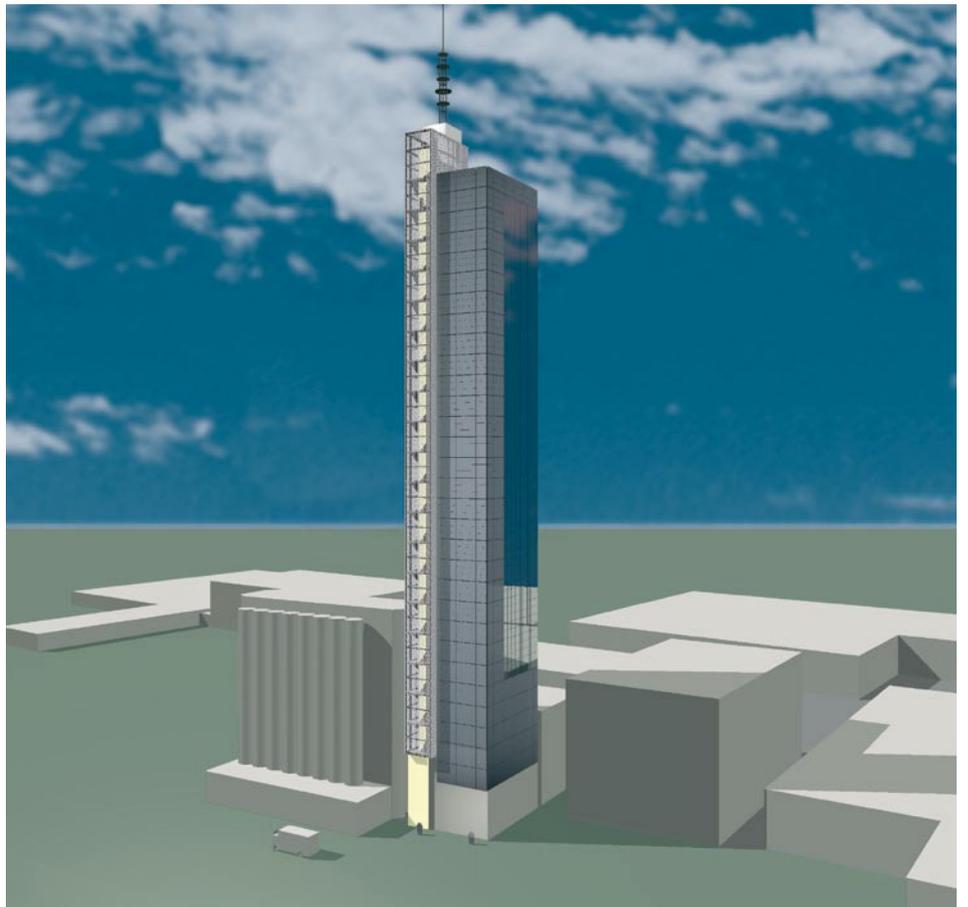


1 | 2007



Bauen für die Landwirtschaft

Getreidelagerung / Biogas

Bauen für die Landwirtschaft

Heft Nr. 1, 45 (2007)
ISSN 0171-7952

Autoren:

Dipl.-Ing. Michael J. Dickamp
Siebenplaneten 3
44892 Bochum

Prof. Dr. agr. Josef Eckl
Fachhochschule Weihenstephan
Fachbereich Land- und Ernährungswirtschaft
Am Hofgarten 4
85350 Freising

Dr.-Ing. Thomas Richter
BetonMarketing Ost
Gesellschaft für Bauberatung
und Marktförderung mbH
Teltower Damm 155
14157 Berlin

Dipl.-Ing. Werner Rothenbacher
Schwenk Zement KG
Anwendungstechnik
Hindenburgring 15
89077 Ulm

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
Erscheinungsweise zweimal jährlich
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

Andrea Koenen M.A.
Verlag Bau+Technik GmbH
Tel.: 02 11 / 9 24 99-53

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 Rück-
sendung.

Druck und Litho: Loose-Durach GmbH, Remscheid

Themenheft: Getreidelagerung / Biogas

S. 3

Neue Standards bei der Getreidelagerung

Joseph Eckl

Der harte Wettbewerb zwingt jeden Landwirt als Lebensmittel- und Futtermittelunternehmer, durch eine fachgerechte Lagerung Qualität und Wert der Ernteprodukte zu erhalten. Außerdem muss für Getreide die Rückverfolgbarkeit ab der Ernte auf allen Produktionsstufen gewährleistet sein. Das Marktprodukt Getreide ist gekennzeichnet durch definierte Qualitäts-, Hygiene- und Sicherheitsstandards.

S. 7

Getreidespeicher der Superlative

Werner Rothenbacher

In Ulm entstand mit 115 m Höhe einer der höchsten Getreidespeicher der Welt. Bis zu 8.000 t Getreide können gelagert werden. Zur Anwendung kam das Beton-Gleitbauverfahren.

S. 11

Beton für Biogasanlagen

Thomas Richter

Die Vergärung organischer Produkte wie Gülle oder nachwachsende Rohstoffe stellt besondere Anforderungen an die für Fermenter (Gärbehälter) eingesetzten Baustoffe. Ausgehend von den Beanspruchungen beim Gärprozess werden betontechnologisch günstige und dauerhafte Bauweisen vorgestellt.

S. 15

Zement-Merkblatt Betontechnik B 4

Frischbeton – Eigenschaften und Prüfungen

Michael J. Dickamp, Thomas Richter

Solange fertig gemischter Beton verarbeitet und verdichtet werden kann, wird er als Frischbeton bezeichnet. Auf der Baustelle muss er förderbar, verarbeitbar und verdichtbar sein, nach Erhärtung die geforderten Festbetoneigenschaften aufweisen. Das Merkblatt erläutert die Zusammenhänge und gibt auch Hinweise auf notwendige Prüfungen zur Sicherung einer hohen Qualität.

Titelbild:

Entwurf für einen Getreidespeicher in Ulm, siehe Beitrag auf S. 7
(Architekturbüro Seidel, Ulm)

Neue Standards bei der Getreidelagerung

Von Joseph Eckl, Weihenstephan

Der harte Wettbewerb zwingt jeden Landwirt als Lebensmittel- und Futtermittelunternehmer, durch eine fachgerechte Lagerung Qualität und Wert der Ernteprodukte zu erhalten. Es liegt im Interesse eines jeden Erzeugers selbst, hochwertiges Getreide an den Handel abzusetzen, um mit Qualitätsware die Erlössituation aufzubessern. Neben den Qualitätsaspekten gewinnen zunehmend auch rechtliche Auflagen bei der Körnerlagerung an Bedeutung.

Nach der EU-Verordnung Nr. 178/2002 zur Lebensmittelsicherheit vom 28. Januar 2002 muss für Getreide seit 1. Januar 2005 die Rückverfolgbarkeit ab der Ernte auf allen Produktionsstufen gewährleistet sein. Das Gleiche gilt für Getreide als Futtermittel. Am 1. Januar 2006 traten die EU-Verordnungen 852/2004 sowie 1831/2003 über die Lebensmittelhygiene/Futtermittelhygiene in Kraft. Diese Verordnungen beziehen auch den Landwirt als Lebensmittelunternehmer beziehungsweise Futtermittelunternehmer mit seiner Primärproduktion mit ein. Sie stellen insbesondere eine weitere Präzisierung der guten landwirtschaftlichen Praxis und der damit verbundenen Verantwortlichkeiten zur Risikobeurteilung sowie der Aufzeichnungs- und Nachweispflichten dar.

Grundsätzlich lässt sich aus diesen rechtlichen Vorgaben ableiten: Getreide hat den Status eines anonymen Massenprodukts endgültig verloren. Das Marktprodukt „Getreide“ ist gekennzeichnet durch definierte Qualitäts-, Hygiene und Sicherheitsstandards. Durch die Pflicht zur Rückverfolgbarkeit übernimmt der Landwirt die Verantwortung für sein Produkt. Diese beginnt bei der Auswahl standortgerechter Qualitätssorten und erstreckt sich über die einzelnen Anbaumaßnahmen sowie den gesamten Transport bis hin zur betrieblichen Einlagerung einschließlich der Lagermaßnahmen.

Hygiene und Sicherheit bei der Lagerung

Während der Körnerlagerung müssen Qualitätsbeeinträchtigungen der getrockneten Körner über Monate hinweg verhindert werden. Gesundheitliche Risiken im Kornstapel sind auszuschließen. Die Lager-Hygienemaßnahmen des Landwirts haben damit zum Ziel, eine Beeinträchtigung der Lagerware durch

- Fremdstoffeinträge in das Lagergut aus der Umgebung (Kontamination mit Fremdstoffen)
- unerwünschte mikrobielle Vorgänge (Schimmelbildung; hygienische Beeinträchtigung) oder
- Schädlinge (Insekten, Nager, Vögel usw.; Kontamination durch tierische Rückstände) zu verhindern.

Nicht zuletzt gilt es, die Lagerverluste gering zu halten. An die Lagerung werden somit, unabhängig von der späteren Körnerverwertung als Marktware beziehungsweise als Futtermittel, hohe Anforderungen gestellt. Eine zeitgemäße Körnerlagerung beinhaltet damit

- fundierte Basishygiene,
- zeitgemäße Lagerhygiene sowie
- gezielte Kontrolle und Lagerüberwachung einschließlich einer umfassenden Dokumentation, Bild 1.

Lager-Basishygiene

Im Sinne einer guten fachlichen Praxis ist grundsätzlich bei der Körnerlagerung dafür zu sorgen, dass weder durch Bauteile,

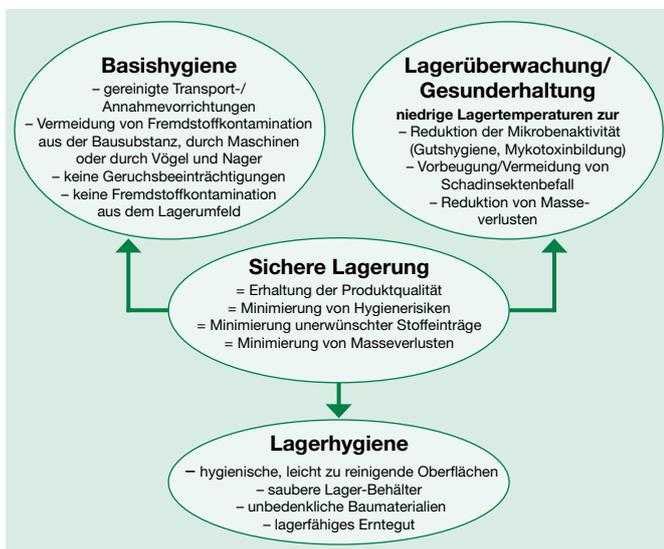


Bild 1: Hygieneanforderungen bei der Getreidelagerung

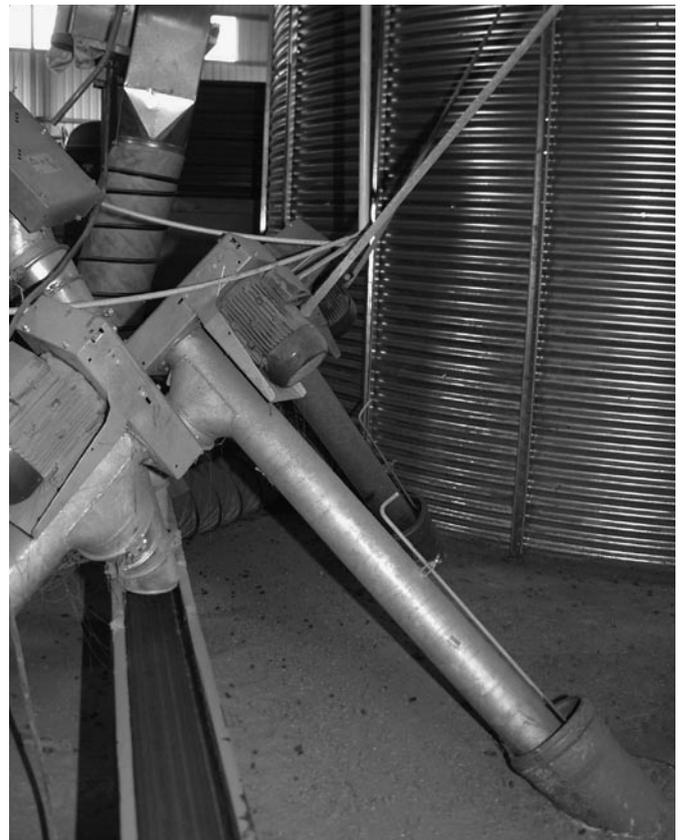


Bild 2: In die Hygieneüberlegungen ist die gesamte Annahme- und Fördertechnik mit einzubeziehen.

Lagerstoffe im Umgebungsbereich, Maschinen noch durch Nagetiere, Vögel oder andere Tiere Fremdstoffe in die Körner gelangen. Die Nagerbekämpfung ist so durchzuführen, dass ein Fremdstoffeintrag durch behandelte Tiere unterbleibt. Auch Glasleuchten direkt im Lagerbereich sind zu vermeiden. Die Lagerung von Betriebsmitteln wie Folien, Düngemittel sowie Abfallstoffen neben dem Körnerlager beinhaltet die Gefahr, dass Vorratsschädlinge leichter Unterschlupf und Rückzugsmöglichkeiten finden. Das Risiko einer unerwünschten Fremdstoffkontamination des Getreidelagers steigt. Eine Verunreinigung der Lagerware, beispielsweise durch Beizmittel aus der Umgebung, lässt sich durch eine räumlich getrennte Lagerung und Aufbereitung vermeiden.

Annahmegruben und Fördertechnik bilden wichtige funktionelle Bestandteile der Getreidelagerung, Bild 2. Abgedeckte, wasserdichte Annahmegruben reduzieren das Risiko von Fremdstoffablagerungen außerhalb der Erntezeiten beziehungsweise der Körneranfeuchtung während des Betriebs. Zugängliche Fördereinrichtungen bieten die Voraussetzung dafür, Ablagerungen, Staub usw. relativ einfach entfernen zu können. Dies trifft auch für die Belüftungskanäle zu.

Auch Geruchsbeeinträchtigungen aus dem betrieblichen Umfeld eines Getreidelagers können die Qualität nachhaltig schädigen. Bemerkenswert ist, dass mit dem Absenken der Kornfeuchtigkeit das Getreide bereitwilliger flüchtige Stoffe aus der Umgebung aufnimmt, als es das im feuchten Zustand tut. Einmal absorbierte Geruchsstoffe oder Fremdstäube werden von den Körnern meist nicht mehr abgegeben.

Flachlager werden häufig mit Frontladern oder Radladern befüllt und entleert. Bei einer Befüllung oder Entleerung mit Front- oder Radlader sind die grundsätzlichen hygienischen Aspekte zu beachten. Diese betreffen sowohl den Arbeitsbereich als auch die Maschinen selbst. Das Risiko einer Kontamination des Lagerguts durch eine verschmutzte Laderschaufel, durch Reifeneinträge (Schmutz, Erde) oder durch Ölverluste muss durch einen einwandfreien technischen Zustand der Maschine sowie einen gereinigten, befestigten Arbeitsbereich minimiert werden.

Unter Lager-Basishygiene sind somit alle baulichen, technischen und organisatorischen Maßnahmen zusammenzufassen, die eine Kontamination des Lagerguts verhindern sollen.

Lagerhygiene und Lagerbehälter

Unabhängig von der Form der Lagerzellen sind aus lebensmittelhygienischen Aspekten Körner nur in sauberen, baulich einwandfreien Lagerzellen aufzubewahren. Glatte, hygienisch einwandfreie, nach Möglichkeit ritzenfreie und damit leicht zu reinigende Oberflächen und Böden der Lagerbehälter bilden die Grundlage einer zeitgemäßen Behälterhygiene. Gründlich gereinigte Lagerzellen sind aber nicht nur aus lebensmittelhygienischen Aspekten bedeutsam; sie bilden gleichzeitig eine wichtige Vorbeugemaßnahme gegen einen Befall mit Vorratsschädlingen. Vorratsschädlinge, d.h. Insekten, Milben, Nagetiere usw., verursachen nicht nur mehr oder weniger große Verluste durch den Verzehr von Körnern. Der weitaus größere Schaden entsteht durch verschmutzte und in der Qualität beeinträchtigten Partien.

Welcher Lagerform im Einzelbetrieb der Vorzug zu geben ist, hängt von mehreren grundsätzlichen Überlegungen ab. Zu berücksichtigten sind vorrangig:

- Anforderungen an die Produktqualität bei der Verwertung,
- betriebliche Gegebenheiten (z.B. vorhandene Halle, Erschließung mit Fördertechnik, Anzahl benötigter Lagerzellen, mögliche Anordnung der Lagerzellen),
- Kosten- und arbeitswirtschaftliche Aspekte (z.B. Entleerung) der einzelnen Behälterformen.

Eine betriebsindividuelle, kostengünstige Getreidelageranlage erfordert deshalb eine gründliche Planung vor Ort unter Einbeziehung der rechtlichen Rahmenbedingungen.

Flachlagerzellen

Bei großen Erntemengen und wenigen Lagerpartien wurden in der Vergangenheit häufig Flachlager gewählt. Große ebenerdige Behälterzellen weisen in der Regel einen niedrigeren Kapitalbedarf auf als Hochbehälter. Für erdlastige Lagerzellen muss der Untergrund gegen Feuchtedurchtritt abgedichtet sein. Die zulässigen Seitenkräfte für die Außen- und Trennwände bestimmen die Schütthöhe. Baumaterialien für die Seitenwände sind Beton, Stahlblech und Holz. Da ein Umlagern sehr schwierig ist, empfehlen sich Belüftungskanäle beziehungsweise Belüftungseinrichtungen. Befahrbar Lagerhallen erfordern im Boden integrierte Belüftungskanäle.

Insgesamt gesehen lassen sich in Lagerhallen mit wenigen Unterteilungen Körner sehr preiswert lagern. Allerdings ist zu bedenken, dass die Anforderungen an eine zeitgemäße Basis- und Lagerhygiene, an die Lagerüberwachung sowie das Lagermanagement im Vergleich zu Rund- und Vierecksilos anspruchsvoller sind.

Hochlagerzellen (Silozellen)

Hochbehälter müssen bei der Körnerlagerung erhebliche Kräfte aufnehmen. Ruhendes Getreide übt in drei Richtungen Kräfte aus:

- senkrechte Druckkräfte auf den Untergrund,
- seitliche Druckkräfte auf die Wand sowie
- senkrechte Reibungskräfte auf die Wand.

Grundsätzlich ist für die Standfestigkeit von Silozellen ein tragfähiger Untergrund mit ausreichendem Fundament erforderlich. Mit zunehmender Höhe der Silos nimmt neben dem Seitendruck auch der aus der Reibungskraft resultierende Druck auf die Wände zu. Bei hohen schmalen Silos kann der Wanddruck sogar höher sein als der Bodendruck. Höchste Seitendrucke treten im Silo immer dann auf, wenn das Korn in Bewegung, wie beispielsweise beim Auslauf, ist. Besondere Belastungen treten zudem auf, wenn Silolagerzellen einseitig befüllt oder entleert werden. Aus diesem Grund sollten mittige Zu- und Ausläufe vorgesehen werden, Bild 3.

Bei Hochbehältern dominieren viereckige oder runde Formen. Häufig werden Getreidesilos auf landwirtschaftlichen Betrieben in Gebäude eingebaut. Im Verband stehende Viereckbehälter



Bild 3: Getreidelager (Viereckzellen) mit betonierten Trichterausläufen in der Bauphase

haben den geringsten Grundflächenbedarf aller Bauformen. Als Baumaterial kommen vor allem Beton, Stahlblech oder Holz zum Einsatz.

Die runde Behälterform weist aus statischer Sicht Vorteile auf. Rundsilos mit kleinem Durchmesser nutzen allerdings den Raum schlecht. Bei Einzelaufstellung sind runde Silobehälter in der Regel bei gleichem Inhalt kostengünstiger als Vierecksilos. Der Preisunterschied verringert sich jedoch, wenn bei größeren Anlagen die innere Wand von Viereckzellen doppelt genutzt werden kann. Grundsätzlich sprechen bei beiden Behälterformen wirtschaftliche Gründe für eine geringere Anzahl von Lagerzellen, da die Preise mit zunehmender Behältergröße deutlich abnehmen.

Sind keine Gebäude zum Einbau von Getreidesilos vorhanden, dann bieten sich alternativ Lagersilos mit dichter, hinterlüfteter Bedachung im Freien an. Deren Investitionsbedarf erhöht sich durch die Überdachung und höheren Aufwand für die Technik



Bild 4: Außensiloanlage eines Getreidegroßlagers (Foto: T. Richter, Berlin)

deutlich, Bild 4. Allerdings entfallen dafür Gebäude bzw. Gebäudekosten.

Lagerüberwachung und Lagerbelüftung

Lagerprobleme lassen sich grundsätzlich reduzieren, indem gereinigte, trockene Körner von einwandfreier Qualität in saubere Zellen eingelagert werden. Insbesondere stärker mit Fusarien belastetes Erntegut sollte vor dem Einlagern intensiv gereinigt werden. Strohteile und Schmachtkörner sind nämlich in der Regel stärker mit Toxinen belastet als das vollständig ausgebildete Korn.

Eine oft unterschätzte Gefahr für die Qualität des Lagerguts stellen Lager-(Schimmel-)pilze und Mikroorganismen dar. Lagerpilze und Mikroorganismen vermehren sich stark, wenn ausreichend Wasser im Erntegut und hohe Temperaturen vorhanden sind. Je nach Intensität beeinträchtigt Schimmelbildung im Lager die Qualität der Körner wie folgt:

- durch einsetzende Geruchs- und Geschmacksveränderungen,
- durch Mykotoxinbildung,
- bei stärkerem Schimmelbefall durch Verklumpung und Brückenbildung im Lager.

Gefährlich sind die entstehenden Stoffwechselprodukte (Mykotoxine = Pilzgifte), die sich weder durch Reinigen noch durch Erhitzen beseitigen lassen. Getreide mit einer gesundheitlich und toxikologisch bedenklichen Mykotoxinbelastung darf nicht in den Verkehr gebracht werden. Es ist auch als Futtermittel nicht mehr geeignet. Qualitätsschäden bis hin zum Verderb des Gutes sowie Masseverluste zeigen sich durch eine Erwärmung im Körnerstapel an. Zur Kontrolle sollen deshalb regelmäßig – insbesondere zu Lagerungsbeginn – Temperaturmessungen durchgeführt und dokumentiert werden. Eingebaute Temperaturfühler in Verbindung mit elektronischen Überwachungsgeräten erleichtern bei größeren Anlagen die Arbeit. Braugerste und

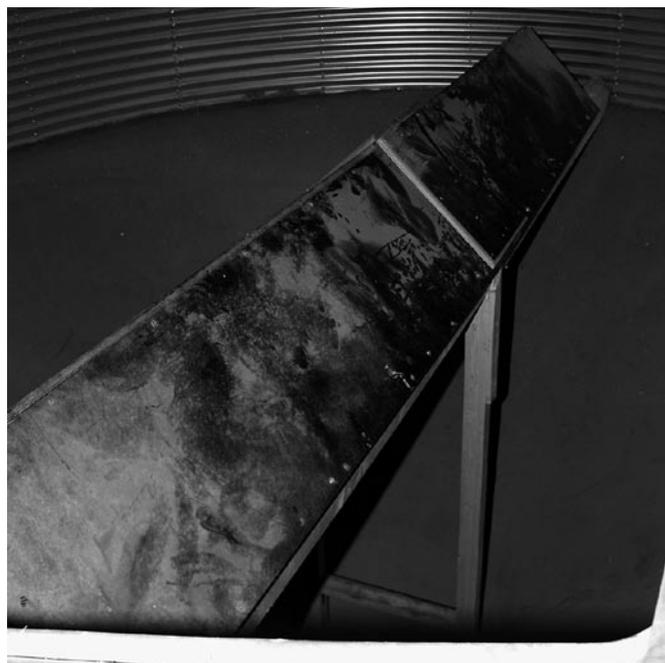


Bild 5: Zur Lagerbelüftung werden unterschiedliche Belüftungseinrichtungen angeboten – im Bild ein einfacher Dachreiter für kleine Silos

Saatgut stellen besonders hohe Anforderungen an die Pflege des Lagergutes. Neben der Temperaturüberwachung ist das Getreidelager stets auf das Vorkommen tierischer Lagerschädlinge zu kontrollieren.

Lagerbelüftung

Den Getreidestapel mit Außenluft zu belüften gehört zu den einfachsten Maßnahmen, um in den Lagerprozess von Getreide wirkungsvoll einzugreifen (Bild 5). Getreidelager sollen deshalb Belüftungseinrichtungen aufweisen. Schon bald nach der Einlagerung lässt sich bei entsprechenden Außentemperaturen das eingelagerte Getreide mit kalter Nachtluft abkühlen. Als Grundregel gilt: eine Belüftung ist nur dann möglich, wenn die Außenluft um mindestens 5 °C kälter ist als der zu belüftende Getreidestapel. Durch Lagerbelüftung muss die Temperatur der Körner in der Folgezeit möglichst schnell auf ein unkritisches Niveau heruntergekühlt werden. Anzustreben ist eine

unkritische Lagertemperatur von 8 bis 10 °C, in Sonderfällen auch darunter. Grenzen erreicht dieses einfache Verfahren der Lagerbelüftung, wenn die Außenluft im Sommer so warm ist, dass kein größerer Kühleffekt zustande kommt. Der Einsatz von Körnerkühlgeräten erlaubt dagegen auch bei schwierigsten Witterungsverhältnissen die problemlose Kühlung der eingelagerten Ware.

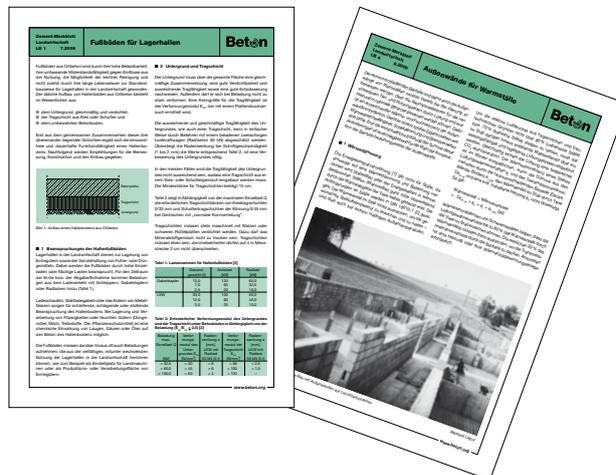
Fazit

Landwirte produzierten bislang nach guter fachlicher Praxis verantwortlich Getreide für die Eigenverwertung, die Lebensmittelverarbeitung bzw. als Futtermittel. Neue rechtliche Rahmenbedingungen präzisieren die Hygieneanforderungen sowohl für die Verwertung als Lebensmittel wie auch als Futtermittel. Für den Getreideerzeuger gilt es zukünftig, neben den Qualitätsanforderungen die gesetzten Sicherheits- und Hygienestandards einzuhalten und auch zu dokumentieren.



- 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, 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, 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.

Getreidespeicher der Superlative

Von Werner Rothenbacher, Ulm

Einer der höchsten Getreidespeicher der Welt entstand im Ulmer Norden. Infolge seiner exponierten Lage ist das Bauwerk über große Entfernungen sichtbar. Beim Neubau dieser Siloanlage wurde das Gleitverfahren angewandt. Im Folgenden wird über das Projekt und dessen Ausführung berichtet.

Projektbeschreibung

Die Schapfenmühle ist das älteste Ulmer Unternehmen und wurde bereits im Jahr 1452 urkundlich erwähnt. Das Unternehmen beschäftigt sich mit Getreideprodukten und konnte dank ständigen Wachstums der letzten Jahre weiter expandieren.

Infolge dessen war der Neubau eines weiteren Getreidespeichers notwendig. Wegen der beengten Platzverhältnisse auf dem Firmengelände konnte sich das Bauwerk nur in die Höhe erstrecken. Die Grundfläche des Turms beträgt lediglich 165 m². Durch die Höhe von 115 m entstand ein extrem schlankes Bauwerk, das bis zu 8.000 to Getreide aufnehmen kann.

Der Turm enthält nicht nur Silospeicher, sondern auch aufwändige Mühlentechnik und einen Aufzugsschacht mit Treppenhaus.

Bei diesem außergewöhnlichen Projekt spielt die Gestaltung der Außenflächen eine entscheidende Rolle. Die Planungen durch das Architekturbüro Seidel aus Ulm sahen drei gestalterische Grundelemente vor. Die Ummantelung der Siloflächen durch eine 1.000 m² große Photovoltaik-Anlage, das gläserne Treppenhaus und die besondere Gestaltung des Aufzugsschachts. Diese geben der Fassade eine unverwechselbare und ansprechende Optik, Bild 1.

Gleitbauverfahren

Das Gleitbauverfahren ist eine seit vielen Jahren im Silobau eingesetzte, bewährte Technologie. Der Beton wird hierbei

frisch in frisch rund um die Uhr in die vorgefertigte Schalung eingefüllt. Diese hat eine Höhe von ca. 110 cm und besteht im Regelfall aus Stahl. Durch permanentes, pneumatisches Heben der Schalung mittels Kletterstangen mit Hydraulik wächst die Form in die Höhe, Bilder 2 und 3. Entscheidend ist hierbei, dass der Beton so konzipiert und zusammengesetzt ist, dass er nach dem Verlassen der Schalung eine ausreichende Standfestigkeit besitzt und sich nicht verformt. Weiterhin muss die Oberfläche noch bearbeitbar sein, so dass Filzen möglich ist.

Die geforderten Eigenschaften sollten in jedem Fall vorher durch Praxisversuche überprüft werden. Je nach Bauteilgeometrie sind Tagesleistungen bis zu 5 m/24 Std. möglich.

Ausführung

Das Gleitbauverfahren kam bei diesem Projekt in zwei Stufen zum Einsatz. Der erste Abschnitt ging, ausgehend von einer Fundamentplatte auf Bohrpfehlen, bis auf eine Höhe von 48 m. In das Zwischengeschoss wurde die Misch- und Anlagentechnik integriert. Der zweite Abschnitt reicht dann bis auf eine Höhe von 115 m.

Wie bereits im Verfahren beschrieben, kommt der Betonzusammensetzung besondere Bedeutung zu. Bei diesem Projekt wurde der Portlandkalksteinzement CEM II/A-LL 32,5 R ausgewählt. Dieser wird seit vielen Jahren im Ingenieurbau erfolgreich eingesetzt und ist inzwischen ein oft verwendeter Zement in der Transportbetonindustrie. Mit diesem Zement hergestellte Betone zeichnen sich durch bessere Verarbeitbarkeit, gutes

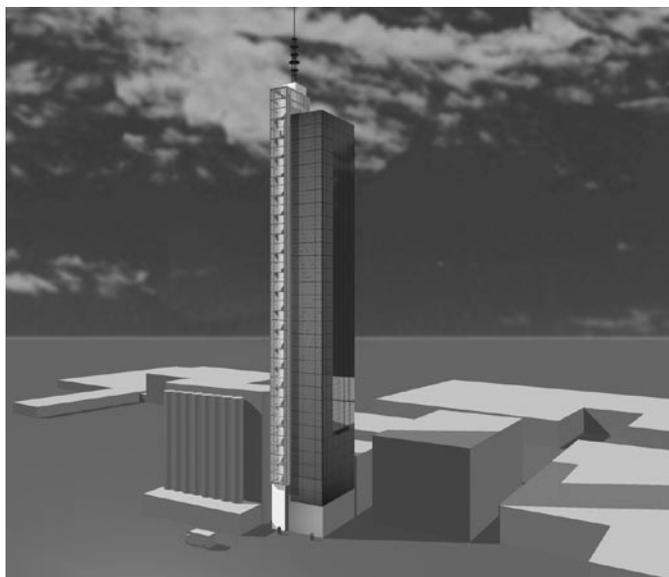


Bild 1: Entwurf des Getreidespeichers (Architekturbüro Seidel, Ulm)

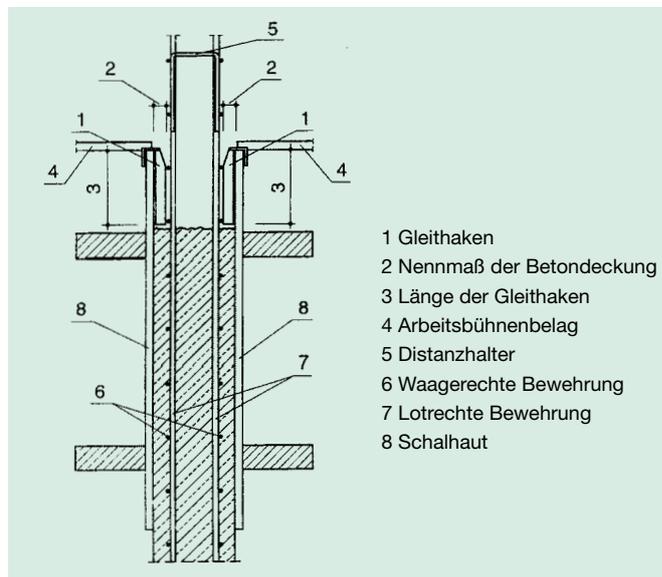


Bild 2: Prinzip einer Gleitschalung

Wasserrückhaltevermögen (kein Bluten) sowie helle Sichtbetonflächen aus.

Die Zusammensetzung der eingesetzten Rezeptur war wie folgt:

- 320 kg/m³ CEM II/A-LL 32,5 R
- 40 kg/m³ Flugasche
- Wasserzementwert w/z = 0,50
- 0,5 M.-% vom Zement Betonverflüssiger
- 0 bis 0,3 M.-% vom Zement Verzögerer (temperaturbedingt)
- Gesteinskörnung Kies, Größtkorn 32 mm
- Ausbreitmaß 45 bis 48 cm

Diese Zusammensetzung entspricht einem Beton der Festigkeitsklasse C30/37. Bei den Eignungs- und Güteprüfungen wurden Druckfestigkeiten nach 56 Tagen von im Mittel 46 bis 49 N/mm² erreicht.

Das Erhärtungsverhalten und somit die Gleitgeschwindigkeit des Betons wird maßgebend durch die Zusammensetzung und die Frischbetontemperaturen beeinflusst. Durch Variation der Verzögerermenge können die witterungsbedingten Schwankungen weitgehend ausgeglichen werden.

Die Nachbehandlung wird durch eine Nachlaufbühne mit abgehängten Planen sichergestellt. Von dieser aus wurden auch die Nacharbeiten durchgeführt, Bild 4.

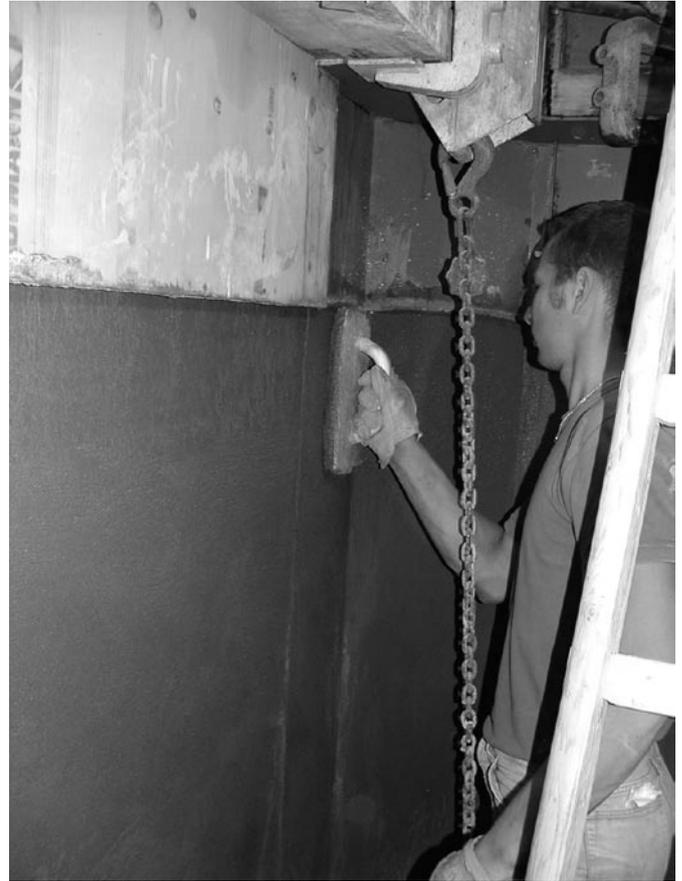


Bild 4: Filzen auf der Nachlaufbühne

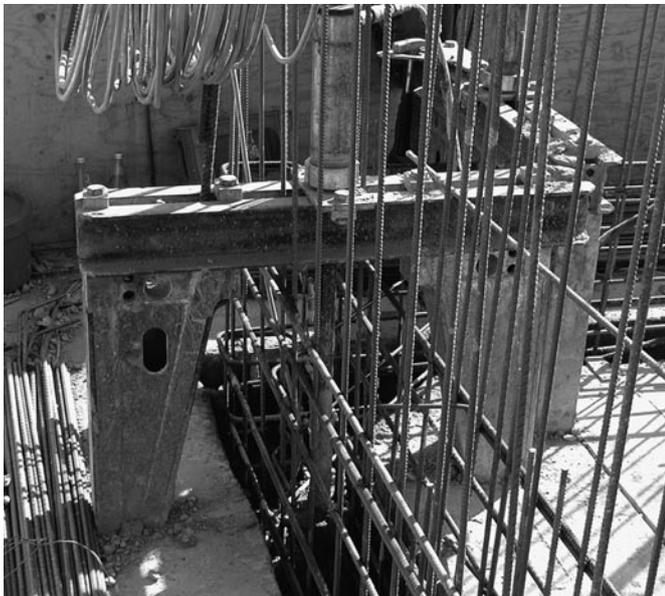


Bild 3: Kletterbock mit Arbeitsbühne

Die Betonherstellung und Lieferung ist genau auf die Einbauleistungen abzustimmen. Somit ist gewährleistet, dass der Beton beim Einbau immer in etwa gleich alt ist. Dies ist für die Einhaltung der Gleitgeschwindigkeit unerlässlich.

Die Arbeitsabläufe zwischen Bewehrungseinbau, Anbringen der Einbauteile, Betoneinbau und Nachbearbeitung müssen gut abgestimmt sein. Alle Abläufe müssen reibungslos ineinander übergehen.

Die Dauerhaftigkeit des Bauwerks wird maßgebend durch die ausreichende Betondeckung sichergestellt. Hierzu sind an der Gleitschalung in Abständen von ca. 1 m innen und außen Gleithaken befestigt.

Pro Umlauf werden ca. 10 m³ Beton benötigt und wird damit eine Schicht von 30 cm hergestellt.

Der Betoneinbau erfolgt mittels Schlauchkübel umlaufend, Bild 5. Anschließend wird dieser mit dem Flaschenrüttler ver-



Bild 5: Betoneinbau mit Schlauchkübel

ichtet. Dabei ist das Vernähen der einzelnen Lagen sehr wichtig.

Die Gleitgeschwindigkeit lag beim ersten Abschnitt bis auf 48 m Höhe etwa bei 4 m/24 Std. was einer Betonmenge von 137 m³/24 Std. entspricht. Hierbei wurden 1.411 m³ Beton verarbeitet. Nach Einbau des Zwischengeschosses wurde der zweite Abschnitt bis auf 115 m hergestellt. Die Gleitgeschwindigkeit lag bei 3,5 m/24 Std., was auf die niedrigeren Betontemperaturen zurückzuführen ist. 2.467 m³ wurden hierfür benötigt.

Aufgrund der unterschiedlichen Witterungsbedingungen und Einbautemperaturen während der Betonierzeit (Tag und Nacht) weisen die Ansichtsflächen im Beton leichte Farbunterschiede auf, Bild 6, die sich im Laufe der Zeit noch etwas angleichen werden. Da die Fassade größtenteils verkleidet wird, ist dieser optische Unterschied bedeutungslos und nachher kaum sichtbar.



Bild 6: Leichte Farbunterschiede der Schichten

Zusammenfassung

Das Gleitbauverfahren stellt für die Herstellung von Silobauwerken eine schnelle und wirtschaftliche Bauweise dar.

Das Projekt „Schapfenmühle“ hat gezeigt, dass durch eine enge Zusammenarbeit aller am Bau Beteiligten, vom Architekten über die Baufirma bis hin zum Betonlieferanten, ein gelungenes Bauwerk entstehen kann.

Durch eine gute architektonische Gestaltung der Fassadenflächen konnte dem Bauherrn aus funktionaler Bauweise ein gelungenes, optisch ansprechendes Projekt übergeben werden.

Aktuelle Empfehlungen:

BauBriefe Landwirtschaft

Sauenhaltung und Ferkelaufzucht müssen sich heute und in Zukunft lohnen



SAUENHALTUNG UND FERKELAUFZUCHT

120 Seiten, € 20,00, Best.Nr.: 6277

Der neue BauBrief hat gleichermaßen das Ziel, wachstumsbereiten Betrieben Hilfestellung zu geben und Anregungen für Verbesserungen in bestehenden Anlagen zu den verschiedenen Themenbereichen aufzuzeigen. Beim Stallbau gibt es große Unterschiede bei den Kosten. Zu einer gründlichen Planung gehört deshalb nicht nur das Auswählen eines geeigneten Standortes, das Ansehen von bereits fertigen Ställen und das Entwickeln eines Betriebskonzeptes, vielmehr gilt es darüber hinaus eine Vielzahl von Detailfragen zu klären. Der Bauförderung Landwirtschaft (BFL) ist es gelungen, zu dieser umfangreichen Thematik Experten aus dem gesamten Bundesgebiet zusammenzuführen. Als Ergebnis der gemeinsamen Arbeit präsentiert die BFL diesen BauBrief „Sauenhaltung und Ferkelaufzucht“, der weit über das eigentliche Thema „Bauen“ hinaus Hinweise zur Betriebswirtschaft, zum Markt, zur Arbeitswirtschaft, zum Produktionsmanagement, zur Tierhygiene und Tiergesundheit, zur Fütterung, zu den Haltungsverfahren und Stallbaukonzepten einschließlich der Baukosten sowie zum Stallklima gibt. Mit Zugang zur Recherche-Datenbank BFL-Online-Service Tierproduktion.

MILCHVIEHHALTUNG
128 S., € 20,00, Best.-Nr.: 6278



Empfehlungen zur Betriebswirtschaft, Fütterung, Milchgewinnung, Entmistung, Bauausführung, Tiergesundheit sowie zum Herdenmanagement. Ein unverzichtbares Nachschlagewerk für alle Milchviehhalter, Berater, Architekten, Studierende und Genehmigungsbehörden.

MASTSCHWEINEHALTUNG
130 S., € 13,95, Best.-Nr.: 6279



Empfehlungen der Officialberatung zur Verbesserung der Produktion zu den Themen: Betriebswirtschaft, Management, Hygiene, Fütterung, Fütterungstechnik, Haltung, Stallklima, Entmistung, Tierschutz, Umwelt, Genehmigungen, Planung und Bauausführung.

PRAXISGERECHTE
MASTSCHWEINEHALTUNG
100 S., € 14,95, Best.-Nr.: 6280



Die neuen Rechtsetzungen sowie die Entwicklung eines QS-Standards werden bestimmte Bereiche der Tierhaltung deutlich verändern. Die Mastschweinehaltung bringt die Belange des Tier- und Umweltschutzes gut zusammen.

PFERDEHALTUNG
Zucht, Aufzucht und
Pensionspferde
144 S., € 14,95, Best.-Nr.: 6281



Experten der Officialberatung geben aktuelle Empfehlungen zu artgerechter Pferdehaltung, Kostenanalyse und Marktchancen, Planungskonzepte sowie Genehmigungspraxis.

HILFSTELLUNG BEI
GENEHMIGUNGSVERFAHREN
FÜR TIERHALTUNGEN
128 S., € 16,00, Best.-Nr.: 6282



Rechtliche Vorgaben zur Planung, zum Immissions-, Gewässer- und Tierschutz. Genehmigungsverfahren in den verschiedenen Bundesländern und Tipps zum Abfassen der Anträge.

GEFLÜGELHALTUNG
Eiererzeugung und Mast
128 S., € 14,95
Best.-Nr.: 6283



Hier stehen den Landwirten, Beratern, Architekten und Mitarbeitern von Genehmigungsbehörden abgesicherte Informationen zur Verfügung, die alle wichtigen Themenbereiche von den Rechtsetzungen bis zur Verfahrenstechnik hin umfassen.

Bestellhotline: 02501/801-300 • Fax: 02501/801-351

E-Mail: service@lv-h.de • Internet: www.agrarshop.de

Beton für Biogasanlagen

Von Thomas Richter, Berlin

Mit der Verabschiedung des Gesetzes für den Vorrang erneuerbarer Energien (EEG) im Jahr 2000 mit einer Stromvergütungsgarantie über 20 Jahre wurde in Deutschland die Grundlage für die breite Förderung der Biogaserzeugung und -nutzung geschaffen. Die Novellierung des EEG 2004 führte mit verbesserten Vergütungssätzen und zusätzlichem Bonus für nachwachsende Rohstoffe zu einem regelrechten Boom in der deutschen Biogasbranche.

Wirtschaftliche Bedeutung der Biogaserzeugung

Der derzeit aus Biogas erzeugte Strom entspricht etwa dem Stromverbrauch von 1 Mio. Haushalten. Von zunehmender Bedeutung ist auch die Nutzung der bei der Stromerzeugung über Blockheizkraftwerke anfallenden Wärme. Zukünftig könnte auch die Einspeisung von Biogas in das Erdgasnetz einen Beitrag zur Versorgungssicherheit und zum Klimaschutz leisten. In den nächsten 15 Jahren wird mit dem Bau von 500 bis 1.000 Biogasanlagen jährlich gerechnet, wenn sich die politischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen nicht verändern, siehe Tafel 1.

Herkunft und Gewinnung von Biogas

Hauptbestandteil der zur Biogaserzeugung notwendigen Biomasse war bisher Gülle aus der landwirtschaftlichen Tierproduktion. Zunehmend werden speziell für die Biogaserzeugung angebaute nachwachsende Rohstoffe verwendet, kurz Nawaro genannt. So kann z.B. „Energie“mais oder Ackergras auf Stilllegungsflächen angebaut werden, auf denen kein Anbau für die Verwendung als Nahrungs- oder Futtermittel gestattet ist. Daneben können Festmist, landwirtschaftliche Reststoffe (Stroh, Grasschnitt) und Reststoffe der Lebensmittelindustrie (z.B. Fette, Biertreber, Trester, Melasse, Gemüseabfälle) eingesetzt werden.

Die in den organischen Substraten gespeicherte Energie wird durch mikrobielle Fermentation (Vergärung, Ausfäulung) unter

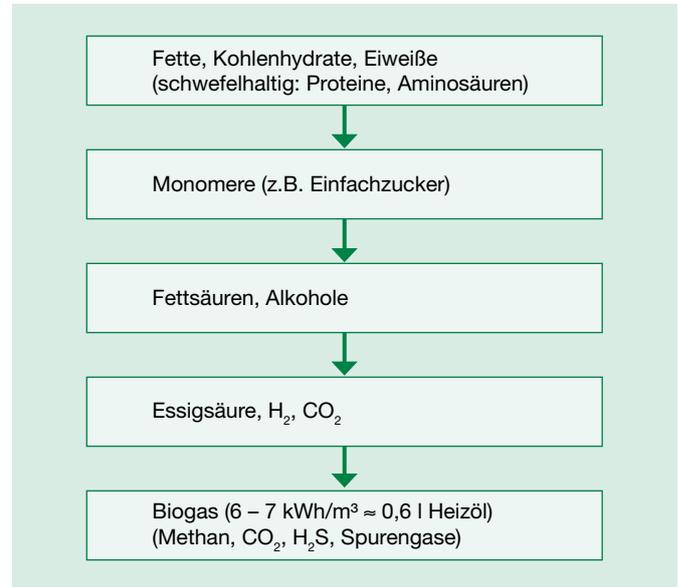


Bild 1: Stofflicher Ablauf der Biogaserzeugung durch Vergärung

Luftabschluss bei 25 bis 55 °C nutzbar gemacht. Organische Stoffe (Fette, Kohlenhydrate, Eiweiße) werden durch Bakterienkulturen in niedermolekulare Bausteine zerlegt und dabei methanreiches, energiereiches Biogas freigesetzt. Bild 1 zeigt schematisch den stofflichen Vorgang beim Vergären. Tafel 2 verdeutlicht die chemische Zusammensetzung des entstehenden Biogases. Das Biogas kann in Blockheizkraftwerken verbrannt und verstromt werden [2].

Tafel 1: Entwicklung der Biogaserzeugung in Deutschland (abgeleitet aus [1])

	2000	2006	Prognose 2020
Anlagenzahl	1.000	3.600	15.000 – 20.000
Elektrische Leistung/Anlage [kW _a] (Durchschnitt Neuanlage)	70	300 – 500	?
Installierte elektr. Leistung [MW]	70	1.100	9.500
Jährliche Stromproduktion [kWh/a]	0,1	5 Mrd.	75 Mrd.
Anteil an der Stromproduktion [%]	unbedeutend	1	15

Tafel 2: Zusammensetzung von Biogas

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

¹⁾ Anteile differieren je nach Gärsubstrat sowie Gärverfahren.

Anwendungsbereiche für Beton

In Biogasanlagen kommt Beton vor allem im Behälterbau zum Einsatz als

- Vorlagerbehälter zum Sammeln von Gülle und zum Einmischen von Kofermenten,
- Biogasfermenter (Gärbehälter und Nachgärbehälter) mit Betondeckel oder bei Gasspeicherung mit Folienabdeckung sowie als
- Lagerbehälter für Biogasgülle (vergorene Gülle).

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

Beton für Biogasfermenter

Die eigentliche Vergärung (Fermentation, Ausfäulung) erfolgt im Fermenter (Gärbehälter). Die mikrobiellen Abbauprozesse müssen unter Luftabschluss und ohne Lichteinfall stattfinden. Die Speicherung des entstehenden Biogases kann im Gasraum über dem Gärsubstrat erfolgen (gasdichte Folienabdeckung mit Unterkonstruktion) oder separat geschehen, Bilder 2 und 3. Dann werden die Behälter oft mit einer Betondecke geschlossen.

Der Temperaturbereich der Vergärung liegt bei 25 bis 55 °C (so genannte mesophile bzw. thermophile Anlagen). Zur Sicherung der Prozesstemperatur erhalten die Fermenter i.d.R. eine nagerfeste und feuchteunempfindliche Wärmedämmung (im Erdreich Perimeterdämmung) und eine Verkleidung. Werden im Gasbereich Wärmedämmungen im Behälterinneren angeordnet, müssen diese zusätzlich beständig gegen Säure- und Sulfatangriff sowie mikrobielle Einwirkungen sein. In die Bodenplatte oder Wände können Warmwassersysteme zur Aufheizung des Behälters integriert werden (eingelegte Heizschlangen). Alternativ kommen Heizschlangen im Gärsubstrat (vor den Behälterwänden liegend) zum Einsatz.



Bild 2: Biogasfermenter mit Foliendach

Bei der Tragwerksplanung der Behälter sind u.a. in Anlehnung an DIN 11622-1 [3] folgende Beanspruchungen zu berücksichtigen:

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

Behördlicherseits wird i.d.R. ein Leckerkennungssystem unter den Behältern gefordert. Dies ist bei der Bemessung insbesondere von Behältern in Hanglage zu berücksichtigen (Gleitsicherheitsnachweis).

Die landwirtschaftlichen Gärsubstrate und ihre Abbauprodukte stellen im flüssigkeitsberührten Bereich eine chemisch schwach angreifende Umgebung für Beton dar (Expositionsklasse XA 1). Werden industrielle Abprodukte zur Biogaserzeugung eingesetzt, ist im Einzelfall über den Betonangriff zu entscheiden.

In den Ausgangsstoffen zur Biogaserzeugung können Eiweiße (Proteine, Aminosäuren) schwefel-, sulfat- oder sulfidhaltig sein. Geringe Anteile enthalten Gärsubstrate aus Mais oder Gras, deutlich höhere Gehalte besitzen Rinder- und Schweinegülle sowie besonders Hühnermist. Bei Nawaros können Schwefeldüngungen zu deutlichen Erhöhungen der Schwefelanteile führen.

Das sich bildende Biogas im Gasraum über dem Substrat enthält Schwefelwasserstoff H_2S , Tafel 2. Schwefelwasserstoff verursacht Probleme bei der Arbeitssicherheit und kann zur Korrosion von Bau- und Werkstoffen führen (Bildung von Schwefelsäure und schwefliger Säure), Bilder 4 und 5. Insbesondere sinkt die Lebensdauer der Biogasgeneratoren zur Stromerzeugung bei höheren Schwefelwasserstoffgehalten im Brenngas deutlich. Hohe Schwefelwasserstoffgehalte führen



Bild 3: Biogasfermenter mit Betondecke

zu erhöhten Wartungskosten (spezielle Motorenöle mit hoher Basenzahl, häufiger Ölwechsel) sowie im Abgas der Generatoren zu aus Umweltgründen unerwünschtem höherem Schwefeldioxidgehalt. Schwefelwasserstoff ist giftig und bei höherer Konzentration lebensgefährlich und explosiv.

An den Oberflächen der Bauteile und der Ausrüstungstechnik können sich Thiobakterien ansiedeln, die zu einem starken Säureangriff auf Beton, Zementmörtel und fast alle metallischen Werkstoffe führen. Bei höheren Temperaturen beschleunigt sich die Säurebildung sehr stark. Ausführliche Erläuterungen zur Wirkungsweise der so genannten biogenen Schwefelsäurekorrosion enthält [4].

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

$$2\text{H}_2\text{S} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{S} + 2\text{H}_2\text{O}$$

Alternativ kann dem Gärsubstrat dreiwertiges Eisen (z.B. 3,2 g Eisen(III)-chlorid / g H_2S) zugesetzt werden, sodass es nicht zur Freisetzung von Schwefelwasserstoff kommen kann:

$$2\text{Fe}^{3+} + 3\text{S}^{2-} \rightarrow 2\text{FeS} + \text{S}$$

Weitere Möglichkeiten der Entschwefelung bestehen bei der Leitung von Biogas durch

- Eisenkies (2,1 g $\text{Fe}(\text{OH})_3$ / g H_2S):
 $2\text{Fe}(\text{OH})_3 + 3\text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{Fe}_2\text{S}_3 + 6\text{H}_2\text{O}$ oder durch
- Aktivkohle unter Sauerstoffzufuhr, wobei die Aktivkohle als Katalysator fungiert: $2\text{H}_2\text{S} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{S} + 2\text{H}_2\text{O}$

Selten angewendet wird die Nassentschwefelung, d.h. die Lösung von H_2S in Waschflüssigkeit.

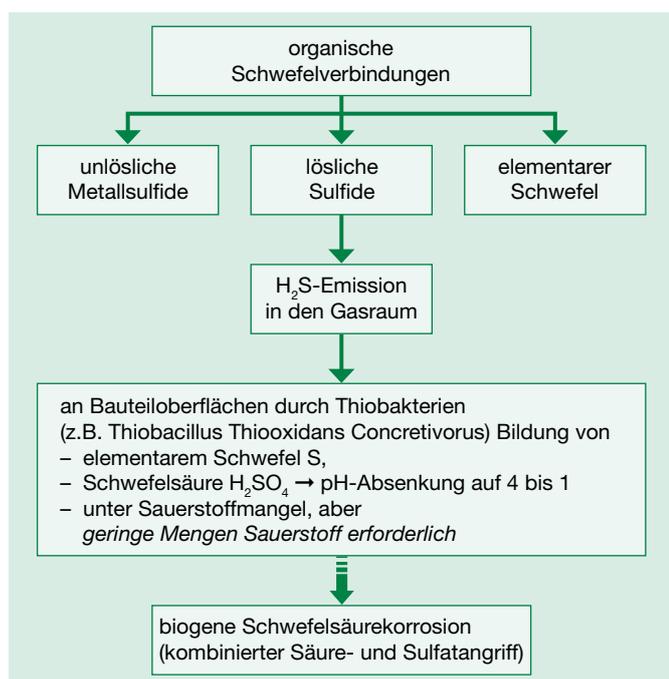


Bild 4: Chemische Prozesse beim Vergären, die zur biogenen Schwefelsäurekorrosion führen

Wenn die Entschwefelung im Gasraum unvollständig erfolgt oder bei ungleichmäßiger Verteilung des zugeführten Sauerstoffs im Gasraum geringe Mengen Sauerstoff im Gasraum verbleiben, muss mit einem starken chemischen Angriff auf den Beton im Gasraum gerechnet werden; es kann biogene Schwefelsäurekorrosion auftreten. Der Beton ist damit der Expositionsklasse XA3 zuzuordnen, die einen Schutz des Betons, z.B. durch geeignete Beschichtungen erforderlich macht und einen hochwertigen Beton fordert, Bild 6. Hintergrund ist, dass Beschichtungen im Allgemeinen kürzere Lebensdauern als das Betontragwerk aufweisen. Bei Fehlstellen oder Alterungserscheinungen der Beschichtung muss der dann ungeschützte Beton zumindest für eine gewisse Zeitspanne widerstandsfähig gegen die Säure- und Sulfatbeanspruchung sein. Der Einsatz von Zementen mit hoher Sulfatbeständigkeit (HS-Zemente, zukünftig SR-Zemente) hemmt und verlangsamt die biogene Schwefelsäurekorrosion, kann aber die Betonschädigung nicht dauerhaft verhindern.

Alternativ kann konstruktiv eine Trennung von Tragfunktion (Beton) und Abdichtungsfunktion vorgenommen werden, wenn Tragkonstruktion und Abdichtung, z.B. durch Auskleidung, eine gleichwertige Nutzungsdauer besitzen. Beton wird dann keinem chemischen Angriff ausgesetzt. Bei Foliendächern kann die innere Folie bis in das Gärsubstrat geführt werden und an der Behälterinnenwand mit V4A-Stahl angeflanscht werden. Damit wird die Betonwand im Gasbereich vor biogener Schwefelsäurekorrosion geschützt und gleichzeitig das Abfließen von sauren, korrosiven Kondensaten vom Foliendach auf die Betonoberfläche verhindert.

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

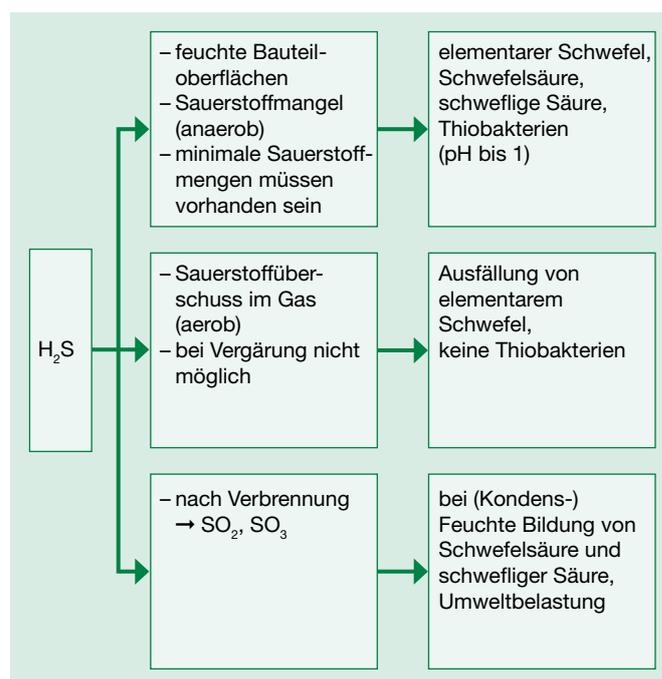


Bild 5: Verhalten von Schwefelwasserstoff im Gasraum bei unterschiedlichen Randbedingungen



Bild 6: Beschichtung im Fermentergasraum
(Foto: Fachverband Biogas)

Damit ergeben sich folgende Expositionsklassen für Beton in Biogasfermentern

- Gärsubstrat (Flüssigphase) in Anlehnung an DIN 11622-2 [5]
 - chemisch schwach angreifende Umgebung XA1
 - Bewehrungskorrosion durch Karbonatisierung XC4 (innen, in Anlehnung an DIN 11622-2, Abschn. 3), XC3 (außen, unter Wärmedämmung)
 - Beton mit hohem Wassereindringwiderstand
 - Rechenwert der Rissbreite in Anlehnung an DIN 11622-2 [5]

- Gasphase
 - a) chemisch stark angreifende Umgebung XA3 (mit Schutz des Betons),
 - b) alternativ Trennung von Trag- und Schutzschicht oder
 - c) besondere technologische und betriebliche Maßnahmen zur Vermeidung von biogener Schwefelsäurekorrosion (dann ist keine XA3-Einstufung erforderlich)
 - Bewehrungskorrosion durch Karbonatisierung XC4 (innen, in Anlehnung an DIN 11622-2, Abschnitt 3 [5]), XC3 (außen, unter Wärmedämmung)
 - Rechenwert der Rissbreite in Abhängigkeit von der gewählten Lösung zur Sicherung der Gasdichtheit; z.B. rissüberbrückende Beschichtung, Auskleidung, Verklebung der Dämmschicht, unbeschichteter Beton, planmäßiges Schließen von (Trenn-)Rissen
 - Beton mit hohem Wassereindringwiderstand und hoher Gasdichtheit ($w/z \leq 0,50$)

Im flüssigkeitsberührten Raum bedeutet dies eine Betonfestigkeitsklasse $\geq C25/30$, im Gasbereich (XA3) $\geq C35/45$. Bei Trennung von Trag- und Dichtungsschicht im Gasraum oder technologischen Maßnahmen zur Vermeidung von biogener

Schwefelsäurekorrosion kann die Mindest-Betonfestigkeitsklasse auf C25/30 (XA1, Beton mit hohem Wassereindringwiderstand) abgemindert werden.

Im flüssigkeitsberührten Bereich wird die Rissbreitenbeschränkung im Regelfall unter Nutzung der so genannten Selbstheilung des Betons festgelegt. Diese betontypische Eigenschaft bedeutet, dass Risse geringer Breite sich beim Durchfließen mit Wasser oder Gülle selbsttätig abdichten [7]. Die Selbstheilung kann je nach Randbedingungen (vorhandene Rissbreiten, Wanddicke, Wasserdruck, Temperatur) bis zu 6 Wochen benötigen. Nach dieser Zeit noch wasserführende Risse müssen durch Injektion abgedichtet werden. Bei Gülle erfolgt eine Selbstheilung der Risse auch bei breiteren Rissen als bei Wasser.

Gasdichtheit

Die Gasdichtheit des Betons ist gegeben, wenn der Wasserzementwert $w/z \leq 0,50$ eingehalten und eine fachgerechte Verarbeitung sowie Nachbehandlung sicher gestellt ist [6]. Bei Behältern mit Betondecke ist die Arbeitsfuge Decke/Wand analog zur Arbeitsfuge Sohle/Wand abzudichten, z.B. durch den Einbau von Fugenblechen oder -bändern. Auch Durchdringungen der Behälterumfassung sind abzudichten.

Beton für Vor- und Nachlagerbehälter

Behälter zum Sammeln von Gülle sowie Lagerbehälter für die ausgefaulten Substrate können nach den Regeln für Güllebehälter DIN 11622-2 [4] geplant und gebaut werden.

Literatur

- [1] Fachverband Biogas e.V.: Pressemitteilung zur Jahresprognose für Biogas vom 15.11.2006
- [2] Biogas. Bauen für die Landwirtschaft 37(2000) Heft 3 und 40 (2003) Heft 1
- [3] DIN 11622-1: Gärfuttersilos und Güllebehälter. Teil 1: Bemessung, Ausführung, Beschaffenheit; Allgemeine Anforderungen. Ausgabe 2006-01
- [4] Zement-Merkblatt T 3: Sulfide in Abwasseranlagen. Hrsg: Verein Deutscher Zementwerke e.V., Ausgabe Februar 1999
- [5] DIN 11622-2: Gärfuttersilos und Güllebehälter. Teil 2: Bemessung, Ausführung, Beschaffenheit – Gärfuttersilos und Güllebehälter aus Stahlbeton, Stahlbetonfertigteilen, Betonformsteinen und Betonschalungssteinen. Ausgabe 2004-06
- [6] Jacobs, F.: Dauerhaftigkeitseigenschaften von Betonen. beton 40 (1999) Heft 5, S. 276 - 282
- [7] Lohmeyer, G.; Ebeling, K.: Weiße Wannen einfach und sicher. Verlag Bau+Technik, Düsseldorf 2007

Solange der fertigmischte Beton verarbeitet und verdichtet werden kann, wird er als Frischbeton bezeichnet. Er muss so zusammengesetzt sein, dass er mit den in Aussicht genommenen Verfahren für Fördern, Einbringen und Verdichten verarbeitbar und vollständig verdichtbar ist. Maßgebend ist, dass der erhärtete Beton die geforderten Festbetoneigenschaften aufweist.

■ 1 Bedeutung des Wassergehalts

Frischbeton wird hergestellt durch Mischen von Zement, grober und feiner Gesteinskörnung und Wasser. Durch den Einsatz von Zusatzmitteln und Zusatzstoffen ist es heute möglich, die erforderlichen Frischbetoneigenschaften mit einer Vielzahl von Festbetoneigenschaften zu kombinieren.

Zement und Wasser bilden den Zementleim. Nach dessen Erhärtung (Hydratation) entsteht Zementstein. Bei der Hydratation können Zusatzstoffe beteiligt sein. Über den wirksamen Wassergehalt und damit den Wasserzementwert können die Verarbeitbarkeit, aber insbesondere die Festigkeit und Dichtigkeit des Zementsteins und damit die Festbetoneigenschaften maßgeblich beeinflusst werden (Bild 1). Darüber hinaus können die Frisch- und Festbetoneigenschaften durch Zusatzmittelzugabe beeinflusst werden.

Im Normalbeton muss der Zementleim die Gesteinskörner umhüllen und verbliebene Hohlräume ausfüllen. Sein Anteil in der Mischung erhöht sich bei feinkörnigen gegenüber grobkörnigen Gesteinskörnungen sowie bei sehr kantigen oder rauen Kornoberflächen bzw. plattigen oder splittrigen Kornformen.

Tafel 1: Zusammensetzung des Gesamtwassergehalts

Oberflächenfeuchte	Wasseranteil in Zusatzmitteln und -stoffen	Zugabewasser	Kernfeuchte
Gesamtwassergehalt			
wirksamer Wassergehalt			

Der wirksame Wassergehalt setzt sich zusammen aus der an der Gesteinskörnung haftenden Oberflächenfeuchte, dem Wasseranteil in Zusatzmitteln und -stoffen sowie dem Zugabewasser (Tafel 1). Gesteinskörnungen mit porigem Gefüge saugen zusätzlich Wasser auf, die Kernfeuchte. Diese wirkt sich nicht auf die Konsistenz und den Wasserzementwert aus, kann jedoch eine vorteilhafte, innere Nachbehandlung bewirken, wenn die Kernfeuchte dem noch nicht hydratisierten Zement zu einem späteren Zeitpunkt wieder zur Verfügung gestellt wird. Wird die Gesteinsfeuchte poriger Gesteinskörnungen beim Gesamtwassergehalt dagegen nicht berücksichtigt, ist mit einer steiferen Konsistenz des Frischbetons und mit Verbundstörungen beim Festbeton zu rechnen.

■ 2 Anforderungen an das Zugabewasser

Als geeignet gilt Trinkwasser sowie im Allgemeinen in der Natur vorkommendes Wasser, soweit es nicht Bestandteile enthält, die das Erhärten oder andere Eigenschaften des Betons ungünstig beeinflussen oder den Korrosionsschutz der Bewehrung beeinträchtigen. Die Anforderungen an Zugabewasser regelt DIN EN 1008 [1].

Als geeignet gilt auch Restwasser aus Wiederaufbereitungsanlagen der Betonherstellung nach DIN EN 1008. Für die Herstellung von hochfestem Beton und LP-Beton darf Restwasser nicht verwendet werden. Die Anforderungen an Restwasser regelt ebenfalls DIN EN 1008 [1].

■ 3 Der Wasserzementwert

Das Massenverhältnis des wirksamen Wassergehalts zum Zementgehalt, bezogen auf 1 m³ verdichteten Frischbeton, nennt man Wasserzementwert.

$$\text{Wasserzementwert } w/z = \frac{\text{Masse des Wassers } w}{\text{Masse des Zements } z}$$

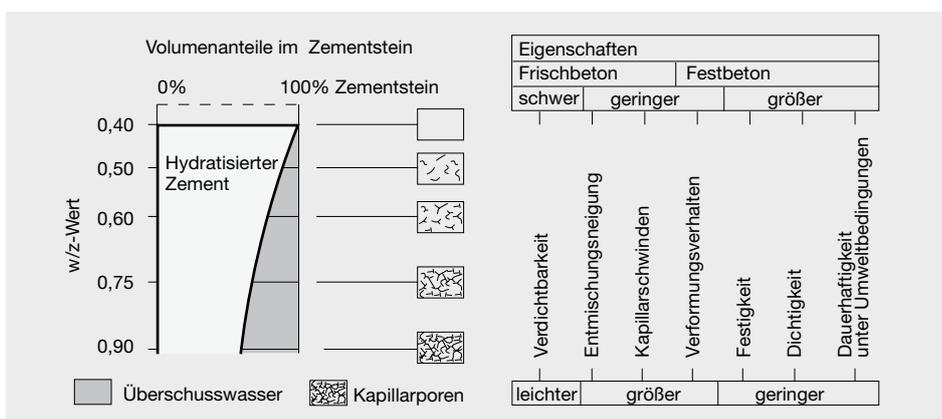


Bild 1: Frisch- und Festbetoneigenschaften in Abhängigkeit vom Wasserzementwert

Beispiel:

165 l = 165 kg Wasser und 300 kg Zement ergeben einen Wasserzementwert von

$$w/z = \frac{165}{300} = 0,55$$

Enthält der Beton bei gleicher Zementmenge 210 l statt 165 l Wasser, steigt der Wasserzementwert.

Beispiel:

210 l = 210 kg Wasser und 300 kg Zement ergeben einen Wasserzementwert von

$$w/z = \frac{210}{300} = 0,70$$

Werden auf den Zementgehalt anrechenbare Zusatzstoffe, z.B. Flugasche, verwendet, wird ein äquivalenter Wasserzementwert $(w/z)_{eq}$ ermittelt (siehe auch Zement-Merkblatt B16 „Hochfester Beton/Hochleistungsbeton“ [2]).

Beispiel:

165 l = 165 kg Wasser, 280 kg Zement und 60 kg anrechenbare Flugasche ($k = 0,4$) ergeben einen äquivalenten Wasserzementwert von

$$(w/z)_{eq} = 165 / (280 + 0,4 \cdot 60) = 0,54$$

Der Zement kann chemisch und physikalisch eine Wassermenge von rund 40 % seiner Masse ($w/z = 0,40$) binden. Weist ein Zementleim einen höheren Wasserzementwert auf, so bezeichnet man das nicht gebundene Wasser als Überschusswasser. Es hinterlässt verästelte, saugfähige (Kapillar-) Poren.

4 Festlegen des Wasserzementwertes

Für die jeweiligen Expositionsklassen des Betons ist der Wasserzementwert zu begrenzen, um eine ausreichende Dichtigkeit und Dauerhaftigkeit des Zementsteingefüges zu erhalten.

Bei der Ermittlung des Wasserzementwertes für die Festlegungen nach Tafel 1 darf kein Einzelwert den Grenzwert um mehr als 0,02 überschreiten.

Tafel 2: Maximale Wasserzementwerte [3, 4]

Expositionsklassen, Betoneigenschaften	w/z-Wert
XC1, XC2	0,75
XC3	0,65
XC4, XF1, XA1	0,60
XD1, XS1, XF2 ¹⁾ , XF3 ¹⁾ , XM1, XM2 ²⁾	0,55
XD2, XS2, XF2, XF3, XF4, XA2	0,50
XD3, XS3, XA3, XM2, XM3	0,45
hoher Wassereindringwiderstand (Bauteildicke bis 40 cm) Unterwasserbeton	0,60
Flüssigkeitsdichter Beton (FD-Beton)	0,50

¹⁾ LP-Beton

²⁾ nur mit Oberflächenbehandlung

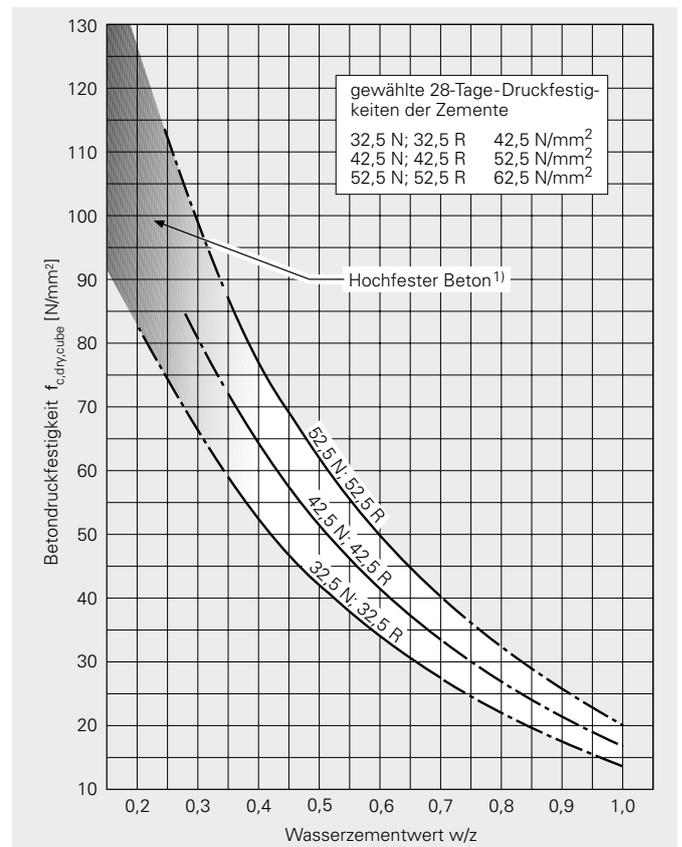
Für die gewünschte Betondruckfestigkeit kann der erforderliche Wasserzementwert über die Zementdruckfestigkeit abgeschätzt werden, siehe Bild 2. Bei Zugabe von Zusatzmitteln und -stoffen können sich deutliche Veränderungen der Abhängigkeiten zwischen Wasserzementwert, Zementdruckfestigkeit und Betondruckfestigkeit ergeben.

5 Konsistenz

Eine wesentliche Frischbetoneigenschaft ist die Konsistenz. Die Konsistenz beschreibt in der Betontechnologie übergeordnet die Verarbeitbarkeit, die Verdichtbarkeit, die Förderbarkeit und die Einbaubarkeit des Betons. Der Frischbeton kann mit verschiedenen Prüfverfahren Konsistenzklassen zugeordnet werden. Nach [3] sind vier verschiedene Konsistenzprüfverfahren möglich mit der Zuordnung des Frischbetons in die folgenden zugehörigen Konsistenzklassen:

- Setzmaßklassen S1 bis S5 nach DIN EN 12350-2 [6]
- Setzzeitklassen V0 bis V4 (Vebé) nach DIN EN 12350-3 [7]
- Verdichtungsklassen C0 bis C4 nach DIN EN 12350-4 [8]
- Ausbreitmaßklassen F1 bis F6 nach DIN EN 12350-5 [9]

In Deutschland sind vorzugsweise das Ausbreitmaß und für steifere Konsistenzen das Verdichtungsmaß zu verwenden (Tafel 3).



¹⁾ Bei höchstem Beton verliert der Einfluss der Zementdruckfestigkeit an Bedeutung.

Erläuterungen zum Diagramm:

$f_{c,dry,cube}$: mittlere 28-Tage-Betondruckfestigkeit von 150 mm-Probewürfeln; Lagerung nach DIN EN 12390-2, Nationaler Anhang (1 Tag in Form, 6 Tage in Wasser 21 Tage an der Luft)

Bild 2: Zusammenhang zwischen Betondruckfestigkeit, Festigkeitsklasse des Zements und Wasserzementwert (in Anlehnung an [5])

Tafel 3: Konsistenz des Frischbetons (Klassen F und C)

Konsistenzklasse	C0	F1 C1	F2 C2	F3 C3	F4	F5	F6
Ausbreitmaß [cm]	-	≤ 34	35 – 41	42 – 48	49 – 55	56 – 62	≥ 63
Verdichtungsmaß c [-]	≥ 1,46	1,45 – 1,26	1,25 – 1,11	1,10 – 1,04	-	-	-
Konsistenzbeschreibung	sehr steif	steif	plastisch	weich	sehr weich	fließfähig	sehr fließfähig
Eigenschaften des Feinmörtels	erdfeucht	erdfeucht und etwas nasser	weich	flüssig	sehr flüssig		
Eigenschaften des Frischbetons beim Schütten	lose	lose/schollig	schollig bis zusammenhängend	schwach fließend	fließend		
Verdichtungsart	kräftig wirkende Rüttler und/oder kräftiges Stampfen bei dünner Schüttlage		Rütteln	Rütteln	„Entlüften“ durch Stochern oder leichtes Rütteln		

Betone der Konsistenzklassen $\geq F4$ sind mit Fließmitteln herzustellen. Betone der Konsistenzklassen F5 und F6 werden als „leichtverdichtbare Betone“ bezeichnet.

6 Bestimmen der Frischbetonkonsistenz

6.1 Ausbreitmaß nach DIN EN 12350-5 (Bild 3)

Über das Ausbreitmaß kann der Frischbeton den Konsistenzklassen F1 – steif, F2 – plastisch, F3 – weich, F4 – sehr weich, F5 – fließfähig oder F6 – sehr fließfähig zugeordnet werden.

Für Ausbreitmaße ≤ 34 cm und > 60 cm ist die Messung des Ausbreitmaßes mit dem Verfahren nach DIN EN 12350-5 ungeeignet.

Durch folgende Einflüsse kann das Prüfergebnis verfälscht werden

- Nachschwingen (sog. „Springen“) des Ausbreittisches meist durch unrichtige Lagerung oder ungeeigneten Untergrund
- Erschütterungen durch hartes Anschlagen an der oberen Hebebegrenzung (manueller Prüffehler)
- Verringerung der Fallgeschwindigkeit der Tischplatte durch zu langsames Öffnen der Finger.

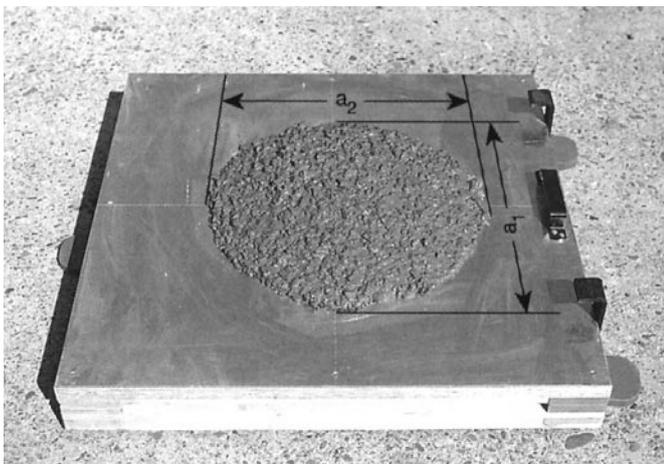


Bild 3: Bestimmen des Ausbreitmaßes

Infolge der beiden erstgenannten Prüfeinflüsse werden zu große Ausbreitmaße gemessen. Dies sollte stets beachtet werden, insbesondere dann, wenn eine obere Grenze des Ausbreitmaßes als „hartes“ Abnahmekriterium vereinbart wurde. Im letzten Fall wird ein zu kleines Ausbreitmaß gemessen.

Durchführung:

- Ausbreittisch auf ebene, horizontale, feste und rückprallfreie Oberfläche stellen (Sandbett)
- Funktionsfähigkeit überprüfen
- Gereinigte Tischplatte und Form matt anfeuchten
- Form mittig auf Tischplatte stellen und ausrichten
- Form mit Schaufel in zwei gleichen Betonschichten füllen
- Jede Schicht durch 10 leichte Stöße mit Stößel ausgleichen
- Überstand ohne Verdichtungseinwirkung bündig abstreichen
- Freie Tischplatte von Beton säubern
- Form an den Handgriffen langsam vertikal anheben
- Aufstellrahmen über die Trittleche fixieren
- Tischplatte am Handgriff 15 mal ruckfrei bis zum Anschlag anheben und frei fallen lassen. Jeder Einzelschritt ≥ 2 s und ≤ 5 s
- Durchmesser d_1 und d_2 des Betonkuchens parallel zu den Tischkanten auf 1 cm gerundet messen
- Ausbreitmaß ermitteln: $(d_1 + d_2) : 2$ und auf 1 cm gerundet angeben

Beispiel:

gemessen: $d_1 = 46$ cm und $d_2 = 48$ cm

Mittelwert: $(46 \text{ cm} + 48 \text{ cm}) : 2 = 47$ cm

Zuordnung nach Tafel 2: Konsistenzklasse F3 – weich

6.2 Verdichtungsmaß nach DIN EN 12350-4 (Bild 4)

Über das Verdichtungsmaß c kann der Frischbeton der Konsistenzklasse C0 – sehr steif, C1 – steif, C2 – plastisch oder C3 – weich zugeordnet werden. Verdichtungsmaße $< 1,04$ oder $> 1,45$ stellen keine gültigen Messungen dar.

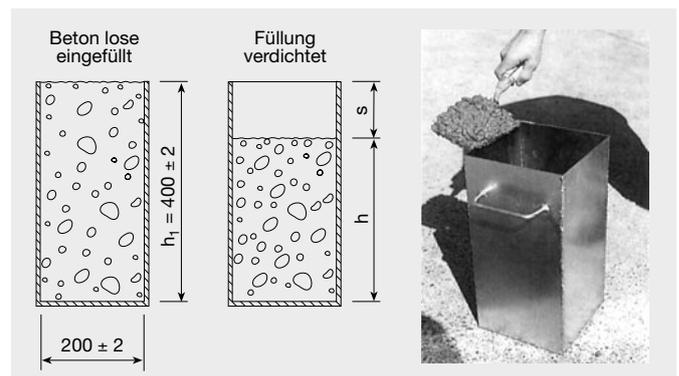


Bild 4: Bestimmen des Verdichtungsmaßes

Durchführung:

- Innenflächen des sauberen Behälters matt anfeuchten
- Frischbeton mit einer Kelle nacheinander reihum über alle 4 Oberkanten des Behälters einfüllen, ohne zu verdichten,
- Überstehenden Beton mit Abstreichlineal in Sägebewegung ohne Verdichtungswirkung über die Oberkanten entfernen
- Beton auf Rütteltisch oder mit Innenrüttler verdichten, bis sein Volumen nicht mehr abnimmt
- Gegebenenfalls unebene Oberfläche durch leichtes Stampfen ebenen
- An jeder Seitenmitte des Behälters Abstand zwischen Betonoberfläche und Oberkante Behälter messen
- Aus 4 Messungen den Mittelwert s in mm bestimmen
- Verdichtungsmaß c ermitteln und das Ergebnis auf 2 Dezimalstellen angeben.

Beispiel:

Abstand [mm] zwischen Betonoberfläche und Oberkante Behälter messen:

51
50 □ 54
53

Mittelwert: $s = (51 + 50 + 53 + 54) \text{ mm} : 4 = 52 \text{ mm}$

Höhe verdichteter Beton: $h_1 - s = 400 \text{ mm} - 52 \text{ mm} = 348 \text{ mm}$

Verdichtungsmaß: $c = \frac{400 \text{ mm}}{348 \text{ mm}} = 1,15$

Zuordnung nach Tafel 2: Konsistenzklasse C2 – plastisch

■ 7 Bestimmung der Frischbetonrohddichte nach DIN EN 12350-6 [10]

Betone werden nach ihrer Rohddichte in Leichtbeton, (Normal-) Beton und Schwerbeton unterschieden. Die Frischbetonrohddichte gibt bei bekannter Sollrohddichte einen Hinweis auf die Vollständigkeit der Verdichtung. Außerdem kann auf die Gleichmäßigkeit der Betonzusammensetzung geschlossen werden.

Durchführung:

Für die Messung ist ein wasserdichter und ausreichend biege-steifer Behälter aus Metall mit glatten Innenflächen und glattgeschliffenem Rand zu verwenden: entweder der 8-l-Topf des Druckmessgeräts (LP-Topf, siehe Abschnitt 8), oder auch eine Form beim Herstellen von Probekörpern, z.B. Würfel (siehe Abschnitt 9).

Die Verwendung eines Aufsatzes zum leichteren Einfüllen ist freigestellt. Es kann mit Innenrüttler, Rütteltisch, Stab oder Stampfer verdichtet werden.

- Frischbetonrohddichte D ermitteln und das Ergebnis auf $0,01 \text{ kg/dm}^3$ angeben:

D Frischbetonrohddichte [kg/dm^3]
 m_1 Masse des Behälters [kg]
 m_2 Masse des Behälters mit Masse Betonprobe [kg]
 V Volumen des Behälters [dm^3]

Beispiel:

Masse Behälter leer (m_1)	4,72 kg
Masse Behälter mit Betonprobe (m_2)	23,52 kg
Volumen Behälter (V)	8,00 dm^3

Frischbetonrohddichte

$D = (23,52 \text{ kg} - 4,72 \text{ kg}) : 8,00 \text{ dm}^3 = 2,35 \text{ kg/dm}^3$

■ 8 Bestimmung des Luftgehalts nach DIN EN 12350-7 [11]

Auch gut zusammengesetzter Beton enthält nach sorgfältiger Verdichtung noch Verdichtungs-poren. Bei einem Beton mit 32 mm Größtkorn sind dies etwa 1 Vol.-% bis 2 Vol.-%. Mit kleiner werdendem Größtkorn nimmt das Volumen der Verdichtungs-poren im Allgemeinen zu. Der Luftgehalt gibt Hinweise auf die Verdichtbarkeit des Frischbetons und die daraus zu erwartenden Festbetoneigenschaften (Dichtigkeit, Dauerhaftigkeit).

Betone mit Anforderungen an einen hohen Widerstand gegen Frost- bzw. gegen Frost- und Taumittelangriff (XF) kann in den Expositions-klassen XF2 und XF3 bzw. muss in der Expositions-klasse XF4 mit Luftporenbildner (LP) hergestellt werden. Die durch den Luftporenbildner erzeugten künstlichen Luftporen sind sehr klein und kugelig. Als Nebeneffekt wird das Zusammenhaltevermögen und die Verarbeitbarkeit des Frischbetons verbessert, verbunden mit einem Festigkeitsabfall, der sich betontechnologisch ausgleichen lässt. Der Luftgehalt (Verdichtungs-poren, Luftporen) lässt sich mit dem Druckausgleichsverfahren bestimmen. Gleichzeitig wird meist auch die Frischbetonrohddichte ermittelt, siehe Abschnitt 7.

Durchführung:

- Leeren, sauberen Topf des Druckmessgeräts (Bild 5, siehe 1) matt anfeuchten und wiegen
- Beton in 3 etwa gleich hohen Schichten einfüllen
- Jede Schicht vollständig verdichten mit Innenrüttler, Rütteltisch, Stab oder Stampfer
- Letzte Schicht möglichst so bemessen, dass kein überschüssiger Beton entfernt werden muss. Kleine Mengen dürfen zugefügt und verdichtet werden

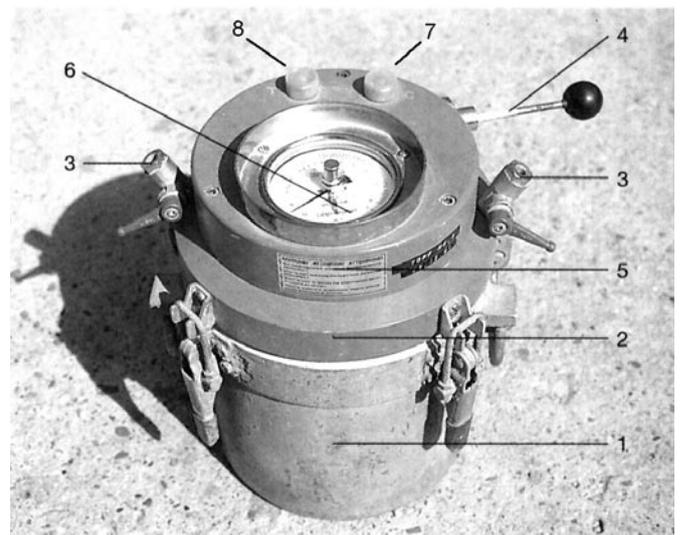


Bild 5: Druckausgleichsverfahren (LP-Topf)

- Gefäßrand sorgfältig säubern
- Druckmesstopf mit Betonprobe wiegen
- Oberteil des Prüfgerätes (2) aufsetzen und befestigen
- Mit Gummispritze/Spritzflasche Wasser durch eines der beiden Ventile (3) einfüllen, bis es beim anderen Ventil luftblasenfrei wieder austritt
- Mit Schlägel leicht gegen das Gerät klopfen, noch enthaltene Luft austreiben, beide Ventile (3) schließen
- Pumpe (4) lösen, Luft in Luftkammer (5) pumpen bis Zeiger des Druckmessers (6) hinter der Eichmarke steht
- Feinregulierung (7) vornehmen, bis sich Zeiger mit der Eichmarkierung deckt
- Druckknopfventil (8) betätigen und gleichzeitig an die Behälterwand klopfen, bis Zeiger des Druckmessers (6) zur Ruhe kommt
- Luftgehalt des Frischbetons am Druckmesser (6) mit folgender Genauigkeit ablesen:

0 bis 3 Vol.-%	auf 0,1 %
3 bis 6 Vol.-%	auf 0,2 %
6 bis 10 Vol.-%	auf 0,5 %

■ 9 Herstellung und Lagerung von Probekörpern für die Festigkeitsprüfung nach DIN EN 12390-2 [12]

Die Druckfestigkeit von Festbeton wird bevorzugt an Würfeln mit 150 mm Kantenlänge (alternativ Zylinder, 150 mm, Länge 300 mm) geprüft. Mit der Herstellung der Probekörper ist auch die Frischbetonrohddichte festzustellen, siehe Abschnitt 7. Die Verwendung eines Aufsatzrahmens ist freigestellt aber unbedingt empfehlenswert.

Durchführung:

- Saubere Form wiegen
- Vor dem Füllen der Form Betonprobe mischen
- Frischbeton in mindestens 2 Schichten einbringen, wobei keine Schicht dicker als 10 cm sein sollte
- Jede Schicht vollständig verdichten mit Innenrüttler, Rütteltisch, Stab oder Stampfer
- Bei Verwendung eines Aufsatzrahmens die Betonmenge so bemessen, dass nach Verdichten eine Betonschicht von etwa 10 % bis 20 % der Probekörperhöhe im Aufsatzrahmen verbleibt
- Überstehenden Beton sorgfältig am oberen Rand der Form bündig abstreichen
- Form mit Betonprobe wiegen
- Probekörper deutlich und dauerhaft ohne Beschädigung kennzeichnen
- Aufzeichnungen, die eine Identifizierung des Probekörpers von der Probenahme bis zur Prüfung sicherstellen, sind aufzubewahren
- Probekörper für (24 ± 2) h in Form bei Lufttemperatur von 15 °C bis 22 °C im geschlossenen Raum lagern; anzustreben sind $(20 \pm 2)\text{ °C}$
- Vor Zugluft und Austrocknen schützen
- Während des Erstarrens vor Erschütterungen bewahren, z.B. beim Transport
- Probekörper entformen, 6 Tage auf Rost im Wasserbad mit Leitungswasser bei $(20 \pm 2)\text{ °C}$ lagern
- Im Alter von 7 Tagen bis zur Prüfung im geschlossenen Raum, vor direkter Zugluft geschützt – bei 15 °C bis 22 °C – auf Lattenrost lagern; anzustreben sind $(20 \pm 2)\text{ °C}$ bei einer relativen Luftfeuchte von $(65 \pm 5)\%$

■ 10 Temperatur

Die Frischbetontemperatur darf im Allgemeinen 30 °C nicht überschreiten, sonst muss durch besondere Maßnahmen sichergestellt werden, dass keine nachteiligen Folgen zu erwarten sind. Für das Betonieren bei niedrigen Lufttemperaturen sind Mindesttemperaturen des Betons beim Betonieren einzuhalten, siehe Tafel 3. Beton darf in der Regel erst dann durchfrieren, wenn seine Temperatur für mindestens 3 Tage 10 °C nicht unterschritten hat oder die Betondruckfestigkeit $f_{cm} \geq 5\text{ N/mm}^2$ ist (Gefrierbeständigkeit von jungem Beton).

Tafel 4: Anforderungen an die Betontemperatur für das Betonieren bei niedrigen Temperaturen

Lufttemperatur	Mindesttemperatur des Frischbetons beim Einbringen
+5 °C bis -3 °C	+5 °C allgemein
	+10 °C bei Zementgehalt < 240 kg/m ³ oder LH- bzw. VLH-Zementen
unter -3 °C	+10 °C und Halten der Temperatur für mindestens 3 Tage

■ 11 Literatur

- [1] DIN EN 1008: Zugabewasser für Beton – Festlegung für die Probenahme, Prüfung und Beurteilung der Eignung von Wasser, einschließlich bei der Betonherstellung anfallendem Wasser, als Zugabewasser für Beton
- [2] Hochfester Beton/Hochleistungsbeton. Zement-Merkblatt B.16 (10.2002) Autor: Th. Richter, Hrsg: Bundesverband der Deutschen Zementindustrie
- [3] DIN EN 206-1: Beton – Festlegungen, Eigenschaften, Herstellung und Konformität; Deutsche Fassung EN 206-1:2000
- [4] DIN 1045: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton, Teil 2: Beton – Festlegung, Eigenschaften Herstellung und Konformität; Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1
- [5] Zement-Taschenbuch, 50. Ausgabe, Verein Deutscher Zementwerke e.V. (Hrsg.), Düsseldorf 2002
- [6] DIN EN 12350: Prüfung von Frischbeton, Teil 2: Setzmaß; Deutsche Fassung EN 12350-2:1999
- [7] DIN EN 12350: Prüfung von Frischbeton, Teil 3: Vebé-Prüfung; Deutsche Fassung EN 12350-3:1999
- [8] DIN EN 12350: Prüfung von Frischbeton, Teil 4: Verdichtungsmaß; Deutsche Fassung EN 12350-4:1999
- [9] DIN EN 12350: Prüfung von Frischbeton, Teil 5: Ausbreitmaß; Deutsche Fassung EN 12350-5:1999
- [10] DIN EN 12350: Prüfung von Frischbeton, Teil 6: Frischbetonrohddichte; Deutsche Fassung EN 12350-6:1999
- [11] DIN EN 12350: Prüfung von Frischbeton, Teil 7: Luftgehalte – Druckverfahren; Deutsche Fassung EN 12350-7:1999
- [12] DIN EN 12390: Prüfung von Festbeton, Teil 2: Herstellung und Lagerung von Probekörpern für die Festigkeitsprüfung nach DIN EN 12390-2; Deutsche Fassung EN 12390-2:2000

Verfasser: Dipl.-Ing. Michael J. Dickamp, Dr.-Ing. Thomas Richter

BetonMarketing Deutschland

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

BetonMarketing Nord

BetonMarketing Nord GmbH
Hannoversche Straße 21
31319 Sehnde-Höver
Telefon 05132 8796-0
Telefax 05132 8796-15
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