, ferman-

tasyon tankı ve artık madde tankı, tankların doldurulması ve boşaltılması için düzenekler, kombine güç ve ısı santrali, sıvı gübre karıştırıcısı ve sıvı gübre deposu bulunmaktadır. Özellikle motor için, çift yakıtlı ya da gazlı benzinli motor olup olmamasına göre, azami 4 ila 6 yıl arasında değişen bir kullanım süresi söz konusudur.

Vergi yükümlülükleri, çizgisel AfA'nın yanı sıra istedikleri takdirde 2009 ve 2010 yılındaki yeni edinimler için azalan oranlı amortismanı da tercih edebilirler. Azalan oranda amortisman yönteminde, her yıl geriye kalan meblağa göre giderek azalan amortisman oranları söz konusudur. Azalan oranda amortisman oranı, çizgisel AfA'nın en fazla 2.5 katı ve toplamda % 25'inden fazlası olamaz. Ayrıca azalan oranda AfA yönteminden çizgisel AfA'ya geçmek her zaman mümkündür. 16 yıllık bir kullanım süresinde, çizgisel AfA'ya 9. yıldan sonra geçiş yapılabilir. Bu yıldan itibaren çizgisel AfA oranları, azalan oranda amortisman oranlarından daha yüksektir.

Bir başka amortisman imkânı, aynı şekilde bir biyogaz tesisinde ekonomik kıymetlerin satın alınması veya üretilmesi durumunda kullanılacak özel amortismanıdır. Özel amortisman ile alış ile üretim maliyetlerinin % 20'si bir bütün olarak ya da satın alınan ilk beş yılına değer azaltıcı bir etkiyle işletme gideri olarak uygulanabilir. Likidite nedenlerinden ötürü özel amortismanı kullanmak son derece avantajlıdır.

Özel amortisman ile azalan oranlı amortismanın kombinasyonu, neredeyse üç yıl sonra ilk alış veya üretim maliyetlerinin yarısından fazlasının amorti edilmesini mümkün kılar. Buna ait bir örnek:

*Örnek: Bir çiftçi, bir biyogaz tesisini 2009 başlarında 100.000 € alış maliyetiyle satın almıştır. Çiftçi % 20'lik özel amortismanı ilk yıl tümüyle kullanır. Bunun yanı sıra azalan oranda amortismanı da karar verir.*

Bundan aşağıdaki AfA dizisi hesaplanır:

AK/HK	100.000 €	---
Özel AfA % 20	---	20.000 €
Azalan oranda AfA % 15 (% 6'nın 2.5 katı)	---	15.000 €
Amortize masraflar (RBW)	65.000 €	---
2. Yıl AfA'nın % 15'i RBW	---	9.750
Amortize masraflar	55.250 €	---
3. Yıl AfA'nın % 15'i RBW	---	8.288 €
Amortize masraflar	46.962 €	---
3 yıl sonra AfA meblağı	---	53.038 €

Bundan ötürü çiftçi 3 yıl sonra tesislerin yarısından fazlasının amortismanını gerçekleştirmiş ve bu bağlamda 53.038 € yüksekliğinde matematiksel zarar üretmiştir. Bunu başka pozitif gelirlerle gereğinde mahsup edebilir.

Ancak tarımsal bir işletme özel amortismandan ancak tarım ve ormancılık işletmesinin ekonomik kıymetinin alış veya üretim esnasında 125.000 €'dan fazla (2009 ve 2010'da: 175.000 €) olmaması durumunda yararlanabilir. Söz konusu işletme biyogaz temin eden veya üreten bir sanayi işletme ise, bu sanayi işletmenin işletme varlığı 230.000 €'dan (2009 ve 2010'da: 330.000 €) fazla olamaz.

Yatırımdan kesilecek meblağ (IAB) nedeniyle bir biyogaz tesisindeki ekonomik kıymetlerin gerçekten satın alınmasından 3 yıl öncesine kadar amortisman gideri gerçekleştirilebilir.

IAB için aynı şekilde özel amortisman için geçerli olan büyüklük sınıfları geçerlidir (b.y.). Muhtemel alış ve üretim maliyetlerinin % 40'ına kadar olan meblağ, bu bağlamda önceden vergi için geçerli kılınabilir. Satın alışın gerçekten gerçekleştiği yılda IAB geri alınacak, yani kâra eklenecektir. Satın alışın gerçekleştiği yıl kâra yapılan bu ekleme – istenildiği takdirde – ek bir AfA ile nötralize edilebilir.

Satın alış gerçekleşmezse, bu durumda IAB geriye dönük olarak ilk oluşum yılında tekrar kâra eklenebilir. Bundan doğacak daha yüksek vergi ödeme yükü yılda % 6 oranında faizlendirilecektir.

### Zarar hesabı

Özellikle ilk yıllardaki yüksek amortisman nedeniyle işletmede yüksek matematiksel zararlar ortaya çıkar.

Bir gelir türünün zararları artık sorunsuz olarak bir başka gelir türünün kârıyla mahsup edilebilir (dikey zarar dengesi). Biyogaz sanayi işletmesinin zararları tarım işletmesinin kârıyla toplanabilir ve mahsup edilebilir.

Bu durumda hâlâ geriye zarar kalıyorsa, 511.500 €'ya kadar olan bir meblağ (eşlerde 1.023.000 €) bir önceki yıla taşınabilir (zarar taşınması) Takip eden yıllara zarar aktarımı zaman sınırlaması olmadan yapılabilir.

### 9.2.1.2 Katma Değer Vergisi

Katma Değer Yasası, tarım ve ormancılık ile iştigal edenler için özel ortalama oranlar öngörmektedir. Bir tarım ve ormancılık faaliyeti çerçevesinde elde edilmiş olan gelirler için, % 10.7 oranında bir KDV öngörülmektedir. Bundan ötürü bir tarım ve ormancılık işletmesi biyokütleden ürettiği gazı sattığı takdirde,

% 10.7 oranında katma değer vergisi (KDV) hesaplanabilir. Öte yandan katma değer vergisi yasası, tarım ve ormancılık konusunda çalışanlara, tedarik ve üretim maliyetleri üzerinden oluşan katma değer vergisinin bir kısmını iade alma hakkı tanımaktadır.

Bu nedenle tarım ve ormancılık konusunda çalışanlar, bir biyogaz tesisinin kurulması esnasında olağan vergilendirmeye tabi olup olamayacaklarını araştırmalıdır. Bunun anlamı, beş yıllık bir süre için katma değer vergisi yasasının genel kurallarına tabi olmalarıdır. Bu nedenle çiftçi yalnızca satılan biyogaz için değil, sattığı bütün ürünler için şu anda % 7 veya % 19 olan geçerli katma değer vergisi oranlarını kullanmalı ve vergi dairesine teslim etmelidir. Bunun karşılığında da ödemiş olduğu peşin verginin iadesini vergi dairesinden talep edebilir. Bir biyogaz tesisinin kurulması gibi yapım işleri esnasında ortaya hatırı sayılır miktarda bir peşin vergi meblağı çıktığı için, normal vergilendirme opsiyonunun işletme için uygun olup olmadığına iyi karar verilmelidir. Bu opsiyon konusunda verilecek karar, yılın 10 Ocak tarihine kadar geçtiğimiz takvim yılı için beyan edilebilir.

Bunun yanı sıra, bir biyogaz tesisinin sahip olduğu avantajların, diğer tarım faaliyetleri için bir dezavantaj oluşturduğu da unutulmamalıdır. Özellikle iyi bir ücret karşılığı satılabilir hayvan yetiştiren işletmeler katma değer yerine ortalama vergilendirmeden faydalandıkları için, bu opsiyon iyi değerlendirilmelidir.

### 9.2.1.3 Ticari vergi bakımından etkileri

Bir biyogaz tesisinin artık bir yan işletme ya da bir tarım ve ormancılık işletmesi olmadığı kararına varıldığı takdirde, vergi yükümlüsü bir sınıai işletmeden gelir elde ediyor demektir. Bu durumda ticari vergi yasasına göre ticari vergi ortaya çıkar, ancak halen bu vergi türünde tek kişilik şirketler ve şahıs şirketleri için 24.500 € tutarında bir muafiyet söz konusudur. Bunun üzerinde bir gelir elde edildiğinde, ticari vergi yükümlüsü olunur.

Ancak yine de, vergi yükümlülüğü kaçınılmaz olsa bile, yasa koyucu ticari vergi ödemelerinin götürü olarak gelir vergisi yüküne mahsup edilebilmesini öngörmüştür. Ticari vergi nedeniyle bir net vergi, ancak % 360'ın üzerinde bir vergi oranı söz konusu olduğunda oluşur.

### 9.2.2 Hukuki yapı seçimi ve vergi olarak etkileri

Bir biyogaz tesisinin kuruluşundaki hukuki yapı meselesinin henüz ön çalışmalar esnasında çözülmesi ge-

rekir. Hukuki yapının seçilmesi sadece bir vergi yükü meselesi değildir, ancak Alman vergi kanunu hukuki yapıya bağlı olarak farklı sonuçlar öngördüğü için şirketler yasası ile vergi yasası arasında hatırı sayılır bir etkileşim bulunmaktadır. Örneğin bir tek kişilik şirket ve şahıs şirketleri gelir vergisine tabi olurken, sermaye şirketleri kurumlar vergisine tabidirler.

Bir biyogaz tesisinin kurulması veya satın alınması esnasında seçilen hukuki yapının avantajlılığı, esas olarak biyogaz tesisinin büyüklüğü ile sermayenin ne şekilde oluşturulacağına bağlıdır. Nispeten küçük biyogaz tesislerinin, tarım ve ormancılık işletmelerinin yan şirketi olarak faaliyet göstermeleri daha uygun olacaktır. Bu şekilde tarımsal işletmenin hukuki yapısı yan şirket için de belirleyici olacaktır. Bu bir tek kişilik şirket ya da şahıs şirketi olabileceği gibi, bir medeni hukuk ortaklığı da olabilir.

Ama büyük biyogaz tesislerinde başka şirketlerin de katılımı ve bununla birlikte sermaye oluşturma da belirleyici öneme sahiptir. Bu tesisler sıklıkla eski tarım işletmesinin yanında kurulur, böylece hukuksal olarak da bağımsızlaşmalarının önü açılır. Bunun için komandit şirket (Kom. Şti.) veya gereğinde bir limited şirket (Ltd. Şti.) hukuki yapıları çok uygundur. Bu hukuki yapıları arasında örneğin sorumluluk, kâr dağılımı, yayınlama yükümlülükleri, sermaye temini ve işletme yöneticiliği gibi farklar bulunmaktadır.

Bu hukuk yapıları arasında medeni hukuka ait farkların yanı sıra, aşağıda izah edilen vergi konusunda ki farklılıklar da dikkate alınmalıdır.

#### 9.2.2.1 Tek kişilik şirket

Klasik tek kişilik şirket, tarım ve ormancılık alanında son derece yaygındır. İster bir şirket kurmak suretiyle, ister öne alınmış miras yoluyla, isterse de normal miras olarak bir şirketi devralmak suretiyle tarımsal bir faaliyete başlayan bir kişi tek kişilik şirkettir ve tarım ve ormancılık yoluyla vergilendirilecek gelirler elde etmektedir. Tek kişilik şirketin önemli unsurlarından biri, özel ve şirkete ait bütün varlıklarıyla birlikte sınırsız sorumluluğunun bulunmasıdır. Tek kişilik şirketin idaresi sadece sahibine aittir ve vergi hukuku açısından şirketin gelirleri de ona ait kabul edilecektir. Tarım ve ormancılık alanında ekonomik yıl olarak kabul edilen 1.07 ile 30.06 arasında bir ekonomik yılda elde edilen gelirler, bir takvim yılına paylaştırılır.

Tarımsal tek kişilik şirketlerde defter tutma zorunluluğu sadece şirketin kendisi tarafından işletilen tarım ve orman arazisinin ekonomik kıymeti 25.000 €'dan, tarım ve ormancılıktan elde edilen gelir bir takvim yılında 50.000 €'dan ve ciro bir takvim yılında

500.000 €'dan fazla olduğu takdirde ortaya çıkar. Defter tutma zorunluluğu, vergi idaresinin defter tutma talebinde bulunmasıyla birlikte başlayan ekonomi yılında başlar. Yukarıda anılan sınırlar aşılmadığı ve vergi idaresi tarafından defter tutma çağrısı yapılmadığı takdirde, tarım ve ormancılıkla ilgili tek kişilik şirketler sadece basitleştirilmiş bir gelir -kâr hesabı hazırlamalıdır.

Bunun yanı sıra küçük şirketler için de gelirlerini ortalama oranlara göre tespit etme imkânı da vardır. Bu işletmenin kendisi tarafından tarımsal amaçlı kullanılan alanın 20 ha'dan fazla olmadığı, hayvan sayısının 50 hayvan birimini aşmadığı ve yine şirketin kendisi tarafından uygulanan özel kullanımın değerinin, özel kullanım başına 2.000 DM'den yüksek olmadığı müddetçe mümkündür. Bir ana tarım işletmesinin yan işletmesi olarak yönetilen biyogaz tesisleri, özel kullanım olarak kabul edilmektedir. Yan işletmeler ayrı olarak münferit irat değeriyle değerlendirilecekleri için, - küçük biyogaz tesisleri için de - düzenli olarak 2.000 DM'den fazla bir özel kullanım değeri ortaya çıkacaktır, bundan ötürü ortalama oranlara göre gelir tespiti düzenli olarak mümkün olamayacaktır.

Gelirler sadece tarım ve ormancılıktan elde edildiği takdirde, şu anki hukuki duruma göre şirket sahibinin işletme vergisi yükümlülüğü bulunmamaktadır. Ancak biyogaz tesisi hem bir tarım ve ormancılık işletmesi, hem de bunun yanı sıra tek kişilik sını şirket olarak çalıştırılıyor, bunun sonucu olarak da ortaya sını işletme gelirleri çıkıyorsa, bu durumda otomatik olarak bir işletme vergisi yükümlülüğü oluşmaktadır.

Katma değer yasasına göre tarım işletmecisi götürü katma değer vergisinden de faydalanabilir. Ancak tek kişilik bir sını şirket sahibi bundan yararlanamaz.

### 9.2.2.2 Şahıs şirketleri

Tarım ve ormancılık alanında en sık karşılaşılan şahıs şirketleri medeni hukuk ortaklığı (GbR) ve komandit şirkettir (Kom. Şti.).

#### Medeni hukuk ortaklığı/adi ortaklık (GbR)

GbR'nin en önemli avantajı, çok çeşitli alanlarda sahip olduğu yüksek esnekliktir. Bunun yanı sıra bir GbR'nin kurulması herhangi bir formaliteye bağlı olmaksızın, sözlü olarak da yapılabilen bir şirket sözleşmesiyle gerçekleşir. Ancak ispat yükümlülükleri ne-

deniyle, şirket ortakları arasında gereksiz tartışmaların önüne geçmek için yazılı bir şirket sözleşmesinin yapılması daima tavsiye edilir. Bir GbR'nin kurulması için asgari sermayeye gerek yoktur. Şirket yönetimi ortaklar tarafından oybirliğiyle gerçekleştirilir, ancak şirket sözleşmesinde farklı düzenlemeler de yapılabilir. Yine tek kişilik şirkette olduğu gibi, bir GbR'nin hissedarları özel ve şirkete ait varlıklarıyla sorumludurlar.

Bir GbR defter tutma ve hesap verme yükümlülüğü bakımından tek kişilik şirkette ki aynı koşullara tabidir. Sadece yukarıda belirtilen meblağ sınırlarının aşılması ve vergi dairesi tarafından bir talep olması durumunda GbR defter kayıtları tutmak zorundadır.

Şirket düzeyinde kâr ve zarar tespiti yapılır. Ancak şirketin kendisi vergi yükümlüsü olmadığı için, tespit edilen kâr veya zarar şirket ortaklarına sözleşme koşulları çerçevesinde belirlenmiş olan oranlara göre pay edilir. Şirket ortaklarının her biri için müşterek ve ayrı ayrı tespit yapılır. Şirket ortakları bu gelirleri kendi gelir vergisi beyannamelerinde beyan etmek ve vergilendirmek zorundadırlar.

Katma değer vergisi ve işletme vergisi bakımından GbR için de tek kişilik şirketin koşullarının aynuları geçerlidir.

#### Komandit Şirket (Kom. Şti.)

Tarım ve ormancılık ekonomisinde Kom. Şti. hukuk formu giderek daha fazla yaygınlaşmaktadır. Kom. Şti.'nin bir GbR'ye kıyasla en önemli avantajı, ortakların sorumluluğunun kendi hisse paylarıyla sınırlandırılmış olmasıdır. Bu sayede bütün özel ve şirket varlığı üzerindeki şahsi sorumluluk, belirli bir para tutarına indirilmiş olur. Bir veya birden fazla komanditer ortağın yanı sıra, en azından bir tane sınırsız sorumlu komandite ortak da bulunmaktadır. Komandite ortak tüm mal varlığıyla şirket işlerinden sorumludur.

Komandite ortağın sınırsız sorumluluğunun kısıtlandırılması için, esasen bir şahıs şirketi olan GmbH & Co. KG hukuki yapısı da bulunmaktadır.

Bu hukuki yapıda bir limited şirket (Ltd. Şti.) komandite ortağın yerini alır. Bu hukuki yapının seçilmesi ile komandite ortağın sorumluluğu, Ltd.Şti'nin teminat mevduatı meblağına indirilebilir.

Bir Kom. Şti.'nin bir diğer avantajı, aslında şirketin kendisine ilgi duymamakla birlikte, bir biyogaz tesisinin finansmanı için sermaye yatırmak isteyen komanditer ortakların katılımının sağlanabilmesidir. Bu şekilde örneğin başka aile fertleri ya da aile dışından başka kişilerin de biyogaz tesisi finansmanına katılmaları sağlanabilir.

1. Vergi mevzuatı burada henüz €'ya aktarılmamıştır.  
<http://bundesrecht.juris.de/estg/13a.html>

Tablo 9.9: En önemli hukuki yapıların genel formu

	Tek kişilik şirket	Şahıs şirketleri		Sermaye şirketleri
		GbR	Kom. Şti.	Ltd. Şti.
		Medeni hukuk ortaklığı	Komandit şirket	Limited şirket
Sermaye sağlanması	Kendi servetinden; asgari sermaye yok	Bütün ortaklar/hissedarlar birlikte; asgari sermaye yok		Ortaklar hisseleri nispetinde; ana sermaye 25.000 €, kuruluş esnasında en az ¼'ünün ödenmiş olması gerekiyor; Yeni: 1 € ana sermaye ile sınırlı sorumlu girişimci şirketi (UG) kurmak mümkün
Sorumluluk	Özel ve şirket servetiyle sınırsız sorumlu	Özel ve şirket servetiyle sınırsız sorumlu	Komandite ortak tam sorumlu; komanditerler sadece kendi payları nispetinde; komandite ortak olarak Ltd. Şti. (GmbH + Co KG) sadece şirket varlığıyla sorumludur	Şirket varlığıyla sınırlıdır
Şirket yönetimi, kâr ve sonuç dağılımı	Tek kişilik şirket sahibi yalnız	Ortaklaşa şirket yönetimi	Komandite ortak; komanditer şirket yönetiminde bulunmaz	Şirket müdürü ortaklar kurulu tarafından atanmalıdır; müdür yabancı veya şirket ortağı olabilir
Defter tutma yükümlülüğü	Tek kişilik şirket sahibi yalnız	Her ortağa sözleşmeye göre kâr dağıtım	Önceden % 4 faiz, kalanı sözleşmeye göre	Ortaklar kurulu kararına göre; UG'de kârın ¼'ü hissedarlara dağıtılmaz
Götürü katma değer vergisi	İşletmenin kendi ektiği alanların ekonomik değeri 25.000 € üzerinde ise 50.000 € kârdan itibaren veya 500.000 € cirodan itibaren ve finans idaresinin talebiyle	Tek kişilik şirketler gibi	Evet, ticaret yasasına göre	Evet, ticaret yasasının defter tutma ve bilançolama yükümlülüklerine göre
Götürü katma değer vergisi	Evet, normal vergilendirme opsiyonu mümkündür	Tek kişilik şirketler gibi		Hayır, hukuki yapısı nedeniyle götürü imkânı yoktur Yeni: Federal Vergi Mahkemesi'nin verdiği bir hüküm nedeniyle Ltd. Şti.'lerinin tarım faaliyetlerine katılması mümkündür
İşletme vergisi zorunluluğu	Sadece tarım ve ormancılık gelirleri söz konusu ise ortadan kalkar	Tek kişilik şirketler gibi	Tek kişilik şirketler gibi	Evet
Vergi nesnesi ve vergi türü	Tek kişilik şirket sahibi gelir vergisine tabidir	Şirketler değil, şirket ortakları kâr paylarına göre gelir vergisine tabidirler		Şirket kurumlar vergisine tabidir; kâr payı dağıtımında ise pay sahibi gelir vergisine tabidir

LN: Tarımsal faydalı alan

Tek kişilik şirkette ve GbR'de de olduğu gibi, Kom. Şti.'de de asgari sermayeye ihtiyaç yoktur. Temel olarak bir komandit şirketin kuruluşunda da şekil özgürlüğü söz konusudur, ancak bir GmbH & Co. KG kuruluşundan önce bir Komandite Ltd. Şti.'nin kurulması

ve noterce onaylanmış bir başvuruyla ticaret siciline kaydını yaptırmış olması gerekir. Bir Kom. Şti.'de sadece bir komandite ortak şirket müdürü olmaya hak sahibidir. Bir GmbH & Co. KG'da ise şirketin işleri de onun müdürü tarafından takip edilir.

Muhasebe bakımından Kom. Şti. için Ticaret Yasası'nın düzenlemeleri geçerlidir. Bu yasaya göre – belirli meblağ sınırlarından bağımsız olarak – komple bir muhasebe kaydı gereklidir.

Bir Kom. Şti.'nde şirketin kendisi değil, ortakları gelir vergisi yükümlüsüdür, çünkü Kom. Şti. sıklıkla gelir vergisinde bir vergi nesnesi olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle burada da önce Kom. Şti. düzeyinde kâr ve zarar tespit edilir, ardından da hissedarlara payları nispetinde müşterek ve ayrı ayrı yapılan bir tespitle paylaşılır. Şirket ortakları bundan sonra kendi paylarını vergilendirmekle yükümlüdürler.

İşletme vergisi içinse başka bir durum söz konusudur. Kom. Şti. burada bağımsız bir vergi nesnesidir ve hukuki yapısı nedeniyle bu gücü kendisi taşımaktadır.

Kom. Şti. bir tarım işletmesi çalıştırdığı takdirde, tarımsal işletmeler için götürü katma değer vergisi oranlarından faydalanabilir.

### Sermaye Şirketi

Sermaye şirketleri tarım ve hayvancılık alanında önemli bir rol oynamazlar. Sermaye şirketi anlamında esas olarak limited şirket (Ltd. Şti.) ve anonim şirket (A.Ş.) söz konusudur. Ancak aşağıda sadece Ltd. Şti. anlatılacaktır, çünkü şekli kuralların ağırlaştırılması nedeniyle A.Ş. tarım işletmeleri için artık cazip değildir.

Sermaye şirketlerinin temel ilkesi, şirket seviyesi ile şirket ortakları seviyesi arasındaki sıkı ayrımdır. Bir hukuki kişi olarak sermaye şirketi kurumlar vergisine tabidir ve gelirleri de sanayi işletmesi gelirleri olarak muamele görmektedir.

Sermaye şirketi hissedarlarına gelir dağıtımını yaptığı zaman, hissedarlar bu dağıtım anında vergiye tabi gelir elde etmiş olmaktadır. Şirket hissedarlarına kâr dağıtımını yaptığı anda, hissedarlar paylarına düşen kârın % 60'lık bir kısmını kişisel gelir vergilerinde beyan etmek zorundadırlar. Burada hissedar için kısmi gelir vergisi yöntemi uygulanmaktadır.

Bir Ltd. Şti.'nin kuruluşu için noterlikçe onaylanmış şirket sözleşmesi ve şirketin ticaret sicil kaydına başvurusunun yapılmış olması gerekmektedir. Daha sonra ortaklar kurulu bir veya birden fazla müdür belirlemelidir, çünkü Ltd. Şti. sadece müdür üzerinden faaliyet yürütebilir. Ancak bir de tek ortaklı Ltd. Şti. bulunmaktadır.

Bir Ltd. Şti.'nin asgari sermayesi 25.000 €'dur, kuruluş esnasında bunun en az yarısının ödenmiş olması gerekmektedir. Ltd. Şti.'nin en büyük avantajı, şirketin sadece şirket varlıklarıyla, yani, en azından asgari sermayeyle sınırlı olmasıdır. Bunun dışında şirket müdürünün veya şirket ortaklarının başka kişisel sorumlulukları yoktur. Ltd. Şti. ticaret yasasının defter kaydı ve bilançolama yükümlülüklerine tabidir.

Bu arada sınırlı sorumlu girişimci şirketi (UG) olarak bir mini Ltd. Şti. kurma imkânı da bulunmaktadır. Bu şirketin kuruluş sermayesi asgari 1 €'dur. Bunun dışında girişimci şirketleri Ltd. Şti. ile aynı kurallara tabidir.

Vergi açısından şirketin gelirleri kurumlar vergisinin halen geçerli kurallarına göre % 15 oranında vergilendirilmelidir. Ltd. Şti. ayrıca, sınai gelirin yaklaşık % 14'ü oranında işletme vergisine de tabidir. Bu nedenle bir sermaye şirketinin vergi yükü yaklaşık % 29 civarındadır.

## 9.3 Kaynakça

- [9-1] KTBL-Datensammlung Betriebsplanung 2008/2009
- [9-2] Weiland, P.; Gemmeke, B.; Rieger, C.; Schröder, J.; Plogsties, V.; Kissel, R.; Bachmaier, H.; Vogther, J.; Schumacher, B. FNR, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (Hrsg.): Biogas-Messprogramm II, Gülzow (2006)
- [9-3] KTBL (2009): Schwachstellen an Biogasanlagen verstehen und vermeiden
- [9-4] Göbel, A. und Zörner, W. (2006): Feldstudie Biogasanlagen in Bayern
- [9-5] Mitterleitner Hans, LfL, Institut für Landtechnik und Tierhaltung, 2003 (ergänzt) - persönliche Mitteilung
- [9-6] Melchinger, T.: Ermittlung von Kalkulationsdaten im landwirtschaftlichen Güterumschlag für Front- und Teleskoplader. Diplomarbeit FH Nürtingen (2003)
- [9-7] Mayer, M.: Integration von Radladern in alternative Mechanisierungskonzepte für den Futterbaubetrieb. Diplomarbeit FH Nürtingen (1998)
- [9-8] Handke, B.: Vergleichende Untersuchungen an Hofladern. Diplomarbeit FH Nürtingen (2002)

# 10

# Fermantasyon artığının kalitesi ve değerlendirilmesi

## 10.1 Fermantasyon artığının özellikleri

### 10.1.1 Özellikler, besin maddeleri ve değerli içerik maddeleri

Fermantasyon artıklarının veya bunların içeriklerinin özellikleri büyük ölçüde anaerob fermantasyon için kullanılan maddeler ve fermantasyon prosesinin kendisi tarafından belirlenmektedir. Tarımsal biyogaz tesislerinde ağırlıklı olarak sıvı sığır ve domuz gübresi, katı sığır ve domuz gübresi ve kanatlı gübresi kullanılmaktadır. Yüksek oranda amonyum içermesi ve kireç verilmesi nedeniyle yumurta tavuğu gübresi kullanımı daha az söz konusudur. EEG'nin ödenek kuralları nedeniyle az sayıda tesis işletmecisi sadece enerji bitkisi kullanmaktadır. Buna rağmen çiftlik gübrelere fermantasyonunun uzun süreden beri bilinen fermantasyon artığı üzerindeki tahmini etkilerinden söz etmek gerekir:

- Uçucu organik bileşiklerin bozunması sayesinde koku emisyonunun azalması
- Kısa zincirli organik asitlerin büyük oranda bozunması ve neticede bitkilerde yaprak yanma riskinin azalması
- Reolojik (akışkan) özelliklerinin iyileştirilmesi ve buna bağlı olarak yem bitkilerinde yaprak kirliliklerinin azalması ve homojenleştirmede daha düşük külfet
- Hızlı etki eden azotun yükseltilmesi sayesinde kısa süreli azot etkisinin yükseltilmesi ve
- Yabani ot tohumlarının ve hastalık etmenlerinin (insan, hayvan ve fito patojen) öldürülmesi veya etkisizleştirilmesi.

Fermantasyon sonucu temelde materyallerin karbon bileşenleri değiştirildiğinden, bunların içinde bulunan besin maddeleri tamamen korunmaktadır.

Bunlar nihayetinde anaerob bozunma prosesi sayesinde daha iyi çözünür veya bitkiler tarafından daha fazla kullanılabilirler [10-1].

Biyogaz üretimi için ağırlıklı olarak enerji bitkileri kullanılırsa, benzer materyaller veya yem maddeleriyle, çiftlik hayvanlarının sindirim sistemindekiyle kıyaslanabilir prosesler meydana gelmektedir. Bu nedenle zorunlu olarak özellikleri bakımından sıvı çiftlik gübresiyle kıyaslanabilir fermantasyon artıkları oluşmalıdır. Bu tez, Baden-Württemberg eyaletindeki uygulama işletmelerinde fermantasyon artıklarının içerdikleri besin maddesi miktarı ve kalitesi, değerli bileşenleri ve gübre etkisi bakımından incelendiği LTZ Augustenberg'in araştırmaları sayesinde belgelenmektedir. Tablo 10.1'de fermantasyon artıklarının referans değerleri görülmektedir [10-2]. Sıvı sığır gübresi ve enerji bitkilerinin, sıvı domuz gübresi ve enerji bitkilerinin, ağırlıklı olarak enerji bitkilerinin yanı sıra atıkların (kısmen enerji bitkileriyle karıştırılmış) fermantasyonundan kaynaklanan fermantasyon artıkları araştırılmıştır. Sonuçların daha iyi tasnif edilebilmesi ve karşılaştırılabilmesi için işlenmemiş sıvı gübreden de numunelerden rastgele bir numune analiz edilmiştir.

Araştırmalardan elde edilen en önemli bulgular şunlardır:

- Fermantasyon artıklarının kuru kütle oranları (ortalama olarak YM'nin % 7'si) ham sıvı gübreninkine göre yaklaşık % 2 daha düşük
- Fermantasyon artıklarındaki toplam azot oranları 4.6 ila 4.8 kg/t YM (yaş madde) ile sıvı sığır gübresine göre biraz daha yüksektir
- C/N oranı fermantasyon artıkların yaklaşık 5 ila 6'dır ve böylece ham sıvı gübrenin belirgin şekilde altındadır (C/N:10)
- Organik materyalin bozunması, organik bağlı azotun inorganik bağlı azota aktarılmasına ve bu bağlamda fermantasyon artıklarındaki toplam azottaki amonyum oranının artmasına neden olmaktadır (yaklaşık % 60 ila % 70)
- Sıvı domuz gübresi ve biyolojik atık fermantasyonu artıklarından oluşan fermantasyon artıkları, sıvı sı-



Tablo 10.1: Fermantasyon artıklarının ve çiftlik gübrelerinin karşılaştırmalı referans değerleri ve özellikleri [10-2]

Parametre	Birim veya Tanımlama	Ham sıvı gübre		Fermantasyon artıkları		
		ağırlıklı Sıvı Sığır gübresi	Sıvı sığır gübresi ve NawaRo	Sıvı domuz gübresi ve NawaRo	NawaRo	Atık (ve NawaRo)
Kuru madde	% YM	9,1	7,3	5,6	7,0	6,1
Asitlik derecesi	pH	7,3	8,3	8,3	8,3	8,3
Karbon/Azot oranı	C/N	10,8	6,8	5,1	6,4	5,2
Bazik etkili maddeler	BWS (kg CaO/t YM)	2,9	-	-	3,7	3,5
kg/t YM						
Azot	N <sub>toplam</sub>	4,1	4,6	4,6	4,7	4,8
Amonyum-N	NH <sub>4</sub> -N	1,8	2,6	3,1	2,7	2,9
Fosfor	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,9	2,5	3,5	1,8	1,8
Potasyum	K <sub>2</sub> O	4,1	5,3	4,2	5,0	3,9
Magnezyum	MgO	1,02	0,91	0,82	0,84	0,7
Kalsiyum	CaO	2,3	2,2	1,6	2,1	2,1
Kükürt	S	0,41	0,35	0,29	0,33	0,32
Organik madde	o. S.	74,3	53,3	41,4	51,0	42,0

YM: Ham mahsul (yaş materyal)

ğır gübresi veya NawaRo ve bunların karışımlarından oluşan fermantasyon artıklarına göre daha yüksek fosfor oranlarına, daha yüksek amonyum azotu oranlarına, buna karşın daha düşük KM ve potasyum oranları yanı sıra daha düşük organik madde oranına sahiptir

- Magnezyum, kalsiyum ve kükürt de besin maddeleri bakımından belirgin farklar tespit edilmemiştir.

### 10.1.2 Zararlı maddeler

Fermantasyon artığındaki zararlı madde konsantrasyonunun yüksekliği, temelde kullanılan materyaller tarafından belirlenmektedir. Fermantasyon artıklarındaki ağır metal oranlarının çiftlik gübrelerine kıyasla referans değerleri tablo 10.2'de gösterilmiştir. Biyogaz prosesinde mutlak ağır metal miktarları değişmez, KM üzerinden hesaplamada ve organik maddenin bozunması nedeniyle fermantasyon sonrasında ağır metal oranları yükselir. BioAbfV [10-23]'nin ağır metal sınır değerlerinin, kurşun (Pb), kadmiyum (Cd), krom (Cr), nikel (Ni) ve cıva (Hg) elementlerinde sadece % 17'si, bakır (Cu) ve çinko (Zn) elementlerinde % 70 ve 80'i oranında kalınmaktadır. Toplamda ağır metal oranları sıvı sığır gübresi ile aynı seviyededir. Sıvı domuz gübreleri Pb, Cd, Cu ve Zn için nispeten yüksek konsantrasyonlara sahiptir. Cu ve Zn gerçik ağır metaller arasında yer almakla birlikte, aynı zamanda hayvan ve bitki beslenmesi yanı sıra biyogaz tesisindeki

mikrobiyolojik prosesler için mikro besin maddeleridir. Bunlar hem hayvan beslenmesine hem de NawaRo kullanan biyogaz tesislerine ilave edilmektedir. Bu nedenle Cu ve Zn elementleri için gübre maddesi yönetmeliğinde herhangi bir sınır değer tanımlanmamıştır. Verilen konsantrasyonlarda fermantasyon artıklarının değerlendirilmesi açısından toprakta ve sularda herhangi bir kirlilik beklenmemektedir.

### 10.1.3 Hijyenik özellikler

Sıvı gübrede ve diğer organik atıklarda, insanları ve hayvanları enfekte eden bir dizi patojen mikroorganizmalar ortaya çıkabilmektedir (Tablo 10.3).

Öteden beri seri araştırmalar sırasında pozitif salmonella bulguları belirlenmektedir (Tablo 10.4). Ancak bu sırada pozitif salmonella bulguları % 5'in altında olmakla birlikte, klinik açıdan sağlıklı çiftlik hayvanları da etkilenmektedir. Bu nedenle enfeksiyon döngülerinin kırılması için, sadece hayvansal kökenli çiftlik gübrelerinden üretilen fermantasyon artıklarının da, özellikle bunların piyasaya sürülmesi durumunda hijyenleştirilmeleri avantajlıdır.

Ancak çoğu durumda, bir biyogaz tesisinde çiftlik gübresinin hijyenize edilmesi hukuken beklenmemektedir. (bkz. Bölüm 10.3.5). Kullanılan diğer hayvansal kökenli kofermentler ve biyolojik kökenli atıklar için geçerli katı hijyenleştirme yükümlülüklerine her zaman uyulmadığını, biyolojik atık fermantas-

Tablo 10.2: Fermantasyon artıklarının ve çiftlik gübrelerinin karşılaştırmalı ağır metal oranları

	Fermantasyon artıkları	DüMV'ye göre deklarasyon değerlerine oran	DüMV'ye göre sınır değerlerine oran	BioAbfV'ye göre sınır değerlerine oran	Sığır sıvı gübresi	Sıvı Domuz gübresi
	mg/kg KM	%	%	%	mg/kg KM	mg/kg KM
Pb	2,9	2,9	1,9	< 5	3,2	4,8
Cd	0,26	26	17,3	17	0,3	0,5
Cr	9,0	3	-a	9	5,3	6,9
Ni	7,5	18,8	9,4	15	6,1	8,1
Cu	69	14 c (35)	-b	70	37	184
Zn	316	31c (158)	- b	80	161	647
Hg	0,03	6	3,0	< 5	-	-
Kaynak	[10-2]	[10-19]	[10-19]	[10-23]	[10-3]	[10-3]

a. Sadece Cr(VI) için sınır değer

b. DüMV hiçbir sınır değer içermez

c. Çiftlik gübresi için deklarasyon değeri

KM: Kuru kütle

Tablo 10.3: Sıvı gübrede ve organik atıklarda infeksiyöz ajanlar [10-4]

Bakteriler	Virüsler	Parazitler
Salmonella (RG, SG, HK)	Tabak virüsleri	Yuvarlak solucanlar
Eşerşiya koli (RG)	Domuz vebası	Kıl küflücesi
Şarbon bakterisi (RG)	Domuzlarda kesecik hastalığı	Emici solucanlar
Brusella (RG, SG)	Domuz gribi	Karaciğer paraziti
Leptospiroz (RG, SG)	Oldenburg domuz vebası (TGE)	Akciğer solucanı
Salmonella (RG, SG, HK)	Rota virüsü enfeksiyonları	Mide bağırsak solucanları
Erizipel (yılançık) bakterileri (RG, SG)	Teşen hastalığı	
Klostridya (HK)	Aujeszky hastalığı	
Streptokoklar	Atipik tavuk vebası (kuş gribi)	
Enterobakteriler	Mavi dil hastalığı	
	Retrovirüs, parvovirüs, ekovirüs, entero- virüs	

RG: Sıvı sığır gübresi; SG: Sıvı domuz gübresi; HK: Tavuk dışkısı

Tablo 10.4: Salmonellanın biyogaz tesisi materyallerinde ve fermantasyon artıklarında ortaya çıkması

	Ham sıvı gübre			Fermantasyon artıkları	
	Sıvı sığır gübresi, sıvı domuz gübresi Klinik açıdan sağlıklı	ağırlıklı Sıvı Sığır gübresi	Sıvı gübreler ve NawaRo	Biyolojik atık ve NawaRo	
Numune sayısı	280	132	51	190	18
Bunlardan pozitif salmo- nella pozitif	7	5	0	6	2
% olarak	2,5	3,8	0	3,2	11,1
Numune alma yılı	1989	1990	2005'den 2008'e kadar		
Kaynak	[10-5]	[10-5]	[10-2]	[10-2]	[10-2]

yonu yapan biyogaz tesislerindeki bulgular göstermektedir.

Fitohijyen alanında hijyenleştirme tedbirleri sayesinde zararlı organizmalarının yayılmasının engellenmesi amaçlanmaktadır. Bu sırada patates ve pancar hastalıkları büyük önem taşımaktadır (*Clavibacter michiganensis*, *Synchytrium endobioticum*, *Rhizoctonia solani*, *Polymyxa betae*, *Plasmodiophora brassicae*). Bu nedenle gıda maddesi endüstrisinden gelen atıklar ve atık sular, biyogaz tesisinde kullanılmadan önce daima bir hijyenleştirmeye tabi tutulmalıdır [10-6].

LTZ-Screenings çerçevesinde neredeyse 200 farklı sıvı gübre ve fermantasyon artığı, mısır ve tahıl açısından karakterize edilmiş fitopatogen mantar mikroorganizmaları *Helminthosporium*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Phytophthora intermedium* ve *Fusarium oxysporum* bakımından araştırılmıştır. Ancak sadece bir örnekte bir patojen belirlenebilmiştir [10-2].

Seri araştırmalarla fitohijyen açısından önem taşıyan endikatör organizma kontrolüne „Germinatif bitkilerin ve dışarı taşınabilir bitki parçalarının sayısına (bkz. Bölüm 10.3.5)“ uygulama tesisleri sayesinde genellikle uyulabildiği de belgelenebilmiştir [10-2].

## 10.2 Fermantasyon artığının depolanması

Fermantasyon artıklarında bulunan değerli maddelerden ve besin maddelerinden faydalanmak için önkoşul, uygun depolarda depolamaktır. Fermantasyon artıklarının depolanması sırasında, işlenmemiş çiftlik gübrelerinde olduğu gibi metan (CH<sub>4</sub>) ve azot oksit (N<sub>2</sub>O) gibi iklimi ilgilendiren gazların emisyonunun yanı sıra amonyak (NH<sub>3</sub>) emisyonları ve koku maddeleri de oluşmaktadır.

### 10.2.1 Amonyak emisyonları

Fermantasyon prosesi ile artan amonyum oranının yanı sıra fermantasyon artığındaki yüksek pH değerleri (bkz. Tablo 10.1), depolama sırasında amonyak emisyonlarını teşvik etmektedir. Çoğu zaman yüzer tabaka oluşumu sadece kısıtlı bir şekilde mümkündür. Bu nedenle açık fermantasyon artığı depolarında amonyak kayıplarını engellemek için depolarda bulunan materyalin üzerinin örneğin saman parçalarıyla acilen kapatılması önerilmektedir. Bu aynı zamanda amonyak emisyonu ile bağlantılı olan koku emisyonunu da önleyecektir (Tablo 10.5).

Tablo 10.5: Amonyak emisyonlarını azaltmak için fermantasyon artığı depolarında kullanılan kaplamalar<sup>a</sup> [10-7]

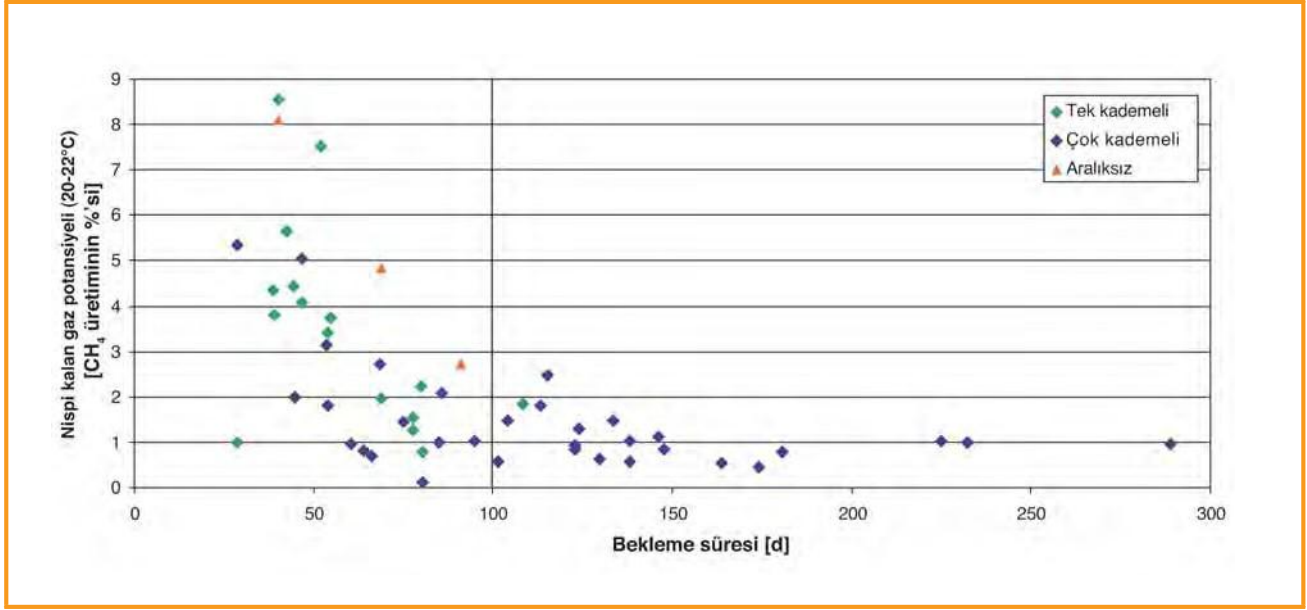
Kaplama malzemeleri	Yatırımlar (Ø 15 m) €/m <sup>2</sup>	Kullanım süresi yıl	Yıllık maliyet €/m <sup>2</sup>	Kapatılmamış haznelere kıyasla emisyon azalışı %	Not
Doğal yüzer örtü	-	-	-	20-70 <sup>b</sup>	Sık fermantasyon artığı çıkartılması durumunda düşük etki
Saman parçaları	-	0,5	< 1	70-90	Sık fermantasyon artığı çıkartılması durumunda düşük etki
Granülât	11	10	2,5	80-90	Malzeme kayıplarının karşılanması gerekli
Yüzer cisim	35	20	3,2	90-98 <sup>c</sup>	Uzun kullanım süresi, yeni, çok deneyim yok
Yüzer folyo	38	10	5,3	80-90	Düşük bakım külfeti, yüksek maliyet nedeniyle çok büyük depolar için uygun değil
Çadır çatı	50	15	5,3	85-95	Düşük bakım külfeti, yağmur suyu girişi yok
Araçla üzerine çıkılabilir Beton kaplama	85	30	6,2	85-95	Düşük bakım külfeti, yağmur suyu girişi yok, yakl. 12 m çapa kadar

a. Şimdiye kadar uygulama tesislerinde emisyon azaltılması ile ilgili çok fazla araştırma bulunmamaktadır. İfadeler, sıvı domuz gübresi ile ilgili deneyimler ve araştırmalardan türetilmiştir.

b. Yüzer örtünün yapısına göre

c. Koyu akışkan fermantasyon artıkları için uygun değil

Varsayımlar: Faiz oranı: % 6; onarım: % 1 (sadece yüzer folyo, çadır çatı ve beton kaplama durumunda); Granülât: % 10 granülâtta yıllık kayıplar; saman için masraf: 8 €/dt (dt=100 kg) saman (presleme, yükleme, nakliye, kırılma, üfleme), mukavemet : 6 kg/m<sup>2</sup>



Şekil 10.1: 20-22 °C'de kalan nispi gaz potansiyeli ile hidrolitik bekleme süresi arasındaki ilişki [10-8]

### 10.2.2 iklim ile ilgili emisyonlar

Fermente sıvı gübreden metan oluşumu, anaerobik proses sayesinde işlenmemiş sıvı gübreye göre önemli ölçüde azalmaktadır, çünkü fermentörün içinde fermentasyon materyalinin organik kısmının bir bölümü zaten metabolize olmuştur, böylece depolama haznesinde nispeten az oranda bozunabilir karbon bulunmaktadır. Böylece metan emisyonlarının azalma oranı belirleyici olarak organik maddenin bozunma derecesine ve bununla bağlantılı olarak fermentördeki çıkış materyalinin bekleme süresine de bağlıdır. Böylece çeşitli araştırmalarda, kısa fermentasyon fazına, yani fermentörde kısa bir bekleme süresine sahip fermentasyon artıklarının, fermentörde uzun bekleme süresine sahip fermentasyon artıklarına göre daha fazla CH<sub>4</sub> yaydıkları gösterilmiştir (şekil 10.1).

Çok kısa bekleme süresi durumunda, kısa süre önce metan oluşturucular ile aşılınmış materyalin, kısa bir süre sonra fermentörden dışarı çıkartılması ve fermentasyon artığı deposuna ulaşması durumunda, işlenmemiş sıvı gübreye kıyasla artan metan emisyonları söz konusu olabilir [10-9]. Bu nedenle kısa devre akışları önlenmelidir.

Fermentasyon artıklarından oluşan metan emisyonlarının tahmin edilmesi için, fermentasyon deneylerinin sonuçları, fermentasyon artıklarıyla 20-22 °C'de beklemeli (batch) fermentasyon prosesine tabi tutulabilir [10-8], çünkü bu şartlar fermentasyon artığı

deposundaki sıcaklık koşullarına aşağı yukarı eşittir. Buna karşın mezofilik koşullar (37 °C) altında belirlenen kalan gaz potansiyeli değerleri, gerçek emisyonlar bakımından kayda değer değildir. Ancak bunlar fermentasyon prosesinin etkililiği bakımından bir bilgi sağlayabilirler, çünkü fermentasyon artığında halen bulunan, fermentörde dönüştürülmemiş biyokütle potansiyelini yansıtmaktadırlar. Ancak her iki parametre, münferit tesislerin proses yönetimine ve kullanılan materyallere bağlıdır. Bu nedenle tablo 10.6'da sözü edilen değerler sadece referans değerler olarak görülmelidir.

Çok kademeli tesislerde hem 20-22 °C'de, hem de 37 °C'de, kalan gaz potansiyeli düşüktür. (Tablo 10.6). Bu, özellikle çok kademeli tesis işletmesi ile bağlantılı olan ve kalan gaz potansiyeli üzerinde azaltıcı etkisi bulunan, yüksek bekleme süresine bağlıdır (şekil 10.1).

CH<sub>4</sub>'ün yüksek sera etkisi potansiyeli nedeniyle (1 g CH<sub>4</sub> = 23 g CO<sub>2</sub>), fermentasyon artığı depolama haznelerinden CH<sub>4</sub> emisyonlarının azaltılması veya engellenmesi hedeflenmelidir. Gaz geçirmez bir son depo ile donatılmamış tesisler, çok kademeli bir işletmenin (ardışık fermentör) yanında, aşağıdaki taleplerden en azından birini yerine getirmelidir:

- Fermentasyon sıcaklığı sürekli olarak en az 30 °C olan ve, en az **100 günlük** ortalama hidrolitik bekleme süresi **veya**
- Yükleme oranı < **2,5 kg.OKM/m<sub>N</sub><sup>3</sup>· d.**<sup>1</sup>

1. m<sub>N</sub><sup>3</sup>: Kullanılabilir fermentasyon hacimlerinin toplamı.

Tablo 10.6: Tarımsal biyogaz tesislerinin fermantasyon artıklarının, yüklenen materyal miktarı başına elde edilen metan verimi bakımından kalan gaz potansiyeli; Biyogaz ölçme programı II çerçevesinde test edilen uygulama tesislerinden 64'ünün ortalama değerleri yanı sıra asgari ve azami değerleri [10-8]

Proses ısısı		Kalan gaz potansiyeli [CH <sub>4</sub> veriminin %'si]	
		Tek kademeli	Çok kademeli
20-22 °C	Ortalama değer	3,7	1,4
	Asgari-azami	0,8-9,2	0,1- 5,4
37 °C	Ortalama değer	10,1	5,0
	Asgari-azami	2,9-22,6	1,1-15,0

Materyal hacminin hesaplanması sırasında fermantasyon haznesindeki tüm girişler dikkate alınmalıdır (yani örneğin su ve/veya sirkülasyon). Yukarıda sözü edilen şartlar yerine getirilmezse, tablo 10.6'da belirlenmiş ortalama değerlerin üzerinde bulunan metan emisyonları hesaba katılmalıdır. Bu durumlarda fermantasyon artığı depolama haznesinin en azından fermantasyon artığı depo ihtiyacının ilk 60 günü için, gaz sızdırmaz bir ardıl donatım önerilmektedir.<sup>1</sup>

Yenilenebilir Enerjiler Yasası 2009'a ve federal emisyon yasasına göre ruhsat zorunluluğu bulunan bir tesis söz konusuysa, fermantasyon artığı deposunun kapatılması, NawaRo bonusu için ön koşuldur. Bunlar, toplam anma gücü 1 MW (yaklaşık 380 kWel'ye denk gelir), veya sıvı gübre depolama kapasitesi 2.500 m<sup>3</sup>'ü aşan tüm tesislerdir. Bu tüm yeni tesisler için geçerlidir, eski tesisler için yasanın uygulanabilirliği halen tartışılmaktadır, çünkü çoğu durumda fermantasyon artığı depolarının bir ardıl donatımı ya hiç veya kısıtlı bir şekilde mümkün olabilmektedir (bkz. üstte).

Yapı mevzuatına göre ruhsatlandırılacak yeni tesisler için de gaz geçirmez bir kapatma sadece ekolojik değil, bilakis ekonomik kriterler açısından da değerlendirilmelidir. Netice itibariyle faydalanılmayan biyokütle potansiyeli, özellikle yüksek miktarlarda ki artık kalan gaz potansiyeli durumunda kaçırılmış bir gelir anlamına gelmektedir. İlaveten kazanılan artık gaz:

- Elektrik kazanımı sayesinde değerlendirilebilir Değerlendirme ilave bir elektrik getirisi sağlayacaktır

- Motorun aynı kalan kapasitesinde değerlendirilebilir gaz miktarı artacaktır. Böylece daha az ham madde ile aynı miktarda gaz üretilebilecektir (BHKW'nin maksimum kapasitesinde kısa vadeli seçenек; ilaveten ikmal edilen elektrik işinden yüksek getiri mümkün).

Özellikle yüksek NawaRo oranına sahip tesisler için (örneğin ham kütle girişinde oran > % 50) fermantasyon artığı deposunun gaz geçirmez bir şekilde donatımı maliyete değebilir; burada üzeri kapatılacak düşük fermantasyon artığı hacmi - ve böylece daha düşük yatırım - nedeniyle halihazırda düşük artık gaz randımanında bile uygun ekonomik avantajlar oluşabilir ve hesaba katılabilir (Tablo 10.7). Salt çiftlik gübresi kullanan tesislerde veya ağırlıklı olarak çiftlik gübresi fermantasyonuna sahip tesislerde, tesisin büyüklüğü ile birlikte üzeri örtülecek fermantasyon artığı hacmi de artmaktadır, böylece belirli şartlar altında elektrik kazanımından elde edilen fazladan gelirler, bir gaz geçirmez kaplamanın karşılanması için yeterli değildir. Gerçi EEG 2009'un değiştirilmesi ile birlikte, ham kütle girişinde % 30'un üzerinde sıvı gübre oranına sahip tesisler için çıkartılan sıvı gübre bonusuyla uygun ölçüde daha yüksek fazladan getiri oluşmaktadır, böylece kayıp sınırı düşük sıvı gübre oranına sahip tesislere göre nispeten düşük kurulu güç durumunda da ulaşılmaktadır. Ancak NawaRo tesisleri ile kıyaslandığında, nispeten düşük artık gaz potansiyeli hesaba katılmalıdır.

KTBL 2006 tarafından uygulanan eyalet çapındaki bir tarama, mevcut silindirik depoların sadece yaklaşık dörtte birinin (kaydedilen fermantasyon artığı depolarının % 95'i) gaz geçirmez şekilde kapatılmış olduğunu ortaya koymuştur [10-11]. Bu, biyogaz ölçme programı II'nin sonuçlarıyla (FNR 2009) örtüşmektedir. Ancak tüm fermantasyon artığı depoları teknik olarak bir gaz sızdırmaz kapatma ile donatılamaz. Tarımaya eşlik eden uzman grubu, bunun sadece mevcut açık silindirik depoların dörtte biri için sorunsuz bir şekilde mümkün olabileceği sonucuna varmıştır. Bir diğer dörtte birlik grup, statik konular ve/veya yapı biçimi nedeniyle sadece ciddi külfetle donatılabilecek şekilde değerlendirilmiştir. Silindirik depoların yarısının yanında, toprak havuzların da (kaydedilen fermantasyon artığı haznelerinin yaklaşık % 5'i), donatılamaz olduğu görülmüştür [10-11].

Sınırlı donatım uygunluğu durumunda, yukarıda belirtilenlere göre önemli ölçüde yüksek masraflar he-

1. Fermantasyon artığı depolama hazneleri ile ilgili aşağıdaki şartlar geçerlidir: a) aktif bir sıcaklık kontrolü kurulmuş olmamalıdır b) depo, gaz ileten sisteme bağlanmış olmalıdır. Fermantasyon artığından CH<sub>4</sub> emisyonlarının verimli bir şekilde engellenmesi halihazırda fermantasyon artığı depolama ihtiyacının ilk 60 gününü karşılanması sayesinde sağlanmıştır, çünkü metan oluşumu, deneyimlere göre pratikte hakim koşullar altında, bu süre içinde sona ermiştir

Tablo 10.7: Fermantasyon artığı deposunun bir gaz geçirmez ardul donatımının kayıp eşikleri<sup>a</sup>: Ardul donatımın farklı yatırım masrafları durumunda en azından masrafların karşılandığı, kurulu asgari elektrik gücü [10-10; değiştirilmiş.].<sup>b</sup>

Materyaldeki sıvı gübre oranı	< 30 % (= sıvı gübre bonusu olmadan ödenek)		> 30 % (= sıvı gübre bonusu ile ödenek)	
	Kullanılabilir artık gaz	% 3	% 5	% 3
Yatırım (hazne sayısı/çapı)	Asgari Elektrik gücü <sup>b</sup> [kW]			
33.000 € (örneğin 1/ < 25 m)	138	83	109	66
53.000 € (örneğin 1/ > 25 m)	234	133	181	105
66.000 € (örneğin 2/ < 25 m)	298	167	241	131
106.000 € (örneğin 2/ > 25 m)	497	287	426	231
159.000 € (örneğin 3/ > 25 m)	869	446	751	378

a. Parça masraflarının ve ikmal edilen kilowatt saat başına gerçek ödenek oranının karşılaştırılmasına dayanarak kayıp sınırının belirlenmesi (kilowatt saat başına yıllık masraf).

b. Hesaplama esasları: BHKW yıllık 8.000 saat tam yük çalışma süresi, kalan gaz değerlendirilmesi sayesinde ilave güce uygun olarak BHKW büyütülmesi için orantısal masraflar, ASUE (2005)'e göre etki derecesi [10-13], KTBL Online ödenek hesaplayıcısına göre ödenek (2009). 10 yıllık bir kullanım süresi temel alınarak kapatma yatırımları ve yıllık masrafları, fermantasyon artığı depolama süresinin ilk 60 günü için gaz sızdırmaz şekilde kapatılmış depo (bu süre içinde pratik koşullar altında fermantasyon artığından metan oluşumu sona ermiştir).

saba katılmalıdır. Tek kademeli tesislerde alternatif olarak ilave bir fermentörün kurulma seçeneği de kontrol edilmelidir, çünkü bu durumlarda kısa bekleme süresinde arta kalan metan potansiyeli ve değerlendirilerek fazladan gelir elde edilebilecektir.

Azot oksit, amonyumun nitrifikasyonu veya nitratın denitrifikasyonu sırasında oluşmaktadır. Katı olarak anaerobik depolanmış sıvı gübrede veya fermantasyon artıklarda sadece amonyum bulunduğundan ve bir nitrifikasyon gerçekleşmeyeceğinden, azot oksit gazı oluşumu yüzer tabaka üzeriyle kısıtlı kalır ve bunların türüne ve havalandırmasına bağlıdır. Bu, sıvı gübre ve fermantasyon artıklarında oluşan azot oksit gazı emisyonlarında da görülmekte olup, bunlar fermantasyonun azot oksit gazı emisyonları üzerindeki etkisi bakımından kısmen çok farklı sonuçlara neden olmuştur. Çoğunlukla sıvı gübre depolama haznelere çıkan N<sub>2</sub>O emisyonları, CH<sub>4</sub> ve NH<sub>3</sub> emisyonları karşısında ihmal edilebilir kadar düşüktür ve sera gazı emisyonlarının hesaplanması açısından önemsizdir [10-11]. Ancak gaz sızdırmaz bir kapatma sayesinde bunlar da tamamen engellenmektedir.

### 10.3 Fermantasyon artığının tarımsal alanlarda değerlendirilmesi

Tarım topraklardan sürdürülebilir şekilde faydalanmak için temel şartlar, toprak faunasının organik madde ile yeterince beslenmesinin yanı sıra bitki ihtiyacına ve toprak türüne uygun besin maddelerinin topraklara aktarılmasıdır.

Son yıllarda mineral gübrelerin fiyat artışları nedeniyle maliyeti, fermantasyon artıklarının ve çiftlik

gübrelerinin nakliyesi ve dışarı aktarılması için oluşan maliyete rağmen kullanımı ekonomiklik eşğine ulaşılmıştır, böylece fermantasyon artıkları, besin maddesi değerleri nedeniyle genellikle nakledilmeye değer bir ürün teşkil etmektedir. Bunun dışında fermantasyon artıkları ve çiftlik gübreleriyle gübreleme işlemi, enerji bilançoları bakımından, sadece mineral gübrelemeyi baz alan uygulamalara göre daha uygun maliyetli olduğu şeklinde değerlendirilmektedir [10-12].

#### 10.3.1 Azotun yararlanılabilirliği ve besin maddesi etkisi

Analiz değerlerinin gösterdiği gibi (bkz. Tablo 10.1), fermantasyon sayesinde materyallerin KM oranı genellikle düşmektedir. Ayrıca ayrışma derecesine bağlı olarak metan fermantasyonu neticesinde fermantasyon artığında C/N oranı da küçülmektedir. Bunun gübreleme üzerinde olumlu etkisi vardır, çünkü bitkilerin yararlanacağı amonyum oranı artmaktadır. C/N oranı sıvı gübrede yaklaşık 10:1'den yaklaşık 5 ila 6:1'e veya katı gübrede 15:1'den 7:1'e azalmaktadır. Böylece mineralize edilebilir organik maddenin bir kısmı bozunmaktadır. Bu, organik bağlanmış N'den bitki tarafından kullanılabilir kısmının uygulama yılında sadece % 5 (veya takip eden yıllarda % 3) olduğu anlamına gelmektedir [10-12].

Uygulama yılında fermantasyon artığında mevcut azotun hesaplanması için mineral gübre eşdeğeriyle (MDÄ) hesaplama yapılabilir. MDÄ uygulama yılında temelde amonyum azotunun kullanılabilirliği tarafından belirlenmektedir. Takip eden yıllarda fermantasyon artığından sadece düşük N miktarları sağlanmak-

Tablo 10.8: Çiftlik gübrelerinin 48 saat içinde farklı sıcaklıklarda işlenmeden geniş dağıtıcı ile tarlaya uygulanmasından sonra kümülatif amonyak kayıpları [10-7, değiştirilmiş]

Çiftlik gübresi	Uygulanan amonyumun %'si olarak amonyak kayıpları -N <sup>a</sup>			
	5 °C	10 °C	15 °C	25 °C, Saman üzerinde
Sıvı Sığır gübresi, Koyu Fermantasyon atıkları <sup>b</sup>	30	40	50	90
Sıvı Domuz gübresi, Su oranı yüksek, Fermantasyon atıkları <sup>b</sup>	10	20	25	70
Gübre şerbeti			20	
Ahır altı ve istif gübresi			90	
Kuru kanatlı gübresi			90	

a. Depolama sonrasında kalan NH<sub>4</sub>N'ün emisyonu

b. Tahmin edilen fermentasyon artıkları, sıvı sığır veya sıvı domuz gübresi gibi, çünkü pratik araştırma yok.

tadır. Amonyak kayıpları büyük ölçüde engellenirse „kısa süreli MDÄ“ oranı % 40-60 olacaktır. Bu oran, mineral gübre ihtiyacı hesabında dikkate alınmalıdır. Uzun süreli bir fermentasyon artığı uygulamasında (10-15 yıl sonra) % 60-70'lik bir MDÄ esas alınabilmektedir [10-12], [10-7].

Ancak toplamda, fermentasyon artıklarında bulunan azotun etkinliğinin, temelde uygulama türü ve zamanı, hava koşulları, toprak türü ve yetiştirilen bitki türü tarafından belirlenmesi söz konusudur.

Ham sıvı gübreyle kıyaslandığında fermentasyon artıklarının daha yüksek olan pH değerleri, amonyak kayıpları üzerine önemsiz ölçüde etki eder, çünkü ham sıvı gübrelerin tarlaya aktarılmasından kısa süre sonra pH değerleri aynı şekilde 8. ila 8.5'lük değerlere ulaşmaktadır. Bu nedenle amonyak emisyonları belirgin bir farklılık göstermemektedir [10-15].

### 10.3.2 Fermantasyon artığının tarlaya uygulanmasından sonra amonyak kayıplarının azaltılması için tedbirler

#### 10.3.2.1 Amonyak emisyonları

Tablo 10.8'de, çiftlik gübrelerinin farklı sıcaklık koşullarında tarlaya uygulanmasından sonraki amonyak kayıpları belirtilmiştir. Sıcaklığın artmasıyla birlikte

amonyak kayıplarının arttığı görülmektedir. Fermantasyon artıklarının yüksek sıcaklık koşullarında bitkilerin, bitki kalıntılarının üzerine aktarılması halinde bilhassa büyük kayıplar beklenmektedir. Toprağa kolayca sızabilen sıvı oranı yüksek fermentasyon artıklarının, düşük sıcaklıklarda uygulanması halinde bilhassa düşük kayıplar beklenmektedir. Böylece en iyi uygulama tarihinin seçilmesi sayesinde kayıplarının belirgin bir şekilde düşürülmesi mümkün olmaktadır.

#### 10.3.2.2 Uygulama tekniği

Fermantasyon artıklarının gübreleme amacıyla tarımsal alanların üzerine aktarılması için, sıvı çiftlik gübrelerinin uygulanması sırasında da kullanım alanı bulan teknikler kullanılmaktadır. Uygulama sıvı gübre tankeri yardımıyla, çoğunlukla, en yüksek besin maddesi ihtiyacı zamanlarında büyüyen bitki popülasyonunun gübrenmesini de mümkün kılan, emisyonu azaltıcı dağıtma tekniğiyle (örneğin hareketli hortum tekniği) gerçekleştirilmektedir.

Fermantasyon artıklarının gübre olarak uygulanmasının amacı, bunların içinde bulunan besin maddelerinin, mineral gübrelerle gübreleme sırasındaki benzer hassasiyetle, maksimum besin maddesinin bitki köklerine ulaştırılması ve minimum düzeyde besin maddesi kaybına izin verilmesiyle, amaca uygun bir gübrelemenin sağlanmasıdır.

Fermantasyon artıklarının tarlaya uygulanması için aşağıdaki teknikler uygulanmaktadır:

#### Tanker

İki geçerli teknik ayırt edilmektedir:

- Kompresörlü tanker
- Pompalı tanker

Fermantasyon artıklarının az kayıpla ve amaca uygun bir şekilde dağıtılması için aşağıdaki dağıtma teknikleri uygulama alanı bulmaktadır:

#### Hareketli hortumlu sıvı gübre dağıtıcısı

Hareketli hortumlu sıvı gübre dağıtıcıları 6 ila 24 m'lik bir iş genişliğine sahiptir, son zamanlarda 36 m iş genişliğine sahip olanlar da satılmaktadır. Çıkış hortumları genellikle 20 ila 40 cm sıra aralıklarında dizilmişlerdir. Fermantasyon artığı zemin yüzeyinin üzerinde yaklaşık 5 ila 10 cm'lik şeritler halinde dağıtılır.

#### Hareketli pabuçlu sıvı gübre dağıtıcısı

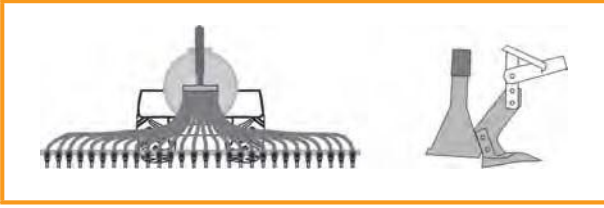
Hareketli pabuçlu sıvı gübre dağıtıcıları 3 ila 12 bazen 18 m iş genişliğine sahiptir, her bir çıkış hortumu arasında genellikle 20 ila 30 cm mesafe bulunmaktadır.



Şekil 10.2: Hareketli hortumlu sıvı gübre dağıtıcısı

Çıkışın ucunda özel dağıtma düzenekleri bulunur, bunlar genellikle pabuç benzeri bir takviye veya sürtünme takozu şeklinde tasarlanmıştır ve bunların ucundan fermantasyon artığı bırakılmaktadır.

Dağıtıcı, işlem sırasında bitki popülasyonu (eğer varsa) tarafından taşınmaktadır. Makinenin yapı tipine bağlı olarak yetişmiş bitkiler, uygulama sırasında biraz yanlara bastırılmaktadır. Fermantasyon artığı 3 cm toprak derinliğine kadar bırakılır böylece bitki popülasyonunun kirlenmesi büyük ölçüde önlenmektedir.



Şekil 10.3: Hareketli pabuçlu sıvı gübre dağıtıcısı

#### Yarıklı dağıtıcı

Tipik yarıklı dağıtıcılar 6 ila 9 m iş genişliğine sahiptir, her bir dağıtıcı hortum arasında genellikle 20 ila 30 cm mesafe bulunmaktadır. Uygulama, toprağı yaran ve ucunda fermantasyon artığının çiziye aktarılmasını sağlayan bir kesme plakası (veya bir çelik bıçak ) önünde bulunan, pabuç biçimindeki bir takviye yardımıyla gerçeğeşir.



Şekil 10.4: Yarıklı dağıtıcı

#### Pulluk ile doğrudan aktarma

Sıvı gübre pullukları 3 ila 6 m iş genişliğine sahiptir, her bir çıkış hortumu arasında genellikle 20 ila 40 cm mesafe bulunmaktadır. Toprak bir pulluk demiri yardımıyla işlenir ve bunun ardından fermantasyon artığı işleme sırasında toprağı aktarılır. Bunun yanında

toprağın disklerle işlendiğı ve gübrenin aynı şekilde toprağı konulduğı diskli pulluklar da bulunmaktadır.



Şekil 10.5: Sıvı gübre pulluğı

Tablo 10.9. sıvı çiftlik gübrelere ve fermantasyon artıklarının tarlaya uygulanmasını göstermektedir. Uygulama için, kültür türüne, gelişim durumuna ve bölge koşullarına uygun şekilde kullanılabilen, çeşitli tekniklerin kullanma sunulduğı unutulmamalıdır. Uygulama sırasında tekniğı ve bölgeye bağlı koşullar, amonyumun bir bölümünün daima amonyak olarak atmosfere salınmasına neden olmaktadır.

#### 10.3.3 Fermantasyon artığı için uygun uygulama zamanları

Uygun bir zamanın seçilmesi sırasında, maksimum emisyon azaltımı ve bitki yetiştiriciliğı gereklilikleri arasında bir hedef ihtilafı oluşmaktadır. En kapsamlı emisyon azaltımı, doğrudan işlemeyle sağlanabilmektedir. Bu, yazın veya sonbaharda, üzerinde ürün olmayan tarlalar için uygulanabilmektedir. Sıraya ekilen ürünlerin gübrenmesi sırasında, uygulamadan hemen sonra diskli çapa veya kazayağı ile yüzeysel işleme mümkün olmaktadır. Ancak bu dönemdeki uygulama normu DüV düzenlemesi (maksimum uygulama normu 40 kg müsaade edilebilir N) ile sınırlanmaktadır.

Yumrulu bitkilerin ekilmesinden önce yazın ve sonbaharda, bitki yetiştiriciliğı gerekçesiyle ağırlıklı olarak bunların hasadı öncesinde ara mahsullerin gübrenmesi ile kısıtlıdır. Yumrulu bitkilerin besin maddesi ihtiyacı daha sonra büyük ölçüde topraktaki stoktan karşılanır. Fakat ara ürünler birçok bölgede sadece önemsiz bir rol oynarlar. Bu nedenle yumrulu bitkilere, özellikle mısırdaki uygulama ilkbaharda gerçeğeşir.

Buna karşın fermantasyon artığı uygun olmayan zamanlarda, örneğin sonbaharda üzerinde bitki bulunmayan toprağı üzerine aktarırsa, daha büyük bir besin maddesi yıkanma riski bulunmaktadır. Fermantasyon artığı uygulamasının ürün türünün azot



Tablo 10.9: Sıvı fermantasyon artıklarının tarlaya uygulanmasından sonra amonyak kayıplarının azaltılması<sup>a</sup> [10-7. değiştirilmiş]

Azaltma teknikleri/ tedbirleri	Uygulama bölgeleri	Emisyonu azaltma [%] Fermantasyon artığı		Kısıtlamalar
		Yoğun	Yoğun değil	
Hareketli hortumlu dağıtma yöntemi	Tarla: ürünsüz	8	30	Eğimi çok fazla değil, yüzeyin büyüklüğü ve biçimi, yoğun fermantasyon artığı, araç yollarının mesafesi, popülasyon yüksekliği
	Bitki popülasyonu > 30 cm	30	50	
	Yeşil alan: Bitki popülasyonu azami 10 cm	10	30	
	Bitki popülasyonu > 30 cm	30	50	
Hareketli pabuçlu dağıtma yöntemi	Tarla	30	60	Yukarıdaki gibi, çok taşlı zeminlerin üzerinde değil
	Yeşil alan	40	60	
Yarıklı yöntem	Yeşil alan	60	80	Yukarıdaki gibi, taşlı, çok kuru ve sıkıştırılmış topraklarda değil, yüksek çeki gücü ihtiyacı
Sıvı gübre-Pulluk-Yöntemi	Tarla	> 80	> 80	Yukarıdaki gibi, çok taşlı toprakların üzerinde değil, yüksek çeki gücü ihtiyacı, üzerinde ürün bulunan tarla üzerinde sadece koşullu (gerekirse sıraya ekilmiş kültürler) uygulanabilir
Gecikmeden İşleme (1 saat içinde)	Tarla	90	90	Birincil toprak işlemeden sonra hafif makine ile (diskli pulluk), hasattan sonra pullukla

a. Şimdiye kadar fermantasyon artıklarının emisyonlarının azaltılması konusunda az sayıda araştırma yapılmıştır; ifadeler sıvı sığır ve domuz gübresi ile araştırmalardan türetilmiştir.



Şekil 10.6: Fermantasyon artıklarının tarlaya uygulanması için zaman aralıkları

ihtiyacına uyarlanması durumunda bu tehlike güvenilir bir şekilde minimize edilebilmektedir [10-3], [10-12].

### 10.3.4 Bir tesis örneği için besin maddesi etkisi ve humus üretimi

Aşağıda bir örnekte “Silajlık mısır-kışlık buğday-kışlık arpa-kışlık kolza” ekim nöbetinde, fermantasyon

artıklarının besin maddesi kullanımı veya humus reproduksiyonu gösterilmektedir.

#### 10.3.4.1 Besin maddesi bilançosu

Besin maddesi bilançosunun hesaplanması için aşağıdaki varsayımlar esas alınmıştır (bakınız Tablo 10.10 ve 10.12):

Tablo 10.10: Besin maddesi bilançolarının hesaplanması için tahminler

Ekim nöbeti ürünleri	Silajlık mısır	Kışlık buğday	Kışlık arpa	Kışlık kolza
Ürünlerde verim beklentisi [dt/ha] YM	500	80	65	35
Fermantasyon artıklarının hesaplanabilirliği <sup>a</sup>				
	Uygulama yılı	1. Müteakip yıl	2. Müteakip yıldan itibaren	
Mineralleşme oranı [%]	5	3	3	

a. [10-12]: Azot bakımından zengin atık maddelerin, kompostların ve çiftlik gübresinin tarımsal değerlendirilmesi. Su ve toprak. 48. S. 7-16. değiştirilmiş dt=100 kg.

Tablo 10.11: İlgili model tesislerin fermantasyon artığı tiplerinin hesaplanan özellikleri

Fermantasyon artığı tipi	Besin maddesi konsantrasyonu [%/m <sup>3</sup> YM]				KM %
	N	NH <sub>4</sub> -N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	
Fermantasyon artıklarının hesaplanarak belirlenen <sup>a b</sup>					
M I / M II Ø	0,47	0,31	0,19	0,73	10,81
M III	0,47	0,31	0,18	0,73	11,00
M V	1,05	0,68	0,51	0,57	12,35

a. Biyokütle bozunması dikkate alınarak materyal referans verilerinden hesaplanmıştır  
b. b. Toplam N'nin % 65'i amonyum biçiminde bulunur  
M: Model tesis (bkz. Bölüm 8)

Tablo 10.12. I/II model tesisin fermantasyon artığının azot kullanımını göstermektedir (bkz. Tablolar 8.3 ve 8.1). Uygulama tekniği olarak hareketli hortum tipi makine ile aktarmayı anında işleme takip etmektedir (% 10'luk amonyak kayıpları). Organik bağlı azotun mineralleşme oranı, uygulama yılında % 5 olarak tahmin edilmektedir (Tablo 10.10).

Mısıra 30 m<sup>3</sup>lük bir uygulama normu durumunda, 143 kg'lık bir toplam azot miktarı toprağa veya bitkiye aktarılmaktadır. Bu azot havuzundan uygulama yılında ilk kullanım sırasında 90 kg'lık bir bitki yararlanabilirliği söz konusudur. 5 yıllık fermantasyon artığı uygulamasında 98 kg azot hesaplanabilmektedir. Buradan, toplam uygulanan azottan % 68'lik bir azot yararlanılabilirliği (uzun vadeli MDÄ) ortaya çıkmaktadır.

Tablo 10.13'te, örnek ekim nöbeti için bitkinin yararlanabildiği azot üzerinde uygulama tekniğinin etkileri gösterilmiştir. Optimize edilmiş uygulama yönetimi (anında işleme sayesinde) sayesinde azot

kaybı, toplam azot miktarı üzerinden % 20 azaltılabilmektedir. Fermantasyon artığı ile örnek ekim nöbetinde, 16 m<sup>3</sup>/ha.yıllık bir ortalama uygulama normlarıyla, N ihtiyacının sadece azami % 30'u ve fosfor ihtiyacının yaklaşık % 44'ü karşılanmaktadır. Buna karşın potasyum ihtiyacını karşılama oranı % 46'yı aşmaktadır. Ancak modelde kullanılan fermantasyon artıklarının potasyum oranları (Tablo 10.11), ölçülen pratik değerlerin çok üzerinde bulunmaktadır (Tablo 10.1).

#### 10.3.4.2 Humus bilançosu

Enerji bitkisi ekiminin ve fermantasyon artıkları ile gübrelemenin, tarımsal olarak kullanılan toprakların humus dengesi üzerindeki etkileri, şimdiye kadar uzun süreli araştırmalarla belirlenmemiştir. Bu nedenle bu konu en kısa yoldan humus bilançoları üzerinden değerlendirilmektedir. Bu hesaba dayalı yöntemle güncel toprak faydalanımının humus oranının gelişimi üzerindeki etkisi, toprak için kısa bir süre olan yaklaşık 10 yıl için tahmin edilebilmektedir. Hesaplamaya ekilen mahsul türleri ve ara mahsullerin yanı sıra organik gübreleme de dahil edilmektedir. Burada oranların değiştirilmesi için mutlak değerler değil, bilakis besleme derecesinin nispi bir tahmini söz konusudur. Hesaplamanın amacı, humus ihtiyacının (organik maddenin bozunmasına katkıda bulunan humus tüketici ürün türleri) ve humus çoğalmasının (organik maddenin yeniden üretilmesine katkıda bulunan humus çoğaltıcı mahsul türleri) dengeli bir bilançoya neden olup olmadığının belirlenmesidir. Bu, mahsul türüne bağlı olarak humus miktarının azalması veya artması anlamına gelebilmektedir. Bu sırada humus bilançosu bakiyesinin sapma miktarı, bölgeye ve faydalanmaya özgü humus oranının ulaşıldığı hız hakkında karar vermektedir.

Humusun yeniden üretim performansının değerlendirilmesi büyük ölçüde uzman tahminlerine dayanmaktadır. Bu sırada temelde üç teori mevcuttur:

1. Kaba yem tüketenlerin sıvı çiftlik gübrelerine göre önemli farklar bulunmamaktadır. Böylece humusun yeniden üretimi, fermente olmamış sıvı sığır gübresi olarak değerlendirilmelidir.
2. Biyogaz prosesi sırasında kolayca dönüştürülebilir bileşenler fermantasyon sırasında dönüştürülmüştür. Fermantasyon artığında bulunan organik madde kıyaslanabilir ham sıvı gübrelerden daha stabildir. Buna göre fermantasyon artığının humus yeniden üretme performansı, çürümüş gübre ve kompost arasında bulunmaktadır.

Tablo 10.12: Fermantasyon artığı miktarı (model tesisler I / II) 30 m<sup>3</sup>/ha · yıl norm uygulanması durumunda mısır örneğinde besin maddesi bilançosu (ekimden önce hemen işlemeyle birlikte uygulama)

Verim beklentisi [500 dt/ha]	N kg/ha	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg/ha	K <sub>2</sub> O kg/ha
<b>Ana ürünlerin kaldırdığı besin maddesi</b>	<b>235</b>	<b>98</b>	<b>279</b>
Hasatedilemeyen artık bitkideki besin maddeleri	40		
Brüt besin maddesi ihtiyacı	275	98	279
<b>Mevcut besin maddesi stokları</b>			
Kültüre özgü düzeltme faktörü (- N <sub>min</sub> stok ilkbahar, + artık N <sub>min</sub> sonbaharda, + denitrifikasyon, - hasar artıklarından daha sonra besin maddesi sağlanması)	28	15	150
<b>Gübre ihtiyacı</b>	<b>187</b>	<b>83</b>	<b>129</b>
<b>Fermantasyon artığı nedeniyle uygulanan besin maddesi miktarı</b>	<b>143</b>	<b>56</b>	<b>221</b>
- Bundan NH <sub>4</sub> -N (% 65)	93		
- Bundan org. bağ. N	50		
Eksi NH <sub>3</sub> - kayıpları (%10)	9		
Eksi uygulama yılında etkili olmayan org. bağl. N (% 95)	48		
Artı „C/Netkisi“ fermente olmuş materyal	4		
İlk kez fermantasyon artığı uygulamasında teorik olarak bitki nin yararlandığı azot	90		
<b>5 yıllık uygulama sonrasında toplam yararlanılabilir N</b>	<b>98</b>		
- Uygulanan N'nin %'si olarak	68		
Kalan besin maddesi ihtiyacı veya fazlası	89	28	-92
<b>Gübre ihtiyacı fermantasyon artığı ile % ... karşılanmış</b>	<b>52</b>	<b>67</b>	<b>171</b>

Tablo 10.13: Farklı uygulama tekniklerinde 4 aşamalı ekim nöbetinin ortalama yıllık besin maddesi bilançoları (yılıda 174 kg/ha N, 114 kg/ha P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ve 188 kg/ha K<sub>2</sub>O ekim nöbetinin ortalama gübre ihtiyacı)

Cihaz tipi	Uygulama Normu [m <sup>3</sup> /ha ve yıl]	Uygulama teknolojisi	Besin maddeleri	Fermantasyon artığıyla uygulanan besin maddesi normu [kg/ha]	İlk fermantasyon artığı uygulaması sonrasında bitkilerdeki mevcut N [kg/ha]	Uygulanan toplam N'nin %'si olarak	5 yıl sonra, yıllık gerçekleşen uygulama sonrasında toplam kullanılabilir N [kg/ha]	Uygulanan toplam N'nin %'si olarak	Kalan besin maddesi ihtiyacı veya fazlası [kg/ha]	Gübre ihtiyacının fermantasyon artığı ile karşılanma oranı %	
M I / M II Ø	16	Geniş dağıtıcı	N	76	33	43	36	48	139	21	
			P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	30					38	44	
			K <sub>2</sub> O	118						-37	146
			N	76	38	50	42	55	134	24	
			P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	30					38	44	
			K <sub>2</sub> O	118						-37	146
		Hareketli hortumlu sıvı gübre dağıtıcısı	N	76	48	63	52	68	123	30	
			P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	30					38	44	
			K <sub>2</sub> O	118						-37	146
			N	76	48	63	52	68	123	30	
			P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	30					38	44	
			K <sub>2</sub> O	118						-37	146
Geniş dağıtıcı, hemen işleme	N	76	48	63	52	68	123	30			
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	30					38	44			
	K <sub>2</sub> O	118						-37	146		

M: Model tesis (bakınız Bölüm 8)

3. Sıkı C/N ilişkisi toprak mikrofaunası için karbon açıklarına neden olmaktadır, bu nedenle organik toprak karbonunun bozunması indüklenir.

Teorilerin nihai bir değerlendirilmesi ve onaylanması halen söz konusu değildir.

Humus bilançosunun yapılması burada VDLUFA metoduna [10-17] ve Cross Compliance'e göre alt değerlerle uygulanmıştır (teori 1'e uygun olarak). Hesaplama için besin maddesi bilançosundaki ile aynı ekim nöbeti esas alınmıştır. Kolza ve arpa samanı tarlada kalıyor, buğday samanı tarladan kaldırılıyor ve işletme dışında kullanılıyor. Tüm fermentasyon artıkları, işletme alanları üzerine eşit bir şekilde aktarılmaktadır.

Bilançolar (Tablo 10.14), gösterilen ekim nöbetinde nispeten yüksek bir humus tüketiminin gerçekleştiğini göstermektedir. Bu özellikle, biyogaz üretimi için tam bitkinin hasat edilmesine ve tarla üzerinde neredeyse hiç ürün kalmamasına bağlıdır. Fermentasyon artıkları, azot, potasyum, fosfor ve magnezyum gibi önemli bitki besin maddeleri içerdiğinden, bunların tekrar tarlaya aktarılması mantıklı ve gereklidir. Bitki besin maddelerinin yanında fermentasyon artıklarının aktarılmasıyla birlikte toprağa humusun yeniden üretilmesi için karbon geri aktarılmaktadır. Fermentasyon artığı ile gübreleme yaklaşık olarak humus geri üretiminin üçte birine katkıda bulunur, kalanı ise kışlık kolza ve kışlık arpanın hasat artıklarıyla üçte iki oranında karşılanır. Ekim nöbeti için toplamda dengeli bir pozitif humus bilançosu bulunmaktadır. Yani toprakta bölgeye özgü humus oranlarının bulunması halinde, ilave humus geri üreten materyalin aktarılmasının gerekli olmadığı anlamına gelmektedir. Humus bakiyelerinin sınıflandırılması tablo 10.15 gösterilmiştir. Buradan, fermentasyon artığı miktarının

Tablo 10.14: Humus bakiyelerinin VDLUFA 2004'e göre değerlendirilmesi

kg Humus-C/ha · yıl	Humus bakiyesinin değerlendirilmesi
-200 altında	Çok düşük: Toprak işlevlerinin ve veriminin olumsuz etkilenmesi
-200 ila -75	Düşük: Orta vadede tolere edilebilir, özellikle humusla zenginleştirilmiş topraklarda
-75 ila 100	Dengeli: Bölgeye özgü humus oranlarında önerilir, düşük azot kaybında optimum verim güvencesi
100 ila 300	Yüksek: Orta vadede tolere edilebilir, özellikle humus açısından fakirleşmiş topraklarda
300 üzeri	Çok yüksek: Azot kayıpları için yüksek risk, düşük N verimliliği

Tablo 10.15: 4 yıllık 64 m<sup>3</sup>/ha fermentasyon artığı uygulama normunda (model tesisler I/II) ekim nöbetinin humus bilançosu

Humus ihtiyacı	kg Humus-C/t Materyal	kg Humus-C/ha
<b>Mahsul türlerinin humus ihtiyacı</b>		
Silajlık mısır		-560
Kışlık buğday		-280
Kışlık arpa		-280
Kışlık kolza		-280
<b>Ekim nöbetinin humus ihtiyacı</b>		<b>-1.400</b>
<b>Hasat artıklarının humus üretimi</b>		
Kolza samanı	90	536
Buğday samanı (taşınmış )	90	0
Arpa samanı	90	504
<b>Ekim nöbetinin humus üretimi</b>		<b>1.040</b>
Fermentasyon artıkları üzerinden humus aktarımı	12	764
Toplam humus geri üretimi		1.804
Toplam ekim nöbetinin humus bakiyesi		404
<b>Yıl başına 4 aşamalı ekim nöbetinde ortalama humus bakiyesi</b>		<b>101</b>

düşmesi veya az miktarda değişmesi durumunda, bilançoların düşebileceği sonucu çıkmaktadır. Bu pratikte çoğunlukla, biyogaz tesisine biyokütle tedarik edilmesi için tesisten uzak alanların kullanılması, ancak oluşan fermentasyon artıklarının geri aktarılması veya düşük kapsamda geri aktarılması durumunda söz konusu olmaktadır.

### 10.3.5 Fermentasyon artığının hukuken sınıflandırılması – şartlar ve sınırlar

Fermentasyon artığının hukuki şartları, her defasında biyogaz tesisinde kullanılan materyallere (çiftlik gübresi, yenilenebilir hammaddeler veya biyolojik atıklar), fermentasyon artığının kullanımına ve müteakip işleme derecesine bağlı olarak gübre, hijyen ve çöp mevzuatında ortaya çıkmaktadır.

Tablo 10.16'da, çeşitli hukuki alanların fermentasyon artıkları için geçerli zararlı madde sınır değerleri gösterilmiştir.

Tablo 10.16: Gübreler ve doğal yardımcı maddeler için zararlı madde sınırlar değerleri

Parametre	Birim	EU-ÖkolandbauV (2008) <sup>a</sup>	AbfklärV (1992)	BioAbfV (1998)	DüMV (2008)
Arsenik (As)	mg/kg KM	-	-	-	40
Thalyum (Tl)	mg/kg KM	-	-	-	1
Kurşun (Pb)	mg/kg KM	45	900	100	150
Kadmiyum (Cd)	mg/kg KM	0,7	10 (5) <sup>b</sup>	1	1,5 (50 mg/kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )
Krom (Cr)	mg/kg KM	70	900	70	-
Krom oksit (Cr(Vi))	mg/kg KM	0	-	-	2 <sup>c</sup>
Bakır (Cu)	mg/kg KM	70	800	70	-
Nikel (Ni)	mg/kg KM	25	200	35	80
Cıva (Hg)	mg/kg KM	0,4	8	0,7	1
Çinko (Zn)	mg/kg KM	200	2.500 (2.000) <sup>b</sup>	300	-
AOX <sup>d</sup>	mg/kg KM	-	500	-	-
PCB <sup>e</sup>	mg/kg KM	-	0,2	-	-
PCDD/DF <sup>f</sup>	µg TCDD-Toksosite-eşdeğeri/kg KM	-	100	-	-
(PFT) <sup>g</sup>	mg/kg KM	-	-	-	0,1

a. Yönetmelik (EG) no. 889/2008, yönetmelik (EG) no. 834/2007'ye uygulama yönergeleriyle; Sınır değerleri sadece „kompostlanmış ve fermente edilmiş ev atıkları“ için geçerlidir

b. Kil oranı < % 5 veya pH değeri > 5 ve < 6 olan topraklarda

c. Doğaya terk edilmiş ham ağaçların yakılmasından elde edilen yanma külleri, bunların sadece ormancılık bölgelere geri aktarılması ile ilgili bir durum açıkça belli ise, sınır değerlerin dışında tutulmuştur

d. Adsorbe edilen organik bağlı halojenler

e. Poliklorlanmış bifenil

f. Poliklorlanmış dibenzo dioksinler ve furanlar

g. Perflorlanmış tensidler

Tablo 10.17 fermantasyon artığı ile ilgili yasal hijyen şartlar (ürün kontrolü), hijyen etkili işleme ile ilgili şartların yanı sıra bizzat hijyenleştirme prosesinin kontrolü ile ilgili kriterler (proses kontrolü) hakkında bir genel bakış sunmaktadır.

Fermantasyon artığı değerlendirmesi için önem taşıyan diğer parametreler aşağıda sunulmuştur.

### 10.3.5.1 Gübre mevzuatı

Ulusal gübre mevzuatına göre fermantasyon artıkları ve gerekiyorsa üretilen ürünler piyasaya sürülmesi sırasında bileşimleri bakımından gübre mevzuatına (DüMV 2008) göre bir gübre tipine uygun olmalıdır. Fermantasyon artıkları, tüm gübreler gibi gübre mevzuatının (DüV 2007) uygulama yönetmeliklerine tabi tutulmaktadır. Bunlar, sadece DüMV kriterlerine uygun olmaları halinde DüV'ye göre kullanılabilirlerdir. Kişinin kendi işletmesinde oluşan, hayvansal ve bitkisel kökenli çiftlik gübreleri gibi materyallerden elde edilen fermantasyon artıkları bundan hariç tutulmuştur, ancak bitkisel olanlar, EEG (2009)'ye göre yenilenebilir hammaddeler başlığı altında da toplanabilmektedir [10-18].

### Gübre mevzuatı

DüMV 2008 [10-19], 2003 ve 1999 yönetmeliklerinin yerini almıştır ve Ocak 2010'dan itibaren uygulanmaktadır. İşletme dahilinde bir kullanım öngörülmemişse, işlenmemiş fermantasyon artıkları genellikle ek 1. bölüm 3'e göre organik NPK gübresi olarak piyasaya sürülebilir. Bu sırada uyulması gereken KM'deki % 1 N, % 0,3 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ve/veya % 0,5 K<sub>2</sub>O'lık asgari besin maddesi oranları, fermantasyon artıklarından elde edilmektedir. Bunun haricinde piyasaya sürme sırasında Ek 2. Tablo 1. DüMV (2008) işaretleme yönetmelikleri geçerlidir. Buna göre gübre maddesi tipini karakterize etmeyen sülfür ve magnezyum gibi besin maddeleri de işaretlenmelidir.

Arsenik, kurşun, kadmiyum, krom (altı değerlikli), nikel, cıva ve talyum ağır metallerinin yanı sıra „Perflorlanmış tensidler“ gibi zararlı organik madde parametreleri için, aşıldıktan sonra söz konusu oranın deklare edilmesi gerektiği eşik değerlerin yanı sıra aşıldıklarında piyasaya sürmeye izin verilmeyen sınır değerler geçerlidir.

Bakır ve çinko aynen bor ve kobalt gibi, gübre maddesi mevzuatına göre zararlı madde sayılmaz, bilakis mikro element sayılır. Bir biyogaz tesisinin gübre mevzuatına göre izin verilen maddeleri DüMV Ek 2.

Tablo 10.17: Çeşitli hukuki kriterlerin hijyen mevzuatları

Hukuki kriterler	Madde grubu	İşleme kriterleri	Proses kontrolünün parametreleri	Parametreler ve ürün kontrolünün hedef büyüklükleri
Yönetmelik (EG) no. 1774/2002 <sup>a</sup> veya TierNebV (2006)	Kategori 2-Materyal	örneğin 133 °C, 3 bar, 20 min, 50 mm maks. parçacık büyüklüğü	Parçacık büyüklüğü, sıcaklık, basınç, zaman	<i>Chlostridium perfringens</i> : 1 g'da bulgu yok <i>Salmonella</i> : 25 g'da bulgu yok
	Kategori 3-Materyal	70 °C, 60 min, 12 mm maks. parçacık büyüklüğü	Parçacık büyüklüğü, sıcaklık, zaman	<i>Enterobacteriaceae</i> : : Numunelerin % 40'ı: 10 ila 300 KBE/g <sup>b</sup> , numunelerin % 60'ı 10 KBE/g
	Sıvı gübrenin, sıvı gübre ürünlerinin piyasaya sürülmesi	örneğin 70 °C, 60 min (veya eşdeğer işleme)	-	-
BioAbfV (1998)	İnsan ve veteriner hijyeni	70 °C, 60 min	Sıcaklık, zaman <i>Salmonella Senftenberg</i> W 775: 50 g'da bulgu yok TMV <sup>c</sup> : ≤ 8 Lezyonlar/bitki <i>Plasmodiophora brassicae</i> : Tesir indeksi ≤ 0,5 <i>Domates tohumu</i> ≤ % 2 Germinatif tohumlar/Bitki	6-12 numune/yıl <i>Salmonella ssp.</i> 50 g'da bulgu yok.
	Fitohijyen			< 2 germinatif tohumlar ve dışarı taşınabilir, bitki parçaları
DüMV (2008)	Gübre maddeleri, çiftlik gübresi, toprak destek maddeleri, kültür maddeleri, bitki destek maddeleri	Dirençli zararlı maddelerin tesir ettiği bitkisel kökenli maddelerin hijyenleştirilmesi <sup>d</sup>	yok	50 g test malzemesi hiçbir salmonella içermemelidir; alternatif olarak tarla üzerinde hemen işleme <sup>e, f</sup>

a. 4. Mart 2011 tarihinde yerini (EG) 1069/2009 yönetmeliği almıştır

b. Bakteri oluşturan birim

c. TMV: Tabak-Mozaik-Virüsü

d. Özellikle bitki izleme yönetmeliği madde 1a par. 1'de sözü edilen zararlı organizma, termo dirençli virüsler, özellikle Tobamo virüs grubundan veya dirençli organlara sahip mantarsal patojenlerden, özellikle *Synchytrium endobioticum*, *Sclerotinia türleri*, *Rhizoctonia solani*, *Plasmodiophora brassicae*

e. Ancak sebze, patates, şifalı bitkiler, kokulu bitkiler ve baharat bitkileri ile ilgili değil; kışlık tahıllarda ve kışlık kolzada schosser aşamasına kadar toprağa yakın aktarma tekniğiyle; yeşil alan ve yem ekim sahalarda 6 hafta bekleme süresi, bölge I ve II'ye aktarma yok

f. Atık su çamurunda bölgesel değerlendirme veya bir kalite derneğinin yönetimi altında aktarma

Tablo 7'de listelenmiştir, ayrıca bitkisel, hayvansal ve mineral maddelerin yanı sıra sözü edilen başlıklara dahil edilemeyen bir "Toplama grubu"na sahip maddeler de alt grup olarak listelenmiştir.

İzin verilen yan bileşenler, yani hazırlama maddeleri, uygulama destek maddeleri ve yabancı bileşenler de, DüMV Ek 2. Tablo 8'de listelenmiştir. Fermantasyon artığının hazırlanması için muhtemelen kullanılan sentetik polimerlere (floklama destek maddeleri) 31.12.2013 tarihinden itibaren, tamamen bozunmaları halinde izin verilecektir.

DüMV madde 5'te ilk kez salgın (50 g numune malzemesinde salmonella yok) ve fito hijyeni (dirençli zararlı organizmaların istila ettiği bitkisel kökenli çıkış maddelerinin kullanımı yok veya söz konusu çıkış maddelerinin hijyenleştirilmesi) ile ilgili şartlar içermektedir. Ancak biyogaz tesislerinin proses idaresi

veya hijyenleştirici ön işlemenin türü ile ilgili şartlar bulunmamaktadır.

### Gübre mevzuatı

DüV (2007) [10-20] gübre ihtiyacının belirlenmesi, hayvansal kökenli çiftlik gübrelere kullanımını (sıvı gübre, gübre şerbeti, ahır gübresi için N üst sınırı) ve besin maddelerini karşılaştırma (gübrelenmiş ve ürün ile tarladan kaldırılmış besin maddelerinin bilançosu) ile ilgili kriterleri içermektedir.

N üst sınırı: İşletme sınırı ile ilgili, aynı şekilde DüV ile belirtilmiş N üst sınırı (170 kg N/ha, yem bitkisi ekim sahaları için 230 kg N/ha), işletme ortalamasında hayvansal kökenli çiftlik gübrelere hangi N şarjlarının tarımsal sahalara uygulanabileceğini belirlemektedir. Hayvansal kökenli çiftlik gübresi için gaz halindeki N kayıpları, hayvan türüne bağlı olarak sı-

nıflandırılmış bir maksimum sınıra kadar, hayvansal kökenli dışıkların N şarjından yola çıkarak hesaplanabilmektedir. Bir biyogaz tesisinde hayvansal kökenli çiftlik gübreleri, komateryallerle birlikte işlenirse, N üst sınırı çiftlik gübresi oranı ile bağlantılıdır.

Besin maddesi karşılaştırması: Alan veya kümülatif üst bilanço olarak DüV'e göre besin maddesi karşılaştırmasını oluşturmak için mineral gübrelerden N % 100 olarak hesaplanmalıdır. Organik gübrelerdeki (sıvı gübre, gübre şerbeti, ahır gübresi, kompost ve fermantasyon artığı) N, mineral gübrelerle kıyasla bitki tarafından daha düşük bir kullanılabilirliğe sahiptir. Hayvansal kökenli çiftlik gübresi için besin maddesi karşılaştırması amacıyla da hayvan türüne bağlı gaz halindeki N kayıpları hesaplanabilir, ancak bu diğer biyogaz materyalleri için geçerli değildir. Bu nedenle örneğin yenilenebilir hammaddelerin yüksek oranları, bir biyogaz tesisinin materyallerinde ve fermantasyon artıklarında nispeten yüksek N oranlarına sahiptir.

### 10.3.5.2 Hijyen mevzuatı

Hayvansal kökenli çiftlik gübresi de dahil olmak üzere hayvansal yan ürünleri değerlendiren biyogaz tesisleri temelde, fermantasyon artıklarını ve buna bağlı olarak bunun içindeki hijyen taleplerini içeren hijyen mevzuatı kriterlerine tabidir.

Hijyen mevzuatı „İnsanların tüketmesi için öngörülmemiş hayvansal yan ürünler için hijyen yönergelerine sahip yönetmelik (EG) no. 1774/2002 [10-21]“ ulusal geçerliliğe sahip „Hayvansal yan ürünleri giderme yasası“ (TierNebG 2004) yanı sıra „Hayvansal yan ürünleri giderme yönetmeliği“ni de (TierNebV 2006) [10-22] kapsamaktadır. Son bahsedilen, doğrudan etkili yönetmeliğin (EG) Nr. 1774/2002 Almanya'daki uygulama şeklini açıklamaktadır.

TierNebV kullanılan materyale ve değerlendirme türüne bağlı olarak fermantasyon artıkları ile ilgili şartları belirtmektedir. (işletme içi veya dışında kullanım).

Yönetmelik (EG) no. 1774/2002, 2009 yılında tümüyle elden geçirilmiştir ve 4. Mart 2011 tarihinde (EG) Nr. 1069/2009 yönetmeliği olarak yürürlüğe girmiştir. Halihazırdaki geçerli yönetmelikte bulunan eklerdeki yönetime özgü (örneğin kompostlama ve fermantasyon tesislerinin işletilmesine dair) ve kalitatif (örneğin kalite kriterleri) kriterler henüz bunlara uyarlanmamıştır. Ulusal yasanın (TierNebG, TierNebV) değiştirilmiş AB hukukuna uyarlanması gerçekleştirilmiştir.

### 10.3.5.3 Atık mevzuatı

Eğer biyolojik atıklar biyogaz tesislerinde kullanılıyorsa, oluşan fermantasyon artığı için biyolojik atık yönetmeliğinin (BioAbfV 1998 [10-23] bzw. E-BioAbfV 2008 [10-24]) şartları geçerlidir.

#### Biyolojik atık yönetmeliği

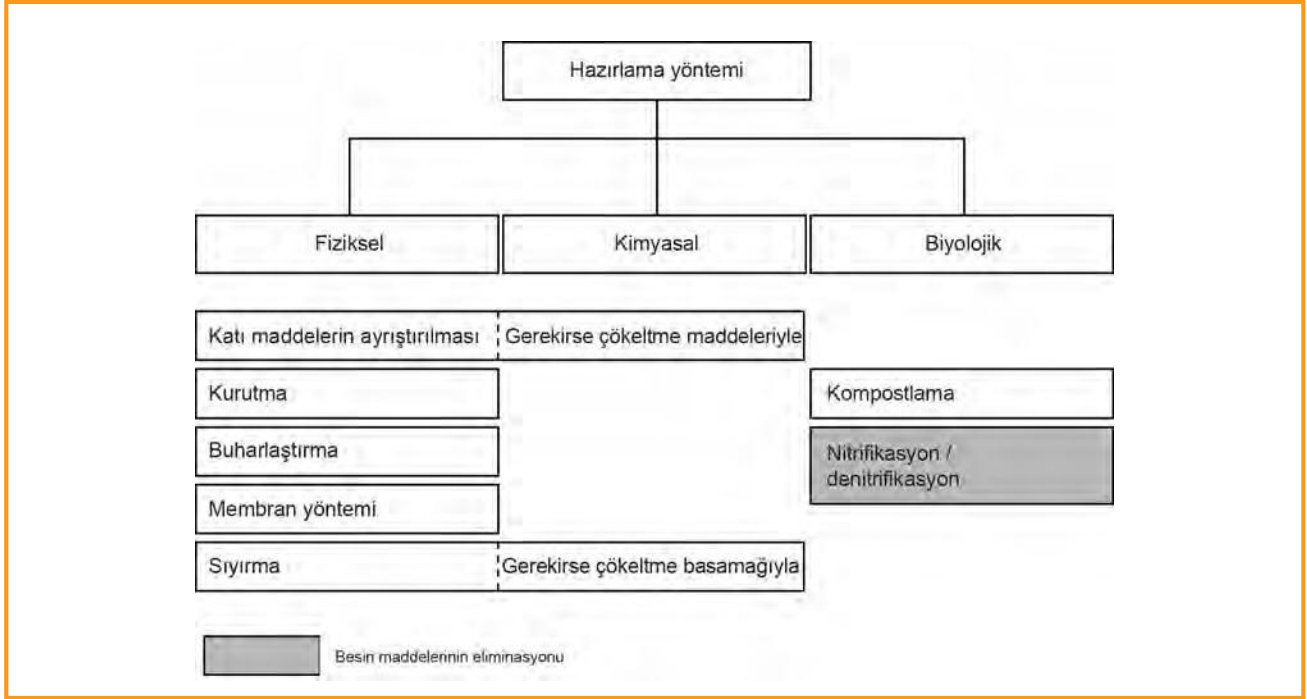
Hayvansal bileşenler içeren atıklar, ağırlıklı olarak hijyen mevzuatına dahil edilmiştir. TierNebV (2006)'ya göre „Biyolojik atıklar“ (bkz. üstte) bir istisna oluşturmaktadır. Biyolojik atık yönetmeliği (BioAbfV, 1998) buna göre bitkisel kökenli maddeleri düzenlemektedir. Birçok madde Yenilenebilir Enerjiler Yasası'na (EEG 2009) göre „Salt bitkisel yan ürünlerin pozitif listesi“ne (V EEG ek 2 par.2) dahil edilebilir, ancak biyolojik atık olarak da sınıflandırılabilir. Böylece tesis ruhsatlandırması (doğrudan ve dolaylı proses kontrolü, bakınız Bölüm 7.7.2.3) ve fermantasyon artığı bakımından BioAbfV kriterleri geçerlidir.

BioAbfV, biyolojik atıklar ve – toprak türüne bağlı olarak – tarım, bahçecilik veya ormancılık için kullanılan topraklar bakımından maksimum, kaliteyle ilgili uygulama normlarının yanı sıra ağır metal sınır değerlerini de içermektedir.

BioAbfV (2008)'in bir değişiklik taslağı bulunmaktadır. Özellikle izin verilen fermantasyon sonrası artıkların listesinin yanı sıra biyolojik atıkların işlenmesi için bir tesisin işletilmesiyle ilgili fito ve salgın hijyeni bakımından kriterler ele alınmıştır.

## 10.4 Fermantasyon artığının hazırlanması

Biyogaz tesislerinin sayısı ve büyüklüğü Federal Almanya Cumhuriyeti'nde çok artmaktadır. Buna, bölgelerde yüksek hayvan yoğunluğu ile gerçekleşen hayvan yetiştiriciliği yatırımları eşlik etmektedir. Bu gelişme çiftlik gübrelerinin bölgesel olarak yüksek miktarda oluşmasına neden olmakta, neticede fermantasyon artıkları sıklıkla yerinde, mantıklı bir şekilde gübre olarak kullanılamamaktadır. Bu gübreler sadece yüksek besin maddesi potansiyeline sahip olmayıp, kurallara uygun şekilde kullanılmadıkları zaman, doğal metabolizma döngülerini aşırı yükleyebilmektedirler. Besin maddesi potansiyelinden verimli bir şekilde faydalanmak için, bölgelerde besin maddesi fazlası olmadan kullanılacak, taşınmaya değer bir gübre materyalinin elde edilmesi için, besin maddelerinin konsantre edilmesi gerekli ve faydalı olabilmektedir.



Şekil 10.7: Hazırlama usüllerinin yöntem prensiplerine göre sınıflandırılması

Aşağıda, fermantasyon artıklarından besin maddelerinin ayrılması için kullanılan teknolojilerin ve yöntemlerin güncel durumu açıklanmaktadır. Olası besin maddesi konsantrasyonlarının derecesinin yanı sıra yöntemlerin masrafları ve işlevselliği dikkate alınarak yöntemler değerlendirilir. Yöntemlerin masraflarının, fermantasyon artığı kullanımının güncel masrafları ile karşılaştırılması ile, yöntemlerin pratikte uygunluğu incelenmektedir.

#### 10.4.1 Hazırlama teknikleri

Fermantasyon artıklarının değerlendirilmesinin en basit yolu, bunların önceden hazırlama olmaksızın, gübreleme amacıyla tarımsal alanlara aktarılmasıdır. Böylesi bir değerlendirme çoğunlukla işletmeye uygun değildir veya kısıtlı bir şekilde mümkündür. Uygun alanlar için yüksek kira fiyatları veya uzak taşıma mesafeleri ve böylece yüksek taşıma masrafları, ekonomik açıdan mantıklı bir değerlendirmeyi güçleştirmektedir. Fermantasyon artıklarının taşımaya değer niteliğinin artırılabilmesi için, fiziksel, kimyasal veya biyolojik proseslere dayanan çeşitli yöntemler kullanılmakta veya geliştirilmektedir (Şekil 10.7).

Aşağıda sadece fiziksel yöntemler incelenmektedir.

##### 10.4.1.1 Fermantasyon artıklarını hazırlama olmadan değerlendirilmesi (işlenmemiş fermantasyon artığının depolanması ve kullanılması)

Besin maddelerinin sirkülasyon prosesi bağlamında, fermantasyon artıklarının, fermantasyon için kullanılan yenilenebilir hammaddelerin ekildiği alanlara aktarılması, tercih sebebidir. Genellikle bu alanlar biyogaz tesisinin doğrudan yakınında bulunur, böylece oluşan taşıma uzaklığı azdır ve hem taşıma, hem de tarlaya uygulamanın aynı araçla yapılması sayesinde, uygun maliyetli bir çözüm sağlanmaktadır. Yaklaşık 5 km ve üzerindeki taşıma mesafelerinde, taşıma ve uygulama işlemlerinde kullanılan mekanizasyon düzenlemeleri farklıdır. Genel olarak taşıma mesafesinin artmasıyla, her iki işlemin de masraflarının yükselmesi söz konusu olur, çünkü fermantasyon artıklarının besin maddesi oranları, kütlelerine kıyasla nispeten düşüktür. Bu nedenle fermantasyon artıklarını hazırlamanın hedefleri, inert su oranının düşürülmesi ve besin maddeleri konsantrasyonunun hedefli bir şekilde artırılmasıdır.

##### 10.4.1.2 Katı maddeleri ayırma

Katı maddeleri ayırma, fermantasyon artığı hazırlamasının temel yöntemidir. Katı maddelerin ayrılmasının avantajları, sıvı fermantasyon artıkları için depolama hacminin düşürülmesi ve depolama sırasında



çökelen ve yüzen katmanların azaltılmasıdır. Ancak her şeyden önce besin maddelerinin ayrılması söz konusu olur, çünkü çözünür, mineral azot özellikle sıvı fazda kalırken, organik bağlı azot ve fosfor büyük oranda katı fazla birlikte ayrılmaktadır. Ayrılmış KM'si düşük sıvı faz dışarı aktarılabilir ve hazırlanma işlemine devam edilebilirken, ayrılmış katı maddeler kompostlanabilir veya kurutulabilir. Gerekli ayırma derecesine bağlı olarak özellikle helezon presli ayırıcılar, süzgeçli tamburlar veya süzgeç bantlı presler ve dekantörler kullanılmaktadır.

Her yöntemin ayırma kapasitesi, fermantasyon artığının özelliklerine ve ayırıcıdaki ayarlara fazlasıyla bağlıdır. Fermantasyon artığının KM oranı ne kadar yüksek olursa, ulaşılabilir hacim azaltımı ve fosfor ile organik azotun katı fazla birlikte ayrılması o kadar artar. Helezon presli ayırıcılarla katı fazda % 30'luk kuru madde oranlarına ulaşılırken, bu oran dekantörlerle genellikle mümkün değildir, ancak sıvı fazın işlenmesinde bazı müteakip yöntemler için önkoşul olan sıvı fazın % 3'ün altında ki KM oranlarına, sadece bu yöntemle ulaşılabilir. Fakat dekantörlerde giriş malzemesinin sabit bileşimi gereklidir ve seperatörlere kıyasla daha yüksek aşınmaya ve enerji tüketimine maruz kalırlar.

Ayırma sırasında ayrıştırma kapasitesinin iyileştirilmesi için kısmen çöktürücü maddeler kullanılır. Bu sırada gübreleme mevzuatı ile ilgili konular dikkate alınmalıdır.

#### 10.4.1.3 Katı fazın işlenmesi

Ayrılmış katı fazın doğrudan tarlaya uygulanması mümkündür. Ancak bu durumda azotun immobilizasyonu, koku gelişimi veya yabancı ot tohumlarının yayılması söz konusu olabileceğinden, ayrılan katı maddeler genellikle müteakip işlemlere tabi tutulmaktadır.

#### **Kompostlama**

Kompostlama, organik bileşenlerin stabilize edilmesi, patojen bakterilerin ve yabancı ot tohumlarının öldürülmesi yanı sıra koku yoğunluğuna sahip bileşiklerin eliminasyonu hedefiyle, organik atıkların aerobik işlenmesidir. Kompostlanacak fermantasyon artığına yeteri miktarda oksijen takviyesi gerekmektedir. Fermantasyon artığında daha ziyade düşük strüktürlü bir malzeme söz konusu olduğundan, başarılı bir kompostlama için strüktür malzemesi (örneğin ağaç kabuğu malçı) ilave edilmeli veya malzeme sıkça aktarılmalıdır (karıştırılmalıdır).

Biyogaz tesisindeki karbonun anaerobik bozunması nedeniyle, biyogaz artığı materyalin işlenmemiş organik malzemeye kıyasla kompostlama sırasında kendi kendine ısınması daha az olmaktadır. Kompostlama sırasında başarılı bir hijyenleştirme için gerekli olduğu üzere 75 °C değil, sadece 55 °C'ye kadar sıcaklıklara ulaşılmaktadır.

Oluşan kompost, klasik kompostla kıyasla, doğrudan toprak iyileştirici olarak kullanılabilir [10-25].

#### **Kurutma**

Kurutma için halihazırda başka alanlardaki olgunlaşmış yöntemler burada da kullanılabilir. Bunlar örneğin tamburlu, bantlı veya itmeli döndürmeli kurutuculardır. Çoğu kurutma sisteminde ısı, kurutulacak ürünün üzerinden veya arasından akan sıcak hava sayesinde aktarılmaktadır. Bunun için biyogaz tesislerinde – eğer farklı şekilde kullanılmıyorsa – atık ısının kullanılması söz konusu olabilmektedir.

Katı fazda bulunan amonyum kurutma sırasında büyük oranda amonyak olarak kurutucunun çıkış havasına geçmektedir. Bu nedenden dolayı amonyak emisyonlarının engellenmesi için hava çıkışının işlenmesi gerekli olabilmektedir. Aynı şekilde koku maddelerinin emisyonu söz konusu olabilmektedir. İmkanlara bağlı olarak çıkış havası kurutma istemine bağlantılı bir hava çıkışı temizleme sistemi ile temizlenmelidir.

Katı fazın kurutulması sayesinde en azından % 80'lik kuru madde oranları elde edilebilmektedir. Bu sayede materyal depolanabilmekte ve taşınabilmektedir.

#### 10.4.1.4 Sıvı fazın işlenmesi

Ayrılan sıvı fazın düşük KM oranları, işlenmemiş fermantasyon artığına kıyasla depolama ve dışarı aktarmayı kolaylaştırmaktadır. Ancak sıvı fazda müteakip bir hacim azaltımı veya besin maddesi zenginleştirilmesi sıklıkla tercih edilen bir durumdur.

#### **Membran tekniği**

Organik açıdan aşırı yük binmiş suyun membran yöntemiyle işlenmesi, atık su temizliği alanında zaten çok yaygındır. Bu, söz konusu tam hazırlama yönteminin halihazırda nispeten iyi bir şekilde fermantasyon artıklarına uyarlanabilmesini ve bazı biyogaz tesislerinde kullanılmasını sağlamıştır. Bu yöntem, diğer fermantasyon artığı hazırlama yöntemlerinin çoğuna kıyasla herhangi bir ısıya ihtiyaç duymamaktadır. Böylece diyafram tekniği, bir mikrogaz şebekesine

veya gaz hazırlamasına bağlanmış olan ve böylece fazladan ısıya sahip olmayan tesisler üzerinde de uygulanabilmektedir.

Diyafram tekniği, azalan gözenek büyüklüğüne sahip bir filtrasyon prosesine, bunu takip eden, boşaltılabilir bir süzüntü ve besin maddeleriyle çok zenginleştirilmiş bir konsantre oluşturan, bir tersinir ozmoza sahiptir. Konsantre materyal amonyum ve potasyum açısından zengin, bu arada fosfor özellikle ultra filtrasyonda tutulur ve filtre edilmeyen kısımda bulunur. Tersinir ozmozun süzüntüsü büyük oranda besin maddesi içermez ve boşaltım kalitesine ulaşır. Hesaplamalarda, besin maddesi açısından zengin her iki sıvı fazın müştereken bir karışımda dışarı aktarıldığı düşünülmesinden yola çıkılmıştır.

Membranların erken tıkanmasını önlemek için sıvı fazdaki KM oranı, % 3'ü aşmamalıdır. Bu çoğu durumda bir dekantör ile katı-sıvı ayrımını gerektirmektedir.

### Buharlaştırma

Fermantasyon artıklarının buharlaştırılması, yüksek ısı fazlasına sahip biyogaz tesisleri açısından ilgi çekici olabilir, çünkü 300 kWh/m<sup>3</sup> enerji gereksinimine ihtiyaç duyulmaktadır. Büyük oranda sıvı gübre ile işletilen ve böylelikle üretilen enerjiye oranla büyük bir fermantasyon artığı hacmine sahip tesisler için bu yöntem sadece kısıtlı bir şekilde uygulanabilmektedir. Burada hesaplanan model tesis için, giriş materyalinde % 50'lik bir sıvı gübre oranında, gereken ısının sadece % 70'i biyogaz tesisi tarafından sağlanabilmektedir. Fermantasyon artığı buharlaştırma tesisleri için şimdiye kadarki işletme deneyimleri sayısı çok azdır.

Yöntem çoğu zaman çok kademeli bir procese gerçekleşir. Önce malzeme ısıtılır ve ardından sıcaklık vakum altında kademe kademe kaynama noktasına kadar yükseltilir. Amonyak kayıplarını önlemek için pH değeri sıvı fazda asit eklenerek düşürülür. İşletim sırasında teknik sorunlar, kullanılan ısı değiştiricilerin tıkanması veya korozyonu yüzünden meydana gelebilmektedir. Bir vakum buharlaştırma tesisinde fermantasyon artığının miktarı yaklaşık % 70 azaltılmaktadır. Fermantasyon artıklarının buharlaştırma sırasında 80-90 °C'ye kadar ısıtılması, proses çerçevesinde bir hijyenleştirmeyi mümkün kılmaktadır.

Buharlaştırma sayesinde konsantredeki girişle kıyasla 4 katına kadar katı madde konsantrasyonlarına ulaşılabilir, depolama ve nakliye işi uygun şekilde azalır. Ancak temizlenmiş materyalin su alıcısına doğrudan aktarılması mümkün değildir, çünkü yasal sınır değerlerine uyulamamaktadır.

### Sıyırma

Sıyırma, içerik maddelerinin sıvılardan uzaklaştırılması için gazların (hava, su buharı, duman gazı vs.) sıvıların içinden geçirildiği ve içerik maddelerinin gaz fazına aktarıldığı bir yöntemi tanımlamaktadır. Amonyum bu sırada amonyağa dönüşür. Bu proses, sıcaklığın ve pH değerinin artırılması ile desteklenmektedir. Örneğin buharla sıyırma bundan faydalanılır, çünkü artan sıcaklıkla birlikte gerekli gaz hacmi azalmaktadır. Bu işlemin sonuna yerleştirilmiş bir desorpsiyon adımında, gaz fazında bulunan amonyak, değerlendirilebilir veya temizlenebilir bir ürün olarak elde edilir. NH<sub>3</sub>'ün gaz akışından desorpsiyonu yoğunlaşma, asitlerle yıkama veya bir sulu alçı çözeltilisinin reaksiyonuyla gerçekleştirilebilir. Desorpsiyonun nihai ürünleri genellikle amonyum sülfat veya sulu amonyaktır.

Temizlenmiş suyun direkt deşarjı için sınır değerlere ulaşılması buharlaştırmada olduğu gibi şu andaki teknikle sağlanamamıştır.

### 10.4.2 Hazırlanmış fermantasyon artıklarının değerlendirilmesi

Separasyondan elde edilen katı maddeler, özelliklerine göre taze kompost ile kıyaslanabilir ve bunun gibi gübre olarak ve topraklardaki organik maddenin artırılması amacıyla kullanılabilir. Federal Kompost Kalite Birliği, katı fermantasyon artıkları için kalite kriterleri geliştirmiştir ve bir kalite belgesi vermektedir. Ancak taze kompost özellikle tarımda kullanılır, çünkü bunun depolanması ve tarlaya uygulanması sırasında koku oluşumu meydana gelebilmektedir. Pazarlanabilir bir ürün, fermantasyon artıklarının örneğin kompostlama sayesinde stabilize edilmesiyle oluşur. Ancak bu yaklaşık 40 €/t.KM maliyet düzeyi ile ekonomik işletilememektedir. Katı maddelerin yukarıda açıklandığı gibi kurutulması, buna bir alternatif oluşturmaktadır. Bu sırada P ve K'nin arazi üzerine yüksek azot yüküyle amaca uygun bir şekilde uygulanabilmesi için (bkz. Tablo 10.18) depolanabilir ve taşınabilir bir ürün oluşmaktadır.

Kurutulmuş katı maddenin yakılması da mümkündür. Ancak fermantasyon artıklarının, sıvı gübre veya katı gübre birlikte fermente edildiğinde, BImSchV'ye göre genel yanıcı madde olması mümkün değildir. Bu durumda kapsamlı düzenlemelerle bir özel izin gerekli olmaktadır. Salt bitkisel kökenli fermantasyon artıkları için düzenleme ihtiyacı açık değildir.

Separasyondan elde edilen sıvı faz bazı biyogaz tesislerinde kısmen resirkülasyon olarak kullanılmaktadır. Bunun haricinde düşürülmüş KM oranı, düşük NH<sub>3</sub>

Tablo 10.18: Hazırlama yöntemleri için örnek olarak hesaplanmış, bölümlerin besin maddesi içerikleri

Hazırlama yöntemi	Bölüm	Kütle oranı	N <sub>org</sub>	NH <sub>4</sub> -N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
		%	kg/t	kg/t	kg/t	kg/t
İşlenmemiş	sıvı		2,0	3,6	2,1	6,2
Separasyon	katı	12	4,9	2,6	5,5	4,8
	sıvı	88	1,6	3,7	1,6	6,4
Kurutma bandı	katı	5	13,3	0,7	14,9	12,9
	sıvı	88	1,6	3,7	1,6	6,4
	Çıkış havası	7	-	-	-	-
Buharlaştırma	katı	19	4,9	4,4	6,8	4,5
	sıvı	37	2,8	7,4	2,1	14,4
	Atık su (temizlenmiş)	44	Su alıcısına doğrudan aktarım için sınır değerlere ulaşılmış			
Buharlaştırma	katı	19	4,9	4,4	6,8	4,5
	sıvı	31	3,4	8,9	2,5	17,3
	Proses suyu	50	Su alıcısına aktarmak için uygun değil			
Sıyırma	katı	27	6,8	3,5	7,5	21,7
	sıvı (ASL)	3	0,0	80,6	0,0	0,0
	Proses suyu	70	Su alıcısına aktarmak için uygun değil			

ASL: Amonyum sülfat çözeltisi

Tablo 10.19: Fermantasyon artığı hazırlamasının karşılaştırmalı değerlendirmesi

	Separasyon	Kurutma	Membran tekniği	Buharlaştırma	Sıyırma
İşlev güvenliği	++	+/o	+	o	o
Aktarma durumu (Tarlaya uygulama)	++	+	+	o	o
Giderler	+	+/o	o/-	o	+/o
<b>Ürünlerin değerlendirilebilirliği</b>					
Katı faz	o	+/o	o	o	o
Sıvı (besin maddesi açısından zengin)	o	o	+	+	++
Sıvı (besin maddesi açısından fakir)			+	o	o

++ = çok iyi, + = iyi, o = orta, - = kötü

kayıplarıyla daha doğru kullanmayı mümkün kılmaktadır. İşlenmemiş fermantasyon artıklarına kıyasla daha düşük P oranları sayesinde, yoğun hayvan yetiştiriciliği yapılan bölgelerde büyük miktarlar işletmeye yakın yerlerde değerlendirilebilmektedir, çünkü buralarda tarlaya aktarma genellikle toprakların P oranları yüzünden sınırlanmıştır. Bölgesel azot fazlıkları problemleri genellikle sadece sıvı fazın başka bir şekilde hazırlanmasıyla çözülür, çünkü sadece separasyon sayesinde taşıma hacminin azaltılması sağlanamamaktadır. Sıvı fazın besin maddesi içerikli hazırlama ürünleri için pazarlama sadece kısıtlı bir şekilde mümkündür. Gerçi besin maddesi konsantrasyonları fermantasyon artıklarına göre daha fazladır. (Tablo 10.18) Bu özellik bunların taşımaya değer olma niteliğini artırır, ancak çoğu zaman mineral gübrelerin altındadır. Bazı durumlarda kullanımı güç olabilir,

çünkü uygun bir uygulama tekniği bulunmamaktadır. Sıvı gübre ve fermantasyon artıklarının tarlaya uygulanmasında kullanıldığı üzere hareketli hortumlu sıvı gübre dağıtıcısıyla dışarı aktarma, besin maddelerinin arazi üzerine eşit bir şekilde dağıtılmasını mümkün kılmak için yeterince yüksek aktarma miktarlarına ihtiyaç duymaktadır. Mineralli sıvı gübreler, örneğin N oranı % 28'in üzerinde olan amonyum üre çözeltisi sıklıkla bitki koruma enjeksiyonuyla uygulanır, ancak bunlar çoğunlukla sınırlı aktarma kapasitesine sahiptir. Belirgin şekilde 1 m<sup>3</sup>/ha üzerinde bulunan uygulama normları, standart teknikle güçlükle gerçekleştirilebilmektedir.

Sıyırmadan elde edilen amonyum sülfat çözeltisi (ASL), değerlendirilebilir ve ürünün isteklerine en yakındır. Yaklaşık % 10'luk bir N oranına sahiptir ve halihazırda hava çıkış temizlenmesinden elde edilen

ürün kimya endüstrisinde yan ürün olarak, tarımda büyük miktarlarda gübreleme maddesi olarak pazarlanmaktadır.

Besin maddesi azaltılmış veya besin maddesi bulunmayan sıvı faz için ekonomik hesaplamalarda hiçbir değerlendirme masrafı veya geliri varsayılmamıştır. Proses suyuna ihtiyaç duyan alıcılar bulunduğu gelir elde etme mümkündür. Bu, tersinir osmozdan tam sulu bir süzütünün oluşması durumunda diyafram tekniğinde mümkün gözükmektedir. Neredeyse hiç besin maddesi içermeyen tüm ürünler yağmurlama veya sulama için kullanımı, doğrudan aktarma iznine sahip ürünler için sulara deşarj da mümkün olmaktadır. Eğer bu olanaklar söz konusu değilse, uygun hidrolik ve biyolojik kapasitelerle bir arıtma tesisine bağlantının yapılması gerekmektedir. Bu yüzden dikkate alınması gereken ek masraflar oluşmaktadır.

#### 10.4.3 Fermantasyon artığı hazırlama yöntemlerinin karşılaştırılması

Fermantasyon artıkları için burada gösterilmiş hazırlama yöntemleri, şimdiye kadarki uygulamaları ve işlev güvenlikleri bakımından çok farklıdır (Tablo 10.19). Fermantasyon artığı seperasyon yöntemleri, teknik duruma uygundur ve halihazırda sıkça kullanılmaktadır. Ancak bir kısmı hazırlama sırasında genellikle dışarı aktarılacak miktarların azaltılması söz konusu olmaz ve bu işlem için külfet artar.

Katı fazın kurutulması için yöntemler halihazırda başka uygulama alanlarında yerleşmiştir ve fermantasyon artığı kurutmasına uyarlanmaktadır. Bu işlemlerde sadece düşük düzeyde teknik problemler beklenmektedir. Ancak fermantasyon artıklarının kurutulması, kurutma sonrasında kazanç sağlayacak değerlendirme seçeneklerinin bulunması veya biyogaz tesisinin atık ısısı için başka faydalanma olanağı bulunmaması halinde ekonomik açıdan ilginç hale gelmektedir.

Sıvı fazın işlenmesi için yöntem henüz teknik duruma uygun değildir ve büyük bir gelişim ihtiyacı görülmektedir.

Teknik en fazla membran yönteminde gelişmiştir. Bu alanda piyasaya çok sayıda arz edilen ve büyük ölçüde sorunsuz çalışan referans tesis bulunmaktadır. Yine de burada, yöntemdeki değişiklikler ile enerji giderlerinin ve aşınmanın düşürülmesi bakımından halen geliştirme potansiyeli bulunmaktadır. Burada örneğin membranların kullanım süresinin uzatılması, enerji masraflarının azaltılması ve beklenen katı

madde ayrıştırmasının iyileştirmesi konuları geliştirme aşamasındadır.

Buharlaştırma ve sıyırma ile ilgili yöntemler, büyük miktarlarda sürekli işletimde henüz çok gelişmemiştir. Bu nedenden dolayı ekonomik tahmin ve ürünlerin beklenen kalitesinde, halen büyük güvensizlikler vardır ve teknik riskler nispeten yüksektir.

### 10.5 Kaynakça

- [10-1] H. Döhler, K. Schießl, M. Schwab (1999): BMBF – Förderschwerpunkt, Umweltverträgliche Gülleaufbereitung und –verwertung. KTBL Arbeitspapier 272. KTBL Darmstadt.
- [10-2] LTZ (2008): Inhaltsstoffe in Gärprodukten und Möglichkeiten zu ihrer geordneten pflanzenbaulichen Verwertung. Projektbericht, Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg (LTZ).
- [10-3] KTBL (2005): Schwermetalle und Tierarzneimittel in Wirtschaftsdüngern. KTBL-Schrift 435, 79 S.
- [10-4] Klingler, B. (1996): Hygienisierung von Gülle in Biogasanlagen. In: Biogas-Praxis Grundlagen-Planung- Anlagenaufbau-Beispiele. Ökobuch Staufen bei Freiburg: 141
- [10-5] Philipp, W.; Gresser, R.; Michels, E.; Strauch, D. (1990): Vorkommen von Salmonellen in Gülle, Jauche und Stallmist landwirtschaftlicher Betriebe in einem Wasserschutzgebiet.
- [10-6] Steinmüller, S., Müller, P., Pietsch, M. (2007): Phytohygienische Anforderungen an Klärschlämme – Regulationsnotwendigkeiten und –möglichkeiten. In: Perspektiven der Klärschlammverwertung, Ziele und Inhalte einer Novelle der Klärschlammverordnung. KTBL-Schrift 453, KTBL, Darmstadt
- [10-7] Döhler et al. (2002): Anpassung der deutschen Methodik zur rechnerischen Emissionsermittlung an internationale Richtlinien sowie Erfassung und Prognose der Ammoniakemissionen der deutschen Landwirtschaft und Szenarien zu deren Minderung bis zum Jahre 2010, Berlin
- [10-8] FNR (2009): Ergebnisse des Biogasmessprogramm II, Gülzow
- [10-9] Clemens, J., Wolter, M., Wulf, S., Ahlgrimm, H.-J. (2002): Methan- und Lachgas-Emissionen bei der Lagerung und Ausbringung von Wirtschaftsdüngern, in: KTBL-Schrift 406, Emissionen der Tierhaltung, S. 203-214
- [10-10] Roth, U., Niebaum, A., Jäger, P. (2006): Gasdichte Abdeckung von Gärrestlagerbehältern – Prozessoptimierung und wirtschaftliche Einordnung. In: KTBL-Schrift 449 (2006): Emissionen der Tierhaltung. Messung, Beurteilung und Minderung von Gasen, Stäuben und Keimen. KTBL, Darmstadt, 328 S.
- [10-11] Niebaum, A., Roth, U., Döhler, H. (2008): Bestandsaufnahme bei der Abdeckung von Gärrestlagerbehältern. In: Emissionsvermeidung beim Betrieb von Biogasanlagen : KRdL-Expertenforum, 04. November 2008, Bun-

- desministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bonn. Düsseldorf : Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN, 6 S.
- [10-12] Döhler, H. (1996): Landbauliche Verwertung stickstoffreicher Abfallstoffe, Komposte und Wirtschaftsdünger. In Wasser und Boden, 48 Jahrgang. 11/1996
- [10-13] ASUE (Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V.), Energiereferat der Stadt Frankfurt (2005): BHKW-Kenndaten 2005 – Module, Anbieter, Kosten. Broschüre, Kaiserslautern
- [10-14] Döhler H; Menzi H, Schwab M (2001) : Emissionen bei der Ausbringung von Fest- und Flüssigmist und Minderungsmaßnahmen. KTBL / UBA – Symposium, Kloster Banz.
- [10-15] Gutser, R. (2008): „Optimaler Einsatz moderner Stickstoffdünger zur Sicherung von Ertrag und Umweltqualität“, Vortrag vom 02.02.2006 zur Fachtagung Düngung in Bösleben (TU München)
- [10-16] KTBL (2009): Strompreise aus Biomasse – Vergütungsrechner für Strom aus Biogas.  
<http://www.ktbl.de/index.php?id=360>
- [10-17] Körschens, Martin et al. (2004): Methode zur Beurteilung und Bemessung der Humusversorgung von Ackerland. VDLUFA Standpunkt, Bonn
- [10-18] EEG (2008): Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz – EEG). 25 Oktober 2008, BGBl. I: 2074
- [10-19] DüngemittelV (2008): Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln (Düngemittelverordnung, DüMV). 16. Dezember 2008, BGBl. I: 2524
- [10-20] DüV (2007): Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen. Neufassung der Düngeverordnung (27.02.2007); BGBl I, 221
- [10-21] 1774/2002 (2002): 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)
- [10-22] TierNebV (2006): Verordnung zur Durchführung des Tierische Nebenprodukte-Beseitigungsgesetzes (Tierische Nebenprodukte-Beseitigungsverordnung – TierNebV) vom 27. Juli 2006. BGBl. I:1735
- [10-23] BioAbfV (1998): Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden (Bioabfallverordnung – BioAbfV) vom 21. September 1998. BGBl. I: 2955
- [10-24] E-BioAbfV (2008): Entwurf: Verordnung zur Änderung der Bioabfallverordnung und der Tierischen Nebenprodukte-Beseitigungsverordnung (Stand 19.11.2007). Artikel 1: Änderung der Bioabfallverordnung. BMU, WA II 4 – 30117/3
- [10-25] Ebertseder, T., (2007): Düngewirkung von Kompost und von flüssigen Gärrückständen im Vergleich.“ Humus und Kompost 172008, S, 64-67,
- [10-26] Faustzahlen Biogas (2009), 2. überarbeitete Auflage, KTBL (Hrsg.), Darmstadt

# 11

## Bir projenin uygulamaya konulması

Bir biyogaz projesinin uygulamaya konulması ve gerçekleştirilmesi, başta proje fikri olmak üzere, fizibilite analizi, tesisin planlanması ve tesisteki faaliyetin başlaması dahil bütün çalışmaları kapsar. Biyogaz projelerinin uygulamaya konulması süreci esnasında proje sahibi (örneğin çiftçi) şahsi angajmanına, personel ve mali kaynaklarına bağlı olarak çeşitli proje aşamalarını kendisi üstlenebilir. Fikir geliştirme sürecinin ve fizibilite analizinin çeşitli aşamaları, akabindeki yatırım hazırlığı, ruhsat alımına yönelik planlama aşamaları ve tesisin inşa edilerek faaliyete geçirilmesi şekil 11.1'de gösterilmiştir.



Şekil 11.1: Biyogaz üretimi ve kullanımına yönelik bir projenin gerçekleştirilme aşamaları

Bu gerçekleştirme aşamalarını kapsamlı bir şekilde özetleyebilmek ve başlıca ayrıntıları yansıtabilmek amacıyla, söz konusu aşamalar bundan sonraki bölümlerde genelde ana hatlara yer verilen kontrol listeleri şeklinde özetlenecektir.

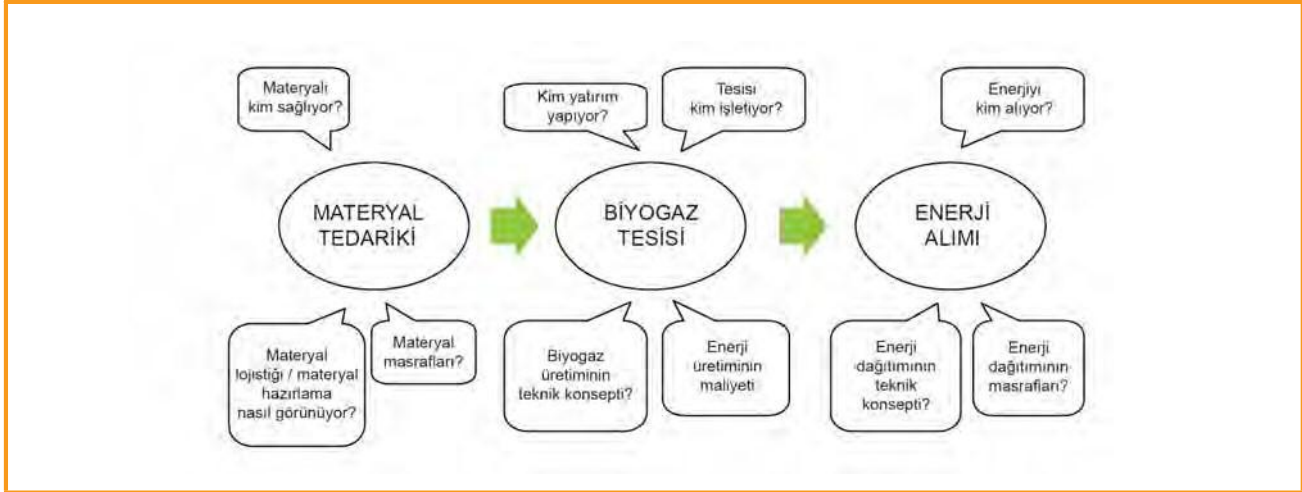
### 11.1 Fikir ve proje taslağı

Biyogaz projesine ilişkin fikir oluştuktan sonra, proje sahibinin projeye ilişkin fikri uygulamaya koymasına temel teşkil etmesi amacıyla proje taslağı hazırlaması önerilir. Söz konusu proje taslağının, proje değerlendirilmesine yönelik ilk temelden oluşması uygun olur. Proje taslağı hem proje mekanına bağlı teknik uygulanabilirliğin, hem projenin esas itibarıyla finanse edilebilirliğinin ve teşvik edilebilirliğinin değerlendirilmesinin, hem de potansiyel planlama bürolarıyla ilk önemli temasların kurulmasının temelidir. Projeye başlamadan önce biyogaz operatörlerinden planlama sürecine ve bilhassa türdeş materyal kullanılmasının planlanması halinde tesisin işletilmesine ilişkin bilgilerin edinilmesi önerilir.

Biyogaz projelerinde toplam sistemin, materyal ulaşılabilirliği ve biyogaz üretim tesisinden, enerjinin müşteriye nakline kadar olan aşamaların gözetilerek değerlendirilmesi önemlidir. Şekil 11.2'de gösterilen üç adet kısmi alanın, proje fikrini dayanıklı bir ilk değerlendirmeye tabi tutmak amacıyla başından itibaren aynı ayrıntı derecesiyle incelenmesi önem arz etmektedir.

İlerleyen planlama aşamalarında gereksiz ilave yüklerden kaçınmak için proje taslağı aşağıdaki adımlar izlenerek hazırlanmalı ve bu rehberde kullanıma sunulan hesaplama esaslarından (8. bölüm ile kıyaslayınız) yararlanılarak değerlendirilmelidir:

1. Ulaşılabilir materyal miktarının saptanması ve kontrol edilmesi; biyokütle temin zincirinin belirlenmesi
2. Tesisin teknik bakımdan ana hatlarıyla planlanması
3. Kullanılabilir alanların incelenmesi
4. Masrafların, teşviklerin ve rantabilitenin tahmin edilmesi
5. Enerji satışı konseptinin incelenmesi
6. Tesisin ruhsatlandırılma ve kabul görme yeteneğinin tahmin edilmesi.



Şekil 11.2: Biyogaz tesisi projesine ilişkin toplam sistem

1. Adım: Proje taslağının hazırlanması	
Uzun vadede ulaşılabilir olan materyallerin kontrol edilmesi	<b>Çiftlik içerisinde</b> meydana gelen hangi materyaller uzun vadede kullanıma hazır olacaktır? İşletmemi orta vadede/uzun vadede değiştirecek miyim? Biyogaz tesisim bundan nasıl etkilenecektir? (biyolojik/fiziksel bakımdan, prosedür bakımından, enerji üretimi bakımından) İşletmem <b>dışında</b> meydana gelen materyalleri uzun vadede güvenerek hesaba katabilir miyim? Bu materyallerin yasal şartlar çerçevesinde değerlendirilmesi kârlı mıdır? (oransallık sorusu)
Biyogaz tesislerinin gezilerek incelenmesi	Gezerek incelediğiniz tesisleri deneyim platformu ve bilgi portalı olarak kullanınız! Piyasada tesis yapımıyla ilgili hangi imkânlar mevcuttur? İnşaat ve prosedürle ilgili sorunlar nerede ortaya çıkar? Bu sorunlar nasıl çözüldü? Tesis operatörlerinin çeşitli bileşen ve materyal kombinasyonlarıyla ilgili deneyimleri nelerdir?
Kullanılabilir zamanın incelenmesi	Rutin işler, kontrol işleri ve bakım işlerine yönelik günlük zaman ihtiyacı kontrol edilmelidir (Bölüm 9.1.3 ile kıyaslayınız). Bu durum, işletmemdeki mevcut durum ile bağdaştırılabilir mi? Ailevi bakımdan hangi çalışma süresi modeli mümkündür? (örneğin çiftliği devralacak olan) Aile dışı işgücü kullanılmalı mıdır?
Isıdan faydalanılmasına yönelik imkanların incelenmesi	Isıyı kendi işletmem dışındaki yerlere aktarılabilmenin mümkün müdür? Aylık olarak hangi miktarlarda ısı sevk edilmelidir?
Kullanılabilir masraf bütçesinin saptanması	Kasa mevcudunun tespiti. Gelirlerde nasıl gelişmelerin yaşanması beklenebilir? İlerleyen zamanda mevcut durumda veya mali durumda önemli değişiklikler olacak mıdır?
<b>1. Adıma ilişkin hedefler:</b>	- İşletmenin olanaklarına ilişkin ilk değerlendirme - Uygulama ve işletme deneyimlerinin edinilmesi - Piyasadaki tesis ve tesis bileşenleri arzına ilişkin bilgi edinilmesi

İlk proje değerlendirilmesi için yukarıda belirtilen maddelerin nihai olarak belirlenmesine gerek yoktur. Zira bu daha sonraki planlama aşamasında gerçekleştirilecektir. Öncelikli olarak, projenin başarıyla uygulanabilmesine yönelik en az bir tane veya mümkün mertebe birden fazla çözüm yolunun hazır bulunması temin edilmelidir.

## 11.2 Fizibilite analizi

Proje sahibinin, proje taslağını esas alarak potansiyel biyogaz projesini sürdürme kararı almasından sonra fizibilite analizine gerek duyulmaktadır. Fizibilite analizi genelde büyük ölçüde proje taslağını esas almakta olup, bu çerçevede bütün teknik, ekonomik ve

diğer başlangıç verileri ile çerçeve koşulları saptanmakta ve ayrıntılı bir incelemeye tabi tutulmaktadır.

Projenin niteliğine ilişkin ilk ifadeler içeren proje taslağının aksine fizibilite analizi, planlanan projenin niceliğine ve olası uygulama şekillerine ilişkin ifadeler içermektedir.

Detaylandırma derecesiyle birlikte bir biyogaz tesisi projesine yönelik fizibilite analizinin ölçütleri şekil 11.3 uyarınca listelenecek ve bir sonraki bölümde yakından incelenecektir.

Fizibilite analizinin hazırlanmasıyla birlikte, aşağıdaki hedefleri izleyen bir karar taslağı oluşturulur:

- Projenin teknik ve ekonomik bakımdan yapılabilirliğinin, bütün çerçeve koşullarının ve proje mekânına özgü şartların saptanması esas alınarak incelenmesi
- Teknik ve ekonomik riskin değerlendirilmesi
- Eleme ölçütlerinin saptanması
- Olası organizasyon ve işletme yapılarının incelenmesi
- Teşvik başvurusu hazırlanmasına ilişkin temel oluşturulması
- Finanse edilebilirliğin değerlendirilmesine ilişkin temel oluşturulması.



Şekil 11.3: Biyogaz tesislerine yönelik fizibilite analizinin ölçütleri

## 2. Adım: Fizibilite analizinin geliştirilmesi

Deneyimli ve güvenilir bir planlama bürosunun / deneyimli ve güvenilir bir tesis üreticisinin planlama bölümünde görevlendirilmesi

Bu şahıslar projenin geliştirilmesi ve planlanması için büyük önem arz etmekte olup, müteakip bütün adımlarda projeye dahil olacaktır. Bu kişiler onay makamlarında ve Eyalet makamlarında görev yapan şahıslarla irtibat içerisinde olacaktır.

Tarımsal danışmanlarla irtibata geçilmesi

Bu şahıslar, biyogaz tesislerinin yapımı ve işletilmesi hususlarında deneyim sahibi olup, tesis yerinin seçimi ve tesis yeri şartlarından tutun da, konsepsiyon, uygulama ve tesisin çalıştırılması

İnşaat ve prosedür şeklinin ve tesis büyüklüğünün belirlenmesi

Tesis yeri özelliklerinin tanımlanması, örneğin toprak analiz raporu.  
Tesis yeri seçimi (yardımcı maddeler: İşletme, bina, silo alanlarına ilişkin yerleşim planı).  
Elektrik veya gazın ilgili şebekeye nakledilebileceği en yakın noktanın konumu  
Anlamlı tesis konfigürasyonlarının / tesis yapısının ve tesis tekniğinin kullanımına ilişkin kararın, gelecekteki işletme yönelimi ve biyogaz tesisiyle ilgili olarak işletmede gerçekleştirilecek yeniden yapılanma tedbirleri dikkate alınarak verilmesi.  
Tesis bileşenlerinin potansiyel analizi sonrasında ölçülendirilmesi.  
Hareket tarzı: Projenin ne şekilde uygulanması öngörülmektedir?  
Anahtar teslim mi („Turn-Key“- tesisi)?  
Tesis bileşenleri münferit olarak mı sipariş edilsin?  
Ne tür şahsi katkıların hangi çapta gerçekleştirilmesi planlanmaktadır?  
İnşaat sahipleri tesisi kooperatif olarak inşa edebilir mi?  
Hangi tesis bileşenleri ayrıntılı olarak ihaleye çıkarılacaktır? (örneğin hafriyat, elektrik...)  
Farklı uygulama şekillerine boş alan bırakınız!

### 2. Adıma ilişkin hedefler:

- Deneyimli bir planlamacı ve danışmanın fizibilite analizi hazırlama sürecine dahil edilmesi
- Öncelik tannan tesis büyüklüğünün, inşaat ve prosedür şekli ile elektrik, ısı ve işlenmiş biyogazın ilgili şebekeye nakledilebileceği olası noktaları ihtiva edecek şekilde belirlenmesi



### 11.2.1 Kullanılabilir materyal

Bir biyogaz tesisinin inşası ve işletilmesi bakımından, tesisin ikmaline yönelik yeterli miktarda materyalin bütün yıl boyunca kullanıma hazır olup olmaması öncelikli olarak önem arz etmektedir. Bu bağlamda, materyal tedarikinin makul masraflarla karşılanabilecek olup olmadığı incelenmelidir. Hayvancılıkla uğraşan tarımsal işletmelerin avantajı, maliyeti düşük olan ve masraflı lojistik gerektirmeyen bir materyalin (sıvı çiftlik gübresi, hayvan dışkıları veya katı çiftlik gübresi) zaten biyogaz tesisinin kurulu olduğu yerde kullanıma hazır bulunması ve aynı zamanda bu materyalin çiftlik gübresi olarak kalitesinin fermantasyon süreci vasıtasıyla iyileştirilebilecek olmasıdır (Bölüm 4.1 ile kıyaslayınız). Bu konu sadece ticari tarım ürünleri üreten (bitkisel üretim yapan) işletmelerde ise, kullanılabilir materyal temini, kullanılabilen tarımsal araziye ve bununla bağlantılı olan tedarik masraflarıyla bağlantılıdır. [11-1]. Materyallerin türü ve kullanılabilirliği biyogaz tesisinde kullanılacak olan teknolojiyi belirler. Kullanılabilir materyal durumunun saptanmasına yönelik bir kontrol listesi aşağıda sunulmuştur.

### 11.2.2 Tesisin kurulacağı yerin belirlenmesi

Biyogaz tesisinin kurulacağı yerin belirlenmesi sürecinde özellikle inşaat masrafları kalemine yansıyan, tesisin kurulacağı yere özgü şartlar (uygun inşaat zemini, mekânın daha önceki kullanım şekli, şebeke bağlantı noktaları vs.), imar mevzuatıyla ilgili düzenlemeler ve toplumsal/sosyal hususlar dikkate alınmalıdır. Biyogaz tesisinin kurulacağı yerin belirlenmesine yönelik ölçütler Şekil 11.4'de şematik olarak verilmiştir.

#### 11.2.2.1 Tesisin kurulacağı yere özgü hususlar

Öncelikle, tesis inşası için öngörülen yerin yeterli büyüklüğe sahip olup olmadığı, inşaat zemininin uygun olup olmadığı hususları aydınlatılmalı ve zeminin mümkün mertebe kirlenmemiş olmasına, tesis alanındaki mevcut bina ve depoların kullanılabilir olmasına, şebeke bağlantı noktalarının ve üretilen ısıyı kullanacak müşterilerin mevcut olmasına dikkat edilmelidir (9.1.1 ile kıyaslayınız). Bu incelemenin amacı, inşaat masraflarını düşük seviyede tutmaktır. Tarımsal biyogaz üretimindeki nispeten düşük üretim gücü ve bununla bağlantılı materyal hareketleri, materyal tedarikinin ve fermantasyon artışı tahliyesinin kara yolu kullanılarak gerçekleştirilmesini mümkün kılmakta-

### 3. Adım: Kullanılabilir materyal

Kullanılabilir materyallerin sınırlandırılması

Hangi biyokütle materyalleri kullanıma hazırdır:

- Tarımsal artıklar (örneğin sıvı sığır gübresi, katı kanatlı gübresi)
- Tarımsal sanayi kaynaklı atıklar (örneğin elma şlemesi, numunelik meyveler)
- Sınai ve ticari atıklar (örneğin kullanılmış yağlar)
- Evsel atıklar (örneğin organik atıklar)
- Yenilenebilir kaynaklar, enerji bitkileri (örneğin mısır silajı, ot silajı)

Materyaller hangi zaman aralıklarında kullanıma hazırdır?

Materyaller tesise hangi kalitede teslim edilir?

Biyokütle tedarikçileri

Uzun vadeli bir biyokütle sevkiyatı için hangi potansiyel tedarikçiler düşünülebilir?

Tedarik masrafları

Materyallerin tedarik masrafları ne kadardır?

Depolar

Tesis yapımının planlandığı yerde ne kadar depolama alanı mevcuttur?

Ön işlem tedbirleri

Kullanılacak olan materyallerin ön işlemine (karıştırma, parçalama) yönelik hangi tedbirler alınmalıdır?

**Hedefler:**

**3. Adım**

- Materyallerin, pratikte kullanılacak fermantasyon süreci bakımından seçilmesi
- Materyallere yönelik ön işleme ve işleme tedbirlerinin sınırlandırılması
- Potansiyel biyokütle tedarikçilerinin seçilmesi



Şekil 11.4: Tesisin kurulacağı yerin seçimine yönelik ölçütler

dır. Görece düşük enerji yoğunluklarından dolayı birçok materyalin ekonomik olarak nakledilmesi sınırlı ölçüde mümkündür. Bundan dolayı, biyogaz tesislerinin biyokütle ihtiyacının karşılanmasında özellikle yakın çevredeki biyokütle üzerinde yoğunlaşılmalıdır. Tesis inşası için, trafik yoğunluğu orta seviyede olan

yollara bağlantıları bulunan yerlerin seçilmesi uygun olur (örneğin bölünmemiş yollar) [11-3].

#### 11.2.2.2 İmar hukukuna ilişkin hususlar

İmar hukuku uyarınca meskûn mahallerin iç ve dış kısmı arasında fark gözetilmektedir. Bu bağlamda iç kısım, bir meskûn mahal içerisindeki bütün alanları kapsar. Dış kısım ise, meskûn mahal dışında kalan alan olarak tanımlanır. İç ve dış kısım arasındaki fark, belediyelerin ilgili imar planlarında belirtilmektedir. Çarpık kentleşmeyi önlemek amacıyla dış kısımdaki inşaat faaliyetleri sınırlandırılmıştır. İmar Kanununun (BauGB) 35. Maddesinin 1. Fıkrası uyarınca, bir biyogaz tesisinin dış kısımda inşa edilmesi belirli şartlar altında mümkündür. Böyle bir durumda ilgili tesis ayrıcalıklı tesis olarak değerlendirilir (Bölüm 7.7.2.1 ile kıyaslayınız). Ayrıca, kirliliğin önlenmesine ilişkin hukuki mevzuatla ilgili hususlar (Bölüm 7.7.2.1 ile kıyaslayınız) ile doğa ve çevreye müdahale edilmesinden kaynaklanacak yükümlülükler de hesaba katılmalıdır (örneğin telafi edici tedbirler).

#### 11.2.2.3 Toplumsal/sosyal hususlar

Biyogaz projelerinin gerçekleştirilmesi amaçlandığında, bilhassa kırsal kesimlerde bölge sakinleri veya kuruluşlarının projeyi benimsemesi hususunda tartışmalar çıkabileceği tecrübeyle sabittir. Bu sorun, projenin onaylanabilirliği bakımından fazlasıyla olumsuz etkide bulunabilir. Özellikle de koku ve gürültü kirliliği, artan trafik yoğunluğu, tesis çevresinin dış görünümü gibi endişeye sebep olan olumsuz etkiler bölge sakinlerinin planlanan projeye karşı direniş göstermesine neden olabilir. Bölge sakinleri ve bölgede yerleşik kuruluşların zamanında bilgilendirilmesi ve sürece dâhil edilmesi gibi, projenin kabul görmesini kolaylaştıracak tedbirlerin zamanında alınması ve bilinçli halka ilişkiler faaliyetlerinin yürütülmesi, biyogaz tesisinin kurulması için öngörülen bölgenin kabul görmesini temin etmek için vazgeçilemez tedbirlerdir.

#### 4. Adım: Tesisin kurulacağı yerin belirlenmesi

Arazinin incelenmesi	Arazinin özellikleri nedir? Uygun bir inşaat yeri mevcut mudur? Arazi sanayi bölgesi içerisinde mi (kenar bölge) ya da dış kısımdaki bir tarım işletmesi arazisinde mi bulunmaktadır (ayrıcalıklı)? Arsa masrafları hangi seviyededir.
Altyapının incelenmesi	Karayolu bağlantıları kamyonlar tarafından kullanılabilir mi? Arazide hangi şebeke (elektrik, su, atık su, telekom, doğal gaz) bağlantıları mevcuttur?
Üretilen elektriğin şebekeye dahil edileceği yerin incelenmesi	Üretilen elektriğin şebekeye dahil edileceği en yakın noktanın uzaklığı?
Üretilen ısının kullanımına yönelik olanakların incelenmesi	Tesis yeri dışında ısı deşarjına yönelik imkânlar var mıdır? Kojenerasyon sürecinde oluşan artık ısı işletmede kullanılabilir mi? Buna yönelik modifikasyon çalışmaları / masrafları olumlu bir fayda-maliyet oranına sahip midir? Aylık olarak hangi miktarda ısı sevk edilebilir? Uydu şeklinde bir kombine ısı ve enerji santralinin (BHKW); biyogaz tesisinden farklı bir mekanda bulunan ve uzun bir gaz hattı vasıtasıyla gaz deposuna bağlı bulunan BHKW'nin yerleştirilmesi mümkün müdür?
Üretilen gazın ilgili şebekeye	İşlenmiş biyogazı, tesisin bulunduğu yerde bağlantısı hazır olan mevcut bir doğalgaz şebekesine dahil etme imkanı var mıdır?
Projenin kabul görmesini sağlamak	Tesisin yakınındaki hangi nüfus ve işletmeler olumsuz anlamda etkilenecektir? Tesisin yakınındaki hangi nüfus ve işletmeler proje hakkında zamanında bilgilendirilmeli ve icabında sürece dahil edilmelidir? Potansiyel ısı müşterileri kimlerdir? Şeffaf halkla ilişkiler faaliyetlerine yönelik planlamalara hangi kamu kuruluşları zamanında dâhil edilmelidir? (örneğin belediye başkanları, onay mercileri)? Doğanın korunmasına ilişkin hangi hususlar dikkate alınmalıdır?
4. Adıma ilişkin hedefler	- Tesis yerinin seçilmesi - Biyogazın ne şekilde kullanılacağına belirlenmesi (tesiste kojenerasyon, uydu BHKW'nin kullanımı veya biyogazın işlenerek doğalgaz şebekesine dâhil edilmesi) - Şeffaf halka ilişkiler faaliyetleri vasıtasıyla projenin kabul görmesinin sağlanması

### 11.2.3 Malzeme akım lojistiği

Biyokütlenin ademi merkezietçi tedarik şekli ile kısmen ademi merkezietçi ve müşteri merkezli şekli bağlamında düşünüldüğünde biyokütle lojistiği, toplam tedarik zinciri içerisinde önemli bir yere sahiptir. Biyokütle lojistiği, bir materyalin kullanılabilir hale getirilmesi amacıyla gerçekleştirilen, işletme ve piyasa ile ilgili bütün faaliyetleri kapsar. Bu süreçte, tedarikçiden alıcıya giden malzeme ve bilgi akışının en uygun şekilde ayarlanması noktasına odaklanılmaktadır.

Malzeme akışı lojistiğiyle ilgili zincirlerin seçilmesi ve buna koşut olarak bir veya birden fazla olabildiğince uzun vadeli biyokütle tedarik sözleşmesinin imzalanması özellikle önem arz etmektedir. Zira yıl içerisinde sabit bir biyokütle girdisine ihtiyaç duyulacaktır. İlgili biyokütle tedarikçisiyle daha tesis inşa edilmeden önce kesin bir anlaşmaya varılması uygun olur. Tesisin kendisi ile depolama alanları ve rezervuarları böylece daha planlama aşamasında ilgili materyallere ve sevkiyat gerçekleştirileceği zaman aralıklarına göre ayrıntılı bir şekilde belirlenebilir.

Buradaki amaç, tedarikçiden sevkiyatı gerçekleştirilen biyokütlenin miktarında meydana gelebilecek dalgalanmaları tesisin bulunduğu yerde dengeleyebilmektir. Fatura hesaplamasında hangi referans değerlerin esas alınacağı hususu sözleşme imzalanmadan önce açıklığa kavuşturulmalıdır. Esas itibarıyla bu hesaplama sevkiyatı gerçekleştirilen biyokütle miktarına/hacmine (örneğin t, m<sup>3</sup>) göre yapılır. Düşük kaliteli materyal riskini azaltmak için, ayrıntılı kalite standartları ve kontrolleri belirlenmelidir.

Materyallerin işlenmesi (küçültülmesi ve karıştırılması) ve fermentöre koyulması işlemleri, bu işe yönelik dozajlama mekanizmaları (helezon taşıyıcılar) vasıtasıyla gerçekleştirilmektedir (Bölüm 3.2.1 ile kıyaslayınız). Tesis içerisindeki materyal nakli ise genelde elektrik motoru tahrikli pompalar vasıtasıyla gerçekleştirilmektedir. Uygun pompa ve taşıma tertibatının seçilmesi, büyük oranda kullanılan materyallere ve bunların işleme derecelerine bağlıdır.

Malzeme akışı lojistiğine ilişkin kontrol listesi aşağıda sunulmuştur (5. Adım).

5. Adım: Malzeme akışı lojistiği	
Malzeme akışı miktarının somutlaştırılması ve güncellenmesi	Hangi materyal miktarları hesaplamalara dâhil edilmelidir? Potansiyel materyal tedarikçilerin tesise ortalama uzaklıkları ne kadardır? Tedarik edilebilen materyalin mevsimlere göre dağılımı ne şekildedir? Kullanılacak olan materyalin özellikleri nelerdir?
Materyal tedarik zincirinin belirlenmesi	Planlanan tesise yönelik en uygun materyal sevkiyat şekli hangisidir? Tesisin kurulması planlanan yerde, ne tür uzun ve kısa vadeli depolama imkânları mevcuttur? Hangi işleme ve dozajlama adımları gereklidir? Materyallerin alımında fiyat belirsizliği mevcut mudur?
Biyokütle tedarikçilerin ve fermentasyon artıklarının alıcılarının seçilmesi	İlgili biyokütle tedarikçisi ile materyale yönelik hangi teslimat koşulları ve kalite standartları belirlenmelidir (örneğin teslim edilen biyokütle miktarının/hacminin mahsup edilmesi) Fermentasyon artıklarının alıcıları var mıdır?
Tesis içerisindeki materyal nakli	Tesis alanında hangi aktarma ve taşıma tekniğinin kullanılması öngörülmektedir? Tesisin içerisinde hangi taşıma ve pompa tekniğinin kullanılması öngörülmektedir?
Fermentasyon artıklarının depolanması	Oluşan fermentasyon artığı miktarı nedir? Fermentasyon artıkları yapı tekniği bakımından ne şekilde depolanabilir? Fermentasyon artıklarının taşınma türüne ve uygulama zaman aralığına ilişkin ne şekilde planlama yapılabilir?
<b>5. Adıma ilişkin hedefler</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Taşıma ve aktarma tekniğinin belirlenmesi</li> <li>- Biyogaz tesisi alanındaki materyal ve fermentasyon artıklarına yönelik depolama alanının belirlenmesi</li> <li>- Biyokütle tedarikçilerinin ve fermentasyon artıklarının alıcılarının seçilmesi</li> <li>- Teslimat koşullarının belirlenmesi ve mümkün mertebe uzun vadeli tedarik sözleşmelerin hazırlanması</li> </ul>

### 11.2.4 Kullanılacak teknolojinin seçilmesi

Kullanışlı tesis teknolojisinin güncel örnekleri uyarınca, yapımı planlanan bir biyogaz tesisinin teknolojisi özellikle mevcut materyaller (Bölüm 3 ile kıyaslayınız), altyapı, ilgili aktörler ve gerçekleştirilebilir finansman esas alınarak belirlenir. Kullanılacak teknolojinin seçimine ilişkin kontrol listesi aşağıda sunulmuştur (6. Adım).

6. Adım: Kullanılacak teknolojinin seçilmesi	
Fermentasyon yönteminin seçilmesi	Tesisin yaş madde fermentasyonu mu, katı madde fermentasyonu mu veya iki yöntemin kombinasyonu ile mi çalıştırılması öngörülmektedir? Tesisin hangi proses aşamaları ve hangi proses sıcaklığı ile çalıştırılması öngörülmektedir?
Tesis bileşenlerinin seçilmesi	Hangi tesis bileşenlerinin kullanılması öngörülmektedir? - Kabul, işleme ve yükleme tekniği - Temel bileşenleri ve karıştırma mekanizması bulunan fermentör tertibatı - Gaz deposu tipi - Fermentasyon artıklarının depolanma şekli - Biyogazın değerlendirilmesi
İlgili aktörler	Hangi tarımsal işletmeler ve şirketler ürün ağına ortaktır? Katılımcı taraflar hangi deneyimlere sahiptir? Yakın çevrede hangi kurulum ve bakım işletmeleri mevcuttur? Çalışanlar ve sistem ortakları materyal işleme ve nakli, taşıma tekniği ve silaj tekniği konularında hangi bilgi ve becerilere sahiptir?
6. Adıma ilişkin hedefler	- Son teknoloji ürünü, yüksek kaliteli malzemelerden meydana gelen ve bakımı kolay tesis bileşenlerinin seçilmesi ve işletmenin otomatizasyonu.

### 11.2.5 Gazın kullanılması

Tesisin bulunacağı yerin özellikleri ve planlanan nihai kullanım şekli uyarınca, üretilen biyogazın ne şekilde değerlendirileceğine ilişkin bir karar verilmelidir (Bölüm 6 ile kıyaslayınız). Biyogaz projelerinde üretilen gazın kullanımına ilişkin bir kontrol listesi aşağıda sunulmuştur (7. Adım).

7. Adım: Gazın kullanılması	
Biyogaz kullanım şekli	Elde edilen enerji kaynağı tesisin kurulu olduğu yerde etkin bir şekilde nasıl kullanılır mı? - Kojenerasyon sürecinde elektrik ve ısı üretimi (örneğin BHKW, mikro gaz türbini vs.) - Trijenerasyon vasıtasıyla soğutma - Biyogazın işlenerek (nemin ve kükürdün alınması) doğalgaz kalitesine yükseltilerek genel doğalgaz şebekesine veya mikrogaz şebekelerine dâhil edilmesi - Motorlu araç yakıtına dönüştürülmesi - Biyogazın termik kullanımı
7. Adıma ilişkin hedefler:	- Biyogazı enerji olarak değerlendirme şeklinin seçilmesi

### 11.2.6 Değerlendirme ve karar verme

Bir biyogaz projesinin değerlendirilmesi ve projeye ilişkin karar verilmesi süreçleri karlılık ve finansman türüne göre belirlenir (Bölüm 8.2 ile kıyaslayınız). Konuya ilişkin bir kontrol listesini 8. Adımda bulabilirsiniz:

8. Adım: Değerlendirme ve karar verme	
Ayrıntılı maliyet Planının hazırlanması	Yöntemin belirlenmiş olmasından dolayı maliyetin ayrıntılı bir şekilde planlanması mümkündür. Maliyet planı, maliyetlerin kontrolünü her zaman mümkün kılacak şekilde hazırlanmış olmalıdır. Maliyet kalemleri aşağıdaki gruplara bölünmelidir: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Müstakil bileşenlerin maliyetleri</li> <li>- Materyal maliyeti „Fermentöre teslim“</li> <li>- Amortisman</li> <li>- İşletme, bakım ve tamirat masrafları</li> <li>- Faiz</li> <li>- Sigorta</li> <li>- İşçilik maliyeti</li> <li>- Finansman ve ruhsat masrafları</li> <li>- Planlama masrafları</li> <li>- Enerji tedarikçisi masrafları, şebekeye bağlantı masrafları</li> <li>- Olası nakliye masrafları</li> <li>- Genel masraflar (telefon, odalar, ıkmal vs.)</li> </ul> Münferit bileşenlerin maliyetleri alt gruplara ayrılmalıdır. Şahsi katkıda bulunulması veya tesis bileşenlerinin münferiden sipariş edilmesi halinde bunlar ayrıntılı bir şekilde işaretlenmelidir.
Teşvik imkânları	Piyasayı teşvik programının ve KfW'nin federal çapta sunduğu düşük faizli kredinin yanında eyaletlerde de çeşitli teşvik programları mevcuttur. Teşvik için hangi makamlara başvurulmalıdır? Teşvikler için başvuruda bulunabilmek ve faydalanabilmek için hangi şartlar yerine getirilmelidir? Hangi vadelere uyulmalıdır? Başvuruda hangi belgeler takdim edilmelidir?
Finansman	Dış finansman ihtiyacı saptanmalıdır. Finans kuruluşları tarafından verilen finansman danışmanlığı hizmetinden faydalanılmalıdır. Finansman konseptleri, işletmedeki şartlar bakımından ayrıntılı olarak incelenmelidir. Çeşitli finansman teklifleri kendi aralarında kıyaslanmalıdır.
<b>8. Adıma ilişkin hedefler:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ekonomiklik analizinin hazırlanması; bu süreçte başka avantajlar da (örneğin koku, çiftlik gübresinin akışkanlığının artırılması) dikkate alınmalıdır.</li> </ul> Sonuç: başka (komşu) işletmelerle aşağıdaki amaçlarla temas kurulabilir: <ul style="list-style-type: none"> <li>- İlave materyal kazanmak,</li> <li>- İşletmeciler birlikleri kurmak</li> </ul> → Karar verme sürecine temel teşkil edecek yeni bir ekonomiklik analizinin hazırlanması

### 11.3 Halkla ilişkiler çalışmaları vasıtasıyla yatırım hazırlığı

Biyogaz tesislerinin kamuoyunda kabul görmesi sınırlı bir süreçtir. Ses ve gürültü kirliliğinin yanında, çevre görüntüsünde de değişiklikler meydana gelebileceğinden endişe edilmektedir. Bundan dolayı tesis civarında yaşayan ve tesisten etkilenen insanlar biyogaz tesisinin planlama ve ruhsatlandırma sürecine zamanında dâhil edilmelidir. Bu amaçla proje belediye başkanı veya belediye meclisi nezdinde duyurulup tanıtılabilir. Bu süreçte başlangıçtan itibaren, tesisin türüne ve planlanan çalışmalara ilişkin şeffaf bir bilgilendirme politikası yürütülmelidir (ör-

neğin tesisin ileride kurulacağı yerde düzenlenecek bir bilgilendirme ve tanıtım günü). Bölge sakinlerinin ve tesis komşularının tereddütlerinin dikkate alınması halinde, çekinceler ve kabul görme sorunları engellenebilir. Bu sayede de, planlanan yatırıma yönelik önemli bir ön koşul yerine getirilmiş olur.

Yatırım kararı alındıktan sonra finansman seçenekleri mercek altına alınır. Biyogaz projeleri esas itibarıyla öz kaynaklar ve krediler vasıtasıyla finanse edilir. Ancak, ilaveten başka finansman kaynaklarının kazanılması projenin rantabilitesi bakımından tavsiye



9. Adım: Yatırım hazırlığı ve finansman seçenekleri	
Halkla ilişkiler çalışmaları	Projenin belediye başkanı veya belediye meclisi nezdinde duyurulması ve tanıtılması. Kamuoyunda şeffaf bir bilgilendirme politikasının yürütülmesi (bölge sakinleri ve komşular)
Finansman	Kullanılabilir yatırım hacmi nedir? Seçenekler arasında hangi finansman modelleri vardır? Proje sahibinin kredibilitesi var mıdır?
Öz kaynaklar	Piyasadaki standart banka kredilerinden veya devlet desteklerinden faydalanabilmek için, asgari düzeyde şahsi katkı veya öz kaynak kredi kullanılmasında şart koşulmaktadır. Bu çerçevede nakit aktifler veya işletme için gerekli mal ve/veya mali sermaye gibi taşınmazlar kullanılabilir. Öz sermayeyi yükseltmek amacıyla, yeni hissedar ve ortaklar projeye dâhil edilebilir veya hisse senetleri satın alınabilir. (örneğin komandit şirket ortaklı limitet şirket kurulması).
Fon finansmanı	Özel proje veya katılım fonları kullanılarak gerçekleştirilen finansman modellerinde bireysel yatırımcılar ve yatırımcılar proje finansmanına yönelik öz sermaye sunarlar. Proje fonları, bireysel yatırımcıların planlanan biyogaz projesine aktarılan bireysel mali kaynaklarının toplandığı yerler olarak işlev görür. Fonlar hisse senetleri veya komandit hisseler şeklinde arz edilebilir.
Teşvik fonları	Biyokütlede kullanılarak daha fazla enerji üretilmesine destek olmak için eyaletler düzeyinde, federal çapta ve AB çapında çok sayıda teşvik programı mevcuttur. Kamu kurumları tarafından tahsis edilen teşvikler genelde yenilikçi teknolojilerin tanıtılması ve piyasaya sürülmesine yönelik olup, ilgili bütçe planlarına bağlıdır.
Yabancı kaynaklar	Yabancı kaynaklar genelde banka kredileri ve teşvik kredileri olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Banka kredisi: Banka, biyogaz tesisinin finansmanını, kredi alıcısının kredibilitesi ve planlanan biyogaz tesisinin rantabilitesini esas alan bir kredi şeklinde karşılar. Teşvik kredisi: Teşvik kredileri, düşük faizli ve uzun vadeli krediler olup, biyogazın kullanımını teşvik eden kuruluşlar tarafından kullanıma sunulan kredilerdir (örneğin KfW, ekolojik (çevre korumaya yönelik faaliyetlere kredi veren) bankalar, Avrupa Yatırım Bankası).
Sözleşme	Sözleşmeli işletme modelinde, masrafları proje sahibi tarafından ödenemeyen yatırımlar üçüncü şahıslara devredilir (Sözleşmeli işletmeci). Projenin gerçekleştirilmesi amacıyla uygulanacak olan tedbirler harici hizmet sağlayıcıları tarafından kendi sorumlulukları dahilinde ve kendi hesapları için uygulanır. Bunun sonucunda riskler de hizmet sağlayıcısına devredilmiş olur [11-2]. Proje sahibi (işveren) elektrik, ısı, soğutma veya çiftlik gübresi gibi arzu ettiği ürünleri, planlama, tesis kurulumu ve işletmesi veya finansman gibi ayrıntılarla ilgilenmek zorunda kalmadan elde eder. Sözleşmeli işletme modeline ilişkin önemli bilgilere 8930 sayılı, „Sözleşme“ başlıklı DIN normunun 5. kısmı ve 8930-5 sayılı DIN normundan erişilebilir.
Kiralama	Bir biyogaz tesisinin kiralama yoluyla finanse edilmesi, kiralama hizmeti veren taraf ile sağlanır. Kiraya veren taraflar genelde bir bankanın kiralama şirketleri veya bir kiralama şirketi içerisinde kurulan proje şirketleri olur. Kiraya veren taraf, biyogaz tesisini uzun vadeli bir kira sözleşmesi çerçevesinde kiralayan tarafa (tesisi kullanan kişi) kiralar. Tesisten sağlanacak fayda, tesisin işletmesi ve buna bağlı riskler kiracıya aittir.
9. Adıma ilişkin hedefler:	- Halkla ilişkiler faaliyetleri - Finansman modelinin seçilmesi

edilebilir. Fizibilite analizi çerçevesinde gerçekleştirilen proje denetimi, proje finansmanının temelini teşkil etmektedir. Bir biyogaz projesine yönelik finansman olanakları yukarıdaki çizelgede kısaca sunulmuştur.

#### 11.4 Planlama adımları

Bir biyogaz tesisinin planlaması, ruhsatlandırma ve uygulaması farklı aşamalarından oluşmakta olup, bu aşamalar aşağıda izah edilmektedir. İnşaat ruhsatı için başvuruda bulunulmadan önce aşağıdaki kontrol listesinde kayıtlı bulunan adımlar çerçevesinde hazırlıklar yapılmalıdır.

**10. Adım: Ruhsatlandırma aşamasının hazırlıkları**

Ruhsatlandırma süreci veya inşaat projesi için önem arz eden kurum ve kuruluşlarla temasa geçilmesi	Onay makamı ile “yuvarlak masa toplantısı” şeklinde, proje planlayıcısının da katılacağı ve projenin kısaca tanıtılacağı bir ilk görüşmenin yapılması uygun olur. Bu görüşmede sadece ilgili resmi makamın yetkilileriyle kişisel iletişime geçilmekle kalınmayıp, inşaat projesine ilişkin çerçeve koşulları da ayrıntılı bir şekilde belirlenecektir. İnşaat projesi dış kısımda ayrıcalıkla konuma sahip olacak mıdır? Değişiklikler/talepler gerekli ve mümkün müdür? Ne tür yükümlülükler getirilmektedir? Hangi ek belgeler talep edilmektedir?
Elektrik tedarik şirketi ile temasa geçilmesi	İnşaat projesini tanıtmak amacıyla özel randevu belirlenmesi. Bu randevunun amacı ara yüzlerin belirlenmesidir. Üretilen elektriğin şebekeye dâhil edilebileceği en uygun nokta belirlenir, şebekede yapılacak değişikliklere/genişletmelere ilişkin hizmetin kapsamı ayrıntılı bir şekilde ifade edilmeli ve konuya ilişkin fiyat teklifi alınmalıdır. Alınan teklif mutlaka başka tedarikçilerin teklifleriyle kıyaslanmalıdır.
<b>10. Adıma ilişkin hedefler:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- İnşaat projesinin ilgili onay makamı ve elektrik tedarik şirketine tanıtılması</li> <li>- Onay makamı nezdindeki gerçekleştirilebilirliğe ilişkin tahminde bulunulması, dış kesim sorunsalının ve başka çerçeve koşullarının çözülmesi, yükümlülüklerin ve taleplerin ifade edilmesi ve belirlenmesi</li> <li>- Elektrik tedarik şirketinin hizmet kapsamının belirlenmesi ve tekliflerin alınması</li> <li>- Elektrik tedarik şirketlerinden alınan tekliflerin karşılaştırılması</li> </ul> <p>Onaylayıcı makamın olası yeni taleplerde bulunmasından ve elektrik tedarik şirketi teklifinin alınmasından sonra: → Oluşan masrafların hesaplanarak 8. Adımın tekrarlanması!</p>

**11.4.1 Ruhsatlandırma planlaması**

Ruhsatlandırma planlaması esas itibarıyla inşaat ruhsatının dilekçesinin hazırlanmasını ve icabında Federal Çevreye Zararlı Etkilere Karşı Koruma Yasası (BlmSchG) uyarınca alınması gereken izin için başvuruda bulunmayı kapsamakta olup, fizibilite analizine dayanan kararlardan beslenmektedir. İlk olarak ruhsatlandırma süreçleri tesis büyüklüğü ve yasal gruplandırmaya bağlı olarak sınıflandırılır (7.7 ile kıyaslayınız). Federal İmar Kanunu bütün ruhsatlandırma süreçlerinde geçerlidir (7.7.2.1 ile kıyaslayınız). Ancak inşaat ruhsat başvurularının nasıl yapılacağı hususuna her eyalette düzenleme getiren Eyalet İmar Yönetmelikleri uygulama için çok daha önemlidir. (Adım 11).

Ruhsatlandırma planlaması, tesis üreticisi veya görevlendirilen tesis planlayıcısı ve tarımsal danışman ile yakın işbirliği içerisinde gerçekleştirilmelidir. Gerekli evrak, ruhsata konu tesis ve onay makamına göre değişiklik olabilmektedir. Aşağıdaki listede eksiklikler olabilir. Bazı durumlarda başka belgeler de talep edilebilir. Ruhsatlandırma planlaması aşamasında yapılması gerekenler ve uyulması gereken yasal mevzuata ilişkin bilgiler aşağıdaki kontrol listesinde (12) sunulmuştur (7.7.2 ile kıyaslayınız).

**11. Adım: Ruhsatlandırma süreçlerinin İmar Hukuku/BlmSchG'ye göre sınıflandırılması**

İmar Hukukuna göre	BlmSchG'ye göre
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Biyogazın elektrik enerjisine dönüştürülmesine yönelik motorun ısı gücü 1 MW'den küçük</li> <li>- Biyogaz tesisinde kullanılan günlük sıvı çiftlik gübresi miktarının 10 tondan az olması ve/veya</li> <li>- Fermantasyon artığı deposu (Sıvı çiftlik gübresi deposu) hacmi 6.500 m<sup>3</sup>'den az</li> <li>- Biyogaz tesisinin BlmSchG kapsamına girmeyen bir çiftlik sınıfına dahil edilmesi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Biyogazın elektrik enerjisine dönüştürülmesine yönelik motorun ısı gücü 1 MW'ye eşit veya daha büyük</li> <li>- Biyogaz tesisinde kullanılan günlük sıvı çiftlik gübresi miktarının 10 tondan fazla olması ve/veya</li> <li>- Fermantasyon artığı deposu (Sıvı çiftlik gübresi deposu) hacmi 6.500 m<sup>3</sup> veya daha fazla</li> <li>- Biyogaz tesisinin BlmSchG kapsamına giren bir çiftlik sınıfına resmen dahil edilmesi</li> </ul>
<b>11. Adıma ilişkin hedefler:</b>	- Yetkili onay makamı nezdinde inşaat ruhsatı başvurusunda bulunulması

12. Adım: Ruhsatlandırma için gerekli belgelerin hazırlanması	
İnşaat ruhsatı-formları/ BİmSchG – ruhsatı formları	İnşaat ruhsatlandırma sürecinden, BİmSchG veya imar hukukuna ilişkin süreçlerden sorumlu makamlardan başvuru formlarının talep edilmesi. BİmSchG'ye ilişkin süreçte, bu çerçevede talep edilen belgeler inşaat ruhsatı başvuru formları içerisinde mevcuttur.
Nitelikli yerleşim planı	Bu plan ilgili tapu kadastro müdürlüğünden satın alınmalıdır.
Tapu sicili kaydı	Mülkiyet, nitelik, konuma ilişkin bilgiler.
Tesis ve işletmenin tanımlanması	Tesis verilerine ilişkin formlar, süreçler (malzeme bilgileri) ile tesis ve işletme tanımlaması Planlayıcı tarafından hazırlanır.
Emisyon/İmisyon	Emisyona sebep olan süreç/prosedürlerin gösterilmesi
Gürültü raporu (Gürültü Yönetmeliği) Koku raporu ve emisyon kaynakları planı (Hava Kirliliği Yönetm.)	Onay makamının, tesisin kurulacağı yerdeki özel şartlar nedeniyle bilirkişi raporu hazırlanması gerektiğine karar vermesi halinde, bu doğrultuda BİmSchG'nin 29. Maddesi uyarınca yetkili bir bilirkişi görevlendirilmelidir.
Atıkların değerlendirilmesi	Oluşan atıkların ve kullanılan tesis bileşenlerine ilişkin değerlendirme ve imha süreçlerinin gösterilmesi.
Suları kirleten maddeler	İşletmede bulunan ve kullanılan, suları kirletici maddelerin depolanması ve nakledilmesinin gösterilmesi.
Tesis güvenliği	Tesisin, yangın korunması hususları bakımından tanımlanması. Planlayıcı tarafından hazırlanan bir yangın koruma konseptinin sunulması. Gerekliğinde yangın koruma raporunun yetkili bir bilirkişi tarafından hazırlanması. Tesis güvenliği ile ilgili şartların sağlanması amacıyla alınacak tedbirlerin tanımlanması. Patlamaya karşı koruma planı içeren yerleşim planı.
Doğa ve çevreye müdahale	Projenin, planlamayla ilgili mevcut çerçeve koşullarına uygunluğu (örneğin arazi kullanım planı, imar planı) Doğa ve çevreye müdahale bakımından önem arz eden proje bileşenlerine yönelik dengeleyici veya telafi edici tedbirlerin gösterilmesi (örneğin imar edilen alan)
Hayvansal yan ürünlere ilişkin AB direktifine uygun ruhsat	Biyogaz tesisine, hayvansal yan ürünlere ilişkin AB direktifine (VO EG Nr. 1774/2002) uygun ruhsat başvurusu. Örneğin sıvı veya katı çiftlik gübresi, hayvan dışkı kullanıldığında.
Boş alanları da gösteren yerleşim planı	Federal Tarımsal İş Kazaları ve Meslek Hastalıkları Kooperatifinin tarımsal biyogaz tesislerine yönelik güvenlik normlarına göre hazırlanmalıdır. [11-6]
Biyogaz tesisine ve bacaya ilişkin statik veriler	Büyük bileşenlerin statik verileri tesis üreticisi/ bileşen üreticisi tarafından hazırlanır ve teslim edilir. Bacaya ilişkin statik veriler ve baca yüksekliğinin hesaplanmasına ilişkin bilirkişi raporu bir muayene mühendisi tarafından hazırlanır ve teslim edilir.
Oturma planı	Planlayıcı tarafından hazırlanır.
Detay projeleri	Planlayıcı tarafından hazırlanır. - Eğim, akış yönü, boyutlama ve malzeme özellikleri ihtiva eden borulama planları (materyal / gaz / ısıtıcılar). - Patlamaya karşı koruma bölgelerinin dikkate alınması (patlamaya karşı koruma planı) - Sıvı çiftlik gübresi, silaj ve diğer dökülebilir materyallere yönelik aktarma yerlerinin türü ve uygulaması. - Gerekli donanımın birlikte makine dairesi. - Isı üreticisi ve tüketici bağlantılarının bulunduğu ısıtma hatları planları. - İşletme birimlerini içeren temel akış şeması. - BHKW'nin işletmeye dahil edilmesine yönelik elektrik akış diyagramı. - Gaz deposu, gaz güvenlik hattı - Materyal depoları
Üretim sürecinde yer alan bileşenlere ilişkin akış şeması	Planlayıcı tarafından DIN EN ISO 10628 uyarınca, işletme birimlerini içeren temel akış şemasının hazırlanması.
Fermantasyon artıklarının değerlendirilmesi	Çiftlik gübresinin (fermantasyon artığı) tarımsal bakımdan değerlendirilmesine yönelik alan özelliklerinin gösterilmesi.
Tesisin sökülmesi ve bertaraf edilmesine ilişkin taahhütname	Başvuru sahibinin, müsaade edilen kullanım şekline daimi olarak vazgeçilmesinden sonra tesisin sökülmesi ve bertaraf edilmesine ve toprağın rehabilitasyonuna ilişkin taahhütte bulunması
<b>12. Adıma ilişkin hedefler:</b>	- Yetkili onay makamına inşaat ruhsatı başvurusunda bulunulması.



İnşaat ruhsatı başvurusunda bulunulabilmesi için ayrıca yasal mevzuatla getirilen birtakım koşullar yerine getirilmelidir. Bu koşullar aşağıda görülmektedir (Bölüm 7.8.2 ile de karşılaştırınız.).

Uyulması gereken en önemli yasal mevzuata dikkat çekilmek istenen bu listede eksiklikler olabilir.

- Biyokütle Yönetmeliği (BiomasseV)
- Dış kaynaklı kirliliğin önlenmesine ilişkin mevzuat
  - Hava Kirliliği Yönetmeliği (TA- Luft) ve Gürültü Yönetmeliği (TALärm) ile BImSchG
  - Çevresel Etki Değerlendirilmesi Yasası (UVPG)
- Atık yönetimine ilişkin mevzuat
  - Eyalet Atık Yasası
  - Organik Atıklar Yönetmeliği (BioabfallV)
  - 1774 sayılı AB direktifi
- Gübre hukukuna ilişkin mevzuat
  - Gübre Kanunu
  - Gübre Yönetmeliği
  - Gübre Uygulamaları Yönetmeliği
- Su yönetimine ilişkin mevzuat
  - Biyolojik Su Dengesine İlişkin Kanun
  - Eyalet Su Kanunları
- Doğayı koruma mevzuatı
- "Biyogaz tesislerine yönelik güvenlik kurallarında" yer alan hükümler
- İş güvenliği alanına ilişkin hükümler.

#### 11.4.2 Uygulama planlaması

Uygulama planlaması aşamasında, tasarım ve ruhsatlandırma aşamalarından alınan tesis bileşenleri, ihale belgelerinin hazırlanmasına temel oluşturacak kadar somutlaştırılmaktadır. Proje sahibi bu aşamada, toplam tesisin kurulmasıyla ilgili olarak genel bir müteahhidin mi görevlendirileceği yoksa tesis bileşenlerinin münferiden mi ihaleye çıkarılacağı hususunda karar vermiş olmalıdır. Münferit tesis bileşenlerinin ihaleye çıkarılması halinde, teslimat ve hizmet kapsamı ayrıntılı bir şekilde belirlenmelidir. Özellikle de tesis teknolojisi (örneğin mahfaza yapımı, gaz deposu, enerji santrali) içerisindeki arayüz geçişlerine ve iletim teknolojisine (örneğin boru hatları, elektroteknik ve ölçme-kontrol-tanzim tekniği) dikkat edilmelidir. Uygulama planlaması aşaması ile ruhsatlandırma için gerekli evrakın hazırlanmasına paralel olarak başlanabilir. Ruhsatın verilmesiyle birlikte birtakım resmi yükümlülüklerin de yerine getirilmesinin istenmesi halinde, bunlar ihale evrakının tamamlanması sürecinde dikkate alınmalıdır. İcabında anlaşmaya varılması öngörülen tesis üreticisi veya tedarikçisi ile, tesise ilişkin olarak talep edilen bilgilerin ruhsatlandırma evrakına işlenmesini sağlamak amacıyla, mühendislik sözleşmesi imzalanmalıdır. Özet olarak uygulama planlamasında inşaat sahibi tarafından istenen uygulama direktiflerini, kalite standartlarını, öngörülen esas ve normları ve tercih edilen ürünleri belirleyen ihale evrakı bir araya getirilmelidir. Aşağıdaki kontrol listesinde uygulama planlamasının işlem aşamaları listelenmiştir.

Bütün tesis bileşenlerine ilişkin ihale açılmasından ve sonuçlandırılmasından sonra uygulama planlaması tamamlanmış olur.



13. Adım: Uygulama planlaması	
Öz kabiliyetlerin kontrol edilmesi	Proje sahibi hangi hizmetleri yüksek kaliteli bir şekilde yerine getirebilir? Hangi şahsi katkı, kalite kaybına yol açmayan iyi bir maliyet-fayda oranı sağlar?
Mevcut sürenin kontrol edilmesi	İnşaata ne zaman başlanması öngörülmektedir? İnşaat akış planı uyarınca şantiyeye ayıracağım zaman, işletmemdeki durumla bağdaştırılabilir mi? Hangi yardımcıları organize edebilirim? Hangi zaman aralığı için kime ihtiyacım var?
Şahsi katkıların planlayıcı ile koordine edilmesi	Münferit kurulan bileşenlerin daha sıkı kontrol edilmesi gerektiğinden dolayı planlayıcının kontrol yükü normalde daha ağır olur. Aynı şekilde inşaat akış planı da, münferiden kurulan bileşenler için daha fazla zaman harcanacak olmasından dolayı uyarlanmalıdır.
Tesis bileşenleri arasındaki arayüzlerin belirlenmesi	Her tesis bileşeni ile öncesindeki, sonrasındaki veya paralelindeki tesis bileşeni arasında doğrudan veya dolaylı arayüzler bulunmaktadır (örneğin kurutma zamanları, iş güvenliği, giriş yasağı, tesis bileşeni ön çalışmaları). Münferiden kurulan bileşenler ile müteahhit tarafından kurulan bileşenlerin amaçlarının incelenmesi son derece önemlidir. Müteahhit hizmetlerinin süre veya yapı bakımından engellenmesi bekleme sürelerine, ek masraflara ve garanti sorunlarına yol açar.
Tesis teknolojisi	Tesis, inşaat, elektronik ve süreç kontrol teknolojisinin ayrıntılı sunumu. Gerektiğinde tesisteki belirli süreçlere ilişkin bütün önemli bileşen ve parametrelerin özetlenmesi.
Arayüzler	Komşu bileşenlere veya mevcut tesis bileşenlerine yönelik arayüz geçişlerinin tanımlanması.
Statik hesaplamalar	Denetlenebilir statik hesaplamalarının temin edilmesi.
Rota klavuzları	Sistem parametrelerinin saptanması, kurulum şeklinin saptanması, Nihai rota planının hazırlanması.
Yasal hususlar	Resmi makamlar nezdindeki ruhsatlandırma sürecinin izlenmesi İhale evrakının hazırlanması ve düzenlenmesi Sözleşme akdinin hazırlanması
<b>13. Adıma ilişkin hedefler:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Şahsi katkılara yönelik kabiliyetlerin kontrol edilmesi</li> <li>- Mevcut sürenin kontrol edilmesi</li> <li>- Şahsi katkıların planlayıcı ile koordine edilmesi ve inşaat akış planına yerleştirilmesi</li> <li>- Dolaylı veya doğrudan bağlantılı olan tesis bileşenleriyle olan arayüzlerin tanımlanması</li> <li>- Tesis bileşenlerinin teslimatı, kurulması ve icabında çalıştırılmasına ilişkin münferit ihaleler inşaat sahibi tarafından, planlayıcıyla yakın eşgüdüm içerisinde aşağıdaki hususlara dikkat edilerek yapılır: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bütçe, finanse edilebilirlik, inşaat süresi</li> <li>- Tesis bileşenleri arasındaki arayüzlerin uyumu</li> <li>- Farklı tesis bileşenleri arasındaki geçişlerde garanti şartlarının devamı</li> <li>- İlgili tedarikçiye karşı garanti haklarının bütünüyle devam etmesi</li> </ul> </li> </ul>

## 11.5 İnşaat planlaması ve tesis inşası

14. Adım: İnşaat planlaması ve tesis inşası	
İnşaat akış planının hazırlanması	Planlayıcı tarafından hazırlanan bu plan, başka tesis bileşenlerinin engellenmemesi için hangi bileşenin ne zaman kurulması gerektiğini gösterir. Münferit faaliyet aşamalarının birbirleriyle olan bağları ve birbirlerine geçişleri görülebilir hale gelir (örneğin hazırlık, uygulama ve kurutma zamanları) ve darboğazlar tanımlanabilir. Akış planında, çalışmama süreleri (olası tatil günleri) ve özellikle şahsi katkı dönemleri dikkate alınmalıdır.
Şantiyenin organizasyonu ve güvenliği	Şantiyenin ölçülmesinin ve güvenlik tedbirlerinin (inşaat çiti ve levhası) alınması. İnşaat malzemeleri için kilitlenebilir depo ve şantiye tuvaleti hazırlanması. Her iki hususa ilişkin sorumluluk, uygulayıcı şirkete devredilebilir. İnşaat sahibinin mali mesuliyet sigortası ve inşaat sigortası yaptırması uygun olur. İnşaat sigortasının masrafları uygulayıcı şirkete devredilebilir. Kaba inşaat sigortasının yapılması. Uygulayıcı şirket su ve elektriğe serbestçe erişebilmelidir. Şantiyenin belirli sınırları aşması halinde, Şantiye Yönetmeliğinde belirtilen iş sağlığı ve güvenliği koordinasyonu yetkisi ücret karşılığında şantiye şefine devredilebilir.
Kalite standartlarının, sözleşmenin hizmet kapsamında belirlenmesi ve kontrol edilmesi.	Kalite kontrolü, bağlayıcı kalite standartlarının belirlenmesiyle başlar. Hizmet kapsamında kesin malzeme standartlarının belirlenmiş olması halinde bunlar kontrol edilmelidir.
Şahsen şantiyede bulunulması	Siz ve planlayıcı, işçilerin şantiyede olduğu zamanlarda şantiyeyi her gün ziyaret etmelisiniz. Böylece size ve planlayıcıya her zaman ulaşılabilir. Ayrıca haftalık olarak işçilerle birlikte kurulmakta olan bileşenlere ilişkin danışma toplantıları düzenlenmeli ve tutanağa geçirilmelidir. Siz ve planlayıcı gözlemlerinizi ayrıntılı olarak bir günlüğe not etmelisiniz. Tutulması gereken notlar arasında, inşaatla kaydedilen gelişmeler ve ortaya çıkan belirsizlikler ve eksiklikler bulunmaktadır. Bu günlükte, vergi dairesine yönelik yan giderler de belgelenebilir!
İnşaat günlüğünün tutulması	
Fotoğraf dokümantasyonun hazırlanması	İnşaatla kaydedilen gelişmelerin, kullanılan malzemelerin, tesisatların vs. fotoğrafları çekilmelidir.
İnşaatteki kusurların ikaz edilmesi ve zamanında giderilmesinin sağlanması.	İnşaatla tespit edilen kusurlar, derhal giderilmemeleri halinde vakit kaybetmeden yazılı olarak ikaz edilmelidir. Hukuki konumunuzu sadece bu şekilde muhafaza edebilir ve kusurların tanıyan süre içerisinde giderilememesi halinde, kusurun inşaat işçisi tarafından giderileceğini belirtebilirsiniz. Bu durumda söz konusu kusuru, masrafları müteahhit tarafından karşılamak üzere üçüncü bir kişiye tamir ettirebilirsiniz. Uzmanlarca derhal giderilen inşaat kusurları daha sonra fazla soruna yol açmaz. İnşaat kusurlarının saksaklanması ve daha sonra giderilmesi halinde, inşaat akış planında çoğu zaman kaos yaşanır. Bu da sınırlarınızın yıpranmasına, zaman ve para kaybetmenize yol açar.
<b>14. Adıma ilişkin hedefler:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ayrıntılı planlama</li> <li>- Kapsamlı inşaat akış planı</li> <li>- Şantiye organizasyonu ve güvenliği</li> <li>- Hizmet kapsamı ve malzeme seçiminin kontrol edilmesi</li> <li>- Şantiyenin mümkün mertebe her gün ziyaret edilmesi</li> <li>- İnşaat günlüğünün tutulması ve fotoğraf dokümantasyonun hazırlanması.</li> <li>- İnşaat kusurlarının zamanında ikaz edilmesi ve giderilmesinin sağlanması.</li> </ul>



## 11.6 İnşaat hizmetlerinin teslim alınması

15. Adım: İnşaat hizmetlerinin teslim alınması	
Teslim alma	Faaliyete geçirilmeleri ile birlikte müteakip bileşenler için temel teşkil etmeseler bile, bileşen ve kısmi bileşenlerin usule uygun bir şekilde teslim alınmasından hiçbir zaman vazgeçmemelisiniz. Teslim protokolü bulunmaması halinde, tespit edilen kusurların giderilmesi zorlaşır. Teslim protokolü kusurların ve kusurlara sebep olanların belgelenmesine hizmet eder. Teslim sürecinde her zaman uzmanların desteğine başvurulmalıdır (örneğin planlayıcı, bilirkişi). Önemli kusurların tespit edilmesi halinde inşaatın teslim alınması ve dolayısıyla son ödeme reddedilebilir. Önemsiz kusurların tespit edilmesi halinde inşaat yine de teslim alınmalıdır. Ancak son ödemede, kusurun giderilmesi için gerekli olabilecek meblağın üç katı ödenmeyebilir. Anahtar teslim bir biyogaz tesisi teslim sürecinin başarılı bir şekilde tamamlanmasından sonra tesis alıcısının mülkiyetine ve böylece sorumluluğuna geçer (“tehlikenin devri”) Biyogaz tesisinin kısmi bileşenlerinin ihaleye çıkarılması suretiyle kurulması halinde, toplam tesisin teslimi söz konusu olamaz. Sadece ilgili bileşenlerin “kısmi teslimi” söz konusu olur. Bu durumdaki tehlike devrinin ne şekilde düzenleneceği hususu henüz açıklığa kavuşmamıştır.
15. Adıma ilişkin hedefler:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tesis bileşenlerinin veya biyogaz tesisinin tesisi planlayanın huzurunda teslim alınması</li> <li>- Üçüncü uzman kişilerden destek alınması</li> <li>- Usulüne uygun yazılı teslim protokolünün hazırlanması (örneğin VOB-örneği)</li> </ul>

## 11.7 Tesisin çalıştırılması

16. Adım: Tesisin çalıştırılması	
Tesisin çalıştırılması	Tesisin çalıştırılması aşaması bütün önemli tesis bileşenlerinin (cihaz, bileşen) işlerliğinin kontrol edilmesine hizmet etmektedir. Mümkün olması halinde, kontrol ünitesinin bütün kontrol ve alarm sinyalleri de kontrol edilir. Biyogaz tesisi, fermentörün sızdırmazlık testi çerçevesinde “soğuk” çalışma diye tabir edilen teknik çalışma amaçlı su kullanılarak gerçekleştirilebilir. Bu çerçevede kısmen de olsa sensörler, örneğin doluluk oranı sensörleri, teknik uygunluklarına ilişkin olarak kontrol edilebilir. Başka ölçme ve düzenleme tertibatları tesis çalışır haldeyken kontrol edilebilir (aşırı yüksek basınç, aşırı düşük basınç, fermentör emniyet tertibatı). Ayrıca münferit tesis bileşenleri teslim alınabilir. Örneğin BHKW'nin ateşleme yakıtı (örneğin bitkisel yağ, kolza metil esteri) veya doğal gaz kullanılarak çalıştırılması veya pompa veya vanaların çalıştırılması. “Sıcak” veya biyolojik çalışma ise fermentörün doldurulması ve ısıtılması ile gerçekleştirilmekte olup, deneme çalıştırmasına “hareketli geçiş” olarak kabul edilmelidir.
Deneme çalıştırması	Deneme çalıştırması “performans çalışması” olarak değerlendirilmekte olup biyogaz tesisinin sahibi ve işletmecisinin, bütün tesis bileşenlerinin hizmet kapsamında ifade edilen performansı belirlenen bir süre boyunca hata vermeden sergileyebilmelerinden emin olmalarına hizmet etmektedir. Belirlenen süre, tesis üreticisiyle imzalanan sözleşmenin bir parçasıdır. Aylarca süren bir deneme çalışmasının yol açacağı masrafların nispi olarak yatırım miktarına ve böylece tesis alıcısının masraflarına da eklenebileceği dikkate alınmalıdır. Yani istikrarlı bir mikroorganizma popülasyonunun ve böylece istikrarlı bir biyogaz üretim sürecinin hangi sürede gerçekleşeceği tahmin edilmelidir. Tesisin performansı ancak o zaman test edilebilir. Bu süre önemli oranda kullanılan materyal karışımına bağlı olup, aynı kalan ve fazla değişkenlik göstermeyen karışımlarda, değişken materyaller kullanılan bir karışıma kıyasla çok daha hızlı gerçekleşecektir. Yani deneme çalışmasının gereksiz yere uzatılmaması ve masrafa yol açmaması, aynı zamanda da tesisin işlerliği ve performansı bakımından güvenilir bilgi vermesi için maliyet-fayda analizi her zaman yapılmalıdır. Biyogaz tesisinin nihai teslimi ve müteahhitten işletmeciye tehlike devri, deneme çalışmasının başarıyla sonuçlanmasından sonra gerçekleşir. Yani proje sahibi bu noktadan sonra bütün tesisin işletilmesini kendi sorumluluğu dahilinde bütün riskleriyle birlikte devralır.
Bakım ve onarım	Tesis bileşenlerine (örneğin BHKW) yönelik bakım ve onarım sözleşmelerinin imzalanması.
16. Adıma ilişkin hedefler:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Biyogaz tesisinin çalıştırılması</li> <li>- Biyogaz tesisinin uzman desteği (örneğin planlayıcı) alınarak deneme amaçlı çalıştırılması; deneme süreci uzunluğu duruma göre belirlenebilir.</li> <li>- Bakım ve onarım sözleşmelerinin imzalanması</li> </ul>

## 11.8 Gerekli sözleşmeler

Bir biyogaz projesinin uygulamaya konulması sürecinde çok sayıda proje katılımcısı olacaktır. Proje katılımcıları arasındaki ilişki sözleşmeler vasıtasıyla düzenlenir.

Aşağıdaki listede önemli sözleşme türleri sıralanmıştır [11-4].

- Şirket sözleşmesi
- Kira, kiralama ve arsa alım sözleşmesi
- Acentelik sözleşmesi
- Danışman sözleşmesi
- Mühendislik sözleşmesi
- İnşaat sözleşmesi veya genel yüklenici sözleşmesi
- Teknik tedarik sözleşmesi
- Bakım ve onarım sözleşmesi
- Biyokütle veya materyal tedarik sözleşmesi
- Fermantasyon artığının çiftlik gübresi olarak geri alınacağına dair sözleşme
- Isı tedarik sözleşmesi ve
- Elektrik satış sözleşmesi.

Projenin uygulamaya konulması sürecinde gerçekleştirilen uzmanlık çalışmalarına koşut olarak, daha sonraki tesis faaliyetine yönelik olarak proje yapısı da geliştirilmeli ve ayrıntılı olarak biçimlendirilmelidir. Bilhassa biyogaz tesisinin operatörü ve biyokütle ve materyal tedarikçisi arasındaki hak ve yükümlülükler, farklı tüzel kişilikler söz konusu ise yazıya dökülmelidir. Biyokütle tedarik sözleşmesinin başlıca içerikleri bu amaçla aşağıda gösterilmiştir. Isı tedarik sözleşmesinin tasviri ise bölüm 7.6.3'de görülebilir. Bu sözleşmelere ilişkin ayrıntıların şekillendirilmesi için her durumda bir hukukçudan yardım alınmalıdır.

### 11.8.1 Biyokütle tedarik sözleşmesi

Biyokütle tedarik sözleşmesi biyogaz tesisi operatörü ile biyokütle (örneğin sıvı çiftlik gübresi, silaj, yenilebilir kaynaklar) tedarikçisi arasındaki ilişkiyi düzenler ve özellikle teslim miktarı, kalite, sözleşme süresi, fiyat ve sözleşme taraflarının hak ve yükümlülükleri hakkındaki hükümleri içerir.

Tablo 11.1: Biyokütle tedarik sözleşmesinin hususları [11-2]

Biyokütle tedarik sözleşmesinin hususları	
Teslimat yükümlülükleri	Biyokütlenin veya materyalin türü ve şekli ayrı ayrı belirtilmeli ve asgari kalite standartları örneğin KM-oranı) belirlenmelidir. Asgari teslimat miktarları (örneğin yıllık miktar), zamansal dağılım (örneğin haftalık ve aylık planlar) teslimat yükümlülüklerinin yerine getirilmediği takdirde doğacak hukuki sonuçlar belirlenmelidir. Teslimat yükümlülüğü, kendisiyle ilişkilendirilen bir ürün yetiştirme yükümlülüğü ile güvence altına alınabilir.
Alım yükümlülüğü	Tesis operatörü, asgari miktarda alım yapacağını taahhüt eder. Tesis operatörüne, tedarikçinin yükümlülüklerini yerine getirmemesi halinde üçüncü şahıslardan biyokütle tedarik etme hakkı tanınmalıdır.
Fermantasyon artıklarının geri alınması	Materyal tedarikçisi genel olarak, fermantasyon artıklarını geri almakla yükümlü ve geri alma hakkına sahip olmalıdır. Tedarikçi, fermantasyon artıklarının usulüne uygun olarak kullanılmasını sağlamalıdır.
Ücret düzenlemesi	Ücret düzenlemesi, biyogaz tesisine teslim edilen biyokütlenin fiyatını (örneğin ton/avro) belirler. Ayrıca fatura, ödeme tarihleri ve geciken ödemelerin sonuçları belirlenmelidir.
Sözleşme süresi	En az 5 yıl olmak üzere, mümkün mertebe uzun süreli ve uzatma opsiyonlu bir sözleşmenin yapılması avantajlıdır. Böyle bir sözleşme, her iki sözleşme tarafının da hesaplanan riskleri değerlendirebilmesini mümkün kılar.
Kaynak belgesi/ Giriş kontrolleri	Projeye özgün materyal çeşitleri ve bunların ruhsatlandırılmasına ilişkin yükümlülükler uyarınca, biyokütlelerin kaynağına ilişkin belgeler hususunda tedarikçi ile anlaşmaya varılmalıdır. Teslimat miktarının ve talep edilen kalite standartlarının tespitine yönelik giriş kontrolüne ilişkin hükümler sözleşmede yer almalıdır.
Diğer ticari şartlar	- Sözleşme fesih süreleri, bildirimsiz fesih şartları - Tehlike devri ve mesuliyet - Mücbir sebeplerden kaynaklanan hasar ve arıza masrafların üstlenilmesi - Yasal etkisizlik halinde düzenleme (örneğin bölünebilirlik maddesi) - Yetkili mahkeme veya hakem kurulu anlaşması

## 11.9 Kaynakça

- [11-1] Görisch, U., Helm M. : Biogasanlagen; Ulmer Verlag, 2006
- [11-2] FNR (Hrsg.): Leitfaden Bioenergie - Planung, Betrieb und Wirtschaftlichkeit von Bioenergieanlagen, 2009
- [11-3] Müller-Langer, F.: Erdgassubstitute aus Biomasse für die mobile Anwendung im zukünftigen Energiesystem, FNR, 2009
- [11-4] BMU: Nutzung von Biomasse in Kommunen - Ein Leitfaden, 2003
- [11-5] AGFW Arbeitsgemeinschaft Fernwärme e.V. bei der Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke e.V. (Hrsg.): Wärmemessung und Wärmeabrechnung. VWEW- Verlag, Frankfurt a. Main 1991
- [11-6] Technische Information 4, Sicherheitsregeln für Biogasanlagen; Bundesverband der landw. Berufsgenossenschaften e.V.; Kassel 2008
- BImSchG: Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz - BImSchG)
- BioabfallV: Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden (Bioabfallverordnung - BioAbfV)
- BiomasseV: Verordnung über die Erzeugung von Strom aus Biomasse (Biomasseverordnung - BiomasseV)
- DIN EN ISO 10628: Fließschemata für verfahrenstechnische Anlagen - Allgemeine Regeln (ISO 10628:1997); Deutsche Fassung EN ISO 10628:2000
- Düngegesetz (DünG): Düngegesetz
- Düngemittelverordnung: Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln (Düngemittelverordnung - DüMV)
- Düngeverordnung: Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung - DüV)
- EU-Richtlinie 1774: Leitlinien zur Anwendung der neuen Verordnung (EG) Nr. 1774/2002 über tierische Nebenprodukte
- Landesabfallgesetz: Landesrechtliche Regelung der Bundesländer zur Erfassung und Verwertung organischer Abfälle
- Landeswassergesetz: Landesrechtliche Regelungen der Bundesländer zum Wassergesetz – Landeswassergesetz – LWG
- TA Lärm: Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm (Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz)
- TA Luft: Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft (Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz)
- UVPG: Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung
- VOB: Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen
- VO EG Nr. 1774/2002: Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates vom 3. Oktober 2002 mit Hygienevorschriften für nicht für den menschlichen Verzehr bestimmte tierische Nebenprodukte
- Wasserhaushaltsgesetz: Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz– WHG)

# Yenilenebilir enerji

## kaynağı olarak

### Almanya'da biyogazın

## konumu ve önemi

# 12

Almanya'da enerji ve çevre politikaları konusunda yapılan tartışmalar, otuz yıldan daha uzun bir süredir ağırlıklı olarak enerjiden kaynaklanan çevre etkileri üzerinde yoğunlaşmaktadır. Almanya'da yenilenebilir enerjilerin desteklenmesi yolundaki güçlü çabalar, iklime zarar veren gazların salınımında belirgin bir azalma sağlanmasına neden olmuştur. Biyogazın özellikle elektrik üretimi için hazırlanması ve kullanılması buna büyük katkı sağlamıştır.

EEG'nin 2000 yılında yürürlüğe girmesiyle birlikte biyogazın özellikle tarım sektöründe üretilmesi ve kullanılmasında büyük artış kaydedilmiştir. Bu gelişme geçmişte hem federal hükümetin Piyasa Teşvik Programı (MAP), hem de eyaletlerin yatırım teşvik programları tarafından desteklenmiştir. Biyogaz tesislerinin kuruluşlarının hızlanmasında, EEG'de 2004 yılında yapılan değişiklik özel bir rol oynamıştır. O dönemden bu yana biyogaz üretimi için yenilenebilir hammaddelerin kullanılması ekonomik açıdan ilgi çekici olmuş, bu da günümüzde biyogaz üretimi ve faydalanımı için hatırı sayılır bir potansiyelin ortaya çıkmasını sağlamıştır. Yine de biyogaz üretiminde kullanılacak maddeler eskiden olduğu gibi şimdi de mevcuttur. Dolayısıyla bugün biyogaz üretiminin ve faydalanımının aynı hızla sürdürüleceğinin beklendiği çerçeve koşullarına sahip durumdayız.

### 12.1 Biyokütleden enerji kazanımı seçeneği olarak biyogaz üretimi

Biyokütle tabirinden enerji üretiminde kullanılacak organik kökenli maddeler anlaşılmaktadır. Biyokütle kavramı doğada yaşayan fitokütle ve zookütle (bitkiler ve hayvanlar) ile bunlardan kaynaklanan atık maddeleri (örneğin dışkılar) içermektedir. Organik atıklar ve artık maddeler (örneğin saman, mez-baha artıkları) de biyokütleyle dahil edilmektedir.

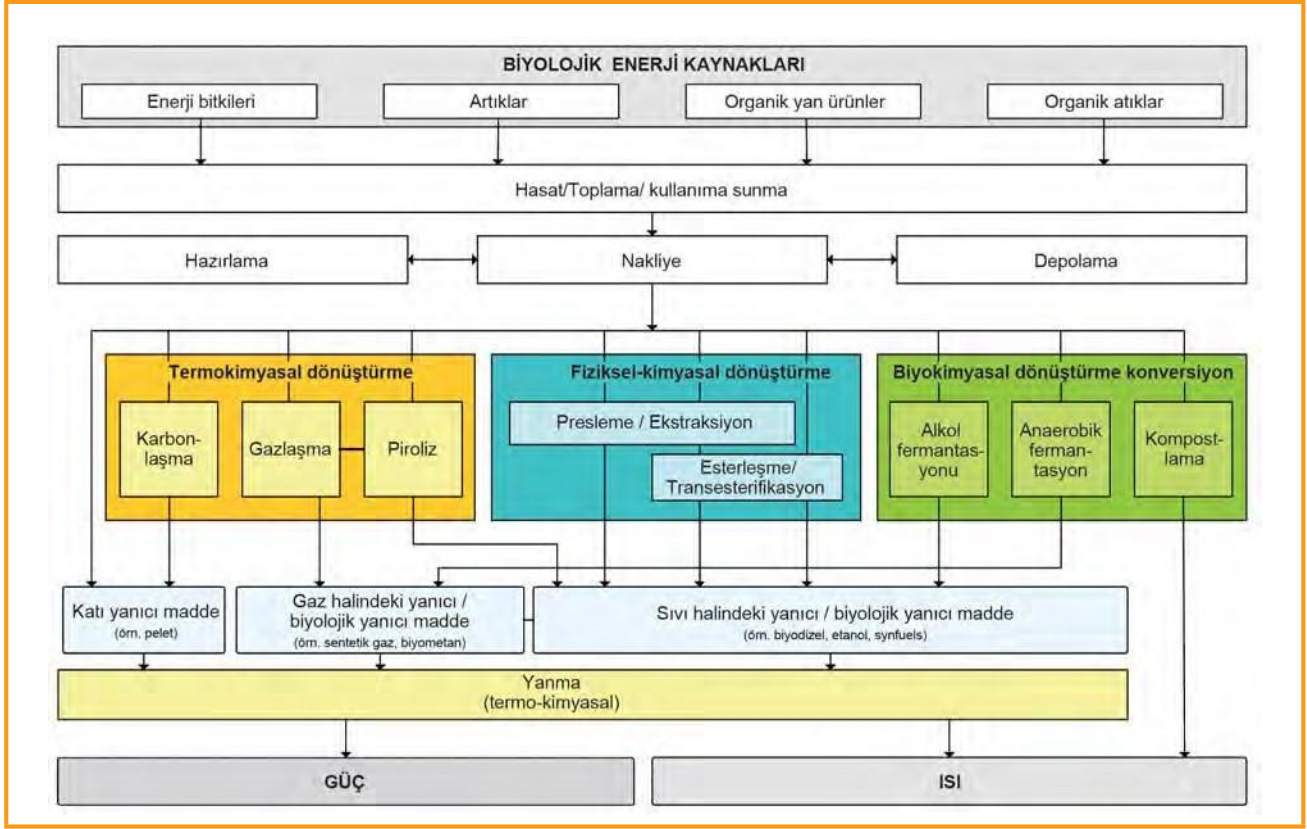
Biyokütle genel olarak enerji bitkilerine, hasat artıklarına, organik yan ürünlere ve atıklara ayrılmaktadır. Diğer ayrıntılar Bölüm 4 "Seçilmiş materyallerin tanımı" içinde bulunmaktadır. Bu materyaller her şeyden önce enerji üretimi amaçlı kullanılabilir hale getirilmelidir. Bunun için genellikle bir nakliyat işlemi gereklidir. Pek çok durumda enerji üretimi amaçlı olarak kullanılmasından önce biyokütlenin mekanik olarak hazırlanması gerekir. Biyokütle varlığı ile enerji talebini dengeleyebilmek için sıklıkla bir depolama işlemi de gerçekleştirilmektedir (Şekil 12.1).

Bunun ardından biyokütleden ısı, elektrik ve/veya yakıt hazırlanabilir. Bunları üretmekte kullanılacak çeşitli teknolojiler mevcuttur. Hepsinden önce ısı ve elektriğin bir arada üretilebileceği uygun tesislerde doğrudan yakma söz konusudur. Bu arada sadece katı biyoenerji kaynaklarından ısı üretimi, biyokütleden nihai enerji ve kullanım enerjisi hazırlanmasının "klasik" uygulama örneğidir.

Bunun yanı sıra, biyokütleyi nihai veya kullanım enerjisi talebini karşılayacak hale getirmekte kullanılan bir dizi başka teknik ve yöntem de bulunmaktadır. Burada termik, fiziksel ve biyokimyasal işleme yöntemlerinden söz edilmektedir. Ancak biyogaz üretimi ( materyallerin anaerob bozunma ile biyogaza dönüşmesi) ve faydalanımı, biyokimyasal işleme yöntemleri arasında yer almaktadır.

### 12.2 Biyogaz kazanımı ve faydalanımının ekolojik açıdan sınıflandırılması ve sürdürülebilirliği

Biyogaz kazanımı ve faydalanımının ekolojik tasnifi bakımından halen çok sayıda araştırma ve değerlendirme çalışması sürdürülmekte olup, bazılarının sonuçları ortaya çıkmıştır. Esas olarak sürdürülebilirlik öncelikle üretilen biyogazın kullanım etkinliği, tesisin



Şekil 12.1: Biyokütlenin nihai enerji / kullanım enerjisi için hazırlanmasında faydalanım imkânları

kalitesi (etkinlik ve emisyon), materyal seçimine bağlıdır.

Materyal kullanımı bakımından herhangi bir külfet gerektirmeyen hammaddeler, genellikle ekolojik açıdan avantajlı olarak görülmektedir. Bu nedenle bu materyallerin biyogaz üretimi için kullanımlarının desteklenmesi gerekir. Örneğin biyogaz prosesinde sıvı gübre kullanılmasıyla sadece eldeki materyal miktarları anlamlı olarak değerlendirilmekle kalmaz; bu sayede geleneksel sıvı gübre depolanmasından kaynaklanan emisyonların da önüne geçilmiş olunur. Bundan ötürü özellikle artık ve atık maddelerin karışımları (örneğin dışkılar, gıda sanayi atıkları) yenilenebilir hammaddelere tercih edilmelidir. Ancak artıklar ve atıklar, yenilenebilir hammaddelerin fermentasyonu için ekolojik anlamda son derece avantajlı bir tamamlayıcı olabilir.

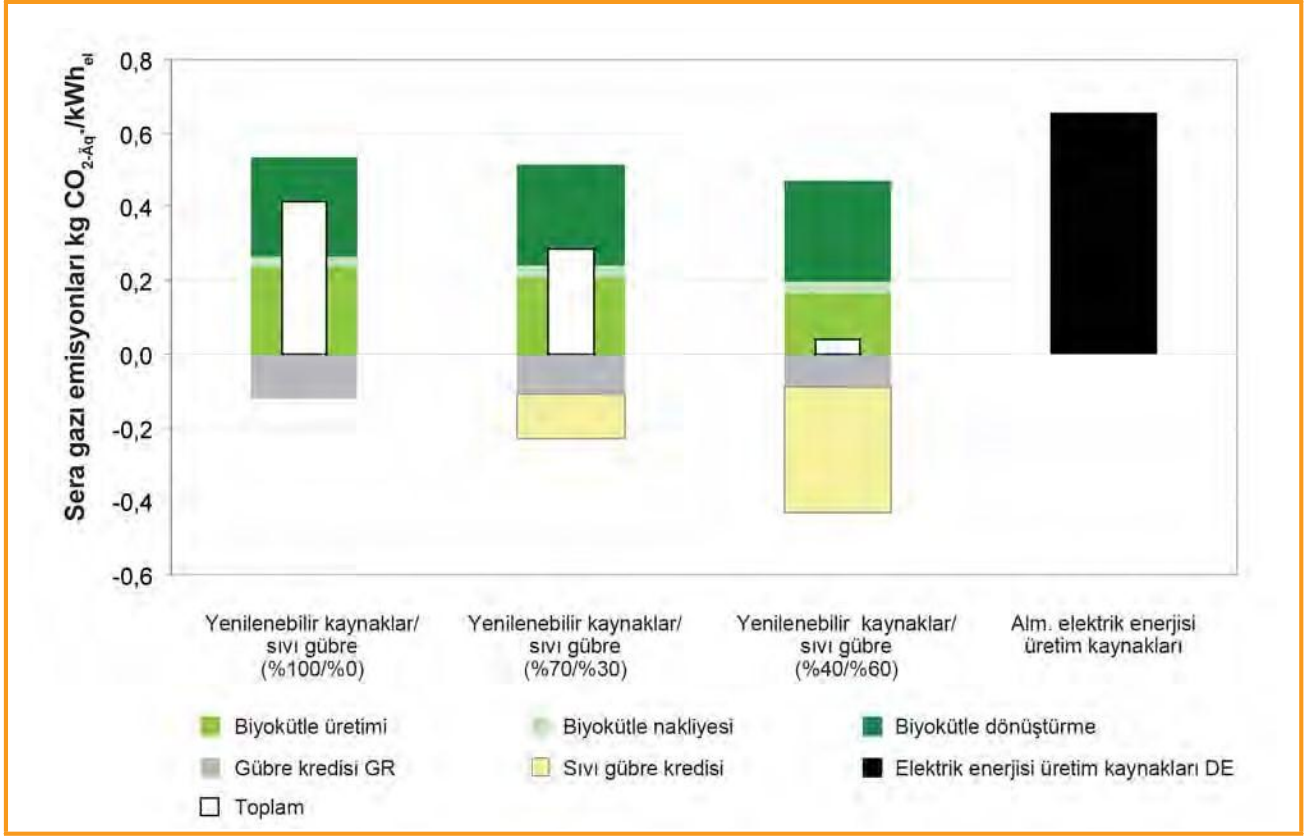
Kullanılacak tesis tekniği bakımından emisyonların azalmasına ve biyokütlenin yüksek bir fermentasyon derecesine ulaşılmasına büyük önem verilmelidir. Bu bir yandan yatırım esnasında alınacak inşaat tedbirleriyle mümkündür, öte yandan da bu noktada biyogaz tesisinin işletme tarzına işaret edilmelidir. Açıklamalar ve detaylı değerlendirmeler özellikle “Almanya’da Biyogaz Üretimi ve Faydalanımının Sür-

dürülebilir İnşası İçin Optimizasyonlar” projesinin raporlarında bulunmaktadır.

Biyogaz kullanımı bakımından, biyogaz içindeki enerjiyi mümkün olduğu kadar fazla miktarda değerlendiren ve örneğin kömür ve petrol gibi yüksek CO<sub>2</sub> eşdeğeri gaz emisyonlarına neden olan enerji kaynaklarının yerine geçen konseptler son derece faydalıdır. Bundan ötürü, en geniş ölçüde tümüyle ısıdan faydalanan ve elektrik ile ısı enerjilerinin birlikte üretilmesini öngören konseptler, diğer faydalanım seçeneklerine göre avantajlı konumdadır. Isı faydalanımı da bu arada ısı üretiminde kullanılan mümkün olduğu kadar yüksek fosil enerji kaynağının yerine geçmelidir. Özellikle biyogaz tesisinin uygun olmayan konumu nedeniyle bunun mümkün olmadığı nispeten büyük tesislerde, biyogazın doğalgaz kalitesine yükseltilmesi için bütün yıl boyunca ısıya ihtiyaç duyan bir bölgeye aktarılması ve dönüşümün burada gerçekleştirilmesi, çevresel etkilerin iyileştirme imkânlarına bir örnek teşkil etmektedir.

Çeşitli biyogaz tesislerinde biyogazdan elektrik üretimi esnasında oluşan sera gazı emisyonları (THG emisyonları) ile Alman elektrik üretiminin sera gazı emisyonlarının mukayesesi (2005) örnek teşkil etmesi için şekil 12.2’de gösterilmiştir. Bu hesaplamada söz





Şekil 12.2: Model biyogaz tesislerinden sera gazı emisyonları ( $\text{kg CO}_{2-\text{Aq}}/\text{kWh}_{\text{el}}$ ) Alman elektrik enerjisi üretim kaynaklarına kıyasla (GR = Fermantasyon artığı) [12-5]

konusu olan bir model biyogaz tesisidir, ancak biyogaz üretiminde ya sadece NaWaRo, ya da NaWaRo-sıvı gübre karışımı kullanılacağı kabul edilmektedir. Sera gazı emisyonları kilowatt saat elektrik enerjisi başına bir kilogram karbondioksit eşdeğer olarak verilmiştir. Yenilenebilir hammaddelerin (NaWaRo) ekimi genel olarak iklim açısından önem taşıyan diğer emisyonlara (diazot monoksit, amonyak vb.) bağlıyken, biyogaz tesislerinde enerji üretimi amaçlı amaçlı sıvı gübre kullanımı emisyon tasarruflarında dikkate alınabilir. Bu yüzden öncelikli olarak tarım kökenli hayvansal dışkıların ve bitkisel artık maddelerin ekonomik olarak ulaşılabilir potansiyelleri kullanılmalıdır. Sıvı gübrenin işlenmemiş sıvı gübreye kıyasla fermantasyonu sayesinde önlenmiş emisyonlar için verilen krediler nedeniyle, Alman elektrik üretimine göre artan sıvı gübre kullanım (enerji üretimi amaçlı) oranıyla birlikte sera gazı emisyonları düşmektedir. Geleneksel sıvı gübre depolamasına kıyasla sera gazlarında azalmanın yanı sıra (biyogaz tesislerinde kullanılmadan), sıvı gübre prosese istikrar kazandıran bir etki de ortaya koymaktadır [12-1]. Fermantasyon artıklarının kullanılmasıyla mineral

gübrenin kullanımı azaltılabilirken, fermantasyon artıkları için aynı şekilde sera gazı bilançosuna pozitif etki eden gübre kredileri de kullanılmaktadır.

Bu sonuçlar, biyogazdan elektrik üretilmesi sayesinde geleneksel enerji kaynaklarının (Almanya'da atom enerjisi veya linyit/taşkömürü enerjisi) neden olduğu emisyonların da azaltılabileceğini ortaya koymaktadır. Ancak bu her şeyden önce biyogaz tesisinin nasıl işletildiğine bağlıdır.

Ancak eko bilançoyla hesaplanan verilerin değerlendirilmesi sonucunda, hesaplamalarda kullanılan giriş verilerinin sıklıkla güvenilir unsurlar içerdiği ve bundan ötürü pratik bir uygulama örneğine aktarılabilir olmadıkları ortaya çıkmıştır. Öte yandan kesin olarak tespit edilen verilerin büyük kısmı belirleyici olmayıp, biyogaz kazanımı ve faydalanımının çeşitli opsiyonları arasındaki farkları, kıyaslayarak ortaya koymaktadırlar. Ancak modern biyogaz tesislerinde halen yapılmaya devam edilen ölçümler sayesinde veri tabanı belirgin bir şekilde iyileştirilecek, bundan ötürü bu tür ifadeler gelecekte giderek artan bir şekilde kullanılabilir olacaktır.

## 12.3 Almanya'da biyogaz kazanımı ve faydalanımının durumu

Aşağıda Almanya'da biyogaz kazanımı ve faydalanımının durumu Mart 2010 tarihi itibarıyla yer almaktadır. Bu değerlendirme çöp gazı ve atık su gazı tesisleri olmayan biyogaz tesisleriyle ilgilidir.

### 12.3.1 Tesis varlıkları ve tesis gücü

Yenilenebilir Enerjiler Yasası'nın (EEG) yürürlüğe girmesinden bu yana Almanya'daki biyogaz tesislerinin sayısı giderek artmaktadır. Bu bakımdan EEG biyogaz sektörü için başarılı bir enstrüman olarak görülmektedir. Özellikle uzun vadeli ve güvenilir çerçeve koşulları bu olumlu gelişmeye büyük katkı sağlamıştır. EEG'de 2004 yılında yapılan ve biyogaz tesislerinde yenilenebilir hammadde kullanımını teşvik eden düzenleme çok özel bir öneme sahiptir. Şekil 12.3 o günden bu yana hem tesis varlıklarının, hem de tesislerin ortalama kurulu elektrik gücünün giderek arttığını ortaya koymaktadır. Yenilenebilir hammaddelerin zaman içerisinde daha fazla kullanılmasıyla birlikte, biyogaz tesislerinin ortalama güçlerinin de artması mümkündür. 2008 sonunda biyogaz tesislerinin ortalama gücü yaklaşık 350 kW<sub>el</sub> (bkz. 2004 yılında: 123 kW<sub>el</sub> [12-3]) idi. 2009 yılının sonlarına doğru Almanya'da ortalama tesis gücü 379 kW<sub>el</sub>'e yükseldi [12-7]. EEG'nin 2009 yılında değiştirilmesinden önceki yeni tesis yapımının aksine, yeni tesis yapımı 2009 yılında 500 kW<sub>el</sub> > büyüklük alanına kaydı. Yeni tesisler büyük ölçüde 190 ila 380 kW<sub>el</sub> arasında bulunmaktadır. 2009 sonunda tesis varlığı yaklaşık 1.850 MW<sub>el</sub> kurulu elektrik gücüne sahip 4.900 biyogaz tesisini kapsıyordu. 2008 yılında nispeten daha düşük olan tesis yapımı, 2009 yılında yaklaşık 900 tesis ve 415 MW<sub>el</sub> kurulu elektrik gücüyle çok yüksek bir artış göstermiştir. Bunun nedenleri arasında özellikle 2009 yılında EEG'nin yeni versiyonu ve biyogazdan üretilen elektriğin ücretlendirilmesindeki belirgin iyileştirme sayılabilir. Böylelikle EEG'nin 2004 yılında yeniden düzenlenmesinden sonra ki gelişmeler benzeyen bir gelişim gözlemlenmiştir. 2009 yılı için biyogazdan potansiyel elektrik üretiminin yaklaşık 13.2 TWh<sub>el</sub><sup>1</sup> [12-3] olacağı tahmin edilmektedir. Yıl içerisinde ihale edilen yeni tesis yapımları da dikkate alındığında 2009 yılı için öngörülen gerçek biyogaz elektrik üretimi tahmininde bir düşüş beklenmekte, yani üretimin yakla-

şık 11.7 TWh<sub>el</sub><sup>2</sup> [12-3] olarak gerçekleşeceği tahmin edilmektedir. Bu da 2009 yılı için Almanya'da gerçekleşecek tahmini elektrik üretimi olan 594.3 TWh<sub>el</sub>'in [12-2] yaklaşık % 2'sine karşılık gelmektedir.

Tablo 12.1'de bütün eyaletleri kapsayacak şekilde Almanya'da işletmede bulunan biyogaz tesislerinin sayısı ve 2009 yılı sonu itibarıyla ortalama kurulu elektrik gücü belirtilmiştir. Bu veriler her bir eyaletin Tarım ve/veya Çevre Bakanlıkları'nda, Ziraat Odaları'nda ve Eyalet Ziraat Kurumları'nda yapılan araştırmalara dayanmaktadır.

Hamburg'un sahip olduğu ortalama elektrik tesis gücü, bu şehirde kurulu olan 1 MW<sub>el</sub> gücünde biyolojik atık tesisinin varlığına bağlanmalıdır. Berlin ve Bremen şehir-eyaletleri için gaz kullanan arıtma tesisleri dışında biyogaz tesisi kaydı yoktur.

Şekil 12.4 her bir eyalette bulunan tarım alanlarına oranla kurulu elektrik gücünü [kW<sub>el</sub>/1000 ha] göstermektedir.

Buna ek olarak 2009 yılı sonunda doğalgaz şebekesine elektrik veren yaklaşık 31 tesis, toplam yaklaşık 200 MW kurulu gaz hattıyla faaliyette bulunuyordu. Farklı işletmeye alınma tarihleri ve tesislerin kapasite düzeyleri dikkate alınmak zorunda olduğu için, 2009 yılında doğalgaz hattına ikmal yapılacak reel gaz miktarının enerji eşdeğeri yakl. 1.24 TWh olmuştur. Bunun ötesinde bazı tesislerde doğalgaz şebekesine gaz ikmal yapılması yerine biyogaz yerinde elektriğe dönüştürülmüş veya mevcut olması durumunda doğrudan taşıt yakıtı olarak kullanılmıştır. Başka biyogaz ikmal tesislerinin de faaliyete girmesi beklenmektedir.

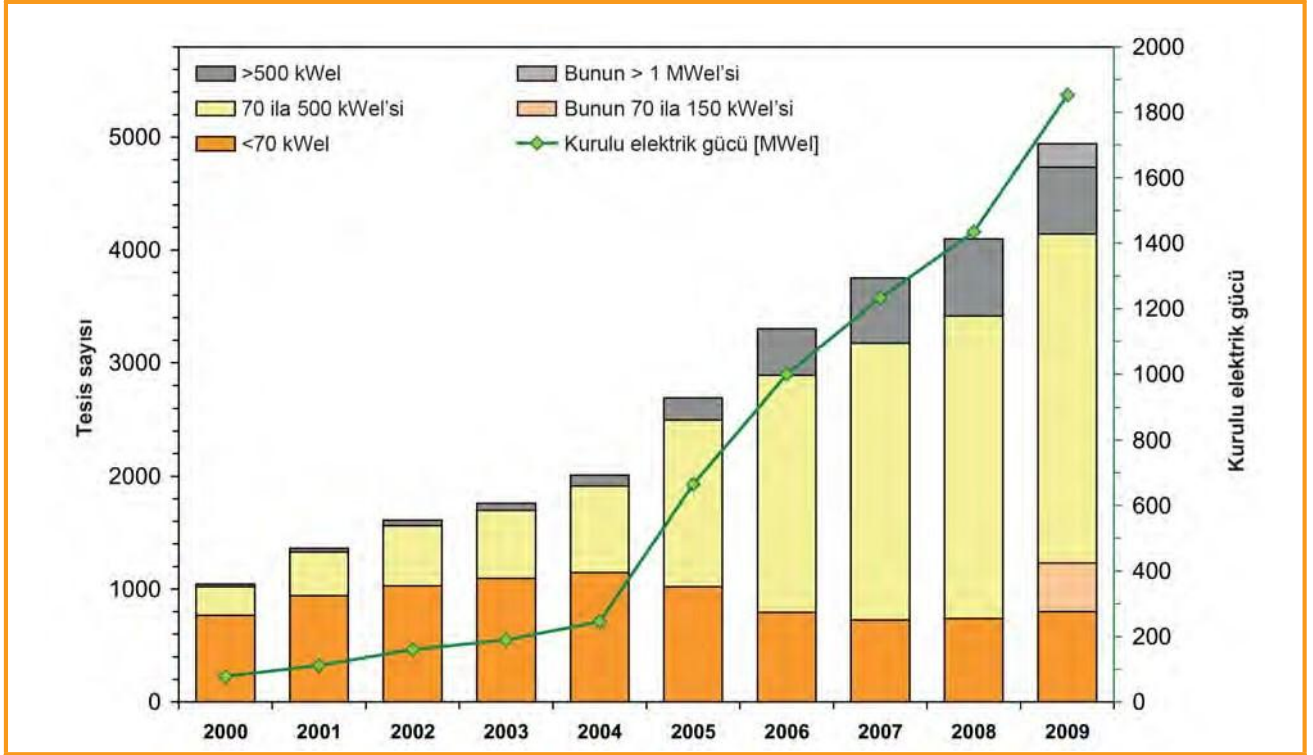
### 12.3.2 Biyogaz uygulamaları ve yönelimler

2009 yılında EEG'de yapılan değişikliklerle birlikte, biyogaz kapasitelerinin daha da artırılması özendirilmiştir. EEG'nin ücretlendirme yapısı nedeniyle yeniden nispeten küçük biyogaz tesislerine doğru bir yönelme (< 150 kW<sub>el</sub>) beklenmektedir, ancak daha büyük biyogaz tesislerinin yapımı da devam etmektedir. Doğalgaz şebekesine verildikten sonra biyogazdan veya biyometandan elektrik üretimi de giderek ön plana çıkacaktır.

Biyogazı elektrik enerjisi üretimi için kullanılacak olan biyogaz tesislerinin enerji etkinliği ve ekonomikliği bakımından giderek artan bir başka önemi,

1. Yıllık ortalama 7.500 saatlik tam kapasite çalışma sonucu potansiyel elektrik üretimi, yeni tesislerin işletmeye giriş tarihleri dikkate alınmamıştır.

2. Biyogazdan reel elektrik üretimi tahminleri için aşağıdaki varsayımlarda bulunulmuştur: 2008 sonuna kadar mevcut tesisler için 7.000 tam kapasite çalışma saati, 2009'un birinci yarısında yeni tesisler için 5.000 tam kapasite çalışma saati, yılın 2. yarısında 1.600 tam kapasite çalışma saati varsayılmıştır.

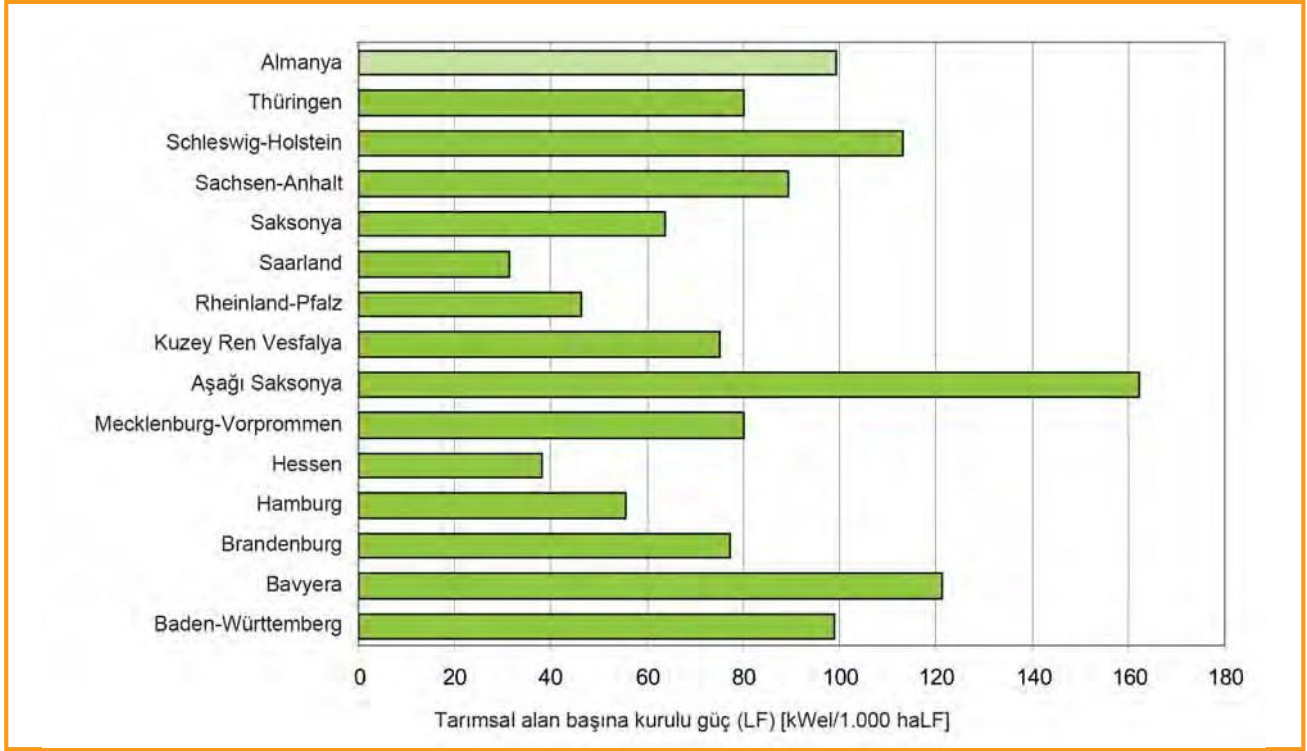


Şekil 12.3: Güç sınıflarına ve kurulu elektrik tesis güçlerine (MW<sub>el</sub>) göre 2009 yılında Almanya'da biyogaz tesislerinin gelişimi [12-3]

Tablo 12.1: Almanya'da 2009 yılında faaliyette bulunan biyogaz tesislerinin bölgelere göre dağılımı ve kurulu elektrik güçleri (2010 yılında eyalet kurumlarında yapılan anket) [12-3]

Eyalet	Faal biyogaz tesisi sayısı	Kurulu toplam güç [MW <sub>el</sub> ]	Ortalama tesis gücü [kW <sub>el</sub> ]
Baden-Württemberg	612	161,8	264
Bavyera	1.691	424,1	251
Berlin	0	0	0
Brandenburg	176	112,0	636
Bremen	0	0	0
Hamburg	1	1,0	1.000
Hessen	97	34,0	351
Mecklenburg-Vorpommern <sup>a</sup>	156 (215)	116,9	544
Aşağı Saksonya	900	465,0	517
Kuzey Ren Vestfalya	329	126,0	379
Rheinland-Pfalz	98	38,5	393
Saarland	9	3,5	414
Saksonya	167	64,8	388
Saksonya-Anhalt	178	113,1	635
Schleswig-Holstein	275	125,0	454
Thüringen	140	70,3	464
Toplam	4.888	1.853	379

a. İşletme verileri, tesis parkları değiştirilen veri toplama yöntemi yüzünden bir işletme olarak bir araya getirilmiştir, parantez içindeki veriler: Biyogaz tesislerinin tahmini sayısıdır.



Şekil 12.4: Eyaletlerdeki tarım alanlarına oranla kurulu elektrik gücü [ $kW_{el}/1000 \text{ haLF}$ ] (veri dayanağı [12-3], [12-6])

BHKW'den elde edilen ısının mümkün olduğu kadar anlamlı ve eksiksiz kullanımınıdır.

Muhtemel bir ısı köprüsü tesisin hemen yanında bulunmuyorsa, BHKW ısıdan faydalanılacak yerin yakınına kurulabilir. BHKW ya doğalgaz kalitesinde saflaştırılmış halde (karbondioksit yıkanması vs. ile) doğalgaz şebekesi üzerinden ya da nemi alınmış ve desülfürize edilmiş biyogazla beslenen mikrogaz ağları üzerinden beslenebilir.

Biyogazın şebeke ikmali için doğalgaz kalitesinde hazırlanması bu şekilde daha da önem kazanabilir. Mevcut biyometan bu sayede elektrik üretiminin yanı sıra ısı ve yakıt üretiminde de önemli bir rol oynayacaktır. Bu esnek faydalanım imkânları biyometanı diğer enerji kaynaklarının karşısında oldukça avantajlı bir konuma getirmektedir. Isı üretimi alanında gelişmeler (ürettikleri biyogaz sanayi proseslerinde proses ısısı üretiminde kullanılan nispeten küçük atık su arıtma tesisleri hariç) için kullanılması her şeyden önce müşterilerin doğalgaza kıyasla biraz daha pahalı olan biyometanı satın alma arzularına, ayrıca yasal çerçeve koşullarında yaşanacak diğer gelişmelere bağlıdır. Yakıt olarak kullanım konusunda ise gelişmelerin temelini Almanya gaz ekonomisinin 2010 yılında yakıt olarak kullanılan doğalgazın % 10'unu, 2020 yılından itibaren ise % 20'sini biyometanla değiştirme garantisini vermiş olması teşkil etmektedir.

### 12.3.3 Kullanılan materyaller

Almanya'da temel materyal olarak – materyal külesinden yola çıkarak – ağırlıklı olarak dışkılar ve yenilenebilir hammaddeler oluşturmaktadır. 2009 yılında biyogaz tesislerinde kütle temelinde materyal kullanımına (ham ürün) dair yapılan ve 420 anketin kullanıldığı bir araştırmanın sonuçları, şekil 12.3'de görülmektedir [12-3]. Bu sonuçlara göre kütle bağlamında % 43 oranında dışkı ve % 41 oranında NaWaRo kullanılırken, biyolojik atıkların oranı % 10 civarındadır. Almanya'daki farklı hukuksal düzenlemeler nedeniyle biyolojik atıklar ağırlıklı olarak bu işte uzmanlaşmış atık fermantasyonu tesislerinde işlem görmektedir. Sanayi ve tarım atıkları yaklaşık % 6 ile kullanılan materyal miktarlarının en küçük kısmını oluştururlar. Tarımsal atıkların kullanımı, EEG 2009'daki yeni düzenlemelere göre bazı seçilmiş tarımsal atıkların (bkz. EEG 2009. Ek 2. Bent V) NaWaRo bonusunun yitimine neden olmadan biyogaz tesisinde kullanılmasını mümkün kılmasına rağmen, yine de beklenildiği gibi yükselmemiştir.

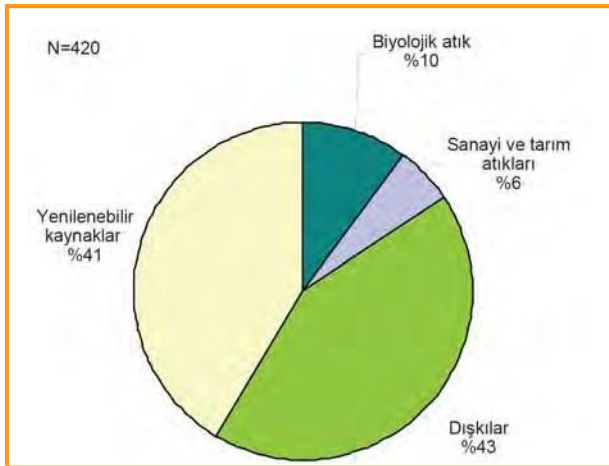
Enerji içeriği bakımından yenilenebilir hammaddeler halen Almanya'nın en baskın materyal türünü oluşturmaktadır. Almanya bu sayede Avrupa'nın biyogazdan birincil enerji üretimini çöp ve atıksu gazından başka kaynaklardan (desentralleştirilmiş

tarımsal tesisler gibi) temin eden ülkeleri arasında bulunmaktadır.

Biyogaz tesislerinde yenilenebilir hammadde kullanımı, tarımsal biyogaz tesislerinin % 91'inde uygulanmaktadır [12-3]. Yenilenebilir hammaddeler içerisinde miktar bakımından mısır silajı pazarda ağırlıklıdır. (bkz. Şekil 12.6), ancak neredeyse bütün biyogaz tesisleri aynı anda örneğin tahıl tam bitki silajı, ot silajı veya tane tahıl gibi daha fazla sayıda yenilenebilir hammadde de kullanmaktadır.

Buna rağmen 2004 yılından bu yana giderek daha fazla sayıda tesis dışkı veya diğer komateryaller olmadan, sadece enerji bitkileriyle işletilmektedir. Bu tesislerde mikro element karışımları gibi yardımcı fermentasyon maddelerinin kullanımı sayesinde, artık mikrobiyolojik açıdan istikrarlı bir çalışma da sağlanabilmektedir.

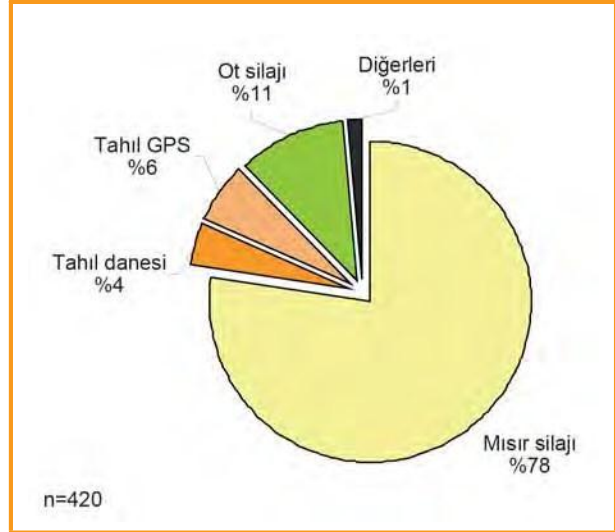
Hammaddelere dair detaylar bölüm 4'de görülen Seçilmiş Materyallerin Tanımı içinde bulunmaktadır.



Şekil 12.5: Biyogaz tesislerinde kütleyle bağlı olarak materyal kullanımı (2009 İşletme anketi) [12-3]

## 12.4 Potansiyeller

Günümüz için potansiyel tespiti veya biyogaz kazanımı için yapılan tespitler çeşitli faktörlere bağlıdır. Tarım alanındaki potansiyeller ekonomik çerçeve koşullarına, tarımın yapısına ve dünya gıda durumuna vb. bağlıdır. Buna göre tarımdan elde edilen biyokütle için, gıda maddesi üretimi (hayvan beslenmesi dahil), maddesel veya enerji üretim amaçlı kullanım arasındaki çok çeşitli kullanım rekabetleri, yine rekabetçi farklı dönüşüm yollarıyla birlikte ortaya çıkmaktadır. Tarım, belediyeler ve endüstri kaynaklı artık maddeler için aynı şekilde çok çeşitli maddesel ve enerji üretimi amaçlı değerlendirme yolları seçilebilmektedir.



Şekil 12.6: Biyogaz tesislerinde kütleyle bağlı olarak yenilenebilir hammadde kullanımı (2009 işletme anketi) [12-3]

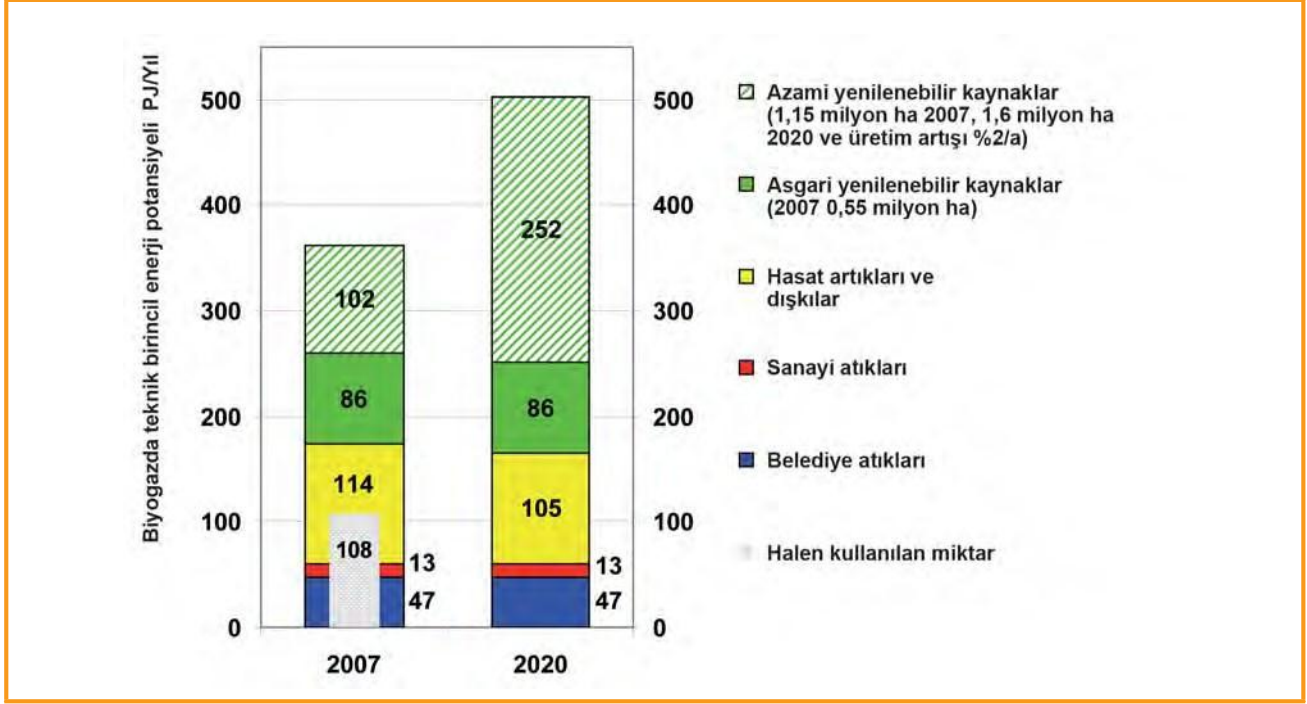
Bundan ötürü yapılan tespitlerdeki varsayımlar nedeniyle çok farklı sonuçlar elde edilebilir.

### 12.4.1 Teknik birincil enerji potansiyeli

Biyogaz bir dizi çok farklı maddeden kazanılabilir. Bu nedenle aşağıda potansiyel olarak kullanılabilir çeşitli biyokütle fraksiyonları için ele alınan farklı materyallerin teknik birincil enerji potansiyelleri, teknik üretim (potansiyel olarak mümkün elektrik veya ısı hazırlanması) veya nihai enerji potansiyelleri<sup>1</sup> (yani enerji sistemi içinde kullanılabilen nihai enerji) açıklanacaktır. Bu nedenle aşağıda potansiyel olarak kullanılabilir çeşitli biyokütle fraksiyonları için ele alınan farklı maddelerin teknik birincil enerji potansiyelleri, teknik üretim (potansiyel olarak mümkün elektrik veya ısı üretimi) veya nihai enerji potansiyelleri (yani enerji sistemi içinde kullanılabilen nihai enerji) gösterilmiştir.

1. Yenilenebilir enerjilerin teknik potansiyeli, mevcut teknik çekincelerin dikkate alınmasıyla kullanılabilir olan teorik potansiyel oranını vermektedir. Buna ek olarak genel yapısal ve ekolojik çekinceler (örneğin doğal koruma alanları, Almanya'da kurulması planlanan biyotop ağı için alanlar) ve yasal koşullar (örneğin hijyenik açıdan şüpheli organik atıkların biyogaz tesislerinde kullanılmasına izin verilmesi) dikkate alınmaktadır, çünkü bunlar – sadece teknik nedenle sınırlandırmalara benzer şekilde – genellikle "aşılabilir" dirlar. Bu arada potansiyeller arasında şu ayrımlar yapılabilir:

- Teknik birincil enerji potansiyeli (örneğin biyogaz kazanımı için kullanılabilen biyokütle),
- Teknik üretim potansiyeli (örneğin bir biyogaz tesisinin çıkışında biyogaz),
- Teknik nihai enerji potansiyeli (örneğin nihai tüketicide biyogaz tesisinden elektrik enerjisi) ve
- Teknik nihai enerji potansiyeli örneğin bir biyogaz tesisinde üretilen elektrik enerjisiyle çalışan saç kurutma cihazının üflediği sıcak havanın enerjisi).



Şekil 12.7: Almanya’da biyogaz üretimi için teknik birincil enerji potansiyeli (2007 ve 2020 yılları için)

Materyaller aşağıdaki gruplara ayrılır

- Belediye atıkları
- Sanayi atık maddeleri
- Hasat artıkları ve dışkılar
- Yenilenebilir hammaddeler Almanya’da biyogaz kazanımı için asgari potansiyel olarak yaklaşık 0,55 milyon ha’nın (2007) üzerinde tarım alanı
- Yenilenebilir hammaddeler Almanya’da biyogaz kazanımı için azami potansiyel olarak toplam 1.15 milyon ha (2007) veya 1.6 milyon ha (2020) alan üzerinde yapılan tarım.

Almanya’da belediye atıklarından biyogaz için 47 PJ/yıl veya sanayi atık maddelerinden biyogaz için 13 PJ/yıl teknik birincil enerji potansiyeli hesaplanmaktadır (Şekil 12.7). Açık arayla en büyük potansiyeller, yapılan tüm analizlere göre 2007 yılında 114 PJ/yıl’dan 2020 yılında 105 PJ/yıl’a hafif bir azalma eğilimi göstermesine rağmen, gelecekte de tarım sektöründe (hasat artıkları, dışkılar vs.) bulunmaktadır. Biyogaz potansiyelinin çok daha büyük varyasyonları NaWaRo için ayrılan alanlarda görülebilir, çünkü enerji bitkisi ekimi için öngörülen alanlar diğer (enerji üretimi amaçlı) faydalanım potansiyelleriyle rekabet içinde bulunabilir. Bundan ötürü NaWaRo’daki biyogaz potansiyeli için hem asgari, hem de azami bir değer verilecektir.

Sadece enerji kazanımı amacıyla ekilmiş olan yenilenebilir hammaddelerin 2007 yılı için yaklaşık 0,55 milyon ha ekim alanına sahip olmaları, sadece biyogaz kazanımı için Almanya’da yaklaşık 86 PJ/yıl büyüklüğünde bir teknik birincil enerji potansiyeli ortaya koymaktadır<sup>1</sup>. Biyogaz üretimi için azami 1.15 milyon ha alana sahip olduğunu varsayılırsa, bu potansiyel 2007 yılı için 102 PJ/yıl’a yükselir.

2020 yılında biyogaz üretimi için yaklaşık 1.6 milyon ha tarım alanının var olacağı ve yıllık % 2’lik bir randıman artışı sağlandığı kabul edilecek olursa, biyogaz üretimi için yenilenebilir hammaddelerden sağlanan teknik birincil enerji potansiyelinin 338 PJ/yıl olacağı kabul edilebilir.

Kullanılan biyogaz potansiyelinden yola çıkılarak, 2007 yılında biyogaz üretimi için yaklaşık 108 PJ enerji potansiyeline sahip materyal kullanıldığı varsayılmaktadır. Bu da asgari NaWaRo kullanımında (0,55 milyon ha) tahmin edilen biyogaz potansiyelinin yakl. % 42’sine veya azami NaWaRo kullanımında tahmin edilen biyogaz potansiyelinin (1.15 milyon ha) yakl. % 30’una karşılık gelmektedir.

1. Basitleştirme adına NaWaRo için biyogaz potansiyeli hesaplarında, söz konusu alanlarda mısır ekildiği kabul edilmiştir. Uygulamada ise biyogaz tesislerinde yenilenebilir hammaddelerden oluşan bir karışım (bkz. Bölüm 12.3.3); biyogaz tesislerindeki yenilenebilir hammadde kullanımında mısır oranı % 80 dolayındadır (ham ürün olarak).

## 12.4.2 Teknik nihai enerji potansiyeli

Tahmin edilen üretim potansiyelleri ısıya ve/veya elektriğe dönüştürülebilirler. Bu esnada aşağıda belirtilen üretim potansiyelleri, hazır hale getirilebilir ısıyı veya üretilebilir elektriği talep taraflı çekinceleri dikkate almadan ve nihai enerji potansiyellerini bu çekinceleri dikkate alarak göstermektedir. Talep taraflı çekincelerin dikkate alınmasıyla belirlenen üretim potansiyelleri, nihai ve kullanıcı enerjisi talebinin karşılanmasında biyogaz üretimi ve faydalanımının katkısını en iyi şekilde ifade ederler.

### 12.4.2.1 Elektrik üretimi

Motorlarda veya kombine enerji ve ısı santrallerinde elektrik üretimi için yaklaşık % 38 civarında bir etki derecesi ile hesaplanan üretim potansiyelinden olası bir elektrik verimi, buna bağlı olarak da 2007 yılı için azami 137 PJ/yıl teknik nihai enerji potansiyeli hesaplanır. 2020 yılı için % 40'lık ortalama bir elektrik verimi kabul edilirse, bugünkü tahminlere göre teknik nihai enerji potansiyeli olarak azami 201 PJ/yıl varsayılabilir.

### 12.4.2.2 Isı üretimi

Sadece ısı üretimi için % 90 oranında bir verimle, 2007 yılı için 325 PJ/yıl büyüklüğünde potansiyel bir ısı üretimi veya nihai enerji potansiyeli hesaplanır. Buna karşın sadece güç-ısı kuplajı için kojenerasyon (BHKW) santrallerinde kullanım kabul edilecek ve buradan yola çıkılarak % 50'lik bir etki derecesi olduğu varsayılırsa, 2007 yılında sadece ısı için 181 PJ/yıl büyüklüğünde bir teknik nihai enerji potansiyeli elde edilir.

## 12.5 Geleceğe bakış

Almanya'da önemli ölçüde tarım sektöründe mevcut olan biyogaz kazanımı teknik potansiyeli hâlâ dikkate değer durumdadır ve enerji ekonomisi bakımından önemlidir. Biyogaz kazanımı ve faydalanımının son yıllarda gösterdiği güçlü gelişmeye rağmen kullanılabilir durumdaki potansiyellerde gerileme kaydedilmiştir. Bunun nedeni biyogaz tesislerinin kurulacağı alanların bulunmasındaki güçlüklerdir. Ancak yine de bir bütün olarak tarım sektöründe biyogaz kullanımını geliştirebilecek potansiyeller bulunmaktadır. Bir enerji kaynağı olarak biyogaz kullanımını EEG'nin atık ısı kullanımı (KWK) konusunda oluş-

turduğu cazibe nedeniyle son yıllarda ciddi şekilde iyileşmiş, bu da elektrik enerjisi yanı sıra üretilen ısı enerjisinin üçte birden fazla kısmının fosil enerji kaynaklarının yerine geçmesine katkıda bulunmuştur. Özellikle yeni tesisler kapsamlı bir ısı faydalanım konsepti olmadan inşa edilmemektedirler. Daha eski tesislerde ise henüz kullanılmayan ciddi bir atık ısı potansiyeli mevcuttur, gelecekte bu potansiyelin kullanılması gerekecektir.

Bu potansiyelin kullanılması için gereken ve sıklıkla sanayi tesisleriyle mukayese edilebilen – özellikle ruhsatlandırma koşullarını daha iyi karşılayan - tesis teknolojisi, artık çok iyi bir seviyeye ulaşmıştır. Tesisler belirgin bir şekilde güvenilir ve daha iyi işletilebilir olmuşlardır. Basında biyogaz tesislerinde yaşanan kazalara dair düzenli olarak yer alan haberlerde, Almanya'da çok sayıda biyogaz tesisi içinde yapı kalitesi bakımından koşulları yerine getirmeyen münferit durumlar söz konusudur.

Sistem bileşenleri bakımından iyileştirme potansiyelleri elbette mevcuttur, ancak bu potansiyeller genellikle tesisin etkinliği ile ilgilidir.

Biyogaz kazanımı ve faydalanımı, enerji hazırlanmasında fosil enerji kaynaklarının karşısında ekolojik anlamda son derece avantajlı bir yol olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle biyogaza dönüştürülmeleri için ek külfetlere gerek duymayan artıklar ve atıklar konusu olduğunda, bu avantaj daha da iyi anlaşılacaktır. Bu bakış açısı ile bir enerji kaynağı olarak biyogazın etkin ve mümkün olduğu kadar eksiksiz faydalanımına dikkat çekmek yerinde olacaktır.

Almanya'daki biyogaz tesislerinin sayısı geçtiğimiz on yıl zarfında neredeyse beş katına çıkmıştır. Tesislerin toplam gücü 45 MW<sub>el</sub>'den (1999) 1.853 MW<sub>el</sub>'e (2009 sonu) çıkmış olup, tesis başına kurulu elektrik gücü 53 kW<sub>el</sub>'den 379 kW<sub>el</sub>'e yükselmiştir. Bu trendin biraz daha azalan bir yoğunlukta devam edeceğini söylemek mümkündür.

Henüz tam anlamıyla çözülememiş olan optimizasyon meseleleri bir yana bırakılacak olursa, biyogaz kazanımı ve faydalanımı olgun ve kendisini piyasaya kabul ettirmiş bir teknolojiyi temsil etmektedir. Biyogaz, önümüzdeki yıllarda sürdürülebilir enerji tedarihinin sağlanması ve sera gazları emisyonunun azaltılması için, yenilenebilir enerjiler bakımından çok şey vaat eden bir seçenek olarak görülmelidir. Bu kılavuzun da bu gelişmeye katkı sağlaması amaçlanmıştır.

## 12.6 Kaynakça

- [12-1] Vogt, R. et al.: Optimierung für einen nachhaltigen Ausbau der Biogaserzeugung und -nutzung in Deutschland. IFEU, Heidelberg (Koordinator) und IE, Leipzig, Öko-Institut, Darmstadt, Institut für Landschaftsarchitektur und Umweltplanung, TU Berlin, S. Klinski, Berlin, sowie im Unterauftrag Peters Umweltplanung, Berlin. Forschungsprojekt des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU). Endbericht mit Materialband (Bd. A – Bd. Q), Heidelberg 2008. [www.ifeu.de](http://www.ifeu.de); [www.erneuerbare-energien.de](http://www.erneuerbare-energien.de)
- [12-2] AGEb - Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V.: Energieverbrauch in Deutschland im Jahr 2008, Berlin, 01/2009  
<http://www.ag-energiebilanzen.de/view-page.php?idpage=118> (Stand: 04.08.2009)
- [12-3] Thrän, D. et al.: Monitoring zur Wirkung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse. Zwischenbericht „Entwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse 2008“, März 2009; Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH in Kooperation mit der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft für das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit; FKZ: 03MAP138; <http://www.erneuerbare-energien.de/inhalt/36204/4593/> (Stand: 4.8.2009)
- [12-4] BIOGAS BAROMETER – JULY 2008; <http://www.eurobserv-er.org/downloads.asp> (Stand: 20.08.2009)
- [12-5] Majer, S., Daniel, J.: Einfluss des Gülleanteils, der Wärmeauskopplung und der Gärrestlagerabdeckung auf die Treibhausgasbilanz von Biogasanlagen. KTBL-Tagung „Ökologische und ökonomische Bewertung nachwachsender Energieträger“, 08./09. September 2008, Aschaffenburg
- [12-6] Statistisches Bundesamt: Bodenfläche (tatsächliche Nutzung). Deutschland und Bundesländer. GENESIS-ONLINE Datenbank. [www.genesis.destatis.de/genesis/online](http://www.genesis.destatis.de/genesis/online)



# Örnek projeler

# 13

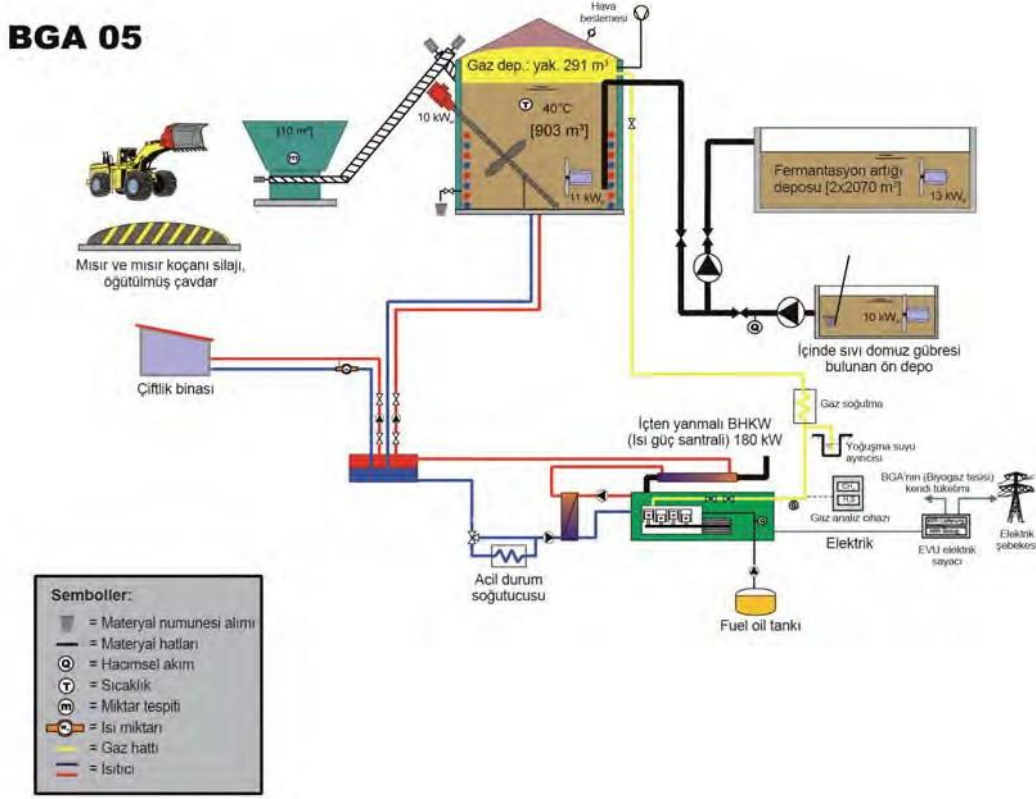
Bu başlıkta dört biyogaz tesisi örnek şeklinde tanıtılacaktır. Yöntem akış diyagramı şematik şekilde gösterilmektedir ve yöntem tekniği, materyal dönüşümü yanı sıra çeşitli işletme parametreleri ile ilgili önemli bilgiler vermektedir. Örnek biyogaz tesisleri gaz değerlendirilmesi olarak bir kombine ısı ve güç santralinde elektrik kazanımına sahiptir. Biyogaz üretimi ile ilgili çeşitli yöntemler gösterilmiş olup, bu arada kurulu elektrik gücüne bağlı olarak tesislerin farklı büyüklük sınıflarına göre dağılımı da yapılmıştır.

Örnek biyogaz tesisleri, federal ölçme programı II çerçevesinde, yeni tipte biyokütle biyogaz tesislerinin değerlendirilmesi için bilimsel açıdan araştırılmıştır. Buna ait yayın „Biyogaz Ölçme Programı II – 61 Karşılaştırmalı Biyogaz Tesisleri“ (yayınlayan Yenilenebilir Hammaddeler Uzman Ajansı) içinde tesis numaralarına dayanarak biyogaz tesisleri ile ilgili kapsamlı bilgiler bulunmaktadır.

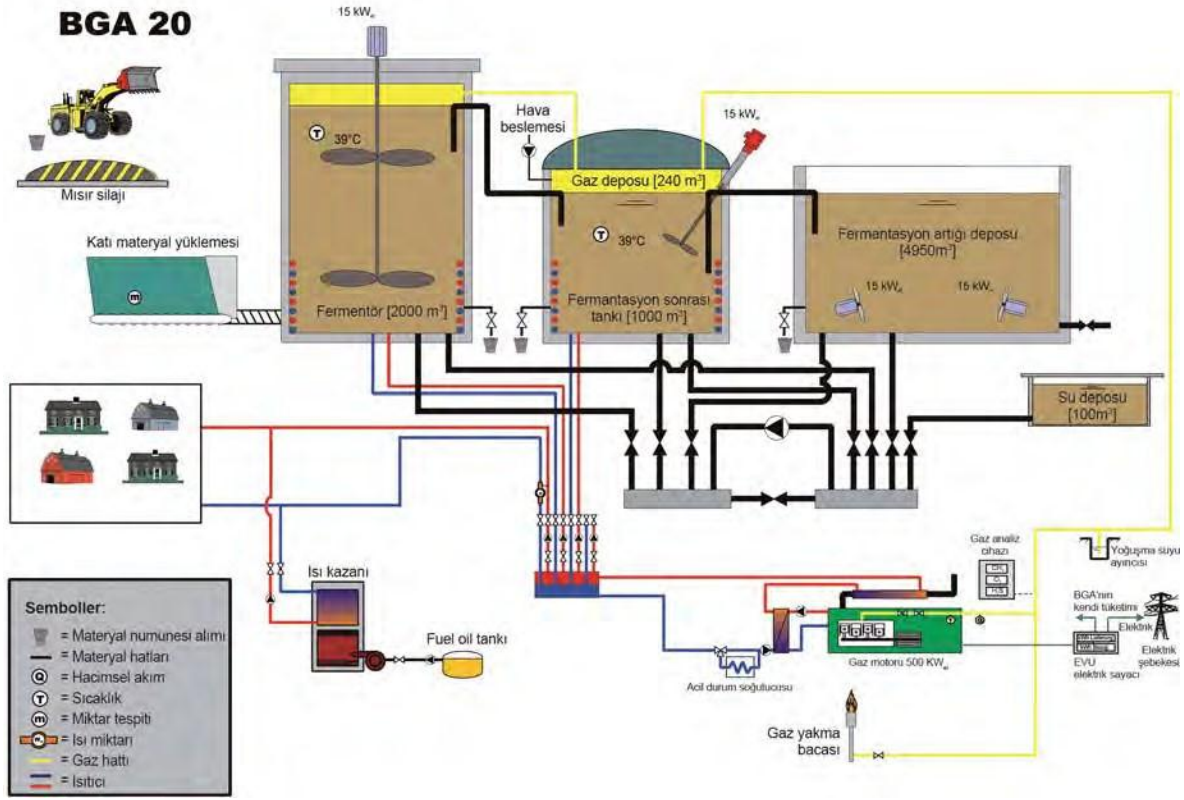


Kaynak: Weiland (vTI)

## 13.1 Tesis örneği 1 (maks. 200 kW<sub>el</sub>)



Genel veriler				
Tarımsal faydalı alan	1860 ha tarla, 249 ha çayır-mera; BGA için 110 ha NawaRo ekimi			
Hayvan varlığı durumu	Domuz besisi, 2750 adet			
Materyal	7358 t/yıl			
- Sıvı domuz gübresi	% 73			
- Mısır silajı	% 12			
- Mısır koçanı silajı	% 9			
- Çavdar taneleri	% 6			
Biyogaz tesisi				
Fermentör sayısı	[adet]	1	Toplam yükleme oranı	[kg OKM/m³AVd] 3,8
Reaktör sistemi		dik	Toplam bekleme süresi	[d] 46
Çalışma hacmi	[m³]	903	CH <sub>4</sub> -verimliliği	[Nm³CH <sub>4</sub> /(m³AVd)] 1,18
İşletme sıcaklığı	[°C]	40	CH <sub>4</sub> -üretimi	[Nm³CH <sub>4</sub> /tYM] 54
Son depo	[m³]	2 x 2070		[Nm³CH <sub>4</sub> /t OKM] 313
BHKW				
BHKW sayısı		1		
Tip		Çift yakıtlı ünite	el. anma gücü	[kW <sub>el</sub> ] 180
			teorik Anma gücü	[kW <sub>th</sub> ] 185

13.2 Tesis örneği 2 (500 kW<sub>el</sub>)

## Genel veriler

Tarımsal faydalı alan	730 ha tarla, 12 ha çayır-mera; BGA için 220 ha NawaRo ekimi
Hayvan varlığı durumu	yok, salt tarımsal işletme
Materyal	8419 t/yıl
- Mısır silağı	% 94
- Buğday-GPS	% 3
- Sıvı Sığır gübresi	% 3

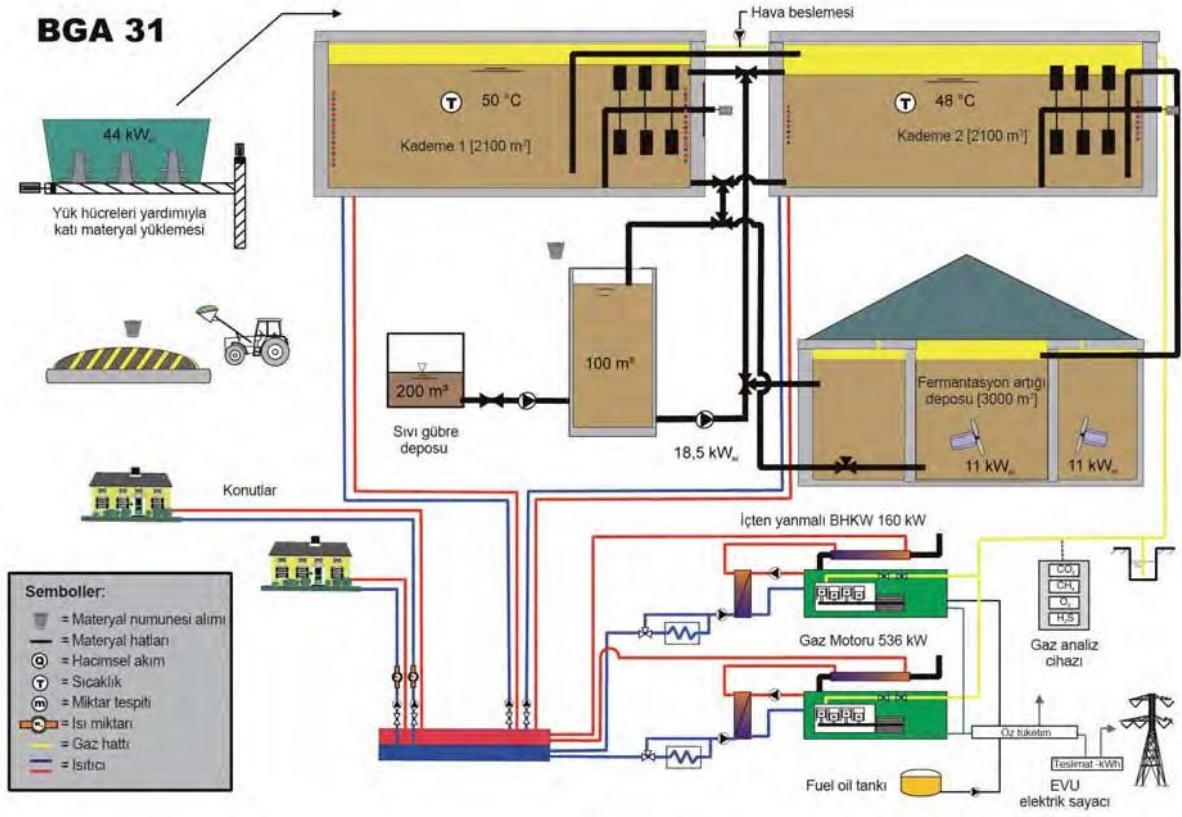
## Biyogaz tesisi

Fermentör sayısı	[adet] 2	Toplam yükleme oranı	[kg OKM/m <sup>3</sup> AVd]	2,2
Reaktör sistemi	dik	Toplam bekleme süresi	[d]	146
Çalışma hacmi	[m <sup>3</sup> ] 3000	CH <sub>4</sub> -verimliliği	[Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /(m <sup>3</sup> AVd)]	0,83
İşletme sıcaklığı	[°C] 39	Özgül CH <sub>4</sub> -üretimi	[Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /tYM]	114
Yeraltı deposu	[m <sup>3</sup> ] 100		[Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /t OKM]	437
Son depo	[m <sup>3</sup> ] 4950			

## BHKW

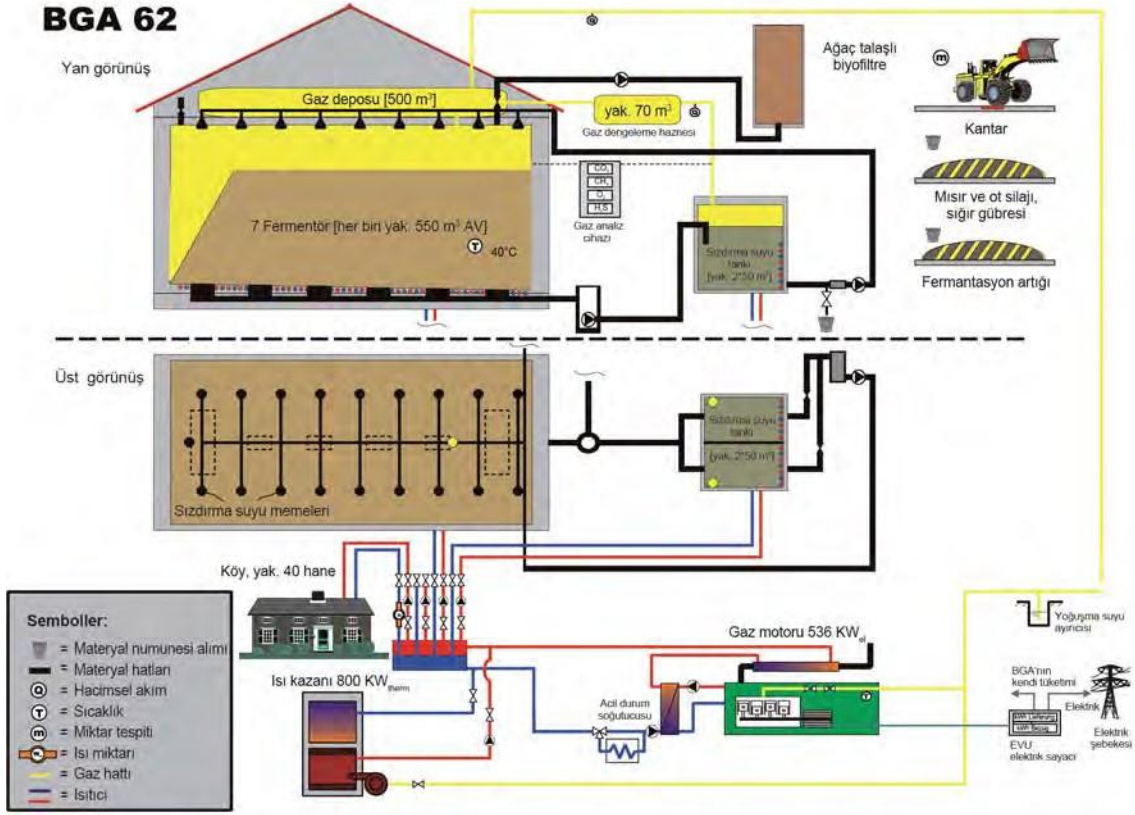
BHKW sayısı	1			
Tip	Gazlı motor	el. anma gücü	[kW <sub>el</sub> ]	500
		teorik Anma gücü	[kW <sub>th</sub> ]	600

### 13.3 Tesis örneği 3 (maks. 1000 kW<sub>el</sub>)



Genel veriler					
Tarımsal faydalı alan	210 ha tarla, 50 ha çayır-mera; BGA için 185 ha NawaRo ekimi				
Hayvan varlığı durumu	Süt hayvanı, 70 adet				
Materyal	10651 t/yıl				
- Mısır silajı	% 64		- Parçalanmış buğday	% 0,5	
- Çavdar-GPS	% 20		- Mısır tanesi	% 2	
- Sıvı Sığır gübresi	% 7		- Saman	% 0,5	
- Ot silajı	% 5		- Yeşil çavdar	% 1	
Biyogaz tesisi					
Fermentör sayısı	[adet]	2	Toplam yükleme oranı	[kg OKM/m³AVd]	2,1
Reaktör sistemi		dik	Toplam bekleme süresi	[d]	144
Çalışma hacmi	[m³]	4200	CH <sub>4</sub> -verimliliği	[Nm³CH <sub>4</sub> /(m³AVd)]	0,98
İşletme sıcaklığı	[°C]	49	Özgül CH <sub>4</sub> -üretimi	[Nm³CH <sub>4</sub> /tYM]	140
Ön depo	[m³]	200		[Nm³CH <sub>4</sub> /t OKM]	464
Son depo (gaz sızdırmaz)	[m³]	3000			
BHKW					
BHKW sayısı		2	el. anma gücü 1	[kW <sub>el</sub> ]	160
Tip 1		Çift yakıtlı motor	el. anma gücü 2	[kW <sub>el</sub> ]	536
Tip 2		Gazlı motor	teorik Anma gücü 1	[kW <sub>th</sub> ]	180
Ateşleme yakıtı oranı 1	[%]	14	teorik Anma gücü 2	[kW <sub>th</sub> ]	500

### 13.4 Katı madde fermantasyonu ile ilgili tesis örneği (Konteynır yöntemi)



#### Genel veriler

Tarımsal faydalı alan	125 ha tarla, 10 ha çayır-mer a; BGA için 95 ha NawaRo ekimi		
Hayvan varlığı durumu	Bilgi yok		
Materyal	11017 t/yıl		
- Mısır silajı	% 42	- Şeker pancarı	% 6
- Ot silajı	% 14	- Ot (taze)	% 6
- Yeşil çavdar	% 9	- Domuz gübresi	% 1
- Saman	% 2	- Siğir gübresi	% 20

#### Biyogaz tesisi

Reaktör sistemi	Konteynır yöntemi	Toplam yüklem oranı	[kg OKM/m <sup>3</sup> AVd]	2,1
Ünite sayısı	[adet] 7	Ünite başına bekleme süresi	[d]	24
Ünite başına çalışma hacmi	[m <sup>3</sup> ] 550	Toplam bekleme süresi	[d]	69
İşletme sıcaklığı	[°C] 40	CH <sub>4</sub> -verimliliği konteynır	[Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /(m <sup>3</sup> AVd)]	0,56
Perkolat tankı	[m <sup>3</sup> ] 100	CH <sub>4</sub> -verim. Perkolat tankı	[Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /(m <sup>3</sup> AVd)]	0,37
		Özgül CH <sub>4</sub> -üretimi	[Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /tYM]	72
			[Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /t OKM]	273

#### BHKW

BHKW sayısı	1	el. anma gücü	[kW <sub>el</sub> ]	536
Tip	Gazlı motor	teorik Anma gücü	[kW <sub>th</sub> ]	536

# Sözlük

**Bozunma derecesi** <sup>[1]</sup>

**Atık, genel**

Aneroobik bozunma sayesinde organik materyalin oranının azalması

Sahibinin elden çıkarttığı, çıkartmak istediği veya çıkartmak zorunda olduğu, üretim ve tüketimden elde edilen artıklar.

**Atıkların bertarafı** <sup>[2]</sup>

Geri dönüşüm ve atık yasasına göre atıkların yok edilmesi, atıkların değerlendirilmesi ve bertarafını kapsamaktadır.

**Amonyak (NH<sub>3</sub>)**

Azot içeren gaz, protein, üre ve ürik asit gibi azot içeren bileşiklerin bozunmasından oluşur

**Anaerobik bozunabilirlik** <sup>[1]</sup>

Materyallerin veya komateryallerin mikrobiyel dönüştürülme derecesi, genellikle biyogaz oluşum potansiyeli olarak ifade edilir

**Anaerobik işleme** <sup>[1]</sup>

Biyogaz kazanımı ismi altında organik yapının bozunması amacıyla havasız (oksijensiz) koşullar altında biyoteknolojik proses

**Anaerobik mikroorganizmalar** <sup>[3]</sup>

Oksijen bulunmayan ortamlarda yaşayabilen mikroorganizmalar; bazıları için oksijenin varlığı öldürücü olabilir

**Hazırlama**

Materyallerin veya fermentasyon artıklarının işlenmesi için yöntemler (örneğin küçültme, zararlı maddeleri ayırma, homojenize etme, katı-sıvı ayrıştırması)

**Biyogaz** <sup>[1]</sup>

Temelde metandan ve karbondioksitten oluşan ve materyale bağlı olarak ayrıca amonyak, hidrojen hidrojen sülfür, su buharı ve diğer gaz halindeki veya buharlaştırılabilir bileşenleri içerebilen, gaz halindeki fermentasyon ürünü

**Biyogaz tesisi** <sup>[4]</sup>

İşletmeye hizmet eden tüm düzeneklerin ve yapıların da dahil edilmesi ile, biyogazın üretilmesi, depolanması ve değerlendirilmesi ile ilgili tesis; üretim, organik maddelerin fermentasyonu sonucu gerçekleşir.

**Biyolojik bozunma** <sup>[5]</sup>

Organik maddelerin, örneğin bitkisel ve hayvansal artıkların mikroorganizmalar tarafından daha basit bileşiklere ayrıştırılması.

**Kombine ısı ve güç santrali (BHKW)**

Bir motor ve buna bağlı bir jeneratör yardımıyla, kimyasal olarak bağlanmış enerjinin elektrik ve ısı enerjisine dönüştürülmesi için ünite

**C/N oranı** <sup>[6]</sup>

Biyolojik bozunma için belirleyici olan, organik malzeme içindeki toplam karbonun toplam azota oranı.

**Debi**

Birim zamanda akan materyal (hacim veya kütle) miktarı

**Emisyonlar**

Bir tesis veya bir teknik işlem tarafından atmosfere ulaşan gaz, sıvı veya katı durumda ki maddelerin yanı sıra gürültü, sarsıntı, ışık, ısı ve ışınlar.

**Son enerji taşıyıcısı** <sup>[7]</sup>

Son enerji taşıyıcısı tanımı altında enerji taşıyıcıları ve son enerji tanımı altında, son tüketicinin aldığı son enerji taşıyıcılarının enerji içeriği veya ilgili enerji akımları anlaşılmalıdır (örneğin son tüketicinin yakıt tankındaki fuel oil veya ateşleme tertibatının önündeki ahşap talaşı peleti, evdeki elektrik enerjisi, ev aktarma istasyonundaki merkezi ısıtma). Bunlar ikincil veya gerekirse birincil enerji taşıyıcılarından veya enerjilerinden üretilir ve son enerjiye kadar enerjetik olmayan tüketim, dönüştürme ve dağıtım kayıpları ve enerji dönüştürme sırasında kullanılan sistemlerin kendi tüketimleri kadar azalır. Bunlardan faydalı enerjiye dönüşümde yararlanılabilir.

**Desülfürizasyon**

Biyogazda hidrojen sülfür oranının düşürülmesi için kimyasal-fiziksel, biyolojik veya bunların kombinasyonuyla gerçekleşen işlem

**Patlama tehlikesi altındaki bölgeler** <sup>[4]</sup>

Bölgesel ve işletmeye dayalı koşullar nedeniyle patlayabilir bir atmosferin meydana gelebileceği mekanlar

<b>Fermentör (Reaktör, fermantasyon tankı, çürütme tankı) [4]</b>	İçinde materyalin mikrobiyolojik bozunması ile birlikte biyogaz oluşumunun gerçekleştiği tank
<b>Katı madde eklenmesi</b>	Pompanamayan materyallerin veya materyal karışımlarının doğrudan fermentöre yüklenmesi
<b>Yağ ayırıcı</b>	Otellerin, büyük mutfakların, et ve balık endüstrisi, kombina ve işleme tesislerinin, margarin fabrikalarının ve yağ değirmenlerinin atık sularında bulunan emülsifiye olmamış sıvı veya katı yağların fiziksel olarak ayrılması için tesis (bakınız DIN 4040)
<b>Fermentasyon artığı</b>	Biyogaz kazanımı sonrası, organik ve inorganik bileşenler içeren sıvı veya katı artık
<b>Fermentasyon artığı deposu (sıvı gübre deposu) [4]</b>	İçinde sıvı gübrenin, gübre şerbetinin yanı sıra fermente olmuş materyalin müteakip kullanımından önce depolandığı hazne veya havuz
<b>Gaz başlığı [4]</b>	İçinde biyogazın toplanabildiği ve çekilebildiği, fermantasyon tankı üzerindeki başlık
<b>Gaz tankı [4]</b>	Gaz deposunun konuşlandırıldığı mekan veya bölge
<b>Gaz deposu [4]</b>	Biyogazın ara depolama amacıyla depolandığı gaz sızdırmaz hazne veya folyo çuval
<b>Hijyenleştirme</b>	Gerektiği takdirde hastalık etmenlerinin ve/veya fitopatogenlerin miktarının düşürülmesi ve/veya ortadan kaldırılması için ilave işlem (Dezenfeksiyon) (a.b. BioAbfV veya [EG] 1774/2002 yönetmeliği)
<b>Piyasaya sürmek</b>	Satışa sunmak, satışa sunmak üzere hazır bulundurmak, satılığa çıkarmak ve ürünleri her şekilde başkalarına vermek, Gübre Maddeleri Yönetmeliği'nden alınan bir kavram (DüVM)
<b>Karbondioksit (CO<sub>2</sub>) [5]</b>	Renksiz, yanmayan, hafif ekşi kokulu, aslen zehirsiz, yanma işlemlerinde suyun yanında oluşan, havada % 4-5 oranında bulunması bayıltıcı, % 8'den itibaren de boğulmak suretiyle öldürücü etki yapan gaz
<b>Yoğuşma</b>	Fermentörde oluşan biyogaz su buharına doymuştur ve BHKW'de değerlendirilmesinden önce sudan arındırılması gerekmektedir. Amaçlanan yoğunlaşma ya yeteri uzunlukta bir toprak altı hattı üzerindeki bir nem ayıştırıcıda, ya da biyogazın kurutulmasıyla gerçekleştirilir.
<b>Komateriyal [1]</b>	Fermentasyonda kullanılan, ancak fermente edilecek bütün materyaller içinde orantısız olarak en büyük miktarı teşkil etmeyen hammadde
<b>Güç-ısı kuplajı</b>	Enerji kaynağından aynı anda elektrik (veya mekanik) ve ısı enerjisinin üretilmesi için kullanılan yöntem veya düzenek
<b>Metan (CH<sub>4</sub>) [8]</b>	Renksiz, kokusuz ve zehirsiz gaz; yandığı zaman karbondioksit ve su oluşur, metan en önemli sera gazları arasında bulunur ve biyogazın, arıtma gazının, çöp gazının ve doğalgazın en önemli bileşenidir. Havada % 4.4 hacminden sonra patlama yeteneğine sahip bir gaz karışımı oluşturur.
<b>Yenilenebilir hammaddeler (NawaRo) [5]</b>	Materyal olarak ve enerji üretimi amaçlı kullanılan biyokütle için kullanılan genel bir kavram (yem ve besin maddesi değil) Burada genel olarak mısır, pancar, ot, sorgum veya yeşil çavdar gibi, silajlandıktan sonra enerji üretimi amaçlı bir kullanıma aktarılacak tarımsal hammaddeler söz konusudur.
<b>Organik kuru madde oranı (OKM)</b>	OKM, bir madde karışımının su ve inorganik kısımları yok edilmiş miktarıdır. Genel olarak 105 °C'de kurutulduktan ve ardından 550 °C'de yakıldıktan sonra kalan kısımdır.
<b>Birincil enerji kaynağı [7]</b>	Henüz teknik bir dönüşüme tabi tutulmamış olan, doğrudan veya bir veya birden fazla dönüşümden sonra ikincil enerji veya ikincil enerji kaynağı olarak kullanılabilir olan maddeler veya enerji kaynakları (örneğin taşkömürü, linyit, petrol, biyokütle, rüzgâr gücü, güneş ışınları, jeotermal enerji).
<b>Yükleme oranı [1]</b>	Her gün fermantasyon tesisine yüklenen organik materyal miktarının, fermentör hacmine olan oranı (Birim: kg OKM/(m <sup>3</sup> · d))
<b>Kükürtdioksit (SO<sub>2</sub>) [5]</b>	Renksiz, keskin kokulu gaz. Kükürtdioksit atmosferde bir dizi dönüşüm prosesine tabidir, bunların sonucu olarak örneğin sülfat asidi, sülfürik asit, sülfidler ve diğer maddeler ortaya çıkabilir.
<b>Hidrojen sülfür (H<sub>2</sub>S) [4]</b>	Çok zehirli, renksiz, çürük yumurta kokulu, çok düşük yoğunluklarda bile ölümcül olabilecek bir gaz. Belirli bir yoğunluktan sonra koku alma duyusu felç olur ve gaz artık algılanamaz.
<b>İkincil enerji kaynağı [7]</b>	Teknik tesislerde birincil veya ikincil enerji kaynaklarının ya da enerjilerinin dönüştürülmesiyle hazırlanan enerji kaynağı; örneğin benzin, fuel oil, elektrik enerjisi. Bu esnada dönüştürme ve dağıtım kayıpları oluşur.
<b>Silaj</b>	Laktik asit fermantasyonu ile konserve edilen bitkisel materyal
<b>Siloksan [9]</b>	Organik silisyum bağlantıları, yani silisyum (Si), oksijen (O), karbon (C) ve hidrojen (H) elementlerinin bağlantıları

<b>Azot oksid [8]</b>	Azot monoksit (NO) ve azotdioksit (NO <sub>2</sub> ) gazları NO (azot oksitler) kavramı altında bir araya getirilmiştir. Bütün yanma proseslerinde havadaki azot ile oksijen arasındaki bağlantıların, ayrıca yakıtın içinde bulunan azot içeren bağlantıların oksidasyonu sonucu ortaya çıkarlar.
<b>Materyal [1]</b>	Fermantasyon veya mayalanma için hammadde
<b>Kuru madde oranı (KM)</b>	Bir madde karışımın 105 °C'de kurutulmasından sonra su içermeyen oranı.
<b>U-Değeri (eskiden K-Değeri)<sup>[8]</sup></b>	1 kelvinlik bir ısı farkında bir yapı parçasının 1 metrekarelik kısmından kaybolan ısı miktarı. U-Değeri ne kadar küçük olursa, ısı kayıpları da o kadar az olur.
<b>Bekleme süresi [1]</b>	Materyallerin fermentörde ortalama bulunma süreleri
<b>Tam yük saatleri</b>	Bir tesisin bir yılda tam yükte çalıştığı süre (toplam kullanım saatleri ile ortalama kullanım oranları kullanılarak bir yıllık bir süre zarfında % 100'lük bir kullanım derecesi ile çalışmış gibi hesaplanması ile bulunur).

Kaynaklar:

- [1] VDI-Richtlinie (2006): Vergärung organischer Stoffe - Substratcharakterisierung, Probenahme, Stoffdatenerhebung, Gärversuche. VDI 4630, April 2006, Beuth Verlag GmbH
- [2] Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen (Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz – KrW-/AbfG), 1994/2009, §3 Begriffsbestimmung [http://bundesrecht.juris.de/bundesrecht/krw-\\_abfg/gesamt.pdf](http://bundesrecht.juris.de/bundesrecht/krw-_abfg/gesamt.pdf), Letzter Zugriff: 09.08.2010
- [3] Madigan, Michael T.; Martinko, John M. ; Parker, Jack: Biology of microorganisms. Ausgabe: 9th ed. Erschienen: Upper Saddle River, N.J. [u.a.], Prentice-Hall, 2000, ISBN 0-13-085264-3
- [4] Bundesverband der Landwirtschaftlichen Berufsgenossenschaften (Hrsg.): Technische Information 4 - Sicherheitsregeln für Biogasanlagen, <http://www.lsv.de/fob/66dokumente/info0095.pdf>; Stand 10/2008
- [5] Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit (Hrsg.): Umweltlexikon. [http://www.stmug.bayern.de/service/lexikon/index\\_n.htm](http://www.stmug.bayern.de/service/lexikon/index_n.htm), Letzter Zugriff: 09.08.2010
- [6] Schulz, H. und Eder, B. (2006): Biogas - Praxis. Grundlagen, Planung, Anlagenbau, Beispiele, Wirtschaftlichkeit. 3. vollst. überarb. u. erweiterte Auflage, ökobuch Verlag, Staufen bei Freiburg, ISBN 978-3-936896-13-8
- [7] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) (Hrsg.): Basiswissen Bioenergie - Definitionen der Energiebegriffe. Aus Leitfaden Bioenergie, Herausgeber FNR, Gülzow 2000, <http://www.bio-energie.de/allgemeines/basiswissen/definitionen-der-energiebegriffe/> Letzter Zugriff: 09.08.2010
- [8] KATALYSE Institut für angewandte Umweltforschung e. V. (Hrsg.): Umweltlexikon-Online. <http://www.umweltlexikon-online.de/RUBhome/index.php> , Letzter Zugriff: 09.08.2010
- [9] Umweltbundesamt GmbH (Österreich Anm. d. R.)(Hrsg.): Siloxane <http://www.umweltbundesamt.at/umweltinformation/schadstoff/silox/?&tempL=>, Letzter Zugriff: 09.08.2010



# Kısaltma dizini

Not: Parantez içerisindeki kısaltmalar Türkçe kısaltmaları tanımlamaktadır. Türkçe kısaltmaları olmayan kısaltmalar metin içerisinde aynen korunmuştur.

AGW	İşyeri sınır değeri (eskiden MAK-değer)	g	gram
Akh (Ah)	Saatteki işgücü	ggf.	gerekliyorsa
ASUE	Tasarruflu Ve Çevre Dostu Enerji Tüketimi İçin Çalışma Grubu Derneği.	GPS	Tam bitki silajı
ATB	Bornim Tarım Teknolojisi Enstitüsü	GU	Genel müteşebbis
ATP	Adenozin trifosfat	GV	Büyük hayvan birimi
BGA	Biyogaz tesisi	H <sub>2</sub> S	Hidrojen sülfür
BHKW	kombine ısı ve güç santrali	ha	hektar
BImSchG	Federal Emisyon Koruma Yasası	HRT	hidrolik bekleme süresi
BioAbfV	Biyolojik atık yönetmeliği	inkl.	dahil
B <sub>R</sub>	Yükleme oranı	K	Kelvin
C	Karbon	k.A.	(Very yok)
ca.	yaklaşık	KBE	Bilgi yok
CCM	Corn-Cob-Mix	KTBL	Koloni oluşturan birimler
CH <sub>4</sub>	Metan	KTBL	Tarımda Teknik Ve Yapı İşleri Derneği
C/N	Karbon-Azot oranı	KWK	Güç-ısı kuplajı
Co	Kobalt	l	litre
CO <sub>2</sub>	Karbon dioksit	LKS	Öğütülmüş mısır başağı
CSB	Kimyasal oksijen ihtiyacı	M	Model tesis
d	gün	MDÄ	Mineral gübre eşdeğeri
DBFZ	Alman biyokütle araştırma merkezi	Mg	Magnezyum
DVGW	Gaz Ve Su İşleri Alman Derneği	MK	Süt inekleri
EEG	Yenilenebilir Enerjiler Yasası	Mn	Mangan
el od. elektr.	Elektrikli	Mo	Molibden
EU	Avrupa Birliği	N	Azot
EVU	Enerji tedarik şirketi	NADP	Nikotinamid adenin dinükleotit fosfat
Fe	Demir	NawaRo	Yenilenebilir hammaddeler
FNR	Yenilenebilir Hammaddeler İhtisas Ajansı	NfE	N içermeyen ekstrakt maddeleri
FV	Katı madde fermantasyonu	NH <sub>3</sub>	Amonyak
FM (YM)	Ham mahsul	NH <sub>4</sub>	Amonyum
		Ni	Nikel

Bu kılavuz Türk-Alman Biyogaz Projesi kapsamında hazırlanmıştır.