

**2 | 2010**



## **Bauen für die Landwirtschaft**

**Behälterbau – Biogas**

# Bauen für die Landwirtschaft

Heft Nr.2, 48 (2010)  
ISSN 0171-7952

## Autoren:

**Harald Feldmann**  
Drössler GmbH Umwelttechnik  
Marienhütte 6  
57080 Siegen

**Dipl.-Ing. Otmar Hersel**  
Am Weinberg 7a  
65719 Hofheim

**Dr.-Ing. Thomas Richter**  
BetonMarketing Ost  
Gesellschaft für Bauberatung und  
Marktförderung mbH  
Teltower Damm 155  
14167 Berlin

**Herausgeber:**  
BetonMarketing Deutschland GmbH  
Steinhof 39, 40601 Erkrath  
Geschäftsführer: Thomas Kaczmarek  
www.beton.org

Redaktion: Dr.-Ing. Thomas Richter (verantwortl.)  
c/o BetonMarketing Ost  
Teltower Damm 155, 14167 Berlin  
richter@bmo-leipzig.de  
Tel.: 03 41 / 6 01 02 01, Fax: 03 41 / 6 01 02 90

Kirsten Dittmar  
Verlag Bau+Technik GmbH  
Tel.: 02 11 / 9 24 99-53

Gesamtproduktion:  
Verlag Bau+Technik GmbH  
Postfach 12 01 10, 40601 Düsseldorf  
Telefon 02 11 / 9 24 99-0, Fax 02 11 / 9 24 99-55  
Verlagsleitung: Dipl.-Ing. Rainer Büchel

Anzeigen lt. Preisliste Nr. 6 vom 1. Januar 2002  
Bezugspreis: Einzelheft € 8,- inkl. Mwst. zzgl. Porto

Mit Namen des Verfassers gekennzeichnete Beiträge  
stellen nicht unbedingt die Meinung der Redaktion dar.  
Alle Rechte, auch die des Nachdrucks, der fotomechanischen  
Wiedergabe und der Übersetzung, vorbehalten.  
Unverlangte Einsendungen ohne Gewähr für die Rück-  
sendung.

Druck: Druckerei Heinz Lautemann GmbH

## Themenheft: Behälterbau – Biogas

S. 3

### Bau von Biogasanlagen unter Verwendung von Spannbetonfertigteilen

Harald Feldmann

Spannbetonrundbehälter in Fertigteilbauweise werden in Deutschland seit ca. 30 Jahren für die Landwirtschaft eingesetzt. Seit den 1990er Jahren ist mit dem Einsatz beim Bau von Biogasanlagen ein interessanter und anspruchsvoller zusätzlicher Anwendungsbereich entstanden. Beschrieben wird ein Fertigteilensystem mit internen Spannmitgliedern ohne Verbund.

S. 7

### Schutz und Instandsetzen von Güllebehältern aus Stahlbeton

Otmar Hersel

Güllebehälter, die fachgerecht berechnet, konstruiert und gefertigt werden und deren Beton anforderungsgerecht zusammengesetzt, hergestellt und verarbeitet wird, widerstehen auf Dauer und ohne größeren Unterhaltungsaufwand den Beanspruchungen aus Umwelt und Betrieb. Ungenügende Sorgfalt bei der Planung und Ausführung oder die Missachtung technischer Regeln können jedoch zu Schäden der Konstruktion führen bzw. Instandsetzungsmaßnahmen auslösen, die im Beitrag beschrieben werden.

S. 17

### Zement-Merkblatt LB 14 Beton für Behälter in Biogasanlagen

Thomas Richter

Die Vergärung organischer Produkte wie Gülle oder nachwachsende Rohstoffe stellt besondere Anforderungen an die für Fermenter (Gärbehälter) eingesetzten Baustoffe. Ausgehend von den Beanspruchungen beim Gärprozess werden technisch günstige und dauerhafte Betonbauweisen vorgestellt. Die aktuelle Fassung des Merkblatts berücksichtigt die Entwicklung der Biogas-Verfahrenstechnik in den letzten Jahren sowie neue Erfahrungen bei Bau- und Betrieb von Biogasanlagen.

## Titelbild:

Wandmontage eines Spannbeton-Fertigteilbehälters für einen Biogasfermenter,  
siehe Beitrag auf S. 3  
(Foto: Fa. Drössler, Siegen)

# Bau von Biogasanlagen unter Verwendung von Spannbetonfertigteilen

Von Harald Feldmann, Siegen

*Spannbetonrundbehälter in Fertigteilbauweise werden in Deutschland seit ca. 30 Jahren für die Landwirtschaft sowie verschiedenste Anwendungen in den Bereichen Speicherung und Behandlung von Trinkwasser, Brauchwasser und Abwasser eingesetzt. Seit den 1990er Jahren ist mit dem Einsatz beim Bau von Biogasanlagen ein interessanter und anspruchsvoller zusätzlicher Anwendungsbereich entstanden.*

## Bauweise/Statisches System

Fertigteile kommen beim Behälterbau u.a. als klein- und großflächige Betonschalungssteine sowie in Form von schlaff bewehrten oder vorgespannten Schalelementen zum Einsatz. Nachfolgend beschrieben wird ein Fertigteilensystem mit internen Spannmitgliedern ohne Verbund. Die Spannmitglieder (ST1570/1770 mit sehr niedriger Relaxation) erhalten ein werkseitig aufgebrachtes Korrosionsschutzsystem, bestehend aus Korrosionsschutzmittel und PE-Ummantelung. Stoßfugen und Spannkable werden mit Zementmörtel ausinjiziert.

Die abgerundeten Wandelemente bilden eine Kreiszyklinderschale, welche vorwiegend durch horizontale Lasten wie Füllgutdruck, Gasdruck, Erdruck sowie die Vorspannkräfte beansprucht wird (Bild 1). Die Kreiszyklinderschale ist am Fußpunkt weitgehend gelenkig gelagert. Eine geringe Einspannungswirkung ist durch eine aus konstruktiven Gründen vorhandene Anschlussbewehrung in die Bodenplatte gegeben. Die Lastabtragung erfolgt entsprechend der Steifigkeitsverhältnisse der Schale für kreissymmetrische Lasten primär durch Membranspannung in Ringrichtung. Biegemomente aus der Einspannungswirkung im unteren Wandbereich werden durch eine vertikale innenliegende schlaffe Bewehrung aufgenommen. Ringzugkräfte aus Füllgut und den weiteren Lastfällen werden durch Vorspannkabel aufgenommen. Anzahl und Lage der Spannkabel sind derart bemessen, dass auch bei Vollfüllung des Behälters überall eine ausreichende Restzugkraft vorhanden ist.

Der Behälter steht in Ringrichtung immer so stark unter Druck, dass die Dichtigkeit sowohl der mit Zementmörtel ausinjizierten Stoßfugen als auch der Wandelemente durch Rissfreiheit sichergestellt ist. Langzeiteffekte wie Relaxation des Spannstahls sowie Kriechen und Schwinden des Betons werden bei der Di-

mensionierung selbstverständlich berücksichtigt. Das Prinzip der ausinjizierten und rissfrei überdrückten Fuge wird auch bei der Ausführung von Rechteckbauwerken angewandt.

## Anwendungsbereiche auf Biogasanlagen

Spannbetonfertigteilbehälter kommen bei praktisch allen Prozess- und Lagerbehältern der Biogasanlage zum Einsatz. Dies sind u.a. Sickersaft- und Perkolatbehälter, Frischgüllelager und Mischgruben, Rührkessel- und Pfropfenstromfermenter (Bild 2) sowie Nachgärbehälter und Gärrestlager. Neben der einfachen zylindrischen Bauform sind u.a. „Ring-in-Ring-Variante“, Trennwände sowie Oval- und Rechteckbauwerke, letztere insbesondere für die sog. Trockenfermentation, möglich.

## Behältergründung

Eine Anpassung der Behältergründung ist praktisch an jeden akzeptablen Baugrund möglich (Bild 3). Behälter und anbindende Komponenten auf Biogasanlagen müssen dauerhaft wasser- und gasdicht sein. Daher sind die Bauwerke sowie die angeschlossenen Ver- und Entsorgungsleitungen grundsätzlich empfindlich bei größeren Setzungen und insbesondere Setzungsdifferenzen. Bei Untergründen geringer Tragfähigkeit und/oder Baugrund, welcher zu erhöhten Setzungen ( $> 1,0$  cm) führt, erfolgt in Abstimmung zwischen Bodengutachter und Statiker eine Anpassung der Behälterstatik sowie ggf. des Untergrundes, z.B. in Form von Bodenaustausch, Rüttelstopfverdichtung oder Pfahlgründung. Bei offenen bzw. mit Membranen abgedeckten Rührkesselfermentern mit ca. 6,0 m bis 8,0 m Höhe ergeben sich Sohlpressungen von ca. 70 kN/m<sup>2</sup> bis 90 kN/m<sup>2</sup>. Im Randbereich erhöhen sich die Las-



Bild 1: Wandmontage eines Spannbeton-Fertigteilbehälters



Bild 2: Pfropfenstromfermenter



ten durch die Behälterwand sowie die Membranabdeckung auf ca. 100 kN/m<sup>2</sup> bis 125 kN/m<sup>2</sup>. Unter Mittelfundamenten für die gasdichten Behälterabdeckungen werden Bodenpressungen von 200 kN/m<sup>2</sup> bis 250 kN/m<sup>2</sup> erreicht. Setzungen > 1,0 cm können bei Anpassung der Behältergründung zugelassen werden. Voraussetzung hierfür ist, dass die Setzungen gleichmäßig bzw. zumindest in Form einer gleichmäßigen Setzungsmulde auftreten.

Zwecks Erreichen eines tragfähigen Untergrundes zur frostfreien Gründung werden Biogasbehälter häufig  $\geq 1,0$  m ins Erdreich eingebunden. Auch tiefere Einbindungen sowie gegebenenfalls eine Einbindung in Hanglage sind möglich. Die Einbindung ins Erdreich muss bei der Behälterbemessung berücksichtigt werden. Beheizte Behälter erhalten üblicherweise eine Wärmedämmung. Diese muss im erdeingebundenen Bereich und insbesondere unter der Behältersohle eine entsprechende Zulassung aufweisen und ausreichend druckfest sein. Beim Langzeitkriechverhalten darf unter Berücksichtigung der oben genannten Lasten maximal 2 % Stauchung der Wärmedämmung auftreten.

Die Baugenehmigung fordert für Biogasbehälter bei Erdeinbindung im Allgemeinen eine Leckagekontrolle des erdeingebundenen Bereiches, bestehend u.a. aus einer verschweißten PELD-Folie, aufliegendem Geotextil sowie Drainagerohren mit Kontrollschächten. Die vorbeschriebene Leckagekontrolle verringert die Gleitsicherheit des Behälters und schränkt somit eine Einbindung in Hanglage ein. Unter Umständen kann durch Eindringen von Oberflächen-/Tagwasser zwischen Folie und Behälter Auftrieb entstehen. Dies muss durch konstruktive Maßnahmen verhindert werden. Eine Auftriebssicherung der Behälter wird erforderlich, wenn Grundwasser bis zum Niveau der Behältersohlen ansteigen kann oder der Untergrund ein Versickern von Oberflächen- und Schichtenwasser (auch in der wiederverfüllten Baugrube) nicht oder nur unzureichend zulässt.

## Behälterwände

Spannbetonfertigteilbehälter werden derzeit mit Durchmessern zwischen ca. 5 m und 70 m ausgeführt. Behälterhöhen

sind dabei in Abhängigkeit von Nutzungsart und Durchmesser bis ca. 20 m möglich. Biogasbehälter sollen langlebig, wartungsfrei sowie insbesondere wasser- und gasdicht sein. Sie müssen fast beliebig angeordnete Durchdringungen erlauben und bei Medientemperaturen bis ca. 55° C ihre Funktion dauerhaft erfüllen.

Die Vergärung saurer Silagen oder Sickersäfte sowie das mögliche Entstehen von biogener Schwefelsäure im Gasraum der Behälter erfordert, dass auch ungeschützter Beton zumindest zeitweise widerstandsfähig u.a. gegen Säure und Sulfatbeanspruchung ist. Bei erhöhter bzw. langfristiger Betonbeanspruchung sind besondere Maßnahmen wie der Einsatz von Hochleistungsbeton oder Schutzüberzüge für den Beton erforderlich.

## Wasser- und Gasdichtigkeit

Die Bemessung der Spannbetonbehälter erfolgt in Anlehnung an die Richtlinie „Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton“ des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton entsprechend Beanspruchungsklasse 1 und Nutzungsklasse A. Eine Rissbreitenbeschränkung  $w_k \leq 0,15$  mm gewährleistet die erforderliche Wasser- und Gasdichtigkeit der Behälter sowie ggf. der Stahlbetonabdeckung. Labortechnische Untersuchungen bescheinigen dem verwendeten Fertigteilbeton, bedingt durch niedrige w/z-Werte sowie das optimierte Herstellverfahren, eine sehr niedrige Kapillarporosität und somit eine außergewöhnlich hohe Wasser- und Gasdichtigkeit. Die Behälter werden üblicherweise für Vollfüllung unter Berücksichtigung der Dichte des Speichermediums sowie zusätzlich für den max. möglichen Gasüberdruck bemessen. Auf eine Inanspruchnahme der Selbstheilung sowie nachträgliches Injizieren kann deshalb üblicherweise verzichtet werden. Dies ist insbesondere sinnvoll, wenn die Dichtigkeitsprüfung nur mit Teilfüllung des Behälters erfolgt und/oder Teilbereiche nachträglich nicht mehr einsehbar/kontrollierbar sind (außenliegende Wärmedämmung und Verkleidung des Behälters). Der Gasdruck beträgt bei Membranabdeckungen meist ca. 3 mbar bis 10 mbar, bei Stahlbetondecken 30 mbar bis 50 mbar. Sonderfälle mit einem zulässigen Druck von mehreren 100 mbar sind möglich.



Bild 3: Behältergründung



Bild 4: Biogasanlage mit Fermentern und Nachgärbehältern in Sandwichbauweise mit Stahlbetondecke

### Temperaturbeanspruchung

Die Gärprozesse im Fermenter erfolgen meist bei Temperaturen zwischen 38 °C und 42 °C (mesophil) bzw. 50 °C und 55 °C (thermophil). Für die Prozessstabilität sowie die Vermeidung von Wärmeverlusten erhalten Fermenter und Nachgärbehälter üblicherweise eine Wärmedämmung. Diese reduziert die Temperaturdifferenz über den Wandquerschnitt. Nachgärbehälter werden teilweise, Gärrestlager praktisch immer ungedämmt ausgeführt. In Abhängigkeit von der Medien- bzw. Beschickungstemperatur müssen die Behälter für einen erhöhten Temperaturgradienten über den Wandquerschnitt bemessen werden. Dieser liegt meist bei 15 K bis 25 K, d.h. unter Berücksichtigung der Wärmeübergangswiderstände können Temperaturdifferenzen zwischen Medientemperatur im Bereich der Behälterwand und Außentemperatur von ca. 20 °C bis 30 °C zugelassen werden. Detailliertere Festlegungen sollten unter Berücksichtigung der Beschickungsmengen und Beschickungstemperaturen sowie gegebenenfalls konstruktiver Maßnahmen wie Einleitung in die Behältermitte erfolgen. Spezielle Lastfälle wie das Einbringen größerer Mengen erwärmten Materials in einen (insbesondere im Winter) kalten Behälter müssen ebenfalls bei den Bemessungsgrundlagen berücksichtigt werden. Einzelne Anbieter bieten die Möglichkeit, den Spannbetonfertigteilbehälter in Sandwichbauweise auszuführen (integrierte Wärmedämmung mit Stahlbetonvorsatzschale) (Bild 4). Neben Terminvorteilen, höherer mechanischer Beständigkeit und Nagerschutz für die Wärmedämmung bietet die Sandwichbauweise vielfältige Möglichkeiten der optischen Gestaltung. Die sichtbare Betonoberfläche kann z.B. mit Holzstruktur, Klinkerstruktur oder in verschiedensten Waschbetonarten ausgeführt werden.

Weiterhin besteht die Möglichkeit, die beispielsweise für Fermenter erforderliche Heizung in Behälterwände und -sole zu integrieren. Dies bietet optimalen mechanischen Schutz für die Heizleitungen, gleichmäßigen Wärmeeintrag und vermeidet Ablagerungen an den Heizleitungen. Der geplante Heizungsbetrieb (maximale Vorlauftemperatur sowie Anfahren und Regulieren der Heizleistung) muss bei der Behälterbemessung berücksichtigt bzw. mit dem Behälterhersteller abgestimmt werden. Sinnvollerweise sollte dem Betreiber eine Betriebsanleitung übergeben werden.

Bei der Behältergründung sowie für angrenzende Bauwerke müssen die Längenänderungen der Bauwerke resultierend aus Temperaturänderungen berücksichtigt werden. Diese betragen häufig mehrere Zentimeter.

### Betonqualität/chemische Beanspruchung des Betons

Gülle, landwirtschaftliche Gärsubstrate sowie deren Abbauprodukte sind für hochwertigen Beton im Allgemeinen lediglich schwach chemisch angreifend (Expositionsklasse XA1). Langjährige Erfahrungen zeigen, dass bei Fertigteilen mit einer Betongüte  $\geq$  C 35/45 mit niedrigem Wasserzementwert und geringen Wassereindringtiefen auch nach Zeiträumen von über 20 Jahren kein chemischer Angriff durch Gülle und vergleichbare Medien festgestellt wird. Eine maßgenaue Betonüberdeckung von  $c_{nom} = 4,0$  cm gewährleistet dabei einen dauerhaften Korrosionsschutz für die eingebaute Bewehrung.

Auch das im Behälter entstehende und im Gasraum über dem Gärgut gespeicherte Biogas ist zunächst erfahrungsgemäß nicht oder lediglich schwach Beton angreifend. Jedoch können bei Sauerstoffzufuhr Schwefelverbindungen und Schwefel bakteriell in Schwefelsäure umgewandelt werden. Dies kann zur so genannten biogenen Schwefelsäurekorrosion an Betonoberflächen im Gasraum von Biogasbehältern führen. Aggressives Gärgut (z.B. Hühnerkot, Zuckerrübenschnitzel oder Silagesickersaft) sollte nur kontrolliert der Fermentation zugeführt und umgehend gut untergemischt werden. Möglichen Rissbildungen durch eine schädigende Alkali-Kieselsäure-Reaktion im Beton kann durch Auswahl geeigneter Gesteinskörnungen entsprechend der Richtlinie „Vorbeugende Maßnahmen zur Vermeidung schädigender Alkalireaktion im Beton“ des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton wirkungsvoll begegnet werden.

Erfahrungen zeigen weiterhin, dass bei funktionierendem und kontrolliertem Betrieb einer landwirtschaftlichen Biogasanlage hochwertiger Fertigteilbeton der Güte C 35/45, XC4, XF3, XA2/XA3, WF/WA nicht geschädigt wird, d.h. dass sich auch nach Betriebszeiten von fünf bis zehn Jahren keinerlei Funktionsbeeinträchtigungen oder wesentliche Oberflächenveränderungen einstellen. Gleichzeitig muss berücksichtigt werden, dass auch sehr hochwertiger Beton nur bedingt widerstandsfähig gegen längerfristig starken Säureangriff ist. Aus diesem Grund empfiehlt sich, beispielsweise im Gasraum von mittels Lufterblasen entschwefelten Behältern oder bei sonstigen Flächen mit außergewöhnlicher Beanspruchung, ein optionaler (auch nachträglicher) Schutzüberzug zur langfristigen Sicherstellung eines optimalen Bauwerkszustandes. Hierfür gibt es u.a. die folgenden Möglichkeiten:

- **Oberflächenversiegelung** in Form einer Verglasung/Verkieselung, welche oberflächennahe Poren und Kapillaren weitestgehend verfüllt und dadurch den Widerstand der Betonoberfläche gegen chemischen Angriff nochmals deutlich verbessert
- **Oberflächenbeschichtung**, z.B. mit Epoxidharz mit zusätzlich erhöhter mechanischer Beständigkeit
- **Oberflächenauskleidung**, beispielsweise mit PEHD- oder PP-Folien oder -platten mit rückseitiger Verankerung im Beton

Zusätzliche Schutzmaßnahmen am Beton sind auch mit Nachteilen verbunden (Kosten, Zeitaufwand, Schadensanfälligkeit).





Bild 5: Montage eines Membrandachs

Soweit vertretbar, sollte daher auf Schutzüberzüge verzichtet werden. In vielen Fällen stellt ein optimierter Anlagenbetrieb, eine angepasste Betonrezeptur oder der Einsatz eines Hochleistungsbetons eine wirtschaftlich und technisch sinnvolle Alternative dar. Beispielsweise bietet der Hochleistungsbeton Resocret® (C 55/67, XA3) einen erhöhten Widerstand gegen Angriff von Schwefelsäure bis zu einem pH-Wert  $\geq 3,5$  sowie erhöhten Widerstand gegen Ammoniumangriff ( $\text{NH}_4^+$ ). Mit diesen Eigenschaften stellt ein mit Resocret®-Beton ausgeführtes, gasdicht abgedecktes Gärrestlager eine technisch und wirtschaftlich interessante Alternative zu beschichteten Bauwerken mit geringerer Betonqualität dar.

### Gasdichte Behälterabdeckungen

Spannbetonbehälter erhalten auf Biogasanlagen gasdichte Abdeckungen verschiedenster Art. Häufigste Varianten sind Zelt-, Tragluftdächer sowie Stahlbetonfertigteildecken. Membranabdeckungen leiten ihre Lasten im Allgemeinen über eine Mittelstütze sowie über die Wandkrone ins Bauwerk ein (Bild 5). Die Lasten am Wandkopf können prinzipiell problemlos aufgenommen werden, sollten bei der Beckenbemessung allerdings berücksichtigt werden. Gleiches gilt für die Lasten aus der Mittelstütze, die grundsätzlich ein entsprechendes Mittelfundament erforderlich macht. Werkseitig einbetonierte Befestigungssysteme wie Gewindehülsen, Klemmschienen usw. sowie die hohe Maßgenauigkeit der Fertigteilkonstruktion vereinfachen die Dachmontage.

Alternative Stahlbetonfertigteildecken sind zunächst mit höheren Kosten verbunden und können nicht mit integriertem Gasspeicher ausgeführt werden. Die Vorteile liegen neben einer längeren Lebensdauer bei der höheren Belastbarkeit, einer besseren Bedienbarkeit und Wartungsmöglichkeit für die Rührtechnik, einer besseren Wärmedämmung sowie der Möglichkeit, die Decke als Installationsplattform für Teile der Bauwerksausrüstung nutzen zu können. Eine Deckenfertigteilkonstruktion ermöglicht zusätzlich die Demontage einzelner oder auch sämtlicher Deckenelemente. Innovative i.d.R. patentierte Fertigteildecken z.B. die Securtega®-Decke der Drössler GmbH Umwelttechnik wird zusätzlich so ausgebildet, dass sich im Havariefall, d.h. beispielsweise beim Überlaufen des Behälters, die Decke kontrolliert hebt und wieder senkt, so dass der Behälter keinen unkontrollierbaren Schaden bis hin zur Totalzerstörung nimmt. Stattdessen ist begrenztes Entweichen von

ggf. aufquellendem Gärgut möglich, ohne dass die statische Behälterkonstruktion geschädigt wird. Lediglich die gasdichte Spezialversiegelung ist zu erneuern. Auch freitragende Fertigteildecken, z.B. für den Einsatz von Zentralrührwerken, sind möglich.

### Einbauteile

Behälter für Biogasanlagen erhalten eine Vielzahl von Einbauteilen. An diese werden bezüglich Maßgenauigkeit, Lagesicherung und Dichtigkeit hohe Anforderungen gestellt. Dies gilt beispielsweise für Rühr- und Eintragstechnik, Schaugläser und Mannlöcher oder Druck- und Temperatursonden sowie verschiedenste Beschickungs- und Entnahmeleitungen (Bild 6). Die Fertigteilkonstruktion hat besondere Vorteile bei frühzeitiger Planung der Einbauteile. Dadurch können Koordinierungs- und Zeitaufwand vor Ort auf ein Minimum reduziert werden. Die hohe Maßgenauigkeit der Fertigteilkonstruktion sowie präzise verbaute Einbauteile zur Dachbefestigung oder beispielsweise Rührwerkslagerung ermöglichen auch für diese Komponenten weitestgehende, frühzeitige Vorfertigung sowie schnelle und einfache Montage vor Ort. Einbaurahmen oder Rohrdurchführungen müssen, um eine dauerhafte Wasser- und Gasdichtigkeit zu gewährleisten, einen umlaufend verschweißten Einbetonierahmen erhalten und sollten zusätzlich epoxidharzbeschichtet und besandet werden. Auch der Einbau größerer Zufahrtstore (z.B.  $B \times H = 1,2 \text{ m} \cdot 2,2 \text{ m}$ ), um die Biogasbehälter mit einem Räumgerät befahren zu können, ist möglich.

### Fazit

Spannbetonfertigteilkonstruktionen verschiedenster Geometrien und Funktionen sind robust und langlebig und werden äußerst erfolgreich im In- und Ausland errichtet. Die hohe Maßgenauigkeit, eine überdurchschnittliche Betonqualität sowie die große Flexibilität der Bauweise bieten für Planer, Anlagenbauer und Betreiber zusätzliche Möglichkeiten für technische und optische Anlagengestaltung im Hinblick auf Wartung, Sicherheit und Lebensdauer. Die kurze Bauzeit, verbunden mit einem erheblich reduzierten Koordinierungsaufwand vor Ort, vereinfacht die Bauabläufe beim Anlagenbau in erheblichem Umfang. Innovative Lösungen steigern Sicherheit und Effektivität.



Bild 6: Fermenter mit werkseitig eingebauten Rührwerkslagern

# Schutz und Instandsetzen von Güllebehältern aus Stahlbeton

Von Otmar Hersel, Hofheim

*Güllebehälter, die fachgerecht berechnet, konstruiert und gefertigt werden und deren Beton anforderungsgerecht zusammengesetzt, hergestellt und verarbeitet wird, widerstehen auf Dauer und ohne größeren Unterhaltungsaufwand den Beanspruchungen aus Umwelt und Betrieb. Ungenügende Sorgfalt bei der Planung und Ausführung oder die Missachtung technischer Regeln können jedoch zu Schäden der Konstruktion führen bzw. Instandsetzungsmaßnahmen auslösen.*

## Beanspruchungen von Güllebehältern

Nach dem Wasserhaushaltsgesetz (§ 62) ist Gülle ein wassergefährdender Stoff. Behälter zum Lagern und Abfüllen von Gülle müssen deshalb so beschaffen, betrieben und unterhalten werden, dass der bestmögliche Schutz des Grundwassers und der Gewässer vor Verunreinigungen oder ihrer Eigenschaften erreicht wird.

Daraus folgt, dass Güllebehälter auf Dauer dicht sein müssen. Dies wird zum einen durch die Verwendung eines beanspruchungsgerechten Betons (Beton mit erhöhtem Wassereindringwiderstand) einschließlich der konstruktiven Maßnahmen wie z.B. der entsprechenden Fugenausbildungen und Rissbreitenbegrenzung erfüllt, zum anderen durch eine ausreichende Tragfähigkeit bzw. Standfestigkeit der Behälter sowie die schadensfreie Aufnahme aller sich aus der Nutzung und Lage der Behälter ergebenden Spannungen. Die daraus abzuleitenden Anforderungen an die Konstruktion sollen im Folgenden aber nicht weiter behandelt werden. Die grundlegenden Anforderungen hierzu sind in DIN 11622-2 und dem Merkblatt „Stahlbeton für Güllebehälter“ [1] zusammengefasst.

Für die Praxis wesentlich bedeutsamer sind Schäden an der Betonoberfläche von Güllebehältern, die sich vorzugsweise an der Behälterinnenseite als Risse, flächige Abplatzungen, punktuelle Absprengungen oder Rostfahnen zeigen (Bild 1).

Die nicht durch Erdreich abgedeckten Bauteile eines Güllebehälters sind der Witterung und damit im Winter einer Frost-Tauwechsel-Beanspruchung im durchfeuchteten Zustand ausgesetzt. Diese Beanspruchung ist oberhalb des Güllespiegels im Behälter besonders hoch. Beton von Güllebehältern unterliegt aufgrund seiner Nutzung und seiner Lage im Freien im Wesentlichen chemischen und physikalischen Einflüssen. Er muss widerstehen

- chemischen Einwirkungen durch organische Säuren und Ammonium aus der Gülle, durch aggressives Grundwasser oder durch Alkalireaktion sowie
- physikalischen Einwirkungen durch Frost-Tauwechsel.

Durch die wechselnden Flüssigkeitsstände in einem Güllebehälter ist zudem eine Bewehrungskorrosion infolge Karbonatisierung des Betons möglich.

Die vorgenannten Einwirkungen erfordern daher für die Zusammensetzung des Betons die Berücksichtigung folgender Expositionsklassen

- XA 1: Betonkorrosion durch chemisch schwach angreifende Umgebung

- XF 3: Betonkorrosion bei hoher Wassersättigung des Betons
- XC 4: Bewehrungskorrosion bei wechselnd nassem und trockenem Beton

Bezüglich Frostangriff lässt die DIN 11622-2, Gärfuttersilos und Güllebehälter – Bemessung und Ausführung, im Beiblatt 1 zur Norm vom Januar 2006 im „Einzelfall“ auch die Expositionsklasse XF 1 „Betonkorrosion bei mäßiger Wassersättigung“ zu. Begründet wird dies durch den geringeren Frostangriff bei Gülle im Vergleich zu Wasser, da Gülle aufgrund der Inhaltsstoffe erst bei niedrigeren Temperaturen gefriert und die Eindringtiefe von Gülle in den Beton geringer als bei Wasser ist.

Im Hinblick auf die Vermeidung einer schädigenden Alkali-Kieselsäure Reaktion (AKR) ist die Feuchtigkeitsklasse WA (Beton, der während der Nutzung häufig oder längere Zeit feucht ist und häufiger oder langzeitiger Alkalizufuhr von außen ausgesetzt ist) zu beachten. Einige Gesteinskörnungen können alkalireaktive Kieselsäure enthalten. Unter bestimmten Voraussetzungen kann es zwischen diesen Gesteinskörnungen und Alkalien im Beton aus Gülle und Zement zu einer Reaktion mit Volumenvergrößerung und Schädigung des Betons kommen. Die Alkali-Richtlinie des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton [2] regelt Maßnahmen und Zuständigkeiten zur Vermeidung einer schädigenden Alkali-Kieselsäure-Reaktion (AKR). Bei der Betonbestellung für den Bau von Güllebehältern muss die Feuchtigkeitsklasse WA angegeben werden; ebenso wie die Expositionsklassen und die Betondruckfestigkeitsklasse. Für erforderliche Anpassungen der Betonzusammensetzung ist der Betonhersteller verantwortlich. Bei einem Großteil der Gesteinskörnungen sind keine vorbeugenden Maßnahmen gegen schädigende Alkalireaktion im Beton erforderlich. Bei alkalieempfindlichen Gesteinskörnungen kann ein Austausch der



*Bild 1: Betonabplatzungen durch Verwendung nicht frostbeständiger Gesteinskörnungen in der Wasserwechselzone der Behälterwand*

Gesteinskörnung oder der Einsatz von Zementen mit niedrigem Alkaligehalt (NA-Zement) notwendig werden. Die Angabe der Feuchtigkeitsklasse WA auf dem Lieferschein des Betons weist für Baufirma und Landwirt nach, dass der Beton in Hinblick auf Alkali-Kieselsäure-Reaktion unbedenklich ist.

Werden die Anforderungen der Feuchtigkeitsklasse WA nicht beachtet, kann es nach Monaten oder Jahren zu feinen Rissen, weißen Ausblühungen und Aussinterungen, im Extremfall zu Abplatzungen und Ausbrüchen durch innere Druckzustände infolge „Alkalitreiben“, im Beton führen (Bild 2).

Bei abgedeckten Güllebehältern kann zusätzlich im Gasraum eine biogene Schwefelsäurekorrosion am Beton auftreten [3].

Den vorgenannten Beanspruchungen kann auf Dauer nur ein hochwertiger und sorgfältig verarbeiteter Beton standhalten.

Entsprechend DIN 1045, DIN EN 206-1 und DIN 11622 sind an den Beton die in Tafel 1 angegebenen Anforderungen zu erfüllen. Werden diese Vorgaben berücksichtigt, sind Anstriche oder eine Beschichtung des Betons überflüssig.

### Ursachen von Betonschäden bei Güllebehältern

Zur Herstellung von Güllebehältern in Ortbetonbauweise wird heute fast ausschließlich Transportbeton verarbeitet. Damit wird ein güteüberwachter Baustoff verwendet, der auf Dauer die an ihn gestellten Anforderungen erfüllt. Wird aber schon bei der Bestellung des Transportbetons nicht auf die vorgenannten Forderungen geachtet und enthält z.B. der angelieferte Beton nicht frostbeständige Gesteinskörnungen minderer Qualität, so ist in schweren Fällen mit den in Bild 1 gezeigten Schäden zu rechnen. Ähnliche, aber nur punktuell auftretende Schäden



Bild 2: Rissbildungen durch alkaliempfindliche Gesteinskörnungen (AKR) in einer Behälterwand

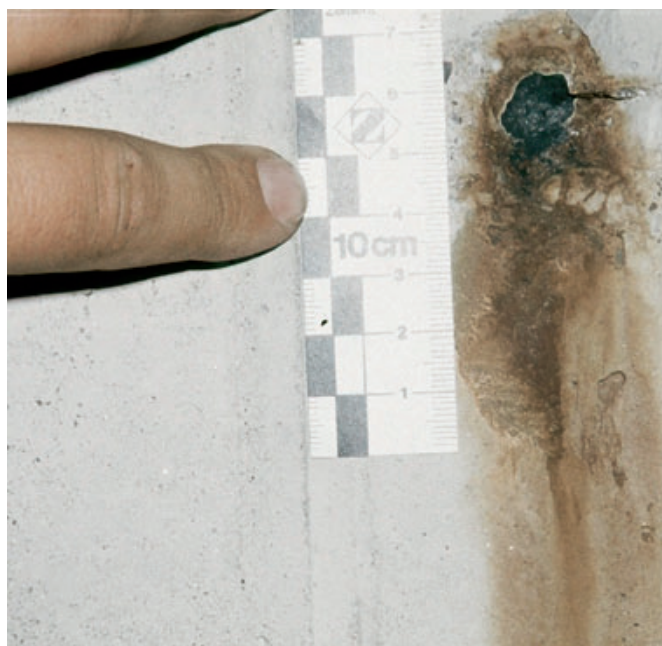


Bild 3: Betonabplatzung durch Kohleteilchen im Beton

Foto: Thomas Richter, Leipzig

Tafel 1: Anforderungen an Beton für Güllebehälter

	Expositions- klasse	Mindest- druckfestigkeits- klasse	Feuchtig- keits- klasse	Wasser- zement- wert	Mindest- zement Gehalt <sup>3)</sup> [kg/m <sup>3</sup> ]	Andere Anforde- rungen	Überwachungs- klasse	Betondeckung der Bewehrung Nennmaß c <sub>nom</sub> [mm]
DIN 1045-2/DIN EN 206-1/DIN 11622-2	XF3 XC4 XA1	C25/30 mit Luft- poren (LP)	WA	≤ 0,55	300 (270)	F <sub>2</sub> <sup>2)</sup>	ÜK 2	40 (innen und außen)
		C35/45		≤ 0,50	320 (270)			40 (innen und außen)
DIN 11622- 2, Beiblatt	XF1 <sup>1)</sup> XC4 XA1	C25/30	WA	≤ 0,60	280 (270)	F <sub>4</sub> <sup>2)</sup>	ÜK 2	40 (innen und außen)

<sup>1)</sup> XF1 nach DIN 11622-2, Beiblatt im Einzelfall möglich

<sup>2)</sup> Gesteinskörnungen mit Regelanforderungen und Widerstand gegen Frost (siehe DIN 1045-2, Anhang U),

F<sub>2</sub> = Masseverlust nach zehn Frost-Tauwechseln ≤ 2 M.-% bzw. ≤ 4 M.-% bei F<sub>4</sub>

<sup>3)</sup> Klammerwerte bei Anrechnung von Zusatzstoffen, wie z.B. Flugasche



sind zu erwarten, wenn die Gesteinskörnungen organische Bestandteile (z.B. Holzpartikel, Kohleteilchen) enthalten (Bild 3).

Zusammengefasst treten gelegentlich Schäden an Güllebehältern aus Stahlbeton auf, die im Wesentlichen zurückzuführen sind auf

- eine ungeeignete Zusammensetzung des Betons für den vorgesehenen Zweck
- eine unsachgemäße Verlegung der Bewehrung oder zu geringe Bewehrungsmengen
- eine unerlaubte Veränderung des Betons auf der Baustelle durch Zugabe von Wasser
- ein nicht fachgerechtes Einbringen und Verdichten des Betons in der Schalung
- eine unzureichende Nachbehandlung des eingebauten Betons

### Betondeckung der Bewehrung

Die häufigste und zugleich bedeutsamste Schadensursache bei Güllebehältern aus Stahlbeton ist eine zu geringe Überdeckung der Bewehrung mit Beton. Die Ursachen für diesen Mangel sind vielfältig. Typisch sind

- zu geringe Vorgaben des einzuhaltenden Abstands zwischen Schalung und Bewehrung bei der Planung
- nicht eingehaltene Abmessungen bei den Bügeln für die Bewehrung
- unzureichende Fixierung der Bewehrung in der Schalung durch den Einsatz ungeeigneter Abstandshalter
- fehlende oder zu wenige Abstandshalter
- nicht maßgerechte Aufstellung der Schalung.

In diesem Zusammenhang sei erinnert, dass bei Güllebehältern in Ortbetonbauweise gemäß DIN 1045-1 ein Nennmaß von 4,0 cm für die Betondeckung auf der Behälterinnen- und Behälteraußenseite vorgeschrieben ist. Dementsprechend sind die Abstandshalter zwischen Schalung und Bewehrung auszuwählen und anzubringen. Da in dem Nennmaß ein Vorhaltemaß von 1,5 cm für baustellenbedingte Abweichungen enthalten ist, beträgt also das Mindestmaß der Betondeckung 2,5 cm. Warum ist die Einhaltung der Mindestbetondeckung so bedeutungsvoll? Dies findet zum einen seine Begründung in einem ausreichend kraftschlüssigem Verbund zwischen Bewehrung und Beton, zum anderen aber – und das ist im Hinblick auf die angesprochenen Oberflächenschäden besonders wichtig – in einem ausreichenden, dauerhaften Schutz der eingelegten Bewehrung vor Korrosion (Bild 4).

Die Bewehrung wird im Beton durch den natürlichen Calciumhydroxidgehalt des Betons und dem damit verbundenen pH-Wert  $> 9$ , also einem basischen Milieu, vor Korrosion (Rostbildung) geschützt. Im Laufe der Zeit erfährt der Beton infolge der Einwirkung des Kohlendioxids ( $\text{CO}_2$ ) der Luft bei gleichzeitiger Anwesenheit von Wasser/Feuchte eine chemische Veränderung. Dabei wird das im Beton enthaltene wasserlösliche Calciumhydroxid ( $\text{CaOH}_2$ ) zu Calciumkarbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) umgewandelt. Diese Alterung des Betons, Karbonatisierung genannt, erhöht zwar die Dichtigkeit des Betons und damit seine Festigkeit, ist aber gleichzeitig mit einer Absenkung des pH-Werts verbunden, d.h. der pH-Wert des Betons sinkt von ur-



Bild 4: Betonabplatzungen und Bewehrungskorrosion durch zu geringe Betondeckung

sprünglich 12,5 auf unter 9 in den neutralen Bereich. Mit diesem Verlust der Alkalität entfällt eine der Bedingungen für den dauerhaften Schutz des Bewehrungsstahls im Beton vor Korrosion. In Verbindung mit der in Güllebehältern immer vorhandenen Feuchtigkeit und dem Sauerstoff der Luft wird der Stahl unter diesen Voraussetzungen zu rosten beginnen. Die damit verbundene Volumenvergrößerung des korrodierenden Stahls führt zu einem inneren Sprengdruck und damit zu Rissen und Abplatzungen an der Betonoberfläche.

Die Karbonatisierung des Betons läuft von außen nach innen ab, d.h., die Zerstörung der Betonoberfläche infolge Korrosion der Bewehrung wird um so schneller eintreten, je geringer die Betondeckung ist. Die Schnelligkeit des Vordringens der Karbonatisierung bis zur Bewehrung hängt aber auch von der Dichtigkeit des Betons ab. Je poröser der Beton, umso besser können Gase und Flüssigkeiten in den Beton eindringen. An dieser Stelle ist bereits jetzt auf den großen Einfluss der im folgenden Abschnitt angesprochenen Nachbehandlung auf die Güte des Betons an der Oberfläche hinzuweisen.

In den Normen untersagt, aber leider hin und wieder zu beobachten, ist die nachträgliche Zugabe von Wasser zur Verflüssigung des Betons auf der Baustelle. Die vermeintliche Arbeitserleichterung wird durch einen porösen Beton infolge überschüssigen Wassers und damit einer drastischen Verschlechterung der Betoneigenschaften (Abnahme der Druckfestigkeit, erhöhte Wasserdurchlässigkeit, geringere Beständigkeit gegen Säuren und Frost) erkauft. Ist der Beton vor der Verarbeitung zu steif, dürfen nur zugelassene Fließmittel auf der Baustelle in den Fahrmischer zugesetzt werden.

### Verarbeitung und Nachbehandlung des Betons

Bei der Verarbeitung des Betons fallen gelegentlich Schäden auf, die durch die Verwendung eines zu steifen Betons (Kiesnester), ungenügende und unsachgemäße Verdichtung (Kiesnester, Betonierfugen), Betonieren der Wände in zwei Lagen mit zwischenzeitlichem Umsetzen der Schalung (Betonierfugen) oder zu frühes Ausschalen bereits nach ein oder zwei Tagen (poröse Betonoberfläche) bedingt sind.

Von größerer Bedeutung sind allerdings Schäden an der Betonoberfläche infolge fehlender oder ungenügender Nachbe-

**Tafel 2: Mindestdauer der Nachbehandlung in Tagen für Güllebehälter**

Morgentliche Oberflächentemperatur des Betons/Lufttemperatur [°C]	Festigkeitsentwicklung des Betons <sup>1)</sup> $r = f_{cm2}/f_{cm28}$			
	schnell $r \geq 0,50$	mittel $r \geq 0,30$	langsam $r \geq 0,15$	sehr langsam $r < 0,15$
$\geq 25$	1	2	2	3
$< 25 \dots \geq 15$	1	2	4	5
$< 15 \dots \geq 10$	2	4	7	10
$< 10 \dots \geq 5$	3	6	10	14

<sup>1)</sup> Die Festigkeitsentwicklung des Betons  $r$  ist dem Lieferschein für den Beton zu entnehmen. Sie errechnet sich aus dem Verhältnis 2-Tage-Druckfestigkeit  $f_{cm2}/28$ -Tage-Druckfestigkeit  $f_{cm28}$  des gelieferten Betons.

handlung des Betons. Unter der Nachbehandlung eines Betons ist im Wesentlichen der Schutz des noch jungen Betons nach dem Ausschalen vor zu frühem Austrocknen zu verstehen. Art und Dauer der Nachbehandlung sind der DIN 1045-3 zu entnehmen. Übliche Verfahren zur Nachbehandlung sind:

- Belassen in der Schalung
- Abdecken mit Folien, die an Kanten und Stößen gesichert sind
- Auflegen von wasserspeichernden Abdeckungen (Jutesäcke etc.), die ständig feucht gehalten werden
- Kontinuierliches Besprühen oder Fluten des Betons mit Wasser
- Aufsprühen eines Nachbehandlungsmittels

Die Mindestdauer der Nachbehandlung für Güllebehälter beträgt im günstigsten Fall einen Tag (24 Stunden). In Abhängigkeit von den Witterungsbedingungen bzw. der Frischbetontemperatur und der Festigkeitsentwicklung des Betons (Betonzusammensetzung) kann die Dauer der Nachbehandlung jedoch zehn Tage oder mehr betragen (Tafel 2). Bei Temperaturen unter 5 °C ist die Nachbehandlungsdauer um die Zeit der Temperaturen unter 5 °C zu verlängern.

Das vorzeitige Austrocknen des Betons wirkt sich auf die Güte des oberflächennahen Betons aus. Dabei wird für die Festigkeitsentwicklung des Betons (Hydratation) erforderliches Wasser entzogen. Im Ergebnis wird die Betonrandzone porös und zeigt nur geringe Festigkeiten. Damit wird die zweite entscheidende Voraussetzung für die Dauerhaftigkeit des Stahlbetons nicht erfüllt: eine dichte Überdeckung der Bewehrung. Mit der Folge, dass die Karbonatisierung des Betons ungebremst vorschreiten kann und damit der unverzichtbare Korrosionsschutz im Stahlbeton abgebaut wird.

Halten wir fest: die Bewehrung in Güllebehältern aus Stahlbeton ist auf Dauer und in der vorgegebenen Nutzungszeit nur dann wirksam vor Korrosion geschützt, wenn

- die Bewehrung genügend dick mit Beton überdeckt ist und
- der Beton ausreichend dicht ist (niedriger Wasserzementwert, sorgfältige Nachbehandlung).

### Schadenserkenkung und Schadensdiagnose

Die typischen Merkmale einer Schadensentwicklung im Beton eines Güllebehälters sind in den meisten Fällen schon für den

baufachlichen Laien und ohne besondere Hilfsmittel erkennbar (Tafel 3). Dennoch ist es zu empfehlen, bei der Entdeckung eines Bauschadens einen in der Instandsetzung erfahrenen Fachmann (in der Instandsetzungs-Richtlinie des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton „Sachkundiger Planer“ genannt) zu Rate zu ziehen. Er wird neben den offensichtlichen Schäden auch verborgene sicher erkennen, aufnehmen und bewerten. Auf der Grundlage dieser Erkenntnisse (Schadensursache, Intensität des Schadens und räumliche Ausweitung des Schadens) wird er beurteilen, wie dringlich eine Instandsetzung ist und das jeweils geeignete Verfahren für eine wirtschaftliche und dauerhafte Instandsetzung vorschlagen. Der Rat des Fachmanns ist auch im Hinblick auf Gewährleistungsfragen wertvoll.

### Instandsetzungsverfahren

Die eigentliche Instandsetzung eines schadhaften Güllebehälters aus Stahlbeton richtet sich nach Ursache und Ausmaß der Schäden. Sie muss von Einzelfall zu Einzelfall entschieden werden. Neben den technischen Gesichtspunkten sind aber auch wirtschaftliche Überlegungen für die Instandsetzung einzubeziehen. Im Folgenden werden aufgrund des Schadensbildes Hinweise für eine Instandsetzung gegeben. Diese Hinweise ersetzen aber in keinem Fall den Rat eines Fachmanns bzw. eine Planung der Instandsetzungsmaßnahmen.

Für die Durchführung von größeren Instandsetzungsarbeiten an einem Güllebehälter sollten nur Unternehmen beauftragt werden, die eine entsprechende Qualifikation nachweisen können. Adressen dieser Firmen sind z.B. bei der „Bundesgütegemeinschaft Instandsetzung von Betonbauwerken e.V.“, Berlin ([www.betonerhaltung.com](http://www.betonerhaltung.com)), mit ihren Landesgütegemeinschaften, der Gütegemeinschaft Überwachung im Bauwesen e.V., Berlin ([www.gueb-online.de](http://www.gueb-online.de)), oder der Bundesgütegemeinschaft Betonflächeninstandsetzung e.V., Frankfurt/M. ([www.farbefbi.de](http://www.farbefbi.de)), zu erfragen. Bei kleinflächigen Instandsetzungen kann auch eine Eigenleistung des Landwirts in Frage kommen.

Technische Grundlage für die Instandsetzung von Betonbauwerken ist die Instandsetzungs-Richtlinie des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton [3]. Sie besteht aus vier Teilen und ist mit dem Ausgabedatum Oktober 2001 erschienen:

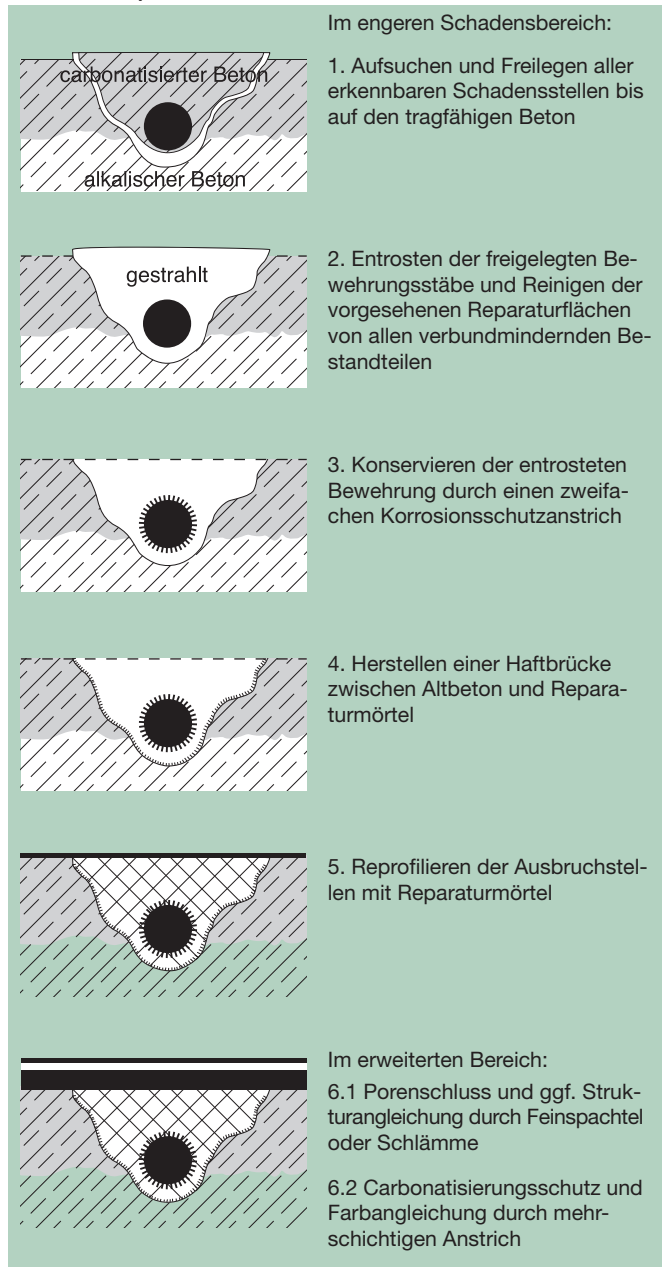
- Teil 1: Allgemeine Regelungen und Planungsgrundsätze
- Teil 2: Bauprodukte und Anwendung
- Teil 3 Anforderungen an die Betriebe und Überwachung
- Teil 4: Prüfverfahren

Die Richtlinie verlangt gemäß der Teile 1 und 2 ein planmäßiges Vorgehen bei der Beseitigung von Mängeln und Schäden an

**Tafel 3: Merkmale einer Schadensentwicklung an Stahlbetonoberflächen**

- Auffällige Häufung von Rissen
- Abzeichnung von Zonen erhöhter Porosität nach Einwirkung von Feuchtigkeit
- Rostfahnen
- Hauptrisse im Bewehrungsverlauf (durchgehende Trennrisse)
- Aufwölbungen und Abplatzungen über rostender Bewehrung

**Tafel 4: Arbeitsfolge beim Instandsetzungsprinzip C (je nach System können einzelne Arbeitsschritte zusammengefasst werden)**



Betonbauwerken und beschreibt die Instandsetzungsprinzipien zur Wiederherstellung eines dauerhaften Korrosionsschutzes sowie die Vorgehensweisen für das Füllen von Rissen und Hohlräumen, das Ausfüllen örtlich begrenzter Fehlstellen, das großflächige Auftragen von Mörtel oder Beton und das Auftragen von Hydrophobierungen, Imprägnierungen (Versiegelungen) und Beschichtungen.

### Kleinflächige Abplatzungen

Betonabplatzungen treten vorwiegend an den Innenwänden von Güllebehältern auf. Sie sind meist Folge einer Korrosion der darunterliegenden (Bügel-)Bewehrung, die zu wenig Betondeckung besitzt. Typisch sind Rostverfärbungen (Rostfahnen) an dieser Stelle im Beton. Abplatzungen können aber auch über porösen Gesteinskörnern oder z.B. über Holzeinschlüssen auftreten.

Abplatzungen sollten sofort beseitigt werden. Beschränken sich die Abplatzungen auf kleine Flächen und sind sie nicht als Vorboten großflächiger Schäden einzuordnen, so reicht eine punktuelle Behandlung dafür aus. Für die Instandsetzung von Abplatzungen infolge Bewehrungskorrosion ist das übliche Vorgehen in Tafel 4 dargestellt. Für die hier beschriebene „Spachtelmethode“ (Instandsetzungsprinzip C) bieten mehrere Hersteller Instandsetzungssysteme an, die weitgehend ähnlich anzuwenden und zu verarbeiten sind.

Je nach Grad und Art der Schäden können die schadhaften Stellen per Hand (Stemmen) oder maschinell z.B. mit dem Nadelgerät bis auf den tragfähigen Beton freigelegt werden. Für den Korrosionsschutz der Bewehrung werden heute überwiegend mineralische kunststoffvergütete Schlämme eingesetzt, die mit Rostschutzpigmenten angereichert sind. Die Schlämme werden in zwei Arbeitsgängen auf die freigelegte und entrostete Bewehrung aufgetragen: Die erste Schicht sollte möglichst bald nach dem Entrosten auf die praktisch metallisch blanke Bewehrung aufgebracht werden, die zweite Schicht wird nach einer Wartezeit von ca. drei Stunden aufgetragen. Eine Haftbrücke als dauerhafte Verbindung zwischen Altbeton und Reparaturmörtel ist unumgänglich. Als Reparaturmörtel werden vorzugsweise kunststoffmodifizierte Zementmörtel (PCC-Mörtel) aufgetragen. Abschließend ist noch eine Feinspachtelung der ausgebesserten Stelle erforderlich, damit die Oberfläche wieder gleichmäßig wird (Bild 5).

Das punktuelle Ausbessern ist ausgesprochen lohnintensiv und daher nicht billig. Auch wenn die Vorarbeiten wie das Reinigen des Behälters, Lösen der Abplatzungen und Freilegen der Bewehrung in Eigenleistung des Landwirts erfolgen können, ver-



*Bild 5: Auftragen eines kunststoffmodifizierten Zementmörtels bei der Instandsetzung von Betonabplatzungen*



bleiben doch erhebliche Kosten. Allein der Preis für den Mörtel liegt bei rund 30 €/m<sup>2</sup>. Diese Maßnahme lohnt daher nur bei kleinen Flächen bzw. bei nicht zu großen Schadenstiefen. Werden diese Arbeiten von einer Fachfirma ausgeführt, so ist mit Gesamtkosten von ca. 80 €/m<sup>2</sup> ab einer Tagesleistung von 80 bis 100 m<sup>2</sup>. ausgebesserter Fläche zu rechnen.

Ist eine nicht ausreichende Betondeckung bei der Behälterwand festgestellt worden, so ist vor dem Auftreten von Korrosionsschäden bzw. nach erfolgter Ausbesserung eine rissüberbrückende Spachtelung mit einem kunststoffvergüteten Zementmörtel, ca. 2 mm dick, vollflächig aufzutragen, um eine weitere Karbonatisierung des Betons zu verhindern, die Beständigkeit des Betons gegen chemische Einwirkungen der Gülle zu erhöhen und die Wasserundurchlässigkeit zu verbessern. An Materialkosten sind rund 13 €/m<sup>2</sup> zu kalkulieren. Die Gesamtkosten liegen, einschließlich Strahlen, bei ca. 40 €/m<sup>2</sup> bei Flächen ab 150 m<sup>2</sup> (Tagesleistung). Für die Haltbarkeit der Spachtelung können mehr als zehn Jahre angenommen werden.

### Großflächige Abplatzungen geringer Tiefe

Bei der Instandsetzung großflächigen Abplatzungen ist zu unterscheiden, ob diese Schäden nur oberflächennah mit einer geringen Tiefe auftreten (verursacht z.B. durch Frost) oder ob diese Schäden tiefer bis zur Bewehrung gehen (verursacht z.B. durch Korrosion der Bewehrung).

Bei frostbedingten Erosionsschäden und Abplatzungen minderer Tiefe – sie treten bevorzugt oberhalb des Güllespiegels auf – ist zuerst die Oberfläche des Betons zu reinigen. Dies kann z.B. geschehen durch Abbürsten, Abblasen mit öldruckfreier Luft oder Hochdruckdampfstrahlen. Nicht tragfähiger Zementstein und lose Gesteinskörnungen müssen durch Sand- oder Hochdruckwasserstrahlen (400 bar bis 1 200 bar) entfernt werden. Bei ausreichender Untergrundfestigkeit (Haftzugfestigkeit im Mittel  $\geq 1,5 \text{ N/mm}^2$ ) kann anschließend die freigelegte

Fläche mit einem Beschichtungssystem aufgefüllt werden, bestehend aus

- einer schlämmfähig eingestellten Haftbrücke,
- einem kunststoffmodifiziertem Zementmörtel mit einem auf die Schichtdicke abgestimmten Größtkorn (Verarbeitung auf der Haftbrücke frisch in frisch) und
- einer rissüberbrückenden Feinspachtelung zur Oberflächenvergütung.

Bei dieser Ausbesserung ergeben sich Schichtdicken von mindestens 5 mm. Die Instandsetzung kann, je nach Schadensumfang, aus Kostengründen auch nur auf den geschädigten Bereich der Behälterwand z.B. in Form einer „Bauchbinde“ beschränkt werden.

Unabhängig von dieser Instandsetzung kann es bei frostbedingten Schäden sinnvoll sein, die gesamte Behälterinnenfläche mittels einer Imprägnierung zu verfestigen und damit den Frostwiderstand an der Betonoberfläche zu erhöhen. Für diesen Schutz sind z.B. Epoxidharze oder Silikatfarben geeignet. Die Kosten hierfür betragen ca. 12 €/m<sup>2</sup> bis 15 €/m<sup>2</sup>, einschließlich Hochdruckreinigung. An Materialkosten entstehen 5 €/m<sup>2</sup>.

### Großflächige Abplatzungen größerer Tiefe

Gehen die Schäden tiefer und sind sie auf eine Korrosion der Bewehrung zurückzuführen, ist das vorbeschriebene Verfahren zusammen mit der dann zusätzlichen Behandlung der freigelegten Bewehrung („Spachtelmethode“) zwar möglich, aber in den meisten Fällen zu teuer.

Als wirtschaftlichere Instandsetzung sollte in diesen Fällen

- die Verstärkung der Wand mit Spritzbeton (Bild 6);
- das Anbetonieren einer neuen Betonschale (Bild 7) oder
- das Einhängen eines Foliensacks

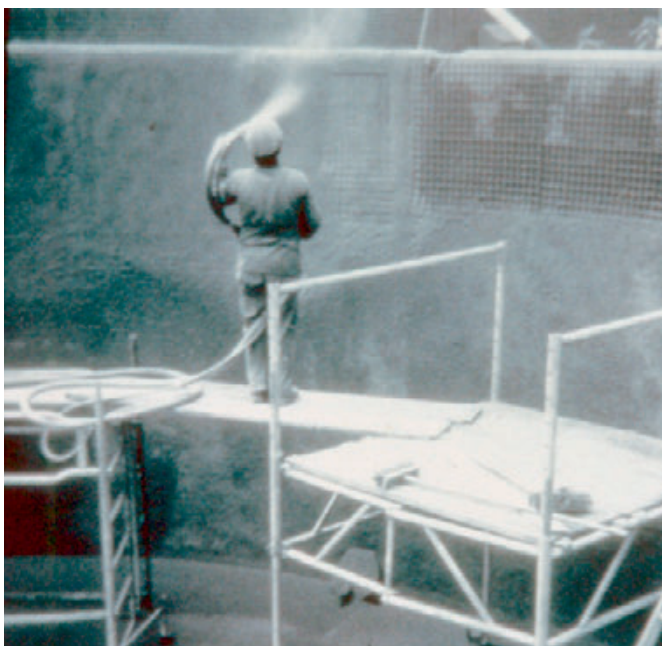


Bild 6: Verstärkung einer Güllebehälterwand mit Spritzbeton



Bild 7: Instandsetzung eines Güllebehälters durch eine neue Betoninnenschale

in Betracht gezogen werden. In besonderen Fällen kann auch der Abbruch des Behälters und anschließender Neubau die kostengünstigste Lösung sein.

Spritzbeton darf nur von einer Fachfirma aufgetragen werden. Dabei wird über druckfeste Schläuche oder Rohrleitungen der Beton gefördert und durch Spritzen auf die Wand aufgetragen und verdichtet. Einzelheiten zur Planung und Ausführung sind [4] zu entnehmen. Vor dem Auftragen des Spritzbetons ist die alte, geschädigte Betonoberfläche zu reinigen. Danach sind mit einem Strahlgerät die losen Bestandteile des Betons zu entfernen. Dies ist Voraussetzung für einen dauerhaften Verbund zwischen Alt- und Spritzbeton. Freigelegte Bewehrung ist zu entrostet. Ist aus Gründen der Standsicherheit eine neue Bewehrung anzubringen, z.B. wenn die alte Bewehrung durchrostet oder sich Risse gebildet haben, so ist diese so fest an die Außen- oder Innenwand anzudübeln, so dass sie beim Aufprall des Betons ihre Lage beibehält.

Die Dicke des Spritzbetonauftrags richtet sich nach den örtlichen Gegebenheiten. Der Beton ist jedoch mindestens 3 cm bis 5 cm dick aufzutragen, um eine einwandfreie und ausreichende Überdeckung der vorhandenen bzw. evtl. neuen Bewehrung zu gewährleisten. Wie jeder Beton ist Spritzbeton nachzubehandeln. Gerade die relativ dünne Spritzbetonschale ist sehr empfindlich gegen vorzeitiges Austrocknen sowie gegen extreme Witterungseinflüsse.

Die Kosten für den Auftrag von Spritzbeton sind relativ hoch. So ist zum Beispiel bei 3 cm Spritzbetonauftrag mit rund 70 €/m<sup>2</sup> zu rechnen, vorausgesetzt es handelt sich hierbei um eine Ta-

gesleistung. Spritzbeton auf kleine Flächen ist wegen der hohen Kosten für die Baustelleneinrichtung und die einzuhaltenen Schutzmaßnahmen fast immer unwirtschaftlich.

Beim Einbau einer neuen Betonschale wird je nach Örtlichkeit und Schaden die Innen- oder Außenseite der bestehenden Wand des Behälters als Schalung genutzt. Bei einer Innenschale wird zwar das Behältervolumen geringfügig vermindert, dafür wird aber die Verbreiterung des Fundaments eingespart. Selbstverständlich sind auch hier Vorarbeiten wie Reinigen der Wände und Entfernen des nicht tragfähigen Betons erforderlich. Die neue Betonschale sollte 10 cm Dicke nicht unterschreiten. Sie ist je nach dem Grad der Schädigung der vorhandenen Bewehrung zu bewehren. An die Betonzusammensetzung sowie die Verarbeitung und Nachbehandlung des Betons sind die gleichen Anforderungen wie bei einem Neubau eines Güllebehälters aus Stahlbeton zu stellen. Als Kosten für eine 10 cm dicke Innenschale können rund 70 €/m<sup>2</sup> angesetzt werden.

Güllebehälter, deren Bewehrung noch ausreichend ist, können auch mit einer innen angebrachten Folie instand gesetzt werden. Dies kann dann von Vorteil sein, wenn zusätzlich Undichtigkeiten wie z.B. durch Risse oder Fugen im Behälter vorhanden sind. Die bis zu 1,5 cm dicken Folien können nach einer gründlichen Reinigung des Behälters montiert werden. Sie werden dabei an kunststoffbeschichtete Flachstahlwinkel, die auf den oberen Behälterrund angedübelt werden, angeschweißt. Die in den Behälter eingehängten Folienbahnen werden an den Stößen verklebt und mit der Sohlendichtung verschweißt. Die Verklebung sollte vorzugsweise im Lieferwerk der Folie erfolgen. Es entsteht so ein geschlossener Foliensack. Für die Halt-



Bild 8: Durchfeuchteter Riss bei Wasserfüllung eines Güllebehälters während der Selbstheilung



Bild 9: Dichter Riss nach Abschluss der Selbstheilung

Foto: Thomas Richter, Leipzig

Foto: Thomas Richter, Leipzig



barkeit dieser Abdichtung werden bis zehn Jahre angegeben. Die Materialkosten für den Foliensack sind mit rund 15 €/m<sup>2</sup> anzunehmen.

### Risse in der Behälterwand

Güllebehälter müssen aus Gründen des Umweltschutzes auf Dauer dicht sein. Die Dichtheit erfordert neben der Verwendung eines wasserundurchlässigen Betons konstruktive Maßnahmen wie z.B. dichte Fugenausbildungen und hinsichtlich der Dauerhaftigkeit eine ausreichende Bemessung für die Beanspruchungen aus Betrieb und Umwelt. Bei den üblichen Bewehrungsgraden sind Risse nicht generell ausgeschlossen, aber ihre Breite ist dadurch so weit minimiert, dass ein Durchdringen der Wand durch die Gülle ausgeschlossen ist und die Dauerhaftigkeit des Güllebehälters gesichert ist. DIN 11622-2 geht von einer bei der Bemessung zu Grunde zu legenden rechnerischen Rissbreite von 0,3 mm aus. Bei diesen Rissbreiten ist zwar eine Undurchlässigkeit gegen Gülle mit ihrem hohen Feststoffanteil gegeben, nicht jedoch gegen Wasserdruck von mehreren Metern Höhe. DIN 11622, Beiblatt, schreibt eine Dichtheitsprüfung des Güllebehälters mit einer Wasserfüllung von 0,5 m Höhe vor, um besonders die Arbeitsfuge Bodenplatte/Wand auf Dichtheit zu prüfen.

Wird, wie manchmal von Umweltbehörden gefordert, eine Vollfüllung des Güllebehälters mit Wasser zur Dichtheitsprüfung gefordert, sind geringere Rissbreiten bei der Bemessung des Behälters vom Tragwerksplaner zugrunde zu legen. Die dafür benötigte zusätzliche Bewehrung wird nur für die Dicht-

heitsprüfung benötigt, nicht jedoch während des Betriebs des Behälters (Güllefüllung). Die Rissbreitenbeschränkung (z.B. auf 0,2 mm) wird dann im Regelfall 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. Die Selbstheilung kann je nach Randbedingungen (vorhandene Rissbreiten, Wanddicke, Wasserdruck, Temperatur) bis zu sechs Wochen benötigen. Nach dieser Zeit noch wasserführende Risse müssen durch Injektion abgedichtet werden (Bild 8 und Bild 9).

Risse mit einer Breite von 0,2 mm und darüber sind auch ohne Hilfsmittel gut sichtbar, insbesondere nach Befeuchten des Betons mit Wasser und anschließendem oberflächigen Abtrocknen. Die genaue Rissbreite kann mit einer Risslupe oder mit einem Linienmaßstab ermittelt werden. Sind Risse wasser- oder gülleführend, ist der Ursache nachzugehen und zusätzlich festzustellen, ob sich die Rissufer bewegen. Für eine dauerhafte Instandsetzung ist von entscheidender Bedeutung, ob die Risse betontechnologisch und/oder statisch konstruktiv bedingt sind.

Durch das Füllen von Rissen können folgende Ziele erreicht werden:

- Hemmen oder Verhindern des Zutritts korrosionsfördernder Stoffe in Bauteile durch Risse (*Schließen*)
- Beseitigen von rissebedingten Undichtigkeiten (*Abdichten*)
- Herstellen einer zug- und druckfesten Verbindung beider Rissufer (*Kraftschlüssiges Verbinden*)



Bild 10: Dehnfähige Rissverpressung zur Rissabdichtung an einem Güllebehälter



Bild 11: Kraftschlüssige Rissverpressung an einem Güllebehälter



- Herstellen einer begrenzt dehnfähigen Verbindung beider Rissufer (*Dehnfähiges Verbinden*)

Wesentlich für das Füllen von Rissen bei Güllebehältern ist, dass das Füllmaterial leicht in die Risse eindringen kann und zu den Rissflanken eine dauerhafte Bindung herstellen kann. Letzteres ist zunächst überall dort unwahrscheinlich, wo Gülle in die Risse eingetreten ist. Hier muss in einem ersten Arbeitsgang der Riss aufgeweitet werden, um einwandfreie Rissufer zu erhalten.

Zum *Schließen* feiner, trockener Risse geringer Tiefe ist das Tränken der Risse durch mehrmaliges Auftragen eines dünnflüssigen Epoxidharzes z.B. mit einem Pinsel geeignet. Vor der Tränkung ist die Randzone der Risse zu säubern. Das Auftragen des Harzes wird in drei bis fünf Minuten wiederholt und solange fortgesetzt, bis kein Harz mehr in den Riss eindringt (Materialkosten rund 5 €/m).

Für das *Abdichten* und *Verbinden* von Rissen muss eine Rissfüllung injiziert werden. Das Verpressen von Injektionsharz oder Zementleim geschieht unter Druck mit Hilfe von Einfüllstutzen, Packer genannt. Verpressarbeiten dürfen nur von Fachfirmen ausgeführt werden. Um einen Riss zu verpressen, werden ca. 100 €/m verlangt. Die reinen Materialkosten für das Harz betragen 5 €/m bis 15 €/m.

Für das *dehnfähige Verbinden* von Rissen sind nur Polyurethanharze geeignet. Sie sind feuchtigkeitsunempfindlich und werden deswegen bei Güllebehältern, deren Risse meist feucht sind, auch zum Schließen und Abdichten verwendet (Bild 10). Für ein *kraftschlüssiges Verbinden* der Risse dürfen nur Epoxidharze (trockene Rissufer erforderlich) oder Zementleim verpresst werden (Bild 11).

Im Einzelfall, z.B. bei zu gering bemessener Bewehrung, können alternative Instandsetzungsmaßnahmen zur Abdichtung und Herstellung der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit ausgeführt werden. Die Behälter können dann z.B.

- durch eine neue Schale aus Beton oder Spritzbeton, innen oder außen, verstärkt werden oder
- mittels Spannringen oder Spannseilen nach einem bauaufsichtlich zugelassenen Verfahren wie z.B. durch Flachstahlgürtel (geht nur bei Rundbehältern, Kosten rund 30 €/m<sup>2</sup> Behälterfläche) standsicher gemacht werden (Bild 12) oder
- durch Füllen der einzelnen Risse, ggf. mit einer zusätzlichen Folienauskleidung, abgedichtet werden.

## Normen

- DIN 1045-1 bis -4: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton in Verbindung mit DIN EN 206-1 Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität
- DIN 4030-1: Beurteilung betonangreifender Wässer, Böden und Gase – Grundlagen und Grenzwerte
- DIN 11622-1, -2 und Beiblatt: Gärfuttersilos und Güllebehälter
- DIN EN 1504: Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken
- DIN EN 14487-1, -2 in Verbindung mit DIN 18551 Spritzbeton



Bild 12: Sicherung eines Güllebehälters mit Rissen durch Anbringen einer Vorspannung mit Spannringen

## Literatur

- [1] Merkblatt Stahlbeton für Güllebehälter. Bauen für die Landwirtschaft 36 (1998), H. 1
- [2] Vorbeugende Maßnahmen gegen schädigende Alkalireaktion im Beton (Alkali-Richtlinie). Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Berlin, Ausgabe 2007-02 und Berichtigung 2010-04
- [3] Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen (Instandsetzungs-Richtlinie). Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Berlin, Ausgabe 2001-1 und Berichtigungen 2002-01 und 2005-12
- [4] Hersel, O.; Kind-Barkauskas, F.; Klose, N.; Peck, M.; Richter, T.; Schäfer, W.: Stahlbetonoberflächen – schützen, erhalten, instandsetzen. Verlag Bau+Technik, Düsseldorf 2009

## Weitere, nicht im Text erwähnte Literatur

- Goldenstern, H.: Instandsetzung von Güllebehältern mit Rissen. Bauen für die Landwirtschaft 36 (1998), H. 1
- Goldenstern, H.; Klose, N.; Tegelaar, R.: Baupraktische Erfahrungen mit der Dauerhaftigkeit von Ortbeton-Güllebehältern. Beton-Informationen 34 (1994), H. 3/4
- Hersel, O.: Instandsetzen von Güllebehältern aus Stahlbeton. Bauen für die Landwirtschaft, 37 (1999), H. 1
- Koch, F.: Gülle- und Festmistlager auf Vordermann bringen. Landwirtschaftskammer Niedersachsen, 2007
- Osthues, A.: Betonbehälter: Bauschäden vermeiden. Landwirtschaftliches Wochenblatt Westfalen-Lippe, 155 (1998), H. 25
- Richter, T.: Beton für Biogasanlagen. Bauen für die Landwirtschaft 45 (2007), H. 1

## Anmerkungen zu den Preisangaben

Die Preise können je nach Konjunkturlage, Region, Jahreszeit oder Auftragsumfang erheblich abweichen. Sie sind somit nur als Anhaltswerte zu verstehen.

# Kennen Sie schon die Zement-Merkblätter für die Landwirtschaft?

- Beton für landwirtschaftliche Bauvorhaben
- Außenwände für Warmställe
- Fußböden für Lagerhallen
- Bauausführung dauerhafter planbefestigter Stallfußböden
- Dichte Behälter für die Landwirtschaft
- Beton für Kompostierungsanlagen
- Beton für Biogasanlagen
- Planung und Bau von Gärfutter-Flachsilos
- Weg- und Hofbefestigungen mit Betonpflastersteinen
- Eigenverbrauchtankstellen für Dieselkraftstoff
- Ländlicher Wegebau mit Beton
- Naturnahe Wegbefestigungen



Die Zement-Merkblätter sind als pdf-Dateien kostenlos abrufbar unter [www.beton.org](http://www.beton.org), Bereich Fachinformationen, Zement-Merkblätter, Landwirtschaftliches Bauen (LB).

Eine CD-ROM aller verfügbaren Zement-Merkblätter der Themengebiete Betontechnik (B), Hochbau (H), Landwirtschaftliches Bauen (LB), Straßenbau (S) sowie Tief- und Ingenieurbau (T) ist gegen eine Schutzgebühr von 2,50 € unter [www.betonshop.de](http://www.betonshop.de), Suchbegriff Zement-Merkblätter, erhältlich.

Beratung und Information zu allen Fragen der Betonanwendung erhalten Sie bei den auf der Hefrückseite genannten regionalen Ansprechpartnern.

**Es kommt drauf an,  
was man draus macht.**

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 Biogasproduktion notwendigen Biomasse war bisher i. d. R. Gülle aus der landwirtschaftlichen Tierproduktion. Zunehmend werden speziell für die Biogasproduktion 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 Grünzeug, 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

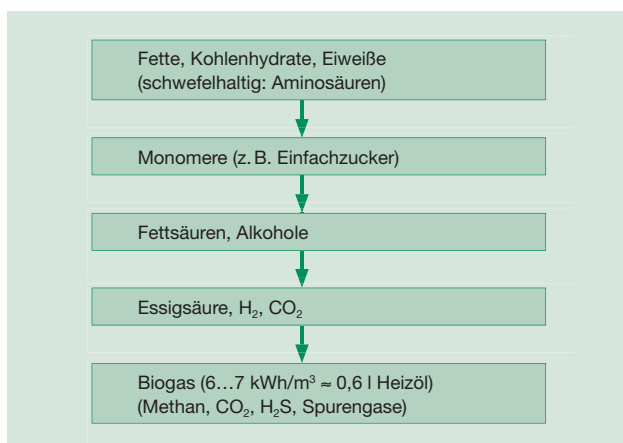


Bild 1: Stofflicher Ablauf der Biogasproduktion durch Vergärung (vereinfacht)

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 Leckerkennungssystem 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 Leckerkennung 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

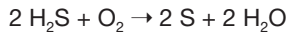
Die landwirtschaftlichen Gärsubstrate und ihre Abbauprodukte stellen im flüssigkeitsberührten Bereich eine chemisch schwach angreifende Umgebung für Beton dar (Expositionsklasse XA1). Werden zur Biogasfermentation organische Stoffe eingesetzt, die ihren Ursprung außerhalb des landwirtschaftlichen Produktionskreislaufs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

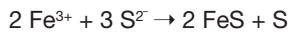
Das sich im Gasraum über dem Substrat bildende Biogas enthält Schwefelwasserstoff  $H_2S$ , Bild 4. Schwefelwasserstoff ist giftig und wird bei höherer Konzentration lebensgefährlich und explosiv. Die Bildung von Schwefelsäure und schwefliger Säure kann zur Korrosion von Bau- und Werkstoffen führen, 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].

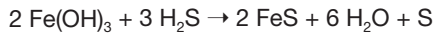
Die Entschwefelung des Biogases ist daher unbedingt erforderlich. Häufig eingesetzt wird die Entschwefelung im Gasraum des Fermenters durch Einblasen von 3 bis 8 Vol.-% Frischluft, bezogen auf die erzeugte Biogasmenge. Um das richtige Luftvolumen einzublasen, muss die erzeugte Gasmenge gemessen und der 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

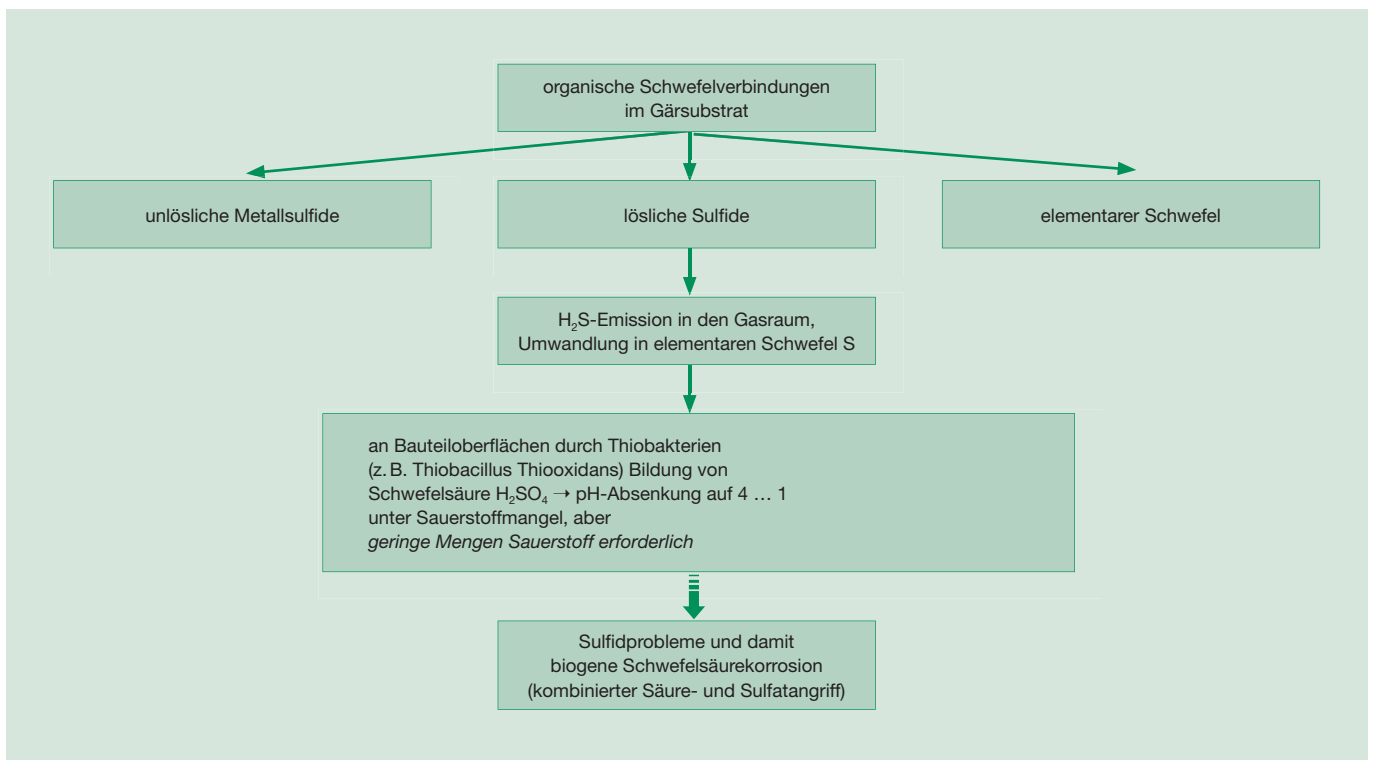


Bild 4: Chemische Prozesse beim Vergären, die zu Sulfidproblemen und damit zur biogenen Schwefelsäurekorrosion führen können

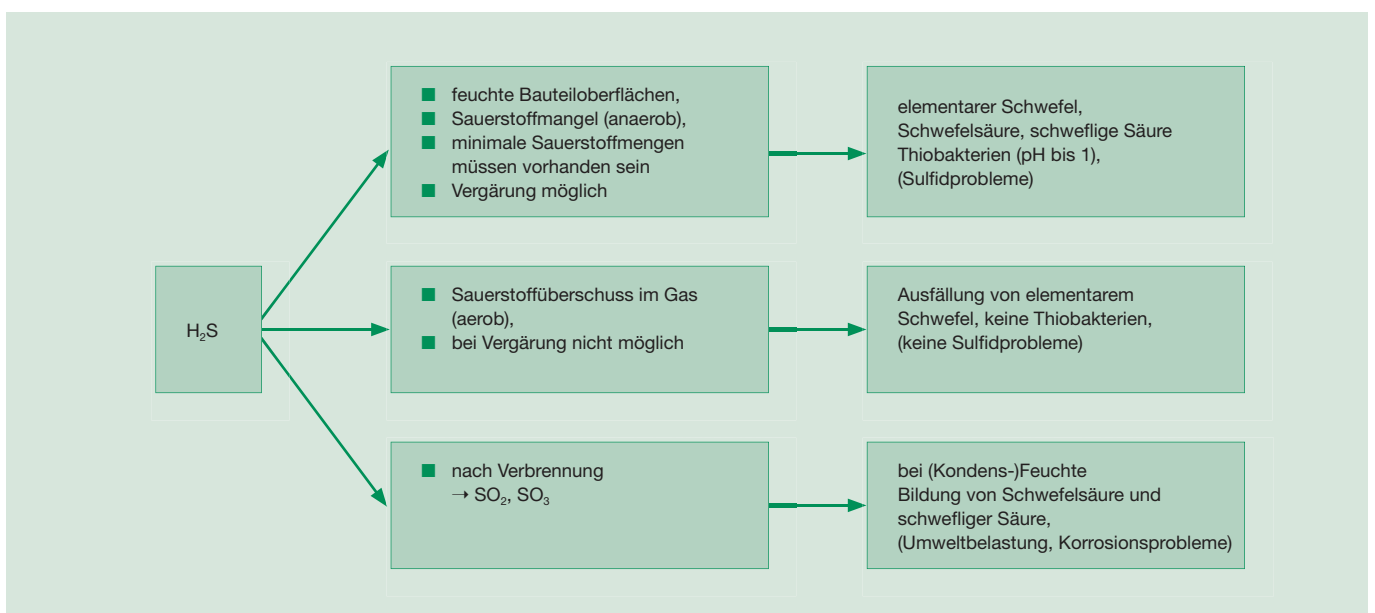


Bild 5: Verhalten von Schwefelwasserstoff im Gasraum bei unterschiedlichen Randbedingungen



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-Fertigteilebehälter

Bei Beton-Fertigteilebehältern treten auf Grund der zwangungsfreien 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 Witte- rung 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 Spannbetontragwerken. 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

# Stahlbetonoberflächen

Verlag Bau+Technik GmbH  
Postfach 12 01 10  
40601 Düsseldorf  
Bestellfax: 02 11/9 24 99-55  
www.verlagbt.de ▶ bookshop

edition beton

Neuaufgabe des Titels  
„Instandsetzen von  
Stahlbetonoberflächen“



**1 Schäden an Stahlbetonoberflächen**

**1.1 Schutz der Betonoberflächen durch einen Carbonationschutz**

Reaktion entsteht ein Alkali-Kieselsäure-Gel. Das durch wässrige Wasser- und Luftzutritt zu einem Silica-Gele wird. Dieser Gele bildet eine Dichtungsschicht, die das Eindringen von Wasser und Sauerstoff in das Beton hindert. Eine schützende APT lagert sich vor dem Wasser ein. Sauerstoff, Sauerstoffdampf und Feuchtigkeit der Luft werden abgehalten. Die APT an der Oberfläche bildet einen Schutzfilm, der das Eindringen von Wasser und Luft in das Beton hindert.

**1.2 Schäden durch Alkali-Kieselsäure-Reaktion (AKR)**

Die Alkali-Kieselsäure-Reaktion (AKR) im Beton ist eine chemische Reaktion von reaktiven Silica mit Alkalien im Zementmörtel. Die in Zementmörtel gebildeten Alkalien werden durch die Alkali-Kieselsäure-Reaktion in einen Silica-Gele umgewandelt. Dieser Gele bildet eine Dichtungsschicht, die das Eindringen von Wasser und Sauerstoff in das Beton hindert.

**6 Risse in Betonbauteilen**

Bei der Herstellung von Betonbauteilen in der Praxis sind Risse unvermeidbar. Die Risse entstehen durch die Schrumpfung des Betons, die Temperaturänderungen und die ungleichmäßige Verteilung der Lasten. Die Risse können die Tragfähigkeit des Betonsbauteils beeinträchtigen und die Dauerhaftigkeit des Betons verringern.

**7 Risse in Betonbauteilen**

Die Risse in Betonbauteilen entstehen durch die Schrumpfung des Betons, die Temperaturänderungen und die ungleichmäßige Verteilung der Lasten. Die Risse können die Tragfähigkeit des Betonsbauteils beeinträchtigen und die Dauerhaftigkeit des Betons verringern.



## Instandsetzen von Stahlbetonoberflächen

Ein dauerhaftes, mängelfreies Bauwerk kann ganz allgemein nur bei gewissenhafter Planung und sachgerechter Bauausführung entstehen. Eine nicht ausreichende Beachtung dieser Zusammenhänge führt zu Mängeln und Schäden an Bauteilen und Bauwerken. Über das Instandsetzen von Stahlbetonoberflächen liegt seit 1985 die gleichnamige Veröffentlichung des Bundesverbandes der Deutschen Zementindustrie vor.

## Arbeitshilfe für Planer und Bauherren

Es ist auch in der aktuellen Fassung, die jetzt den Titel „Stahlbetonoberflächen – schützen, erhalten, instandsetzen“ trägt, das besondere Ziel, vor allem dem Bauherrn in seiner Funktion als Auftraggeber von Instandsetzungsmaßnahmen eine technische und rechtliche Orientierungshilfe zu geben. Im Weiteren wendet sich die Publikation an alle mit der Planung befassten Fachleute, für die der Umgang mit gefährdeten oder geschädigten Betonoberflächen Neuland im praktischen Alltag darstellt.

## Zusammenhänge der Instandsetzungspraxis

Wegen der Vielzahl von unterschiedlichen Material- und Systemangeboten ist es im Instandsetzungsfall zumeist schwierig, die richtige Entscheidung zu treffen. Die vorliegende Broschüre will diese Aufgabe mit produktunabhängigen Informationen erleichtern. Der Leser soll soweit mit den Zusammenhängen der Instandsetzungspraxis vertraut gemacht werden, dass er auftretende Mängel erkennen, geeignete Maßnahmen zur Schadensbeseitigung veranlassen und die Wirkungsweise möglicher Verfahren sowie die hierzu erforderlichen Stoffe weitgehend beurteilen kann.

## Aus dem Inhalt:

Der Inhalt der Broschüre basiert neben den geltenden Regelwerken auf Informationen von Instandsetzungsfachleuten und Produktherstellern sowie auf den persönlichen Erfahrungen der Autoren:

- Schäden an Stahlbetonoberflächen
- Schutz von Betonoberflächen
- Erkennen und Beurteilen von Schäden
- Grundlagen für die Instandsetzung
- Risse in Betonbauteilen
- Ausschreibung und Vergabe von Instandsetzungsmaßnahmen
- Verstärken von Betontragwerken
- Instandsetzung von historischen Betonoberflächen
- Graffitienschutz von Betonoberflächen
- Literatur
- Fachbegriffe

Peck u.a.  
**Stahlbetonoberflächen**  
Schützen, Erhalten, Instandsetzen

8., überarb. Aufl., 2008,  
192 S., 14,8 x 21 cm,  
56 Abb., 18 Taf., kart.  
€ 29,80 / sFr 50,10  
**ISBN 978-3-7640-0490-3**



## BetonMarketing Deutschland

BetonMarketing Deutschland GmbH  
Steinhof 39  
40699 Erkrath  
bmd@betonmarketing.de

## Kontakt und Beratung vor Ort

### BetonMarketing Nord

BetonMarketing Nord GmbH  
Anderter Straße 99D  
30559 Hannover  
Telefon 0511 554707-0  
hannover@betonmarketing.de

### BetonMarketing Ost

BetonMarketing Ost  
Gesellschaft für Bauberatung und Marktförderung mbH  
Teltower Damm 155  
14167 Berlin-Zehlendorf  
Telefon 030 3087778-0  
mailbox@bmo-berlin.de

### BetonMarketing Süd

BetonMarketing Süd GmbH  
Gerhard-Koch-Straße 2+4  
73760 Ostfildern  
Telefon 0711 32732-200  
info@betonmarketing.de

Beethovenstr. 8  
80336 München  
Telefon 089 450984-0  
info@betonmarketing.de

### BetonMarketing West

BetonMarketing West  
Gesellschaft für Bauberatung und Marktförderung mbH  
Annastraße 3  
59269 Beckum  
Telefon 02521 8730-0  
info@bmwest.de