

## Flachsilo – Bau und Technik

### Ausgereifte, sinnvolle Alternative zum Hochsilo

Ruedi Jakob und Ludo Van Caenegem, Eidg. Forschungsanstalt für Betriebswirtschaft und Landtechnik (FAT), CH-8356 Tänikon

Der Investitionsbedarf nach Unternehmerpreisen gerechnet ist bei Flachsilos – wenn keine zusätzlichen gewässerschutztechnischen Mass-

nahmen notwendig sind – zirka 20% tiefer als bei Hochsilos. Flachsilos aus Ortbeton benötigen gesamthaft weniger Platz und sind bei kleineren

Einheiten etwas teurer als Silos, die nach dem System Traunstein gebaut werden. Sofern die Flachsilos richtig zugedeckt werden, hat die Wandneigung keinen Einfluss auf die Futterqualität (Abb. 1a und 1b). Wichtig ist bei beiden Flachsilovarianten, dass der Bau unter Anleitung eines Fachmannes erfolgt.

Bei der Ernte und Einlagerung von Gras oder Mais ist beim Hoch- oder Flachsilo der Mechanisierungsgrad entscheidend. Schlagkräftige Verfahren sind bei beiden Siloformen möglich, sollten aber überbetrieblich gelöst werden. Die Unterschiede betreffend Arbeitsaufwand und jährlichen Kosten pro dt TS sind bei gleicher Mechanisierungsstufe relativ gering. Wenn gleicher Arbeitskomfort vorausgesetzt wird, ist vor allem die Entnahme im Flachsilo wesentlich kostengünstiger als im Hochsilo.

Bei Maishäcksel mit 30% TS fallen relativ hohe Mengen an Gärtsaft an. Kein Gärtsaft entsteht bei angewelktem Gras mit über 30% TS oder wenn der Mais (30% TS) auf angewelkte Grassilage (40% TS) eingefüllt wird.

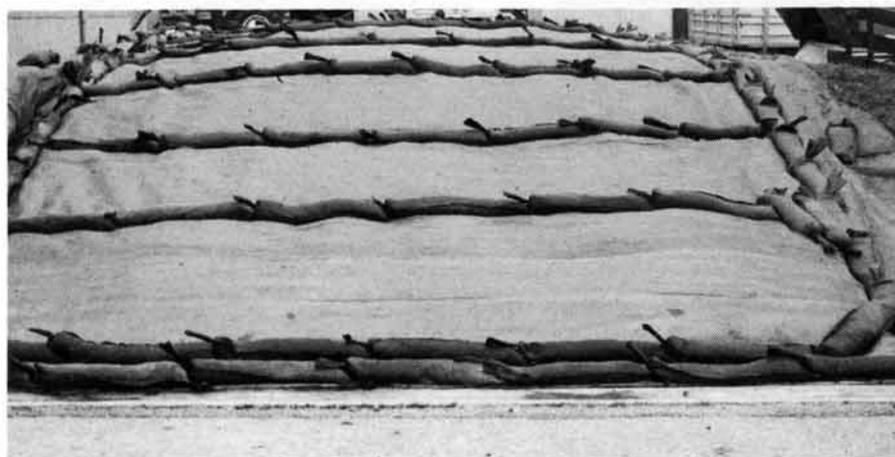
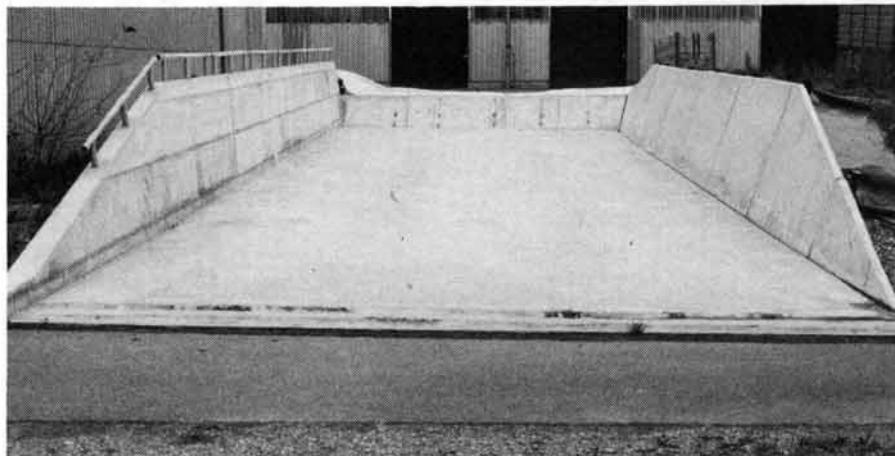


Abb. 1a und 1b: Versuchssilo an der FAT. Eine Wand aus Ortbeton mit Geländer (links), die andere Wand aus Betonfertigteilen (System Traunstein). Sauber zugedeckte Flachsilos verlangen einen hohen Arbeitsaufwand, sind dafür aber in der Landschaft kaum sichtbar.

Inhalt	Seite
Problemstellung	2
Versuchsanlage	2
Bau	2
Verfahrenstechnik	6
Gewässerschutz	10
Schlussfolgerungen	13
Literatur	16

**Problemstellung**

Die Diskussion um die geeignete Siloform (Flach- oder Hochsilo) ist kontrovers. Während die Befürworter von Hochsilos niedrigere Silierverluste, bessere Gärfutterqualität und geringeres Risiko bei der Futterkonservierung hervorheben, verweisen die Verfechter von Flachsilos auf den niedrigeren Investitionsbedarf, die höhere Schlagkraft beim Einfüllen und die einfachere Entnahmetechnik. Bei den Flachsilos stellen sich zusätzliche Fragen wie Einfluss der Wandneigung auf die Futterqualität, Zudecktechnik, Arbeitszeitbedarf, Verluste sowie Anforderungen betreffend Gewässerschutz.

**Versuchsanlage**

An der FAT wurde während vier Jahren ein befahrbarer Flachsilo mit 160 m<sup>3</sup> Inhalt betrieben: Zweimal gefüllt mit Maishäckseln, einmal mit angewelktem Grashäckseln und einmal die untere Hälfte mit angewelktem Gras (Kurzschnittladewagen), die obere Hälfte nachgefüllt mit Maishäckseln. Alle Abwasserformen wie Gärstaft, Meteorwasser/Gärstaft oder verunreinigtes Meteorwasser wurden gesammelt und analysiert.

**Bau**

Flachsilos können vollumfänglich in Ortbeton oder teilweise mit vorgefertigten Elementen erstellt werden (Abb. 2). Beim Traunsteiner Flachsilo handelt es sich um einen Silotyp mit Wänden aus Betonfertigteilen, die mit einer Neigung von zirka 36% an einem Erdwall angelegt sind.

**Bodenplatte**

**Äussere Lasten**

Die vertikale Belastung durch das eingelagerte Futter (etwa 1N/cm<sup>2</sup>) ist im Vergleich zur Radlast der Fahrzeuge (bis 30 N/cm<sup>2</sup>) während der Befüllung oder der Entnahme klein. Die minimale Plattendicke und Armierung lassen sich unter Annahme der maximalen Radlast (40 kN) und des zulässigen Bodendrucks berechnen. Die so errechnete Plattenstärke liegt in der Regel deutlich unter der minimalen Plattendicke (16 cm), welche in der Praxis üblich ist. Voraussetzung ist allerdings ein frostsicheres und gut verdichtetes Fundament (Kieskofer zirka

40 cm). Beim Ortbetonsilo soll die Bodenplatte beim Wandanschluss wenigstens 20 cm dick sein, damit sie das Fussmoment der Wand aufnehmen kann.

Aufgrund der äusseren Lasten (Silage last, Radlast) ist nicht unbedingt eine Armierung erforderlich. Risse durch äusseren Zwang (z.B. infolge Auflager setzung) sind vor allem durch eine ausreichend dimensionierte Tragschicht auf frostfreiem Untergrund (Tiefe örtlich bedingt) zu vermeiden.

**Risse**

Die Verformung der Bodenplatte als Folge von Temperatur, Kriechen und

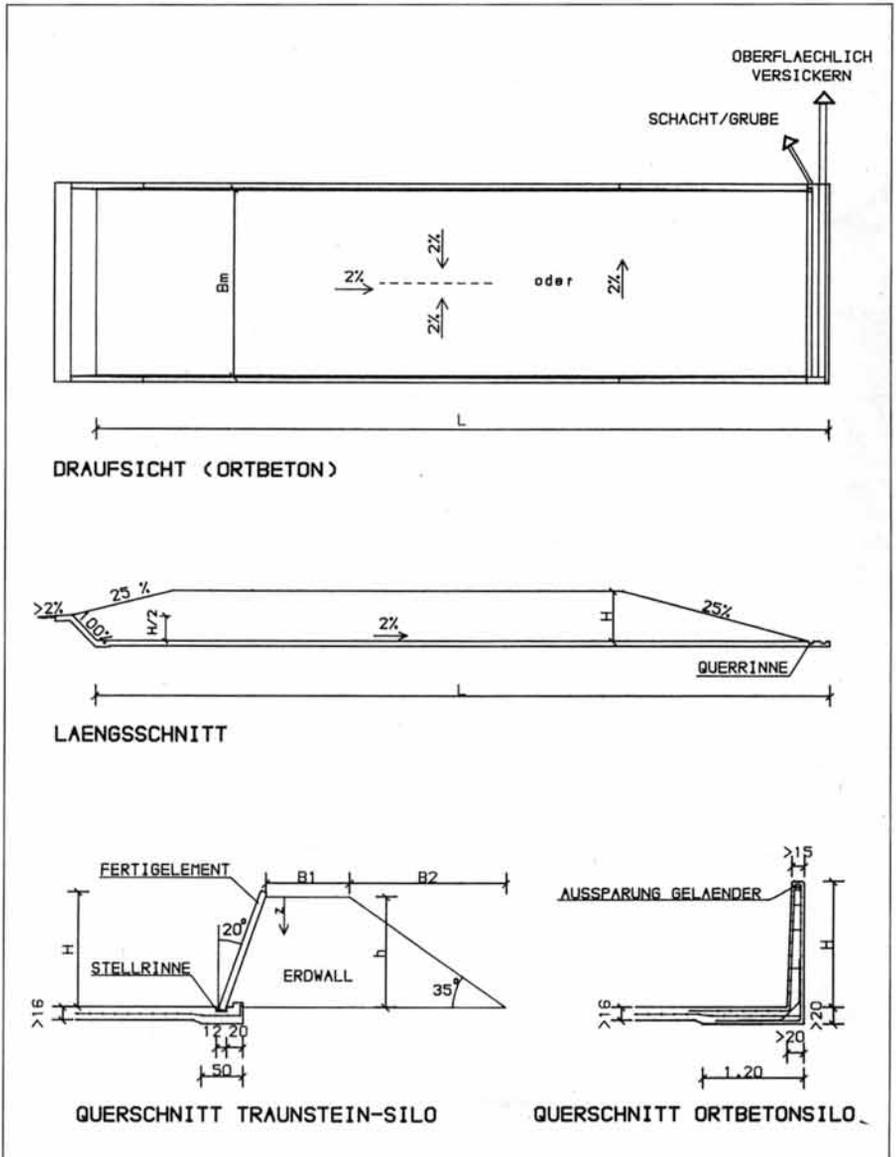


Abb. 2: Grundriss, Querschnitt und Längsschnitt eines Traunstein-Silos und eines Ortbetonflachsilos.

Schwinden kann Zwangswirkungen mit Rissbildung zur Folge haben.

Die Rissbreite muss durch geeignete konstruktive Massnahmen und eine Nachbehandlung des Betons begrenzt werden. In vielen Fällen entstehen Risse kurz nach der Herstellung durch Abfließen der Hydratationswärme und zu starken Wasserentzug.

Wasserverlust in den ersten Tagen kann verhindert werden durch das Belassen in der Schalung und das Abdecken mit Folien während wenigstens fünf Tagen bei Temperaturen über 10 °C; unter 10 °C ist die Nachbehandlungsdauer zu verdoppeln).

Da Risse im Beton durch inneren Zwang (z.B. Temperatureinwirkung, Kriechen) praktisch unvermeidbar sind, muss die Platte entweder durch Fugen in Felder eingeteilt (kontrollierte Risse) oder mit einer Mindestarmierung zur Beschränkung und Verteilung der Risse versehen werden.

### Verhinderung von unkontrollierten Rissen durch Bewegungsfugen

Unkontrollierte Risse können durch die Ausbildung von Fugen weitgehend verhindert werden. Die Fugenabstände sollen maximal 6 m betragen und die Felder möglichst quadratisch sein. Die Fugen können nach dem Betonieren durch das Eindringen eines T-Eisens (Tiefe ca. 6 cm) in den noch weichen Beton angebracht werden. Nachher wird die Fuge 2 cm breit und 4 cm tief ausgekratzt und mit Heissbitumen vergossen. Eine minimale Netzarmierung (ca. 3 kg/m<sup>2</sup>, z.B. Netz K188) in halber Plattenhöhe ist empfehlenswert.

### Mindestarmierung $A_{min}$ zur Begrenzung der Rissbreite

Die Berechnung der Mindestarmierung beruht auf der Annahme, dass die Armierung die Betonzugkraft bei Rissbildung aufnimmt. Die Beschränkung der Rissbreite muss verhindern, dass Gär-saft bis zur Armierung eindringt und dort Korrosion verursacht.

Zwangseinwirkungen unter Temperatureinfluss (Strahlung) entstehen vor allem im oberen Teil der Betonplatte. Wenn man annimmt, dass die Zugzone sich hauptsächlich auf die obere Hälfte der Platte begrenzt, dann beträgt nach SIA 162 die Mindestarmierung für

eine Platte von 16 cm ca. 3,5 cm<sup>2</sup> in beiden Richtungen (ca. 6 kg/m<sup>2</sup>, z.B. Netz K335). Die nach ENV 1992-1-1 (Europäische Vornorm, SIA-Ausgabe 1992) berechnete Rissbreite beträgt ca. 0,38 mm.

Diese Armierung wird im oberen Bereich der Platte angebracht. Netze mit feiner Verteilung von Armierungsstäben mit geringem Durchmesser sind dickeren Stäben mit grösserem Zwischenabstand vorzuziehen. Die Mindestbetondeckung ist 5 cm. Dickere Platten erfordern entsprechend mehr Armierung.

### Praktische Ausführung

Die Platte sollte ein Längs- und Quergefälle von ca. 2% aufweisen. Die Neigungen werden bereits im Untergrund ausgebildet. Das Quergefälle kann gegen die Mitte oder gegen eine Seite verlaufen. Eine Neigung gegen die Mitte verringert die Gefahr, dass Gär-saft unter der Wand durchdrückt, ist aber konstruktiv weniger einfach zu realisieren.

Die Verschalung der Stellrinne für die Wandelemente ist so auszuführen, dass keine Holzteile im Beton zurückbleiben. Die Stellrinne muss in die Querrinne am tiefsten Punkt des Flachsilos ausmünden.

## Wand

### Traunsteinsilo

### Erdwall

Da die Traunsteinplatten nicht dazu konstruiert sind, Biegemomente aufzunehmen, müssen die Lasteinwirkungen

durch Silage und Walzen vollumfänglich durch den Erdwall neutralisiert werden können.

Der Erdwall muss zwei Bedingungen erfüllen:

- Er muss dem horizontalen Druck auf der Siloinnenwand standhalten.
- Er darf die Wand nicht nach innen drücken, wenn der Silo leer ist.

Aus der ersten Bedingung kann für einen bestimmten Böschungswinkel des Erdwalls und eine Neigung der Silowand die Kronenbreite (B<sub>1</sub>) (Abb. 2) und die Böschungsbreite (B<sub>2</sub>) des nachträglich anzuschüttenden Erd-dammes berechnet werden (Tab. 1). Hierbei wird angenommen, dass die Erdwalloberkante zirka 10 cm tiefer als die Silowandoberkante ist.

Wenn zwei Silos zusammengebaut werden, muss die Krone (B<sub>1</sub>) wenigstens 1,20 m breit sein.

Aus der zweiten Bedingung wird die minimale Neigung der Wandplatte bestimmt, damit die Wand durch den Erd-druck nicht hineinkippt. Diese Neigung beträgt für grobkiesige Erde ca. 20° (36 %).

Wenn Sickermaterial hinter den Wänden eingebaut wird, soll gebrochenes Geröll verwendet werden, um das Kippen der Wandelemente zu verhindern.

### Wandplatten

Die Silowände müssen in der Längsrichtung vorne und hinten angeschragt (zirka 25%) werden, damit der Silo beim Befüllen befahrbar ist.

Die Wandkante muss oben abgerundet sein, sonst reisst die Abeckfolie.

Der Abstand zwischen den Platten sollte gleichmässig auf der ganzen Höhe zirka 1,5 cm betragen, damit die Ab-

**Tabelle 1: Kronenbreite (B<sub>1</sub>) und Böschungsbreite (B<sub>2</sub>) in Abhängigkeit der Wandhöhe**

Wandhöhe	Kronenbreite B <sub>1</sub> )	Böschungsbreite (B <sub>2</sub> )
1,2	1,0	1,60
1,4	1,0	1,90
1,6	1,0	2,15
1,8	1,0	2,40

dichtungsmasse ordnungsgemäss (durch einen Fachmann) angebracht werden kann. Die Platten sind auf der Rückseite miteinander verbunden. Diese Verbindungen können aber nur sehr beschränkte Bewegungen des Erdwalls verhindern. Grössere Setzungen führen unvermeidlich zu Plattenbruch. Es ist deshalb wichtig, dass der Erdwall gleichmässig über der ganzen Länge verdichtet wird.

### Ortbetonsilo

#### Armierung

Flachsilowände in Ortbeton sind für folgende Lastfälle zu berechnen:

- Horizontallast aus der Silage,
- Lasten durch Walzen,
- Erddruck für Wände in einem Hang eingebaut,
- Innere Zwangswirkung durch Kriechen und Temperatur.

Die Armierung muss der Wandhöhe angepasst sein.

#### Form der Wand

Es gelten die gleichen Ansträgungen in der Längsrichtung wie beim Traunsteinsilo. Die Wandkante muss oben ebenfalls abgerundet sein.

Die Neigung der Wand hat wenig Einfluss auf das Verdichten der Silage, erlaubt aber unter Umständen, dass der Walztraktor näher der Wand entlang fahren kann. Da das Biegemoment von oben nach unten zunimmt, ist eine konische Ausführung auf der Innenseite der Wand am sinnvollsten. Die minimale Neigung soll etwa 3% betragen. Eine Möglichkeit besteht darin, dass man der ganzen Wand eine Neigung nach aussen gibt. Solche Wände sind aber schwieriger zu verschalen und müssen der Neigung entsprechend stärker armiert werden. Ausserdem ist für eine gleiche Wandhöhe bei schrägen Wänden der Volumengewinn unbedeutend, da entsprechend der Neigung auch die Einfüllhöhe zurückgeht. Diese Variante ist deshalb nicht zu empfehlen.

Hinweis: Die detaillierten Berechnungsgrundlagen für den Bau von Flachsiloanlagen sind an der FAT erhältlich.

### Dauerhaftigkeit

Neben der statischen Festigkeit muss die Bodenplatte ebenfalls einen hohen Widerstand gegen Verschleiss (vor allem bei der Entnahme) und chemischen Angriff (aggressive Gärtsäfte) aufweisen. Bei ungenügender Betondeckung kann die Armierung korrodieren und die Platte zerstören. Besonders gefährdet ist der Übergang Wand-Boden. Eine gute Dauerhaftigkeit wird vor allem durch einen genügend hohen Zementgehalt (330-350 kg/m<sup>3</sup>), einen niedrigen Wasserzementfaktor (<0,5) und eine sorgfältige Nachbehandlung erreicht.

Auf Dauer kann aber auch ein sachgerecht erstellter Beton Gärtsaft mit pH-Wert unter 4,5 nicht widerstehen. Wenn möglich soll darum Gärtsaftanfall vermieden werden. Oberflächenbehandlungen sind teuer und ihre Haltbarkeit meistens beschränkt.

Der heute übliche Betonschutz besteht aus Anstrichen (Dicken im Bereich von 0,1-0,3 mm) oder Beschichtungen (0,3-2 mm). Nach einer Untersuchung in Deutschland (Englert, 1993) lässt sich durch Anstriche oder dünne Beschichtungen das Problem der Betonkorrosion nicht lösen. Es sind vor allem wegen der teilweise starken mechanischen Belastungen (Blockschneider) Verschleisschichten über 2 mm Dicke notwendig.

Ob Beläge in Asphaltbeton (35-50 mm) oder Gussasphalt einen dauerhaften

Schutz bringen, ist noch unsicher. Es fehlen zurzeit langjährige Versuche. Da Asphaltbeton kein 100% dichter Belag ist, könnte Gärtsaft durchsickern und längerfristig den unterliegenden Beton angreifen. Bei Gussasphalt sind Risse nicht auszuschliessen, da wegen des Gärtsaftes härtere Zuschläge verwendet werden müssen. Eine Haltbarkeit von wenigstens 20 Jahren, wie sie Anwender erwarten, ist aus diesen Gründen fraglich.

Eine andere Möglichkeit ist, Zweikomponenten-Epoxidharze mit Quarzsand (Schichtdicke 3 mm) aufzutragen. Der an der FAT durchgeführte Streifenversuch (Abb. 3) zeigt nach zwei Jahren keine sichtbaren Beschädigungen.

### Kostenvergleich Traunstein-Silo/Ortbetonsilo

Ein Kostenvergleich (Tab. 2) für eine übliche Silogrösse von 160 m<sup>3</sup> zeigt, dass vor allem höhere Wandkosten und das Geländer (Vorschrift für freistehende Wände über 1 m Höhe) den Ortbetonsilo gegenüber dem Traunsteiner-Silo um etwa 10% verteuert. Die Unternehmerpreise sind Richtwerte für 1993. Das Geländer soll nicht fix auf der Wand montiert werden, da so die Zudeckfolie nicht mehr über die Wand gelegt werden kann. Ein solches mobiles Geländer (Abb. 4) darf darum nicht zu



Abb. 3: Streifenversuch an der FAT mit Zweikomponenten-Epoxidharz vermischt mit Quarzsand. Schichtdicke 3 mm, Kosten über Fr. 40.-/m<sup>2</sup>.

**Tabelle 2: Kostenvergleich Ortbeton – Traunstein-Silo 160 m³**

			Traunstein		Ortbeton	
Inhalt			160		160	
Höhe (H)	m		1.4		1.5	
Silobreite (Bm)	m		6.0		5.6	
Gesamtbreite (+ Erdwall)	m		12.5		6.0	
Bodenplatten Länge (L)	m		22.6		22.8	
Flächenbedarf	m²		280		143	
			Traunstein		Ortbeton	
Position	Einheit	Einheitspreis Fr.	Menge	Betrag Fr.	Menge	Betrag Fr.
Installation				500		500
<b>Boden</b>						
Aushub	m³	8.0	100.0	800	100.0	800
Wandkies	m³	50.0	57.0	2850	57.0	2850
Planie	m²	10.0	168.0	1680	168.0	1680
Magerbeton	m³	190.0	8.4	1596	8.4	1596
Beton	m³	220.0	24.9	5474	24.5	5386
Armierung	kg	2.4	896.0	2150	858.0	2059
Distanzkörbe	kg	3.0	66.0	198	66.0	198
Schalung	m²	40.0	11.5	460	11.5	462
Schalung Rampe	m²	40.0	13.0	520	12.0	480
Rinnen	m	12.0	35.0	420	12.0	144
<b>Wand</b>						
Beton	m³	220.0		0	10.1	2215
Armierung	kg	2.9		0	950.0	2755
Schalung	m²	40.0		0	114.0	4560
Krone	m	10.0		0	46.0	460
Traunstein-Wand	m²	82.0	59.4	4871		0
Kittfugen	m	9.0	70.0	630		
Erdwall Kies	m³	90.0	20.0	1800		0
Erdwall Erde	m³	8.0	96.3	771		0
Ableitung Saft	m	15.0	50.0	750	50.0	750
Geländer	m	25.0			40.0	1000
Investitionsbedarf ohne Planung Fr.				25470		27895
Investitionsbedarf	Fr./m³			159		174

**Tabelle 3: Kostenvergleich Ortbeton – Traunstein-Silo 350 m³**

		Traunstein	Ortbeton
Inhalt	m³	350	350
Höhe (H)	m	1.40	2.00
Silobreite (Bm)	m	8.00	7.00
Gesamtbreite (+ Erdwall)	m	14.30	7.40
Bodenplattenlänge (L)	m	34.85	29.85
Flächenbedarf	m²	504	228
<b>Investitionsbedarf</b>	<b>Fr.</b>	<b>46300</b>	<b>47500</b>
	Fr./m³	132	136

schwer sein und ist eher als Sichthilfe für den Traktorfahrer (wenn der Silo ganz voll ist) zu verstehen. Es bietet keine absolute Sicherheit gegen das Abstürzen. Doch soll es einen minimalen Schutz (3 kN oder 300 kg) gegen das seitliche Verrutschen des Walztraktors nach aussen bieten.

Bei grösseren Silos verringert sich der Unterschied im Investitionsbedarf zwischen Ortbeton und Traunstein-Silos (Tab. 3). Der freistehende, höhere Ortbetonsilo benötigt weniger Fläche gegenüber dem Traunsteinsilo.

## Inhaltsberechnung Flachsilo

Der Inhalt (V) lässt sich wie folgt berechnen:

$$V = B_m \cdot H \cdot (L - 0,6 - 2,13 H) \text{ m}^3$$

$B_m$  = Innenbreite auf mittlerer Höhe  
 $H$  = Mittlere Höhe des Silos  
 $L$  = Länge Bodenplatte inklusiv Querrinne, exklusive hinterer Rampe

Umgekehrt lässt sich für ein bestimmtes Silagevolumen die erforderliche Plattenlänge  $L$  berechnen:

$$L = \frac{V}{B_m \cdot H} + 0,6 + 2,13 H \text{ m}$$

Beispiel: Berechnung Bodenplattenlänge Traunstein-Silo

gegeben:

Silovolumen:  $V = 180 \text{ m}^3$

Mittlere Höhe:  $H = 1.40 \text{ m}$

Mittlere Breite:  $B_m = 6.00 \text{ m}$

Erforderliche Bodenplattenlänge (inklusive Querrinnen):

$$L = \frac{180}{6 \cdot 1,4} + 0,6 + 2,13 \cdot 1,4$$

$$= 21,43 + 0,6 + 2,98 \approx 25 \text{ m}$$



Abb. 4: Das Geländer auf der Ortbetonwand nicht fix montieren! Die Abdeckfolie wird über die Wand gelegt und anschliessend beschwert.

**Bauliche Merkmale:**

**Bodenplatte:**

Kieskoffer 40-50 cm, planiert  
 \* Plattenstärke 16 cm  
 Betonqualität: B 35/25  
 \* Armierung:  
 – ohne Fugen: 3,5 cm<sup>2</sup> in beiden Richtungen (zirka 6 kg/m<sup>2</sup>)  
 Anordnung in zirka 10 cm Höhe (Mindestbetondeckung 5 cm)  
 – mit Fugen: 1,8 cm<sup>2</sup> in beiden Richtungen (ca. 3,0 kg/m<sup>2</sup>)  
 Anordnung in halber Plattenhöhe  
 Wasserzementfaktor < 0,5  
 Abdecken mit PVC Folie wenigstens fünf Tage  
 Längsgefälle: 2%  
 Quergefälle: 2% gegen die Mitte oder gegen eine Seite  
 Querrinne für Gärsaft  
 Anschluss Querrinne an Güllegrube oder separatem Schacht (3 m<sup>3</sup>)

**Wände:**

– Traunstein-Silos:  
 Neigung ≥ 20° (36%)  
 Längsanschrägung vorne und hinten (25%)  
 Fugenbreite 1,5 cm  
 Oberkante abgerundet  
 Erdwall: gut verdichtet  
 Kronenbreite 1 m freistehend, 1,2 m zwischen zwei Wänden  
 Böschung zirka 35°  
 – Ortbeton:  
 Konische Ausführung zirka 3%  
 Dicke und Armierung der Wandhöhe angepasst  
 Längsanschrägung vorne und hinten (25%)  
 Oberkante abgerundet

\* Richtwerte: Plattenstärke und Armierung sind den örtlichen Verhältnissen (Baugrund) anzupassen.

Die gewählten Verfahren sind wie folgt zu beurteilen (Tab. 4 und 5):

- Bei gleicher Mechanisierungsstufe sind die Hochsilo- und Flachsilovarianten betreffend Verfahrenszeit und Verfahrenskosten ähnlich. Mit überbetrieblichem Maschineneinsatz wie Zuminierung oder Lohneinsatz lassen sich schlagkräftige und kapitalintensive Arbeitsketten auch für kleinere Ernteflächen einsetzen.
- Bedingt durch den Walztraktor wird für die gleiche Verfahrenszeit bei den Flachsilovarianten eine zusätzliche Arbeitskraft benötigt.
- Wenn mehrheitlich mit bereits vorhandenen Maschinen gearbeitet wird (Verfahren 5), sinken die Verfahrenskosten, da beim Ladewagen und dem Dosiergerät nur die variablen Kosten eingesetzt sind.
- Bei den schlagkräftigen Hochsilovarianten besteht die Gefahr, dass die ganze Silierkette stillsteht, da eine Verstopfung des Häckselgebläses nicht auszuschliessen ist.

**Richtig abdecken – wenig Verluste**

Hohe Silagequalität und tiefe Gärverluste hängen im Flachsilo von einer sorgfältigen Abdeckung ab (Abb. 5).

Die Abdeckkosten bei fachgerechter Ausführung betragen für 160 m<sup>3</sup> Siloinhalt:

- Jedes Jahr zu ersetzen:  
 Seitenfolie 3 x 50 m  
 (0,16 mm) Fr. 75.–  
 Innenfolie 7 x 25 m  
 (0,04 mm) Fr. 35.–  
 Zudeckfolie 8 x 25 m  
 (0,20 mm) Fr. 150.– Fr. 260.–

- Alle zehn Jahre zu ersetzen:  
 Schutzgitter 8 x 5 m  
 (5 x 188.–) Fr. 940.–  
 Sandsäcke  
 100 à Fr. 4.– Fr. 400.–  
 Fr. 1340.–  
 davon 13,6 % Fr. 182.–  
 Total pro Jahr Fr. 442.–  
 pro m<sup>3</sup> Fr. 2.80

Es ist mit folgendem Arbeitsaufwand zu rechnen:

- Zudecken 3 AK à 1 h = 3 AKh
- Abdecken 2 AK à 0,5 h = 1 AKh
- Beim Nachfüllen Total = 4 AKh

**Verfahrenstechnik**

**Silieverfahren im Vergleich**

Bei der Ernte von Mais oder von Gras ist eine hohe Verfahrensleistung (Schlagkraft) Voraussetzung. Es werden acht Mechanisierungsverfahren von der Ernte bis zur Einlagerung bezüglich Kosten und Arbeitszeitbedarf verglichen (Tab. 4). Grundlagen für die Vergleichskalkulationen sind:

	Mais	Gras
Fläche ha	3	12*
Ertrag		
dt TS/ha	120	30
dt Futter/ha	400	75
TS-Gehalt %	30	40
Betriebseigene Traktoren	2	2
Betriebseigene Arbeitskräfte	2	2
Stundenlohnanatz Fr./h	21.–	21.–

\*12 Schnitthektaren entsprechen 3 ha Gras mit einem Ertrag von 120 dt TS pro Jahr.

**Tabelle 4: Verfahrenszeiten und Verfahrenskosten für 1 ha Mais bzw. 1 Schnitthektare Gras**  
(Ernte, Einlagern, Abdecken, Basis 3 ha Mais, 12 Schnitthektaren Gras)

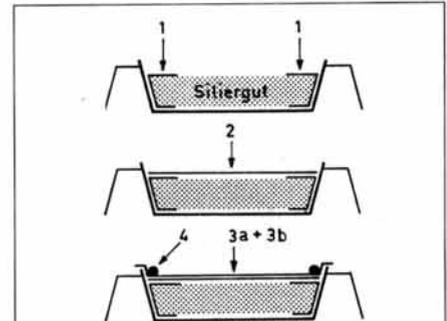
Verfahren	Mais				Gras			
	1	2	3	4	5	6	7	8
Mechanisierungsstufe	mittel		hoch	hoch	tief	mittel	hoch	hoch
Häckseln/Laden	Anbaumais-häcksler, 2-reihig	Anbaumais-häcksler, 2-reihig	Maishäcksler selbstfahrend 4-reihig	Maishäcksler selbstfahrend 4-reihig	1 Ladewagen	2 Ladewagen mit Dosierentladung	Grashäcksler selbstfahrend	Grashäcksler selbstfahrend
Transport	2 Ladewagen im Parallelzug	2 Mistzetter mit Häckselaufricht im Parallelzug	3 Häckselwagen mit Dosiereinrichtung im Parallelzug	3 Häckselwagen mit Dosiereinrichtung im Parallelzug	1 Ladewagen	2 Ladewagen mit Dosierentladung	2 Häckselwagen mit Dosiereinrichtung im Parallelzug	2 Häckselwagen mit Dosiereinrichtung im Parallelzug
Abladen/Verteilen	Steilförderer	Walztraktor mit Frontlader	Häckselgebläse mit Zapfwellenantrieb	Walztraktor mit Frontlader	Dosiergerät Steilförderer	Walztraktor	Häckselgebläse mit Zapfwellenantrieb	Walztraktor mit Frontlader
Lagerort	Hochsilo	Flachsilo	Hochsilo	Flachsilo	Hochsilo	Flachsilo	Hochsilo	Flachsilo
Arbeitskräfte	3	4	4	5	2*	4**	3	4
Traktoren	3	4	4	4	1	3	3	3
Arbeitszeitbedarf AKh/ha	12,4	13,0	6,6	8,7	2,9	3,7	2,2	3,2
Davon betriebs-eigene AKh/ha	8,6	7,5	3,7	4,7	2,9	2,2	1,6	2,0
Verfahrenszeit h/ha	4,3	3,8	1,9	2,3	1,5	0,9	0,8	0,8
Verfahrenskosten o. eigene Arbeit Fr./ha	1132	1169	1140	1052	178	299	306	310
Fr./dt TS	9.40	9.70	9.50	8.80	5.90	10.--	10.20	10.30
Verfahrenskosten mit eigener Arbeit Fr./ha	1312	1326	1218	1150	239	346	339	350
Fr./dt TS	10.90	11.10	10.20	9.60	8.--	11.50	11.30	11.70

\* Inkl. Ueberwachungsperson für Dosiergerät/Steilförderer

\*\* Davon 1 AK Verteilen im Silo, kein Frontlader

**Tabelle 5: Ausgewählte Maschinen, Besitzverhältnisse und Neuwerte**

Arbeitsbereiche	Besitz Einsatzart	Neuwert Fr.	Verfahren								
			Mais				Gras				
			1	2	3	4	5	6	7	8	
Traktoren, 4-Radantrieb: 41 kW, für Transport 50 kW, für Transport 50 kW, für Transport 70 kW, für Anbaumaishäcksler 70 kW, Antrieb für Häckselgebläse 70 kW, für Walzen Flachsilo	Eigentum	47 000	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Eigentum	62 000	x	x	x		x	x	x		
	Miete	62 000			x						
	Lohnarbeit	87 000		x	x						
	Lohnarbeit	87 000				x					
Häckseln/Laden Anbaumaishäcksler, 2-reihig Häcksler selbstfahrend, 200 kW mit Maisgebiss, 4-reihig mit Pic-Up Ladewagen, mittel Ladewagen, mittel Mistzetter mit Aufsätzen Häckselwagen mit Dosierentladung Ladewagen gross, mit Kurzschnitt Ladewagen mit Dosierentladung Ladewagen mit Dosierentladung	Lohnarbeit	28 000	x	x							
	Lohnarbeit	294 000			x	x					
	Lohnarbeit	274 000							x	x	
	Eigentum	21 000	x								
	Miete	21 000	x								
	Miete	14 800		x							
	Miete	20 000			x	x				x	x
	Eigentum	36 000					x				
	Eigentum	50 000						x			
	Miete	50 000							x		
Abladen/Verteilen: Steilförderer Dosiergerät mit Zubringer Frontlader zu Traktor, 70 kW Häckselgebläse mit Zapfwellenantrieb	Miete	20 000	x					x			
	Eigentum	25 700						x			
	Lohnarbeit	12 500		x		x					x
	Miete	8 600			x						x



1. Einschlagen der Seitenfolien (0,15 mm) auf das Siliergut. Sie schonen die Seitenwände und bewahren die Silage vor seitlich eindringender Luft. Zusätzliche Sicherheit bei allfälligem Gär-saft.
2. Ausbreiten der Innenfolie (0,04 m). Die dünne Folie legt sich sehr gut an das Futter an. Luftabdichtung gegen oben.
3. a) Aufbringen der Abdeckfolie (0,15–0,20 mm). Die Folie muss UV-stabil sein und wird seitlich über die Wand gelegt, damit kein Regenwasser eindringt.
3. b) Auflegen des Schutzgitters. Dieses schützt vor Beschädigung der Folien, vor allem vor Vögeln, Hunden, Katzen usw.
4. Beschwerung mit Splitt-gefüllten Säcken an der Siloinnenwand. Über das Schutzgitter wird alle 5 m (bei Sommerfütterung besser alle 2,5 m) eine lückenlose Querabdeckung mit Säcken gelegt.

Abb. 5: Abdecken von Flachsilos.

**Verluste**

Unter vergleichbaren Bedingungen ergaben sich an der FAT TS-Verluste gemäss Tabelle 6. Sofern das Futter im Flachsilo richtig gewalzt und zuge-

deckt wird, sind die Verluste etwas geringer als im Hochsilo. Ohne zusätzliche Abdeckung mit einer Wasser- presse sind die Abgangsverluste vor allem beim Öffnen im Hochsilo relativ hoch.

**Tabelle 6: Verluste von TS bei Mais- und Grassilagen**

		Hochsilo Mais	Hochsilo Gras	Flachsilo Mais	Flachsilo Gras
TS-Gehalt	%	29,6	40,0	30,0	37,0
Verluste					
Gärsaft	%	?	-	1,9	-
Abgang beim Oeffnen	%	1,8	0,9	-	-
Abgang bei Entnahme	%	-	-	0,1	0,7
Gärung	%	?	7,1	4,8	5,8
<b>Total</b>	<b>%</b>	<b>7,5</b>	<b>8,0</b>	<b>6,8</b>	<b>6,5</b>

## Vom Silo zur Krippe

In der Schweiz wird die Silage vorwiegend mit dem Blockschneider aus dem Flachsilo entnommen. Im Gegensatz zur Obenentnahmefräse im Hochsilo kann der Blockschneider überbetrieblich eingesetzt und auch Futter mit Ladewagenschnitt problemlos entnommen und transportiert werden. Bei uns sind heute vor allem zwei Bauarten bekannt: Doppelmessergeräte und U-Blockschneider.

### Doppelmessergeräte

Bei diesem System schneidet ein senkrecht, schnellaufendes, kurzhubiges, gegenläufiges Doppelmesser den Block heraus. Das Messer wird entweder von einem Schneidarm oder einem Rahmen geführt.

#### Vorteile:

- Für alle Silagearten geeignet,
- Frontladeranbau möglich,
- glatte Schnittfläche.

#### Nachteile:

- Im Heckanbau häufig Hubgerüst notwendig, da Blockhöhe auf 1 m begrenzt.
- Bei Maisblöcken Transportverluste, ein hydraulischer Niederhalter ist empfehlenswert.

### U-Schneider

Die an allen drei Seiten des Schneidvolumens waagrecht sitzenden Doppelmesser werden in kurzen Schüben hin und her bewegt. Der Schneidrah-

men wird dabei hydraulisch von oben nach unten gedrückt.

#### Vorteile:

- Für alle Silagearten geeignet,
- die Anschnittfläche wird nicht aufgelockert,
- wenig Transportverluste.

#### Nachteile:

- Hoher Investitionsbedarf,
- für Silohöhen ab 1,2 m ist ein Hubgerüst notwendig.

Es scheint, dass – vor allem infolge der geringen Transportverluste – für grosse Entnahmemengen im überbetrieblichen Einsatz (über 1000 m<sup>3</sup>/Jahr) sich

der relativ teure U-Schneider durchsetzt (Abb. 6 und 7).

Der Arbeitsaufwand und die Kosten für die Entnahme und Fütterung aus Hoch- und Flachsilos sind wie folgt zu beurteilen (Tab. 7):

- Bei Handentnahme bei den Varianten Hochsilo beträgt der jährliche Arbeitsaufwand 117 h für Maishäcksel bzw. 88 h für Grashäcksel. Dafür entfallen die Kosten der Entnahmefräse. Die entsprechenden Kosten inkl. Arbeit pro dt TS liegen bei Fr. 15.30 bzw. Fr. 13.10, sind also etwa gleich hoch wie mit Blockschneiderentnahme im Flachsilo.
- Wenn der gleiche Arbeitskomfort für die Entnahme und Fütterung verlangt wird, muss bei den Hochsilovarianten eine Entnahmefräse eingesetzt werden, was die Kosten pro dt TS verdoppelt.

### Arbeitszeitbedarf für die Entnahme und Fütterung am Beispiel mit 20 und 40 GVE

#### Berechnungsgrundlagen:

- Ration: 40% Grassilage, 40% Maissilage, 20% Heu.
- Der Zeitbedarf umfasst das Entnehmen und Füttern von 20 kg Grassilage und 20 kg Maissilage pro GVE (der Heuanteil bleibt unberücksichtigt),



Abb. 6: U-Blockschneider mit Hubgerüst. Investitionsbedarf mit Hubgerüst Fr. 15 000.-, mit Verteiler Fr. 20 000.-. Gewicht leer 1t mit Futter bis 2,3 t.

- 175 Winterfütterungstage,
- Silos in der Nähe des Stalles.

Die Zusammenstellung (Tab. 8) lässt folgende Schlussfolgerungen zu:

- Auch bei einem hohen Silageanteil dürften bei Beständen von 20 Kühen

Obenentnahmefräsen, Futtermischwagen oder Fräsmischwagen aus Kostengründen wegfallen.

- Die Flachsiloentnahme mit Blockschneider bringt bei 20 Kühen eine Arbeitszeiteinsparung von rund 60 h pro Winter. Damit ist sie sicher der Hand-

entnahme im Hochsilo vorzuziehen, zumal bei überbetrieblichem Einsatz keine höheren Kosten entstehen.

- Hochsiloentnahme mit Fräse ist arbeitswirtschaftlich nur interessant, wenn die Silage direkt in den Stall gefördert wird. Die Arbeitseinsparung beträgt bei 40 Kühen 60 h pro Winter gegenüber Blockschneiderentnahme.

- Bei 40 Kühen beträgt die Arbeitszeiteinsparung bei der höchsten Mechanisierungsstufe mit Mischwagen im Hoch- und Flachsilo gegenüber der Handentnahme rund 200 h pro Winter.

**Tabelle 7: Arbeitsaufwand und Kosten für 3 ha Mais bzw. 12 Schnitthektaren Gras (Konservieren, Entnehmen, Füttern)**

Futterart		Maishäcksel		Grashäcksel	
		Hochsilo Holz	Flachsilo Traunstein	Hochsilo Holz	Flachsilo Traunstein
Entnahme		Fräse	Blockschneider	Fräse	Blockschneider
Spez. Gewicht (Mittelwerte) *	kg TS/m <sup>3</sup>	220	220	220	220
Raumbedarf	m <sup>3</sup>	160	160	160	160
<b>Investitionsbedarf</b>					
Silo	Fr.	30 000.-	25 000.-	30 000.-	25 000.-
Zudeckmaterial	Fr.		1 300.-		1 300.-
Entnahmefräse	Fr.	26 000.-		26 000.-	
Kranbock zu Fräse	Fr.	2 000.-		2 000.-	
Blockschneider 50 %	Fr.		5 000.-		5 000.-
<b>Total</b>	<b>Fr.</b>	<b>58 000.-</b>	<b>31 000.-</b>	<b>58 000.-</b>	<b>31 000.-</b>
<b>Arbeitsaufwand</b>					
Entnahme + Verteilen Krippe **		AKh			
		37	64	30	48
<b>Jährliche Kosten</b>					
Silo	Fr.	2 850.-	2 225.-	2 850.-	2 225.-
Zudeckmaterial	Fr.		450.-		450.-
Entnahmefräse	Fr.	4 715.-		4 690.-	
Kranbock	Fr.	195.-		195.-	
Blockschneider 50%	Fr.		865.-		865.-
Anteil Traktor	Fr.		310.-		310.-
<b>Total</b>	<b>Fr./Jahr</b>	<b>7 760.-</b>	<b>3 850.-</b>	<b>7 735.-</b>	<b>3 850.-</b>
	<b>Fr./dt TS</b>	<b>21.60</b>	<b>10.70</b>	<b>21.50</b>	<b>10.70</b>
Arbeitskosten	Fr./Jahr	780.-	1 340.-	630.-	1 010.-
<b>Total/Jahr inkl. Arbeitskosten</b>	<b>Fr./Jahr</b>	<b>8 540.-</b>	<b>5 190.-</b>	<b>8 365.-</b>	<b>4 860.-</b>
	<b>Fr./dt TS</b>	<b>23.70</b>	<b>14.40</b>	<b>23.20</b>	<b>13.50</b>

\* Einmal nachfüllen, Walztraktor Gesamtgewicht 6 t  
 \*\* Entnahmefräse fördert direkt in Stall, Blockschneiden 2 x wöchentlich

**Tabelle 8: Arbeitszeitbedarf für die Silagefütterung**

Verfahren	Arbeitszeitbedarf h/Kuh und Winter bei	
	20 Kühen	40 Kühen
<b>Hochsilo</b>		
Entnahme mit Gabel, Silowagen	7,0	7,0
Entnahmefräse, Silowagen	—	5,3
Entnahmefräse, Förderung direkt in Stall	—	2,3
Entnahmefräse, Futtermischwagen	—	4,4 / 2,3*
<b>Flachsilo</b>		
Blockschneider (zweimal wöchentlich)	4,1	3,8
Fräsmischwagen	—	2,6

\*Kleinerer Zeitbedarf: Wartezeit bei Fräse nicht berücksichtigt

### Verfahrenstechnische Merkmale

- Damit gleichzeitig abgeladen und gewalzt werden kann, muss der Flachsilo am Boden mindestens 5 m breit sein.
- Pro m<sup>3</sup> Ladewageninhalt sind mindestens 1 m Silolänge notwendig (Abb. 8).
- Folglich umfasst die kleinste Flachsiloereinheit 20–22 m Länge, 5,5 m mittlere Breite und 1,3 bis 1,5 m Höhe. Dies ergibt beim System Traunstein einen Siloinhalt von 120–140 m<sup>3</sup>.
- Pro Tag sollte mindestens 10 cm tief entnommen werden (= 70 cm pro Woche oder zirka eine Blockschneidertiefe).
- 0,5 m<sup>2</sup> Anschnittfläche pro GVE darf nicht überschritten werden (wegen Nachgärungen).
- Das Gewicht der Walzmaschine sollte mindestens ein Drittel der stündlich eingeführten Futtermenge betragen.
- Für das Abdecken sind wenigstens drei Personen nötig.



Abb. 7: Maissilageentnahme mit Blockschneider. Bei einem Traunstein-Silo mit 5,5 m Breite müssen rund 10% nachträglich von Hand zusammengeputzt werden.



Abb. 8: Pro m<sup>3</sup> Ladewageninhalt sind mindestens 1 m Silolänge notwendig, sonst wird der abgelegte Walm zu hoch.

## Gewässerschutz

### Gärsaftanfall

Zur Abklärung wurde während vier Jahren (1989–1993) ein befahrbarer Flachsilo mit 160 m<sup>3</sup> Inhalt betrieben. Zweimal gefüllt mit Maishäcksel, einmal mit angewelktem Grashäcksel und einmal die untere Hälfte mit kurzgeschnittenem Gras, die obere Hälfte nachgefüllt mit Maishäcksel.

### Maishäcksel

Trotz eines TS-Gehaltes des Maishäcksel von rund 30% fallen beträchtliche Mengen an Gärsaft an (Abb. 9).

Berechnungsbeispiele für einen Flachsilo mit 160 m<sup>3</sup> Inhalt (nach Abb. 9):  
 Silo 30 Tage geschlossen:  
 $30 \times 0,3 \times 160 = 1440$  l Gärsaft  
 Höchster Anfall in 30 Tagen:  
 $30 \times 0,5 \times 160 = 2400$  l Gärsaft  
 Silo 180 Tage geschlossen:  
 $180 \times 0,3 \times 160 = 8640$  l Gärsaft

Der Grund für den relativ hohen Gärsaftanfall dürfte darin liegen, dass vor allem bei den neueren frühen bis mittelfrühen Sorten die Körner in der Gelbreife sind, während die Restpflanze noch relativ grün ist. So wurde bei Körnern ein TS-Gehalt von 64% ermittelt, bei der Restpflanze lediglich 26% (Baumann, 1992).

### Grashäcksel

Durchschnittlicher TS-Gehalt  
 34,8%  
 TS-Gehalt unten im Silo (erste Fuder)  
 30,5%  
 TS-Gehalt oben im Silo (letzte Fuder)  
 38,8%  
 Kein Gärsaftanfall!

### Kombiniertes Silieren

Erste Füllung (untere Hälfte Silo) mit Gras ab Kurzschnittladewagen. Durchschnittlicher TS-Gehalt 41%. Zweite Füllung (obere Hälfte Silo) mit Maishäcksel. Durchschnittlicher TS-Gehalt 30,4% (Abb. 10).  
 Kein Gärsaftanfall!

### Abwasserformen

Bei einem Flachsilo fallen die Abwässer in verschiedenen Formen an (Tab. 9).

### Gärsaft

Entsteht unmittelbar nach dem Einfüllen, während und nach der Gärung. Es handelt sich dabei um Zellflüssigkeit oder Haftwasser (Tau) und entsteht bei Gras unter 30% TS und bei Maishäcksel bis 32% TS. Gärsaft ist extrem stark belastet mit gelösten organischen Kohlenstoffen und weist entsprechend hohe BSB5-Werte auf. (BSB5 = Masse an gelöstem Sauerstoff, die zum oxidativen biologischen Abbau organischer Stoffe im Wasser in fünf Tagen bei 20°C im Dunkeln benötigt wird.) Die BSB5-Werte betragen für Gärsaft 52 000 mg O<sub>2</sub>/l, für Schweinegülle, 30 000 mg O<sub>2</sub>/l und für Rindergülle, 15 000 mg O<sub>2</sub>/l (Kot und Harn unverdünnt). Gärsaft darf daher keinesfalls in eine Kanalisation, in einen Sickerschacht oder direkt in ein Gewässer ab-

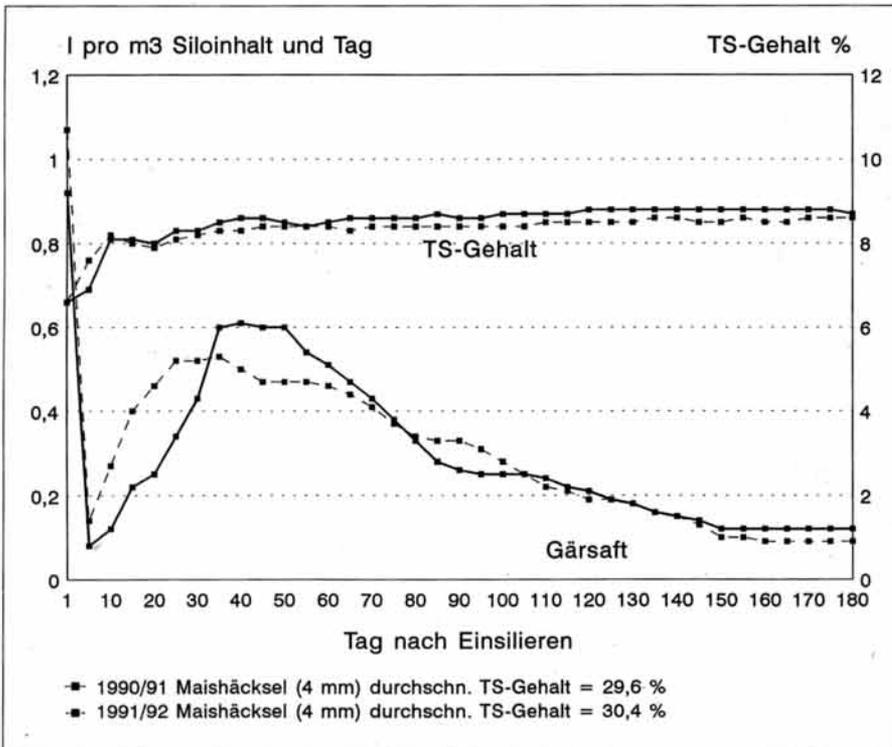


Abb. 9: Gärsaftanfall bei Maishäcksels im Flachsilo.

geleitet werden. Er ist in die Güllegrube zu leiten oder über einen Sammel-schacht mit dem Druckfass gross-flächig auf bewachsenen Boden zu ver-teilen. Nach Literaturhinweisen gefähr-den Gaben bis zu 50 m<sup>3</sup> pro ha das Grundwasser nicht (Küntzel 1978, Meissner 1987).

**Meteorwasser/Gärsaft**

Mittel verunreinigtes Meteorwasser von besensauberen Siloflächen wäh-rend der Entnahmephase mit geringen Beimengungen von Gärsaft: Der Ge-wässerschutzgrenzwert (BSB5) be-trägt nach der Verordnung über Ab-wassereinleitungen 20 mg O<sub>2</sub>/l. Wie in Tabelle 9 ersichtlich, können – je nach

Niederschlagsmengen – Werte auftre-ten, die bis 250mal höher sind. Lysi-meterversuche an der Forschungsan-stalt für Agrikulturchemie und Um-welthygiene mit Versickern auf 4 m<sup>2</sup> bewachsenem Boden (üblich in der Praxis bei leichtem Regen) ergaben fol-gende Werte:

Versuchsprobe ungefiltert	5000 mg O <sub>2</sub> /l
Sickerwasserproben Ø aus 4 Lysimetern	
22.4.92	2900 mg O <sub>2</sub> /l
28.4.92	2950 mg O <sub>2</sub> /l
Sickerwasserprobe nur Regen	< 5 mg O <sub>2</sub> /l

Die Filterwirkung des Bodens ist offen-sichtlich sehr beschränkt. Die BSB5-Werte liegen mehr als um den Faktor 100 über dem Grenzwert. Fazit: Das Medium Meteorwasser/Gärsaft muss gleich behandelt werden wie Gärsaft.

**Meteorwasser verunreinigt**

Leicht verschmutztes Meteorwasser von der besensauber gereinigten Silo-fläche während der Entnahmephase ohne Gärsaftbeimengungen: Versicke-rung ist ausserhalb der Gewässer-schutzzonen S möglich.

**Meteorwasser sauber**

Das auf den Flachsilo im geschlosse-nen oder leeren Zustand fallende Re-

Tabelle 9: Abwasseranalysen

Datum	Futterart	Medium	pH	DOC <sup>1)</sup> mg C/l	BSB <sub>5</sub> <sup>2)</sup> mg O <sub>2</sub> /l	TS %	Ammonium mg N/l	Niederschläge ca. mm	Freie Fläche Silo	
									m <sup>2</sup>	%
16.10.90	Maissilage	Gärsaft	3,7	36 350	52 500	7,71	281	–	–	–
10.06.91	Maissilage	Meteorw./Gärsaft	4,4	581	1 200	0,12	5,5	40	70	50
17.06.91	Maissilage	"	4,9	544	1 900	0,18	4,4	40	75	60
01.07.91	Maissilage	"	5,3	1 149	2 650	0,27	6,5	20	90	70
15.07.91	Maissilage	"	5,2	2 303	4 300	0,53	36	10	105	80
08.12.92	Grassilage	Meteorw. verunr.	6,6	46	128	0,02	0,35	40	35	25
12.01.93	Grassilage	"	6,3	212	355	0,08	9,50	10	50	35
02.02.93	Grassilage	"	6,8	99	171	0,06	6,47	20	70	50
15.03.93	Grassilage	"	6,7	157	295	0,07	12,8	25	105	80
Vergleichsdaten										
Einlauf Kläranlagen (Kt. AG)			6,8 - 8,6	–	15-338	–				
Auslauf Kläranlagen (Kt. AG)			7,2 - 8,3	4 - 15	2 - 36	–	0,1 - 20			
Einleitung Gewässer <sup>3)</sup>			6,4 - 8,5	10 - 15	20	–				

1) DOC = Gelöster organischer Kohlenstoff  
2) BSB<sub>5</sub> = Biochemischer Sauerstoffbedarf

3) Verordnung über Abwassereinleitungen (Stand 1. April 1987)



Abb. 10: Bei Maishäcksels mit 30% TS nachgefüllt auf angewelktes Gras mit 40% TS fliesst kein Gärsaft ab.

genwasser belastet weder Fließwasser noch Grundwasser und kann direkt abgeleitet werden.

## Umgang mit Gärsaft

### Verhinderung von Gärsaft

- Maishäcksels mit über 32% TS einfüllen. Häcksler mit Reibboden benutzen (weniger ganze Körner). Siliermittel gegen eventuelle Nachgärungen einsetzen.
- Gras anwelken. Das Futter muss auch in den ersten Wagen über 30% aufweisen.
- Maishäcksels auf angewelkte Grassilage einfüllen. Die trockenere Grassilage nimmt den Gärsaft des Maishäcksels auf. Für einen Betrieb mit Sommerfütterung von Maissilage wäre es allerdings zwingend, dass auch Grassilage verfüttert wird, was nicht zulässig ist.

### Bauliche Möglichkeiten

Gärsaft oder mit Gärsaft kontaminiertes Meteorwasser muss aufgefangen werden, entweder in der Güllegrube oder in einem separaten säureresistenten Behälter. Um eine möglichst praxistaugliche Handhabung zu gewährleisten, richtet sich die empfohlene

Behältergrösse nach dem üblichen Druckfassinhalt: zirka 3 m<sup>3</sup>.

Ein solcher Behälter kann in Ort beton oder mit einem Zementrohr mit Boden ausgeführt werden. Die Innenwand muss beschichtet werden, zum Beispiel mit Zweikomponenten-Epoxidharzen oder Polyester. Eine weitere Möglichkeit ist ein erdverlegter Kunststofftank (Abb. 11). Bei Ausführung durch einen Unternehmer ist der Schacht aus Ort beton die teuerste Variante (Tab. 10).

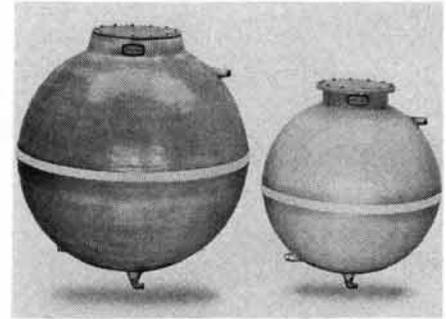


Abb. 11: Ein Kugeltank aus glasfaserverstärktem Polyester als Gärsaftbehälter ist kostengünstiger als ein Schacht in gleicher Grösse aus Ort beton (Unternehmerpreise).

### Empfehlung

Ausgehend von den festgestellten Abwasserformen gilt folgende Empfehlung (BUWAL 1993): «Sobald der Flachsilo zugedeckt oder der Silo leer und gereinigt ist, darf das auf den Silo fallende Regenwasser ins umliegende Terrain versickern. Der während der Entnahmezeit auf die leere, unbedeckte Silofläche fallende Regen kann auf die gleiche Art abgeleitet werden, sofern kein Gärsaft anfällt, der Silo sich ausserhalb der Gewässerschutzzone S befindet und die unbedeckten Siloflächen besensauber sind.»

Tabelle 10: Investitionsbedarf für säureresistente Behälter

		Ortbeton	Zementrohr	Kunststoff
Innenmasse	m	1,4 x 1,4 x 1,6	Durchm. = 1,5 m Höhe = 2,0 m	Durchm. = 1,8 m
Inhalt	m <sup>3</sup>	3,1	3,5	3,0
Aushub	Fr.	500	270	270
Hinterfüllung	Fr.	450	220	220
Beton/Armierung	Fr.	2870		
Beschichtung	Fr.	650	600	
Anschluss	Fr.	250	250	350
Fertigelemente	Fr.		2500	2950
Transp. + Vers.	Fr.		250	250
<b>Total</b>	<b>Fr.</b>	<b>4720</b>	<b>4090</b>	<b>4040</b>

(Berechnungsgrundlage: mittlere Unternehmerpreise 1993).

## Schlussfolgerungen

### Vorteile Flachsilo gegenüber Hochsilo:

- Geringerer Investitionsbedarf,
- Eigenbaufreundlicher,
- Abladen weniger störungsanfällig mit kleinerem Energieaufwand,
- Überfüllen (10%) des Silos möglich,
- Mechanische Entnahme überbetrieblich, daher wesentlich kostengünstiger
- Mechanische Entnahme auch bei längerem Futter funktionssicher (Ladewagenschnitt),
- Im Winter Entnahme nur ein- bis zweimal wöchentlich,
- Gras- und Maissilage aus einem Silo zur gleichen Zeit verfütterbar,
- Geringere Unfallgefahr (Gas, Absturz),
- Passt besser in die Landschaft (Ortsbild),
- Folien wiederverwertbar oder in der Kehrichtverbrennungsanlage unschädlich vernichtbar (Polyäthylen) (GFK-Silo zum Beispiel nicht möglich).

### Keine wesentlichen Unterschiede:

- Schlagkraft bei der Ernte (Häcksel),
- Jährliche Kosten bei überbetrieblicher Zusammenarbeit,
- TS-Verluste.

### Nachteile Flachsilos gegenüber Hochsilos:

- Höherer Platzbedarf,
- Zeitaufwendiges Zu- und Abdecken,
- Für kleine Ernteflächen ungeeignet,
- Wetterrisiko bei grossen Ernteflächen,
- Silogrösse erst ab 120 m<sup>3</sup> Inhalt sinnvoll,
- Beim Überfahren höhere Verschmutzungsgefahr des Futters,
- Handentnahme kaum möglich,
- Im geöffneten Zustand hohe Anforderungen betr. Gewässerschutz,
- Keine Nassilagen,
- Silo nicht versetzbar,
- Betonschutz vorläufig nicht gelöst oder sehr teuer.

## Literatur

Baumann K., 1992. Mais-Reihendistanzversuch. Die Grüne 19/1992, 22-25.

Brandt J., 1990. Beton für Flachsilo und Silierplatten. Bauen für die Landwirtschaft, Heft 2, 1990, 16-18.

BUWAL, 1993. Baulicher Gewässerschutz in der Landwirtschaft. Mitteilungen zum Gewässerschutz Nr. 10.

Englert G., 1990. Beton für Flachsilo und Silierplatten. Bauen für die Landwirtschaft, Heft 2, 1990, 23-25.

Englert G., 1993. Betonschutz und Betonsanierung. Landtechnik 4/93, 202-205.

ENV 1992-1-1, SIA-Ausgabe 1992. Eurocode 2, Planung von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken.

Kangro A., 1986. Load Measurements in bunkersilos for silage. Sveriges Landbruksuniversitet, Institutionen för landbrukets byggnasteknik (LBT), Lund 1986.

Klose N., 1993. Gärfutter-Flachsilo aus Beton; Beanspruchung aus Betrieb und Umwelt. Bauen für die Landwirtschaft, Heft 2, 1993, 26-28.

Küntzel U., 1978. Untersuchungen zur Beseitigung von Silage-Gärsaft durch Landbehandlung. Landbauforschung Völkenrode, Heft 1, 1978, 5-15.

Meissner R., 1987. Rationelle Nutzung und schadlose Verwertung von Silagesickersaft in der Pflanzenproduktion. Feldwirtschaft 28, 1987, 419-422.

Merkblatt Gärfutter-Flachsilo aus Beton (August 1993); Bauen für die Landwirtschaft, Heft 2, 1993, S. 29-31.

SIA-Norm 162, Ausgabe 1989. Betonbauten.