

Die Nutzung erneuerbarer Energien gewinnt in Deutschland zunehmend an Bedeutung. Die Energiegewinnung durch Vergärung organischer Materialien ist seit langem bekannt. Eine nennenswerte Nutzung der Vergärung im landwirtschaftlichen Bereich ist seit Anfang der 1990er Jahre zu beobachten. Für 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 war bisher i. d. R. Gülle aus der landwirtschaftlichen Tierproduktion. Zunehmend werden speziell für die Biogaserzeugung angebaute nachwachsende Rohstoffe verwendet, kurz NawaRo genannt. Das kann z. B. „Energie“mais sein. Daneben können andere Reststoffe aus dem landwirtschaftlichen Betriebskreislauf, wie Festmist, Stroh, Rübenblatt, Gemüseabfälle oder Grüngut, eingesetzt werden. Die Mitvergärung anderer organischer Stoffe (Cofermentation), z. B. Reststoffe der Lebensmittelindustrie (Fette, Biotreber, Trester, Melasse, Bioabfall aus der Kommunalentsorgung), ist möglich [1]. Zu beachten sind verschiedene gesetzliche Rahmenbedingungen auf Bundes- und Landesebene bei der Genehmigung von Biogasanlagen.

Die in den organischen Substraten gespeicherte Energie wird durch mikrobielle Fermentation (Vergärung, Ausfäulung) unter Luftabschluss bei 25 °C bis 55 °C nutzbar gemacht. Organische Stoffe (Fette, Kohlenhydrate, Eiweiße) werden durch Bakterienkulturen in niedermolekulare Bausteine zerlegt. Dabei wird methanhaltiges, energiereiches Biogas freigesetzt. Bild 1 zeigt schematisch den stofflichen Vorgang beim Vergären. Tafel 1 verdeutlicht die chemische Zusammensetzung des entstehenden Biogases. Das Biogas kann in Blockheizkraftwerken verbrannt und in elektrische

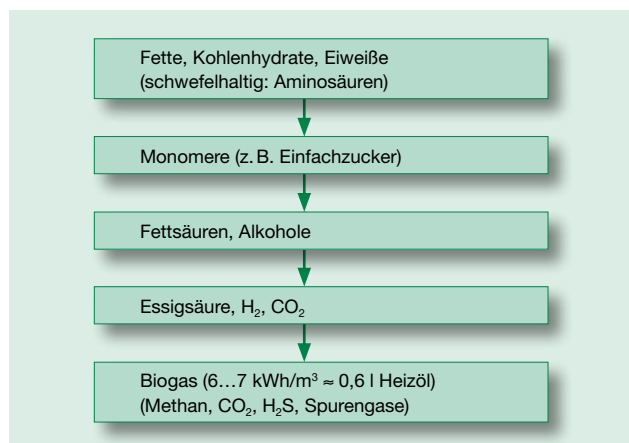


Bild 1: Stofflicher Ablauf der Biogaserzeugung durch Vergärung (vereinfacht)

Tafel 1: Zusammensetzung von Biogas

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

<sup>1)</sup> Anteile differieren je nach Gärsubstrat sowie Gärverfahren.

und thermische Energie umgewandelt werden. Möglich ist auch – nach entsprechender Aufbereitung des Gases – die Einspeisung ins Erdgasnetz oder die Verwendung als Treibstoff für gasbetriebene Fahrzeuge [2].

## 2 Anwendungsbereiche für Beton

In Biogasanlagen kommt Beton vor allem im Behälterbau zum Einsatz:

- Vorlagerbehälter zum Sammeln von Gülle und zum Einmischen von Cofermentaten, oft Cofermente genannt
- Biogasfermenter (Gärbehälter und Nachgärbehälter) mit Behälterdecke oder bei Gasspeicherung mit Folienabdeckung
- Lagerbehälter für vergorenes Substrat

Stahl- und Spannbetonbehälter in Ortbeton- und Betonfertigteilmontage eignen sich für alle Größen von Biogasanlagen bei den derzeit üblichen Verfahren (Speicher-Durchfluss-Anlagen, Speicheranlagen, Durchflussanlagen). Möglich sind sowohl Hoch- als auch Tiefbehälter. Als offene Vor- und Nachlagerbehälter eignen sich auch Hochbehälter aus Betonform- oder Betonschalungssteinen.

## 3 Beton für Biogasfermenter

### 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 entstehenden Biogases kann im Gasraum über dem Gärsubstrat erfolgen (gasdichte Folienabdeckung mit Unterkonstruktion) oder separat geschehen, Bilder 2 und 3. Dann werden die Behälter oft mit einer Betondecke geschlossen.

Der Temperaturbereich der Vergärung liegt bei 25 °C bis 55 °C (so genannte mesophile bzw. thermophile Anlagen). Zur Sicherung der Prozesstemperatur erhalten die Fermenter i. d. R. eine nagerfeste und feuchteunempfindliche Wärmedämmung (im Erdreich Perimeterdämmung) und eine Verklei-



Bild 2: Biogasfermenter mit Foliendach



Bild 3: Biogasfermenter mit Betondecke

dung. Werden im Gasbereich Wärmedämmungen im Behälterinneren angeordnet, müssen diese zusätzlich beständig gegen Säure- und Sulfatangriff sowie mikrobielle Einwirkungen sein. In die Bodenplatte oder Wände können Warmwassersysteme zur Aufheizung des Behälters integriert werden (eingelegte Heizschlangen). Alternativ kommen Heizschlangen im Gärsubstrat (vor den Behälterwänden liegend) zum Einsatz.

### 3.2 Bemessung

Bei der Tragwerksplanung der Behälter nach DIN 1045-1 [3] bzw. DIN EN 1992-3 [4] sind u. a. folgende Einwirkungen nach DIN 1055 [5] bzw. in Anlehnung an DIN 11622-1 [6] zu berücksichtigen:

- Eigenlasten des Betons
- Lasten durch die maschinentechnische Ausrüstung
- Lasten aus der Gärsubstratfüllung
- Lasten aus der Abdeckung des Behälters
- Erddruck bei Tiefbehältern oder Erdanschüttung
- Zwangsspannungen aus Hydratation (Betonhärtung) und Temperaturschwankungen
- Zwangsspannungen beim Aufheizen des Behälters
- temporäre Bauzustände im Winter (Frost)
- Auftrieb
- Verhinderung des Gleitens bei Behältern in Hanglage
- Rissbreitenbeschränkung (Dichtheit)
- Über- bzw. Unterdruck im Fermenter
- Einwirkungen infolge Erdbeben (standortabhängig)

Behördlicherseits wird i. d. R. ein Leckererkennungssystem unter den Behältern gefordert. Dies ist bei der Bemessung insbesondere von Behältern in Hanglage zu berücksichtigen (Gleitsicherheitsnachweis). Außerdem kann die Sohle im Wasser stehen, wenn die Dichtungsbahnen für die Leckererkennung nicht dicht an die Behälterwand angeschlossen sind.

Beim Ausfall der Rührwerke im Fermenter (Havarie, Stromausfall) kann aufgrund des behinderten Gasaustritts aus dem Gärsubstrat der Füllstand des Behälters bis zum Überlaufen ansteigen. Hierdurch entsteht ein deutlicher Überdruck auf die Wände und gegebenenfalls auf festverbundene starre Abdeckungen. Wenn die Behälter dafür nicht bemessen werden, sind konstruktive Maßnahmen (Sollbruchstellen, Überlauföffnungen) vorzusehen, um weitergehende Schäden, die bis zum Einsturz des Tragwerks führen können, zu vermeiden.

### 3.3 Chemische Beanspruchung des Betons, Dauerhaftigkeit

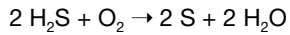
Die landwirtschaftlichen Gärsubstrate und ihre Abbauprodukte stellen im flüssigkeitsberührten Bereich eine chemisch schwach angreifende Umgebung für Beton dar (Expositionsklasse XA1). Werden zur Biogasfermentation organische Stoffe eingesetzt, die ihren Ursprung außerhalb des landwirtschaftlichen Produktionskreislaufs haben, ist im Einzelfall über den Betonangriff zu entscheiden.

In den Ausgangsstoffen zur Biogasfermentation können die als Bestandteil von Eiweißen (Proteinen) vorhandenen Aminosäuren eine wesentliche Quelle für Schwefelverbindungen sein. Gärsubstrate aus Mais oder Gras enthalten geringe Anteile an Proteinen. Deutlich höhere Gehalte besitzen Rinder- und Schweinegülle und insbesondere Hühnermist. Bei NawaRos können Schwefeldüngungen zu deutlichen Erhöhungen der Schwefelanteile im Gärsubstrat führen.

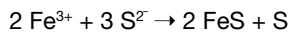
Das sich im Gasraum über dem Substrat bildende Biogas enthält Schwefelwasserstoff  $H_2S$ , Bild 4. Schwefelwasserstoff ist giftig und wird bei höherer Konzentration lebensgefährlich und explosiv. Die Bildung von Schwefelsäure und schwefliger Säure kann zur Korrosion von Bau- und Werkstoffen führen, Bilder 4 und 5. Die Lebensdauer der Biogasgeneratoren zur Stromerzeugung sinkt bei höheren Schwefelwasserstoffgehalten im Brenngas deutlich. Hohe Schwefelwasserstoffgehalte führen zu erhöhten Wartungskosten der Generatoren sowie im Abgas der Generatoren zu höherem Schwefeldioxidgehalt.

Thiobakterien wandeln Schwefelverbindungen und Schwefel in Schwefelsäure um. Dies führt zu einem Säureangriff auf Beton, Zementmörtel und fast alle metallischen Werkstoffe. Bei höheren Temperaturen beschleunigt sich die Säurebildung sehr stark. Ausführliche Erläuterungen zu Sulfidproblemen und zur Wirkungsweise der so genannten biogenen Schwefelsäurekorrosion enthält [7].

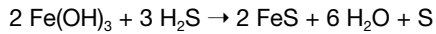
Die Entschwefelung des Biogases ist daher unbedingt erforderlich. Häufig eingesetzt wird die Entschwefelung im Gasraum des Fermenters durch Einblasen von 3 bis 8 Vol.-% Frischluft, bezogen auf die erzeugte Biogasmenge. Um das richtige Luftvolumen einzublasen, muss die erzeugte Gasmenge gemessen und der Schwefelwasserstoffgehalt im Gas bekannt sein. Chemisch wird Schwefelwasserstoff zu unlöslichem Schwefel umgesetzt:



Alternativ kann dem Gärsubstrat dreiwertiges Eisen (z. B. 3,2 g Eisen-III-chlorid/g  $\text{H}_2\text{S}$ ) zugesetzt werden, so dass es nicht zur Freisetzung von Schwefelwasserstoff aus dem Gärsubstrat kommt:



Weitere Möglichkeiten der Entschwefelung bestehen bei der Leitung von Biogas durch Eisenkies (2,1 g  $\text{Fe}(\text{OH})_3/\text{g H}_2\text{S}$ ):



oder durch Aktivkohle unter Sauerstoffzufuhr, wobei die Aktivkohle als Katalysator fungiert:



Selten angewendet wird die Nassentschwefelung, d. h. die Lösung von  $\text{H}_2\text{S}$  in Waschflüssigkeit.

Wenn die Entschwefelung im Gasraum unvollständig erfolgt oder bei ungleichmäßiger Verteilung des zugeführten Sauerstoffs im Gasraum geringe Mengen Sauerstoff im Gasraum verbleiben, muss mit einem starken chemischen Angriff auf den Beton im Gasraum gerechnet werden, es können Sulfidprobleme und damit biogene Schwefelsäurekorrosion auftreten. Der Beton ist damit der Expositionsklasse XA3 zuzuordnen, die einen Schutz des Betons (z. B. durch geeignete Beschichtungen oder Auskleidungen) erforderlich macht und einen hochwertigen Beton fordert, Bild 6. Hintergrund ist, dass Beschichtungen im Allgemeinen kürzere Lebensdauern als das Betontragwerk selbst

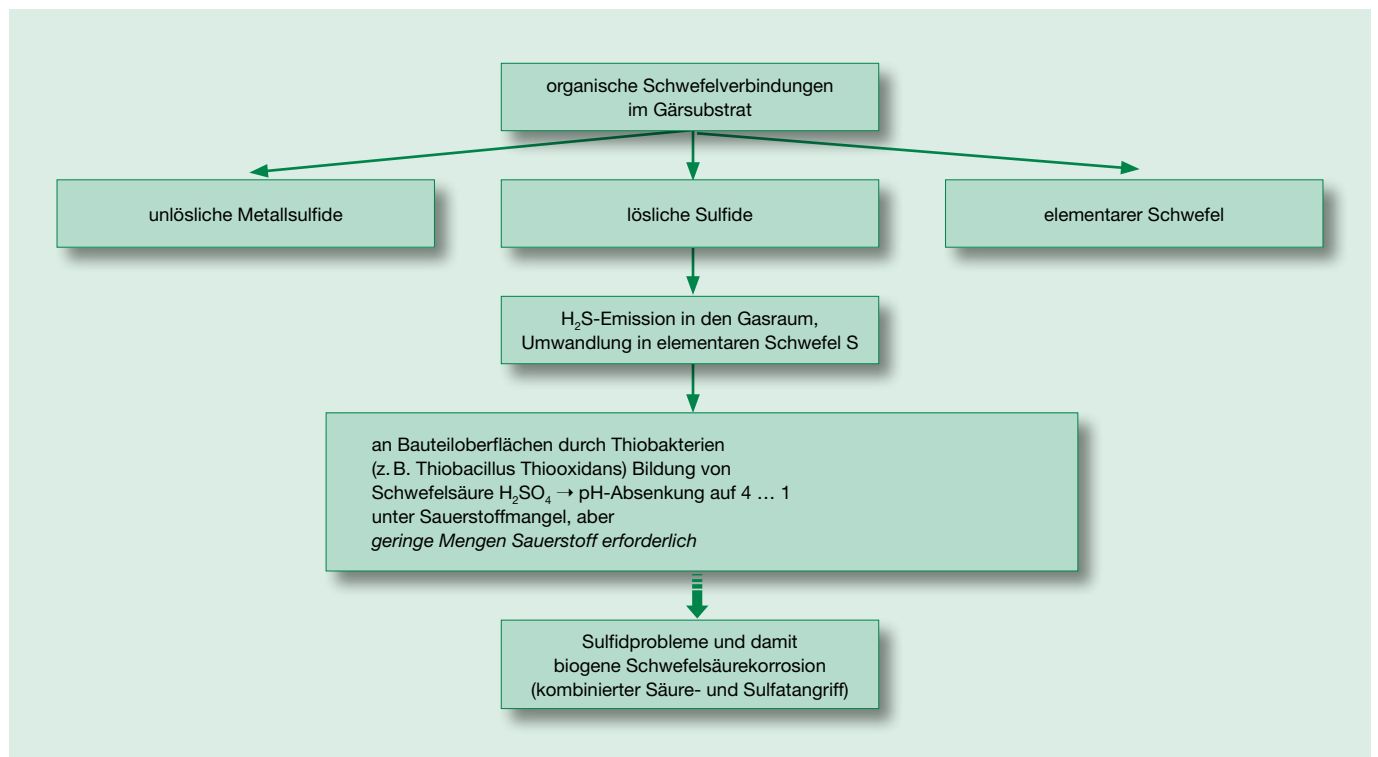


Bild 4: Chemische Prozesse beim Vergären, die zu Sulfidproblemen und damit zur biogenen Schwefelsäurekorrosion führen können

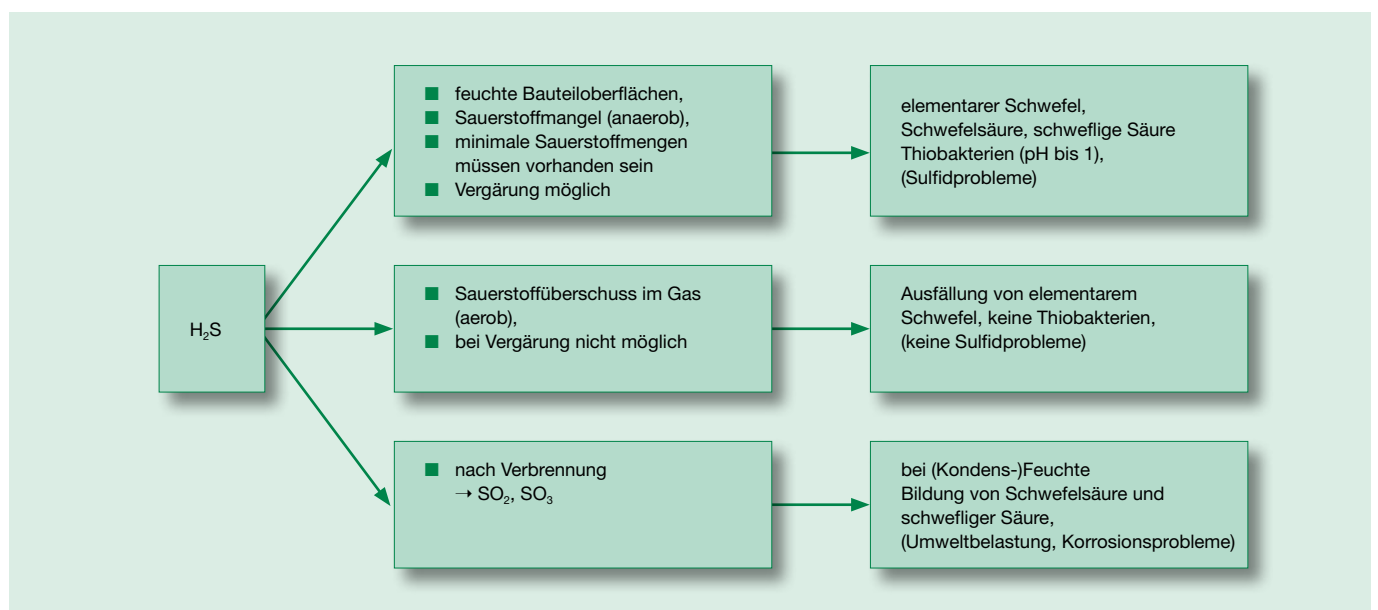


Bild 5: Verhalten von Schwefelwasserstoff im Gasraum bei unterschiedlichen Randbedingungen



Bild 6: Beschichtung und Wärmedämmung im Fermentergasraum

aufweisen. Bei Fehlstellen oder Alterungserscheinungen der Beschichtung muss der dann ungeschützte Beton zumindest für eine gewisse Zeitspanne widerstandsfähig gegen die Säure- und Sulfatbeanspruchung sein. Der Einsatz von Zementen mit hohem Sulfatwiderstand (HS-Zemente, zukünftig SR-Zemente) hemmt und verlangsamt die biogene Schwefelsäurekorrosion.

Alternativ kann konstruktiv eine Trennung von Tragfunktion (Beton) und Abdichtungsfunktion (z. B. durch Auskleidung) vorgenommen werden, wenn Tragkonstruktion und Abdichtung eine gleichwertige Nutzungsdauer besitzen. Beton wird dann keinem chemischen Angriff ausgesetzt. Bei Foliendächern kann die innere Folie bis in das Gärsubstrat geführt werden und an der Behälterinnenwand mit Edelstahl der Widerstandsklasse III nach bauaufsichtlicher Zulassung angeflanscht werden. Damit wird die Betonwand im Gasbereich vor biogener Schwefelsäurekorrosion geschützt und gleichzeitig das Abfließen von sauren, korrosiven Kondensaten vom Foliendach auf die Betonoberfläche verhindert.

Auf Schutzmaßnahmen im Gasbereich kann verzichtet werden (und die Expositionsklasse für den chemischen Angriff auf Beton abgemindert werden), wenn unter Berücksichtigung der konkreten Verfahrenstechnik und der eingesetzten Gärsubstrate ein starker chemischer Angriff auf Beton ausgeschlossen werden kann. Diese Voraussetzungen müssen für die Nutzungsdauer des Fermenters gegeben sein.

Damit ergeben sich folgende Mindestanforderungen für Beton in Biogasfermentern

- Gärsubstrat (Flüssigphase) in Anlehnung an DIN 11622-2 [8]
  - a) XA1 chemisch schwach angreifende Umgebung für landwirtschaftliche Gärsubstrate;
  - b) bei zweistufig betriebenen Anlagen mit räumlicher Trennung von Hydrolyse/Versäuerung und Essigsäure-/Methanbildung ist für Hydrolyse/Versäuerung XA2 chemisch mäßig angreifende Umgebung maßgebend [9]
  - c) bei Cofermentaten ist der chemische Angriff im Einzelfall festzulegen

- XC2 Bewehrungskorrosion durch Karbonatisierung (innen, Betondeckung entsprechend XC4 in Anlehnung an DIN 11622-2, Abschnitt 3), XC3 (außen, unter Wärmedämmung)
- WA Betonkorrosion infolge Alkali-Kieselsäure-Reaktion bei Gärsubstrat Gülle; WF, wenn Gärsubstrate keine Alkalien enthalten
- Beton mit hohem Wassereindringwiderstand
- Rechenwert der Rissbreite nach DIN 1045-1 [3] bzw. DIN EN 1992-3 [4]
- Überwachungsklasse ÜK2

#### ■ Gasphase

- a) XA3 chemisch stark angreifende Umgebung (mit Schutz des Betons),
- b) alternativ Trennung von Trag- und Schutzschicht (z. B. chemisch beständige Auskleidung mit gleicher Nutzungsdauer wie der Betonbehälter)
- c) besondere verfahrenstechnische und betriebliche Maßnahmen zur Vermeidung von biogener Schwefelsäurekorrosion (dann ist eine geringere XA-Einstufung möglich)
- XC3 Bewehrungskorrosion durch Karbonatisierung (innen, Betondeckung entsprechend XC4 in Anlehnung an DIN 11622-2, Abschnitt 3 [8]), XC3 (außen, unter Wärmedämmung), XC4, XF1 (außen, direkt bewittert)
- WF Betonkorrosion infolge Alkali-Kieselsäure-Reaktion
- Beton mit hohem Wassereindringwiderstand und hoher Gasdichtheit ( $w/z \leq 0,45$ )
- Rechenwert der Rissbreite nach DIN 1045-1 [3] sowie in Abhängigkeit von der gewählten Lösung zur Sicherung der Gasdichtheit (z. B. rissüberbrückende Beschichtung, Auskleidung, planmäßiges Schließen von (Trenn-)Rissen)
- Überwachungsklasse ÜK2

Im flüssigkeitsberührten Raum (XA1) bedeutet dies eine Betondruckfestigkeitsklasse  $\geq C25/30$ , im Gasbereich (XA3)  $\geq C35/45$  bzw.  $\geq C30/37$  (LP) bei frostbeaufschlagten Bauteilen. Bei Trennung von Trag- und Dichtungsschicht im Gasraum oder technologischen Maßnahmen zur Vermeidung von biogener Schwefelsäurekorrosion kann nach Bewertung im Einzelfall die Mindest-Druckfestigkeitsklasse abgemindert werden [10].

Im flüssigkeitsberührten Bereich von Ortbetonbehältern wird die Rissbreitenbeschränkung häufig unter Nutzung der so genannten Selbstheilung des Betons festgelegt. Diese betontypische Eigenschaft bedeutet, dass Risse geringer Breite sich beim Durchfließen mit Wasser oder Gülle selbsttätig abdichten [11]. Die Selbstheilung kann je nach Randbedingungen (vorhandene Rissbreiten, Wanddicke, Wasserdruck, Temperatur) bis zu sechs Wochen bei Wasservollfüllung des Behälters benötigen. Nach dieser Zeit noch wasserführende Risse müssen durch Injektion abgedichtet werden [10].

Nach DIN 1045-2 [12] gilt „bei chemischem Angriff der Expositionsklasse XA3 oder stärker sind Schutzmaßnahmen für den Beton erforderlich – wie Schutzschichten oder dauerhafte Bekleidungen – wenn nicht ein Gutachten eine andere Lösung vorschlägt“.

Mit Hochleistungsbetonen mit erhöhtem Säurewiderstand ist eine deutliche Verbesserung des Säure- und Sulfatwiderstands möglich. Betontechnologisch bestehen verschiedene Wege, den Säurewiderstand zu erhöhen, z. B.



- hohe Betondruckfestigkeiten
- geringe Wasserzementwerte
- hüttensandhaltige Zemente
- Zusatz von Steinkohlenflugasche bzw. Mikrosilika
- Optimierung der Packungsdichte von Gesteinskörnungen, Bindemittel und Zusatzstoffen

Die Leistungskriterien des Betons mit erhöhtem Säurewiderstand (z. B. Widerstand gegen minimale pH-Werte und Sulfatwiderstand) sind im Einzelfall zu vereinbaren [9, 12, 13]. Unter Berücksichtigung der anlagenspezifischen Bedingungen kann im Einzelfall auf Schutzmaßnahmen im Gasbereich der Fermenter verzichtet werden.

### 3.4 Beton-Fertigteilbehälter

Bei Beton-Fertigteilbehältern treten auf Grund der zwängungs-freien Erhärtung der Fertigteile i. d. R. keine Trennrisse auf. Die Nutzung der Selbstheilung ist damit nicht erforderlich, die Bauzeit kann deutlich verkürzt werden. Die Vorfertigung im Werk ermöglicht hohe Betonqualität und Maßgenauigkeit. Das werkseitige Einbetonieren der Heizung sowie von Anschlüssen (z. B. für Rührwerke, Feststoffzufuhr oder Rohrdurchführungen) ist möglich. Die Wärmedämmung kann in die Fertigteile integriert werden (Sandwich-Bauweise).

### 3.5 Gasdichtheit

Voraussetzung für die Gasdichtheit des Behälters ist im Regelfall ein Beton mit einem Wasserzementwert  $w/z \leq 0,45$  sowie eine fachgerechte Verarbeitung und Nachbehandlung [15]. Gasdurchlässige Trennrisse müssen geschlossen werden. Die Gasdichtheit kann auch durch Beschichtungen und Auskleidungen unterstützt werden. Verfahrensbedingt auftretende Über- und Unterdrücke können im Einzelfall zusätzliche Maßnahmen erfordern. Mit einer Selbstheilung von Rissen kann im Gasbereich nicht gerechnet werden.

## ■ 4 Konstruktive Durchbildung

In Anlehnung an DIN 11622-1 [6] sind die Bauteile mindestens 18 cm dick auszuführen.

Alle Bauwerksfugen und Durchdringungen sind wasserundurchlässig (flüssigkeitsberührter Bereich) bzw. gasundurchlässig (Gasraum) auszubilden. Die erforderlichen Verwendbarkeitsnachweise der Fugenabdichtungen sind z.B. in [16] beschrieben.

Die Sicherheitsregeln der Berufsgenossenschaft sind zu beachten [17]. Hinweise für die verfahrenstechnische Auslegung von Biogasanlagen und die notwendigen Anlagenkomponenten geben z. B. [18, 19, 20].

## ■ 5 Beton für Vor- und Nachlagerbehälter sowie Nachgärbehälter

Behälter zum Sammeln und Vorlagern von Gülle, Gärfutter und anderen organischen Stoffen des landwirtschaftlichen Betriebskreislaufs sowie Lagerbehälter für die ausgefaulten Substrate können nach den Regeln für Güllebehälter und Gärfuttersilos

DIN 11622-2 [8] geplant und gebaut werden. Bei Verwendung anderer organischer Stoffe (Cofermentate) ist die Festlegung über DIN 11622-2 hinausgehender Maßnahmen im Einzelfall zu prüfen (z. B. Einstufung XA, Rissbreitenbeschränkung). Nachgärbehälter (geschlossen) sind wie Fermenter auszuführen.

## ■ 6 Eintragsbunker und Vorratsbehälter für Biomasse

Feste Gärsubstrate (z.B. Silage) können über Eintragsbunker, Vorratsbehälter und Schiebeböden in den Fermenter dosiert werden. In den oben offenen Bunkern ist die Silage der Witterung ausgesetzt. Bei Regen werden Gärsäuren aus der Silage ausgewaschen und beanspruchen chemisch die Betonoberfläche. Dabei ist zu beachten, dass bei organischen Säuren die Aggressivität bei Verdünnung wächst. Zusätzlich verschärfen verdünnte Gärsäuren den Frostangriff.

Für die Bunkerwände in Kontakt mit Silage ergeben sich folgende Mindestanforderungen an den Beton:

- XA3 chemisch stark angreifende Umgebung (mit Schutz des Betons)
- XC4 Bewehrungskorrosion durch Karbonatisierung
- XF1 Frostangriff mit mäßiger Wassersättigung
- WF Betonkorrosion infolge Alkali-Kieselsäure-Reaktion
- Betondruckfestigkeitsklasse  $\geq C 35/45$
- Überwachungskategorie ÜK2

Bei Dosierung von Natriumchlorid (Siedesalz) zur Verbesserung der Homogenisierung im Fermenter sind zusätzlich zu beachten:

- XF2 Frost-Tausalz-Angriff mit mäßiger Wassersättigung (statt XF1)
- XD2 Bewehrungskorrosion durch Chloride
- WA Betonkorrosion infolge Alkali-Kieselsäure-Reaktion (statt WF)
- Betondruckfestigkeitsklasse  $\geq C 35/45$  bzw.  $\geq C 30/37$  (LP)

## ■ 7 Gärfuttersilos (Fahrsilos)

DIN 11622-2 setzt beim Betrieb von Gärfuttersilos die gute fachliche Praxis bei der Futtermittelkonservierung voraus, d. h. die wasser- und luftdichte Abdeckung des Futterstocks während des Gärprozesses. Die dichte Abdeckung ist eine Voraussetzung zur Erzielung hochwertiger Silagen zur Fütterung.

Erfolgt bei Gärfuttersilos für Biogasanlagen keine vollständige Abdeckung des Futterstocks und Regenwasser kann in den Futterstock eindringen, so verschärft sich der chemische Angriff auf den Beton deutlich – der Angriffsgrad organischer Säuren steigt bei Verdünnung. In diesem Fall ist ein Schutz des Betons bzw. nach Einzelfallprüfung der Einsatz eines Betons mit erhöhtem Säurewiderstand erforderlich.

## ■ 8 Literatur

- [1] DWA-M 380: Merkblatt Co-Vergärung in kommunalen Klärschlammfaulbehältern, Abfallvergärungsanlagen und landwirtschaftlichen Biogasanlagen. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall, Bad Hennef 2009.
- [2] Biogas. Bauen für die Landwirtschaft 37 (2000) Heft 3 und 40 (2003) Heft 1.
- [3] DIN 1045-1:2008-08 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton. Teil 1: Bemessung und Konstruktion.
- [4] DIN EN 1992-3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontagwerken. Teil 3: Behälterbauwerke
- [5] DIN 1055 Einwirkungen auf Tragwerke (Normenreihe).
- [6] DIN 11622-1:2006-01 Gärfuttersilos und Güllebehälter. Teil 1: Bemessung, Ausführung, Beschaffenheit; Allgemeine Anforderungen.
- [7] Zement-Merkblatt T 3: Sulfide in Abwasseranlagen, Ausgabe 1999-02.
- [8] DIN 11622-2:2004-06 Gärfuttersilos und Güllebehälter. Teil 2: Bemessung, Ausführung, Beschaffenheit – Gärfuttersilos und Güllebehälter aus Stahlbeton, Stahlbetonfertigteilen, Betonformsteinen und Betonschalungssteinen.
- [9] König, A.; Rasch, S.; Neumann, T; Dehn, F.: Betone für biogenen Säureangriff im Landwirtschaftsbau. Beton- und Stahlbetonbau 105 (2010), Heft 11, S. 714-724
- [10] DAfStb-Richtlinie Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Ausgabe 2001-10.
- [11] Lohmeyer, G.; Ebeling, K.: Weiße Wannen – einfach und sicher. Verlag Bau+Technik, Düsseldorf 2009.
- [12] DIN 1045-2:2008-08: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton. Teil 2: Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität – Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1
- [13] Breit, W.: Säurewiderstand von Beton. In: Betontechnische Berichte 2001–2003, S. 181-189. Verlag Bau+Technik, Düsseldorf 2004
- [14] Lohaus, L.; Petersen, L.: Hochleistungsbetone mit erhöhtem Säurewiderstand für den Kühlturmbau. Beton-Informationen 48 (2007) Heft 5, S. 71-79
- [15] Jacobs, F.: Dauerhaftigkeitseigenschaften von Betonen. beton 40 (1999) Heft 5, S. 276-282.
- [16] Hohmann, R.: Fugenabdichtung bei WHG-Anlagen. beton 58 (2008) Heft 6, S. 260-268.
- [17] Sicherheitsregeln für Biogasanlagen. Technische Information 4. Bundesverband der landwirtschaftlichen Berufsgenossenschaften. Kassel 2008.
- [18] VDMA 4330: Biogasanlagen. Hinweise für Planung, Ausführung und Betrieb. Einheitsblatt des Verbands Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e. V. Frankfurt/M., Ausgabe 2006-02.
- [19] DWA-M 376: Merkblatt Sicherheitsregeln für Biogasbehälter mit Membranabdichtung. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall. Bad Hennef 2006.
- [20] Merkblatt M-001 – Brandschutz bei Biogasanlagen. Fachverband Biogas, Freising. Ausgabe 2010-08

## Beratung und Information zu allen Fragen der Betonanwendung

### Herausgeber

InformationsZentrum Beton GmbH, Steinhof 39, 40699 Erkrath

[www.beton.org](http://www.beton.org)

### Kontakt und Beratung vor Ort

**Büro Berlin**, Teltower Damm 155, 14167 Berlin, Tel.: 030 3087778-0, [berlin@beton.org](mailto:berlin@beton.org)

**Büro Hannover**, Hannoversche Straße 21, 31319 Sehnde, Tel.: 05132 502099-0, [hannover@beton.org](mailto:hannover@beton.org)

**Büro Beckum**, Neustraße 1, 59269 Beckum, Tel.: 02521 8730-0, [beckum@beton.org](mailto:beckum@beton.org)

**Büro Ostfildern**, Gerhard-Koch-Straße 2+4, 73760 Ostfildern, Tel.: 0711 32732-200, [ostfildern@beton.org](mailto:ostfildern@beton.org)

### Verfasser

Dr.-Ing. Thomas Richter, InformationsZentrum Beton GmbH