

**1 | 2008**



## **Bauen für die Landwirtschaft**

**Behälter / Trockenbeton**

# Bauen für die Landwirtschaft

Heft Nr. 1, 46 (2008)  
ISSN 0171-7952

## Autoren:

**Dipl.-Ing. Fred Koch**  
Landwirtschaftskammer Niedersachsen  
Johannsenstr. 10  
30159 Hannover

**Dr.-Ing. Dipl.-Wirtschaftsingenieur  
Jan-Gerd Krentler**  
Johann-Heinrich von Thünen-Institut  
Institut für Agrartechnologie und  
Biosystemtechnik  
Bundesallee 50  
38116 Braunschweig

**Prof. Dr.-Ing. habil. Horst Kretzschmar**  
Ingenieurbüro Kretzschmar  
Richard-Wagner-Str. 10  
99441 Magdala

**Dipl.-Ing. Werner Rothenbacher  
Dipl.-Ing. Wolfgang Hemrich  
Dipl.-Ing. Heiko Zimmermann**  
Schwenk Zement KG  
Anwendungstechnik  
Hindenburgring 15  
89077 Ulm

**DI Florian Petscharnig**  
Technisches Büro für Verfahrenstechnik  
St. Walburgen 34  
9371 Brückl  
Österreich

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

Herausgeber:  
BetonMarketing Deutschland GmbH  
Steinhof 39, 40601 Erkrath  
Tel.: 0211 28048-1, Fax: 0211 28048-320  
www.beton.org, bmd@betonmarketing.de

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

Dagmar Diedenhofen  
Verlag Bau+Technik GmbH  
Tel.: 02 11 / 9 24 99-52

Gesamtproduktion:  
Verlag Bau+Technik GmbH, Düsseldorf

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 Rücksendung.

Druck und Litho: Loose-Durach GmbH, Remscheid

## Themenheft: Behälterbau / Trockenbeton

S. 3

### Dichtheit von landwirtschaftlichen Lagern

Fred Koch

Heutige Regelungen zum Bau von Anlagen zur Güllelagerung und zur Entmistung zielen vorrangig darauf ab, den aktuellen Stand der Technik zur Vermeidung von Umweltschäden aufzuzeigen und bei Neuanlagen umzusetzen. Der Beitrag beschreibt die heutigen Anforderungen und den Umgang mit Anlagen, die vor vielen Jahren mit heute nicht mehr geregelten Bauweisen errichtet wurden.

S. 7

### Ein neues Fahrsilo der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft als Beitrag zum baulichen Umweltschutz

Jan-Gerd Krentler

Fahrsilos gelten als die am stärksten angegriffenen Bauwerke in der Landwirtschaft. Bei Genehmigungsverfahren werden verstärkt Umweltschutzgesichtspunkte berücksichtigt. Wegen der gestiegenen Anforderungen und der zunehmenden Anlagengröße werden Gärfutter-Flachsilos fast nur noch in Unternehmerleistung gebaut. Die Bundesforschungsanstalt hat eine kombinierte Fahrsilo- und Festmist-Anlage gebaut, bei der jede Art einer möglichen Umweltbelastung ausgeschlossen sein soll. Langfristige Beobachtungen sollen zeigen, ob der hohe bauliche Aufwand in der Praxis notwendig ist. Außerdem werden verschiedene Baulösungen für Fahrsilos vorgestellt, die heute auf dem Markt angeboten werden.

S. 11

### Tragwerksplanung von Biogasfermentern aus Stahlbeton

Horst Kretzschmar

Biogasfermenter sind vielfältigen Lasteinwirkungen sowie thermischen und chemischen Einwirkungen ausgesetzt. Die Komplexität dieser Einwirkungen sowie die hohen Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit erfordern eine sorgfältige Tragwerksplanung. Es werden die Einwirkungen auf einen Stahlbetonfermenter und die daraus resultierenden Beanspruchungen beschrieben. Mit diesen Beanspruchungen sind die Nachweise der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit sowie die geotechnischen Sicherheitsnachweise zu erbringen. Um kostenoptimale Lösungen zu erhalten, sind dabei die standortabhängigen Bedingungen wie z.B. örtliche Schneelast, Bodenkenngrößen und Einbindung des Fermenters in das vorhandene Gelände zu berücksichtigen.

S. 18

### Beton für landwirtschaftliche Bauten nach neuer Norm – Gärfuttersilos, Güllebehälter, Biogasanlagen

Werner Rothenbacher, Wolfgang Hemrich, Heiko Zimmermann

In der Landwirtschaft wird Beton als dauerhafter und wirtschaftlicher Baustoff in vielfältiger Form eingesetzt. Mit der bauaufsichtlichen Einführung der neuen Betonnormenreihe DIN EN 206-1 und DIN 1045, Teile 1 bis 4, wurde der Grundstein für ein europäisches Normensystem gelegt. In diesem Zusammenhang treten auch Neuerungen in Kraft, die Einfluss auf viele Bauteile und Bauten in der Landwirtschaft haben. Die wichtigsten Änderungen in Hinblick auf Expositionsklassen und Betonzusammensetzungen für ausgewählte Bauten der Landwirtschaft werden aufgezeigt.

S. 21

### Trockenbeton für Baumaßnahmen in der Landwirtschaft

Florian Petscharnig

Umbauarbeiten in landwirtschaftlichen Gebäuden sind heute an der Tagesordnung. Am Beispiel eines kleineren Rinder- und Schweinestalls in Österreich wird gezeigt, welche Betonarbeiten beim Umbau anfallen und unter welchen Bedingungen Trockenbetone eine sinnvolle Alternative bzw. Ergänzung zum Transportbeton darstellen.

### Titelbild:

Kombinierte Festmist- und Fahrsiloanlage der Bundesanstalt für Landwirtschaft in Braunschweig, siehe Beitrag auf S. 7

(Foto: Krentler, Braunschweig)

# Dichtheit von landwirtschaftlichen Lagern

Von Fred Koch, Hannover

*Eigenleistung war schon immer Bestandteil der Kalkulation baulicher Anlagen von Landwirten. Der Umgang mit Maurerkelle und Mörtel wurde für fast alle Gebäude und Lagerstätten stetig geübt und teilweise besser praktiziert als vom Bauunternehmer. Selbst dann, wenn es mal nicht so klappte, fielen Mängel, aufgrund der relativ geringen Baumassen, kaum auf, und möglicherweise undichte Fugen wurden zugeputzt oder setzten sich nach kürzester Zeit von alleine zu. Auslöser für erhöhte rechtliche Anforderungen an den Bau und die Kontrolle von Lagerbehältern für Gülle, Jauche und Silagesickersaft waren massive Schadensfälle, die sich in den 80-er Jahren quer durch die Bundesrepublik zogen. Rechtlich geforderte und über Landesprogramme geförderte höhere Lagerkapazitäten für Fest- und Flüssigmist führten dazu, dass in einem zeitlich begrenzten Rahmen eine Vielzahl größerer Behälter beantragt, gebaut und abgerechnet werden mussten. Die mit dem Behälterbau vertrauten Unternehmen waren völlig überlastet und unerfahrene Unternehmungen sprangen ein. Die Auswirkungen durch Zeitdruck und fehlende Erfahrung bei der Bauausführung ließen nicht lange auf sich warten.*

## Verschärfung der rechtlichen Forderungen

Vereinzelt geplatze Behälter, defekte Befüll- und Entnahmeleitungen sowie Leckagen durch stationär eingebaute Rührwerke waren mit der zunehmenden Größe der Lagervolumen nicht mehr als Bagatelle einzustufen und wurden nicht mehr geflissentlich übersehen – vielmehr fanden sich in den Zeitungen Sensationsberichte mit Überschriften wie „400.000 Liter Gülle überschwemmen ein Dorf“, „Massenhaftes Fischsterben durch Einleitung von Silagesickersaft“, „Gülle überflutet Wohnhauskeller“ oder „Güllebehälter geplatzt – Wasserschutzgebiet verseucht“.

Die zunehmende Sensibilität der Bevölkerung gegenüber nachteiligen Veränderungen in der Umwelt führte zu verstärkten Forderungen und rechtlichen Vorschriften mit dem Ziel, Anlagen zur Lagerung Wasser gefährdender Stoffen nicht nur nach den anerkannten Regeln der Technik auszuführen, sondern nach dem Vorsorgegrundsatz so zu erstellen, dass der bestmögliche Schutz von Böden und Gewässern sichergestellt werden kann: „Eine drohende Gefahr im Sinne des Ordnungsrechts muss nicht erst abgewartet werden.“ Der Maßstab der Verhältnismäßigkeit ist dabei zu berücksichtigen. Diese Formulierung beinhaltet Forderungen, die sowohl die Bauweise der Lager selbst, als auch das zusätzliche Erstellen von baulichen Schutzmaßnahmen sowie Kontrollen vor und während des Betriebes umfassen.

Als bundesweit gültiger Rechtsrahmen sollte ein von der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser verfasster Vorschriftenkatalog (LAWA-Papier) zum Bau von JGS-Anlagen (JGS = Jauche, Gülle, Sickersaft) angewendet werden, der bis heute in einigen Ländern – teilweise in abgewandelter Form – per Erlass eingeführt ist. Besonders gravierende Inhalte bestanden darin, dass jede Art der JGS-Lagerung durch zusätzliche Flächendrainage mit 3 % Gefälle und Kontrolleinrichtung sowie in Form einer doppelwandigen Wanne gesichert werden sollte. Auch für Ställe mit Güllekanälen und -kellern sollten diese Auflagen gelten. Die sich daraus ergebenden Kiesdrainschichten hätten bei heutigen Stalldimensionen die Mächtigkeit von mehreren Metern ausgemacht, wodurch sich Standsicherheits- und Setzungsprobleme ergeben hätten, in deren Folge tatsächlich Undichtigkeiten entstanden wären. Diese und andere Ungereimtheiten veranlasseten die Länder, weitestgehend eigene Regeln zu erlassen.

In Niedersachsen gelten für Anlagen zum Lagern und Abfüllen von Jauche, Gülle, Silagesickersäften (JGS-Anlagen) folgende Anforderungen, die sich aus dem Anhang zur Verordnung

über Anlagen zum Umgang mit Wasser gefährdenden Stoffen (VAWS) ergeben.

### 1. Allgemeine Anforderungen

#### 1.1 Planung, Bau und Fassungsvermögen

*Bei Planung und Bau von JGS-Anlagen sind die DIN 11622 (Gärfuttersilos und Güllebehälter; Bemessung, Ausführung, Beschaffenheit; Gärfuttersilos und Güllebehälter aus Stahlbeton, Stahlbetonfertigteilen, Betonformsteinen und Betonschalungsteinen), Ausgabe 7/94; die DIN 1045 (Beton und Stahlbeton – Bemessung und Ausführung –) in der jeweils geltenden Fassung und die DIN 11832 (Landwirtschaftliche Hoftechnik, Armaturen für Flüssigmist, Schieber für statische Drücke bei max. 1 bar), Ausgabe 11/90, zu beachten.*

*Das erforderliche Fassungsvermögen der JGS-Anlagen muss größer sein als die erforderliche Kapazität für die Lagerung von Jauche, Gülle und Silagesickersäften während des längsten Zeitraums, in dem das Ausbringen auf landwirtschaftlichen Flächen nicht zulässig ist. Davon darf nur abgewichen werden, wenn gegenüber der zuständigen Behörde nachgewiesen werden kann, dass die überschüssige Menge umweltgerecht verwertet wird.*

*Wegen der Korrosionsgefahr darf bei der Lagerung von Mischungen aus Jauche, Gülle und Silagesickersäften in Betonbehältern der Anteil von Silagesickersaft 25 vom Hundert der jeweiligen Behälterfüllung nicht überschreiten, sofern der Behälter nicht Schutzanstriche oder Innenverkleidungen mit entsprechenden Eignungsnachweisen aufweist.*

*Fugen und Fertigteilstöße sind dauerhaft elastisch abzudichten. Bei Stahlbetonfertigbehältern sind abweichende Fugenausbildungen auf Nachweis möglich.*

*Bei nicht abgedeckten Behältern ist ein Niederschlag von 400 mm pro Jahr zu berücksichtigen. Ein Freibord von 20 cm ist bei der Bemessung einzuhalten.*

#### 1.2 Abstand zu Gewässern und Brunnen

*JGS-Anlagen haben zu oberirdischen Gewässern einen Abstand von mindestens 50 m einzuhalten. Ist dies nicht möglich, so ist sicherzustellen, dass mindestens 25 m<sup>3</sup> der gelagerten Stoffe im Schadensfall zurückgehalten werden können. Zu Brunnen, die der Trinkwassergewinnung dienen, ist ein Abstand von mindestens 50 m einzuhalten. Ausnahmen sind nur bei besonderen Nachweisen zulässig.*

### 1.3 Anlagen in Überschwemmungsgebieten

In Überschwemmungsgebieten sind Anlagen nur zulässig, wenn

1. das Eindringen von Hochwasser sowie
2. das Aufschwimmen von Behältern durch statischen Nachweis einer Auftriebssicherung sichergestellt ist.

### 1.4 Kontrollierbarkeit und Wartung

Die Anlage ist so zu errichten, dass alle Anlagenteile leicht zu kontrollieren und zu warten sind. Für Anlagen mit mehr als 25 m<sup>3</sup> Fassungsvermögen sind in der weiteren Zone von unterteilten Schutzgebieten (III A) Leckerkennungssysteme erforderlich.

## 2. Besondere Anforderungen

### 2.1 Behälter und Rohrleitungen

Die Bodenplatte ist fugenlos herzustellen. Die Dicke der Betonsohle ist statisch nachzuweisen. Gemäß DIN 11622-2, Abschnitt 5 und DIN 1045-1, Abschnitt 11.2 wird für die Begrenzung der Rissbreite des Betons ein Rechenwert der Rissbreite  $w_k = 0,3$  mm zugrunde gelegt. In einzelnen Bundesländern gelten durch Verordnung schärfere Anforderungen an die Rissbreitenbegrenzung von  $w_k = 0,2$  mm.

Stahlbehälter müssen gemäß DIN 11622 Teil 4 korrosionsbeständig sein, anderenfalls sind zusätzliche geeignete Beschichtungen oder Anstriche vorzusehen. Für die Stahlbetonplatte gelten die Anforderungen wie für Stahlbetonbehälter.

Befüllung und Entleerung der Lagerbehälter dürfen nur von oben erfolgen. Bei der Behälterwand ist eine Durchdringung im begründeten Einzelfall zulässig (zum Beispiel bei Behältern mit mehr als 4 m genehmigter Bauhöhe).

Die Rohrleitungen an Behältern müssen mit mindestens zwei voneinander unabhängigen Sicherheitseinrichtungen – davon ein Schnellschlussschieber – versehen werden, die ein unbeabsichtigtes Auslaufen des Behälterinhalts verhindern. Als Sicherheitseinrichtungen gelten neben Schiebern und Verschlusskappen auch Einrichtungen (Entlüftungsventile), die ein Aufschwimmen der Behälter verhindern.

Rohrleitungen müssen aus korrosionsbeständigem Material bestehen. Soweit zur Behälterentleerung eine im Behälter angeordnete Pumpe verwendet wird, gilt auch die Pumpenschaltung als Sicherheitseinrichtung, wenn eine unbeabsichtigte Inbetriebnahme ausgeschlossen ist.

Gülle Keller sind Lagerbehälter und müssen daher die für diese Behälter geltenden Anforderungen erfüllen. Der maximale Flüssigkeitsstand bei Gülle Kellern darf höchstens bis 10 cm unterhalb der Kellerdecke oder der Bodenroste ansteigen.

Bei Güllekanälen bis zu einer Bauhöhe von 1,50 m und einem flüssigkeitsführenden Querschnitt bis zu 6 m<sup>2</sup> sind Leckerkennungsmaßnahmen nicht erforderlich, wenn die Kanäle in Stahlbeton ausgeführt werden und die Dehnfugen entsprechend den allgemein anerkannten Regeln der Technik gedichtet sind.

Diese Regelung gilt ausschließlich für Kanäle zur Entmistung und nicht für solche, die mit dem Ziel der Güllelagerung errichtet werden. Das Volumen der Entmistungskanäle darf nicht in die Berechnung der erforderlichen Lagerkapazität eingerechnet werden.

### 2.2 Abfüllplätze

Plätze, auf denen Gülle und Jauche abgefüllt werden, müssen bei Druckbefüllung in einer Größe von mindestens 4 m x 6 m befestigt sein (Beton-, Asphaltdecke). Die Entwässerung der Abfüllplätze ist im freien Gefälle (3 vom Hundert) in die Vorgrube oder gegebenenfalls über eine Pumpe zum Beispiel in den Lagerbehälter vorzunehmen. Im Bereich des Abfüllplatzes und der Entwässerungseinrichtung müssen auch kleinere Mengen von auslaufender Gülle und Jauche zurückgehalten werden können. Absatz 1 Satz 1 gilt nicht bei Saugbefüllung.

### 3. Prüfung und Abnahme der Anlagen

Vor der Schlussabnahme sind Anlagen und Anlagenteile auf ihre Dichtheit zu prüfen. Abnahmen sind unter Beteiligung der Wasserbehörde vorzunehmen.

### 4. Kontrolle der Anlage

Anlagen, die nicht über entsprechende Leckageerkennungsmaßnahmen verfügen, sind alle zehn Jahre auf ihre Dichtheit durch die untere Wasserbehörde zu überprüfen.

## Bauherren und Betreiber haften

Betriebsmanagementsysteme (BMS) und Cross Compliance stellen zunehmende Anforderungen an die landwirtschaftlichen Betriebe zur Einhaltung rechtlicher Vorgaben. Das betrifft nicht nur die ordnungsgemäße Landbewirtschaftung und Tierhaltung sondern auch Bereiche, die über die typisch landwirtschaftliche Produktion hinausgehen. So gelten Haftungsbestimmungen auch für die zum Betrieb gehörenden baulichen Anlagen, insbesondere wenn diese Umweltschäden hervorrufen können. Haftbar ist grundsätzlich immer zunächst der Bauherr und Betreiber! Umso wichtiger ist es, im Schadensfall nachweisen zu können, dass man seiner Betreiberpflicht nachgekommen ist.

In heutigen Bauauflagen bei der Genehmigung von Güllebehältern ist zu lesen: Anlagen zum Lagern und Abfüllen von Jauche, Gülle und Silagesickersäften (JGS-Anlagen) müssen unter Hinweis auf §19g Abs.2 Wasserhaushaltsgesetz (WHG) so

- beschaffen sein und
- so eingebaut
- aufgestellt
- unterhalten
- und betrieben werden

dass eine Verunreinigung der Gewässer oder eine sonstige nachteilige Veränderung ihrer Eigenschaften nicht zu befürchten ist.

Hier stellt sich die Frage, worauf der Bauherr selber achten muss und was er selbst kontrollieren kann.

- Bei der Beschaffenheit, also bei der unterschiedlichen Bauausführung, stoßen wir schon auf die ersten Schwierigkeiten. Holz, Stahl, Ort beton oder Betonfertigteile – alles ist möglich und trotz Regelung durch DIN-Norm (DIN 11622, Stand 2006) ergeben sich Fachdiskussionen, welches die sicherste, wirtschaftlichste und sinnvollste Bauweise ist.

- Selbst dann, wenn der eigentliche Behälter optimal geplant und bemessen ist, kann der nicht sachgerechte Einbau zu

Schäden führen, die die Dichtheit gefährden. Fehlende Bewehrung oder Betonüberdeckungen, extreme Witterungsbedingungen beim Einbau, die zu Rissen führen oder Zeitverzögerungen beim Einbringen der Betonlieferungen sind nur einige mögliche Ursachen für Schäden.

- Zusätzliche Gefahren bestehen beim *Aufstellen*. Sowohl Aufschwimmen der Behälter durch Grundwasser oder durch Wasser, das in die ausgehobene Baugrube fließt, als auch instabile Bodenbeschaffenheiten, Hanglagen oder einseitige Erdanschüttungen können Behälter undicht werden lassen.

Da heute beantragte JGS-Anlagen nur noch von Fachfirmen gebaut werden dürfen, besteht für den Bauherrn zumindest für die o.a. Punkte die Möglichkeit, Haftungsansprüche bei Schäden weiterzugeben. Wichtig ist dabei jedoch ein eindeutiger Werksvertrag mit der Fachfirma und eine klare schriftlich fixierte Abgrenzung von Haftungsausschlüssen, die bei Eigenleistung bzw. Mitwirkung bei der Baumaßnahme entstehen können.

Somit sind Erstellung und Errichtung der Behälter nur die eine Seite der Medaille – bei Schäden die durch fehlende *Unterhaltung und* unsachgemäßen *Betrieb* hervorgerufen werden ist der Nachweis von Fremdverschulden deutlich schwieriger. Um dem Vorwurf der Fahrlässigkeit entgehen zu können, gehört daher eine stetig wiederkehrende Eigenkontrolle zu den Betreiberpflichten. Die Forderungen des WHG sind allgemein gültig und beziehen sich nicht nur auf neu beantragte Anlagen. Bei Neuanlagen sind zwar bessere Möglichkeiten der Dichtheitskontrolle gegeben als bei Altanlagen, wer jedoch mit kritisch offenen Augen seine bestehenden Anlagen betrachtet, der kann auch ohne teure Sachverständigengutachten das Gefahrenpotenzial reduzieren.

### Kontrollen beim Neubau sind vorgeschrieben

Der so genannte Regelbehälter ist der oberirdisch aufgestellte Behälter, dessen Fußpunkt jederzeit eingesehen werden kann. Bei allen Behältern oder Kanälen, auch denen, die teilweise ins Erdreich eingelassen werden, ist vor dem Verfüllen eine Dichtheitsprüfung in der Form durchzuführen, dass die Behälter 50 cm hoch mit Wasser befüllt werden und nach 48 Stunden durch Inaugenscheinnahme auf Dichtheit beurteilt werden.

Durch Fertigungsfehler bestehende Undichtigkeiten werden hierbei üblicherweise erkennbar, d.h. wenn bei einer Wasserbefüllung keine Schäden auftreten, ist kaum zu erwarten, dass bei einer anschließenden Befüllung mit Gülle Undichtigkeiten auftreten, zumal die Konsistenz von Gülle dazu beiträgt, dass sich Risse in der Konstruktion dauerhaft zusetzen.

Für Neu- und Altbauten kann festgestellt werden: nachträglich treten Schäden eigentlich nur dann auf, wenn

- verdeckte Mängel eingebaut wurden (fehlende oder falsch angeschlossene Stahlbauteile),
- durch einseitige Anschüttungen oder direkte mechanische Einwirkung nicht geplante Belastungen entstehen oder wenn
- offensichtliche qualitative Mängel an der Behälteroberfläche vorhanden sind.



Bild 1: Undichte Stellen werden bei Wasserbefüllung sichtbar

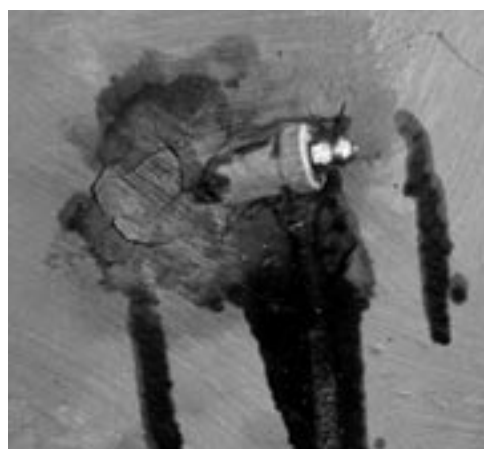


Bild 2: Eingebohrte Verpressdüse für Injektion zur Betoninstandsetzung

Die letztgenannten Mängel an der Oberfläche sind meist durch Eigenkontrolle feststellbar.

Bei den unterschiedlichen Bauweisen können die nachfolgenden Mängel Auslöser für Dichtheitsprobleme sein:

#### Beton:

- Sich ablösende Flickstellen, wenn nicht sachgerecht nachgebessert wurde
- Schmirgelwirkung beim Aufrühren stark sandhaltiger Gülle
- Betonester (Luft einschüsse) durch fehlende Verdichtung oder Entmischung
- Unzureichende Betonüberdeckung des Bewehrungsstahls

#### Metal:

- Beulen und Verformungen, die zu Rissen in der Beschichtung (auch bei Verzinkung!) und langfristig zu Durchrostungen führen
- Abplatzungen der Beschichtung im Bereich der Schraubverbindungen bei zu starkem Festschrauben
- Schrauben mit fehlender V4A-Qualität
- Herausquellende, verrutschte Dichtungsbänder
- Probleme bei Mixereinbauten und Rührgeräten durch Schwingungen, die sich auf den Behälter übertragen

#### Schalungssteine:

- Abplatzende Beschichtungen und Putzflächen sowie herausbrechende Fugen

## Holz:

- Fehlende Holzfeuchte führt zum Schwinden des Materials, d.h. Behälter, die länger nicht befüllt waren, können Spalten, Risse und somit Undichtigkeiten aufweisen. Das Nachspannen der Spannringe ist nur mit äußerster Sorgfalt durchzuführen
- Sockelbereich neigt zur Fäulnisbildung
- Trotz des Fugenvergusses im Sohlplattenbereich sollte bei Holzbehältern eine rundum laufende betonierte Rinne ausgebildet werden, was die Kontrolle vereinfacht

Zur Behälterkontrolle gehört auch die Kontrolle der Leitungen und Schieber. Vor allem ältere Behälter, bei denen noch die Zuleitung und Entnahme im Sohlplattenbereich zulässig war, stellen ein großes Risiko dar, wenn nicht beide Schieber funktionsfähig sind. Grundsätzlich sollte für jeden Behälterbesitzer selbstverständlich sein: Je älter der Behälter und die dazugehörigen technischen Einrichtungen sind, desto häufiger sind Kontrollen durchzuführen. Einerseits sind die Behälter noch nach Vorschriften errichtet worden, die zwischenzeitlich durch neuere Erkenntnisse und teilweise höheren Anforderungen ergänzt wurden, andererseits unterliegen Baustoffe, insbesondere solche, die ständig mit Feuchtigkeit in Berührung kommen, verstärkt den naturbedingten Alterungsprozessen.

Jede Formveränderung, Riss- und Rostbildung sollten intensiv beobachtet und umgehend analysiert werden. Beim Austreten von Gülle oder auch beim Eindringen von Wasser in den Behälter ist grundsätzlich sofort zu handeln, da sich ansonsten der Vorwurf der groben Fahrlässigkeit bei auftretenden Schäden begründet. Kontrollen sollten stets mit schriftlicher Protokollierung verbunden sein, um entsprechende Nachweise führen zu können.

## Lageranlagen mit Sickersaftanfall

Im Rahmen von Überprüfungsmaßnahmen werden auch Silageanlagen auf rechtskonforme Ausführung beurteilt.

*Stationäre bauliche Anlagen*, wie Gärfuttersilos mit mehr als 6 m<sup>3</sup> Fassungsvermögen und dauerhaft an einem Standort errichtete Silageplatten, unterliegen in Niedersachsen der Genehmigungspflicht. Für diese Anlagen prüft die Baubehörde u.a. unter dem Aspekt der Standsicherheit und der Wasserundurchlässigkeit.

Wasserundurchlässige Konstruktionen sind immer dann zu fordern, wenn die Lagerung Wasser gefährdender oder Wasser verunreinigender Stoffe die Besorgnis hervorruft, dass eine nachteilige Beeinträchtigung von Boden oder Gewässer entstehen kann. Zahlreiche Bestimmungen aus dem Wasser- und Baurecht sind auch hierbei die Grundlage für diese Art der Bauausführung bei Silageplatten.

Für neu zu beantragende Silageplatten gilt die DIN 11622, Stand August 2005. Zum 1.1.2005 ist außerdem eine neue DIN 1045 eingeführt worden, die detaillierte Anforderungen an Silageplatten stellt. U.a. darf die Ausführung nur noch durch Fachunternehmen durchgeführt werden.

Die Nutzungsbeschränkung baulicher Anlagen ist zwar nach dem Baurecht möglich. Eine durch Bauauflagen vorgeschrie-

bene Beschränkung auf die ausschließliche Lagerung von Anweilsilagen oder Silagen mit festgeschriebenen Trockenstoffgehalt ist jedoch im baurechtlichen Genehmigungsverfahren nicht praktikabel. Daher werden Silageplatten generell unter der Annahme, dass Sickersaft austreten kann, beurteilt. Außerdem gelten die auf den Platten auftretenden Niederschlagswasser in Verbindung mit den verbleibenden Futterresten als kontaminierte Flüssigkeiten, die nicht in den Boden versickern dürfen. Diese Anforderung lässt sich nur durch Erstellung einer wasserdichten Auffanggrube mit einem Fassungsvermögen von mindestens 2 % bis 3 % des Lagergutes erfüllen.

Wasserundurchlässige Konstruktionen im Sinne des Baurechts sind in dauerhafter Bauausführung durch einschlägige Normen und weitergehende Regelwerke definiert. Grundlage bilden neben den angeführten Normen weitere Zusatzbestimmungen der Länder, die sich aus den Anforderungen des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG §19, 26, 34) ergeben.

## Altanlagen

Wenngleich Bauvorschriften ständig fortgeschrieben werden, gelten üblicherweise die Bestands- und somit Vertrauensschutzregelungen, d.h. die Regelungen, die zum Zeitpunkt der beantragten und genehmigten Anlagen Gültigkeit besaßen. Die Anpassung an neue Bestimmungen und den heutigen Stand der Technik kann jedoch angeordnet werden, wenn unmittelbare Gefahr im Verzuge ist.

Die unterschiedliche Genehmigungspraxis und Auflagenformulierung in der Vergangenheit durch die Genehmigungsbehörden lässt sich infolge der lokal unterschiedlichen Gefährdungspotenziale, die sich aus der jeweiligen Bodenbeschaffenheit und Grundwassersituation heraus ergeben, begründen. Wasserundurchlässigkeit kann auch durch bestimmte Bodenarten verbunden mit entsprechender Mächtigkeit gegeben sein (z.B. über  $k_F$ -Wert Bestimmungen).

Silageplatten, die baurechtlich genehmigt sind, können somit, auch abweichend von den heutigen Regelungen, als rechtskonform gelten, wenn sie in der Bauausführung den mit der Baugenehmigung verbundenen Auflagen entsprechen.



*Bild 3: Gärsäuren können massiv den Beton angreifen – Schutzanstriche / Beschichtungen oder spezielle Betonzusammensetzungen sind für eine lange Lebensdauer unumgänglich*

# Ein neues Fahrsilo der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft als Beitrag zum baulichen Umweltschutz

Von Jan-Gerd Krentler, Braunschweig

Fahrsilos gelten als die am stärksten angegriffenen Bauwerke in der Landwirtschaft. Ihre Dauerstandfestigkeit wird daher seit Jahren diskutiert. Nun ist zu beobachten, dass bei den Genehmigungsverfahren verstärkt auf Umweltgesichtspunkte geachtet wird. Aus diesem Anlass stellte das Institut für Betriebstechnik und Bauforschung eine umfassende Erhebung zum derzeit gebauten Standard an. Es zeigte sich, dass wegen der gestiegenen Anforderungen sowie wegen der immer größer werdenden Anlagen heute Gärfutter-Flachsilos fast nur noch in Unternehmerleistung gebaut werden. Dabei sind regionale Unterschiede bei der Bauausführung zu sehen. Es ist zudem eine ganze Reihe von neuen Baulösungen am Markt, auch von ausländischen Firmen. In der Versuchsstation der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) wurde eine neue Anlage gebaut, bei der jede Art einer möglichen Umweltbeeinträchtigung ausgeschlossen sein soll.

## Eine neue Fahrsilo-Kombination im Versuch

Vor dem Hintergrund verschärfter Auflagen beim Bau von Fahrsilos wurde in der Versuchsstation Braunschweig der FAL eine neue Kombination eines Festmistlagers mit Fahrsilos gebaut, bei der alle möglichen denkbaren Fälle von Umweltbeeinträchtigungen berücksichtigt werden sollten. Bei dieser Kombination bietet sich nun an, beide Lagerarten baulich so zu kombinieren, dass nur ein gemeinsames Ableitungssystem für Jauche und Sickersaft benötigt wird. Die Kombination besteht aus einem durch zwei Mannlöcher begehbaren Bunker mit 400 m<sup>3</sup> Fassungsvermögen mit darüber liegendem Festmistlager, welches dreiseitig mit Betonwänden von h = 1,50 m umschlossen ist, mit einer Bodenplatte mit Deckschicht aus Bitumen-Zuschlag-Gemisch und fünf Bahnen für Futtersilage mit b = 7,00 m und Wänden h = 2,50 m, die sich nach unten konisch leicht verbreitern. Die Wände im Futterbereich erhielten einen Bitumenanstrich, Bild 1.

Um den Eintrag von Sickersaft in den Boden zu verhindern, wurden gleich mehrere Ableitungssysteme eingebaut. Die für den Normalbetrieb gedachte schmale Ablaufrinne ist mit verzinkten Lochblechen abgedeckt. Im Falle einer Verstopfung können diese leicht herausgenommen und die Rinne kann gereinigt werden. Davor befindet sich eine breite offene Ablaufrinne für den Fall, dass Sickersaft durch starken Regenfällen ausgewaschen und abgeschwemmt wird. Hierzu gibt es in

regelmäßigen Abständen kleine, abgedeckte Schächte als Übergabepunkte zur Entwässerungsleitung DN 100. Diese führen zum Sammelbecken. Außerdem besteht dann die Möglichkeit, das belastete Abwassergemisch aus dem Bunker mit Hilfe einer fest installierten Tauchpumpe in einen großen, in der Nachbarschaft befindlichen Güllebehälter zu fördern, wo das Abwasser als Dünger beigemischt wird.

Bereits kurz nach Fertigstellung der Anlage wurde das Futterlager befüllt, verdichtet und die Bahnen wurden abgedeckt, Bild 2. Für das Befüllen stand ein Ladewagenzug zur Verfügung, das Verdichten besorgte ein schwerer Radlader. Anschließend wurden die einzelnen Bahnen mit einer faserverstärkten, schwarz eingefärbten Silofolie abgedeckt und mit alten Autoreifen beschwert. Aufgrund der guten verfahrenstechnischen Organisation war es möglich, die Anlage innerhalb von 2,5 Arbeitstagen komplett zu befüllen. Auf der linken Hälfte zeigt Bild 2 das noch nicht beschickte Mistlager. An den inneren Vorderkanten der seitlichen Stützwände sind die Deckel der beiden Mannlöcher zu erkennen, durch die notfalls in den 400 m<sup>3</sup> Tiefbehälter eingestiegen werden kann. Es sei darauf hingewiesen, dass in diesem Fall die berufsgenossenschaftlichen Anweisungen über das Betreten von Güllelagern sinngemäß gelten. An der vorderen Kante der Außenseite befindet sich der automatisch arbeitende Notschalter mit dem roten Kontrolllicht, der erforderlichenfalls die Pumpe (siehe Bild 1, ganz links vorne) in Betrieb setzt.

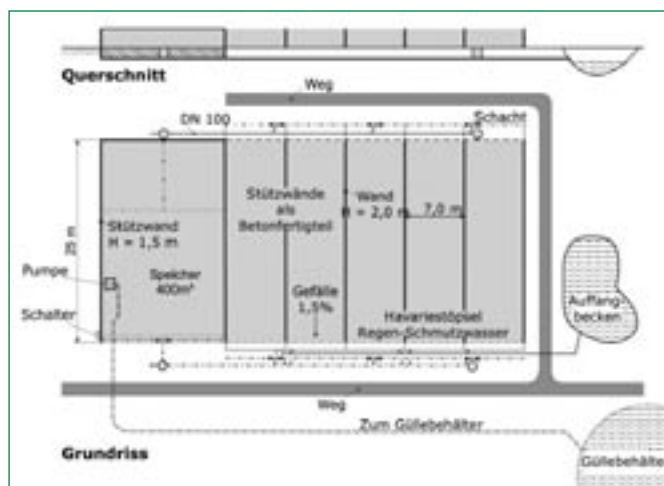


Bild 1: Grundriss und Querschnitt der neuen Festmist – Fahrsilo – Kombination aus Stahlbeton



Bild 2: Fertig gestelltes Festmistlager mit dahinter liegendem Fahrsilo



*Bild 3: Einbau der Asphaltbetondeckschicht auf der Betonsole im Mistbereich*

Das betontechnologisch als „Weiße Wanne“ hergestellte Mistlager bekam im Bodenbereich eine zusätzliche Deckschicht aus Asphaltbeton, Bild 3. Hierzu wurde ein Fertiger verwendet, wie er auch im Straßenbau eingesetzt wird. Bei der Verarbeitung wird darauf geachtet, dass keine losen Teile liegenbleiben. Wie beim Betonbau werden die Anschlüsse mit einer einfachen Patsche geglättet. Auf Bild 2 ist zu erkennen, dass tatsächlich eine absolut glatte und ebene Fläche erreicht wird. Diese ist für den Ablauf von Effluent erforderlich, da sich sonst Pfützen bilden würden.

Die verschiedenen Bodeneinläufe zeigt Bild 4. Da die herausnehmbaren perforierten Abdeckbleche grau verzinkt wurden, sind sie auf dem Bild schlecht zu erkennen. Diese Rinne ist abschnittsweise durch kleine Einläufe mit dem Ableitungsrohr verbunden. Bei sehr starkem Regenfall soll eine breite, gepflasterte Rinne für den nötigen Ablauf sorgen. Auch diese Rinne wird durch Übergabeschächte entwässert, die an das Ablaufrohr DN 100 angeschlossen sind (siehe Bild 1). Um dieses Detail sichtbar zu machen, wurde auf Bild 5 der Schachtdeckel geöffnet. Das belastete Abwassergemisch wird so in den Tiefbehälter abgeleitet. Für extreme Wetterereignisse ist zusätzlich ein offenes Auffangbecken angelegt worden (Bild 1 rechts). Die im Speicher vorhandene Flüssigkeit kann mit Hilfe der fest in-



*Bild 4: Entwässerung mit Bodeneinläufen von Festmistlager und Fahr-silo*



*Bild 5: Entwässerungsdetail, geöffneter Einlaufschacht*

stallierten Tauchpumpe über eine Grundleitung in einen großen Güllebehälter gepumpt werden.

Eine wichtige Rolle spielt die Scheinfuge (auch Blindfuge genannt), die auf Bild 6 gerade geschnitten wird. Sie befindet sich direkt vor der Einfahrt in die Silozellen. Diese Scheinfuge wird in der Praxis doch manchmal vergessen, was unerwünschte Folgen haben kann. Sie hat die Aufgabe, für den Fall von Zwangsspannungen z.B. infolge großer Temperaturschwankungen, Kriechen oder Schwinden des Betons eine unkontrollierte Rissbildung zu vermeiden. Im letzten Arbeitsgang wird diese Fuge dann vergossen, damit kein Regenwasser eindringen kann. Das würde sonst bei Frost zu einer Sprengwirkung führen.

Viele Anlagen in der Feldmark machen einen ungepflegten Eindruck, obwohl sie bautechnisch in Ordnung sind. Das liegt meist daran, dass die Zu- und Abfahrtswege bei längeren Regenperioden völlig zerfahren werden. Dem kann vorgebeugt werden, indem noch vor Inbetriebnahme ein befestigter Weg angelegt wird, der bis direkt an die Zufahrtsrampe reicht (siehe Bild 4 ganz links) und der an der Rückseite im Bogen wieder zur Zufahrt führt. In diesem Beispiel wurde dazu eine festgewalzte Splittschicht eingebaut, Bild 7. Das Bild zeigt die Rückseite der Anlage.



*Bild 6: Schneiden der Scheinfuge*



Bild 7: Rückseite der Festmist-Fahrsilo-Kombination mit tragfähiger Umfahrung

Bei der zuvor beschriebenen Anlage wurden alle bisher denkbaren Schadensfälle berücksichtigt. Das bedingt einen hohen baulichen Aufwand mit den entsprechenden Kosten. Ob dieser Aufwand in Zukunft in dem Umfang nötig sein wird, müssen erst langfristige Beobachtungen zeigen. Das gilt insbesondere für lang anhaltende, extreme Regenfälle.

### Arbeitsschutz

Die landwirtschaftlichen Berufsgenossenschaften berichten regelmäßig von teilweise schweren Unfällen in Fahrsiloanlagen, bei denen Personen oder Fahrzeuge abgestürzt sind. Deshalb wurde in der Unfallverhütungsvorschrift „Lagerstätten“ (VSG 2.2) festgelegt, dass Lagerstätten einen Schutz gegen Absturz aufweisen müssen, wenn Höhendifferenzen von mehr als 1,00 m auftreten. Kramer (2003) [1] stellte die technischen Möglichkeiten hierzu dar. Im Beispiel der FAL-Versuchsstation wurde eine recht elegante Lösung ausgeführt: In regelmäßigen Abständen wurden verzinkte Vierkantrohre mit einem angeschweißten klauenartigen Fuß durch je zwei Dübel in der Wand von innen und von außen angeschraubt. In die Bohrlöcher in Pfostenmitte und am oberen Pfostenrand sind Plastikösen eingesteckt, die als Rostschutz dienen. Dort wird je ein durchge-



Bild 8: Absturzicherung des Fahrsilos durch Reling

gehendes Drahtseil (rostfrei) durchgeführt und am vorderen sowie am hinteren Ende in je eine angedübelte Öse geführt, Bild 8. Um eine gleichmäßige Seilspannung zu erreichen, haben beide Seile eine einfache Spannvorrichtung mit zwei gegenläufigen Gewinden, wie sie auch als Wantenspanner im Segelsport eingesetzt werden. Diese Reling hat gegenüber einem herkömmlichen Geländer den Vorteil, bei einem Anprall nachgeben (federn) zu können.

### Zur neuen Normung

Mit der Überarbeitung der DIN 1045 wurden nicht nur neue Begriffe eingeführt, sondern auch – in einem engeren Raster als bisher – neue Betonfestigkeitsklassen genormt, die es dem Planer und Anwender erlauben, die einzelnen Bestandteile des Betons genauer zu berücksichtigen, so dass eine weitere Optimierung bei den Berechnungen möglich wird. Parallel zur „neuen“ DIN 1045 wurde die europäische Norm DIN EN 206-1 eingeführt. Zum besseren Verständnis seien hier noch einmal die für den Güllebehälter- und Fahrsilobau maßgeblichen Betone in alter und neuer Bezeichnung genannt:

- B15 entspricht etwa C12/15
- B25 entspricht etwa C20/30
- B35 entspricht etwa C30/37

Der alte B5, der gerne als Sauberkeitsschicht anstelle einer verdichteten Packlage aus Kies eingesetzt wurde, ist hierbei nicht mehr enthalten. Als unterste Festigkeitsklasse steht heute der C8/10 zur Verfügung. Betone mit höheren Druckfestigkeiten ab C40/50 werden zum Bau von Güllebehältern usw. nicht benötigt.

Die wichtigste Norm den Bau von Gärfuttermüllern und Güllebehältern betreffend ist aber DIN 11622, die zum ersten Mal bereits im Jahre 1949 erschienen ist und mehrfach überarbeitet wurde. Diese Norm wurde erneut vollständig überarbeitet und an die neuen Regelwerke angepasst. Sie gilt sowohl für Gärfuttermüllern und Güllebehälter wie auch für befahrbare Flachsilos [2 und 3]. Die Böden dieser Behälter werden grundsätzlich aus Stahlbeton hergestellt, die Wände können aus verschiedenen Materialien bestehen. Die Norm geht speziell ein auf die verschiedenen Betonbauarten mit Fertigteilen und mit Form- und Schalungssteinen. Dabei wird ausdrücklich empfohlen, wegen der hohen Anforderungen an den Beton, bei allen Bauteilen aus Ortbeton einen Transportbeton zu verwenden.

Die wichtigste Anforderung ist, dass alle Behälter so beschaffen sein müssen, dass sie dauerhaft funktionsfähig bleiben. Dazu ist zunächst eine statische Berechnung nach DIN 1055 „Lastannahmen für Bauten“, hier: „Lagerstoffe, Baustoffe und Bauteile“ aufzustellen.

Dabei ist auch DIN 1045 „Beton und Stahlbeton“ zu beachten. Weiterhin gilt die wasserwirtschaftliche Anforderung, dass „Behälter so beschaffen sein müssen, aufgestellt, unterhalten und betrieben werden, dass der bestmögliche Schutz der Gewässer vor Verunreinigung erreicht wird“ [4].

## Andere bauliche Lösungen

Bereits seit Anfang 2007 wurde über eine deutliche Zunahme bei den Bauvorhaben zur Lagerung von Futtersilage berichtet. Dabei handelte es sich nicht nur um herkömmliche Konstruktionen, sondern es gab auch neue Bauweisen sowie Weiterentwicklungen.

Während in der Vergangenheit viele Fahrsilos in baulicher Eigenleistung erstellt wurden, da sich die Anforderungen an die handwerklichen Fähigkeiten der Akteure noch in Grenzen hielten, werden heute wegen der gestiegenen Anforderungen und der immer größer werdenden Anlagen die Gärfutter-Flachsilos fast nur noch in Unternehmerleistung gebaut. Hierbei kann der Landwirt mit seinen Mitarbeitern durchaus mitwirken; jedoch sollten Art und Umfang der Eigenleistung rechtzeitig vertraglich geregelt werden.

### Beispiele für neue Bauweisen:

Der niederländische Hersteller Bosch-Beton in Kootwijkerbroek bietet fertige Fahrsilo-Anlagen an, bei denen vorgefertigte Wand-Winkel-Elemente verwendet werden. Diese sind zwischen 100 cm und 250 cm hoch und zwischen 60 cm und 140 cm breit. Ihre Länge beträgt jeweils 400 cm. Der Hersteller betont jedoch, auch davon abweichende Maße in kleiner Serie bauen zu können. Besonderes äußerliches Merkmal dieser Anlagen ist, dass die Horizontallasten durch kleine Strebemauern abgeleitet werden [5].

Die Firma Farmbau in Hohenlohe stellt großformatige Fertigteil-Wandelemente aus Stahlbeton her. Diese werden nicht nur für Fahrsilos, sondern auch für Lagerboxen oder als Stützwände für Getreideboxen oder Kartoffellager verwendet. Diese Elemente mit einem Standardmaß von 10 m Fertigteillänge bei möglichen Radlasten von 1 t bis 10 t sind für besonders große Anlagen gedacht. Als Betongüte wird C35/45 angegeben. Standardhöhen der Elemente sind 3,20 m, 3,80 m und 4,00 m. Durch Aufsatzelemente kann insgesamt eine Höhe von 6,00 m erreicht werden. Als besonderer Vorteil wird genannt, dass nur ein minimaler Aufwand für das Fundament nötig sei [6].

Dagegen setzt die Firma Böck in Trostberg auf ihre Weiterentwicklung des Traunsteiner Silos unter Verwendung der „Böck-Wandplatten“. Durch deren einfache Bauart ist ein hohes Maß an Eigenleistung möglich. Schräge Wandelemente an Ein- und Ausfahrt ermöglichen optimales Verdichten bis direkt an die Wand. Da diese Wände gegen Erdwälle gelegt werden, treten keine Arbeitssicherheitsprobleme beim Ab- und Aufdecken auf. Durch die gewölbte Form des Silos lässt die Abdeckfolie das Regenwasser auf den Erdwall und damit nicht in den Silostock ablaufen [7].

Einen ganz anderen Aufbau der Bodenplatte empfiehlt die Firma Polysafe GmbH. Dieser wird aus folgenden Schichten zusammengesetzt:

- 40 cm bis 60 cm gut verdichtete Packlage aus Kies oder Schotter
- 8 cm bis 10 cm Tragschicht aus Bitukies (hierbei braucht keine Folie eingelegt zu werden, weil der Asphalt wasserdicht ist)

- Der Bitumenhaftkleber wird aufgespritzt
- Die Deckschicht aus Asphaltbeton ist nur Verschleißschicht und hat daher keine tragende Funktion, eine Dicke von 3,5 cm reicht hierzu aus [8]

Die Firma Suding in Lüsche baut Fahrsilos unter Verwendung ihrer Stellwandelemente der Typen L und T, die in verschiedenen Bauhöhen und Ausführungen angeboten werden. Auch diese Konstruktion (vergl. Farmbau) lässt sich nicht nur beim Bau von Fahrsilos einsetzen, sondern auch als Lagerboxen für mineralische Schüttgüter, Getreidelager oder einfach zur Lagerflächenbegrenzung. Diese Elemente sind auch als Eckteile lieferbar [9].

## Resümee

Wie auch beim Bau von Güllelagern bereits geschehen, werden beim Bau von Gärfutterlagern in Zukunft die Gesichtspunkte des Umweltschutzes bei den Genehmigungsverfahren eine noch größere Rolle spielen. Wenn auch die heute ausgeführten Baulösungen den an sie gestellten Anforderungen in vollem Umfang Rechnung tragen, so gilt doch, dass die „anerkannten Regeln“ strikt eingehalten werden müssen. Von baulicher Selbsthilfe auf diesem Gebiet, vor allem, was die Betonqualität angeht, muss abgeraten werden. Die von der Betonindustrie angebotenen Betone haben sich bestens bewährt und können deshalb nur empfohlen werden.

## Literatur

- [1] Kramer, J.: Arbeitsschutz bei Gärfutter-Flachsilos, Bauen für die Landwirtschaft (2003), H.1, S. 12-13
- [2] DIN 11622: Gärfuttersilos und Güllebehälter, Beuth-Verlag, Berlin, 2006
- [3] Brandt, J.; Klose, N.: Planung und Bau von Gärfutter-Flachsilos, Zement-Merkblatt Landwirtschaft, Bauberatung Zement, Verlag Bau+Technik, Düsseldorf 1999
- [4] Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushaltes (Wasserhaushaltsgesetz-WHG). Bundesgesetzblatt Jahrgang 1996 Teil I Nr. 58, Bonn 18. Nov. 1996
- [5] Bosch-Beton: Bebilderter Firmenprospekt mit technischen Angaben, Barneveld / Niederlande 2007
- [6] Farmbau: Bebilderter Firmenprospekt mit technischen Angaben, Hohenlohe 2007
- [7] Böck: Traunsteiner Silo, 2007, [www.silonetz.de](http://www.silonetz.de)
- [8] Polysafe landwirtschaftlicher Bautenschutz, [www.polysafe-gmbh.de](http://www.polysafe-gmbh.de)
- [9] Suding (2007): diverse Unterlagen über landw. Bauten; Suding Beton- und Kunststoffwerk GmbH, Lüsche

# Tragwerksplanung von Biogasfermentern aus Stahlbeton

Von Horst Kretzschmar, Magdala

*Stahlbeton-Fermenter sind vielfältigen Lasteinwirkungen sowie thermischen und chemischen Einwirkungen ausgesetzt. Die Komplexität dieser Einwirkungen sowie die hohen Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit und die Dauerhaftigkeit eines Stahlbeton-Fermenters erfordern eine sorgfältige Tragwerksplanung. Es werden die Einwirkungen auf einen Stahlbeton-Fermenter und die daraus resultierenden Beanspruchungen beschrieben. Mit diesen Beanspruchungen sind die Nachweise der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit sowie die geotechnischen Sicherheitsnachweise zu erbringen. Um kostenoptimale Lösungen zu erhalten, sind dabei die standortabhängigen Bedingungen wie z.B. örtliche Schneelast, Bodenkenngößen und Einbindung des Fermenters in das vorhandene Gelände zu berücksichtigen.*

## Bauliche Anlagen von Biogasanlagen

Biogasanlagen (BGA) umfassen Anlagen zum Erzeugen, Speichern und Verwenden von Biogas. Die Erzeugung des Biogases erfolgt in Fermentern (Gärbehälter und Nachgärbehälter). Je nach Herstellungsverfahren für das Biogas kann dem Fermenter eine Vorgrube zum Speichern der anfallenden Gülle vorgeschaltet und ein Endlager für die Aufnahme des ausgefaulten Substrats nachgeschaltet sein. Das Speichern kann entweder über dem Gärsubstrat im Fermenter mit einer oberen gasdichten Haube oder in einem gesonderten Gasspeicher erfolgen. Biogasanlagen umfassen somit verschiedene Behälter, die offen oder geschlossen, gedämmt oder ungedämmt, vollständig oder teilweise eingerdet sein können und die unterschiedlichen verfahrenstechnischen Anforderungen unterliegen, Bild 1. Außerdem gehören zu Biogasanlagen verschiedene bauliche Nebenanlagen wie beispielsweise Pumpen- und Steuerhaus, Gebäude für das Blockheizkraftwerk (BHKW) und Gruben für Feststoffdosierer.

Fermenter sind gasdichte und beheizte Behälter. Sie besitzen eine Wärmedämmung und sind mit einem Rührsystem ausgestattet. Im Fermenter findet unter Luftabschluss bei Temperaturen von 25 bis 55 °C eine Gärung von organischen Stoffen statt. Das dabei entstehende Biogas besteht in der Regel aus 55...75 Vol.-% Methan  $\text{CH}_4$ , 25...45 Vol.-% Kohlendioxid  $\text{CO}_2$ , 0,1 ... 0,6 Vol.-% Schwefelwasserstoff  $\text{H}_2\text{S}$  und < 1 Vol.-% Restgase [1].



Bild 1: Behälter einer Biogasanlage (Foto HEPOLAN Heeren)

## Technische Baubestimmungen für Stahlbeton-Fermenter

Stahlbeton-Fermenter müssen so geplant und ausgeführt werden, dass

- Tragfähigkeit
- Gebrauchstauglichkeit
- Dauerhaftigkeit

für die während der Errichtung und Nutzung möglichen Einwirkungen mit angemessener Zuverlässigkeit gewährleistet sind. Das Sicherheitskonzept und die zu beachtenden Regelungen und Prinzipien sind in den nachfolgend aufgeführten technischen Baubestimmungen verbindlich festgelegt, Tafel 1. Erläuterungen zum Sicherheitskonzept und zu den Grenzzuständen der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit sowie zur Sicherstellung der Dauerhaftigkeit von Biogasfermentern aus Stahlbeton sind in [2] zu finden.

## Statisches System eines Stahlbeton-Fermenters

Stahlbeton-Fermenter sind in der Regel biegesteife Kreiszylinderschalen mit einer konstanten Wanddicke. Die Kreiszylinderschale ist am unteren Rand mit einer kreisförmigen Stahlbeton-Bodenplatte verbunden. Diese Verbindung kann konstruktiv biegesteif oder auch gelenkig ausgeführt werden. In jedem Falle ist eine gegenseitige Verschiebung der beiden Bauteile auszuschließen.



Bild 2: Fermenter mit Mittelstütze

**Tafel 1: Technische Baubestimmungen für Stahlbeton-Fermenter**

DIN 1055-1	2002-06	Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1: Wichten und Flächenlasten von Baustoffen, Bauteilen und Lagerstoffen
DIN 1055-2	1976-02	Lastannahmen für Bauten; Bodenkenngößen; Wichte, Reibungswinkel, Kohäsion, Wandreibungswinkel
DIN 1055-3	2006-03	Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 3: Eigen- und Nutzlasten für Hochbauten
DIN 1055-4	2005-03	Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 4: Windlasten
DIN 1055-5	2005-07	Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 5: Schnee- und Eislasten
DIN 1055-6	2005-03	Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 6: Einwirkungen auf Silos und Flüssigkeitsbehälter
DIN 1055-100	2001-03	Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 100: Grundlagen der Tragwerksplanung – Sicherheitskonzept und Bemessungsregeln
DIN 1045-1	2001-07	Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton; Bemessung und Konstruktion
DIN 1045-2	2001-07	Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton; Beton; Festlegungen, Eigenschaften, Herstellung und Konformität
DIN 1045-3	2001-07	Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton; Bauausführung
DIN 1054	2005-01	Baugrund; Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau
DIN 4020	2003-09	Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke
DIN 1052	2004-08	Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken
DIN 4134	1983-02	Tragluftbauten; Berechnung, Ausführung und Betrieb
DIN 11622-1	2006-01	Gärfuttersilos und Güllebehälter; Bemessung, Ausführung, Beschaffenheit; Allgemeine Anforderungen
DIN 11622-2	2004-06	Gärfuttersilos und Güllebehälter; Bemessung, Ausführung, Beschaffenheit; Gärfuttersilos und Güllebehälter aus Stahlbeton, Stahlbetonfertigteilen, Betonformsteinen und Betonschalungssteinen

Der obere Fermenterabschluss kann entweder durch eine Hüllkonstruktion aus einem beschichteten Gewebe oder durch eine Stahlbeton-Kreisplatte, die gelenkig auf der Kreiszylinderschale aufliegt, erfolgen. Zur Abstützung des oberen Fermenterabschlusses ist eine Mittelstütze erforderlich, Bild 2. Bei einem Abschluss durch eine Stahlbeton-Kreisplatte und bei einem kleineren Fermenterdurchmesser kann diese Mittelstütze ggf. entfallen. Die Bodenplatte des Fermenters wirkt als eine elastisch gebettete Flächengründung.

**Oberer Fermenterabschluss**

Bei Fermentern mit einer Gasspeicherung über dem Substratraum besteht der obere Fermenterabschluss im Regelfall aus zwei Membranen. Neben der äußeren Membran (Wetterhaube) aus beschichtetem Gewebe wird noch eine innere Membran (Gashaube) angeordnet, die das Biogas aufnimmt, sich dem veränderlichen Gasvolumen anpasst und von der schützenden Wetterhaube umgeben ist. Teilweise wird der Fermenterabschluss auch mit nur einer Membran ausgeführt, die sowohl Wetterhaube als auch Gashaube ist.

Die äußere Form der Hüllkonstruktion wird durch den Formzuschnitt der Membransegmente bestimmt. Man unterscheidet

- einfach gekrümmte Membran (Kegelfläche)
- zweifach gekrümmte Membran mit
  - gleichsinniger Hauptkrümmung (Kugelfläche)
  - gegensinniger Hauptkrümmung (Sattelfläche).

Zweifach gekrümmte Membranen haben gegenüber einfach gekrümmten Membranen eine bessere Formbeständigkeit. Bei Membranen mit gegensinniger Hauptkrümmung (Sattelflächen) besteht allerdings die Gefahr der Schneesackbildung, die bei gleichsinniger Hauptkrümmung (Kugelflächen) weitgehend ausgeschlossen ist, Bild 3.

Zur Gewährleistung der Formbeständigkeit ist eine Vorspannung der Membran erforderlich, die entweder durch eine Mittelstütze oder durch einen Innendruck erzeugt wird. Bei einer Vorspannung durch Innendruck spricht man von Tragluftbauten, deren Berechnung, Ausführung und Betrieb in DIN 4134 geregelt ist. In diesem Falle ist eine Auffangkonstruktion erforderlich, welche bei Ausfall des Innendruckes die Hülle aufnimmt. Meist wird hierfür eine radial angeordnete Balkenlage mit aufgenageltem Brett- bzw. Bohlenbelag vorgesehen. Die Radialbalken liegen auf der Behälterwand und auf dem Pilzkopf der Mittelstütze auf. Die Auffangkonstruktion dient zugleich als Montagehilfskonstruktion für die Membranen und darüber hinaus auch als Besiedelungsfläche für Schwefelbakterien zur biologischen Entschwefelung. Für die Berechnung der hölzernen Auffangkonstruktion, die in die Nutzungsklasse 3 einzuordnen ist, gilt DIN 1052.

Die Membranen sind am oberen Behälterrand gasdicht zu befestigen und zur Aufnahme der Vorspannkräfte sowie der Wind- und Schneelasten entsprechend zu verankern. Für die Halterung der Membranen am Fermenterrand gibt es verschiedene konstruktive Lösungen, deren Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit nachzuweisen sind.

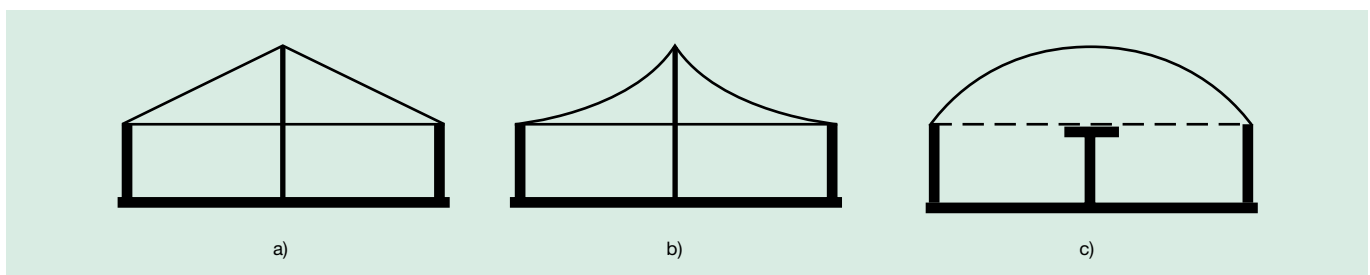


Bild 3: Fermenterabschluss mit Hüllkonstruktion, a) Kegelfläche, b) Sattelfläche, c) Kugelfläche

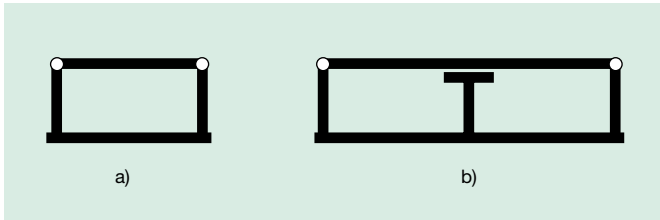


Bild 4: Fermenterabschluss mit Stahlbetonkreisplatte  
a) ohne Mittelstütze, b) mit Mittelstütze

Ein oberer Fermenterabschluss mit einer Stahlbeton-Kreisplatte schließt eine Gasspeicherung über dem Substratraum aus. Die Stahlbeton-Kreisplatte liegt am Behälterrand auf und erfordert aus statischen Gründen in der Regel noch zusätzlich eine Mittelstütze, Bild 4. Die gelenkige Auflagerung am Behälterrand ist gasdicht auszubilden.

### Einwirkungen auf den Fermenter

Beim Nachweis der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit der Stahlbetonbauteile des Fermenters sind die nachfolgenden physikalischen (Last und Temperatur) und chemischen Einwirkungen zu berücksichtigen. Der Bemessungswert einer

Tafel 2: Ständige Einwirkungen ( $G_k$ )

Eigenlast des oberen Fermenterabschlusses	Linienlast am oberen Behälterrand Last auf Mittelstütze
Eigenlast der Fermenterwand	Flächenlast vertikal auf Behälterwand
Ständiger Flüssigkeitsdruck durch Gärsubstrat	Flächenlast normal auf Behälterwand und Bodenplatte
Erddruck durch Einerdung oder Anschüttung	Flächenlast normal auf Behälterwand

Tafel 3: Veränderliche Einwirkungen ( $Q_k$ )

Schneelast auf oberem Fermenterabschluss	Linienlast am oberen Behälterrand Last auf Mittelstütze
Windlast auf oberem Fermenterabschluss	Linienlast am oberen Behälterrand ggf. Last auf Mittelstütze
Verkehrslast auf oberem Fermenterabschluss	Linienlast am oberen Behälterrand Last auf Mittelstütze
Verkehrslast auf Gelände	Flächenlast normal auf Behälterwand
Innendruck im Fermenter	Flächenlast normal auf Behälterwand und Bodenplatte, Linienlast am oberen Behälterrand
Temperatureinwirkungen	Temperaturdehnungen und -krümmungen in der Behälterwand und Bodenplatte
Maschinentechnische Lasten	Einzellast auf Behälterwand / Bodenplatte / Mittelstütze
Auftrieb (Grundwasser / Leckerkennung)	Flächenlast normal auf Bodenplatte und Behälterwand

Tafel 4: Außergewöhnliche Einwirkungen ( $A_k$ )

Unterdruck im Fermenter	Flächenlast normal auf Behälterwand und Bodenplatte, Linienlast am oberen Behälterrand Last auf Mittelstütze
Anpralllast	Einzellast auf Behälterwand

Tafel 5: Einwirkungen infolge von Erdbeben ( $A_{Ed}$ )

Erdbeben	Flächenlast horizontal auf Behälterwand (Bild 5)
----------	--

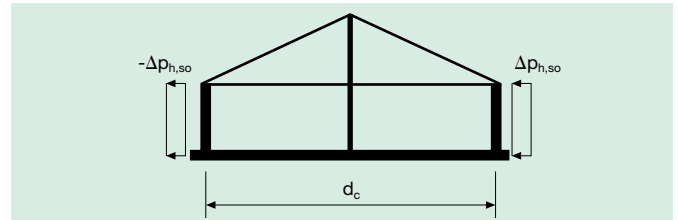


Bild 5: Seismische Einwirkung nach DIN 1055-6, antimetrische Flächenlast mit  $\Delta p_{h,so} = \gamma \cdot a / g \cdot d_c / 2$  (a: horizontale Erdbeschleunigung)

Einwirkung  $F_d$  ergibt sich durch Multiplikation des charakteristischen Wertes der Einwirkungen  $F_k$  mit einem Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_F$ . Die Größe des Teilsicherheitswertes ist vom Nachweis und von der Art der Einwirkung abhängig. Die Tafeln 2 bis 6 und die Bilder 5 und 6 geben einen Überblick über die zu berücksichtigenden Lasteinwirkungen.

Die auf die Kreiszyinderschale einwirkenden Flächenlasten können durch trigonometrische Reihen

$$X = \sum X_n \cdot \cos(n \cdot \varphi)$$

$$Y = \sum Y_n \cdot \sin(n \cdot \varphi)$$

$$Z = \sum Z_n \cdot \cos(n \cdot \varphi)$$

beschrieben werden, wobei  $X_n, Y_n, Z_n$  Funktionen der Höhe  $x$  sind. Der Index  $n$  kann die ganzzahligen Werte 0, 1, 2, 3, ... annehmen. Vereinfachend kann eine Beschränkung auf die Reihenglieder 0 und 1 erfolgen und es können die in Tafel 6 angegebenen Komponenten angesetzt werden. Der Zeiger  $n = 0$  verweist dabei auf eine zum Meridian  $\varphi = \pi / 2$  symmetrische und der Zeiger  $n = 1$  auf eine zum Meridian  $\varphi = \pi / 2$  antimetrische Einwirkung, Bild 6. Da die Windlast auf die Fermenterwand eine untergeordnete Bedeutung besitzt und in der Regel unberücksichtigt bleiben kann, wurde vereinfachend lediglich eine antimetrische Z-Komponente angegeben, Bild 8.

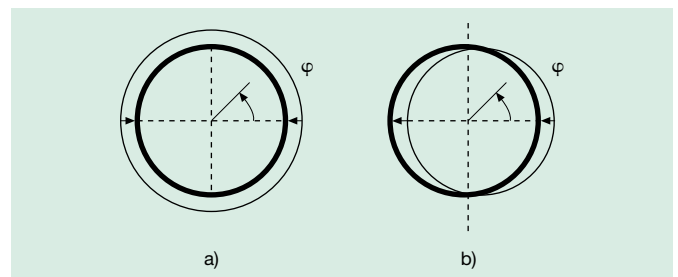


Bild 6: Verteilung der Flächenlast über Zylinderumfang  
a) zum Meridian  $\varphi = \pi / 2$  symmetrisch Einwirkung ( $n = 0$ )  
b) zum Meridian  $\varphi = \pi / 2$  antimetrisch Einwirkung ( $n = 1$ )

Tafel 6: Komponenten der Einwirkungen auf die Wand der Kreiszyinderschale

Einwirkung	X-Komponente	Z-Komponente
Eigenlast	$X_0 = g$	-
Flüssigkeitsdruck	-	$Z_0 = -\gamma \cdot x$
Erddruck <sup>1)</sup>	-	$Z_0 = e_{0gh} \cdot x + e_{aph}$
Innendruck	-	$Z_0 = -p$
Windlast <sup>2)</sup>	-	$Z_1 = w$
Erdbeben	-	$Z_1 = \Delta p_{h,so}$

<sup>1)</sup> und Erddruck aus flächiger Geländeauflast auf einen vollständig eingeeerdeten Fermenter (Erdruckdruck)

<sup>2)</sup> Windlast auf einen nicht eingeeerdeten Fermenter

## Thermische Einwirkungen

Zu unterscheiden sind thermische Einwirkungen, die nach dem Erstarren des Betons infolge der Hydratation in den ersten Tagen und solche, die später im Nutzungszustand auftreten. Wenn die Verformungen infolge thermischer Einwirkungen behindert werden, treten in Abhängigkeit vom Behinderungsgrad Beanspruchungen (Spannungen, Schnittgrößen) auf. In der Regel kann dabei ein stationärer Temperaturzustand angenommen werden und instationäre Zustände, die z.B. beim Anfahren auftreten, können unberücksichtigt bleiben.

Nach dem Erstarren des Betons findet mit Fortgang der Hydratation eine Wärmeabgabe statt, die zu einem Temperaturgefälle zwischen Kern und Rand des Bauteiles führt. Durch die (innere) Behinderung der temperaturbedingten Verformungen entsteht im Querschnitt ein innerer Zwang, der zu einem Eigenspannungszustand führt. Diese Eigenspannungen stehen über dem Querschnitt im Gleichgewicht und erzeugen im Verlauf des Abfließens der Hydratationswärme im Randbereich des Querschnittes Zugspannungen und im Kern des Querschnittes Druckspannungen. Die Größe der Eigenspannungen ist von der Wärmemenge und der Geschwindigkeit der Wärmefreisetzung abhängig. Mit zunehmendem Zementgehalt steigt die Hydratationswärme an. Damit erhöht sich die Rissgefahr bei der Abkühlung. Bei Zementen mit hoher Anfangsfestigkeit verläuft die Wärmeentwicklung schneller als bei Zementen mit normaler Festigkeitsentwicklung. Zemente mit niedriger Wärmeentwicklung (LH-Zemente, früher NW-Zemente) haben eine geringe und besonders langsame Wärmeentwicklung, die allerdings auch mit einer langsamen Festigkeitsentwicklung verbunden ist.

Zwangsspannungen in der Behälterwand treten auch dann auf, wenn die Wand auf das bereits fertige Fundament nachträglich aufbetoniert wird und damit ein Temperaturdifferenz zwischen Fundament und Behälterwand vorhanden ist. Diese Temperaturdifferenz ergibt sich aus der Temperatur der Bodenplatte einerseits und der Ausgangstemperatur des Frischbetons und der Hydratationswärme der Wand andererseits. Der schubfeste Verbund zwischen Fundament und Behälterwand bewirkt in der Behälterwand eine Normalkraft- und Momentenbeanspruchung. Die Größe der dadurch bedingten Zwangsspannungen ist abhängig vom inneren und vom äußeren Behinderungsgrad. Der innere Behinderungsgrad über die Wandhöhe ist vom Verhältnis Wandlänge zu Wandhöhe abhängig. Der äußere Behinderungsgrad ist vom Verhältnis der Dehnsteifigkeiten von Wand und Fundament abhängig, siehe z.B. [3]).

In der Bodenplatte treten infolge temperaturbedingter Verformungen ebenfalls Zwangsspannungen auf, deren Größe von der Interaktion in der Bodenfuge abhängig ist. Bei Anordnung einer Trennlage in Form einer zweilagigen, auf dem (geglätteten) Unterbeton verlegten PE-Folie entsteht die Behinderung nur durch die Gleitreibung. Die Reibungskraft ist dann abhängig von Reibungsbeiwert  $\mu$ , der Sohlpressung  $\sigma_0$  unter der Bodenplatte und der Verschiebungslänge  $l_v$ . Pumpensäpfe, soweit sie nicht zentrisch angeordnet sind, bewirken eine Verzahnung mit dem Untergrund und führen zu zusätzlichen Zwängungen.

Mit Inbetriebnahme des Fermenters tritt gegenüber der Aufstelltemperatur  $\vartheta_0$  [°C], (Bauteiltemperatur vor Inbetriebnahme) eine Temperaturänderungen  $T$  [K] auf. An der Innenseite der Betonwand erhöht sich im Nutzungszustand des Fermenters die

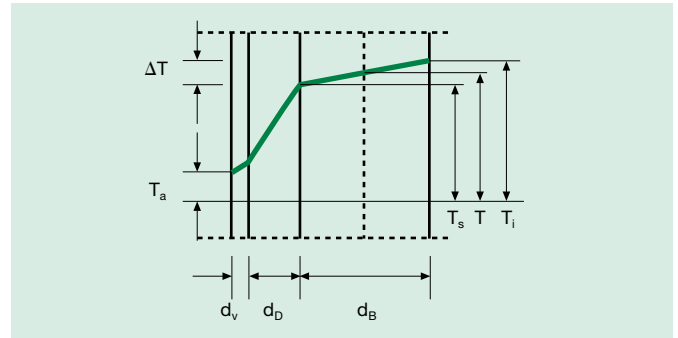


Bild 7: Temperaturprofil in der Fermenterwand

Oberflächentemperatur gegenüber der Aufstelltemperatur  $\vartheta_0$  um  $T_i$  [K]. An der Außenseite der gedämmten Fermenterwand erhöht sich die Lufttemperatur gegenüber der Aufstelltemperatur  $\vartheta_0$  um  $T_a$  [K]. An der Schichtgrenze vom Stahlbeton zur Dämmung ergibt sich damit eine Temperaturänderung  $T_s$  [K].

$$T_s = T_i - (T_i - T_a) \cdot U \cdot d_B / \lambda_B$$

Der Wärmedurchgangskoeffizient  $U$  der gedämmten und verkleideten Fermenterwand wird bei Vernachlässigung der Wärmeübergangswiderstände zu  $U = 1 / R$ , wobei  $R = d_v / \lambda_v + d_D / \lambda_D + d_B / \lambda_B$  der Wärmedurchlasswiderstand der Fermenterwand ist. Der Zeiger  $D$  steht für Dämmstoff, der Zeiger  $B$  für Beton und der Zeiger  $V$  für Verkleidung. Mit  $d$  ist die Dicke und mit  $\lambda$  die Wärmeleitfähigkeit der Schichten bezeichnet.

Die Temperaturänderung  $T = (T_i + T_s) / 2$  in der Mittelfläche der Stahlbetonwand bewirkt eine Temperaturdehnung  $\varepsilon_t = \alpha_t \cdot T$ . Die Temperaturdifferenz  $\Delta T = T_i - T_s$  bewirkt eine Temperaturkrümmung  $\kappa_t = \alpha_t \cdot \Delta T / h$  mit  $h = d_B$ , Bild 7. Die Temperaturdehnung  $\varepsilon_t$  ist von der Aufstelltemperatur  $\vartheta_0$  abhängig. Die Temperaturkrümmung  $\kappa_t$  ist unabhängig von der Aufstelltemperatur  $\vartheta_0$ . In Abhängigkeit vom (äußeren) Behinderungsgrad sind mit diesen Temperaturdehnungen und Temperaturkrümmungen Zwangsspannungen verbunden. So wird beispielsweise bei einer vollständigen Behinderung der Temperaturkrümmung in der Stahlbetonwand ein Biegemoment  $M_\varphi = E \cdot I \cdot \kappa_t$  hervorgerufen.

## Chemische Einwirkungen

Bei Stahlbeton-Fermentern sind die aggressive chemische Umgebung, die zu einer Betonkorrosion führt und die Karbonatisierung des Betons, die zu einer Bewehrungskorrosion führt, zu berücksichtigen.

Der Gasraum des Fermenters stellt für den Beton eine chemisch stark angreifende Umgebung dar, die zu einer Betonkorrosion führen kann. Eine chemisch stark angreifenden Umgebung wird durch die Expositionsklasse XA3 beschrieben und erfordert eine Beton-Mindestdruckfestigkeitsklasse C35/45. Darüber hinaus ist bei einer chemisch stark angreifenden Umgebung noch eine geeignete Schutzmaßnahme für den Beton (Beschichtung) erforderlich. Im Substratbereich des Fermenters geht man davon aus, dass wie bei Güllebehältern (siehe DIN 11622-2) eine chemisch schwach angreifende Umgebung mit der Expositionsklasse XA1 vorliegt, die eine Mindestdruckfestigkeitsklasse C25/30 erfordert. Ein chemischer Angriff auf den Fermenterbeton ist auch durch natürlich zusammengesetzte Grundwässer und Böden möglich.

Im Inneren des Fermenters und unter der Bodenplatte ist eine nasse und selten trockene Umgebung vorhanden, so dass bezüglich der Bewehrungskorrosion durch Karbonatisierung des Betons die Expositionsklasse XC2 vorliegt. Unter der Wärmedämmung des Fermenters ist durch den Zutritt der Außenluft eine mäßige Feuchte vorhanden, die durch die Expositionsklasse XC3 charakterisiert werden kann und eine Mindestfestigkeitsklasse C20/25 erfordern würde. Im Gründungsbereich des Fermenters ist eine nasse, selten trockene Umgebung vorhanden, die durch die Expositionsklasse XC2 beschrieben wird und eine Mindestfestigkeitsklasse C16/20 erfordern würde.

Für den Stahlbeton-Fermenter ist somit insgesamt die Mindestfestigkeitsklasse C35/45 maßgebend, wobei für die Bodenplatte auch Beton der Mindestdruckfestigkeitsklasse C25/30 verwendet werden kann. In jedem Falle ist ein Beton mit hohem Wassereindringwiderstand und für die Fermenterwand HS-Zement zu verwenden, der die Schwefelsäurekorrosion hemmt.

### Beanspruchungen des Fermenters

Unter Beanspruchungen werden Schnittkräfte, Schnittmomente, Spannungen, Dehnungen und Verschiebungen verstanden. Für eine bestimmte Lastfallkombination wird der Bemessungswert der Beanspruchung  $E_d$  aus den Bemessungswerten der Einwirkungen  $F_{ed}$ , den geometrischen Größen  $a_d$  und den Baustoffeigenschaften  $X_d$  bestimmt. Für eine Kreiszyinderschale unter allgemeinen Einwirkungen ergeben sich die Beanspruchungen durch Integration von drei partiellen Differenzialgleichungen 2. bzw. 4. Ordnung (Flüggische Differenzialgleichungen), deren Lösung durch eine FEM-Berechnung umgangen werden kann. Allerdings ist auch die FEM-Berechnung mit einem größeren Aufwand verbunden, so dass man sich in der Regel mit Näherungen bezüglich der Einwirkungen sowie des Spannungs- und Verformungszustandes begnügt.

Unter der Annahme, dass die Kreiszyinderschale unendlich dünn ist und keine Biegesteifigkeit besitzt, erzeugen die symmetrischen Flächenlasten  $X_0$  und  $Z_0$  in der Kreiszyinderschale einen Membranspannungszustand mit den Schnittkräften  $N_x$  und  $N_\varphi$ , Tafel 7. Bei einer antisymmetrischen Flächenlast  $Z_1$  tritt zusätzlich noch eine Schnittkraft  $N_{\varphi x} = N_{x\varphi}$  auf, Bild 8.

Im Membranspannungszustand ergeben sich am unteren Rand der Kreiszyinderschale eine Radialverschiebung  $w$  und eine Verdrehung  $dw/dx$ , die beide nicht mit der kreisförmigen Bodenplatte verträglich sind. Im Falle eines biegesteifen Anschlusses der Behälterwand an die Bodenplatte kann durch eine überzählige Randkraft  $R$  und ein überzähliges Randmoment  $M$  die Verträglichkeit der Verformungen zwischen der

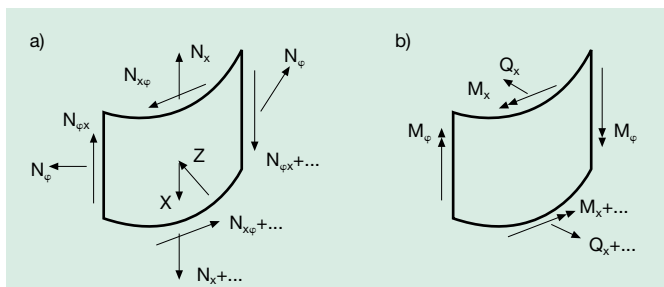


Bild 8: Flächenlasten X und Z und Schnittgrößen in der Behälterwand a) Membranspannungszustand, b) Biegespannungszustand

Tafel 7: Membrankräfte der Behälterwand

Einwirkung	$N_x$	$N_\varphi$	$N_{\varphi x}$
Eigenlast	$-g \cdot x$	-	-
Flüssigkeitsdruck	-	$\gamma \cdot x \cdot a$	-
Erddruck	-	$-e(x) \cdot a$	-
Innen- druck	-	$p \cdot a$	-
Windlast	$w \cdot x^2 / (2 \cdot a) \cdot \cos\varphi$	$-w \cdot a \cdot \cos\varphi$	$-w \cdot x \cdot \sin\varphi$
Erdbeben	$\Delta p_{h,so} \cdot x^2 / (2 \cdot a) \cdot \cos\varphi$	$-\Delta p_{h,so} \cdot a \cdot \cos\varphi$	$-\Delta p_{h,so} \cdot x \cdot \sin\varphi$

Kreiszyinderschale und der elastisch gebetteten Bodenplatte hergestellt werden. Der Biegespannungszustand infolge R und M klingt schnell ab und hat den Charakter einer Randstörung. Gleiches gilt für die elastisch gebettete Kreisplatte. Die gegenseitige Radialverschiebung der Ränder und die gegenseitige Verdrehung der Endtangente der beiden Bauteile infolge der Überzähligen R und M können deshalb vereinfachend an einem einseitig unendlich langen Kreiszyinder bzw. an einem einseitig unendlich langen elastisch gebetteten Plattenstreifen abgeschätzt werden. Bei Annahme eines gelenkigen Anschlusses der Behälterwand an die Bodenplatte kann die Verträglichkeit allein durch die überzählige Randkraft R hergestellt werden.

Die Beanspruchung des Fermenters wird dabei wesentlich durch den Bettungsmodul  $k_s$  beeinflusst. Der Bettungsmodul beschreibt die Zusammendrückbarkeit des Bodens und ist abhängig von der Bodenschichtung, den Bodenkennwerten und dem Durchmesser der Bodenplatte. Dabei ist zu berücksichtigen, dass der Bettungsmodul durch die Steifigkeit einer ggf. vorhandenen Wärmedämmung unter der Bodenplatte verringert wird. Mit kleinerem Bettungsmodul wachsen die Maximalwerte der Ringzugkraft  $N_\varphi$  und des Biegemomente  $|M_x|$  in der Kreiszyinderschale rasch an. Die Abhängigkeit dieser Schnittgrößen infolge Flüssigkeitsdruck vom Bettungsmodul  $k_s$  für einen offenen Behälter mit

- Innendurchmesser 20,00 m
- Wandhöhe 6,00 m
- Zylinderwanddicke 0,25 m
- Bodenplattendicke 0,25 m
- Festigkeitsklasse C35/45

und biegesteifem Anschluss der Behälterwand an die Bodenplatte zeigt exemplarisch Bild 9.

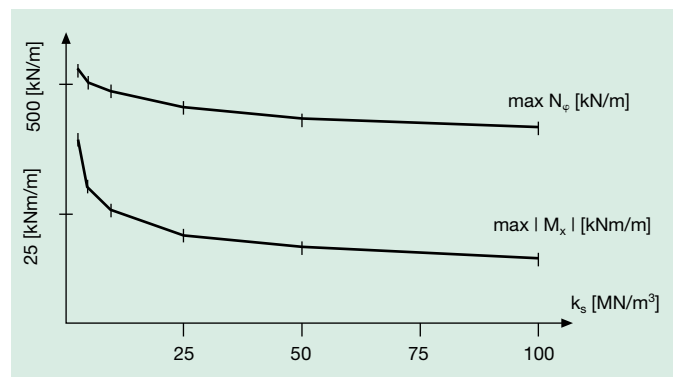


Bild 9: Maximalwerte der Schnittgrößen  $N_\varphi$  und  $|M_x|$  in Abhängigkeit vom Bettungsmodul  $k_s$

## Grenzzustände der Tragfähigkeit

Der Grenzzustand der Tragfähigkeit ist ein Zustand, dessen Überschreitung zu einem rechnerischen Versagen / Einsturz des Tragwerkes führt. Dabei sind verschiedene Bemessungssituationen zu berücksichtigen:

- ständige Situationen, d.h. übliche Nutzung
- vorübergehende Situationen, z.B. Instandsetzung
- außergewöhnliche Situationen, z.B. Anprall
- Situationen infolge Erdbeben

Für jede Bemessungssituation ist der Bemessungswert der Beanspruchung  $E_d$  aus Kombinationen der unabhängigen, gleichzeitig auftretenden Einwirkungen zu ermitteln. Durch Kombinationsbeiwerte  $\psi \leq 1$  wird dabei berücksichtigt, dass die voneinander unabhängigen Einwirkungen mit ihren Extremwerten kaum gleichzeitig auftreten.

Die Bemessungswert der Beanspruchung  $E_d$  sind den aus den Baustoffeigenschaften abgeleiteten Bemessungswerten des Tragwiderstandes  $R_d$  bzw. der Beanspruchbarkeit gegenüberzustellen. Angaben zu den differenzierten Teilsicherheitsbeiwerten und den Kombinationsbeiwerte sind beispielsweise in [2] zu finden.

Der Nachweis der Grenzzustände der Tragfähigkeit für die Stahlbetonquerschnitte wird in der Regel auf die Berechnung der erforderlichen Bewehrung  $A_s$  für die Bemessungsschnittgrößen  $N_d$ ,  $M_d$  und  $V_d$  zurückgeführt. In Ringrichtung der Kreiszyinderschale sind dabei die Schnittgrößen  $N_\varphi$  und  $M_\varphi$  infolge Lasteinwirkungen, behinderter Temperaturkrümmung und -dehnung sowie infolge Zwang durch den schubfesten Verbund der Wand mit der Bodenplatte zu berücksichtigen. In Meridianrichtung der Kreiszyinderschale sind die Schnittgrößen  $N_x$  und  $M_x$  infolge Lasteinwirkung sowie infolge behinderter Temperaturkrümmung zu berücksichtigen.

Für die Bemessung der Bodenplatte sind die Biegemomente  $M_\varphi$  und  $M_r$  sowie die Querkraft  $V_r$  infolge der Lasteinwirkung zu berücksichtigen, wobei die kritischen Bereiche an der Behälterwand und unter der Mittelstütze auftreten. Unter der Mittelstütze ist dabei ein Durchstanznachweis erforderlich. Außerdem sind in der Bodenplatte Zwangsschnittgrößen zu berücksichtigen, die infolge Reibungsbehinderung auf dem Baugrund entstehen.

## Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit

Der Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit ist ein Zustand, bei dessen Überschreitung die für die Nutzung festgelegten Bedingungen nicht mehr erfüllt sind. Die Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit beziehen sich bei Stahlbeton-Fermentern vor allem auf:

- Rissbildungen, die voraussichtlich die Funktionsfähigkeit, die Dauerhaftigkeit oder das Erscheinungsbild des Fermenters nachteilig beeinflussen
- Verformungen und Verschiebungen, die eine effektive Nutzung des Tragwerkes beeinträchtigen oder zu Schäden führen, wie beispielsweise Setzungsdifferenzen, die ein Abscheren von Leitungen zur Folge haben

Dabei sind folgende Bemessungssituationen zu unterscheiden:

- seltene Situationen mit bleibenden Auswirkungen auf das Tragwerk
- häufige Situationen mit nicht bleibenden Auswirkungen auf das Tragwerk
- quasi-ständige Situationen mit Langzeitauswirkungen auf das Tragwerk

Für jede Bemessungssituation muss der Bemessungswert  $E_d$  der Beanspruchung aus Kombinationen der unabhängigen, gleichzeitig auftretenden Einwirkungen unter Berücksichtigung der Kombinationsbeiwerte  $\psi \leq 1$  ermittelt werden.

Die Rissbildung ist von der zeitlichen Entwicklung der Beton-Zugfestigkeit und dem zeitlichen Entstehen der Zwangsspannungen und Lastspannungen abhängig. Eine frühe Rissbildung tritt in der Erhärtungsphase durch Zwangsspannungen beim Abfließen der Hydratationswärme in Verbindung mit der noch geringen Betonzugfestigkeit auf. Eine spätere Rissbildung tritt durch Zugspannungen auf, die aus einer Kombination von Last- und Zwangsbeanspruchung herrühren. Wenn die resultierende Zwangsdehnung 0,8 ‰ nicht überschreitet, ist es im Allgemeinen ausreichend, die Rissbreite für den größeren Wert der Spannung aus Last- oder Zwangsbeanspruchung zu berücksichtigen. Das bedeutet, dass dann der Rissbreitennachweis für die Zwangsbeanspruchung und Lastbeanspruchung getrennt geführt werden kann.

Der Rechenwert der Rissbreite  $w_k$  kann nach DIN 1045-1, 11.2.4 in Abhängigkeit von der Betonstahlspannung, dem effektiven Bewehrungsgrad, der wirksamen Betonzugfestigkeit und den Elastizitätsmoduln von Stahl und Beton direkt ermittelt werden. Bei Fermentern ist der Rechenwert der Rissbreite  $w_k = 0,2$  mm bei einer quasi-ständigen Belastungssituation nicht zu überschreiten. In Bereichen, in denen keine direkte Ermittlung des Rechenwertes der Rissbreite erfolgt, ist eine Mindestbewehrung zur Begrenzung der Rissbreite nach DIN 1045-1, 11.2.2 anzuordnen. Ggf. ist zur Sicherstellung eines duktilen Bauteilverhaltens bei Lasteinwirkung eine Mindestbewehrung für das Rissmoment nach DIN 1045-1, 13.1.1 vorzusehen.

Zwangsspannungen können durch konstruktive und beton-technologische Maßnahmen vermindert werden:

Zu den konstruktive Maßnahmen zählen bei Stahlbeton-Fermentern vor allem

- die gleitfähige Auflagerung der Bodenplatte auf einer zweilagigen Folie
- die Trennung ausgedehnter Fermenterwände durch vertikale Fugen.

Zu den betontechnologischen Maßnahmen zählen

- Optimierung der Betonzusammensetzung bezüglich der freisetzbaren Wärmemenge und der Geschwindigkeit der Wärmefreisetzung, (CEM III-Zement, LH-Zement, Reduzierung des Zementgehaltes, nur unbedingt erforderliche Festigkeitsklasse des Betons)
- Reduzierung der Frischbetontemperatur
- Berücksichtigung meteorologischer Bedingungen (Schutz vor hohen Temperaturen und direkter Sonneneinstrahlung)



Die charakteristischen Werte der Setzungen des Fermenters ergeben sich unmittelbar aus der Berechnung der elastisch gebetteten Bodenplatte. Kritisch sind größere Setzungsdifferenzen zu benachbarten Behältern und / oder Bauwerken. Sie können zu einem Abscheren von Leitungen zwischen Fermenter und benachbarten Bauwerken führen.

Die zulässige Lage der Sohldruckresultierenden und der Nachweis gegen unzuträgliche Horizontalverschiebungen der Sohlplatte können bei einem Fermenter in der Regel als erfüllt angesehen werden.

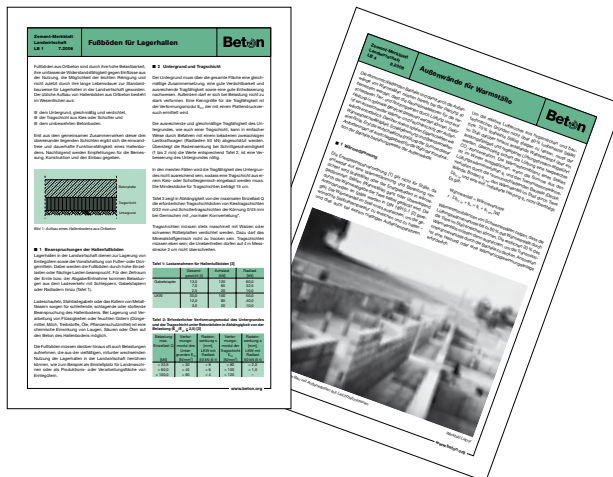
**Literatur**

- [1] Richter, Th.: Beton für Biogasanlagen. Materialforschungs- und -prüfanstalt an der Bauhaus-Universität Weimar und Beton Marketing Ost, Tagungsband betonbau.aktuell, 2007
- [2] Kretzschmar, H.: Behälter in Biogasanlagen. Bauen für die Landwirtschaft, 40 (2003), Heft 1
- [3] Röhling, St.: Zwangsspannungen infolge Hydratationswärme. Verlag Bau+Technik, Düsseldorf 2005

- 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
- Eigenverbrauchstankstellen für Dieselkraftstoff
- Ländlicher Wegebau mit Beton
- Naturnahe Wegbefestigungen



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



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), Bereich 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.

# Beton für landwirtschaftliche Bauten nach neuer Norm – Gärfuttersilos, Güllebehälter, Biogasanlagen

Von Werner Rothenbacher, Wolfgang Hemrich, Heiko Zimmermann, Ulm

*In der Landwirtschaft wird Beton als dauerhafter und wirtschaftlicher Baustoff in vielfältiger Form eingesetzt. Ob beim Bau von Silos, Behältern, Ställen, Biogas- oder Windkraftanlagen, Wirtschaftswegen oder -flächen uvm., Beton hat sich bewährt. Mit bauaufsichtlicher Einführung der neuen Betonnormen DIN EN 206-1 in Verbindung mit DIN 1045, Teil 1-4 wurde der Grundstein für ein europäisches Normensystem gelegt. In diesem Zusammenhang treten auch Neuerungen in Kraft, die Einfluss auf viele Bauteile und Bauten in der Landwirtschaft haben. Nachstehend sollen die wichtigsten Änderungen im Hinblick auf die Expositionsklassen und Betonzusammensetzungen für ausgewählte Bauten der Landwirtschaft aufgezeigt werden.*

## Anmerkungen

Für die Gewährleistung von Dauerhaftigkeitseigenschaften landwirtschaftlicher Bauten ist die richtige Planung und Ausführung von großer Bedeutung.

Besonders zu beachten ist, dass die Dauerhaftigkeit von Bauwerken maßgeblich durch die Nachbehandlung beeinflusst wird. Deshalb ist diese nach den Vorgaben der DIN 1045-3 sehr sorgfältig durchzuführen.

Bei der Festlegung der Expositionsklassen werden nur die Klassen aus der eigentlichen Nutzung aufgezeigt. Es ist möglich, dass infolge weiterer Angriffsarten, z.B. Sulfat aus Erdreich oder Grundwasser weitere Expositionsklassen zu berücksichtigen sind.

## Gärfutter-Flachsilo (bewehrt)

Gärfuttersilos dienen zur Herstellung und Lagerung von Silage (Gärfutter). Sie werden im Regelfall als Flachsilo ausgeführt, Bild 1. Neben der mechanischen Beanspruchung durch Fahrzeuge und der physikalischen Beanspruchung durch Frost-Tau-Wechsel erfahren Gärfuttersilos einen starken chemischen Angriff. Nach den neuen Betonnormen muss er als XA3 „chemisch stark angreifend“ eingestuft werden. Ursache für die hohe Einstufung sind Sickersäfte mit einem pH-Wert um 4, die bei der Vergärung des Futters entstehen.



Bild 1: Herstellung der Bodenplatte eines Gärfuttersilos

Über die DIN EN 206-1 / DIN 1045-2 hinaus, werden für Gärfuttersilos zusätzliche nationale Regelungen in DIN 11622-2 eingeführt. Aus den Normen gelten für Wände und Böden in Ortbeton folgende Festlegungen:

- Expositionsklassen: XC4, XF3, XA3
- Betongüte: C35/45
- Wasserzementwert  $\leq 0,45$
- Schutzmaßnahme erforderlich
- Überwachungsklasse 2
- Betondeckung der Bewehrung 40 mm

Bei Einsatz einer Beschichtung muss beachtet werden, dass diese gemäß der Herstellerempfehlung aufgebracht und nach bestimmten Zeiten erneuert werden muss. Wird keine zusätzliche Beschichtung aufgebracht, kann davon ausgegangen werden, dass die Oberfläche des Betons durch den Sickersaft angegriffen und leicht abgetragen wird. Alternativ kann das Aufbringen eines „Opferbetons“ sinnvoll sein. Wird ein Luftporenbeton C30/37 XC4, XF4, XA3 eingebracht, kann nach DIN 11622-2 auf einen Schutz des Betons verzichtet werden. Sickersaft-Wasser-Gemische üben auf Beton einen mit Tausalzen vergleichbaren Frostangriff aus, gegen den der Luftporenbeton eine hohe Beständigkeit aufweist, und der den chemischen Angriff überlagert.

## Güllebehälter

Gülle besteht aus einem Gemisch aus Harn, Kot, Futterresten und Reinigungswasser. Sie wird im Regelfall im Freien in Behältern gelagert.

Die Zuordnung bezüglich des chemischen Angriffsgrades erfolgt in „schwach angreifend“ – XA1, unabhängig von den Grenzwerten nach DIN 4030, Teil 1 für die Expositionsklasse XA.

Für einen Güllehochbehälter können für Boden und Wände folgende Bedingungen angenommen werden:

- Expositionsklassen: XC4, XF3<sup>1)</sup>, XA1, Beton mit erhöhtem Wassereindringwiderstand (früher wasserundurchlässiger Beton)
- Betongüte: C25/30 mit Luftporen oder C35/45
- Wasserzementwert  $\leq 0,60$
- Überwachungsklasse 2
- Betondeckung der Bewehrung 40 mm

<sup>1)</sup> Anmerkung: In DIN 11622-2 ist bezüglich Frostangriff bei Güllebehältern die Expositionsklasse XF3 aufgeführt. Für Güllebehälter ist weiterhin eine Zuordnung zur Expositionsklasse XF1 möglich. Dies ist in einem Beiblatt zur Norm ergänzt worden.



Bild 2: Biogasanlage

Für befahrbare Decken über Güllebehältern ist zusätzlich die Expositionsklasse XF4 zu berücksichtigen.

### Behälter für Biogasanlagen

Der Bau von Biogasanlagen gewinnt in Deutschland zunehmend an Bedeutung. Für die Landwirte stellt die Produktion von Biogas eine zusätzliche und langfristig gesicherte Einnahmequelle dar. Biogas ist ein brennbares Gasgemisch und entsteht bei der Vergärung von Biomasse unter Luftabschluss. Bei der verwendeten Biomasse handelt es sich hauptsächlich um Gülle, Festmist, Reststoffe der Lebensmittelindustrie, Bioabfall, Silomais oder Ackergras.

Eine Biogasanlage besteht im Allgemeinen aus drei Behälterbauteilen:

- Vorlagebehälter zum Sammeln und Homogenisieren von Gülle und Zugabe weiterer Stoffe
- Fermenter (eigentlicher Gärbehälter) und
- Lagerbehälter für die ausgefaulte Gülle (Biogasgülle).

Der Fermenter ist das eigentliche Herzstück der Biogasanlage. Diesem kommt bei der Planung und Ausführung besondere Bedeutung zu, Bild 2.

Durch die besonderen Bedingungen während des Abbauprozesses erfolgt, vor allem im Gasraum des Fermenters, ein sehr starker chemischer Angriff. Bei der Erzeugung des Biogases durch so genannte Methanbakterien bildet sich neben Methan und Kohlendioxid u.a. Schwefelwasserstoff. Dieser setzt sich an den Bauteilen und Ausrüstungsgegenständen ab und führt zu einem sehr starken Säureangriff.

Für den Beton eines außen wärmegeämmten Fermenters sind folgende Anforderungen maßgebend:

- Expositionsklassen XC4 (innen), XC1 (außen), XA3
- Betongüte: C35/45
- Wasserzementwert  $\leq 0,45$
- Schutzmaßnahme erforderlich
- Überwachungsklasse 2
- Betondeckung der Bewehrung 40 mm

Dabei wird der Einsatz von HS-Zement (hoher Sulfatwiderstand) empfohlen. Dieser Zement kann den Angriff durch bi-

ogene Schwefelsäuren zwar nicht verhindern, allerdings deutlich verlangsamen.

Von den Anforderungen „chemischer Angriff“ kann abgewichen werden, wenn der Fermenter mit einer dauerhaften Auskleidung, z.B. Hart-PVC oder Ähnlichem ausgeführt wird. In diesem Fall kann die Expositionsklasse XA3 entfallen. Eine Abminderung ist ebenfalls möglich, wenn das Biogas dauerhaft entschwefelt wird. Allerdings muss über die Nutzungsdauer der Tragkonstruktion gewährleistet sein, dass kein chemisch starker Angriff am Beton stattfindet.

Weiterhin kann bei dem Boden des Fermenters, aufgrund des fehlenden Biogasangriffs, von den obigen Anforderungen abgewichen werden. Es ergeben sich für den Boden folgende Anforderungen:

- Expositionsklassen: XC4, XA1
- Betongüte: C25/30
- Wasserzementwert  $\leq 0,60$
- Keine Schutzmaßnahme notwendig
- Überwachungsklasse 2
- Betondeckung der Bewehrung 40 mm

Vorlagebehälter zum Sammeln der Gülle und Lagerbehälter für die ausgefaulte Biomasse können wie Güllehochbehälter ausgeführt werden.

### Zusammenfassung

Der Baustoff Beton hat sich im landwirtschaftlichen Bauen etabliert. Er findet in vielfältiger Form, ob in Gärfuttermilch, Güllebehältern oder in Behältern für Biogasanlagen Anwendung und ist dort nicht mehr wegzudenken.

Mittlerweile hat sich auf dem Normensektor viel geändert. Im Bereich Beton wurden u.a. mit DIN EN 206-1 und DIN 1045, Teil 1-4 neue Normen eingeführt, die einen Grundstein im Hinblick auf europäische Regelwerke bilden.

Viele Änderungen in den Normen betreffen auch Bauteile und Bauten in der Landwirtschaft, da sie besonderen Beanspruchungen ausgesetzt sind. Planer und Ausführende sind angehalten diese Veränderungen umzusetzen, um zu gewährleisten, dass im Bereich der Landwirtschaft, dauerhafte und langlebige Bauwerke ausgeführt werden.

# Trockenbeton für Baumaßnahmen in der Landwirtschaft

Von Florian Petschnig, Brückl (Österreich)

*Umbauarbeiten im Bereich der Landwirtschaft sind heute durchaus üblich, so auch bei der Umstellung des landwirtschaftlichen Betriebes Selman in St. Walburgen, Gemeinde Eberstein/Österreich. Jungbauer Klaus-Peter Petschnig bearbeitete bereits als Diplomarbeit die Maßnahmen für die baulichen und betrieblichen Aufgabenstellungen. Berichtet wird über die Anwendung von Beton – und ganz besonders Trockenbeton für Umbauarbeiten in der Landwirtschaft.*

## Aufgabenstellung

Das bestehende Stallgebäude war für die gemischte Viehhaltung konzipiert, also als Anbindestall für Kühe und Kälber und als Schweinestall für drei Muttersauen mit Nachzucht, Bild 1. Für die nunmehr geplante Ferkelproduktion war ein Umbau mit gravierenden Änderungen notwendig, bei dem auch bedeutende Mengen an Beton benötigt wurden. Da die Schweinehaltung auf Spalten (auch diese sind zum überwiegenden Teil aus Beton) vorgesehen ist, musste der gesamte Betonboden im bestehenden Stall entfernt und zusätzlich, um ausreichend Güllerraum bereitzustellen, das Niveau innerhalb der Wände um 1,35 m tiefer gelegt werden. Zwei bestehende Stützen etwa in der Mitte des Stalles wurden mit Schwerlaststehern entlastet,

die bestehenden Fundamente abgestemmt, neue Fundamente in der erforderlichen Tiefe eingebaut und die Stützen nach unten ergänzt. Der Boden und die Trennwände im Güllerkeller, die gleichzeitig als Auflager für die Spalten konzipiert sind, sowie die Fundamente der Stützen und die Stützenverlängerungen wurden einerseits mit Transportbeton, andererseits mit Trockenbeton betoniert, Bilder 2 bis 4.

## Warum Trockenbeton?

Große Betonmengen werden heute üblicherweise als Transportbeton angeliefert und, wenn möglich, mit der Pumpe eingebaut. So wurden auch zwei Bodenplatten beim hier beschrie-



Bild 1: Gesamtansicht Hof Selman



Bild 3: Verlängerung der Stützen und Leitwände als Spaltenbodenaufleger über dem Güllerkeller



Bild 2: Schalung zum Betonieren der Spaltenbodenaufleger im Randbereich



Bild 4: Betonierter Güllerkeller

benen Objekt betoniert. Wie für Gülleanlagen in Österreich laut Merkblatt 24 des Österreichischen Kuratoriums für Landtechnik und Landentwicklung ÖKL „Düngersammelanlagen für wirtschaftseigenen Dünger“ vorgesehen, wurde ein C25/30/B3 C<sub>3</sub>A-frei F 52 GK 22 bestellt und vom Transportbetonwerk geliefert. Dieser Beton war ideal zu verarbeiten, wurde mit der Rüttelflasche verdichtet und mittels „Platscher“ (Abziehpat-sche) eingeebnet.

*Anm. der Redaktion: Die in Deutschland übliche Bezeichnung für diesen Beton ist C25/30 XC4, XF3 (mit Luftporen), XA1, hoher Sulfatwiderstand, Ausbreitmaß F4, Größtkorn 22 mm. In Deutschland gilt DIN 11622-2:2004-06 Gärfuttersilos und Güllebehälter. Teil 2: Bemessung, Ausführung und Beschaffenheit. Gärfuttersilos und Güllebehälter aus Stahlbeton, Stahlbetonfertigteilen und Betonschalungssteinen. Ein hoher Sulfatwiderstand des Betons ist aufgrund der Erfahrungen in Deutschland nicht notwendig. Für Gülleanlagen kommen die Betonsorten C35/45 XC4, XF3 (ohne Luftporen), XA1 bzw. alternativ C25/30 XC4, XF3 (mit Luftporen), XA1 oder im Einzelfall C25/30 XC4, XF1, XA1 zur Anwendung.*

Für das Betonieren der Wände – sowohl der Auflager im Bereich der bestehenden Wände, als auch der Leitwände innerhalb der Bodenfläche – wurden in mehreren Abschnitten geringe Betonmengen (1 bis 3 m<sup>3</sup>) benötigt. Die Anlieferung von Transportbeton wäre in diesem Fall unwirtschaftlich gewesen, zumal der Einbau in 12 cm breite Schalungen mit einer üblichen Betonpumpe schwierig bzw. praktisch nicht möglich gewesen wäre.



Bild 6: Durchlaufmischer und Schneckenpumpe am Trockenbetonsilo

Trockenbeton im Silo bietet hier eine optimale Lösung, Bild 5. Die Qualität dieses Betons entspricht bei einem Größtkorn von 4 mm, welches für das Pumpen nicht größer sein soll, exakt der Anforderung des bereits erwähnten ÖKL-Merkblattes. Mittels einer direkt am Silo angebauten Schneckenpumpe wurde der in einem vorgeschalteten Durchlaufmischer angemischte Fließbeton bis zu 40 m weit gepumpt, Bilder 6 und 7. Mittels Schläuchen mit 50 mm Durchmesser ist eine einfache Befüllung der engen Schalungen möglich und aufgrund der fließfähigen Konsistenz eine zusätzliche Verdichtung nicht notwendig. An der Oberfläche nivelliert sich der Beton selbständig ein, so



Bild 5: Trockenbetonsilo mit Misch- und Fördereinrichtung

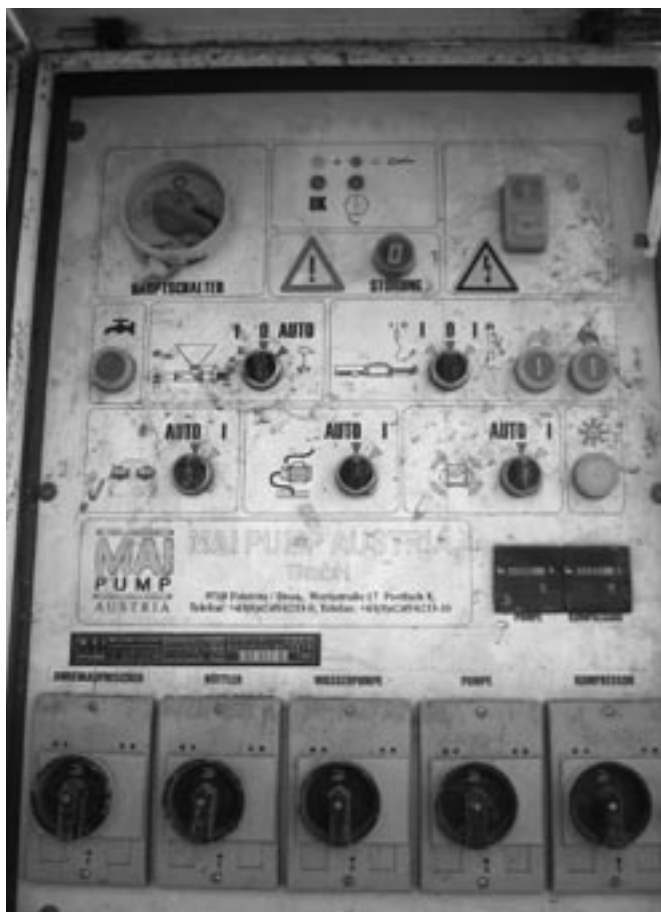


Bild 7: Schalttafel

**Tafel 1: Vergleich der Kosten in Euro je Kubikmeter Beton (gerundet ohne Mehrwertsteuer)**

	Transportbeton	Trockenbeton	Freifallmischer
Materialkosten	80 €	130 €	60 €
Pumpen	13 €	0	0
Verdichten	1 €	0	1 €
Personal	3 Personen / 38 €	1 Person / 6 €	4 Personen / 50 €
Reinigung	1 €	3 €	1 €
Gesamtkosten/m <sup>3</sup>	120 €	139 €	112 €
	107 %	124 %	100 %

dass auch der Oberflächenschluss mit nur geringem Aufwand möglich ist.

Trockenbeton besteht aus Zement, trockenen Gesteinskörnungen und Betonzusätzen und wird in einer gleichbleibenden Zusammensetzung werkmäßig hergestellt. Nach Zugabe von Wasser und anschließendem Mischen erhält man verarbeitungsfertigen Beton. Trockenbeton wird in Silos verschiedener Größe oder als Sackware geliefert.

Das Betonieren kann nach Fertigstellung der Schalung, die allerdings sehr exakt, also dicht, sein muss, sofort beginnen. Nach Aufbau der Pumpleitungen und Einstellung der Konsistenz erfolgt das Betonieren mittels Fernsteuerung, im Idealfall durch eine Person. Mit einer Pumpenleistung von 80 l/min können 3 m<sup>3</sup> Beton in etwa 40 Minuten eingebaut werden. Die Betonierung aus dem Fahrmischer mittels Schubkarre dauert etwa doppelt so lang und benötigt mindestens drei Personen. Das Betonmischen mittels Freifall- oder Zwangsmischer aus Zement, Gesteinskörnung und Wasser auf der Baustelle ist für diese Betonsorten ohnehin laut Norm nicht erlaubt und zusätzlich ebenfalls nur in entsprechend längerer Zeit und mit einem noch höheren Personalaufwand möglich. In einer vergleichenden Darstellung wird versucht, die Wirtschaftlichkeit von Trockenbeton für derartige Einsatzzwecke zu dokumentieren, Tafel 1.

**Tafel 2: Eigenschaften des verwendeten Trockenbetons**

	Erstprüfung	Baustelle, Probe 1	Baustelle, Probe 2
Wassergabe [M.-%]	11,0	11,8	11,4
Ausbreitmaß [cm]	61	63	59
Frischbetonrohddichte [kg/m <sup>3</sup> ]	2.350	2.290	2.360
Druckfestigkeit nach 7 Tagen [N/mm <sup>2</sup> ]	37,8	33,2	37,0
Druckfestigkeit nach 28 Tagen [N/mm <sup>2</sup> ]	48,2	43,1	45,6



Bild 8: Schweinestall nach dem Umbau

### Eigenschaften von Trockenbeton

In der Tafel 2 werden die Eigenschaften des verwendeten Trockenbetons dargestellt, und zwar die Ergebnisse der Erstprüfung beim Baustoffhersteller und die beim Baustelleneinsatz ermittelten Daten der Überwachungsprüfung auf der Baustelle. Die betontechnologischen Daten zeigen, dass die geforderte Betonqualität zielsicher erreicht wird.

Die Verarbeitungseigenschaften des Trockenbetons werden am Besten durch die Aussagen der Verarbeiter beschrieben. Der Lehrling Stefan Ettinger erklärte: „So einfach war das Betonieren noch auf keiner Baustelle!“ Maurer Ambros Schlitzer ergänzte: „Für den Einbau in enge Schalungen ist die Konsistenz des Fließbetons ideal und die Förderung mittels Pumpe eine enorme Erleichterung!“

Auch Bauherr Klaus-Peter Petscharnig ist überzeugt, dass Trockenbeton für Anwendungen in der Landwirtschaft eine ideale Ergänzung zu Transportbeton darstellt und auch bei etwas höheren Gesamtkosten zukünftig vermehrt angewendet werden sollte. Insgesamt wurden beim Umbau in St. Walburgen innerhalb von 14 Tagen 45 t Trockenbeton verarbeitet, Bild 8.

### Schlussfolgerung

Für Betonierarbeiten in kleineren Abschnitten, wie die Herstellung von Fundamenten, das Verfüllen von Betonschalungssteinen, das Ergänzen von Betonbauteilen (z.B. Säulen), oder das Betonieren in engen Schalungen ist die Anwendung von Trockenbeton als Pumpbeton ideal. Im Container werden bis zu 22 t Trockenbeton angeliefert, wobei die für die Verarbeitung benötigten Maschinen, wie Durchlaufmischer, Schneckenpumpe und Schaltkasten, direkt am Container angebaut sind und die erforderlichen Schläuche mitgeliefert werden. Bauseits sind eine Stromversorgung mit 32 Ampere Absicherung und eine Wasserzuleitung mit ¾ Zoll erforderlich. Weitere Materialmengen werden in den Container nachgeblasen und stehen jederzeit wiederum für die Verarbeitung zur Verfügung. „So macht Betonieren Spaß und der Umbau geht zügig voran“, sagte der Jungbauer Klaus-Peter Petscharnig nach dem Umbau.

## Herausgeber

### BetonMarketing Deutschland

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

### BetonMarketing Nord

BetonMarketing Nord GmbH  
Anderter Straße 99D  
30559 Hannover  
Telefon 0511 554707-0  
Telefax 0511 554707-15  
hannover@betonmarketing.de

### BetonMarketing Ost

BetonMarketing Ost  
Gesellschaft für Bauberatung und Marktförderung mbH  
Teltower Damm 155  
14167 Berlin-Zehlendorf  
Telefon 030 3087778-0  
Telefax 030 3087778-8  
mailbox@bmo-berlin.de

### BetonMarketing Süd

BetonMarketing Süd GmbH  
Gerhard-Koch-Straße 2+4  
73760 Ostfildern  
Telefon 0711 32732-200  
Telefax 0711 32732-202  
info@betonmarketing.de

Rosenheimer Straße 145g  
81671 München  
Telefon 089 450984-0  
Telefax 089 450984-45  
muenchen@betonmarketing.de

Friedrich-Bergius-Straße 7  
65203 Wiesbaden  
Telefon 0611 261066  
Telefax 0611 261068  
wiesbaden@betonmarketing.de

### BetonMarketing West

BetonMarketing West  
Gesellschaft für Bauberatung und Marktförderung mbH  
Annastraße 3  
59269 Beckum  
Telefon 02521 8730-0  
Telefax 02521 8730-29  
bmwest@betonmarketing.de