



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Wirtschaft, Bildung und Forschung WBF

Agroscope

Agrartechnik II

Innenwirtschaft

Robert Kaufmann
ETH-Zürich, Frühlingssemester 2017



Stoffprogramm Innenwirtschaft

1. Modul: Futterkonservierung - Heubelüftung
2. Modul: Silagetechnik
3. Modul: Ein-/Auslagerungs- und Futtervorlagetechnik
4. Modul: Elektronik im Stall (Digitale Landwirtschaft, Smart Farming, Farming 4.0)
5. Modul: Hofdüngertechnik/Emissionen (S. Schrade)



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Wirtschaft, Bildung und Forschung WBF

Agroscope

Modul 2: Silagetechnik

**Robert Kaufmann
ETH-Zürich, Frühlingssemester 2017**



Gliederung des Moduls

- Grundlagen Einsilieren/Futterarten
- Siliertechnik/Siloformen
 - Hochsilos
 - Flachsilos
 - Andere Lösungen
- Silierverfahren im Vergleich
- Berechnung Lagerraumbedarf



Grundlagen Einsilieren

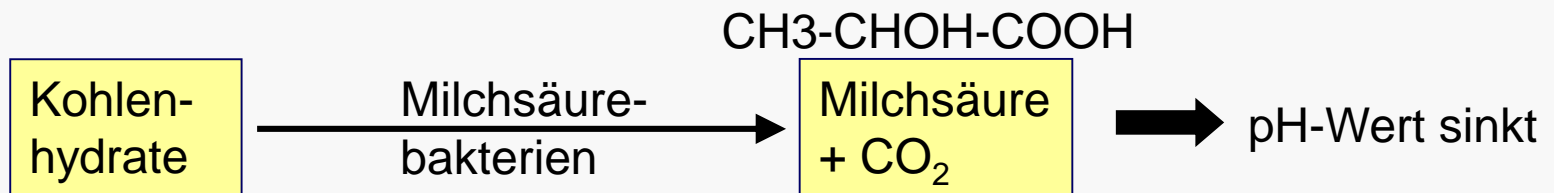
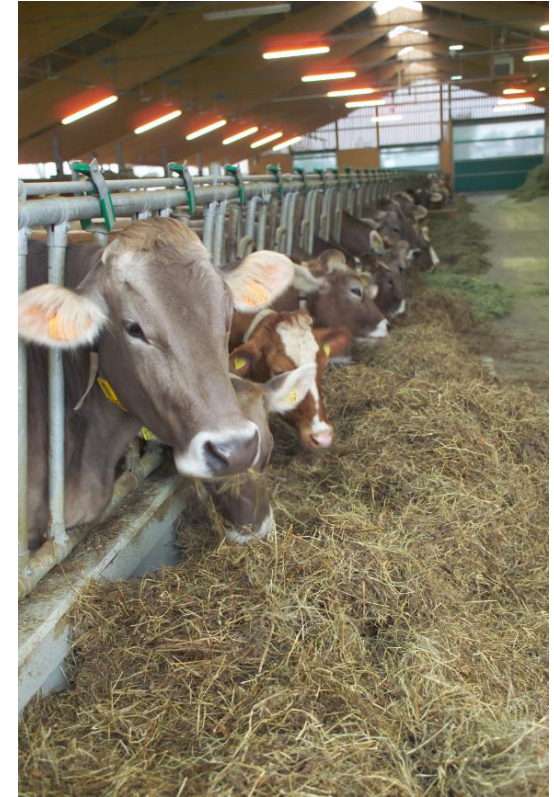


[Für mehr Details: Silagebereitung von A bis Z](#)



Ziel des Silierens

- Wie Heu dient auch die Silagetechnik vorwiegend der Konservierung von Raufutter
- Grundidee: Ausnützung der mikrobiell-anaeroben Fermentation zur Erreichung eines sauren Milieus (pH ~ 4.0-4.5)
- Ziel: Langzeitstabiles Produkt bei Garantie eines konstanten anaeroben Milieus



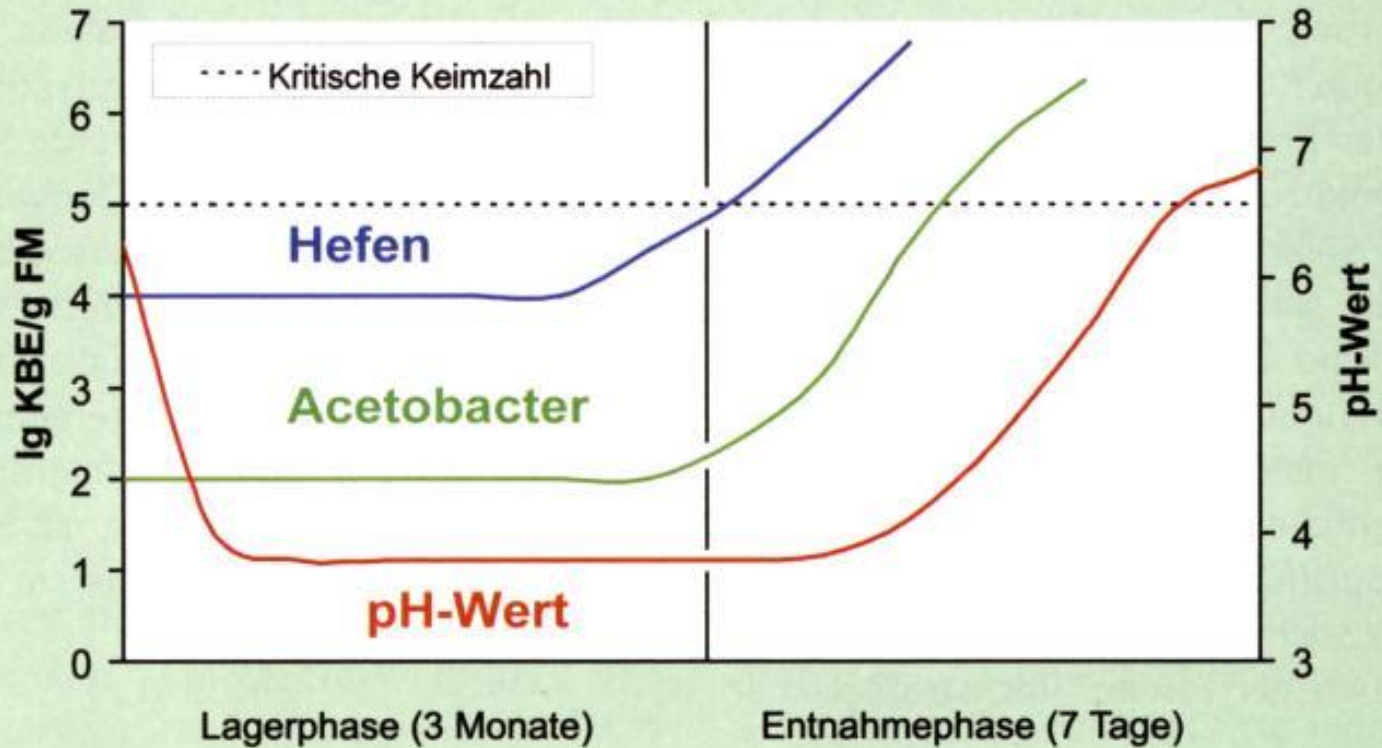
Lebensbedingungen von Milchsäurebakterien und Gärschädlingen

Mikroorganismen	O ₂			Temperatur °C				pH - Werte					besonders begünstigt durch	Bedeutung	
	aerob	fakultativ	an-aerob	20°	30°	40°	50°	3	4	5	6	7			
Milchsäurebakterien "kalt"														Kohlenhydrate	erwünscht
Milchsäurebakterien "warm"															unerwünscht
Coli Aergones Gruppe (Essigsäurebildner)														Kohlenhydrate Feuchtigkeit	unerwünscht (Kohlenhydratverluste)
Buttersäurebakterien														Eiweiß	schädlich (Eiweißverluste)
Fäulnisbakterien															schädlich (Geschmack)
Schimmelpilze															schädlich (Geschmack)
Hefen															gefährden Stabilität

Quelle: Auernhammer nach BECK, GROSS, ZIMMER

Gefahren beim Anschneiden des Silos

Abb. 1.4: Nacherwärmung, verursacht durch Hefen und Bakterien



Quelle: Bundesarbeitskreis Futterkonservierung (Hrsg) 2006 - Praxishandbuch Futterkonservierung



Risiken im Konservierungsprozess

Zeitpunkt	Risiken
Ernte, Einlagerung	Atmungsverluste, Bröckelverluste
Konservierung → Milchsäurebildung	Langsame, ungenügende Ansäuerung
Lagerung Öffnen des Silos → Erhaltung des Futterwertes	Lagerungsverluste Nacherwärmung = aerober Abbau (Masse- und Energieverluste, Verderb mit Wärme- und Schimmelbildung)



Silierregeln

- Gut silierbares Futter verwenden
- Optimaler Nutzungszeitpunkt (Gras: Beginn Rispenstadien; Mais: Teigreife, Beginn Blattreife, ca. 30 % TS)
- Gras auf 35-40 % anwelken
- Nur sauberes Futter silieren
- Siliergut zerkleinern (Feldhäcksler/Kurzschnittladewagen/Standhäcksler)
- Zügig einsilieren und gut verdichten (Wasserpresse, Walzen) – Luft auspressen zur Vermeidung von schlechten Zonen (Schimmelnester etc.) und Fehlgärungen bei Entnahme
- Silo luftdicht verschliessen – Vermeidung von Nacherwärmung
- Auf ausreichende Entnahme achten zur Vermeidung von Nachgärung



Zentraler Punkt: Gute Verdichtung!

Einflussfaktoren

- Anwelkgrad des Siliergutes
- Zerkleinerungsgrad
- Rohfaser-, Eiweiss- und Kohlehydratgehalt
- Verdichtungsverfahren



Futterart



Quelle: ART



Futterarten

- Grassilage



- Maissilage



- CCM (Corn-Cob-mix)



- Malz-/Biertreber



- Zuckerrübenschnitzel



- Futterrübensilage
- Kartoffelsilage
- Feuchtgetreide

Quelle: eFeed



Siliertechnik/Siloformen





Siliertechnik/Siloformen

- Hochsilo (GFK, Holz, Stahl etc.)
- „Harvestore“
- Flach- oder Fahrsilo
- Grossballensilage
 - Rundballen
 - Quaderballen
- Schlauchsilage





Thema Hochsilos

- Materialien/Eignung
- Sicherheit
 - Absturz
 - Gas
 - Bersten
 - Gewässerschutz
- Landschaft





Generelle Anforderungen an Siloanlagen

Unabhängig von den Baustoffen müssen folgende **Anforderungen der Silowandfläche** erfüllt werden:

- **glatt** (garantiert bestmögliche Verdichtung)
- **luftdicht** (verhindert Fehlgärungen)
- **beständig gegen Säuren** (verhindert Korrosion)
- **mechanisch widerstandsfähig** (verhindert Beschädigungen)



Hochsilos: Materialien

Holz



Beton



GFK (Glasfaserverstärkter Kunststoff)

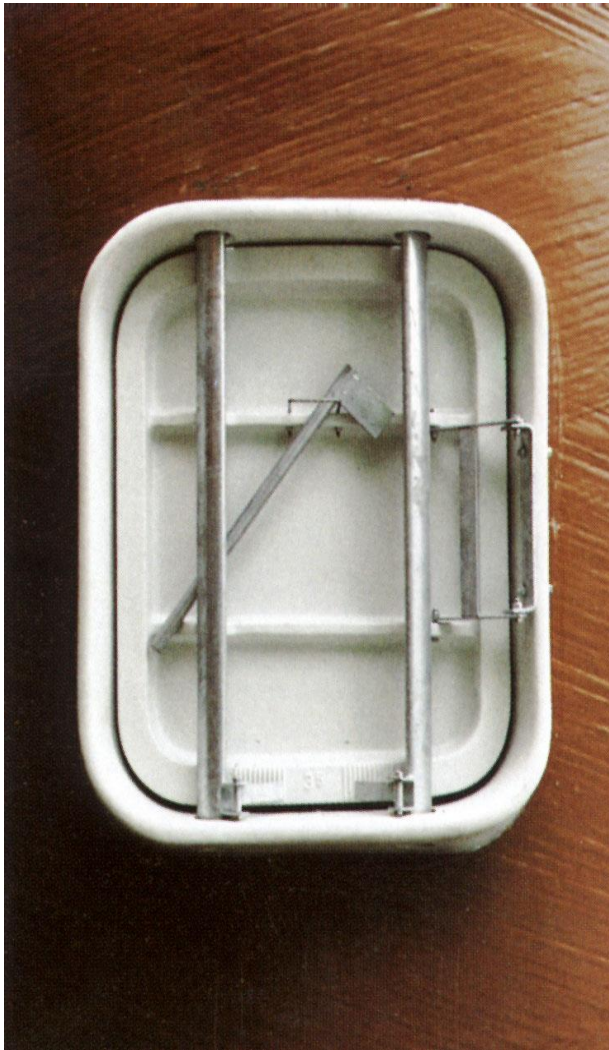


Metall





GFK-Hochsilos: Lukendetails



Quelle: Werkbild Hubersilo



Fabrikation von GFK-Silos

Herstellung von GFK-Hochsilos
Unterscheidung zwischen Schleuder-
und Wickelverfahren



Schleuderverfahren:



Wickelverfahren:



GFK-Hochsilo: Transport und Aufrichten



Quelle: Werkbild Rotaver



Betonsilosos

- Mit Gleitschalungen vor Ort fabriziert
- z.T. auch vofabrizierte Platten
- Oberflächenbehandlung notwendig
- Vorteile:
 - Eigenleistungen
 - Grossvolumige Behälter möglich
 - Hohe Stabilität
- Nachteile:
 - Unflexibilität
 - Abbruch!



Un gigant! 45m de haut; 9m Ø



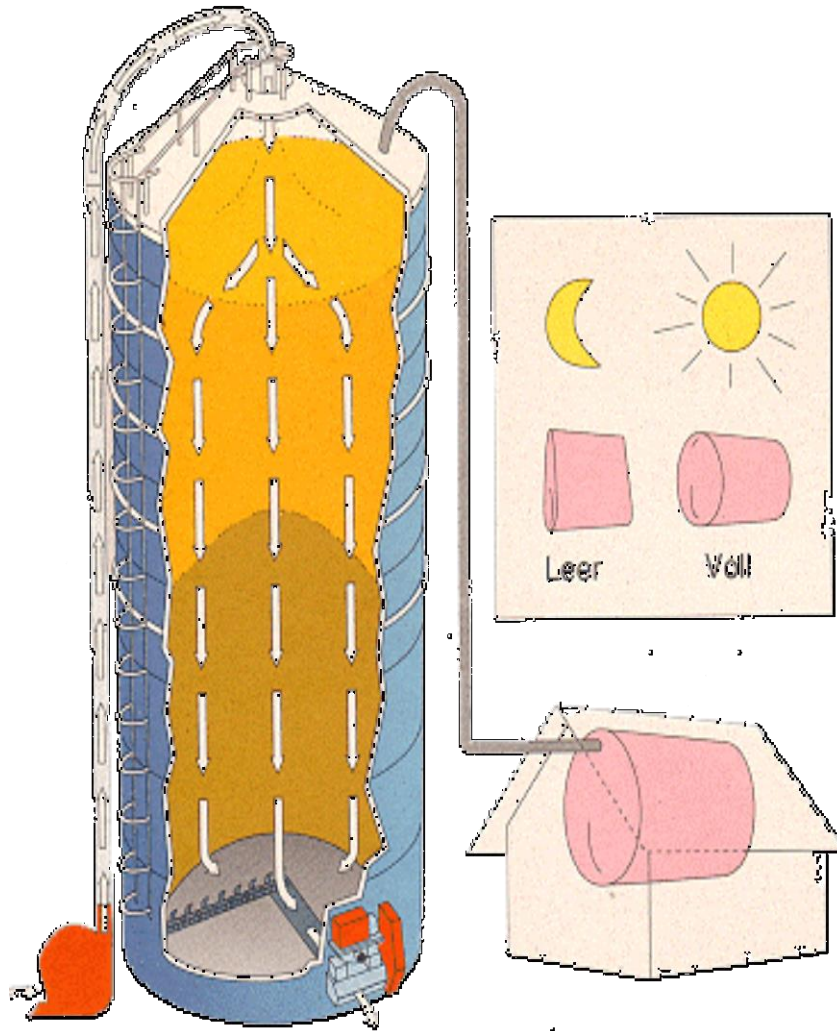
Bsp. Gleitschalungsbau



Quelle: Auernhammer



Harvestore-Konzept



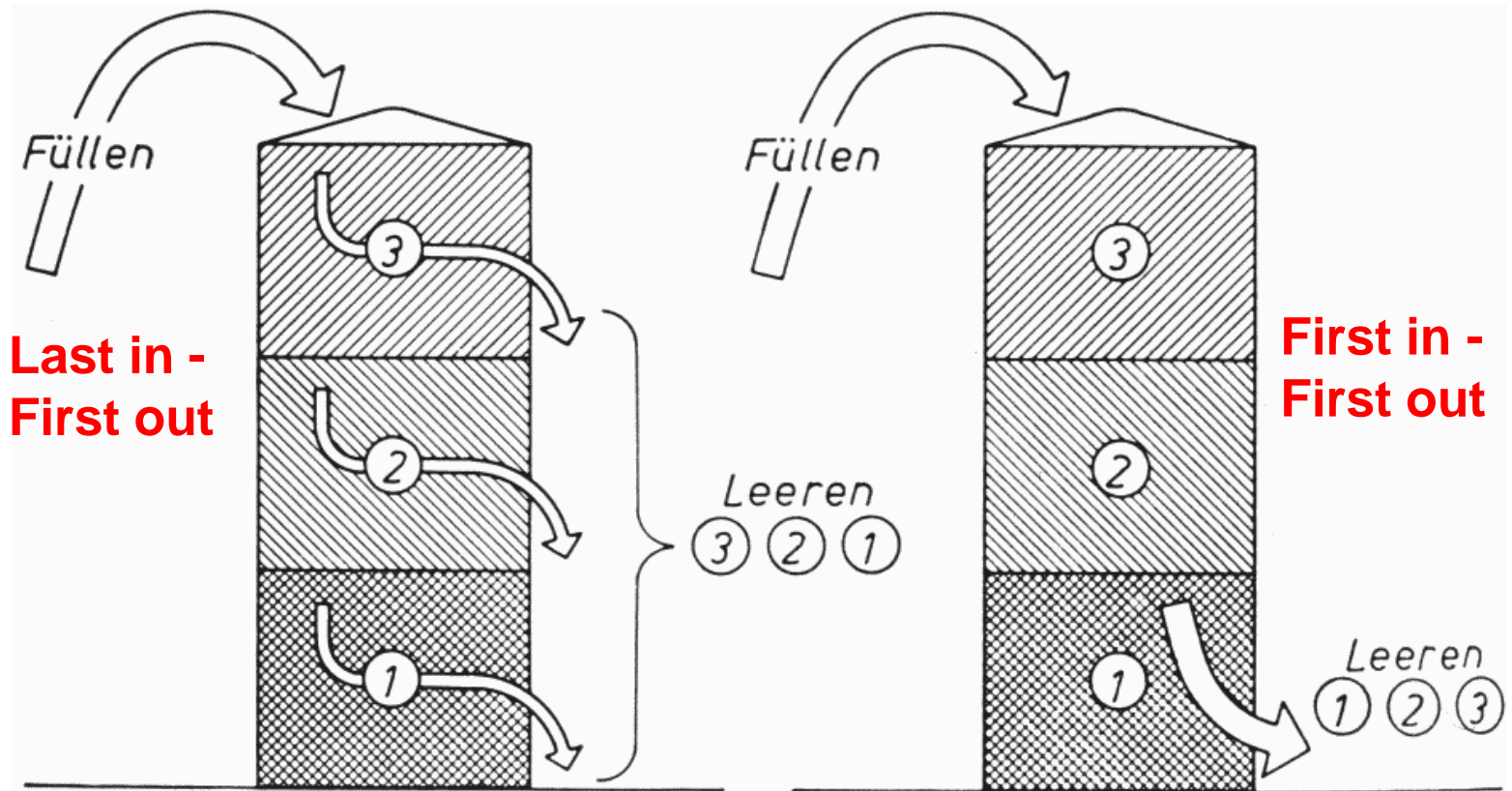
- Material: Emaillierte Stahlplatten
- Grosse Volumina
- Harvestoreprinzip: Oben einfüllen - unten entnehmen
- Ausgleichslunge!

Vorteil: Gleichmässige Fütterung

Nachteil: Hohe Investition, hohe Ansprüche Futterkonsistenz

Quelle: Werkbild Schuler AG

Unterschied Obenentnahme (links) – Untenentnahme (rechts)



Quelle: Auernhammer



Risiken bei Hochsilos

Sicherung vor Absturz:

- Sichere Geländer
- Netze bei oberer Lucke
- Absicherungen bei Montage- und Demontearbeiten



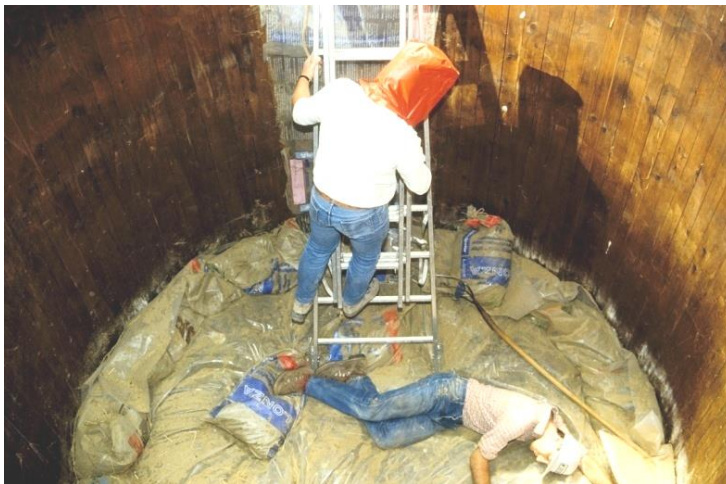
Bilder: BUL



Risiken bei Hochsilos

Sicherung vor Gasgefahr:

- Erstickungsgefahr in Gärbehältern (CO₂)
- Vor Besteigen des Silos gut lüften
- Beim Besteigen solide Leiter benutzen



Bilder: BUL



Risiken bei Hochsilos

Achtung im Arbeitsbereich von Maschinen:



Bilder: BUL



Risiken bei Hochsilos

Umsturz vermeiden:

- Gilt va. für GFK-Behälter
- Behälter visuell auf Beschädigung kontrollieren
- Kritische Güter: CCM, ZR-Schnitzel, nasse Grassilage
- Unterste Luke kontrollieren (Saftaustritt = Gefahr)
- Nicht asymmetrisch befüllen
- Nicht ganzer Behälter auf einmal befüllen



[Quelle: Jakob/Kaufmann. 1999: Glasfaserverstärkte Kunststoff-Hochsilos - Sicherer Betrieb auch im Alter!](#)



Hochsilos und Landschaft





So ...



Quelle: Bild Heinrich, Projekt BAULA, 2004



oder so?



Quelle: Bild Heinrich, Projekt BAULA, 2004

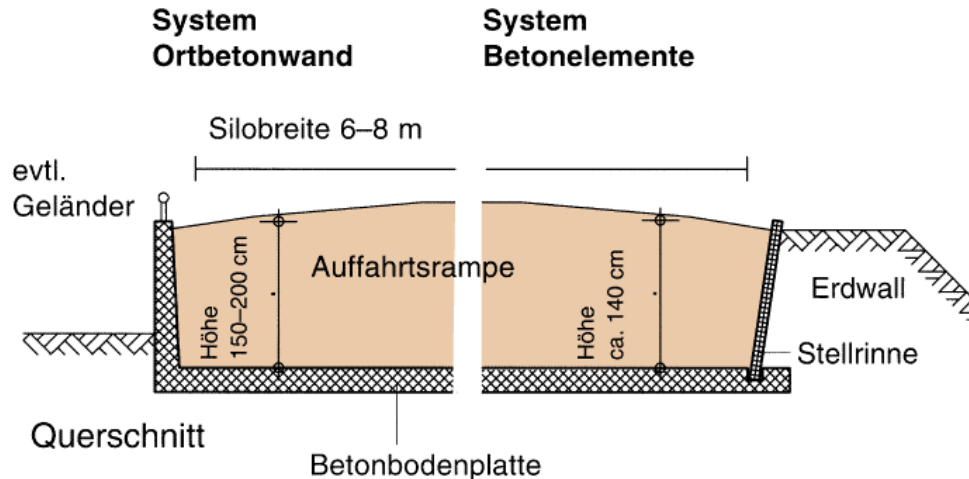
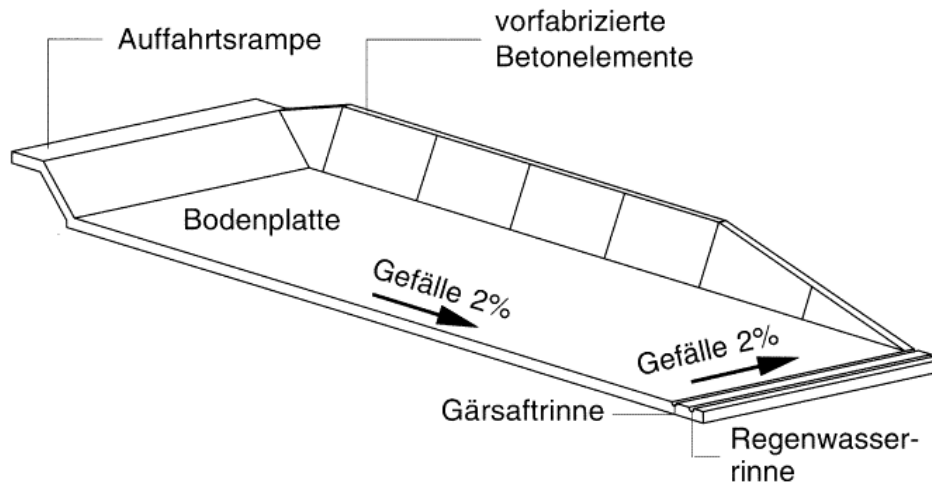


Hochsilo: Materialien und Eignung

Form	Materialien	Dimensionen	Eignung
Rund	GFK (Glasfaser-verstärkter Kunststoff)	Kleinere Behälter (bis 150 m ³) üblicherweise Ø nicht > 3,5 m (Stras-sentransport)	Alle Futtermittel, bes. Vorteile bei angewelkten Gütern und hohen TS-Gehalten (hohe Dichtigkeit), weniger geeignet CCM, ZR-Schnitzel (Statik). Geringer Unterhalt (keine Oberflächenbehandlungen nötig). Bei Entsorgung: Sondermüll. Werden auch als Occasionen gehandelt.
	Holz	Mittelgrosse Behälter (bis ca. 500 m ³)	Nicht 100 % dicht, eher für feuchtere Güter (feuchte Anwelksilage, Silomais). Häufig im Stallinnenbereich verwendet. Im Leerzustand Austrocknungsgefahr.
	Beton mit Gleit-schalung	grosse Behälter (> 1000 m ³)	Für alle Güter geeignet. Regelmässige Oberflächenbehandlung gegen Säurefrass notwendig. Stabil. Hohe Abbruch und Entsorgungskosten.
	Metall, Oberfläche emailliert	grosse Behälter (> 1000 m ³) 180 - 1750	Für alle Güter, ausser mit sehr hohem Wassergehalt (Kartoffelpülpe) → Statik. Lange Lebensdauer. Werden auch als Occasionen gehandelt. Spezialfall Harvestore
Eckig	Holz	siehe oben	Siehe oben. Nur Einsatz in der Scheune: Vorteile für die Entnahme mit Kran
	Beton	siehe oben	dito



Flachsilo - Fahrsilo



- Konstruktion
 - Element-Bauweise: z.B. Traunsteiner Silo
 - Ortbeton
 - z.T. ohne Wände bei grossem Volumen
- Wird im Ausland z.T. ohne Abdeckung betrieben (grosse Volumina, geringere Qualitätsanforderungen)

Quelle: [Jakob R. und L. Van Caenegem \(1993\). Flachsilo – Bau und Technik. FAT-Berichte Nr. 438](#)



Kombinierte Bauformen



Quelle:
Jungbluth

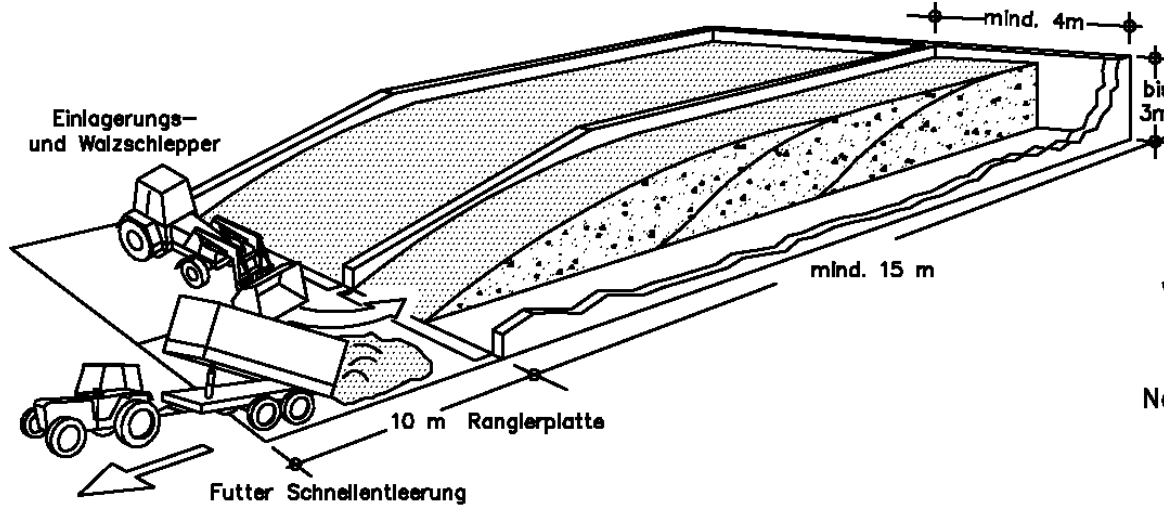


Grossanlagen



Quelle:
Jungbluth

Einlagerung im Flachsilo - Verfahrenstechnik

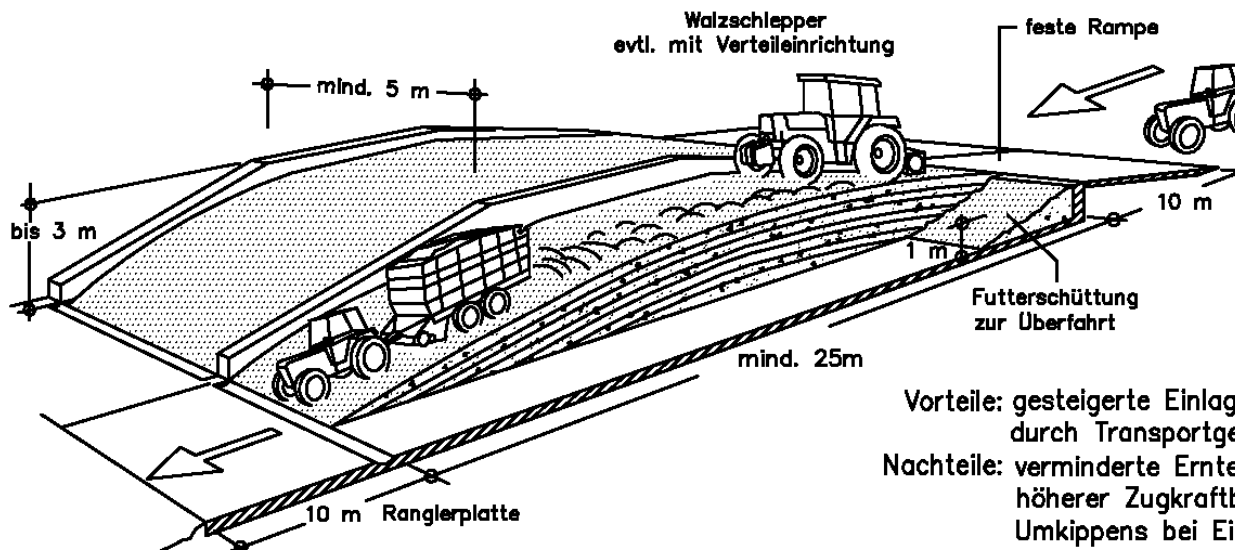


Abkippen vor dem Silo:

Abwerfen des Futters kurz vor dem Futterstock in Schnellentleerung, Einlagern mit Radlader oder Frontladertraktor, mindestens 8 m Rangierplatte vor dem Silo

Vorteile: Schnellentleerung, dadurch hohe Ernteleistung, weniger Futtermverschmutzung

Nachteile: geringere Verdichtung, verminderte Einlagerungsleistung



Überfahr-Verfahren:

Überfahren mit Transportgespannen (vorwiegend Ladewagen), Ladewagen mit Verteileinrichtung oder Verteilung mit Frontlader bzw. Siloverteilgerät im Heckanbau, Rampe vorteilhaft

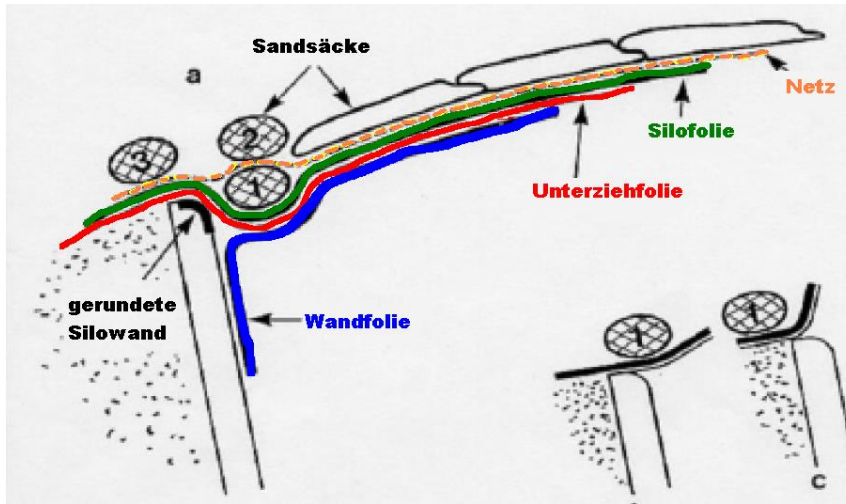
Vorteile: gesteigerte Einlagerungsleistung, zusätzliche Verdichtung durch Transportgespanne
Nachteile: verminderte Ernteleistung, Futtermverschmutzung bei Nässe, höherer Zugkraftbedarf für Transportgespanne, Gefahr des Umkippens bei Einsatz von Dreiseitenkippern



Arbeitsgänge beim Einsilieren



Abdeckungsarbeiten sind aufwändig



(Quelle: Pflum, Grub)



Zuerst Unterziehfolie (luftdicht)

(Quelle: [Badische Bauernzeitung](#))



...danach folgt die Gewebefolie (Silofolie)



Einlagerung mit Traktoren/Radlader

- Reifendruck: 2-3,5 bar
- keine Zwillingsbereifung
- 30 cm Schichtdicke maximal (unverdichtet)
- Geschwindigkeit 4-6 km/h
- mindestens 3 x überfahren
- Walzen ab dem ersten Erntefahrzeug
- 1 Stunde Nachwalzen nach dem letzten Erntefahrzeug

Quelle: [Latsch 2014: Grassilageverdichtung im Flachsilo](#), Grünig 2007, Miller 2006, Nußbaum 2007



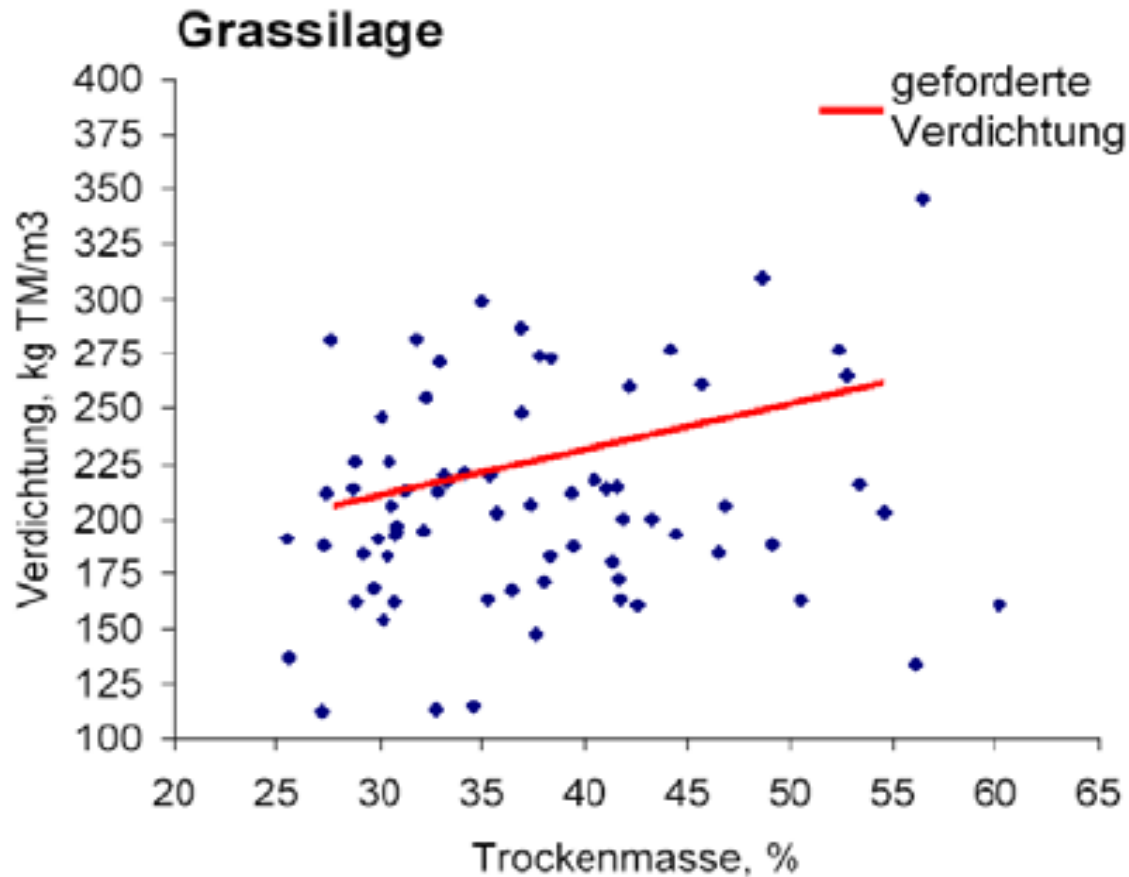
Faustformeln zur Verdichtung

- 2 bis 3 min. Verdichtungsaufwand / t FM
- Ladewagen: $\frac{\text{Bergeleistung [t FS/h]}}{3} = \text{Walzgewicht [t]}$
- Häcksler: $\frac{\text{Bergeleistung [t FS/h]}}{4} = \text{Walzgewicht [t]}$

Quelle: Miller 2006, Nußbaum 2007



Erreichbare Verdichtung I



Verdichtung in Grassilagen (n=77); (Thaysen et al. 2006)



Kombiniertes Verteilen und Walzen



Kässbohrer, PistenBully 300 *GreenTech*



Flachsilo und Landschaft



Bild: Kaspar Günthardt



Risiken beim Flachsilo

- Risiken bescheiden
- Kippgefahr beim Verdichten und seitlichen Befüllen



Bild: BUL



Bild: Auernhammer

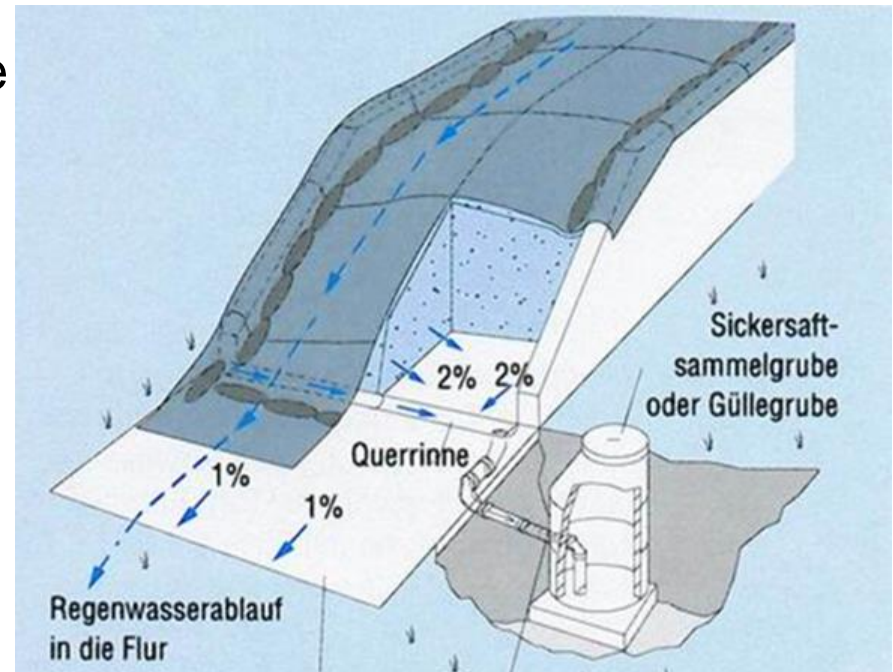


Gewässerschutz

Versickerung ins umliegende Terrain:

- Silo zugedeckt
- unbedeckte Fläche bei Entnahme hat kein Gärssaft und ist besenrein
- Silo nicht in Gewässerschutzzone

(Empfehlung BUWAL 1993)



Quelle: Jakob R. und L. Van Caenegem (1993). Flachsilo – Bau und Technik. FAT-Berichte Nr. 438



Grundsätze des Einsilierens im Flachsilo

- Nur gut vorgewelktes und zerkleinertes Futter verwenden (Feldhäcksler, Kurzschnitt-Ladewagen)
- Gleichmässige Verteilung und intensives Walzen mit schwerem Gerät (Traktor mit Zusatzgewichten, Baumaschine).
- Umgehendes Abdecken mit den entsprechenden Folien (Seiten-, Innen-, Abdeckfolien) und Anbringen von Schutzgitter (gegen Vögel, Hunde etc.).
- Achtung: Besondere Sorgfalt ist erforderlich bei Silage, die im Sommer verfüttert wird (Nachgärrisiko!).
- Maissilage < 30 % TS: Gärtaftanfall! Dieser muss via Gärtafttrinne in einen Sammelschacht geleitet werden.
- Bei Entnahme entstehen verschmutzte Flächen, die das Regenwasser kontaminieren können. Falls Flachsilos nicht in einer Gewässerschutzzone: Versickern im Umfeld des Silos ohne Umweltgefährdung. Bedingung: Regelmässige Reinigung der Fläche (“besenrein”).



Ballensilage

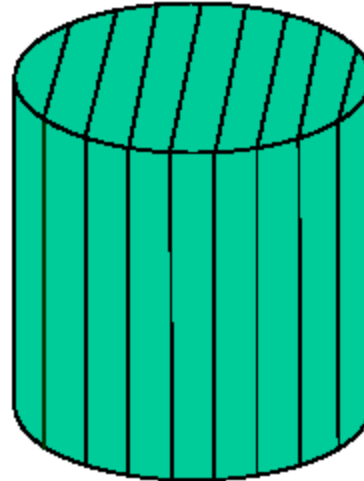
- Feldarbeiten = Siehe Thomas Anken
- Lagerstandort: Anforderungen
- Folienqualität/-farbe
- Gärtaftanfall
- Ballenhandling (Ein-/Auslagerung)



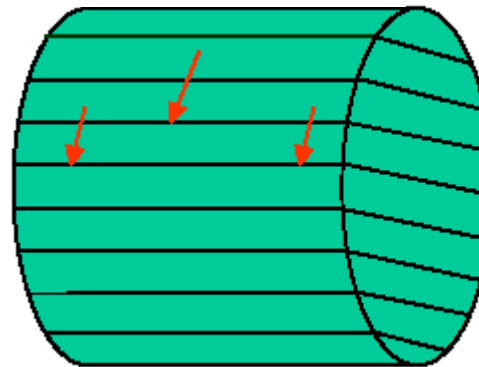
Lagerung der Silagerundballen



- Befestigter Untergrund
- Schutz vor Folienbeschädigungen durch Tiere



Stirnseite liegend:
höherer Anteil
schützende Folie
notwendig



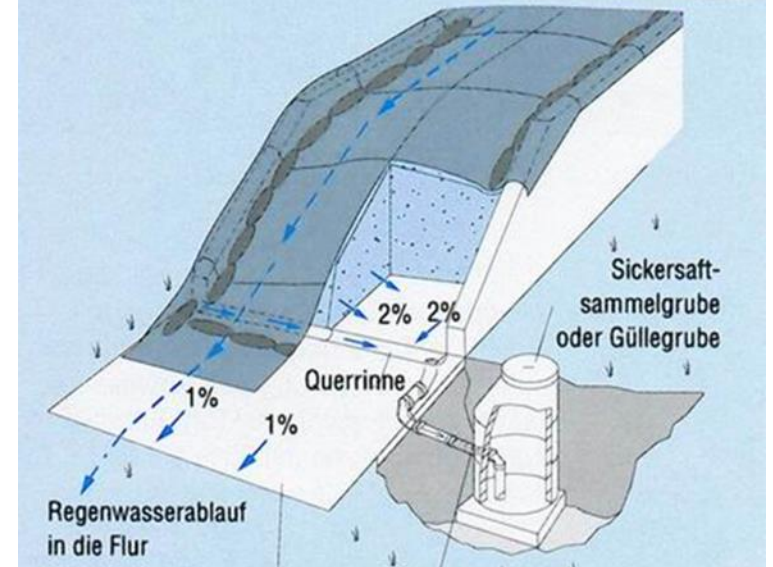
Mantelseite liegend:

- Eindringen von Regenwasser
- Verformung der Ballen



Ausgangslage Gärssaftproblematik

- in der Schweiz werden pro Jahr mehr als 1 Mio. Siloballen produziert
- Lagerung meist im Freien und auf unbefestigtem Boden
- Hoch- und Flachsilos haben bauliche Auflagen bezüglich Gärssaft



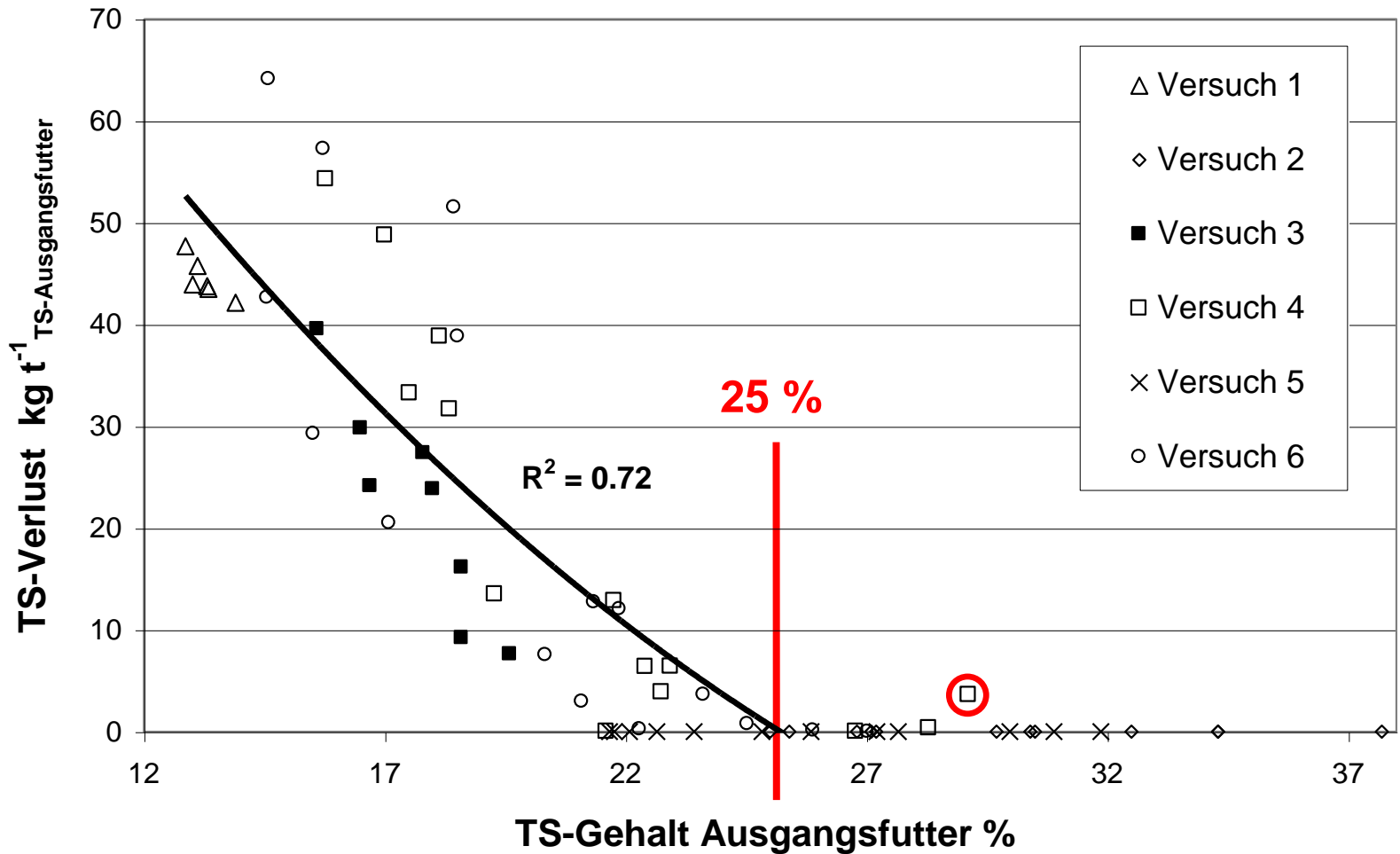


Versuche in Tänikon



Quelle: Dürr, FAT, 2002

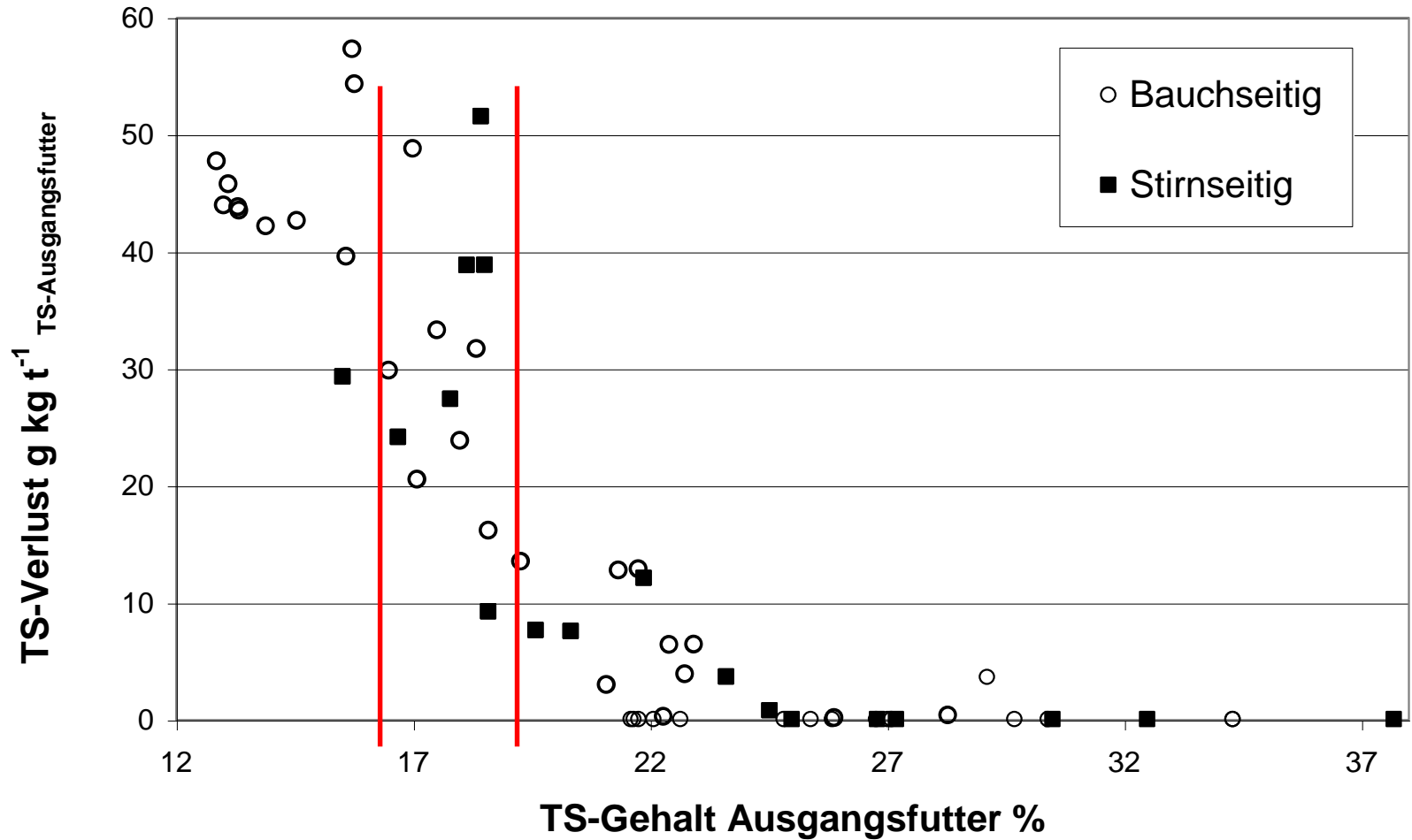
TS-Verlust durch Gärssaft vs. TS-Gehalt Futter



Quelle: Dürr, FAT, 2002



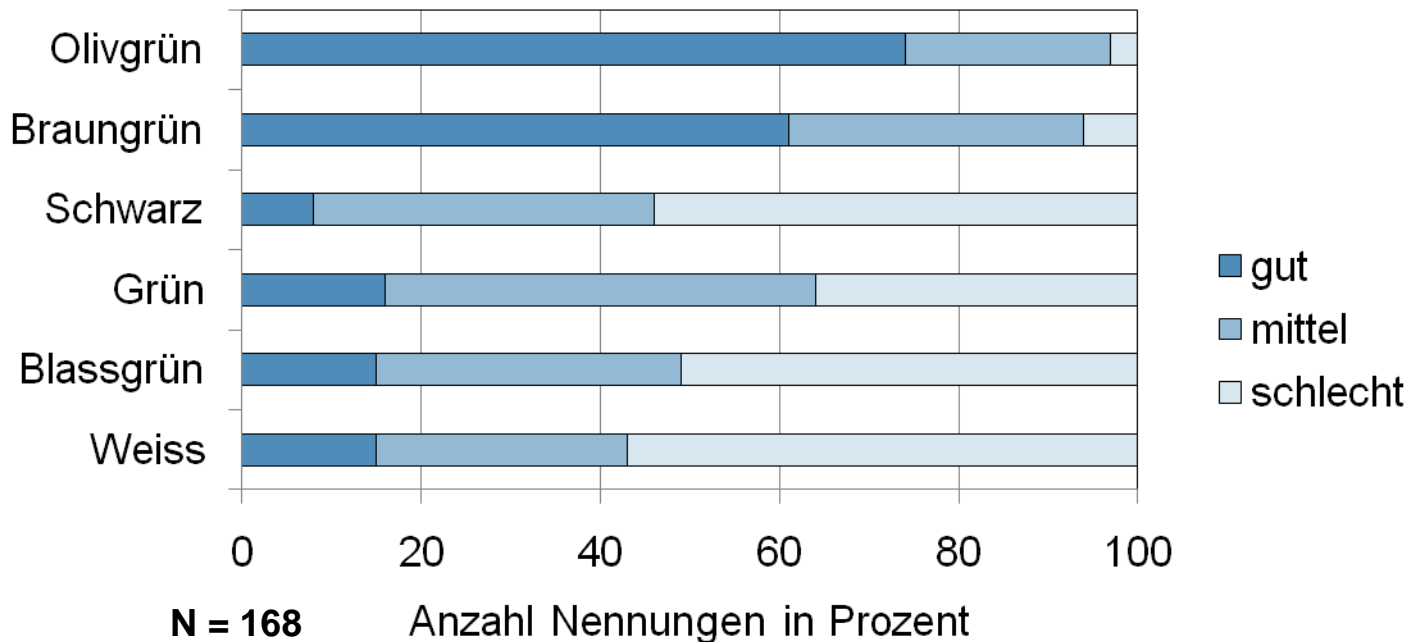
Bauch- oder stirnseitige Lagerung?



Quelle: Dürr, FAT, 2002

Umfrage Folienfarbe bei Konsumenten

„Welche Folienfarbe eignet sich für die Ballenlagerung im Freien gut, mittel oder schlecht?“



Quelle: R. Frick, Informationstagung Landtechnik, FAT 2002

Zusätzliche Angaben zu **Folienqualität**:

- Qualität und Einsatz von Folien: FAT-Berichte Nr. 615.
- Bundesarbeitskreis Futterkonservierung [Hrsg.] 2006: Praxishandbuch Futterkonservierung - Silagebereitung, Siliermittel, Dosiergeräte, Silofolien. 7. völlig überarb. u. akt. Aufl., DLG-Verlag, 354 S.



Ballenlagerung – Zugänglichkeit und Landschaft



Thema Lagerstandorte



Grundsätze bei Rundballen-Silage

- Lagerstandort mit guter Zugänglichkeit auch im Winter und bei aufgeweichtem Boden
- Einpassung in Landschaft, saubere Anordnung, Wahl unauffälliger Farben. Vermehrt gibt es Schwierigkeiten mit kantonalen Umweltämtern deswegen!
- TS-Gehaltsgrenze für Gärssaftanfall liegt bei ca. 25 %
- Unter Berücksichtigung der allgemeinen Silierregeln (Anwelken) und ohne Beschädigung der Folie sollte kein Gärssaft anfallen
- Ballen mit tiefen TS-Gehalten (<30 %) sollten kontrolliert gelagert werden (Mistplatte)



Trend

- Grossquaderballen
- Kombinationen
Pressen - Wickeln
- Schlauchsilage

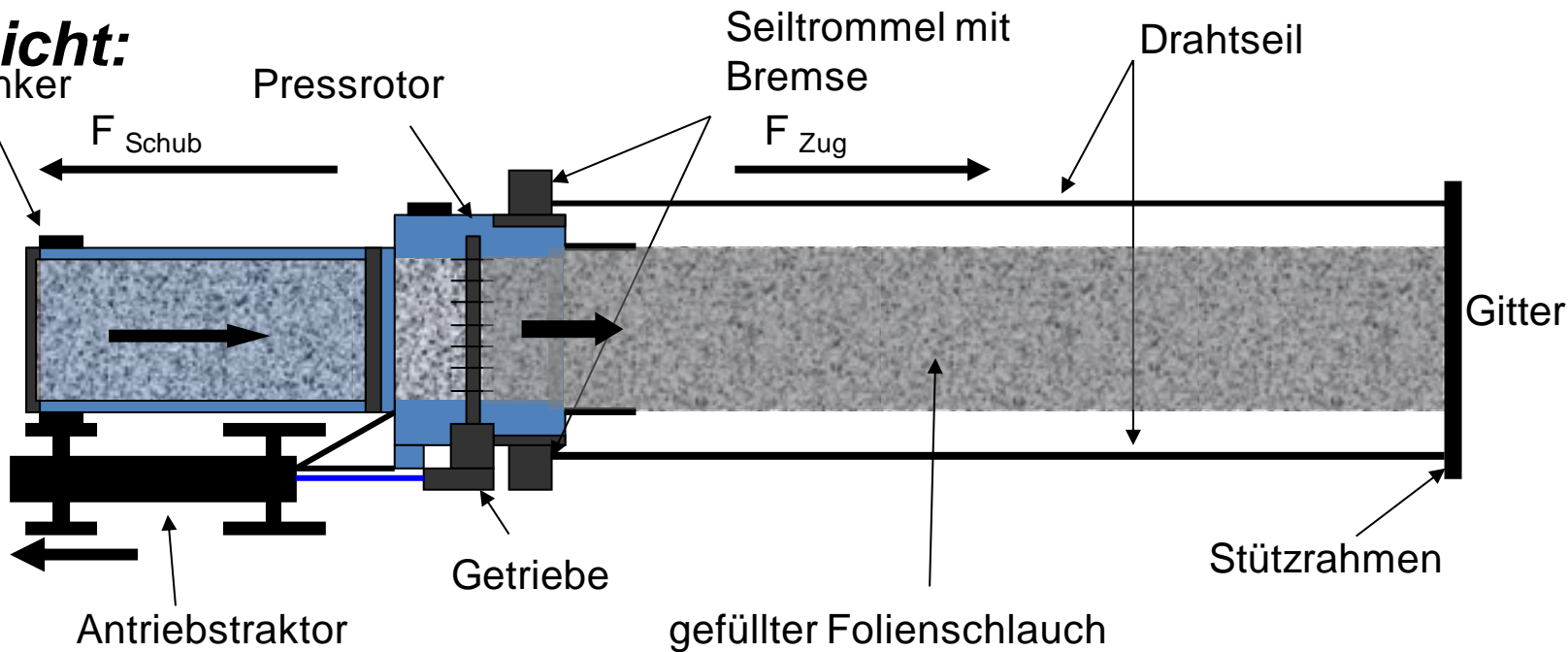




Schlauchsilo immer häufiger



Draufsicht:
Sturzbunker





Befüllung einer Schlauchpresse über ein Querförderband



Schlauchsilos : Eine saubere Lösung für Biertreber





.... Feuchtmais, Feuchtgetreide



Quelle: Toon van der Stok, Holland



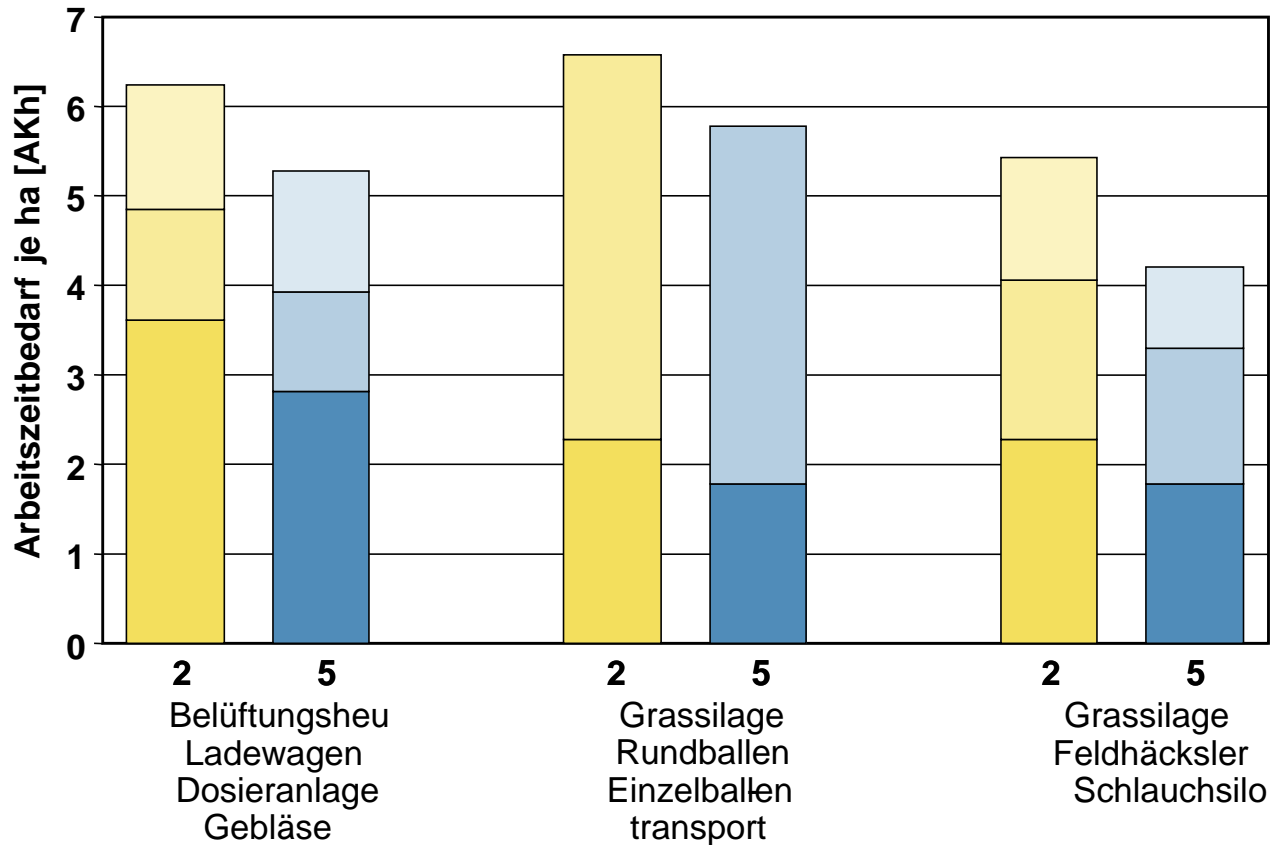
Schlauchsilo und Landschaft



Polen



Vergleich: Ernte-/Einlagerungsverfahren



Parzellengröße [ha]/ Ernteverfahren

■ 2 ha Mähen, Bearbeiten ■ 2 ha Laden, Transport ■ 2 ha Einlagern
■ 5 ha Mähen, Bearbeiten ■ 5 ha Laden, Transport ■ 5 ha Einlagern

Quelle:
R. Stark, FAT, 2003



Schlauchsilo versus Silo-Grossballen

Vorteile	Nachteile
Schlauchsilo	
<ul style="list-style-type: none">• Landwirt kann sich am Transport beteiligen• Entnahme ist ohne spezielles Gerät möglich• Weniger Folien zu entsorgen• Folie als Abdeckplane wiederverwenden	<ul style="list-style-type: none">• kleine Ernteflächen nicht möglich• Einmal geöffnet muss weiter gefüttert werden• Mindestvorschub nötig bei Entnahme
Silo-Grossballen	
<ul style="list-style-type: none">• Ballentransport kann durch Landwirt selber durchgeführt werden• Transport nicht zwingend an Ernte gebunden (kann bei schlechtem Wetter erfolgen)• kleine Ernteflächen möglich• ganze Ballen können auf den Futtertisch gebracht werden• Einzelne Ballen können bei Versorgungslücken im Sommer verfüttert werden	<ul style="list-style-type: none">• Kippgefahr mit Hoflader• viel Lagerfläche nötig, wenn Ballen nicht gestapelt werden• Ballen müssen im Mischwagen aufgelöst werden können• Frontlader oder grösserer Hoflader nötig, wenn Ballen gestapelt werden

Quelle: nach R. Stark, FAT, 2003



Berechnung notwendiger Silolagerraum und Silogeometrie



Quelle: Firma Betz, Deutschland



Raumprogramm: Berechnung Silovolumen

Beispiel:

SV =	RS * GVE * DF * 100	6.9*50*365*100	= 525 m ³
	RG * TS	600*40	

SV = Volumen Siloraum (m³)

RS = Silage in der Ration (kgTS/GVE u. Tag)

GVE = Anzahl mit Silage gefütterter Grossvieheinheiten

DF = Dauer der Silagefütterungsperiode (Tage)

RG = Raumgewicht (kg Silage/m³)

TS = TS-Gehalt der Silage



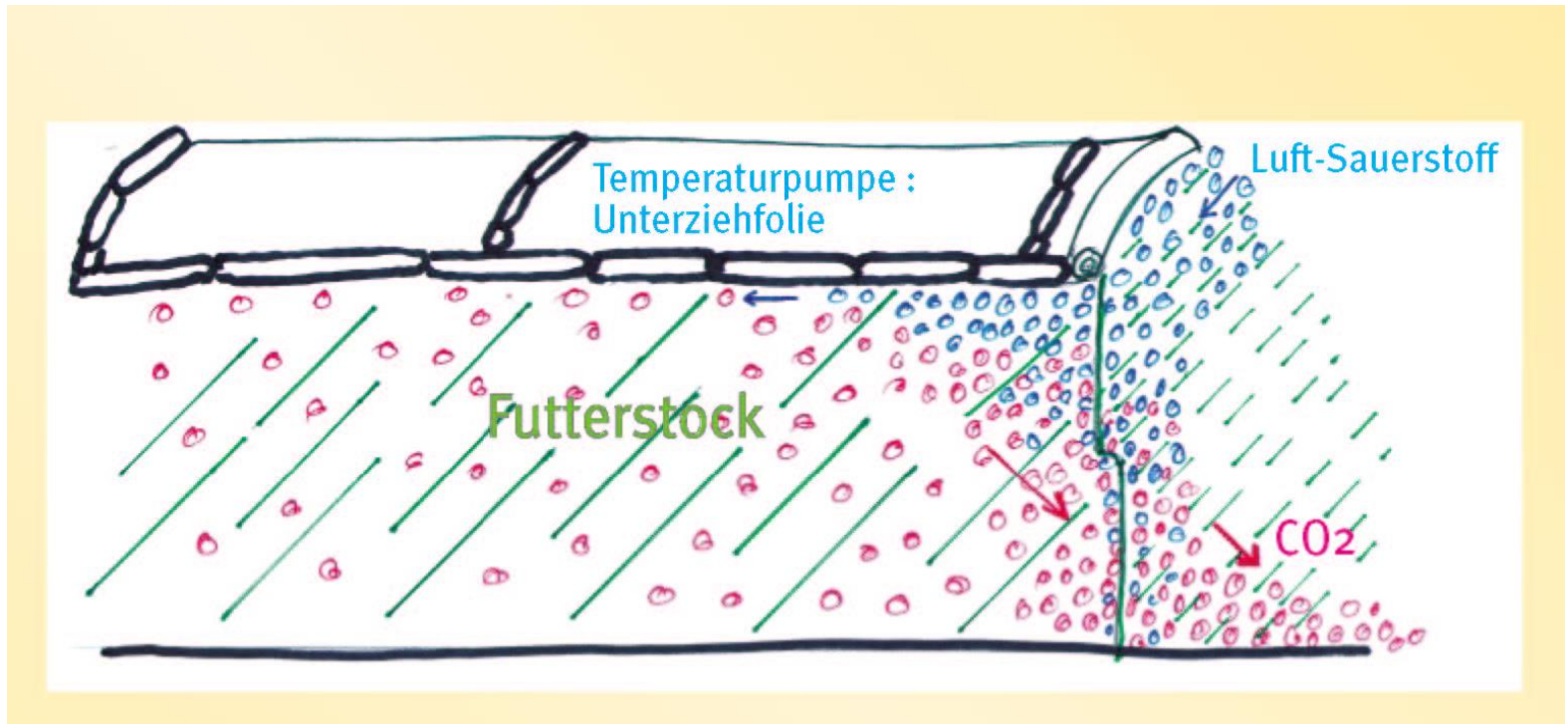
Raumgewichte Silagen

<i>Silageart</i>	<i>Gehalt (% TS)</i>	<i>Höhe des genutzten Siloraumes (Hochsilo)</i>	<i>Raumgewicht (kg/m³)</i>
Gras, nass bis leicht angewelkt	17–25	unbedeutend	740
Gras, wenig angewelkt	30	3 m	600
		8 m	700
Gras, mittel angewelkt	40	3 m	500
		8 m	600
Gras, stark angewelkt	50	3 m	400
		8 m	500
Rübenblatt	24	unbedeutend	1000
Mais, ganze Pflanze	20	4 m	600
		8 m	650
Mais, ganze Pflanze	30	4 m	550
		8 m	600
CCM	50–60	3 m	800
		8 m	1000
Maiskörnerschrot	65	3-8 m	1000

Quelle: Wirzhandbuch 2001



Beispiel Fahrsilo: Gasaustausch an der Anschnittfläche



Empfehlung: Im Sommer sollte der Vorschub pro Woche etwa 2.0 bis 2.5, im Winter etwa 1.0 bis 1.5 Meter betragen

Quelle: Thaysen, 2006



Raumprogramm: Berechnung der maximalen Anschnittfläche

Beispiel:

Fmax. =	RS * GVE * 100	6.9*50*100	= 5.8 m ²
	RG * TS * VS min.	600*40*0.25	

F max. = max. zulässige Anschnittfläche (m²)

RS = Silage in der Ration (kg TS/GVE u. Tag)

GVE = Anzahl mit Silage gefütterter Grossvieheinheiten

RG = Raumgewicht (kg Silage/m³)

TS = TS-Gehalt der Silage

VS min. = Minimaler Vorschub (0.15 - 0.35 m/Tag)

Empfehlung: Im Sommer sollte der Vorschub **pro Woche** etwa **2.0 bis 2.5**, im Winter etwa **1.0 bis 1.5 Meter** betragen.



Silieren: Zusammenfassung-Entwicklung

- Bedarf für **GFK-Silos** rückläufig: Limiten bei den Volumina (Durchmesser, Strassentransport)
- **Harvestore** kontinuierlich im Aufwind aber auf grössere Betriebe angepasst infolge recht hoher Kosten.
- **Flachsilos** behalten Bedeutung va. im Bereich Mutterkuhhaltung, bei TMR und bei Ganzjahres-Silagefütterung
- **Schlauchsilos** werden an Bedeutung gewinnen: keine fixe Investitionen nötig, damit flexible Anpassung z.B. an Wachstumsbedürfnisse.
- **Grossballensilage**: Ankunft der Quaderballensilage und Zunahme der Angebote an Mais- bzw. Zuckerrübenschnitzel-Ballen; keine fixen Investitionen nötig; Einsatz im Handel ua. mit dem Berggebiet.