

Am anderen Ende der Silobatterie befindet sich die auf dem Dach aufgebaute Pflegebühne. Sie dient einmal als erhöhtes Podest zur Wartung des Seil-Elektrozuges und zum anderen hat sie die Aufgabe, die Längskräfte des Kranbahnträgers abzufangen.

Der Elektrozug wird vom Laufsteg aus bedient. Seine Stromzuführung erfolgt über ein Schleppkabel, das neben dem Kranbahnträger in Rollenaufhängung geführt wird.

2.4. Arbeitsbühne

In der Mitte der Silobatterie, wo die Zuführung des Siliergutes durch den Steilförderer erfolgt, befindet sich als Verbindung zwischen beiden mittleren Hochsilos eine Arbeitsbühne. Dieser Bereich ist technologisch und konstruktiv der komplizierteste Teil der gesamten Hochsilanlage, da hier ein Kreuzungspunkt folgender Vorgänge vorliegt:

- Übergabe vom Steilförderer auf den verfahrbaren Bandförderer
- Transportweg für umzusetzende Maschinen durch den Elektrozug
- Übergang von Personen auf den Laufsteg
- Arbeitsflächen für die Wartung der Bandförderer.

Dabei sollte möglichst keine gegenseitige Behinderung der einzelnen Vorgänge auftreten.

Die Arbeitsbühne besteht aus einer geschlossenen Arbeitsfläche von etwa 5,2 m × 3,3 m mit beidseitigem Anschluß an den Laufsteg, einem Podest zur Wartung des Steilfördererantriebs, einer verschiebbaren Trichterhalterung für den Leitrichter des Steilförderers und einem Übergang für Personen über den verschiebbaren Bandförderer. Alle begehbaren Flächen sind mit rutschfesten Stahlgitterrosten ausgelegt.

A 8683

Bautechnische Probleme bei der Errichtung von Hochsilos

Dipl.-Ing. W. Günther*

DK 631.243.244

1. Bauweisen von Hochsilos

Die agrotechnischen Forderungen, die an Hochsilos für die Silagelagerung gestellt werden, haben einen bestimmenden Einfluß auf die Wahl der Bauweise. Andererseits sind die spezifischen Besonderheiten der Bauweisen für das Finden einer optimalen bautechnischen und ökonomischen Lösung zu berücksichtigen.

Der Silobehälter soll optimale gärbioologische Bedingungen schaffen und seine mechanisierte Bewirtschaftung ermöglichen. Ein direkter und ungehinderter Gasaustausch zwischen Atmosphäre und Behälterinnerem ist während der Gärphase sicher auszuschließen.

Diese Hauptforderungen, die an den Silo gestellt werden, lassen sich am besten durch solche Bauweisen erfüllen, die eine nahtlose Ausführung der Behälterwand ermöglichen und damit jede bautechnisch bedingte Fuge vermeiden.

Es sind Bauweisen bekannt, die diese Forderung erfüllen, sich aber wegen der ungünstigen Materialökonomie bzw. wegen fehlender Vorfertigungskapazität vorerst nicht in die Praxis einführen lassen. Nachfolgend werden Bauweisen mit ihren Vor- und Nachteilen vorgestellt, die kurzfristig realisiert werden können, aber auch solche, die im Prognosezeitraum für die DDR eine Bedeutung haben.

1.1. Monolithische Ausführung in Stahlbeton-Gleitbauweise

Hierbei handelt es sich um eine industriemäßige Bauweise, die bei Bauwerken mit symmetrischen Grundrißquerschnitten, vor allem aber im Silo- und Behälterbau, überall in der Welt mit gutem Erfolg angewendet wird.

Durchschnittliche Gleitgeschwindigkeiten von 20 cm/h sichern auch im Vergleich zu Montagebauweisen kurze Bauzeiten. Diese Bauweise ermöglicht infolge des vom Verfahren her erforderlichen kontinuierlichen Gleitens, einen fugenlosen Behälter herzustellen. Die theoretisch erforderliche Mindestwanddicke beträgt bei der Gleitbauweise 14 cm, damit der frische Beton genügend Eigenmasse hat und nicht infolge der Reibungskräfte zwischen ihm und der Schalung nach oben hin abreißt.

Für Gärfuttersilos von 1000 bis 3600 m³ Nutzraum werden aus bautechnologischen Gründen Wandstärken bis zu 25 cm erforderlich. Dadurch erhöht sich der spezifische Materialeinsatz gegenüber anderen Bauweisen ungünstig. Ein weiterer Nachteil dieser Bauweise ist die Witterungsabhängigkeit.

* Deutsche Bauakademie zu Berlin, Institut für Landwirtschaftliche Bauten

Bedingt durch das ständige Aufwärtsgleiten der Schalung verhindern Reibungskräfte, die zwischen Beton und Schalung entstehen, das Herstellen eines druckwasserdichten Betons. Die Behälterwand muß also zusätzlich gegen Korrosion und Flüssigkeitsdruck geschützt werden.

1.2. Montagebauweise

Formsteinbauweisen in der Art, wie sie vom englischen Silo Colman übernommen wurden, sind nur bedingt geeignet, die grundsätzlichen agrotechnischen Forderungen zu erfüllen. Die bautechnisch bedingten Fugen zwischen den einzelnen Steinen lassen sich durch den verwendeten Innenputz nicht ausreichend abdichten. Die Putzschicht wird beim 1. Füllvorgang auf Zug beansprucht, die dabei entstehenden Risse lassen einen direkten Gasaustausch und einen Gärstoffaustritt nach außen zu. Der stark aggressive Gärstoff fördert die Korrosion des Betons, vor allem aber des Stahls. Als Vorteile dieser Bauweise sind der geringe Materialeinsatz im Vergleich zur monolithischen Bauweise und die Witterungsunabhängigkeit zu nennen. (Betonverbrauch nur 36 Prozent im Vergleich zur monolithischen Bauweise.)

Als konstruktiver Nachteil im Vergleich zur Monolithbauweise kommt das Korrosionsschutzproblem der ungeschützten Spannbewehrung hinzu.

Die kleinformatische Fertigteilmontagebauweise gestattet aus statischen Gründen nur Behälterdurchmesser bis zu 12 m. Damit sind dem Bemühen um Kostensenkung je Bezugseinheit Grenzen gesetzt.

Vielversprechend für die Zukunft sind Hochsilos aus großformatigen Betonfertigteilen. Durch Anwendung großformatiger Fertigteile mit einer Wandfläche von etwa 15 m² läßt sich der Fugenteil je m² Wandfläche wesentlich reduzieren (88 Prozent). Durch die relativ große Masse der Elemente von 2 bis 3 t werden die waagerechten Fugen, die mit entsprechender Fugendichtung versehen sind, überdrückt. Die senkrechten Fugen werden durch Vorspannung außenliegender Spannglieder überspannt. Vorteile dieser Bauweise sind der geringe Materialeinsatz, die industriemäßige Massenvorfertigung und die Witterungsunabhängigkeit.

Als Nachteile kommen höhere Transport- und Montageaufwendungen hinzu. Zu klären ist für diese Bauweise der Aufbau zentraler Vorfertigungsstätten in Abhängigkeit des Bedarfs und der optimalen Transportentfernungen. Eine mögliche Variante hierzu bildet die Baustellenfertigung in einem „fliegenden“ Betonwerk.

1.3. Stahlbauweisen

Die Forderung nach Gasdichtigkeit läßt sich mit Stahl-schweißkonstruktionen und auch bei geschraubten Ausführungen sehr gut erfüllen. Besonderes Augenmerk verdient bei dieser Bauweise der Korrosionsschutz. Aus der internationalen Literatur ist bekannt, daß sich hierfür besonders emaillierte Stahlbleche eignen. Im Gegensatz zur monolithischen Bauweise sind Stahlsilos zur Aufnahme von Druckspannungen, die aus Windbelastung und technologischen Lasten resultieren, weniger geeignet.

Außer den üblichen Normalkräften müssen Stabilitätszustände berücksichtigt werden, die zu einem erhöhten Materialaufwand führen können. Der ökonomische Einsatz des Werkstoffs Stahl läßt die Anwendung dieser Bauweise für den Silobau nur in ganz beschränktem Maße zu.

1.4. Plastbauweisen

Plaste sind aufgrund ihrer chemisch-physikalischen Eigenschaften sehr gut für den Bau von Silagesilos geeignet. Glasfaserverstärkte ungesättigte Polyester (GUP) sind in der Lage, große Zugspannungen, wie sie im Gebrauchszustand des Silos entstehen, aufzunehmen und erfüllen die Forderung nach Hermetik und Korrosionsschutz bestens. Bei Druckbeanspruchung jedoch ergibt sich ein erhöhter Materialeinsatz, der die Vorteile der GUP-Silos in Frage stellt.

Für die herkömmlichen Bewirtschaftungsverfahren lassen sich aus GUP zur Zeit keine Hochsilos mit vertretbaren Baukosten herstellen. Als Voraussetzung für den Einsatz von GUP im Hochsilobau ist eine Beschickungs- und Entnahmetechnologie erforderlich, aus der sich keine zusätzlichen Lasten auf den Silokörper ergeben.

Die Entwicklung des Baustoffes Plast ist in stofflicher, aber vor allem in verarbeitungstechnischer Hinsicht noch nicht abgeschlossen. GUP als Silobaustoff kommt voraussichtlich vor 1980 nicht zur Breitenanwendung.

Für die Silagelagerung völlig neue Bauweisen werden durch den Einsatz von technischen Textilien möglich. Der Grundgedanke dabei ist, die eigentliche, mit Folie abgedichtete Behälterwand vollkommen entfallen zu lassen und stattdessen die sonst erforderliche Auskleidung derart zu verstärken, daß sie sowohl Trag- als auch Dichtungsfunktionen erfüllt.

Mögliche Formen dieser prinzipiellen Lösung sind Luftkissenkonstruktionen und biegeschleife Behälter, die mit Stahl- bzw. Chemiseilen bewehrt sind und in Gruppen um einen Standmast angeordnet oder in Stahlfachwerke eingehängt werden. Dazu ist einschränkend zu bemerken, daß als Voraussetzung für die bautechnische Funktionstüchtigkeit eine Bewirtschaftungstechnologie benötigt wird, die den Silokörper nicht belastet.

1.5. Kostenmäßige Einschätzung der genannten Bauweisen

Bei einer Vergleichsgröße von 2500 m³ und der kleinformatischen Formsteinbauweise als Bezugsbasis ergeben sich folgende Kostenrelationen in Prozent:

Kleinformatische Bauweise	= 100
Großformatige Bauweise	= 106
Gleitbauweise	= 108
Stahlbauweise	= 120
Plastbauweise	= 130

Daraus kann man ersehen, daß aus ökonomischen Gründen den Betonbauweisen der Vorzug zu geben ist.

Entscheidende Kostensenkungen je Kubikmeter Nutzraum (NR) können auch durch Volumenvergrößerung erzielt werden. Ökonomische Untersuchungen im Institut für Landwirtschaftliche Bauten der DBA ergaben, daß Baukosten unter 100,- M/m³ NR erst ab Behältergrößen von 3000 m³ zu erreichen sind. Diese Behältergrößen lassen sich aus statischen Gründen mit kleinformatischen Betonformsteinen nicht mehr herstellen.

Hochsilos für die Silagelagerung mit einem Baukostensatz

von etwa 100,- M/m³ NR lassen sich im Perspektivzeitraum mit der Stahlbetongleitbauweise oder mit großformatigen Betonelementen herstellen.

Die verstärkte Anwendung dieser Bauweisen setzt voraus, daß entsprechende Vorfertigungskapazitäten bzw. Gleitbaukapazitäten für den landwirtschaftlichen Silobau aufgrund einer fundierten Bedarfsanalyse geschaffen werden.

2. Belastungsannahmen

Für eine belastungsgerechte Dimensionierung der Behälterwände sind einheitliche Lastannahmen für Gärfutterhochsilos erforderlich. Zur Zeit gibt es für die DDR keine verbindlichen Lastannahmen. Weit verbreitet ist deshalb die Lastannahme für vollen Wasserdruck nach DIN 1055, Bl. 6, für Grüngüter mit einem Trockenmassegehalt < 23 Prozent. Eine solche Lastannahme garantiert für den Baukörper in jedem Falle die größte Sicherheit, erfordert andererseits aber einen volkswirtschaftlich nicht vertretbaren Stahlbewehrungsaufwand. Die Schaffung verbindlicher Lastannahmen für Silagehochsilos ist daher eine Grundvoraussetzung zur Verbesserung der Materialökonomie im Hochsilobau. Das Institut für Landwirtschaftliche Bauten der DBA hat daher 1970 mit Druckmessungen an unterschiedlichen Silotypen begonnen, um die Belastung durch unterschiedliche Grüngutarten zu ermitteln und die Grundlage für eine verbindliche Lastannahme zu schaffen.

Die bisher ausgewerteten Versuchsergebnisse lassen die Belastungscharakteristik unterschiedlicher Grüngutarten erkennen. Im Vergleich mit ausländischen Lastannahmen können schon jetzt in Abhängigkeit vom Trockenmassegehalt des Grüngutes, als bestimmende Größe des Horizontaldruckes, Größenordnungen des Belastungswertes eingeschätzt werden. Zur Festlegung der endgültigen Lastannahmen sind weitere Messungen erforderlich, um eine Auswertung nach statistischen Methoden zu ermöglichen.

3. Gasdichtigkeit der Hochsilos

Die Dichtigkeit des Behälters ist für die Qualität der herzustellenden Silage sowie der auftretenden Futtermittelverluste von entscheidender Bedeutung. Die Verbesserung der Gasdichtigkeit ist vor allem bei allen Betonbauweisen durch geeignete Innenauskleidung erforderlich. Der beim Siloprozeß entstehende Saft enthält aggressive Medien. Die Innenauskleidung hat demnach 2 Funktionen zu erfüllen:

- Verringerung bzw. Verhinderung des Gasaustauschs
- Schutz der Silowand vor Korrosion.

Als Auskleidungsmaterialien kommen Folien, Anstriche und spritzfähige Beschichtungen in Frage. Zur Zeit befinden sich unterschiedliche Materialien in der Erprobung.

Problematisch für die Verbesserung der Gasdichtigkeit sind die Luken. Deshalb sollte z. B. überprüft werden, ob ein Lukenband in der bisherigen Art für die Begehung der Silos beibehalten werden muß. Eine spürbare Reduzierung bzw. ein völliger Verzicht bei bestimmten Silagearten auf Lukenöffnungen im Silo würde wesentliche Erleichterungen bei allen Bauweisen bedeuten. Bei der bisherigen Anordnung der Lukenöffnungen kommt es bei der Betonbauweise zu Bewehrungskonzentrationen zwischen den Luken, die ein ordnungsgemäßes Verdichten des Betons ausschließen und Undichtigkeiten im Beton von vornherein begünstigen.

4. Zusammenfassung

Zur Zeit realisierbare und im Prognosezeitraum mögliche Bauweisen für Gärfutter-Hochsilos werden hinsichtlich Gasdichtigkeit, Korrosionsschutz, Materialaufwand und Kosten eingeschätzt. Als ökonomisch günstigste Form für den Perspektivzeitraum erscheinen Hochsilos nach der Stahlbetongleitbauweise oder mit großformatigen Betonelementen. Eine weitere Konkretisierung der Lastannahmen lassen Einsparungen bei allen Bauweisen erwarten.

A 8672