



Beton für Behälter in Biogasanlagen

Zement-Merkblatt
Landwirtschaft

Bauberatung Zement

Die Nutzung erneuerbarer Energien gewinnt in Deutschland zunehmend an Bedeutung. Für tierhaltende Landwirtschaftsbetriebe kann die Biogasproduktion verbunden mit der Erzeugung von Strom und Wärme eine zusätzliche Einkommensquelle darstellen.

1 Herkunft und Gewinnung von Biogas

Hauptbestandteil der zur Biogaserzeugung notwendigen Biomasse ist in der Landwirtschaft meist Gülle. Neben Gülle können

- Festmist,
- landwirtschaftliche Reststoffe (z.B. Grasschnitt, Stroh),
- Reststoffe der Lebensmittelindustrie (z.B. Fette, Biotreber, Trester, Melasse, Gemüseabfälle),
- Bioabfall sowie
- Rohstoffe von Stilllegungsflächen (z.B. Silomais, Ackergras) eingesetzt werden.

Die in den organischen Substraten gespeicherte Energie wird durch mikrobielle Fermentation (Vergärung, Ausfäulung) nutzbar gemacht, d.h. organische Stoffe (Fette, Kohlenhydrate, Eiweiße) werden durch spezielle Bakterienkulturen in niedermolekulare Bausteine zerlegt und methanreiches, energiereiches Biogas wird freigesetzt. Tafel 1 verdeutlicht die Bandbreite der Zusammensetzung von Biogas. Das Biogas kann in Blockheizkraftwerken verbrannt und verstromt werden. Ausführliche Erläuterungen zur Biogasproduktion enthalten [1], [2] und [3].

2 Anwendungsbereiche für Beton

In Biogasanlagen kommt Beton vor allem für Behälter zum Einsatz:

- Vorlagerbehälter zum Sammeln von Gülle und zum Einmischen von Kofermenten,
- Fermenter (Gärbehälter und Nachgärbehälter) mit Betondeckel oder als Gasspeicher mit Folienabdeckung,
- Lagerbehälter für die Biogasgülle (vergorene Gülle). Stahl- und Spannbetonbehälter eignen sich bei allen Größen

von Biogasanlagen und allen Verfahren (Speicher-Durchfluss-Anlagen, Speichieranlagen, Durchflussanlagen). Möglich sind sowohl Hoch- als auch Tiefbehälter.

Als Vorlagerbehälter und Nachlagerbehälter für die Biogasgülle kommen auch Behälter aus Betonform- und Betonschalungssteinen zur Anwendung.

Im vorliegenden Merkblatt werden nur die Anforderungen beschrieben, die für Biogasanlagen spezifisch sind und über die Anforderungen des üblichen landwirtschaftlichen Behälterbaus (Güllebehälter) hinausgehen. Ausführliche Hinweise zur Planung und Ausführung von landwirtschaftlichen Behältern geben die Zement-Merkblätter Landwirtschaft LB 3 „Beton für landwirtschaftliche Bauvorhaben“ [9] und LB 13 „Dichte Behälter für die Landwirtschaft“ [10].

Tafel 1: Zusammensetzung von Biogas [3]

Inhaltsstoffe	Anteil in Vol.-% ¹⁾
Methan CH ₄	55 ... 75
Kohlendioxid CO ₂	25 ... 45
Schwefelwasserstoff H ₂ S	0,2 ... 0,6
Stickstoff N ₂ Wasserstoff H ₂ Sauerstoff O ₂ Ammoniak NH ₃ Chloride Fluoride	in Spuren

¹⁾ Anteile differieren je nach Gärsubstrat sowie Gärverfahren

3 Beton für Fermenter

3.1 Funktion

Die eigentliche Vergärung (Fermentation, Ausfäulung) erfolgt im Fermenter (Gärbehälter). Die mikrobiellen Abbauprozesse müssen

- unter Luftabschluss und
- ohne Lichteinfall stattfinden. Die Speicherung des Biogases kann im Gasraum



Wärme gedämmte und verkleidete 800-m³-Stahlbetonfermenter einer Durchflussanlage, in der Mitte Raum für Steuer- und Regeltechnik

über dem Gärsubstrat erfolgen (gasdichte Folienabdeckung auf dem Behälter, evtl. mit Unterkonstruktion) oder separat geschehen. Dann werden oft Behälter mit einem Betondeckel abgedeckt.

Der Temperaturbereich der Vergärung liegt bei 25 °C bis 40 °C (mesophile Anlagen) oder bei 40 °C bis 55 °C (thermophile Anlagen). Zur Sicherung der Prozesstemperatur und zur Verminderung von Wärmeverlusten erhalten die Fermenter i.d.R. eine nagerfeste und feuchteunempfindliche Wärmedämmung (im Erdreich Perimeterdämmung) und eine Verkleidung. In die Bodenplatte kann ein Warmwasserheizsystem integriert werden (eingelegte Heizschlangen).

3.2 Bemessung

Bei der Bemessung der Behälter sind folgende Beanspruchungen zu berücksichtigen:

- Eigenlasten des Betons,
- Lasten durch die maschinentechnische Ausrüstung,
- Lasten aus Gärsubstratfüllung,
- Erddruck bei Tiefbehältern oder Erdanschüttung,
- Zwangsspannungen aus Hydratation (Betonhärtung) und Temperaturschwankungen,
- Auftriebskräfte,
- Rissbreitenbeschränkung auf eine rechnerische Rissbreite von $\leq 0,15$ mm.

Behördlicherseits wird oft ein Leckerkennungssystem gefordert. Die Behältersohle steht dann meist in einem Wasserbad, da die Dichtungsbahnen für die Leckerkennung praktisch nicht dicht an die Behälterwand angeschlossen werden können und Regenwasser in die Leckerkennungsebene läuft. Dies ist besonders bei leeren Behältern im Winter (Frost) und bei in einen Hang gebauten Behältern zu beachten.

3.3 Chemische Beanspruchung des Betons

Die Gärsubstrate üben bei den genannten Temperaturen einen schwachen bis starken chemischen Angriff auf Beton aus. Das sich bildende Biogas im Gasraum über dem Substrat enthält Schwefelwasserstoff H_2S , Tafel 1. Schwefelwasserstoff verursacht Probleme bei der Arbeitssicherheit und die Korrosion von Bau- und Werkstoffen. Insbesondere sinkt die Lebensdauer der Biogasmotoren bei höheren H_2S -Gehalten deutlich. Erhöhte Schwefelwasserstoffgehalte führen auch zu erhöhten Wartungskosten (spezielle Motorenöle mit hoher Basenzahl, häufiger Ölwechsel) sowie zu einem aus Umweltgründen unerwünschten höherem Schwefeldioxidgehalt im Abgas der Motoren.

Schwefelwasserstoff ist giftig und kann bei höherer Konzentration lebensgefährlich und explosiv sein.

Auf den Oberflächen der Bauteile und der Ausrüstungstechnik können sich Schwefelbakterien ansiedeln, die zu einem sehr

Tafel 2: Anforderung an Beton für Biogasbehälter

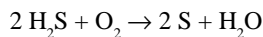
Anforderung	Fermenter, geschlossene Nachgärbehälter	Vorlagerbehälter, offene Nachlagerbehälter
Betonfestigkeitsklasse	$\geq B 35$	$\geq B 25$
besondere Betoneigenschaften nach DIN 1045	<input type="checkbox"/> Wasserundurchlässigkeit <input type="checkbox"/> hoher Frostwiderstand (bei nicht wärmegeämmten Behältern) <input type="checkbox"/> hoher Widerstand gegen starken chemischen Angriff (im Gasraum Beschichtung oder Auskleidung) <input type="checkbox"/> hoher Sulfatwiderstand	<input type="checkbox"/> Wasserundurchlässigkeit <input type="checkbox"/> hoher Frostwiderstand <input type="checkbox"/> hoher Widerstand gegen schwachen chemischen Angriff
zusätzliche Betoneigenschaft	<input type="checkbox"/> Gasdichtigkeit (erfüllt, wenn $w/z \leq 0,50$)	
Zementleimgehalt	≤ 290 l/m ³	≤ 290 l/m ³
Zuschlag		eFT (frostunbeständige Bestandteile ≤ 1 M.-%)
<input type="checkbox"/> Größtkorn <input type="checkbox"/> Kornzusammensetzung <input type="checkbox"/> bei Verwendung von alkaliempfindlichem Zuschlag [8]: - Zuschlag E II-O - Zuschlag E II-OF und $z > 330$ kg/m ³ - Zuschlag E III-O - Zuschlag E III-OF und $z > 330$ kg/m ³ - Zuschlag E III-G	16 mm oder 22 mm Sieblinie A/B Zement mit niedrigem Alkaligehalt (NA) Zement mit niedrigem Alkaligehalt (NA) unzulässig, Zuschlag austauschen unzulässig, Zuschlag austauschen für $z \leq 350$ kg/m ³ : NA Zement ¹⁾ für $z > 350$ kg/m ³ : unzulässig, Zuschlag austauschen	
Mehlkorngehalt ($\leq 0,125$ mm)	≤ 400 kg/m ³	350 kg/m ³ ... 380 kg/m ³
Wassermenge ²⁾	$\leq 0,50$	$\leq 0,60$
Konsistenz	Regelkonsistenz KR, Konsistenz mit Betonverflüssiger oder Fließmittel einstellen	
Wassereindringtiefe nach DIN 1048	$e_w \leq 30$ mm	$e_w \leq 50$ mm
Betondeckung der Bewehrung	innen außen	innen außen
<input type="checkbox"/> Mindestmaß min c	4,0 cm 2,5 cm	2,5 cm 2,5 cm
<input type="checkbox"/> Nennmaß nom c	5,0 cm 3,5 cm	3,5 cm 3,5 cm
rechnerische Rissbreitenbeschränkung	$w_{cal} \leq 0,15$ mm	
Nachbehandlung [7]	Mindestnachbehandlungszeiten nach der Richtlinie „Nachbehandlung von Beton“ verdoppeln, i.d.R. mindestens eine Woche	entsprechend der Richtlinie „Nachbehandlung von Beton“
Qualitätssicherung	Eigen- und Fremdüberwachung für Beton B II	

¹⁾ oder gleichwertig zugelassener Zement

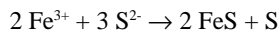
²⁾ Zur Berücksichtigung von Streuungen während der Betonherstellung sollte bei der Festlegung der Betonzusammensetzung ein 0,03 ... 0,05 niedrigerer Wassermenge zugrunde gelegt werden.

starken Säureangriff auf Zementmörtel, Beton und auf fast alle metallischen Werkstoffe führen. Ausführliche Erläuterungen zur Wirkungsweise dieses chemischen Angriffs können [11] entnommen werden.

Eine Entschwefelung des Biogases ist daher unbedingt erforderlich. Sinnvoll ist eine Entschwefelung am Ort der Schwefelwasserstoffentwicklung, d.h. direkt im Fermenter, um Fermenter und Betriebseinrichtungen (Pumpen, Rührwerk, Rohrleitungen) vor Korrosion zu schützen. Bewährt hat sich das Einblasen von 3 Vol.-% bis 8 Vol.-% Frischluft der erzeugten Biogasmenge, z.B. über Aquariumpumpen. Um das richtige Luftvolumen einzublasen, muss die erzeugte Gasmenge gemessen und der Schwefelwasserstoffgehalt im Gas bekannt sein. Dabei wird Schwefelwasserstoff zu unlöslichem Schwefel umgesetzt, der im Gärsubstrat verbleibt und damit der Düngung zur Verfügung steht:



Alternativ kann dem Gärsubstrat dreiwertiges Eisen (z.B. als Eisen-III-Chlorid) zugesetzt werden, so dass es nicht zur Freisetzung von Schwefelwasserstoff kommt:



Aufgrund der geschilderten Beanspruchung sind Fermenter aus einem Beton, der einen hohen Widerstand gegen starken chemischen Angriff aufweist und sulfatbeständigen Zement enthält (HS-Zement), herzustellen. Bei fehlender oder unzureichender Entschwefelung kann es im Gasraum zu einem sehr starken chemischen Angriff kommen. Im Gasraum sollte der Beton deswegen durch eine Beschichtung oder Auskleidung zusätzlich geschützt werden. Tafel 2 enthält Anforderungen an Beton für Biogasanlagen und seine Verarbeitung.

3.4 Gasdichtigkeit

Die erforderliche Gasdichtigkeit des Betons ist gegeben, wenn der Wasserzementwert $w/z \leq 0,50$ eingehalten und eine fachgerechte Verarbeitung (gute Verdichtung, keine Kiesnester) sowie

eine ausreichende Nachbehandlung gesichert werden [4]. Bei Behältern mit Betondeckel ist die Arbeitsfuge Decke/Wand analog zur Arbeitsfuge Sohle/Wand abzudichten, z.B. durch den Einbau von Fugenblechen oder -bändern.

4 Vor- und Nachlagerbehälter

Behälter zum Sammeln von Gülle und zum Einmischen von Kofermenten sowie Lagerbehälter für die ausgefaulten Substrate können nach den Regeln für Güllebehälter geplant und gebaut werden. Ausführliche Hinweise gibt das Zement-Merkblatt LB 13 „Dichte Behälter für die Landwirtschaft“ [10]. Einen Überblick über die stofflichen und technologischen Anforderungen gibt Tafel 2.

Literatur

- [1] Biogas. Bauen für die Landwirtschaft 37 (2000) H. 3
- [2] Biogaserzeugung und -verwertung. Beratungsunterlagen. Böhlitz-Ehrenberg: Sächsische Landesanstalt für Landtechnik, 1999
- [3] Biogas. Verwertung und Aufbereitung. ATV-Schriftenreihe, Bd. 9, Hennef: Abwassertechnische Vereinigung, 1997
- [4] Jacobs, F.: Dauerhaftigkeitseigenschaften von Betonen. beton 40 (1999) H. 5, S. 276 – 282
- [5] DIN 1045: Beton und Stahlbeton. Bemessung und Ausführung
- [6] DIN 11622: Gäruttersilos und Güllebehälter. Bemessung, Ausführung und Beschaffenheit
- [7] Richtlinie zur Nachbehandlung von Beton. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb)
- [8] Alkali-Richtlinie. Vorbeugende Maßnahmen gegen schädigende Alkalireaktion in Beton. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb)
- [9] Zement-Merkblatt Landwirtschaft LB 3: Beton für landwirtschaftliche Bauvorhaben. Bauberatung Zement
- [10] Zement-Merkblatt Landwirtschaft LB 13: Dichte Behälter für die Landwirtschaft. Bauberatung Zement
- [11] Zement-Merkblatt Tiefbau T 3: Sulfide in Abwasseranlagen. Bauberatung Zement

Thomas Richter

Bauberatung Zement

Wir beraten Sie in allen Fragen der Betonanwendung

Bauberatung Zement Bayern	Rosenheimer Str. 145 g	81671 München	Tel. 089/45098490	Fax: 45098498	eMail:BB_Muenchen@BDZement.de
Bauberatung Zement Bayern	Bucher Straße 3	90419 Nürnberg	Tel. 0911/93387-0	Fax: 9338733	eMail:BB_Nuernberg@BDZement.de
Bauberatung Zement Beckum	Annastraße 3	59269 Beckum	Tel. 02521/ 873020	Fax: 873029	eMail:BB_Beckum@BDZement.de
Bauberatung Zement Düsseldorf	Schadowstraße 44	40212 Düsseldorf	Tel. 0211/353001	Fax: 353002	eMail:BB_Duesseldorf@BDZement.de
Bauberatung Zement Hamburg	Immenhof 2	22087 Hamburg	Tel. 040/2276878	Fax: 224621	eMail:BB_Hamburg@BDZement.de
Bauberatung Zement Hannover	Hannoversche Str. 21	31319 Sehnde-Höver	Tel. 05132/6015	Fax: 6075	eMail:BB_Hannover@BDZement.de
Bauberatung Zement Ost	Luisenstraße 44	10117 Berlin-Mitte	Tel. 030/28002-400	Fax: 28002450	eMail:BB_Berlin@BDZement.de
Bauberatung Zement Ost	Dohnanystr. 28-30	04103 Leipzig	Tel. 0341/6010201	Fax: 6010290	eMail:BB_Leipzig@BDZement.de
Bauberatung Zement Stuttgart	Leonberger Straße 45	71229 Leonberg	Tel. 07152/71081-82	Fax: 977270	eMail:BB_Stuttgart@BDZement.de
Bauberatung Zement Wiesbaden	Friedrich-Bergius-Str. 7	65203 Wiesbaden	Tel. 0611/1821170	Fax: 182117-16	eMail:BB_Wiesbaden@BDZement.de

09.00

Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e.V. · Postfach 510566 · 50941 Köln · <http://www.BDZement.de> · eMail:BDZ@BDZement.de

Unsere Beratung erfolgt unentgeltlich. Auskünfte, Ratschläge und Hinweise geben wir nach bestem Wissen. Wir haften hierfür – auch für eine pflichtwidrige Unterlassung – nur bei grobem Verschulden, es sei denn, eine Beratung wird im Einzelfall vom Empfänger unter Hinweis auf besondere Bedeutung schriftlich erbeten und erteilt.

Nr. LB 14 BB Leipzig / Dr.-Ing. Thomas Richter 02.01/8

Beton
Es kommt drauf an, was man draus macht.