

61621

# Erläuterungen zu den Richtlinien für die Herstellung von Beton für Gärfuttersilos\*)

Von Justus Bonzel, Düsseldorf

## Vorbemerkung

Gärfuttersilos sind während des Gärprozesses sowie beim Füllen und Leeren besonderen Beanspruchungen unterworfen. Die nachstehenden Richtlinien geben Hinweise für die Zusammensetzung, den Einbau und die Nachbehandlung von Beton für Gärfuttersilos. Sie wurden von einem Arbeitskreis des Betontechnischen Ausschusses des Vereins Deutscher Zementwerke unter Berücksichtigung der vorliegenden Erfahrungen und Erkenntnisse aufgestellt. Mitgearbeitet haben die Herren Dr.-Ing. J. Bonzel, Dr. W. Gebert, Dr.-Ing. W. Koelzer, Dipl.-Ing. C. Meyer-Ottens, Dr. K. Schmidt, Dipl.-Ing. W. Striebel, Dr. R. Wagner. Es wird gebeten, die mit diesen Richtlinien gesammelten Erfahrungen, gegebenenfalls auch Ergänzungswünsche, dem Forschungsinstitut der Zementindustrie, Düsseldorf, Tannenstraße 2, mitzuteilen.

Dr.-Ing. A. Meyer

Leiter des Arbeitskreises „Gärfuttersilos“

## 1. Allgemeines

Die häufige Verwendung des Baustoffes Beton für Gärfuttersilos der Landwirtschaft ließ es angebracht erscheinen, „Richtlinien für die Herstellung von Beton für Gärfuttersilos“ aufzustellen, damit bei Neubauten bisherige Fehler vermieden und neuere Erfahrungen berücksichtigt werden können. Von Gärfuttersilos, in denen pflanzliche Stoffe konserviert werden, wird insbesondere gefordert (vgl. DIN 11621, Gärfuttersilos – Hauptmaße, Richtlinien für die Ausführung), daß die Silos frostfrei gegründet und standsicher hergestellt werden, daß die raumumschließenden Bauteile wasserdicht und die Innenflächen ausreichend widerstandsfähig sind gegen entstehende Gär-säuren, gegen möglicherweise auftretende Temperaturerhöhungen und gegen mechanische Beanspruchungen beim Füllen und Entleeren. Monolithische Stahlbetonsilos, verputzte Silos aus Betonformsteinen oder aus Schalungssteinen, die mit Beton verfüllt worden sind, Silos aus Stahlbetonfertigteilen und davon abweichende Sonderausführungen aus Beton können diese Forderungen erfüllen, wenn die Hinweise der Richtlinien beachtet werden. Insbesondere müssen beim Herstellen des Betons die technologischen Erkenntnisse, die zu einem dichten Beton

\*) Nach einem Vortrag vor dem „Unterausschuß für Silobau“ der Deutschen Landwirtschaftsgesellschaft am 7. 11. 1961 in Freising.

führen, berücksichtigt und bei Silos aus Fertigteilen auch die Fugen dicht ausgebildet sowie alle Arbeiten sorgfältig ausgeführt werden. Beton, der praktisch wasserdicht und ausreichend widerstandsfähig gegen Gärsäuren ist, widersteht auch den mechanischen Angriffen beim Füllen und Entleeren der Silos, so daß es sich erübrigt, diese Anforderungen gesondert zu behandeln. Zur Erläuterung der nachstehenden Richtlinien ist im einzelnen noch folgendes zu bemerken.

## 2. Wasserdichter Beton

Für Gärfuttersilos wird ein wasserdichter und möglichst gasdichter Beton gefordert, damit die Gärsäuren nur wenig in den Beton eindringen, die im Silo entstehenden Gase nicht entweichen und der Sauerstoff der Außenluft nicht mit der Silofüllung in Berührung kommt. Wie viele Versuche [1] bestätigen, entsteht ein für praktische Verhältnisse undurchlässiger Beton, wenn die Mischung richtig zusammengesetzt und der eingebrachte Beton vollständig verdichtet und sorgfältig nachbehandelt wird. Da die Eigenschaften des erhärteten Betons, der vorwiegend aus Zement, Zuschlagstoffen und Wasser hergestellt wird, in der Regel unter sonst gleichen Verhältnissen mit zunehmender Menge an Anmachwasser ungünstig beeinflußt werden, ist dem Frischbeton möglichst wenig Anmachwasser zuzugeben. Maßgebend ist dabei jedoch nicht die absolute Gesamtwassermenge (Eigenfeuchtigkeit der Zuschlagstoffe und zugegebenes Wasser), sondern die auf das Zementgewicht bezogene Gesamtwassermenge einer Mischung, die man als Wasserzementwert (W/Z-Wert) bezeichnet.

Portlandzement benötigt zu seiner vollständigen Hydratation etwa 40 % Wasser, bezogen auf das Zementgewicht (W/Z-Wert = 0,40). Bei Verhindern frühzeitigen Austrocknens wird davon im Verlaufe längerer Zeit etwas mehr als die Hälfte chemisch gebunden; der Rest verbleibt in den Gelporen des Zementsteins und kann nur durch Erhitzen verdampft werden. Da diese Gelporen sehr klein und in den Hydratationsprodukten des Zementes eingelagert sind und unter normalen Verhältnissen ihr Wasser nicht abgeben, beeinflussen sie die Durchlässigkeit des Betons nicht. Betone mit einem W/Z-Wert von 0,40 und üblichen Zementgehalten (z. B. 300 bis 350 kg/m<sup>3</sup>) sind jedoch sehr steif und auf der Baustelle im allgemeinen nicht zu verarbeiten. Der Wasserzusatz muß daher in der Regel erhöht werden. Das lediglich zur Verbesserung der Verarbeitbarkeit zugegebene Wasser trocknet später aus und hinterläßt dabei Kapillarporen, die jedoch bis zum W/Z-Wert von etwa 0,60 nach längerer Erhärtungsdauer nicht zusammenhängend sind. Bei Wasserzementwerten über 0,65 bis 0,70 sind die Kapillarporen im allgemeinen auch nach längerer Erhärtungszeit miteinander verbunden; der Zementstein ist dann wasserdurchlässig [2]. Aus diesem Grunde ist für die Neubearbeitung der Stahlbetonbestimmungen (DIN 1045) vorgeschlagen worden, den W/Z-Wert für wasserundurchlässigen Beton dünnwandiger Bauteile auf 0,55 zu begrenzen [3]. Auch für den Silobeton sollte der W/Z-Wert möglichst klein sein, er darf 0,60 nicht überschreiten. Läßt sich ein Beton z. B. mit einem

W/Z-Wert von etwa 0,50 mit den vorhandenen Verdichtungsmöglichkeiten nicht voll verdichten, so ist es unter Berücksichtigung der auf solchen Baustellen meist vorliegenden Verhältnisse zweckmäßig, nicht den W/Z-Wert zu erhöhen, sondern die Verarbeitbarkeit des Betons durch Erhöhen des Wasser und des Zementanteils und Gleichhalten des W/Z-Wertes zu verbessern.

Außer dem Wasserzementwert beeinflusst auch die übrige Zusammensetzung des Betons seine Dichtigkeit. Um den Anteil des Wassers, das nur die Verarbeitbarkeit des Betons verbessern soll, gering zu halten und den Zementgehalt nicht übermäßig zu erhöhen, sollte die Kornzusammensetzung der Zuschlagstoffe nicht zu sandreich sein, sondern im besonders guten Bereich des Bildes 2 der DIN 1045 liegen. Dichter Beton erfordert einen bestimmten Anteil an Feinststoffen (Zement und mehlfeine Stoffe bis 0,2 mm). Er soll [4] bei einem Größtkorn des Zuschlages von 30 mm mindestens 350 kg, bei einem Größtkorn von 15 mm mindestens 425 kg je m<sup>3</sup> fertigen Betons betragen. Betonzusätze, die amtlich zugelassen sind und nachgewiesen die Dichtigkeit des Betons verbessern, wie z. B. einige anmachwassereinsparende Zusätze (Betonverflüssiger), und nicht gleichzeitig wichtige Betoneigenschaften verschlechtern, können zugegeben werden.

Der Beton ist vollständig zu verdichten. Da der Zement in der Regel erst im Verlaufe längerer Zeit vollständig hydratisiert und der Zementstein (erhärtetes Zement-Wassergemisch) mit zunehmendem Hydratationsgrad immer dichter wird, ist der Beton möglichst lange vor dem Austrocknen zu schützen.

Für die Herstellung eines gasdichten Betons gelten im wesentlichen die gleichen Grundsätze wie für den wasserdichten Beton, jedoch wird hier feuchter Beton dem ausgetrockneten immer überlegen sein. Nach Versuchen von Walz [1] ist ein nicht scharf ausgetrockneter Beton gegen Druckluft von 5 atü aber schon praktisch undurchlässig, wenn sein Wasserzementwert 0,65 nicht überschreitet, sein Zementgehalt wenigstens 300 kg (besser 350 kg) je m<sup>3</sup> fertigen Betons beträgt und der Beton vollständig verdichtet und sorgfältig nachbehandelt worden ist.

### **3. Gegen Gärensäuren widerstandsfähiger Beton**

Beton wird grundsätzlich von Säuren je nach Art und Konzentration mehr oder weniger angegriffen. Die Säuren versuchen, den Kalk aus dem Beton zu lösen, wobei sich häufig lösliche oder wenig feste Salze bilden. Der Säureangriff erstreckt sich zunächst auf das im Beton vorhandene Kalkhydrat, im Verlaufe längerer Zeit aber auch auf den in den Kalksilikathydraten gebundenen Kalk. Auch die im Silo entstehenden Gärensäuren, vorwiegend Milch- und Essigsäure, greifen den Beton auf diese Weise an.

Über die bei Säureangriffen auf Beton günstigste stoffliche Auswahl gehen die Meinungen auseinander. Teilweise glaubt man, daß der Kalkgehalt der Ausgangsstoffe möglichst gering sein muß, und empfiehlt Hochofen- oder Puzzolanzemente und säurebeständige, d. h. also vorwiegend kalkfreie, Zuschlag-

stoffe, wie z. B. in Amerika [5]. Andere halten bei Säurean-  
griffen gerade die Verwendung kalkreicher Zemente und die  
Zugabe kalkhaltiger Zuschläge für richtig, damit dem Säure-  
angriff ein Überangebot an Kalk zur Verfügung steht. Für Gär-  
futtersilos werden schließlich auch noch kalkarme Zemente und  
gleichzeitig die Zugabe von Kalksteinmehl empfohlen. Nach der  
Meinung des Verfassers ist bei Säureangriffen die Wahl nicht  
säurebeständiger Zuschlagstoffe, wie z. B. Kalkstein, nur dann  
angebracht, wenn dadurch entweder eine Neutralisierung des  
angreifenden Mediums erreicht werden kann oder wenn sich  
nach dem Angriff eine schwer lösliche Schicht bildet, die nicht  
durch mechanische Beanspruchungen abgetragen wird und so  
den Beton vor weiteren Angriffen schützt. Da bei Gärfuttersilos  
in der Regel beides nicht zutrifft, dürften hier säurebeständige  
Zuschlagstoffe zu empfehlen sein. Im allgemeinen wird man  
daher Kiessande verwenden. Mögliche Unterschiede im Verhal-  
ten der Zemente werden sicherlich klein und, da der Zement  
nur etwa 10 bis 12% des Betonstoffraums ausmacht, im Beton  
wenig bedeutend sein, insbesondere im Vergleich mit dem Ein-  
fluß der Dichtigkeit des Betons.

Bisher sind keine Betonzusätze bekannt geworden, die unmit-  
telbar die Widerstandsfähigkeit des Betons gegen Gärsäure  
wesentlich verbessern. Ausgenommen sind Zusätze, die dies  
durch das Verbessern der Dichtigkeit des Betons tun (vgl. Ab-  
schnitt 2).

Die Widerstandsfähigkeit eines Betons gegen einen Säurean-  
griff hängt sehr stark von seinen physikalischen Eigenschaften  
ab. Damit die Angriffsfläche, die der Beton bietet, möglichst  
klein wird, sollte für die Siloinnenfläche dichte und glatte  
Schalung verwendet und ein so dichter und wenig saugfähiger  
Beton hergestellt werden, daß die angreifende Flüssigkeit kaum  
in den Beton eindringt. Der Beton sollte entsprechend den  
Überlegungen zu Abschnitt 2 zusammengesetzt, vollständig ver-  
dichtet und ausreichend lange nachbehandelt werden (vgl. Ab-  
schnitt 3.4 der Richtlinien). Bei chemischen Angriffen ist es be-  
sonders wichtig, daß der Beton erst dann mit dem angreifenden  
Stoff, wie z. B. der Gärsäure, in Berührung kommt, wenn der  
Zement einen hohen Hydratationsgrad, d. h. auch der Zement-  
stein große Dichtigkeit erreicht hat (vgl. Abschnitt 2). Bei Beton,  
der vorher nicht austrocknet, dürften dazu in der Regel in Ab-  
hängigkeit vom Zement 3 bis 6 Monate ausreichen.

Betonsilos, die unter Beachten dieser Hinweise hergestellt und  
genutzt werden, widerstehen den Angriffen der Gärsäuren nach  
bisherigen Erfahrungen ohne weiteren Schutz ausreichend. Im  
Verlaufe vieler Jahre wird die Zementsteinhaut der Innenflä-  
chen bei ständiger Benutzung der Silos nur auf eine Tiefe  
von wenigen mm angegriffen. Für dieses Verhalten gibt es in  
verschiedenen Gegenden Deutschlands, z. B. im Raum von  
Krefeld, Beckum und Hannover, Beispiele von Betonstabsilos,  
Betonplattensilos und monolithischen Stahlbetonsilos, die teil-  
weise 25 bis 30 Jahre alt sind und nur zu Anfang ein- oder  
mehrmals einen bituminösen Anstrich erhielten. Die Betonstäbe  
und die Betonplatten wurden in Betonsteinbetrieben hergestellt,  
durch Rütteln oder Stampfen verdichtet und ergaben Silos mit  
vorwiegend 5 bis 6 cm dicken Wänden. Obwohl der Beton da-

mals meist nicht so gut und dicht wie heute hergestellt wurde und die Silos meist jährlich zwei Silagen und davon eine Rübenblattsilage im Jahr erhielten, sind die Innenflächen der Betonsilos in all den Jahren nur wenig angegriffen worden und die Silos noch voll gebrauchsfähig. Bei amerikanischen Versuchen [5] wurden Daubensilos (Plattensilos) aus gutem Beton während 11 Jahren so wenig angegriffen, daß die Betoneigenschaften (Biegezugfestigkeit, Wasseraufnahme) durchweg nicht schlechter waren als die der gesondert gelagerten Vergleichsdauben und auch diese Silos noch voll gebrauchsfähig blieben. Die Innenflächen der Daubensilos aus gutem Beton waren während der 11 Jahre höchstens bis zu 1,5 mm Tiefe angegriffen.

Leider gibt es auch eine ganze Reihe von Betonsilos, die nach mehrjähriger Benutzung stärkere Schäden aufweisen. Mängel bei der Herstellung oder zu frühe Benutzung bei gleichzeitig ungenügenden Anstrichen dürften die wesentlichsten Ursachen dieser Schäden sein.

#### **4. Anstriche**

Beton, der nach den Hinweisen der Abschnitte 2 und 3 hergestellt wird und vor Inbetriebnahme des Silos genügend lange erhärten kann, benötigt gegen die Angriffe im Gärfuttersilo nach bisherigen Erfahrungen keinen Schutzanstrich. Da aber junger Beton den im Silo entstehenden Gärsäuren noch nicht ausreichend widerstehen kann, sollten Gärfuttersilos aus Beton im allgemeinen vor Inbetriebnahme einen ersten Schutzanstrich erhalten. Ein ständiger Schutzanstrich bzw. seine regelmäßige Erneuerung ist notwendig, wenn durch Mängel der Zusammensetzung, Herstellung und Nachbehandlung nicht ein dichter und gegen Gärsäure widerstandsfähiger Beton entstand. Da die Erneuerung der Anstriche viele Schwierigkeiten mit sich bringt und bei häufiger Wiederholung die Kosten erheblich erhöht, sind für Silos, die ständig einen Anstrich benötigen, nicht zu teure, dauerhafte Anstriche zweckmäßig. Anstriche mit kürzerer Lebensdauer dürften nur für Silos geeignet sein, die lediglich einen ersten Anstrich benötigen.

An Anstriche für Gärfuttersilos sind bestimmte Forderungen zu stellen. Aus wirtschaftlichen und technischen Gründen sollten sie möglichst schon auf feuchtem Beton aufgetragen werden können. Der Anstrich muß genügend lange verarbeitet werden können, nach dem Aufbringen gleichmäßig, dicht und porenfrei sein und stets gut haften. Die Anstriche müssen auch bei erhöhter Temperatur beständig sein gegen alkalische Einwirkungen aus dem Beton, gegen die entstehenden Gärsäuren und gegen im Silo vorhandene Bakterien. Sie dürfen keine für das Vieh schädlichen Bestandteile enthalten, die in das Futter gelangen können. Erwünscht sind auch Anstriche, bei deren Erhärtung keine gefährlichen Dämpfe frei werden.

Bereits im Jahre 1939 wurden vom Reichskuratorium für Technik in der Landwirtschaft „Vorläufige Lieferungs- und Prüfbedingungen für säurefeste Schutzanstrichmittel zu Gärfutterbehältern“ herausgegeben, die unter Mitarbeit von Vertretern der Bitumenindustrie, der Vereinigung der Hersteller chemischer

Bautenschutzmittel und des Staatlichen MPA in Berlin-Dahlem aufgestellt wurden. Nach diesen Richtlinien durften diese Mittel nur unter einem Namen von solchen Werken hergestellt werden, die Art und Zusammensetzung angeben und dauernd ein gleichmäßiges, gutes Mittel liefern konnten. Die Mittel mußten gut verarbeitbar sein und waren grundsätzlich mit einem Voranstrich und zwei Deckanstrichen auf sauberem und trockenem Untergrund aufzutragen. Die Anstriche mußten dicht und beständig gegen Gärssäuren sein. Nach Verdunsten der Lösungsmittel durfte die zurückbleibende Schicht nicht abblättern, nicht spröde oder klebrig sein und keine gesundheitsschädigenden Bestandteile an das Futter abgeben. Zugelassen waren vornehmlich Mittel auf Bitumenbasis und einige auf Chlorkautschukbasis. Während man von den Chlorkautschukanstrichen eine mehrjährige Schutzwirkung erwartete, mußten die bitumenhaltigen Anstriche nach der damaligen Auffassung vor jeder Füllung erneuert werden [6].

Inzwischen ist die Entwicklung auf dem Gebiet der Siloanstriche fortgeschritten. Auch nach heutiger Auffassung erhält man dichte und porenfreie Oberflächen, wenn geeignete Massen aufgespachtelt oder als Anstrich wenigstens dreimal aufgetragen werden. Noch immer werden die verhältnismäßig billigen Lösungsmittelanstriche auf Bitumenbasis angeboten, die bei dreimaligem Auftrag und bei üblicher Beanspruchung im Silo in der Regel nach einer Silage erneuert werden müssen [7]. Seit einiger Zeit gibt es auch Bitumenanstriche mit Füllstoffen, die, dreimal aufgetragen, dickere und elastischere Schutzfilme ergeben und nach bisherigen Erfahrungen [7] nach 4 Silagen ohne sichtbaren Schaden waren. Von einigen Stellen wird allerdings die Ansicht vertreten, daß Bitumen ein Nährboden für die im Gärfuttersilo vorhandenen Bakterien ist, eine zunächst erkennbare Zerstörung des Betons unter der Bitumendeckschicht zuläßt und auch aus diesem Grunde kein dauerhafter Anstrich für Gärfuttersilos sein kann.

Bei der Suche nach geeigneten Siloanstrichen werden in jüngerer Zeit zunehmend auch die teureren Anstriche auf Kunstharzbasis (z. B. Chlorkautschuk, Polyester, Epoxy, Polyurethane) in die Betrachtungen einbezogen. Auch sie sind in der Regel nur auf sauberem und lufttrockenem Untergrund auftragbar, nicht auf vorher mit Bitumenanstrichen versehenen Flächen. Nach Angaben der Hersteller sollen jedoch einige Anstriche auch auf matfeuchtem Beton aufgetragen werden können und gute Haftung ergeben. Kunstharzanstriche sind als lösungsmittelhaltige oder auch als lösungsmittelfreie Anstriche auf dem Markt. Beim Aushärten der erstgenannten Gruppe entstehen durch das Verdunsten des Lösungsmittels meist entzündbare und gesundheitsschädliche Dämpfe. Lösungsmittelfreie Anstriche haben in der Regel kürzere und in erhöhtem Maße von der Temperatur abhängige Verarbeitungszeiten. Bei Verwendung von Kunststoffanstrichen ist besonders darauf zu achten, daß die Anstriche gegen alkalische Wirkungen aus dem Beton beständig sind, beim Erhärten nicht zu sehr schrumpfen, unter dem Einfluß von Feuchtigkeit nicht zu sehr quellen und im erhärteten Zustand nicht zu spröde sind. Von Chlorkautschukanstrichen weiß man, daß sie bei genügend dickem Auftrag

länger halten als Anstriche auf Bitumenbasis. Nach Erfahrungen aus jüngster Zeit dürften sich allein aus technischer Sicht insbesondere einige Kunstharzanstriche auf Epoxy- und auf Polyurethanbasis für die Verwendung im Gärfuttersilo eignen und sich bei genügend dickem Auftrag durch eine wesentlich längere Lebensdauer auszeichnen. Dies kann jedoch nicht ohne weiteres auf alle Anstriche mit diesen Grundstoffen erweitert werden, da geringe Änderungen der Zusammensetzung und der Herstellungsbedingungen wesentliche Änderungen der Stoffeigenschaften zur Folge haben können.

In der Schweiz werden die Innenflächen der Betonsilos zunächst mit fetter Zementmilch möglichst porenfrei abgeschlämmt und danach mit Kunstharz-, Chlorkautschuk- oder Bitumenanstrichen versehen. Bewährt haben soll sich dort als Anstrich aber auch eine Talkum-Wasserglas-Mischung, die preiswert ist, aber jährlich erneuert werden muß [8]. Nach amerikanischen Erfahrungen [9] sollen mehrfach und intensiv durchgeführte Behandlungen der Betonoberfläche mit Magnesiumsilikofluorid, Leinöl oder Kunstharz (Cumarlösung = Mischpolymerisat aus Kohlenwasserstoffen des Steinkohlenteeres) einen guten Schutz des Betons ergeben haben. Eine oberflächliche Behandlung glatter und dichter Betonflächen mit Fluaten und Silikonen dürfte – entgegen den amerikanischen Erfahrungen [9] – in der Regel nicht ausreichen, da die dadurch verbesserte Schicht zu dünn ist und durch mechanische Beanspruchungen zu schnell abgerieben wird. Ein Ocratieren – eine Behandlung des Betons mit Siliciumtetrafluorid ( $\text{SiF}_4$ ) – erhöht wegen der größeren Tiefenwirkung die mechanische und die chemische Widerstandsfähigkeit des Betons insbesondere auch gegen Milchsäure erheblich [10] und dürfte den Beton auch für Gärfuttersilos ausreichend widerstandsfähig machen. Dieses Verfahren kann jedoch nur bei Fertigteilen angewendet werden.

## 5. Monolithische Stahlbetonsilos

Monolithische Stahlbetonsilos, die sich in jüngster Zeit wieder mehr durchgesetzt haben, werden aus hochwertigem Beton hergestellt, der meistens auf der Baustelle bereitet, in Schalung geschüttet, verdichtet und nachbehandelt wird. Als Ausgangsstoffe sollten Zemente nach DIN 1164, nach DIN 1167 oder als gleichwertig zugelassene Zemente und saubere, genügend feste, wetter- und auch gärsäurebeständige Schwerbetonzuschlagstoffe nach DIN 4226 – das sind im allgemeinen alle natürlichen Sande und Kiese – verwendet werden. Damit der Beton der dünnen Silowände sich trotz der Bewehrung beim Einbringen nicht entmischt und noch zuverlässig verdichtet werden kann, sollte das Zuschlaggrößtkorn 30 mm und ein Viertel der Wanddicke nicht überschreiten.

Für die Betonzusammensetzung gelten im wesentlichen die Überlegungen der Abschnitte 2 und 3. Um den für eine bestimmte Verarbeitbarkeit notwendigen Wasseranteil klein zu halten und den Zementgehalt nicht zu sehr zu erhöhen, liegt die Kornzusammensetzung der Zuschlagstoffe zweckmäßig im besonders guten Bereich des Bildes 2 der DIN 1045, d. h. der Anteil bis 7 mm etwa zwischen 45 und 60%. Dies kann einfach ein-

gehalten werden, wenn der Zuschlag in 2 Korngruppen auf der Baustelle angeliefert, gelagert und dem Mischer zugegeben wird, z. B. zu je 50 % als Anteil bis 7 mm und größer als 7 mm. Unter Berücksichtigung der auf solchen Baustellen möglichen Herstellweisen sollten ein Wasserzementwert von etwa 0,50 und ein Anteil an Mehlkorn (Zement + mehlfeine Stoffe bis 0,2 mm) bei einem Zuschlaggrößtkorn von 30 mm von etwa 400 kg je m<sup>3</sup> fertigen Betons angestrebt werden. Die weitere Betonzusammensetzung richtet sich nach der vorgesehenen Einbauweise des Betons. Wenn eben möglich, sollte ein schwach plastischer Beton hergestellt und mit Innenrüttlern verdichtet werden. Wenn Innenrüttler nicht verfügbar sind und nicht beschafft werden können, kann unter Gleichhalten des Wasserzementwertes, aber Erhöhen des Zementleimanteils, d. h. Erhöhen des Zement- und des Wasseranteils (vgl. Abschnitt 2), auch ein weicher Beton hergestellt werden, der durch intensives Stochern und Beklopfen der Schalung zu verdichten ist. Dem Rüttelbeton ist zum Erreichen des erforderlichen Mehlkorngehaltes von etwa 400 kg/m<sup>3</sup> in der Regel etwas Gesteinsmehl zuzugeben. Für beide Betonarten, den Rüttelbeton und den Stocherbeton, sind das Mischungsverhältnis nach Gewichtsteilen und die zuzugebenden Mischungsanteile sowohl für 1 m<sup>3</sup> fertigen Beton als auch bezogen auf 1 Sack Zement in den Tafeln 1 und 2 der im Anhang folgenden Richtlinien angegeben. Bei Festlegen der Mischungsanteile in Tafel 2 wurden eine Eigenfeuchtigkeit des Zuschlags von 3 % und eine Kornrohddichte von 2,62 g/cm<sup>3</sup> berücksichtigt. Die zugrundegelegten Annahmen entsprechen den zumeist vorliegenden praktischen Verhältnissen, so daß für Kiessandbetone mit etwa 30 mm Größtkorn des Zuschlags die Richtwerte der Tafel 2 in der Regel übernommen werden können. Für Kiessandbeton mit etwa 15 mm Größtkorn ist der Zementgehalt um rund 10 % zu erhöhen. Die Mischungsanteile sind möglichst nach Gewicht zuzugeben und mit geeigneten Maschinen so lange zu mischen, bis ein gleichmäßiges Betongemisch entstanden ist; dazu ist eine Mischzeit von wenigstens 1,5 Minuten erforderlich. Werden die Mischungsanteile in Ausnahmefällen nach Raumteilen zugegeben (für Rüttelbeton 1 : 4, für Stocherbeton 1 : 3,5), so sollte Zement nur in ganzen Säcken zugegeben und das Gewicht des abgemessenen Zuschlags häufig nachgeprüft werden.

Die Innenschalung muß dicht und glatt und von alten Betonresten befreit sein, damit auch die Siloinnenfläche dicht, glatt und geschlossen wird und möglichst wenig Angriffsfläche bietet. Insbesondere gilt dies auch für die Schalungsfugen, damit dort kein Zementleim ausläuft und sich keine Grate bilden. Holzschalungen sind vor der Verwendung gut feucht zu halten. Nach bisherigen Erfahrungen dürften für die Siloinnenflächen insbesondere maßhaltige und genügend steife Stahlschalungen mit übergreifenden Blechen an den Fugen und kunststoffbeschichtete Sperrholzschalungen geeignet sein. Da die Fallhöhe beim Einbringen des Betons wegen der evtl. Entmischungsfahr 1 m nicht übersteigen soll, die Anordnung einer ausreichenden Anzahl von Schalungsfenstern für das Einbringen und Verdichten des Betons aber auf diesen Baustellen selten möglich ist, empfiehlt es sich, für die Außenschalung



Schalttafeln von höchstens 1 m Höhe zu verwenden. Die Silowände erhalten eine einfache Bewehrung, die zweckmäßigerweise unter Einhaltung einer Betonüberdeckung von mindestens 2 cm nahe der Außenfläche angeordnet wird. Liegt sie nahe der Innenfläche, so ist dort eine Betonüberdeckung von mindestens 4 cm erforderlich. Die Anweisungen der Richtlinien über das Verdichten des Betons (vgl. Abschnitt 3.3 der Richtlinien) sind sorgfältig zu beachten, damit sowohl beim Rütteln als auch beim Stochern ein vollständig verdichteter Beton mit möglichst wenig Luftblasen auf der Siloinnenfläche entsteht. Der Beton ist stets so lange zu verdichten, bis dabei keine Luftblasen mehr an der Oberfläche austreten. Da die Silowände meist nur 12 oder 15 cm dick – dünner sollten sie schon aus Herstellungsgründen nicht sein – und außerdem noch einfach bewehrt sind, kommen für das Verdichten des Rüttelbetons im allgemeinen nur Innenrüttler mit einem Flaschendurchmesser von 25 bis 35 mm in Frage. Arbeitsfugen sind möglichst zu vermeiden oder aber wasserdicht auszubilden (vgl. Richtlinien Abschnitt 3.3), da dort bei nicht sorgfältiger Arbeit häufig undichte Stellen auftreten.

Zur Erzielung eines dichten Betons mit erhöhter Widerstandsfähigkeit gegen Gärssäuren und zur Vermeidung von Schäden sollte der Beton unmittelbar nach dem Herstellen vor starker Besonnung und etwa ein halbes Jahr lang vor weitgehendem Austrocknen und unmittelbarem Zutritt der Gärssäure geschützt werden. Grundsätzlich wird daher für die Siloinnenflächen ein erster Schutzanstrich empfohlen (vgl. Abschnitt 4). Kann dieser Anstrich nicht bald nach dem Entschalen aufgebracht werden, so sind die Innenflächen zunächst wie die übrigen Betonflächen nachzubehandeln bzw. vor Austrocknen zu schützen.

## **6. Silos aus Betonformsteinen**

Hierunter versteht man Silos, die aus bewehrtem Betonformsteinmauerwerk bestehen oder aus mit Beton verfüllten Schalungssteinen, in deren Öffnungen vorher eine Stahlbewehrung eingebracht wurde. Die Bewehrung muß zur Vermeidung von Korrosionsschäden stets satt im dichten Mörtel oder Beton eingebettet sein. Läßt sich Mauer Mörtel aus 1 Rt. Zement und 3 Rt. Sand dabei nicht einwandfrei verarbeiten, so kann seine Verarbeitbarkeit durch eine geringe Kalkhydratzugabe oder durch Erhöhung des Zementanteils verbessert werden (vgl. DIN 1053 und DIN 18550). Nach Stietenroth [11] wurden Silos aus Betonformsteinen in den letzten Jahren häufiger gebaut, da der Stein „fabrikmäßig“ – d. h. mit allen Vorteilen einer „fabrikmäßigen“ Herstellung – als hochwertiges Bauelement hergestellt werden kann, auf der Baustelle keine kostspielige Schalung notwendig ist und das Aufmauern der Steine weniger qualifizierte Arbeiter erfordert. Selbst wenn der Stein sehr dicht hergestellt wird, was allerdings bei der oft durch das Herstellungsverfahren bedingten Verwendung von erdfuchtem Beton nicht immer gewährleistet ist, stellen die zahlreichen Fugen schwache Punkte der Konstruktion dar. Aus diesem Grunde benötigen Silos aus Betonformsteinen einen Innenputz, der den Silo wasserdicht und widerstandsfähig gegen die entstehenden Gärssäuren macht. Hierfür ist wenigstens ein zweilagiger Zement-

putz in einer Gesamtdicke von mindestens 25 mm notwendig. Für die Zusammensetzung und Herstellung des Putzes sind die Hinweise der Richtlinien zu beachten, für die Nachbehandlung sinngemäß die Überlegungen zu Abschnitt 5. Unbedingt empfehlenswert ist für Betonformsteinsilos im allgemeinen ein Schutzanstrich vor der Inbetriebnahme des Silos.

## 7. Sonstige Silos aus Beton

Die Gärfuttersilos können auch aus sehr maßhaltigen Betonplatten [12] oder größeren Stahlbetonfertigteilen, wie z. B. Siloringen, unter Umständen auch mörtelfrei, montiert werden. Für die Herstellung und die Nachbehandlung des Betons gelten sinngemäß die Überlegungen zu den Abschnitten 2, 3 und 4. Da diese Betonbauteile in den Betonsteinwerken als hochwertige Bauteile hergestellt werden, können von ihnen die Forderungen für einen wasserdichten und gärsäurewiderstandsfähigen Beton leicht und sicher erfüllt werden, wenn der Beton nicht zu trocken verarbeitet wird. Die Anzahl der Fugen nimmt mit wachsender Größe der Bauteile ab. Da wenige Fugen auch ohne großen Aufwand, gegebenenfalls sogar mit Kunststoffen, dicht ausgebildet werden können und hochwertige Betonbauteile zur Verfügung stehen, dürfte auf weite Sicht der Silo aus großen Stahlbetonfertigteilen eine gute und wirtschaftliche Lösung sein, wenn die Transport- und Montagekosten gering gehalten werden können.

### SCHRIFTTUM :

- [1] Walz, K.: Undurchlässiger Beton. Bautechnik-Archiv H. 13. Verlag Wilh. Ernst & Sohn, Berlin 1956.
- [2] Wischers, G.: Physikalische Eigenschaften des Zementsteins. beton 11 (1961) H. 7, S. 481/486.
- [3] Walz, K.: Stand der Neufassung des Teils „Beton“ der Stahlbetonbestimmungen. beton 11 (1961) H. 4, S. 266/267.
- [4] Walz, K.: Anleitung für die Zusammensetzung und Herstellung von Beton mit bestimmten Eigenschaften. Beton- und Stahlbetonbau 53 (1958) H. 6, S. 163/169.
- [5] ACI-Committee 714: 11-year study of concrete stave silo durability. Proc. Amer. Concr. Inst. 57 (1960/61) Nr. 7, S. 797/812 (vgl. beton 11 (1961) H. 7, S. 486/488).
- [6] Hildebrandt: Säureschutz bei Gärfutterbehältern. Die Technik in der Landwirtschaft 20 (1939) H. 5, S. 112/113.
- [7] Zimmer, E.: Schutzanstriche für Gärfutterbehälter. Mitteilungen der Deutschen Landwirtschafts-Gesellschaft 1959, H. 16.
- [8] Betonsilos für die Gärfuttersilagebereitung. Cementbulletin der Technischen Forschungs- und Beratungsstelle der Schweizerischen Zementindustrie, Wildeg, 29 (1961) Nr. 21.
- [9] PCA: Building and remodeling silos for legume and grass silage. Concrete Information of Portland Cement Association, Washington 1951.
- [10] Hummel, A., und J. Bonzel: Versuche an ocratierem und nicht ocratierem Mörtel und Beton. (Als Sonderdruck beschränkt veröffentlicht.)
- [11] Stietenroth, K.: Gärfullersilos aus Formsteinen. beton 10 (1960) H. 11, S. 562.
- [12] Baumgarth, E.: Ein neuer Montagesilo aus Betonplatten. beton 10 (1960) H. 11, S. 563/564.

# Richtlinien für die Herstellung von Beton für Gärfuttersilos

## 1. Allgemeines

Gärfuttersilos sind Behälter, in denen Grünfütter und sonstige Feldfrüchte als Gärfütter (Silage) haltbar gemacht werden, siehe auch DIN 11621, Gärfütter-silos — Hauptmaße, Richtlinien für die Ausführung. Bei Gärfuttersilos aus Beton unterscheidet man nach der Bauart: monolithische Stahlbetonsilos, Betonformsileinsilos, Silos aus Stahlbetonfertigteilen und davon abweichende Sonderausführungen. Zu bevorzugen sind Silos mit kreisrundem Querschnitt.

## 2. Anforderungen

Sämtliche Bauarten müssen folgenden Anforderungen entsprechen:

2.1 Die Silos müssen frostfrei gegründet und standsicher hergestellt werden. Als Belastung ist im allgemeinen der volle Wasserdruck bis 1 m unter Silo-oberkante anzunehmen (vgl. u. a. DIN 1055, Lastannahmen für Bauten). Maßgebend für die Bemessung der Silos sind die einschlägigen Vorschriften, wie z. B. DIN 1045, Bestimmungen für die Ausführung von Bauwerken aus Stahlbeton.

2.2 Die Wände sollen innen im allgemeinen lotrecht sein. Gegebenenfalls vorhandene Wandecken sind abzuschrägen. Das Gefälle der Grundplatte soll zum Saftabfluß etwa 2 ‰ betragen.

2.3 Die raumumschließenden Bauteile müssen wasserdicht sein.

2.4 Die Innenflächen müssen ausreichend widerstandsfähig sein gegen Gär-säuren, gegen möglicherweise auftretende Temperaturerhöhungen und gegen mechanische Beanspruchungen beim Füllen und Entleeren.

## 3. Monolithische Stahlbetonsilos

Monolithische Stahlbetonsilos sind aus dichtem Beton herzustellen. Die Beton-güte B 300 sollte nicht unterschritten werden. Innen- und Außenputz sind nicht erforderlich. Über die Richtlinien hinaus gilt DIN 1045, Bestimmungen für die Ausführung von Bauwerken aus Stahlbeton.

### 3.1 Aufbau des Betons

#### 3.1.1 Zement

Es sind Zemente nach DIN 1167 — Portlandzement, Eisenportlandzement, Hoch-ofenzement — und nach DIN 1167 — Traßzement — und als gleichwertig zugelassene Zementle zu verwenden.

#### 3.1.2 Zuschlagstoffe

In Frage kommen nur Schwerbetonzuschlagstoffe nach DIN 4226 — Beton-zuschlagstoffe aus natürlichen Vorkommen; vorläufige Richtlinien für die Liefere-rung und Abnahme —. Sie müssen sauber, wetterbeständig und genügend fest sein und dürfen keine betonschädlichen und stahlangreifenden Bestandteile enthalten. Das Größtkorn sollte 30 mm nicht überschreiten und auf keinen Fall größer als  $\frac{1}{4}$  der Wanddicke sein.

#### 3.1.3 Anmachwasser

Als Anmachwasser sind alle in der Natur vorkommenden Wässer geeignet, soweit sie nicht stark verunreinigt sind. Als stark verunreinigt gelten Wässer auch bei klarem Aussehen, wenn sie reich an Bestandteilen sind, die das Erhärten des Betons stören (z. B. Fabrikabwässer, Moorwässer und durch Jauche verunreinigte Wässer).

#### 3.1.4 Zusatzmittel

Es sollten nur amtlich zugelassene Zusatzmittel verwendet werden, die, wie z. B. Verflüssiger, nachweisbar die hier verlangten Eigenschaften des Betons verbessern und nicht schwind- und korrosionsfördernd wirken.

### 3.1.5 Betonzusammensetzung

Der Beton ist so zusammenzusetzen, daß die vorgeschriebene Betongüte und die im Hinblick auf die Widerstandsfähigkeit gegen Gärtsäure erforderliche Dichtigkeit sicher erreicht werden. Der Frischbeton muß sich gut verarbeiten lassen, damit nach der Verdichtung eine hohe Gleichmäßigkeit erzielt wird. Die Sieblinie des Zuschlags soll im besonders guten Bereich nach DIN 1045 liegen, d. h. sein Anteil bis 7 mm etwa zwischen 45 und 60 %. Das Zuschlagstoffgemisch sollte möglichst aus wenigstens 2 Korngruppen — etwa je 50 % der Korngruppen 0/7 und 7/30 mm — zusammengesetzt werden.

Zur Erreichung einer hohen Dichtigkeit muß der Beton eine bestimmte Menge an Mehlkorn enthalten. Das Mehlkorn setzt sich aus Zement, Feinstsand 0/0,2 mm und evtl. zugegebenem zementfeinem Gesteinsmehl zusammen. Der Gehalt an Mehlkorn pro m<sup>3</sup> sollte bei 30 mm Größtkorn etwa 400 kg/m<sup>3</sup>, bei 15 mm Größtkorn etwa 450 kg/m<sup>3</sup> betragen. Wird dieser Mehlkorngesamt in der Mischung nicht ohne weiteres erreicht, so können zementfeine Gesteinsmehle oder auch mehr Zement zugegeben werden.

Der Beton wird um so dichter, je niedriger der Wasserzementwert ist. Der Wasserzementwert, d. h. das Gewichts-Verhältnis aus dem gesamten Wasser der Mischung (Eigenfeuchtigkeit der Zuschlagstoffe und zugegebenes Wasser) und der Zementmenge, darf 0,60 nicht überschreiten.

Unter Berücksichtigung dieser Voraussetzungen ergeben sich für die zwei in Frage kommenden Verarbeitungsweisen die Betonzusammensetzungen nach Abschnitt 3.1.6. Nach Möglichkeit sollte Rüttelbeton verwendet werden.

### 3.1.6 Beispiel für die Zusammensetzung von Rüttel- und Stocherbeton

Die nachstehenden Richtwerte gelten für vollkommene Frischbetonverdichtung und Zuschläge mit 30 mm Größtkorn und einer Kornrohichte von etwa 2,62 g/cm<sup>3</sup>. Wird Zuschlagstoff 0/15 mm verwendet, so ist der Zementgehalt um rd. 10 % zu erhöhen.

Tafel 1 Mischungsverhältnis in Gewichtsteilen

	Konsistenz (Ausbreitmaß nach DIN 1048)	Mischungsverhältnis in Gewichtsteilen		
		Zement	Zuschlag (trocken)	Wasser
Rüttelbeton	K <sub>2</sub> (38 cm)	1	5,9	0,52
Stocherbeton	K <sub>4</sub> (46 cm)	1	4,8	0,52

Tafel 2 Mischungsanteile in kg

	Ausgangsstoff	Mischungsanteile in kg	
		für 1 m <sup>3</sup> verdichteten Beton	bezogen auf 1 Sack Zement (= 50 kg)
Rüttelbeton	Zement	320	50
	Gesteinsmehl	40	6
	Zuschlag <sup>1)</sup>	1900	300
	Wasser <sup>2)</sup>	116	18
Stocherbeton	Zement	370	50
	Zuschlag <sup>1)</sup>	1830	250
	Wasser <sup>2)</sup>	137	18,5

<sup>1)</sup> Zuschläge mit 3 Gew.-% Eigenfeuchtigkeit.

<sup>2)</sup> Erforderliche Wasserzugabe unter Berücksichtigung der Eigenfeuchtigkeit der Zuschläge.

Die Herstellung von hochwertigem Beton verlangt die gewichtsmäßige Zugabe von Zement und Zuschlagstoff. Den in Tafel 2 angegebenen Mischungsanteilen in Gewichtsteilen entsprechen annähernd folgende Mischungsverhältnisse in Raumeinheiten:

Rüttelbeton: Zement : Kiessand = 1 : 4 nach Raumeinheiten  
Stocherbeton: Zement : Kiessand = 1 : 3,5 nach Raumeinheiten.

### 3.2 Wanddicke, Schalung, Bewehrung

Die Wände sollten bis zu einer Höhe von 6 m etwa 12 cm und bei höheren Silos etwa 15 cm dick sein.

Die Betonüberdeckung der Bewehrung muß innen mindestens 4 cm und außen mindestens 2 cm betragen.

Die Schalung muß dicht, glatt und formgerecht sein und nach jedem Betonieren gesäubert werden. Schalölle sind dünn aufzutragen, damit sie die Haftung späterer Anstriche nicht beeinträchtigen.

### 3.3 Herstellen, Einbringen und Verdichten des Betons

Alle Betonbestandteile sind in einer Mischmaschine innig (mindestens 1,5 min) zu vermischen.

Der Beton ist gleichmäßig verteilt in Schichthöhen von höchstens 20 cm einzubringen und zu verdichten. Die Fallhöhe des Betons sollte beim Einbringen 1 m nicht überschreiten. Rüttelbeton ist mit Innenrüttlern, die in Abständen von etwa 20 cm etwa 15 cm tief in die untere bereits verdichtete Schicht abgesenkt werden, sorgfältig zu verdichten; bei Stocherbeton ist so lange zu stochern, bis der Beton vollständig verdichtet ist. Eine gewissenhafte Verdichtung ist für die Lebensdauer des Betonsilos von entscheidender Bedeutung. Arbeitsfugen sind möglichst zu vermeiden. Falls nicht ohne Unterbrechung betoniert werden kann, ist die Fuge gut zu reinigen und auf den oberflächlich mattfeucht erscheinenden Beton zunächst eine Mörtelschicht von etwa 4 cm Dicke einzubringen. Die Zusammensetzung des weichen Mörtels entspricht dem Mörtelanteil (bis 7 mm) des Betons, d. h. vom Zuschlaganteil der ursprünglichen Mischung wird nur der Sand (bis 7 mm) zugegeben.

### 3.4 Nachbehandlung des Betons

Zur Erzielung eines Betons hoher Güte und Dichtigkeit und zur Vermeidung von Schwindrissen ist der Beton möglichst lange vor Austrocknen zu schützen. Unmittelbar nach dem Ausschalen sind vorhandene Luken zu schließen und ist die Einfüllöffnung abzudecken (z. B. mit Brettern und einer darauf beschweren Folie). Werden Schutzanstriche (vgl. Abschn. 3.5), die auf feuchtem Beton aufgebracht werden können, unmittelbar nach dem Entschalen auf die Innenfläche aufgetragen, so übernehmen diese den Schutz vor Austrocknen.

Die Außenwände sind mit einem Nachbehandlungsfilm\*) zu versehen oder durch andere geeignete Maßnahmen vor Austrocknen zu schützen. Frisch erschallte Betonflächen dürfen starker Besonnung nicht ausgesetzt werden. Sie sind — wenn nötig — abzuhängen und auch dann durch wiederholtes Anspritzen immer wieder zu befeuchten.

Dichtigkeit und Widerstandsfähigkeit gegen Gärssäure nehmen mit dem Alter des Betons auch nach dem 28. Tage noch zu. Aus diesem Grund ist eine möglichst frühzeitige Fertigstellung vor der 1. Füllung anzustreben.

### 3.5 Schutzanstriche

Da junger Beton den im Silo entstehenden Gärssäuren nicht ausreichend widerstehen kann, ist vor Inbetriebnahme des Silos grundsätzlich ein erster Schutzanstrich erforderlich. Dieser Schutzanstrich muß gleichmäßig, dicht und porenfrei aufgebracht werden und gegen Gärssäure sowie gegen alkalische Einwirkungen des Betons auch bei höherer Temperatur beständig sein. Eine ausreichende Haftung des Anstriches auf dem Beton muß sichergestellt sein.

\*) Nachbehandlungsmittel werden von den Firmen der Bautenschutzindustrie angeboten.

Bei geeigneten Anstrichen wird dies erreicht, wenn der Anstrich nach der Anweisung des Herstellers aufgebracht wird. Eine dichte und porenfreie Oberfläche wird im allgemeinen erzielt, wenn eine plastische Masse in dickerer Schicht aufgespachtelt oder der Anstrich einschließlich des Voranstrichs 3mal aufgetragen wird.

#### **4. Betonformsteinsilos**

Betonformsteinsilos bestehen aus bewehrtem Betonformstein-Mauerwerk, das auf der Innenfläche einen Putz erhält.

##### **4.1 Betonformsteine und Versetzen der Steine**

Man unterscheidet Vollsteine und Schalungssteine, die im Betonsteinwerk hergestellt werden. Vollsteine werden mit Zementmörtel 1 : 3 nach Raumteilen versetzt, Schalungssteine mit Beton verfüllt. Das Mauerwerk ist so auszubilden, daß unvermörtelte, durchgehende Lager- und Stoßfugen nicht vorkommen und daß die Bewehrung samt mit dichtem Beton bzw. Mörtel umhüllt wird.

##### **4.2 Putz**

Auf der Siloinnenfläche ist ein zweilagiger Zementputz von mindestens 25 mm Dicke aufzubringen. Der Zement muß DIN 1164 entsprechen, der Sand sauber, scharf und gemischtkörnig sein.

Für Zusatzmittel gilt sinngemäß Abschnitt 3.1.4. Der Putzgrund muß sauber sein. Sehr dichter, nicht saugender Beton soll trocken, saugender mattfeucht sein.

Zunächst wird ein Spritzbewurf aus 1 Rt. Zement und 1 Rt. Sand 0/1 mm aufgebracht. Nach ausreichendem Erhärten des Spritzbewurfes wird der Unterputz aus 1 Rt. Zement und 3 Rt. Sand 0/3 mm und gleich anschließend der Oberputz mit der gleichen Zusammensetzung frisch auf frisch aufgetragen. Die Schichten sind mit dem Reibbrett gut zu verdichten. Die Putzoberfläche ist mit der Filzscheibe gut durchzureiben oder mit der Stahlkelle zu glätten. Eine stärkere Anreicherung von Zementleim ist zu vermeiden. Falsch ist ein Pudern mit Zement.

Hinsichtlich Nachbehandlung und Schutzanstriche gelten sinngemäß die Abschnitte 3.4 und 3.5.

#### **5. Silos aus Stahlbetonfertigteilen**

Diese Silos bestehen aus Stahlbetonfertigteilen, die in Betonsteinwerken hergestellt werden. Beton und Fugen müssen allen in Abschnitt 2 genannten Anforderungen genügen.

Hinsichtlich der Schutzanstriche gilt sinngemäß der Abschnitt 3.5.

#### **6. Sonderausführungen**

Abweichungen von den genannten Ausführungen sind möglich. Auch diese Silos müssen den Anforderungen nach Abschnitt 2 genügen. Soweit erforderlich, gelten sinngemäß hinsichtlich Nachbehandlung und Schutzanstriche die Abschnitte 3.4 und 3.3.