

Stand und Tendenzen der bautechnischen Entwicklung von Lagerräumen für die Grünfütter- und Hackfruchtconservierung in der DDR

1. Allgemeine Anforderungen an Konservierungsbehälter

Lagerräume für die Grünfütter- und Hackfruchtconservierung müssen bautechnisch in erster Linie den gärbio-logischen und verfahrenstechnischen Bedingungen einer industriemäßigen Bereitung von Qualitätsgrundfutter mit minimalem Kostenaufwand entsprechen.

Ausgehend vom derzeitigen Mechanisierungsgrad und dem Stand der naturwissenschaftlichen Erkenntnisse müssen Lagerräume folgende Anforderungen erfüllen:

- geringer Investitionsaufwand
- niedrige Konservierungskosten
- niedrige Konservierungsverluste
- Anschlußmöglichkeit an mobile und stationäre Fütterungsketten
- Fassungsvermögen $\geq 1500 \text{ m}^3$ bis $20\,000 \text{ m}^3$
- gas- und wasserdichte Wandungen
- möglichst gas- und wasserdichter Abschluß der Futterstockoberfläche
- Vollmechanisierung der Ein- und Auslagerung

Diese Forderungen werden durch die von der Bauindustrie bzw. den Projektierungseinrichtungen angebotenen Horizontal- und Hochsilokonstruktionen in unterschiedlicher Weise erfüllt.

2. Horizontalsilos

2.1. ... für die Grünfüttersilierung

Horizontalsilos aus Stahlbetonfertigteilen sind die verbreitetste Siloform für die Grünfüttersilierung in der DDR. Die Hauptgründe dafür sind die Nutzung der im landwirtschaftlichen Betrieb bereits vorhandenen Technik für ihre mobile Bewirtschaftung und die geringeren Investitionen gegenüber Hochsilos.

Aus der Vielzahl vorhandener Horizontalsiloformen haben künftig jedoch nur noch diejenigen Bedeutung, die sowohl den gärbio-logischen als auch den technologischen Anforderungen der Silagebereitung weitgehend Rechnung tragen. Für Horizontalsilos mit mobiler Bewirtschaftung sind das Stahlbetonfertigteilkonstruktionen aus A-, L- oder T-Elementen in einer Höhe von 4 bis 5 m und mit einer Mindestbreite von 18 m.

Die in den Angebotsprojekten enthaltenen Lösungen entsprechen diesen Anforderungen noch nicht. So sind z. B. die L- und T-Elemente auf Silohöhen von $H = 3,60 \text{ m}$ begrenzt.

Für den Höhenbereich $H = 5 \text{ m}$ liegt ein Wiederverwendungsprojekt für A-Block-Stütz-Konstruktionen vor.

Entsprechende Analysen zu Praxisbestlösungen von Horizontalsilokonstruktionen, die im Institut für Landwirtschaftliche Bauten der Bauakademie für die Grünfüttersilierung durchgeführt wurden, sagen aus, daß L- und T-Elemente bis $\leq 4,20 \text{ m}$ noch wirtschaftlich sind und daß bei $H > 4,20 \text{ m}$ aufgelöste Konstruktionen, wie A-Block-Stütz-Konstruktionen, günstiger werden /1/. Bei Berücksichtigung gleicher Lastannahmen und Silohöhen von $H = 5 \text{ m}$ und Systembreiten $SB = 22,50 \text{ m}$ ergeben sich bei Anwendung von A-, L- und T-Elementeformen und Mastenbauweise für Horizontalsilos die in Tafel 1 festgehaltenen technisch-ökonomischen Kennzahlen.

Da für die mobile Bewirtschaftung von Horizontalsilos mit Höhen $> 4 \text{ m}$ zur Zeit keine sicheren Verfahren zur

Verfügung stehen, wurde als Übergangslösung zusätzlich eine Konstruktion aus L- und T-Elementen mit einer Höhe von $4,20 \text{ m}$ entwickelt. Eine entsprechende Grundprojektlösung liegt dabei beim VEB Landbauprojektierung Potsdam vor. Danach ergibt sich für diese Lösung ein Preis von rd. $37,00 \text{ M/m}^3 \text{ ER}$ bei Berücksichtigung der L I, L III, L IV — Bereiche ohne Außenanlagen /2/.

Damit sind aus bautechnischer Sicht die Voraussetzungen für eine Vereinheitlichung des Elementesortiments bei gleichzeitiger Berücksichtigung der landwirtschaftlich-technologischen Forderungen für die Grünfüttersilierung gegeben. Die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten sind künftig auf die Formulierung einheitlicher Lastannahmen, auf die Verbesserung des Korrosionsschutzes einschließlich der Fugendichtungen und auf eine verbesserte Futterstockzu- deckung zu konzentrieren. Horizontalsilos mit stationärer Bewirtschaftung sind zur Zeit in der praktischen Erprobung. Gegenüber den Lösungen für eine mobile Bewirtschaftung sind arbeitswirtschaftliche Vorteile zu erwarten. Diesen Vorteilen stehen jedoch zur Zeit noch ähnlich hohe Investitionen wie bei Hochsilos und siliertechnische Unsicherheiten gegenüber /3/.

2.2. ... für die Hackfruchtconservierung

Sollen Hackfrüchte in Horizontalsilos chemisch konserviert werden, so sind an den Baukörper im Gegensatz zur Grünfüttersilierung höhere Anforderungen zu stellen. Der für das chemische Konservierungsverfahren notwendige Saftestau verlangt eine absolute Wasserdichtigkeit des Behälters. Die vor der Entnahme mit mobilen Geräten nötige vorherige Entsaftung des Futterstocks erfordert eine Abkammerung dieser Horizontalsilos in Längsrichtung. Aus technologischen und konservierungstechnischen Gründen ist die Kammerlänge auf 20 bis 25 m zu begrenzen. Die Kronenbreite und die Höhe des Silos werden durch die vorhandene mobile Bewirtschaftungstechnologie auf rd. 7 m bzw. auf 4 m begrenzt.

Zum Schutz gegen Niederschlagswasser wird eine mobile Überdachung des Silos gefordert, die jedoch eine Bewirtschaftung nicht behindern darf. Die notwendige absolute Wasserdichtigkeit ist durch die monolithische Bauweise günstiger zu erreichen als durch Montagebauweise. Entsprechende Angebotsprojekte gibt es dafür zur Zeit nicht. Untersuchungen, die dazu im Ing.-Büro für Produktionsanlagen „Schwein“ und im Institut für Landwirtschaftliche Bauten der Bauakademie durchgeführt wurden, weisen aus, daß die Investitionen für Horizontalsilos, die den o. g. Anforderungen gerecht werden, je nach gewählten Anstrichsystemen für den Korrosionsschutz $150,00$ bis $200,00 \text{ M/m}^3 \text{ ER}$ betragen.

Tafel 1. Technisch ökonomische Kennzahlen für zweireihige Horizontalsilos bei Anwendung von A-, L- und T-Elementeformen; $H = 5 \text{ m}$, $SB = 22,5 \text{ m}$, $L = 75 \text{ m}$, ohne Außenanlagen

Elementeform	Bauinvestitionen $\text{M/m}^3 \text{ ER}$	Materialeinsatz Zement $\text{kg/m}^3 \text{ ER}$	Stahl $\text{kg/m}^3 \text{ ER}$	Montageaufwand $\text{AKh/m}^3 \text{ ER}$
A-Block-Stütze	36 ¹	23	5,5	0,24
T- und L-Element	45 ¹	30,5	8,0	0,27
eingespannte Wandplatte	44 ¹	30,5	7,5	0,26
ER eingebauter Raum		Nutzraum = $\text{ER} \cdot \eta$		

* Bauakademie der DDR, Institut für Landwirtschaftliche Bauten (Direktor: Prof. Dr.-Ing. T. Lammert)

¹ Bei Verwendung von Epoxidharz als Auskleidungsmaterial Kostenerhöhung um $7,00 \text{ M/m}^3 \text{ ER}$

Senkungen des Investitionsaufwands sind durch Volumenvergrößerungen bei einer stationären Mechanisierungstechnologie möglich.

2.3. Hinweise zur Projektierung und Bauldurchführung

Im Hinblick auf einen ausreichenden Korrosionsschutz der Horizontalsilos für die Grüngut- und Hackfruchtkonservierung und zur Sicherung des Umweltschutzes sind bei der Projektierung, aber vor allem bei der Bauausführung, die dafür entsprechenden Richtlinien zu berücksichtigen.

Aufgrund von Schadensfällen in der Praxis wurden im Institut für Landwirtschaftliche Bauten der Bauakademie Untersuchungen zum Korrosionsschutz bei Silagesilos aus Stahlbeton durchgeführt. Es wurde festgestellt, daß die bisherigen Praktiken bei der Betontechnologie und bei der Wahl und Ausführung von Fugendichtungen und Anstrichsystemen nicht in jedem Falle ausreichen. In einer vorläufigen Richtlinie /4/ wurde für den Beton ein Aggressivitätsgrad V und die Anwendung der TGL 11 357 „Beton in aggressiven Wässern“ vorgeschrieben. Weitere Hinweise zum primären und zum sekundären Korrosionsschutz für Silagesilos sind dieser vorläufigen Richtlinie zu entnehmen.

3. Hochsilos

3.1. ... für die Grünfuttersilierung

Der Entwicklungsstand der Hochsilos in der DDR wird im wesentlichen durch die Formsteinsilokonstruktionen des VEB LIA Nauen bestimmt.

Diese Silos werden aus kleinformatischen Betonformsteinen trocken im Verband montiert. Die Stabilität im Leerzustand bei Windbelastung und die Aufnahme des Siloinnen-drucks werden durch außenliegende Einzelspannglieder aus Rundstahl St 45/60 gewährleistet. Die Formsteinsilos vom Typ HS 091 und HS 25 sind für die Bereitung von Welksilage im idealen Trockenmassebereich von 35 bis 40 Prozent gut geeignet. Grüngüter mit Trockenmassegehalten unter 30 Prozent sind für den HS 091 aus Belastungsgründen nicht zugelassen und verursachen beim HS 25 F, bedingt durch seine Bauweise, Undichtheiten im Wand- und Lukenbereich. Der austretende hochaggressive Gär-saft führt zu Korrosionserscheinungen am Bauwerk, reduziert damit die Nutzungsdauer des Silos wesentlich und erfordert erhöhte Aufwendungen für seine Instandhaltung.

Für Welkgutarten im gärbio-logisch vertretbarem Trockenmassebereich von 25 bis max. 60 Prozent sind Bauweisen zu bevorzugen, die von der Konstruktion bessere Voraussetzungen für eine flüssigkeits- und gasdichte Ausführung sichern. Diese Voraussetzungen erfüllen monolithische Bauweisen am besten. Deshalb wurde das Angebot des VEB LIA Nauen durch einen monolithischen Stahlbetonsilo vom Typ HS 25 M ergänzt, der im wesentlichen die gleichen Parameter wie der HS 25 F besitzt.

Die Forderung nach Wasser- und Gasdichtigkeit kann auch bei dem Typ HS 25 M nur durch dafür geeignete sekundäre Schutzsysteme erfüllt werden. Nach dem derzeitigen Erkenntnisstand kommen dafür Kunststoffbeschichtungen auf Polyvinylchlorid- bzw. Epoxidharzbasis in Frage.

Tafel 2. Technisch-ökonomische Parameter von Hochsilos (Angebotsprojekt)

	HS 091	HS 25 M
Eingebauter Raum (ER)	880 m ³	2.330 m ³
Durchmesser	7,32 m	12 m
Höhe	22 m	22 m
Bauweise	Formstein	monolith. Stahlbeton
zulässiger Trockenmassegehalt des Lagerguts	30 ... 50 %	20 ... 60 %
Investitionen (Abgabepreis an die Landwirtschaft)	177,00 M/m ³ ER	180,00 M/m ³ ER

Mit Hochsilos werden im Vergleich zu Horizontalsilos durch die Bauweise folgende Vorteile erreicht:

- 30 bis 40 Prozent höhere Lagerungsdichten ohne aktive Verdichtung
- 80 Prozent kleinere Futterstockoberfläche
- geringerer Flächenbedarf
- bessere Voraussetzungen zum Anschluß an stationäre Fütterungsketten.

Der wesentliche Nachteil der Hochsilos ist der zur Zeit 2- bis 2,5fache Investitionsbedarf gegenüber mobil bewirtschafteten Horizontalsilos.

Senkungen des Investitionsbedarfs sind durch Volumenvergrößerungen der Hochsilos möglich. Untersuchungen im Institut für Landwirtschaftliche Bauten der Bauakademie weisen dazu aus, daß mit einer Durchmesser-vergrößerung von 12 auf 15 m und einer damit verbundenen Volumenvergrößerung von 2 500 auf 4 000 m³ eine Preissenkung bezogen auf die Kosten je m³ um rd. 25 Prozent erreichbar ist. Diese Erwartungswerte konnten durch den Bau einer Versuchsanlage bestätigt werden.

Weitere Preissenkungen sind durch eine belastungsgerechte Dimensionierung der Hochsilos und durch Rationalisierung der zur Zeit ausgeführten Siloboden-Entnahmekanallösung möglich. Neben dem Investitionsaufwand sollte künftig als zusätzliches Bewertungskriterium bei der Beurteilung von Hochsilos die Materialökonomie mehr als bisher berücksichtigt werden. Für die Perspektive kommen auch neue Konstruktionsformen und Bauweisen für den Hochsilobau in Betracht. Zur Entlastung der für die Errichtung von monolithischen Hochsilos erforderlichen Spezialbaukapazität werden zur Zeit großformatige Stahlbetonfertigteilsilos von der Forschung untersucht.

In Tafel 2 sind die wichtigsten technisch-ökonomischen Parameter der Hochsilo-Angebotsprojekte für die Grünfuttersilierung zusammengestellt /5/.

3.2. ... für die Hackfrucht-konservierung

Hochsilo-Angebotsprojekte für die chemische Konservierung von Hackfrüchten liegen zur Zeit nicht vor.

Eine 1972 errichtete Beispielanlage für die chemische Konservierung von Zuckerrübenschnitzeln entspricht dem derzeitigen bautechnischen Entwicklungsstand.

Die Erfahrungen beim Bau und bei der bisherigen Nutzung dieser Hochsilos haben den Nachweis erbracht, daß für die Grüngütersilierung und die chemische Konservierung von Hackfrüchten weitgehend einheitliche Bau- und Mechanisierungslösungen verwendet werden können. Damit ist eine entscheidende Zielstellung für die Entwicklung von Hochsilos für die nächste Generation erfüllt. Bautechnisch werden an Hochsilos für die chemische Hackfrucht-konservierung hohe Anforderungen gestellt. Im Gegensatz zur Grüngütersilierung wird bei der chemischen Konservierung von Hackfrüchten der Fruchtsaft aus fütterungs- und konservierungstechnischen Gründen eingestaut. Dadurch wird der Silokörper während der gesamten Konservierungsperiode durch das Füllgut hydrostatisch belastet. Hochsilos für die chemische Konservierung von Hackfrüchten sind deshalb konstruktiv wie Flüssigkeitsbehälter auszubilden. Die im Gleitverfahren hergestellten Betonwänden sind primär nicht wasserdicht und müssen deshalb mit einem geeigneten sekundären Schutzsystem gegen Flüssigkeitsdurchtritt und Korrosion beschichtet werden. Unter gleichzeitiger Berücksichtigung der chemischen Beanspruchung der Silowände durch Milch-, Essig-, Benzoe- und Ameisensäure sowie der mechanischen Beanspruchungen durch die Mechanisierungseinrichtung ergeben sich sehr hohe Anforderungen an die erforderliche Beschichtung der Siloinnenwände. Nach dem derzeitigen Erkenntnisstand kann für diese Beschichtung zur Zeit nur glasfaserverstärktes Polyester, im Spritzverfahren aufgetragen, empfohlen werden.

Vergleichsuntersuchungen mit anderen Silobaustoffen haben ergeben, daß Stahlbehälter für die chemische Konser-

Tafel 3. Technisch-ökonomische Parameter von für die chemische Konservierung geeigneten Hochsilotypen

	ME	HS 25 M Versuchsbehälter		
		Stahlbeton	Stahl	
Eingebauter Baum (ER)	m ³	2330	3635	3635
Durchmesser	m	12	15	15
Höhe	m	22	22	22
Bauweise		mono-lithisch	Stahlbeton	SchweißBk.
Zementverbrauch	kg/m ³ ER	81	67	
Stahlverbrauch	kg/m ³ ER	26	19,5	
Bauinvestitionen	M/m ³ ER	182 ¹	141 ¹	140 ²

¹ glasfaserverstärktes Polyester

² Kunststoffbeschichtung auf EP-Basis

vierung hinsichtlich Gasaustausch und Flüssigkeitsdichtheit gut geeignet und ökonomisch mit Stahlbetonbehältern gleichwertig einzuschätzen sind.

Die wichtigsten technisch-ökonomischen Parameter von Hochsilos, die für eine chemische Konservierung von Hackfrüchten geeignet sind, werden in Tafel 3 aufgeführt.

4. Abschließende Einschätzung des derzeitigen Entwicklungsstandes

Die Forschungsarbeiten zur einheitlichen Gestaltung von Silage- und Konservathochsilos begannen erst im Jahre 1969. Seit dieser Zeit sind auf diesem Gebiet dank einer guten Zusammenarbeit zwischen VEB LIA Nauen, dem Institut für Mechanisierung Potsdam-Bornim, dem

Dr. G. Otto*
Dipl.-Landw. A. Neuschulz, KDT*
Dipl.-Ing. E. Scherping*

Industriemäßige Verfahren der Silierguternte und -einlagerung müssen die Voraussetzungen bieten, um das Siliergut in den verfügbaren Erntezeitspannen möglichst ohne Wertminderung zu bergen und Silage mit hoher Qualität zu erzeugen.

Anforderungen an die Leistungsfähigkeit

Bei der Entwicklung von leistungsfähigen und funktions-sicheren Verfahren der Silagebereitung ist es erforderlich, die Leistungsparameter der Maschinen für die Futterernte und für die Einlagerung technologisch aufeinander abzustimmen. Die Kapazität der Maschinen für den Siliergutumschlag leitet sich aus den gärbiologischen Anforderungen und dem Durchsatz der komplex eingesetzten Erntemaschinen ab.

Mit einem hohen maximalen Durchsatzvermögen der Beschickungs- und Entnahmetechnik läßt sich auch eine Verbesserung der Betriebssicherheit für mittlere Durchsätze erreichen.

Die Versorgung großer Tierproduktionsanlagen und die schnelle Beladung von Transportfahrzeugen an zentralen Siloanlagen bestimmt die Durchsätze für die Entnahmesmaschinen.

In Tafel 1 sind die absehbaren Durchsatzanforderungen bei der Beschickung und Entnahme zusammengefaßt.

* Institut für Mechanisierung Potsdam-Bornim der AdL der DDR (Direktor: Obering. O. Bostelmann)

¹ Vortrag zur Wissenschaftlich-technischen Tagung „Maschinen, Anlagen und Verfahren für die industriemäßige Futterproduktion“ der KDT am 10. und 11. Mai 1973 in Neubrandenburg

Institut für Futterproduktion Paulinenaue und dem Institut für Landwirtschaftliche Bauten der Bauakademie große Fortschritte gemacht worden. Der mögliche Endstand ist jedoch noch nicht erreicht.

Besondere Anstrengungen sind auf dem Gebiet des Korrosionsschutzes der Betonkonstruktionen zu unternehmen. Diese Aufgabe ist ein internationales Problem. Eine kurzfristige Lösung ist nur in sozialistischer Wissenschaftskooperation vor allen Dingen mit der Sowjetunion zu erwarten.

Das Institut für Mechanisierung und die Bauakademie der DDR vertreten die Ansicht, daß industriemäßig produzierende Anlagen mit großen Tierkonzentrationen und die Entwicklung neuer Futtererntetechniken größere Lageräume für die Futtermittelkonservierung erfordern und ermöglichen. Dafür liegen mit den vorgestellten Pilotanlagen erfolgversprechende Konstruktionslösungen vor.

Literatur

- 1/ Wulff, H. u. a.: Analyse der Praxisbestlösungen. Institut für Landwirtschaftliche Bauten der BA 1972 (unveröffentlicht)
- 2/ —: Projektgrundlösung für ein hohes Horizontalsilo. Institut für Landwirtschaftliche Bauten der BA 1972 (unveröffentlicht)
- 3/ —: Neue Lösungen für die Konservatfutterproduktion. Institut für Futterproduktion Paulinenaue Nov. 1971, VD 92/58/71 (unveröffentlicht)
- 4/ —: Erarbeitung von Maßnahmen zum verbesserten Korrosionsschutz bei Stahlbetonkonstruktionen in Düngemittellagern, Silos und Güllebehältern. Institut für Landwirtschaftliche Bauten der BA Nov. 1972, VD 4 85/72 (unveröffentlicht)
- 5/ —: Information über Angebotsprojekte für Hochsilos. VEB LIA Nauen/VEB Lapro Potsdam Nov. 1972 A 9199

Maschinen und technische Ausrüstungen für die Grünfuttersilierung¹

Unter Berücksichtigung der verfügbaren Erntezeitspannen, der täglichen Mindestfüllmenge der Behälter und der zulässigen Fülldauer wird künftig die Einlagerung großer Futtermassen in noch geringeren Zeitspannen als gegenwärtig mit etwa 7 Tagen bei Hochsilos und 10 Tagen bei großvolumigen Horizontalsilos je Behälter notwendig.

Beimischung von Zusätzen

Zur Erhöhung der verfahrenstechnischen Sicherheit und zur Nährstoffanreicherung sind technische Einrichtungen für das Ausbringen streufähiger Zusätze als Siliermittel bzw. Harnstoff erforderlich. Entsprechend den Verfahrensgelösungen werden diese Einrichtungen als Aubaugeräte für den Feldhäcksler und als Zusatzgeräte bei der stationären Beschickungsstrecke bei Hochsilos vorgesehen. Als Dosierprinzip haben sich Tellerdosierer mit Schöpfrädern bewährt. 1973 wird der VEB Kombinat Fortschritt, Neustadt, in Zusammenarbeit mit Forschungseinrichtungen der AdL die ersten Geräte einsetzen.

Tafel 1. Durchsätze bei der Beschickung von Hoch- und Horizontalsilos und bei der Entnahme

Siliergut	Massedurchsätze t/h in T ₁			
	Beschickung bis nach		Entnahme bis nach	
	1975	1975	1975	1975
Welkgut	50	75	10	20
Frischgut				
— Mähfrüchte	100	≈150	25	35
— Rübblatt	100	≈150	25	35