

## **Optimale Gestaltung und Dimensionierung von Fahrsilos**

**Dr. Hansjörg Nußbaum**  
**Bildungs- und Wissenszentrum Aulendorf**

**Die Wirtschaftlichkeit der Milchviehhaltung hängt mit von der Grundfutterqualität ab. Die Grundfutterqualität beinhaltet bei Silagen neben dem Futterwert auch die sogenannte Gärqualität. Diese spiegelt den Erfolg des Gärverlaufes wieder, der z.B. bei Grassilage durch Pflanzenbestand, Schnittzeitpunkt und Einhalten der bekannten Silierregeln beeinflusst wird. Kaum beachtet wird jedoch, dass auch die Gestaltung und vor allem die Dimensionierung des Silos Einfluss auf die Silagequalität haben. Bau- und wasserrechtliche Auflagen, naturschutzbedingte Vorgaben, bautechnische Ausführungen und Baukosten werden immer wieder beleuchtet. Dr. Hansjörg Nußbaum von der Lehr- und Versuchsanstalt Aulendorf zeigt dagegen im nachfolgenden Beitrag aus Sicht der Gärprozesse auf, wie schon bei der Planung des Silos spätere Fehlgärungen vermieden werden können.**

Silos mit festen Wänden sind für beste Silagequalität nicht zwingend notwendig, wie es viele Praktiker in Norddeutschland beweisen. Aber auch bei diesen Silohaufen treten Nacherwärmung und Schimmelbildung als Hauptprobleme hinsichtlich Gärqualität auf. Vorgaben hinsichtlich Anschnittfläche und Mindestvorschub zur Vermeidung dieser unerwünschten Prozesse gelten deshalb sowohl für feste Siloanlagen als auch für Silohaufen.

### Nacherwärmung und Schimmel

Das Vorhandensein von Schimmel in Silagen ist auf Sauerstoff zurückzuführen. Nester im Randbereich signalisieren dabei undichte Abdeckungen oder mangelhafte Verdichtung in der oberen Schicht. Sind die schimmeligen Partien dagegen mitten in der Silage zu finden, dann ist als Ursache mangelhafte Walzarbeit und zu geringe Verdichtung des Erntegutes als Ursache auszumachen. Schimmelige Silage darf aufgrund giftiger Stoffwechselprodukte nicht verfüttert werden.

Die Erwärmung von Silagen bei der Entnahme geht auf Hefepilze zurück, die sich bei Luftzutritt unter Wärmefreisetzung rasant vermehren. Hohe Energieverluste und reduzierte Futteraufnahme der Kühe sind die Folgen. Luftzutritt findet beim Einsilieren, während der Lagerung über Undichtigkeiten und bei der Entnahme statt. Mit raschem Einsilieren und optimierter Walzarbeit sowie ausreichend hohem Vorschub bei der Entnahme kann dem entgegengesteuert werden.

### Engpass Walzarbeit

Schimmelbildung und Nacherwärmung hängen demzufolge sehr eng mit der Futterverdichtung zusammen. Diese wird neben den Futtereigenschaften (TS- und Rohfasergehalt, Häcksellänge) auch vom Erntemanagement und den Siloeigenschaften bestimmt. Bei zunehmender Bergeleistung wird die Walzarbeit trotz hoher Walzgewichte aufgrund fehlender Zeit für das Walzen immer mehr zum schwächsten Glied in der Silierkette. Deshalb muss das Silo so gestaltet und dimensioniert sein, dass beim Einsilieren das Walzen optimiert wird. Silobreite und -länge, Wandform und Durchfahrmöglichkeit nehmen so Einfluss auf die Silagequalität.

### Mindestbreite: Parallelbetrieb

Das Walzfahrzeug muss vom ersten Wagen an möglichst ununterbrochen zum Einsatz kommen. Eine Mindestbreite des Silos von 6 Metern läßt ein paralleles Abladen und Walzen zu. Muss der Walzschlepper bzw. der Radlader beim Entleeren der Erntewagen außerhalb des Silos warten, so reduziert sich seine Zeit für das eigentliche Verdichten rasch. Statt 60 Minuten je Stunde werden nur noch 45 oder weniger zum Walzen eingesetzt. Ähnlich sieht es aus, wenn das Erntegut vor dem Silo abgeladen wird und vom Walzfahrzeug (Radlader) erst ins Silo geschoben und verteilt werden muss. Hinten geschlossene Siloanlagen (sogenannte „Schneewittchensärge“) haben demzufolge von vorne herein eine reduzierte Walzleistung zur Folge. Besser gestaltet ist das Silo, wenn die Erntefahrzeuge von hinten oben nach vorne unten durch das Silo fahren können (Abbildung 1 oben). Eine Zufahrtsrampe sowie ein hinten zur Hälfte oder ein Drittel geschlossenes Silo (schräger oder gerader Abschluss) erleichtern die Durchfahrt. Ohne Rampe müssen die vollen Fahrzeuge nach oben auf den Futterstock fahren (Abbildung 1 unten).

#### Wandgeometrie

Damit kein Regenwasser in die fertige Silage eindringen und seitlich verderben kann, ist es günstig, wenn nach dem Befüllen das Silo komplett voll oder sogar leicht überwölbt ist. Dann kann die Silofolie über den Silorand hinaus gezogen werden. Eine zur Entnahmeseite hin auslaufende Wandform begünstigt somit die sorgfältige, luft- und wasserdichte Abdeckung der Silage. Ungünstig sind gerade abschließende Wandformen (Abbildung 1 unten), bei denen nach dem Befüllen vorne und hinten ungefüllte Ecken entstehen, die sogenannten „Eselsohren“.

#### Wand: schräg- oder geradestehend?

Gerade Wände erleichtern die Futterentnahme mit Blockschneider, Silokamm, Zange oder Fräsmischwagen. Die Silage kann nahezu komplett entnommen werden. Bei schräg stehenden Wänden (Winkel etwa 20 °) bleibt nach der Entnahme ein seitlicher Keil stehen, der von Hand oder mit der Frontladerschaufel aufgeladen werden muss. Aus Sicht der Gärprozesse muss jedoch die Walzarbeit optimiert werden. Dieses spricht unbedingt für schräge stehende Wände. Oberstes Ziel ist es also, die Ernte- bzw. Walzarbeit zu optimieren und die Erschwernisse bei der Entnahme in Kauf zu nehmen.

#### Mindestlänge

Auch beim schwersten Walzfahrzeug bleiben schlecht verdichtete Schichten zurück, wenn die frisch eingebrachte Futterschicht zu dick, also über 30 bis 40 cm stark ist. Nester- oder schichtweise auftretender Schimmel zeugen bei der Entnahme davon. Deshalb ist eine Mindestlänge des Silos von 25 bis 30 Metern sinnvoll, damit die jeweils auf dem ganzen Futterstock gleichmäßig verteilte Schicht unter der kritischen Höhe (30-40 cm) bleibt. Der Einsatz eines Siloverteilers hat sich dabei zur Verteilung des Erntegutes über die ganze Silobreite bewährt. Je höher die Transportkapazität je Erntewagen ist (Rauminhalt in m<sup>3</sup>), desto länger sollte also das Silo gebaut werden.

#### Silohöhe

Je höher die Silowand gebaut wird, desto billiger wird bei gleicher Grundfläche der erstellte Siloraum (DM/m<sup>3</sup>). Spätestens bei der Entnahme und dem Auftreten von Nacherwärmungen kommt jedoch die eigentliche Rechnung. Wird aufgrund hoher Wände der Mindestvorschub von 1 Meter pro Woche im Winter bzw. 2 bis 3 Metern/Woche im Sommer nicht erreicht, dann ist die Nacherwärmung unweigerlich vorprogrammiert. Und das umso mehr, je energiereicher und trockener die Silage ist. Die Wandhöhe (bzw. Haufenhöhe) muss demnach nicht nach Baukosten, sondern über den Mindestvorschub berechnet werden. Über Tierzahl,

Futteraufnahme (kg TS/Tier und Tag) Rationsanteile der einzelnen Silagen und dem Silagegewicht (kg TS/m<sup>3</sup>) kann der wöchentliche Silagebedarf (m<sup>3</sup>/Woche) errechnet werden (Extrakasten 1). Wird dieser Bedarf durch den Mindestvorschub (Meter/Woche) geteilt, ergibt sich die maximale Anschnittfläche (m<sup>2</sup>), die so auch für Silohaufen errechnet wird. Daraus kann dann über die Silobreite die maximale Wandhöhe ermittelt werden. Daraus folgt, dass bei Sommersilagefütterung bei dann höherem Mindestvorschub schmalere und vor allem niedrigere Silos gebaut werden müssen oder aber, dass die Sommersilos nur teilweise befüllt werden dürfen.

### Beispiel

Unterstellt ist eine Grundfutteraufnahme von 14 kg TS/Kuh und Tag bzw. 9 kg TS/Jungvieh und Tag, wobei jeder Milchkuh 0,7 Stück weibliches Jungvieh (ø 450 kg LG) angerechnet werden (Remontierung von 28 %). Männliche Masttiere sind nicht vorhanden. Die Grassilage wiegt bei 37 % TS 650 kg FM/m<sup>3</sup> bzw. 240 kg TS/m<sup>3</sup>. Wenn ein Mindestvorschub von einem Meter pro Woche vorgegeben wird (Situation im Winter), dann ergeben sich je nach Kuhzahl, Rationsanteil Grassilage (100, 66, 50 % der Grundfutteraufnahme) und Silobreite (6, 8, 10 m) die in Abbildung 2 dargestellten Wandhöhen. Wenn aus Kostengründen die Wandhöhe auf maximal 2,5 m angesetzt wird, so ist das genau die Situation in einem 40 Kuh-Betrieb bei 6 m Silobreite und zwei Drittel Grassilageanteil. Bei 8 m Silobreite darf das Silo nur 2 m hoch gebaut werden. Für die Situation im Sommer und einem Mindestvorschub von zwei bis drei Metern/Woche müssen die Wände entsprechend um die Hälfte oder gar um zwei Drittel niedriger sein. In der Praxis sind die Sommersilos aber häufig höher und damit Ursache für die gefürchtete Nacherwärmung. Nur Betrieb mit 40 - 50 Kühe plus Nachzucht werden demnach Silos mit 8 Meter Breite bauen, bei größeren Beständen dann 10 Meter oder mehr. Die in der Grafik ausgewiesenen Wandhöhen von bis zu 8 m im 80 Kuh-Betrieb werden natürlich nie errichtet. Falls in diesen Betrieben tatsächlich Silos mit nur 6 m Breite vorhanden sind, beträgt eben der Vorschub deutlich mehr als das geforderte Maß.

### Sonstige Vorgaben

Die Gärstoffrinne wird heute üblicherweise auf der Entnahmeseite vor dem Silo eingebaut, damit kein Sauerstoffzutritt in die Silage stattfinden kann. Diese Gefahr besteht, wenn sich die Rinne mittig im Silo befindet und der dann notwendige Syphon entweder nicht vorhanden oder nicht mit Feuchtigkeit (Gärsaft, Wasser) gefüllt ist. Das bei der Gärung gebildete Kohlendioxid, das schwerer als Luft ist, kann so aus dem Silo abfließen, Sauerstoff strömt nach und führt zu Schimmelbildung oder Nacherwärmung.

Die Entnahmeseite sollte nicht zur Hauptwetterseite ausgerichtet sein, damit bei Sturm weder die Folien davongejagt noch die Luft zu weit in die Silage gedrückt wird. Außerdem bleibt so der Anschnitt eher trocken, was in Hinblick auf die Schimmelbildung positiv ist.

Die Siloanlage wird nach Möglichkeit an befestigten Wegen errichtet, damit nicht über schlammige Zufahrten Schmutz in das Silo eingebracht wird. Je höher der Schmutzgehalt in der Silage ist, desto geringer der Futterwert und desto höher das Risiko einer Buttersäuregärung.

Damit die Silofolie über die Wand gezogen werden kann, ist ein Abstand zum Nachbarsilo von einem Meter sinnvoll. Der Zwischenraum wird entweder mit Kies frostsicher verfüllt oder aber zur Ableitung des Regenwassers als feste Rinne ausgebildet.

### Besonderheiten beim Freigärhaufen

Bei sogenannten Freigärhaufen (Silohaufen) darf keinesfalls in der Form ein Fahrsilo nachgebaut werden, weil sonst die Haufenflanken zu steil und folglich nicht ausreichend verdichtet werden. Der Haufen muß flach und dabei so angelegt sein, dass ein Walzen quer zum Haufen möglich ist. Die Anschnittfläche selbst muß dem Viehbesatz angepaßt sein, damit der Vorschub auf jeden Fall über die Mindestvorgaben hinaus geht. Freigärhaufen benötigen deshalb mehr Grundfläche und aufgrund der größeren Oberfläche mehr Silofolie als Fahrsiloanlagen. Ein befestigter Untergrund (Beton, Folie) sollte eigentlich Standard sein, damit Futtermittelschmutzungen (Buttersäure droht!) sowie Gär- und Sickersaftverlagerungen nicht stattfinden können. Da Gär- und Sickersaft nur schwer aufgefangen und gelagert werden können, wie es die Vorschriften fordern, ist ein TS-Gehalt von über 30 % zwingend notwendig. Darüber hinaus bestehen wasserrechtliche Vorgaben (Abstand zu Gewässern und Vorflutern, Anlage verboten in Wasserschutzgebieten etc.), die jedoch nicht Gegenstand dieses Beitrags sind und sich in der Ausprägung zwischen den Bundesländern unterscheiden.

### Silopflege

Gär- und Sickersäfte sowie säurehaltige Silierzusätze greifen Betonteile an. Bei ungenügender Betonstärke, falscher Betonqualität oder unfachmännischer Verarbeitung sind nicht nur Bauschäden, sondern auch Fehlgärungen durch Luftzutritt die Folgen. Deshalb zählt die Silopflege mit zur Sicherung der Gärqualität.

Im Wandbereich stehen Bitumen, Dispersionen, Polyurethan und Epoxid als Anstrichmaterialien zur Verfügung. Bitumenanstriche sind hinsichtlich Materialkosten am günstigsten, müssen jedoch jährlich erneuert werden. Das heißt, dass je weniger die Wände mechanisch angegriffen werden (Entnahmetechnik !), desto eher kann ein mehr- oder langjähriger Anstrich eingesetzt werden, der zwar hohe Material-, aber geringe Arbeitskosten verursacht. Gleiches gilt auch für den Siloboden, wobei sich dort eine höhere Betonschicht (zusätzlich 6 cm) Guß- oder Walzasphalt (3,5 cm) als zusätzliche Nutz- und Schutzschicht anbieten.

## Extrakasten 1

### **Berechnung der optimalen Silowandhöhe**

1. Tiere (Milchkühe, Jungvieh) x Silagebedarf kg TS/Tier u. Tag  
x 7 Tage = Silagebedarf kg TS/Woche
2. Silagebedarf kg TS/Woche ./ .Raumgewicht (kg TS/m<sup>3</sup>) = m<sup>3</sup> Silage/Woche
3. m<sup>3</sup> Silage/Woche ./ .Mindestvorschub Meter/Woche = Anschnittfläche m<sup>2</sup>
4. Anschnittfläche m<sup>2</sup> ./ .Silobreite (m) = Silohöhe (m)

## Extrakasten 2

### **Die wichtigsten Vorgaben zum Silobau aus Sicht der Gärqualität**

1. Anschnittfläche und damit Silobreite sowie Silohöhe ergeben sich aus Tierbestand und dem Silagebedarf für die Futterration.
2. Mindestvorschub von 1 Meter/Woche im Winter bzw. 2-3 Meter/Woche im Sommer.
3. Mindestbreite 6 Meter für Parallelbetrieb Walzen und Abladen.
4. Mindestlänge von 25-30 Metern, damit auch bei großdimensionierten Erntewagen die frisch eingebrachte Schicht 30-40 cm nicht überschreitet.
5. Schräggehende Wände erleichtern und verbessern die Walzarbeit.
6. Eine an die Haufenform angepasste Wandgeometrie mit zur Entnahmeseite hin auslaufender Wandform, damit die Silofolie über den Rand gezogen werden kann.
7. Rampe am hinteren Siloende.
8. Gärstoffrinne auf der Rangierplatte und nicht im Silo selbst.
9. Abstand zum Nachbarsilo ein Meter
10. Silos an befestigten Wegen errichten

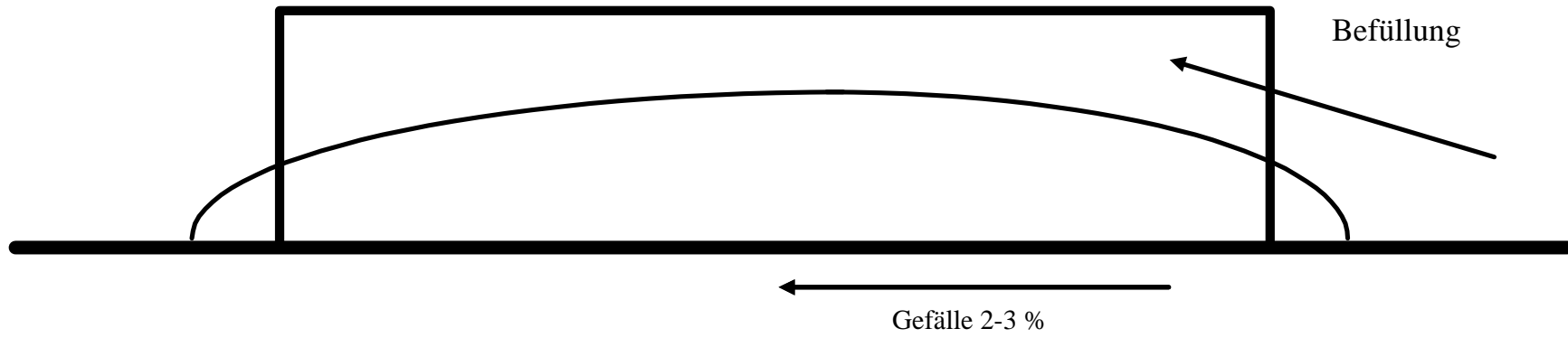
### **Zusammenfassung**

Gestaltung und Dimensionierung des Fahrsilos haben Einfluss auf die Silagequalität. Für den Parallelbetrieb bei der Befüllung sollte die Mindestbreite 6 Meter betragen. Die Länge darf in Hinblick auf die Schichtdicke beim Einsilieren 25-30 Meter nicht unterschreiten. Um Nacherwärmungen zu vermeiden, sollte ein Vorschub von mindestens 1 Meter/Woche im Winter bzw. 2-3 Meter/Woche im Sommer nicht unterschritten werden. Die Wandhöhe des Fahrsilos errechnet sich aus Tierbestand, Rationsanteile, Silobreite und Mindestvorschub. Sommersilos sind deshalb niedriger zu bauen oder nur teilweise zu befüllen. Bei der Planung und Erstellung von Siloanlagen sind darüber hinaus rechtliche und bautechnische Vorgaben einzuhalten, die nicht Gegenstand dieses Beitrages waren.

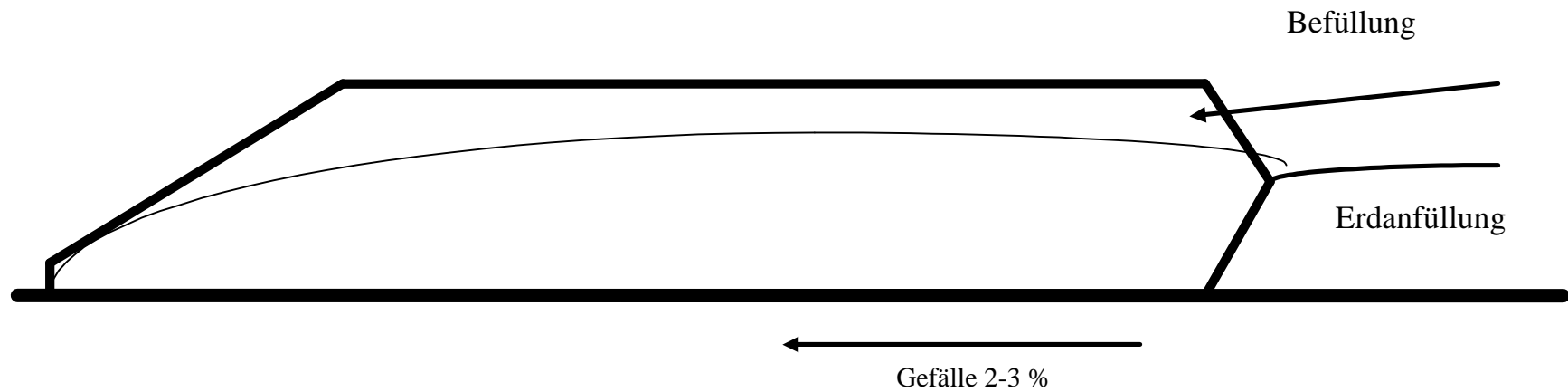
Dr. Hansjörg Nußbaum  
Lehr- und Versuchsanstalt Aulendorf

**Abbildung 1**

**Ungünstige Wandgeometrie (Seitenansicht)**



**Optimale Wandgeometrie (Seitenansicht)**



**Abbildung 2**

