

Systemen liegenden Aufwendungen für Maschinen. Sie könnten ggf. sowohl durch bessere Raumausnutzung als auch durch billigere Bauverfahren vermindert werden, wobei der besseren Raumausnutzung durch rationelle Baugestaltung dahingehend Rechnung getragen werden sollte, daß die Arbeitsfläche zugunsten der Lagerraumfläche einzuschränken und Boxengröße sowie Fassungsvermögen zu erweitern wären.

Die hohen Maschinenkosten würden dieses Verfahren aber in jedem Fall stark belasten. Sie liegen etwa 8mal so hoch wie bei der Einlagerung in Mieten, ohne daß damit Lohnkosten in gleicher Höhe eingespart würden. In größeren Lagerhäusern lassen sie sich durch stärkere Ausnutzung allerdings bis auf etwa die Hälfte senken. (S. Übersicht 2.)

Die Wulfsoder Grabenmiete

Im Vergleich zu den beiden bisher behandelten Einlagerungsverfahren ermöglicht die Wulfsoder Grabenmiete, selbst bei dem zwangsläufig überhöhten, auf Sortierer und Förderband entfallenden Maschinenbesatz, augenblicklich eine Kartoffel-einlagerung mit dem geringsten Kostenaufwand. Dies geht aus Übersicht 3 einwandfrei hervor:

Eine höhere Belastung wird sich allerdings dann ergeben, wenn die geplante bauliche Weiterentwicklung des Systems — Überdachung und Sortierraumvorbau — höhere Baukapitalbelastungen mit sich bringt.

Werden die Gesamtkosten der 3 Einlagerungssysteme miteinander verglichen, so ergibt sich, daß

die Wulfsoder Grabenmiete wesentlich billiger ist als der Kartoffellagerhausbetrieb, aber auch noch erheblich billiger als das Erdmietenverfahren.

Übersicht 4

Einlagerungskosten in DM/dz

	Erdmiete		Kartoffel-Lagerhaus		Wulfsoder Grabenmiete	
	Saatgut	Speisew.	Saatgut	Speisew.	Saatgut	Speisew.
a) Mietenmaterial	0,24	—	—	—	0,01	—
b) Baukapital	—	—	1,28	—	0,29	—
c) Maschinenkapital	0,08	—	0,56	—	0,08	—
d) Anfuhrkosten	0,02	—	0,02	—	0,02	—
e) Lohnkosten	0,66	—	0,57	—	0,53	—
f) Wartungskosten u. a. m.	—	—	0,12	—	—	—
g) Stromkosten	—	—	0,10	—	—	—
h) Kosten durch Schwund ¹⁾	2,—	1,—	0,70	0,35	1,30	0,65
Gesamtkosten	3,—	2,—	3,35	3,00	2,23	1,58

Wie sich aus alledem ergibt, werden die Lagerungskosten im Kartoffelbau durch das jeweils zur Anwendung gelangende Einlagerungsverfahren wesentlich beeinflußt. Im übrigen übt das Variieren der zu erwartenden Verkaufspreise — wie es die obige Tabelle aufzeigt (Saat- und Speiseware) — und der Einlagerungsmengen sowie die Art der Einlagerungsprodukte auf die Rentabilität der verschiedenen Einlagerungsverfahren entscheidenden Einfluß aus.

¹⁾ Verbraucherpreise.

Arno Manig, Institut für landwirtschaftliche Bauforschung

FLACHSILOS IN DEN USA

In den USA gewinnt der Flachsilo für die Gärfutterbereitung immer mehr an Bedeutung. Die Ursachen dieser Entwicklung sind recht verschiedener Art. Entscheidend ist im allgemeinen nicht so sehr, wie bei uns, der Preisunterschied gegenüber dem Hochsilo, obwohl diese Behälter mit mechanischer Entnahme, wie z. B. der Harvestore-Silo durchschnittlicher Größe, 4000 bis 5000 \$ kosten. Maßgebend sind vielmehr Veränderungen in der Form der Grünfütterernte. In den USA hat sich seit dem Kriege der Feldhäcksler in rasch zunehmendem Maße als die Futtererntemaschine durchgesetzt. Damit mag der Anstoß gegeben worden sein, an Stelle der arbeitsaufwendigeren Silagebereitung im Hochsilo den arbeitswirtschaftlich einfacheren Flachsilo zu bevorzugen. Dies geschieht selbst auf die Gefahr hin, daß die Nährstoffverluste bei dieser Art der Gärfutterbereitung größer sind als beim Hochsilo, da die Farmen als Familienbetriebe mit einer durchschnittlichen Größe von 200 acres und mehr = 80 bis 100 ha dem Farmer eher Futtermittelverluste als erhöhten Arbeitsaufwand erlauben.

Die folgenden Ausführungen sollen einen Überblick über die Bauweisen, Silogrößen und statischen Berechnungsgrundlagen geben, die beim Bau von Flachsilos in USA angewendet werden.

Silogröße

Sie richtet sich nach der Anzahl der Tiere und ihrer täglichen Ration. Mit diesen beiden Werten wird, wie bei uns, der Querschnitt festgelegt, es sei denn, daß die Direktfütterung von Milchvieh im Flachsilo andere Breitenmaße erfordert. Die Mindestbreite der Silosohle ist 8' = 2,45 m, um noch mit Fahrzeugen durchfahren zu können. Die Einbautiefe der Silos im Gelände richtet sich naturgemäß nach dem Grundwasserstand und der Ableitung von Sicker- und Abwässern. Die Höhe der Seitenwände beträgt selten über 8' = 2,45 m. Oft liegt die Silosohle nur $\frac{2}{3}$ dieses Wertes unter Terrain, um Erdarbeiten zu ersparen. Das letzte Drittel der Höhe wird dann durch Anschütten des Bodenaushubes gewonnen. Die Seitenwände sind geneigt, gewöhnlich im Verhältnis 1:4, damit der Silagestapel vom Schlepper auch in den Randzonen gut zusammengepreßt werden kann. Die Länge des Flachsilos wird im wesentlichen durch die Dauer der Fütterungsperiode bestimmt, die sich im eigentlichen Milchwirtschaftsgebiet mit seinem reichlichen Grünland auf die Winterfütterung beschränkt. In den USA werden Siloabmessungen, wie sie in der nachstehenden Übersicht gebracht sind, empfohlen, wobei ein Silagegewicht von 560 kg/m³ und eine tägliche Ration

Übersicht

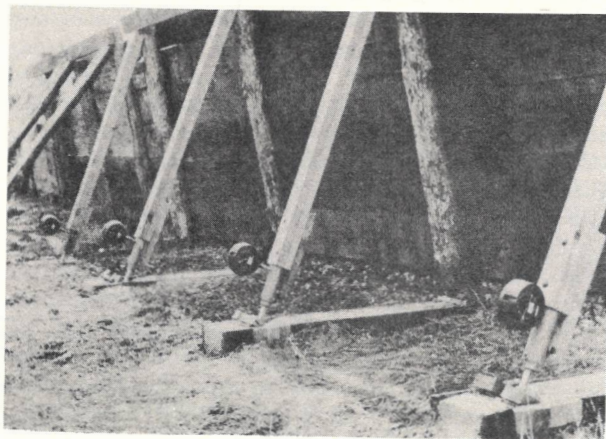
Anzahl der Kühe	Breite		Tiefe	Silolänge für eine Fütterungszeit von			Ungefäher Siloinhalt kg/ld. m
	Sohle	oben		140 Tg.	175 Tg.	210 Tg.	
	m	m	m	m	m	m	
10	2,45	3,35	1,85	8,20	10,40	12,50	3330
15	2,45	3,35	1,85	12,50	15,60	18,60	3330
20	2,45	3,65	2,45	11,60	14,60	17,70	4670
25	2,45	3,65	2,45	14,60	18,30	21,90	4670
30	3,05	4,25	2,45	14,60	18,30	21,90	5670
40	3,65	4,90	2,45	16,80	21,00	25,30	6660
50	3,65	4,90	2,45	21,00	26,20	31,40	6660
75	3,75	4,90	2,45	31,40	39,30	47,20	6660
100	4,90	6,10	2,45	32,60	40,80	48,80	8330

von 16 kg zugrunde gelegt sind. Für auftretende Verluste sind rd. 10% eingeschlossen.

Statische Grundlagen

Um auch für den Flachsilo ähnlich wie beim Hochsilo allgemeine Berechnungsgrundlagen zu besitzen, unternahm die Missouri Agricultural Experiment Station in den Jahren 1953 und 1954 Versuche zur Messung des Seitendruckes, den Silage und Schlepper auf die Silowände ausüben. Das Versuchsmaterial bestand aus einer Mischung von Gras und Leguminosen. Es war bei einer Meßreihe ungehäckelt mit einem Feuchtigkeitsgehalt von 70%, bei der anderen, für die Auswertung maßgeblicheren Meßreihe, gehäckelt mit einem Feuchtigkeitsgehalt von 77,5%. Bild 1 zeigt die Versuchsanordnung. Die Versuchswand hatte eine Länge von 6,10 m, eine Höhe von 1,83 m und bestand aus Holzbohlen, die im Abstand von ca. 2 m an Unterlagshölzern befestigt waren. Die bewegliche Wand wurde am Fuß der Unterlagshölzer durch Scharniere gehalten und oben durch Holzstreben gestützt. In diesen waren die Druckmeßvorrichtungen eingebaut. Es wurde zunächst der reine Silagedruck gemessen, dann der auftretende Druck während der Pressung durch den Schlepper, weiterhin der Druck unmittelbar nach dem Preßvorgang, also nach Herausfahren des Schleppers aus dem Silo und schließlich die Druckentspannung nach Ablauf von 12 Stunden. Die Auswertung der Versuchsergebnisse führte zu folgenden Empfehlungen als Berechnungsgrundlage beim Bau von Flachsilos:

- a) Der durch die Silage hervorgerufene Seitendruck kann bei allen Silagehöhen mit 100 lb./sq. ft. = 490 kg/m² Wandfläche angesetzt werden.



- b) Die beim Pressen vorübergehend auftretende Belastung durch den Schlepper ist zu berücksichtigen. Dieser zusätzliche Seitendruck entspricht für Schlepper mit einem Raddruck von 2100 lb. = 980 kg — wie bei den Versuchen verwendet — einer Einzellast von 400 lb. = 180 kg.

Bauweisen

Die einfachste Bauform für Grabensilos besteht aus einem mehrfachen Auftragen von Betonmörtel auf die Erdböschung (Bild 2 und 3). Dieses Verfahren läßt sich jedoch nur in Gebieten mit trockenem, gemäßigttem Klima ohne Frostgefahr sowie bei guter Standfestigkeit des Bodens auf die Dauer mit Erfolg anwenden. Die Grabenböschungen werden hierbei in der festgelegten Neigung hergestellt und gut geblättert. Am Fuß der Böschung wird eine Vertiefung, 20 cm tief und 45 cm breit, ausgehoben. Sie bildet den Anschluß der Siloseitenwände zur Silosohle. Die Oberkante der Böschung wird abgerundet und läuft

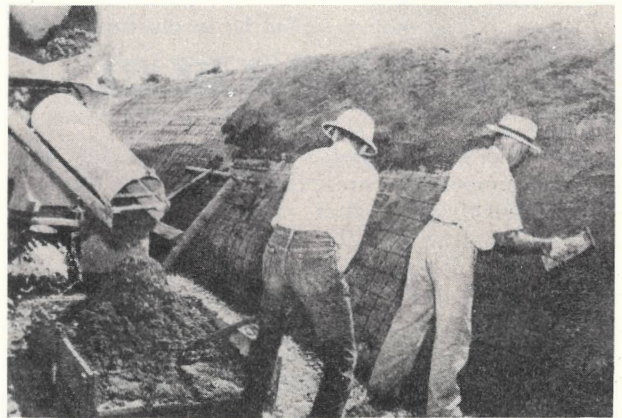
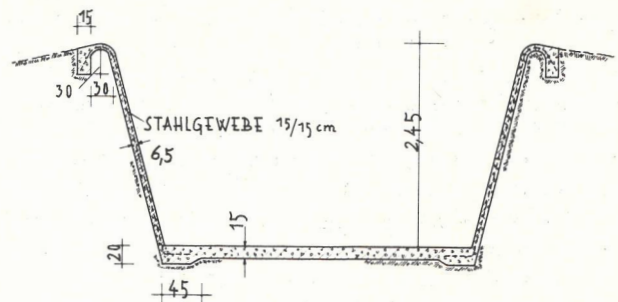


Bild 1 (links): Versuchsanordnung zur Messung des Seitendruckes bei Flachsilos.

Bild 2 (oben) und 3 (unten): Grabensilo in Putztechnik.



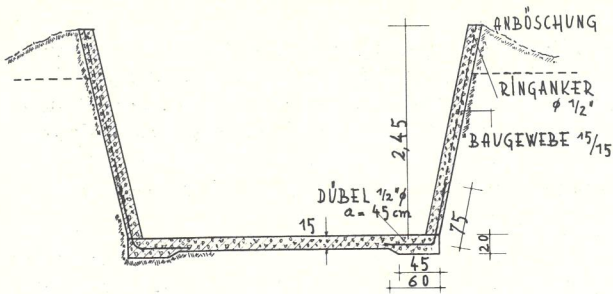


Bild 4 (oben): Grabensilo mit eingeschalteten Stahlbetonwänden.

Bild 5 und 6 (unten): Grabensilo mit auf der Silosohle hergestellten Stahlbeton-Wandplatten.

Bild 8 (rechts): Wandplatten eines Flachsilos werden mit einem Kran gegen Betonstützpfiler gesetzt.

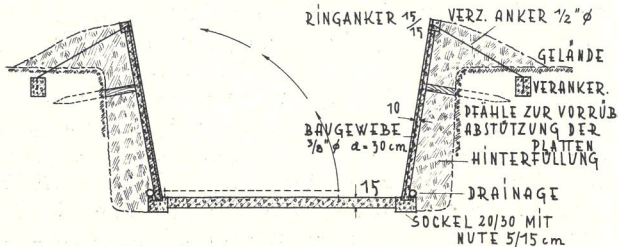
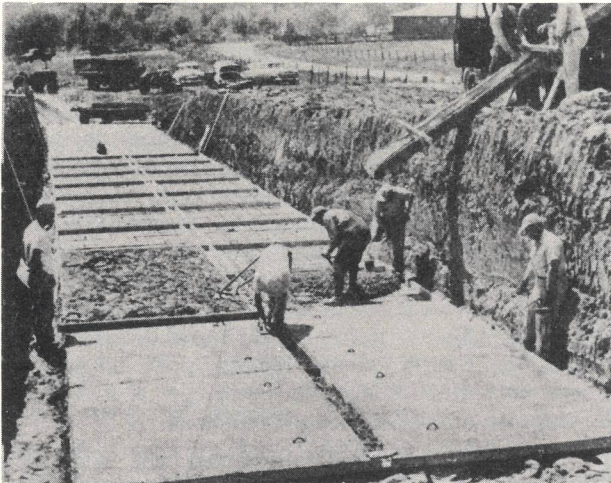
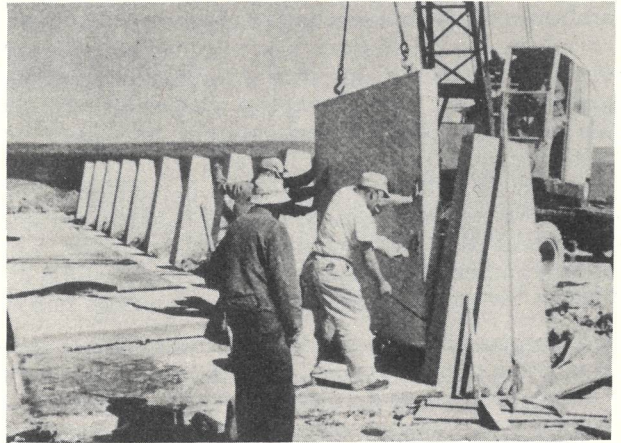
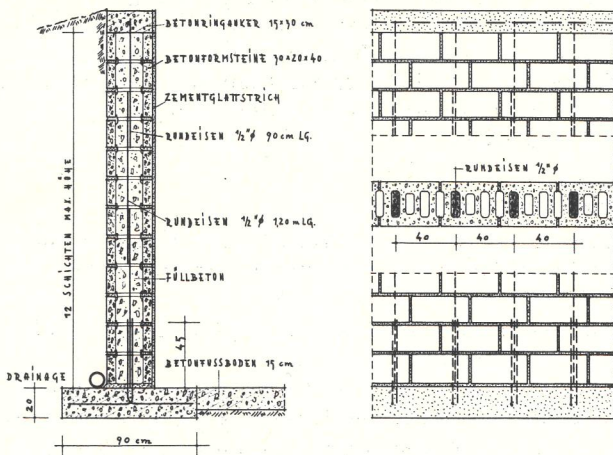


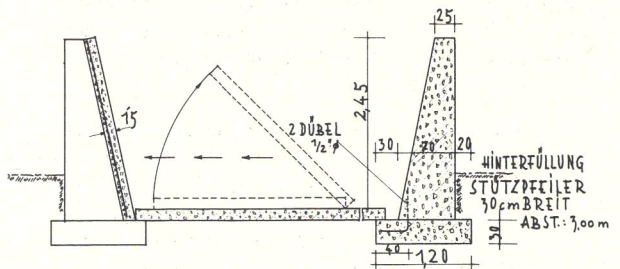
Bild 7 (unten): Grabensilo aus Beton-Hohlblock-Steinen.

Bild 9 (rechts): Flachsilo aus Betonstützpfilern und Stahlbetonwandplatten.



in einer 15 cm breiten und 30 cm tiefen Randverstärkung aus, die eine Unterspülung der Wände verhindern soll. Vor Beginn der Betonierungsarbeiten muß die Erdböschung angehäßt werden, um ein zu schnelles Austrocknen des Betons und damit Rißbildung zu vermeiden. Dann wird eine erste, etwa 2 cm starke Betonschicht aufgebracht. Auf dieser verlegt man als Bewehrung Drahtgeflechtmatten mit einer Maschenweite von 15×15 cm, die Mattenstöße sind um eine Masche überlappt. Die Bewehrung führt man unten bis in die verstärkte Silosohle, oben bis in den abschließenden Betonstreifen. Dann wird weiter Betonmörtel aufgebracht, bis die Wandstärke etwa 6 cm beträgt. Anschließend trägt man eine Betonfeinschicht auf, die mit dem Handbrett gut verrieben und der Kelle geglättet wird. Den Abschluß der Bauarbeiten bildet die Herstellung der Grabensohle. Sie ist 15 cm stark, wird aus erdfeuchtem Beton gestampft und erhält ein Längsgefälle von 20 mm/lfd. m zur Entnahmeseite hin, damit Sickersaft und eindringendes Regenwasser gut ablaufen können.

Dauerhafter ist eine Konstruktion mit massiven Betonwänden, in Schalungsbauweise hergestellt (Bild 4). Die Bauarbeiten beginnen hier mit der Betonierung der 15 cm starken Silosohle. Ihre Ausführung einschließlich Verstärkung der Randzonen sowie die Anordnung des Längsgefälles entspricht der vorher beschriebenen Konstruktion. In die Randzonen der Bodenplatte werden Rundeseisen $\text{Ø } 1/2''$ als Anschlußseisen für die aufgehenden Silowände im Abstand von 45 cm einbetoniert. Bei standfestem Boden mit sorgfältig geglätteter Erdböschung verzichtet man auf die Außenschalung. Die Innenschalung wird nur für einen so breiten Abschnitt hergerichtet, daß er der Tagesarbeitsleistung beim Betonieren entspricht. Als Wandbewehrung werden Baustahlmatten mit Maschenweite 15×15 cm verlegt; die Ausbildung der Mattenstöße und der An-



schluß an die Eckbewehrung erfolgen wie vorher beschrieben. Nach Erhärten des eingebrachten Betons wird die Schalung um eine Abschnittsbreite vorgeschoben. Der Arbeitsvorgang wiederholt sich, bis die gesamte Silolänge fertiggestellt ist. Liegt der Silo nur zum Teil unter Terrain, so ist die überstehende Wandfläche zweiseitig einzuschalen. Für diesen Fall ist zu beachten, daß das Hinterfüllen und das Anschütten des abschließenden Erdwalles vorsichtig und erst nach einer Woche erfolgt, sobald die Wände die erforderliche Festigkeit erreicht haben.

Die vorgenannte Konstruktion erfordert einen großen Schalungsaufwand. Um ihn zu vermindern, werden bei einer anderen Konstruktionsart die Silowände durch Betonplatten, die man auf der Silosohle herstellt, gebildet (Bild 5 und 6). Zunächst baut man an beiden Grabenlängsseiten Betonsockel mit einem Querschnitt von 30×20 cm ein. Dann wird der zwischenliegende, 15 cm starke Siloboden aus Beton in der bereits beschriebenen Art eingebracht, wobei in diesem Fall besonders darauf zu achten ist, daß die Oberfläche sorgfältig abgeglichen und geglättet ist, da sie als Schalfäche zur Herstellung der Betonwandplatten dient. Man bedeckt diese Fläche mit Papier, Segeltuch oder ähnlichem, um eine Bindung mit der Wandplatte zu verhindern. Die Plattengröße wird so gewählt, daß man die fertig betonierete Platte mit betriebseigenen Geräten wie Winden, Schlepper usw. aufrichten kann. Ist der Siloboden mindestens doppelt so breit wie die Silowand hoch ist, werden beide Wände gleichzeitig nebeneinander hergestellt. Bei einem schmaleren Silo stellt man die Wandplatten übereinander her und trennt sie beim Betonieren wie vorher durch Papier o. ä. Bei einer Stärke von 10 cm haben die Platten eine Bewehrung aus kreuzweise verlegten Rundeisen $\phi \frac{3}{8}$ ", Abstand 30 cm. Hiervon wird jedes zweite Eisen etwa 10 cm aus der Plattenoberkante herausgeführt als Anschlußisen für den später zu betonierenden Silorandbalken. Zum Aufrichten werden Haken aus Rundeisen, $\phi 10$ mm, in die Platten einbetoniert. Nach mindestens 7tägiger Abbindezeit werden die Wandteile hochgekippt, unten in die Ausnehmung im Betonsockel gestellt und oben gegen vorher eingeschlagene Holzpfähle gelehnt. Dann werden die Wandplatten ausgerichtet. Als abschließende Siloberkante wird an jeder Längsseite ein durchgehender Betonbalken mit einem Querschnitt von 15×15 cm angeordnet, bewehrt mit 2 Rundeisen $\phi \frac{3}{8}$ " und durch $\frac{1}{2}$ " starke verzinkte Rundeisen an Betonklötzen verankert.

Zur Ableitung des aus dem Erdreich kommenden Sickerwassers verlegt man hinter den Silowänden Drainrohre.

Ungünstige Erddruckverhältnisse können für Grabensilos den Bau von Stützwänden erforderlich machen. Es kommen hierbei entweder eine Schwerkrafts- oder eine Winkelstützmauer in Frage; ihre Bauausführung ist bekannt.

Nicht uninteressant ist dann noch eine Konstruktion aus Beton-Hohlblocksteinen (Bild 7). Die $30 \times 20 \times 40$ cm großen Steine werden auf einem 90 cm breiten Streifenfundament aus Beton im Blockverband verlegt, wobei die aus dem Fundament hochgezogenen Bewehrungsisen — $\phi \frac{1}{2}$ ", Abstand in der unteren

Wandhälfte 40 cm, oben 80 cm — in den Aussparungen der Steine geführt werden, die dann mit Zementmörtel vergossen werden. Den oberen Wandabschluß bildet ein Betonbalken mit einem Querschnitt von 15×30 cm, in den ein Rundeisen $\phi \frac{1}{2}$ " eingelegt wird. Die Innenwände erhalten einen Zementglattstrich.

In manchen Fällen werden der zu hohe Grundwasserstand oder sonstige Umstände nur eine Anordnung des Silos über Terrain zulassen. Dort werden Flachsilos aus Wandplatten und Betonstützpfelern gebaut (Bild 8 und 9). Die Pfeilerfundamente mit Abmessungen von $120 \times 60 \times 30$ cm werden zuerst hergestellt. Sie erhalten 2 Anschlußisen $\phi \frac{1}{2}$ " für die Stützpfelern. Der Stützenquerschnitt beträgt unten 30×70 cm und oben 30×25 cm bei einem Achsabstand von 3,0 m. Die Silosohle ist wiederum 15 cm stark; sie endet jedoch 15 cm vor den Pfeilern, damit die Wandplatten später in den Zwischenraum eingesetzt werden können. Bei gleicher kreuzweiser Bewehrung wie vorher — $\phi \frac{3}{8}$ ", Abstand 30 cm — haben die Silowände jedoch eine Stärke von 15 cm. Da bei dieser Konstruktion die Wandbewehrung außen liegen muß, eine zusätzliche Bewehrung zum Aufrichten der Platten aber vermieden werden soll, muß das Hebezeug hier in der Lage sein, das gesamte Wandplattengewicht (2700 kg) zu tragen und bis an die Stützpfelern zu versetzen. Es entstehen also zusätzliche Kosten durch den Einsatz eines Kranes, weil die auf der Farm vorhandenen Geräte nicht die Montage der Wandplatten durchführen können.

Die hier geschilderten Bauweisen von Flachsilos geben einen Überblick über den Stand der Entwicklung in den USA. Da die dortigen Verhältnisse nicht ohne weiteres mit den deutschen gleichzusetzen sind, soll dieser Bericht nur Anregungen vermitteln. Die Unterschiede zwischen hier und dort beziehen sich vor allem auf die Belastungsannahmen und auf die konstruktiven Auffassungen, die in Deutschland u. U. andere Bauweisen vorschreiben können. Z. B. hat die Qualität der Rübenblattsilage, die in USA keine Rolle spielt, nicht nur höhere Belastungen der Wände, sondern auch einen stärkeren Sickersaftanfall zur Folge. Damit treten nicht nur andere konstruktive Anforderungen auf, sondern es werden auch die Fragen des Wandschutzes und der Sickersaft- und Regenwasserabführung akut. Und nicht zuletzt besteht im Zusammenhang mit der Verminderung der Nährstoffverluste das Problem der Abdichtung und des Wetterschutzes der Silooberfläche. Auf diesen Gebieten ist deshalb für die deutsche Landwirtschaft noch weitere Entwicklungsarbeit zu leisten.

Schrifttumsnachweis

1. ESMAY, M. L., and D. B. BROOKER: Lateral Pressures in Horizontal Silos. *Agricultural Engineering*. 1955, S. 651—653.
2. Concrete Horizontal Silos. Chicago: Portland Cement Association 1954.
3. McCALMONT, J. R.: Silos — Types and Construction Washington 1948 (USDA Farmers Bull. 1820).
4. Trench Silos. 1953 (Pennsylvania State College, Special Circular 7).