

Landwirtschaftlich genutzte Fahrsilos

Beanspruchungsmechanismus und Schadensbilder

Holger Tebbe
Ing. Büro H. Tebbe, Neuwied

Unter Mitwirkung von:
Simone Schneider, Ing.-Büro H. Tebbe Neuwied

Zusammenfassung

Mit der DIN 11622 existiert eine bauaufsichtlich eingeführte technische Baubestimmung für die Ausführung von Gärfutterbehälter. In DIN 11622 Teil 1 sind allgemeine Anforderungen zusammengefasst, in Teil 2 werden unter anderem Vorgaben für die Bauweisen Stahlbeton und Stahlbetonfertigteile getroffen.

Obwohl insbesondere bei der Vergärung von Mais Gäräfte mit pH-Werten von 3,9 und darunter auftreten, ist der Verzicht auf eine Beschichtung der Betoninnenwandung unter bestimmten Umständen gemäß dieser Norm zulässig.

Gleichzeitig wurden in den letzten Jahren durch die veränderte Nutzung der Silos von eher kleinteiligen Anlagen für die Herstellung von Futtersilage auf Großanlagen für die Rohstoffgewinnung von Biogasanlagen die generelle Beanspruchung und die Kontaktzeiten mit Säure vergrößert.

Dementsprechend treten bei unbeschichteten oder unzureichend beschichteten Betonsiloplanzen bereits nach kurzer Nutzungszeit Schäden auf, die eine Instandsetzung ggf. unwirtschaftlich machen. Insbesondere bei Säureangriff auf die Bewehrung sind auch Einstürze der Anlagen (Stützwandhöhen z. T. über drei Meter) bereits nach kurzer Nutzungszeit zu verzeichnen.

1. Darstellung der Problematik

Die hier zu behandelnden Fahrsilos aus Beton werden zur Herstellung von Silage benutzt. Die ebenfalls zur Silierung eingesetzten Hoch- und Tiefsilos sowie Foliensilos und Fahrsilos aus anderen Baustoffen werden hier nicht näher behandelt.



Bild 1: typische Fahrsilo mit senkrechten Betonwänden und halb entnommenen Silostock

Als Ausgangsstoffe der Silage werden Futterpflanzen (wie z.B. Mais, Gras etc.) oder andere organische Stoffe wie z.B. Rübenblätter, Biertreber verwendet. Die

Silage wird als Tierfutter (Gärfutter) oder als Rohstoff für Biogasanlagen zur Energieerzeugung eingesetzt.

Der Siliervorgang ist ein Gärvorgang in dem sich Milchsäure bildet, je nach Güte der Silierung auch Essigsäure und Buttersäure. Die Säure greift den Zementstein des Betons an.

Als Zeitraum der Säurebildung ist ein Zeitraum zwischen 4 - 6 Wochen nach der Einlagerung zu sehen. Grundsätzlich ist der Angriffszeitraum daher begrenzt.

Aus diesem Grunde wurde auch in der 2006 novellierten DIN 11.622, vergleiche <1>, nach wie vor erlaubt, die mit der Säure in Kontakt tretenden Flächen unter gewissen Randbedingungen sogar unbehandelt zu lassen.

In den letzten Jahren haben die Schäden an den entsprechenden Fahrsilos mit Betonwänden jedoch deutlich zugenommen. Als Ursache sind veränderte Nutzungsbedingungen zu nennen. Ursachen sind unter anderen

- zunehmenden Verwendung von Mais als Silagegut

- zunehmende Größe der Silos
- Verwendung der Silage als Grundstoff von Biogasanlagen

Maissilage weist einen sehr niedrigen pH-Wert auf, die Abtragsraten des Zementsteins sind daher sehr hoch.

Große Fahrsilos verringern das Verhältnis zwischen Ummantelungsfläche und Silagestock beträchtlich, pro Flächeneinheit fällt damit mehr Silagesaft an. Auch die Kontaktzeiten steigen, insbesondere wenn die Fließwege und Einlaufstellen nicht ebenfalls optimiert werden.

Für die Biogaserzeugung ist die Art der Vergärung nicht so entscheidend wie bei der Futtermittelherstellung. Für die Futtermittelherstellung wird eine Milchsäuregärung angestrebt. Essigsäuregärung ist bei der Verwendung als Viehfutter aufgrund der Acetatbildung unerwünscht, da die dann sehr saure Silage vom Vieh nicht angenommen wird.

Bei der Essigsäure und Buttersäuregärung fällt jedoch der pH-Wert nicht so stark ab wie bei der Milchsäuregärung, der Angriffszeitraum auf den Beton wird also potentiell vergrößert.

Wird keine reine Milchsäuregärung angestrebt, braucht der Silostock auch nicht so sorgfältig gegen abgeschotet werden. Fremdwasserzutritte begünstigen den Säureangriff dann zusätzlich.

2. Fahrsilo, Erläuterungen zum Aufbau und Betrieb

2.1 Bauarten

Gärfutter-Fahrsilos bestehen aus einer Bodenplatte (aus Beton in Asphaltbauweise oder als mit auf Drainageebenen und Abdichtungsfolie unterlegter Pflasterfläche) mit und ohne seitliche Stellwände. Die seitlichen Stellwände sind in den meisten Fällen aus Beton (geschalter Ort beton, Ort beton unter Verwendung von Schalungssteinen, Betonfertigteile oder Systeme mit Betonfertigteilen) hergestellt. Die seitlichen Stellwände können senkrecht oder nach außen geneigt ausgeführt sein, siehe Bild 2. Bei der geneigten Ausführung sind die Stellwände teilweise durch Erddämme gestützt.



Siloplatte



Fahrsilo mit senkrechten Wänden, siehe Bild 1

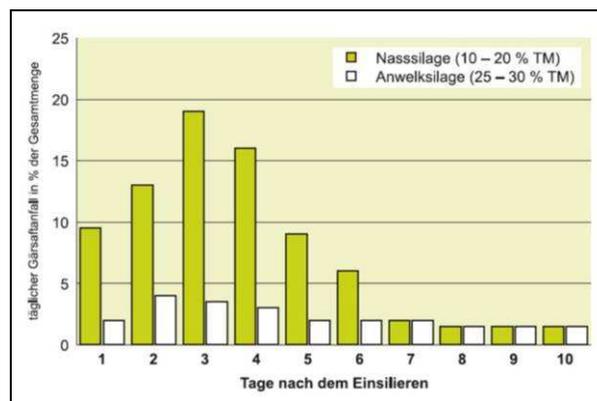


sog. Traunsteiner Silo

Bild 2: Grundformen von Fahrsilos

2.2 Aufbau des Silostockes

Bei der Einbringung des Siliergutes wird ein Trockenmassegehalt von 28 - 30 % (je nach Stapelhöhe) angestrebt. Unterhalb dieser Grenze ist ein in der Regel unerwünschter Anfall von Gärtsaft (säurehaltige, aus durch Zellaufschluss austretende Zellflüssigkeit) zu erwarten, siehe Bild 3.



Bildnachweis <2>

Bild 3: Zeitlicher Verlauf der Gärtsaftbildung

Das Siliergut wird daher je nach Bedarf vor der Einbringung vorgetrocknet (in der Regel mindestens 25 - 30 % Trockenmasse bei Gras oder Mais). Die Einlagerung von nicht vorgetrocknetem Silagegut (10 - 20 % TM, z.B. ca. 20 % TM bei Rübenschnitzel)

wird Nasssilage genannt und für die vorliegenden Betrachtungen nicht näher behandelt.

Vor der Einbringung in das Silo wird das Siliergut zerkleinert (gehäckselt), um einen besseren Aufschluss des organischen Materials während des Gärprozesses zu erzielen.

Zu Verbesserung oder Beschleunigung des Gärvorgangs werden Gärhilfen angeboten, die dem zu deponierenden Siliergut zugegeben werden können.

Die Einbringung des Siliergutes erfolgt in der Regel mit an Schleppern angehängten Kippern. Die notwendige Verdichtung erfolgt durch das Befahren mit den Beschickungsfahrzeugen und/oder durch zusätzlich bereitgestellte Schlepper, Fahrlader oder Walzen.

Zur Erzielung eines störungsfreien Siliervorgangs muss der Silostock anschließend möglichst luftdicht abgeschlossen werden. Dies erfolgt in der Regel durch Folien. Der Luft- und regendichte Abschluss ist eine wesentliche Voraussetzung für qualitativ hochwertige Siliervorgänge.

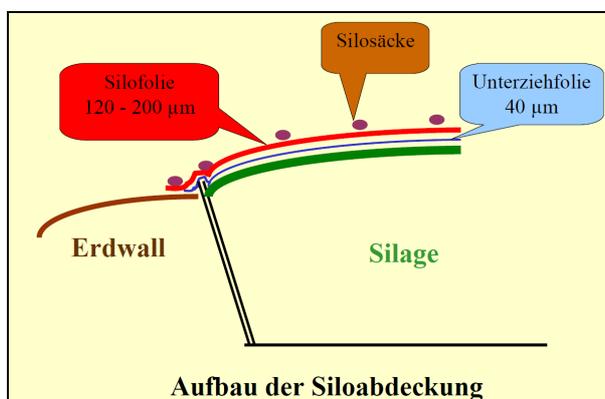
2.3 Betriebsausstattung

2.3.1 Entwässerung

Entwässerungseinrichtungen (ggf. getrennt oder separierbar für Oberflächenwasser und für Wasser aus dem Deponiegut) und entsprechende Auffangbehälter sind zwingend vorzusehen.

2.3.2 Abdeckung

Zur Erzielung eines störungsfreien Siliervorgangs muss der Silostock anschließend möglichst luftdicht abgeschlossen werden. Dies erfolgt in der Regel durch Folien. Der Luft- und regendichte Abschluss ist eine wesentliche Voraussetzung für qualitativ hochwertige Siliervorgänge.



Bildnachweis <3>

Bild 4: Prinzipskizze einer möglichen Folienabdeckung

2.3.3 Geräteausstattung

Die Beschickung des Fahrsilos mit dem vorbehandelten Silagegut (ggf. angewelkt, gehäckselt und mit Gärhilfe versetzt) wird häufig mit von Schleppern gezogenen Kipppladern vorgenommen. Die Verdichtung erfolgt in der Regel durch Befahrung des deponierten Silagegutes mit den eingesetzten Schleppern oder Fahrladern. Zur Formgebung und Randverdichtung werden insbesondere bei Fahrsilos ohne Stützwände Fahrlader, Walzen oder sonstige Hilfsmittel notwendig.

Die Entnahme der fertig hergestellten Silage erfolgt zum Teil mit speziellen Fräsen, oder Radladern mit speziellen Ladeschaufeln.

Weitere zum Betrieb gehörige Anlagenteile (z.B. Lade- und Rangier-, Lager- und Abstellflächen) sowie sonstige Betriebseinrichtungen (z.B. Beleuchtung, Absturzsicherungen, Wasser- und Stromanschlüsse, etc.) werden nicht weiter behandelt.

3. Funktionsweise

3.1 Gärprozess

Für einen störungsfreien Gärprozess ist ein Luftabschluss und ein gewisser Trocknungsgrad notwendig (TM > 30 M.%). Der in der Masse enthaltene Restzucker der Pflanzen führt unter Sauerstoffarmut dann zu einer Milchsäuregärung.

Zuviel Restsauerstoff und zu hohe Feuchtegehalte führen zu einer Essigsäuregärung, die bei der Verwendung als Viehfutter aufgrund der Acetatbildung unerwünscht ist, da die dann sehr saure Silage vom Vieh nicht angenommen wird. Bei Verwendung der Silage für Biogas-erzeugung ist die Acetatbildung teilweise gewünscht.

Bei zu hoher Feuchte und Verunreinigungen steigt die Gefahr der Buttersäuregärung.

Bei der Essigsäure und Buttersäuregärung fällt der pH-Wert nicht so stark ab wie bei der Milchsäuregärung. Die Gefahr der Ausbreitung von gärschädigenden Bakterien, sowie Hefen und Schimmelpilzen steigt.

Der Gärtaftanfall ist stark abhängig von der Art des Siliergutes und von dessen Trockenmasseanteil. Mit steigendem Trocknungsgrad wird der Gärtaftanfall begrenzt. Bei angewelkten Silagen (25 - 30 % TM) fallen in den ersten 10 Tagen nach der Einlagerung rund 25 % und innerhalb von 20 Tagen rund 45 % des gesamten Gärtaftaufkommens an, vergleiche Bild 2.

Der pH-Wert der Silage ist abhängig vom Siliergut und vom Trockensubstanzgehalt. Für Maissilage kann ein pH-Wert von 3,9 angenommen werden.

Während des winterlichen Gärprozesses wurden in Untersuchungen Maximaltemperaturen im Silostock

zwischen rund 25 °C und über 60 °C gemessen, siehe Bild 5. Die Temperaturentwicklung steigt mit zunehmendem Trockengehalt während der Einlagerung und mit dem Zuckergehalt des eingelagerten Siliergutes.

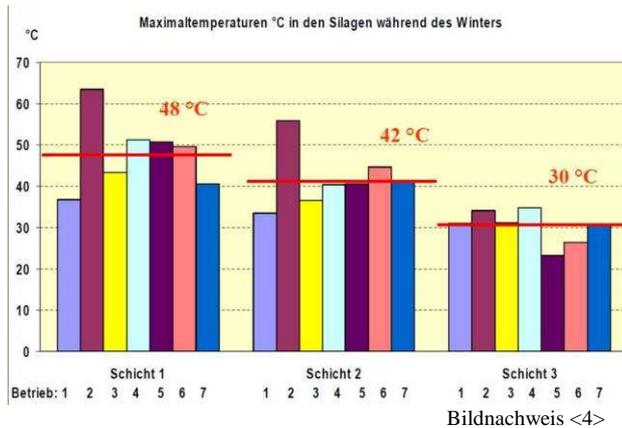


Bild 5: Erhebung zur Temperaturentwicklung in Silagen

3.2 Anfallende Flüssigkeiten während des Gärprozesses

Die während des Silierprozesses auftretenden Silagesickersäfte können unterschieden werden in

- Gärssaft

durch Zellaufschluss und Pressdruck aus dem Siliergut austretende Zellflüssigkeiten

Durch Festlegung von Untergrenzen für den Feststoffgehalt des einzubringenden Siliergutes kann der Gärssaftanfall begrenzt werden.

Haftwasser

an dem Siliergut während der Einbringung anhaftende Feuchtigkeit

Haftwasser kann durch die Vortrocknung vor der Einbringung minimiert werden.

Sickersaft

in das deponierte Siliergut eindringende Niederschlags- und Außenfeuchte

Das Auftreten von Sickersaft kann durch geeignete und dauerhafte Abdeckung des deponierten Siliergutes vermieden werden.

- Niederschlagswasser

Niederschlagswasser oder Tauwasser, das auf Anschnittsflächen oder bereits geräumte (mit Silageresten behaftete) Bodenflächen anläuft und entsprechend verunreinigt wird. Der Anteil von verunreinigtem Niederschlagswasser kann durch entsprechende Maßnahmen wie

Abdecken der Anschnittsflächen

Reinigung der Siloplatten und Rangierflächen

Säuberung der Abdeckfolien

minimiert werden.

3.3 Beschickung und Entnahme

Die frische Silage wird im Silo abgekippt und mittels landwirtschaftlichem Schlepper verteilt. Danach wird die Silage mittels Unterziehfolie und Silofolie abge-

deckt, die Beschwerung erfolgt mit Silosäcken und Reifen, vergleiche Bild 1 und 4

Die Entnahme der fertig hergestellten Silage erfolgt zum Teil mit speziellen Fräsen oder Radladern mit speziellen Ladeschaufeln. Durch die Entnahme mittels Fräsen wird das Deponiegut nicht aufgelockert und der Luftzutritt möglichst klein gehalten. Dies ist insbesondere bei einer Nutzung als Futterstock und einer dementsprechenden sukzessiven bedarfsgesteuerten Entnahme von Gärfutter notwendig. In diesem Fall sind glatte schräge Anschnittsflächen anzustreben. Längere freie Bewitterung von Anschnittsflächen ist zu vermeiden. Erfolgt keine zeitnahe kontinuierliche Entnahme, sollten die Anschnittsflächen abgedeckt werden.

4. Wasserrechtliche Anforderungen

Gemäß § 19 WHG (Wasserhaushaltsgesetz) müssen Anlagen zum Lagern und Abfüllen von Jauche, Gülle und Silagesäften (sogenannte JGS-Anlagen) mindestens entsprechend den allgemein anerkannten Regeln der Technik beschaffen sein, sowie eingebaut, aufgestellt und betrieben werden. Darüber hinausgehende Regelungen werden in den einzelnen Bundesländern unterschiedlich festgelegt. Teilweise werden grundsätzliche als auch produkt- und bauartspezifische Anforderungen gestellt, teilweise wird auf produktspezifische Anforderungen weitgehend verzichtet.

JGS-Anlagen fallen gemäß Einschätzung des DIBt <5> grundsätzlich unter den Geltungsbereich der Verordnungen zur Feststellung der wasserrechtlichen Eignung von Bauprodukten und Bauarten durch Nachweise nach der entsprechenden Musterverordnung (WasBauPVO). Diese ist z.B. vom Land Rheinland-Pfalz eingeführt <6>. In der WasBauPVO sind Behälter und Innenbeschichtungen sowie Auskleidungen für Behälter zum Lagern und Abfüllen wasserrechtlicher Anforderungen aufgeführt. Für JGS-Anlagen sind gemäß Einschätzung des DIBt daher bauaufsichtliche Verwendbarkeits- und Anwendbarkeitsnachweise zu führen.

Wasserrechtliche Eignungsfeststellungen oder wasserrechtliche Bauartzulassungen werden jedoch nicht erteilt, da die einschlägigen Bestimmungen des WHG keine Anwendungen auf JGS-Anlagen enthalten. Für Abdichtungsmittel, für Fugen und Innenbeschichtungen und Auskleidungen von Behältern sind gemäß Publikation des DIBt, jedoch mindestens allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen erforderlich. Gemäß eigenem Bekunden <5> lagen 2008 keine derartigen Zulassungen vor. Gemäß Kenntnis-Stand des Unterzeichners gilt dieser Sachverhalt unverändert.

Zusammenfassend lässt sich somit feststellen, dass für Planung, Ausführung und Betrieb von JGS-Anlagen derzeit aufgrund der aufgeführten Regelungslücken eine Rechtsunsicherheit festzustellen ist, vergleiche <5>. Gleichzeitig ist der Gewässerschutz ein hochrangiges Rechtsgut. Verstöße gegen das Wasserhaushalts-

gesetz sind im Einzelfall mit empfindlichen Strafen belegt.

5. Bautechnische Anforderungen

5.1 Allgemeines

Mit der DIN 11622 <1> existiert eine bauaufsichtlich eingeführte technische Baubestimmung für die Ausführung von Gärfutterbehälter. In DIN 11622 Teil 1 <1a> sind allgemeine Anforderungen zusammengefasst, in Teil 2 <1b> werden unter anderem Vorgaben für die Bauweisen Stahlbeton und Stahlbetonfertigteile getroffen.

Ausdrücklich wird in Teil 1 <1a> nochmals ausgeführt, dass Gärfutterbehälter so ausgeführt werden müssen, dass Silagesickersaft nicht in das Erdreich gelangt. Ebenso wird auf die Notwendigkeit eines Verwendbarkeitsnachweises für die Bauprodukte der Fugenabdichtung hingewiesen. Weiterhin wird ausgeführt, dass die Innenflächen gegen Silagesaft beständig sein müssen. Die Eignung der Materialien muss von einer bauaufsichtlich anerkannten Stelle bestätigt sein.

5.2 Anforderungen

Der Beton für Gärfutterbehälter ist, soweit in der DIN 11622-2 <1b> nicht abweichend festgelegt (z.B. für die Rissbreitenbeschränkung), entsprechend DIN 1045-1 <7a>(bzw. Eurocode 2, DIN EN 1992 <9>) und 1045-2 <7b> bzw. DIN 206-1 <8> auszuführen. Ausdrücklich wird in der DIN 11622-2 auf das chemisch stark angreifende Potential des Silagesaftes hingewiesen. Es werden folgende Expositionsklassen für Gärfutterbehälter festgelegt, vergleiche <10b>:

- Betonkorrosion, ausgelöst durch Karbonatisierung
XC4, Außenbauteile mit direkter Beregnung, wechselnd nass und trocken
- Frostangriff
 - Beton mit Beschichtung:
XF3, offene Wasserbehälter mit hoher Wassersättigung ohne Taumittel, Verkehrsflächen, Außenbauteile mit direkter Beregnung, wechselnd nass und trocken
 - Beton ohne Beschichtung:
XF4, geeignet für Verkehrsflächen, die mit Taumittel behandelt werden, hohe Wassersättigung mit Taumittel
- Betonkorrosion durch chemischen Angriff
XA3, chemisch stark angreifende Umgebung nach Tab. 2 DIN 1045-2 <7b>, wird auf Beschichtung verzichtet, ist zusätzlich XF4 zu erbringen.

Hieraus ergeben sich folgende Mindestanforderungen Mindestdruckfestigkeitsklasse:
C35/45 (ohne LP=Luftporenbildner)
C30/37 (mit LP)

Mindestzementgehalt: $\min z = 320 \text{ kg/m}^3$
 $\min z = 270 \text{ kg/m}^3$

(bei Anrechnung von Zusatzstoffen, Anrechenbarkeit beachten!)

Wassercementwert: $w/z \leq 0,45$

Gesteinskörnung: Frosttauwiderstandsklasse F₂, Widerstand gegen Frost und Taumittel nachgewiesen, säurebeständig (kein Kalksteinsplitt oder -füller)

Betonüberdeckung $c_{\text{nom}} = 40 \text{ mm}$
(bis 25 mm Stabdurchmesser (Abminderungen oder Zuschläge beachten))
 $c_{\text{min}} = 25 \text{ bzw. } 30 \text{ mm}$

Hinweis:

Mittlerweile ist ab Ausgabe 2011 des Bauteilkatalogs <10b> die Verschleißbeanspruchung der Böden und Wände bei der Silageentnahme gegenüber der Ausgabe 2009 <10a> eingearbeitet worden. Daher ist nunmehr zusätzlich auch die Verschleißklasse XM2 einzuhalten; dies bedeutet, dass die Betondeckung um 10 mm zu vergrößern ist. Die minimale Betondeckung beträgt demnach 35 mm (25+10). Wird eine besondere Qualitätskontrolle (Nachweis erforderlich) auf der Baustelle durchgeführt, wäre eine Abminderung um 5 mm zulässig, so dass mindestens 30 mm vorliegen müssten.

5.3 Beschichtung

Ab einem pH-Wert zwischen 4,0 und 4,5 ist gemäß DIN EN 206-1 <8> ein Betonentwurf auf die Expositionsklasse XA3 auszulegen. Wird mit Maissilage beschickt, siehe Bild 6 liegt mit einem pH-Wert bis zu 3,9 sogar noch eine höhere Belastung vor. Trotzdem ist gemäß Normvorgaben der DIN 11622-2 <1b> die Belastung der Expositionsklasse XA3 vorzusehen.

Gärfutterart	pH-Wert
Wiesengras 1. Schnitt	4,7
Wiesengras 2. Schnitt	4,7
Mähweide 1. Schnitt	4,7
Mähweide 2. und 3. Schnitt	4,9
Kleegras 1. Schnitt	4,6
Rübenblatt ohne Köpfe	4,5
Rübenblatt mit Köpfen	4,4
Mais grün	4,2
Mais milchreif	3,9
Mais teigreif	3,9

Bildnachweis <3>

Bild 6: pH-Wert von Silage bezogen auf Art des Siliergutes

Bei Einwirkungen gemäß der Expositionsklasse XA3 sind gemäß DIN 1045-2 <7> Schutzmaßnahmen gefordert, wie Schutzschichten oder dauerhafte Bekleidungen, wenn nicht Gutachten eine andere Lösung vor-

schlagen. Gemäß DIN 11622-2 <7b> darf auf eine geeignete Beschichtung verzichtet werden, wenn der Beton der Expositionsklasse XF4 entspricht.

6. Angriffsmechanismus von Säuren auf Beton

6.1 Allgemeines

Zementgebundene Baustoffe sind säurelöslich, vergleiche <11>, <12>. Der Grad des Angriffes hängt von der

- Betonzusammensetzung
- Dichtheit des Betongefüges
- Art und Menge der Säure
(Pufferbare Säuren, vergleiche Abschn. 6.2, sind hinsichtlich ihres Angriffspotentials als kritischer einzustufen)
- Dauer der Einwirkung der Säure
- Temperatur während des Angriffes

ab. Liegt der pH-Wert einer Säure unter 4,5, sind jedoch grundsätzlich besondere Schutzmaßnahmen (oder der Einsatz von Spezialzementen) notwendig.

6.2 Besonderheiten Säureangriff Fahrsilo

Grundsätzlich ist zu beachten, dass die Steuerung des Gärungsprozesses bei der Verwendung der Silage als Viehfutter eine hohe Bedeutung hat, die in dieser Form bei der Verwendung der Silage als Energieträger nicht gegeben ist. Der Säureangriff ist bei nicht optimaler Vergärung tendenziell deutlich größer als bei sachgerechter Präparation des Silostockes (Trockenmassegehalt, Verdichtung, Luftabschottung, Witterungsschutz etc.)

Die im Gärstoff vorliegenden Säuren sind schwach dissoziierend (löslich). Ihr Angriffspotential ergibt sich erst bei entsprechender Anwesenheit von Wasser. Daher sind die wasserdichte Abdeckung und die Einlagerung bei Mindesttrockengehalten entscheidend für den Säureangriff.

Daher erlaubt die DIN 11622-2 <1b> grundsätzlich den Verzicht auf den notwendigen Schutz der Betonoberfläche, wenn ein hoher Widerstand des Betons gegen Frost und Frost-Tausalzangriff (XF4) erzielt wird. Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, dass für landwirtschaftliches Bauen gegenüber dem Hochbau in der Regel niedrigere Anforderungen an die Dauerhaftigkeit und Lebensdauer der Gebäude und Bauteile gestellt werden.

Kleine Silos mit geringen Einlagerungsschichthöhen sind grundsätzlich ungefährdeter als große Anlagen. Staut sich der Gärstoff im Silo, ist neben dem Angriffspotential der Säure zusätzlich der hydrostatische Druck zu sehen, der die Säure vor die Begrenzungsflächen und ggf. in die Porensysteme des Betons drückt.

Wird der Gärstoff direkt abgeführt, ist der Angriffsgrad auf die Wände natürlich geringer. Neben dem Gefälle ist für den Angriffsgrad natürlich auch die Zeitdauer

des Gärstoffanfalls, siehe Bild 3, und die Möglichkeit des Feuchtezutritts von außen zu sehen.

7. Schäden am Stahlbeton

7.1 Betonflächen

Der Betonabtrag ist in Abhängigkeit der silagebehafteten Flächen und Abflusswege der Feuchte im Silostock (Gärstoff, Haftwasser, Sickersaft, Niederschlagswasser) deutlich sichtbar. Ungeschützte Betonsilowände weisen teilweise bereits nach einer Nutzungsperiode im Sockelbereich einen Zementsteinabtrag über 1 cm auf

In derartigen Silos lassen sich alle Stufen des Abtrages bis zur Herauslösung von einzelnen Zuschlagskörnern vorfinden, siehe Bild 8.



Bild 7: Betoninnenwand nach Entnahme Silostock mit von oben nach unten zunehmenden Säureangriffsgraden, vergleiche Bild 8

Der eigentliche Schädigungshorizont ist jedoch mindestens 1 - 1,5 cm tiefer anzunehmen. In diesem Bereich findet bereits eine Auflösung des Zementsteins statt, der ggf. erst durch labortechnische Untersuchungsmethoden nachweisbar ist.

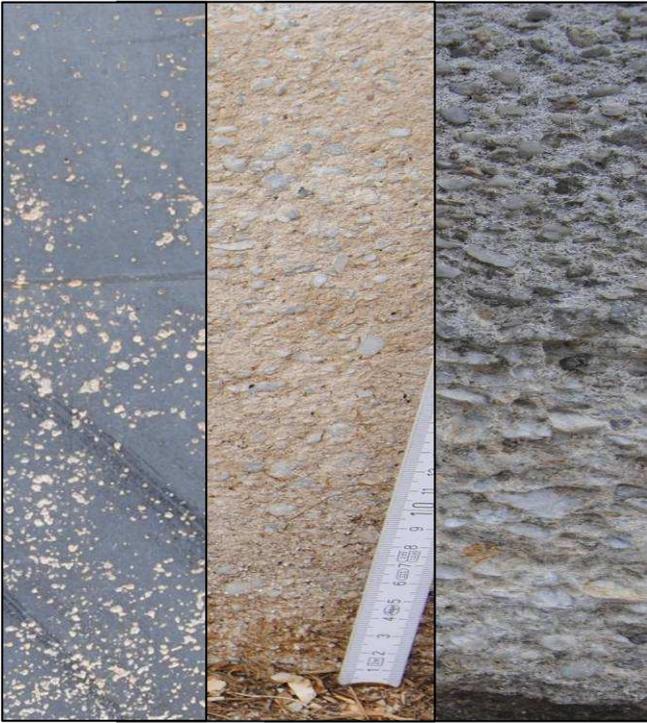


Bild 8: Siloinnwandung aus Bild 7, rechts kaum angegriffener Kopfbereich, mitte und links Fußbereich mit unterschiedlichen Schädigungsgraden

Dieser geschädigte Bereich hat aufgrund des geringeren Zementsteingehaltes einen geringeren alkalischen Puffer (Gefahr der vorzeitigen Stahlkorrosion aufgrund Absinken des pH-Wertes im Beton) und aufgrund des vergrößerten Porenraums einen geringeren Widerstand gegen weiteren Säureangriff. Auch ergibt sich eine deutliche auflösungsbedingte Verschiebung der tiefenabhängig ermittelten Porenradienverteilung.

7.2 Risse

7.2.1 Eindringverhalten

Betonbau ist grundsätzlich eine gerissene Bauweise. Im vorliegenden Fall ist zu beachten, dass aufgrund der niedrigen pH-Werte die Säure ihre Wegigkeiten selbst schafft und das Angriffspotential so vergrößert. Eine Selbstheilung findet nicht statt.



Bild 9: Überbohrte Schwindrissbildung, untern Angriffsseite, oben Luftseite der Silowandung

7.2.2 Schäden Beton

Ab Rissweiten von ca. 0,1 mm bis 0,15 mm sind die Risse flüssigkeitsführend. Bedingt durch den Säureangriff war in einigen Fällen eine sichtbare Schädigungszone bis zu rund 2 cm Breite entlang des Risses deutlich sichtbar, vergleiche Bild 9 und 10.



Bild 10: Schwindrissbildung, Schädigungszone im Rissbereich

Als Eindringtiefe ist bei diesen Schwindrissen bereits nach einer Nutzungsperiode der gesamte Betonquerschnitt anzusehen

7.2.3 Schäden Betonstahl

Die im säureführenden Rissquerschnitt liegende Bewehrung unterliegt einem direkten Säureangriff, siehe Bild 11.



Bild 11: Säureangriff auf Betonstahl im Rissbereich



Bild 12: Angesetzter Betonstahl im Rissbereich

Entsprechende Abtragsraten am Stabstahl sind bereits nach kurzer Zeit zu verzeichnen, siehe Bild 12.

Die Stahloberfläche im Rissbereich ist zudem depassiviert, sie korrodiert dann bei entsprechenden Umgebungsbedingungen sowie Luftzutritt. Durch die Sprengwirkung der Korrosionsprodukte wird der Schädigungsprozess weiter beschleunigt, vergleiche Bilder 11 und 12.

7.3 Wandfugen

Die Wandfugen (Dehnungsfugen oder Bauteilfugen) werden in der Regel mit dauerelastischen Dichtstoffen geschlossen. In vielen Fällen weisen die applizierten bereits nach kurzer Zeit Risse und deutliche Zeichen von Versprödung auf, siehe Bild 13.



Bild 13: versprödete und gerissene Dichtungsmasse im Bereich einer vertikalen Dehnfuge

7.4 Anschlussfugen Boden

Der Fußpunkt der Fahrsilos ist in der Regel als Rahmen ausgebildet, das heißt die Eckbewehrung gewährleistet die Standsicherheit der Wände.

Die Bodenfläche ist häufig mit einer bituminösen Abdichtung (z.B. Walzasphalt abgedichtet). Werden die Anschlüsse zwischen aufgehender Wand und Bodenplatte nicht sorgfältig ausgeführt, ist mit Eindringen von Säure und hohen Verweilzeiten dieser Säure zu rechnen. Da die Schadensprozesse hier teilweise verdeckt ablaufen, besteht die Gefahr dass sie erst spät entdeckt werden.

Wird die Bewehrung der Rahmenecke angegriffen, schränkt dies automatisch die Standsicherheit des Silos ein.

8. Instandsetzungsmöglichkeiten

Der Beton ist immer über den sichtbaren Ablösungsbereich hinaus geschädigt. Bedingt durch das Eindringen der Säure in den Zementstein müsste im Instandsetzungsfall der Beton mit einer ausreichenden Tiefe über den derzeit feststellbaren Schädigungshorizont hinaus abgetragen werden. Diese Tiefe ist gemäß den Untersuchungen mit mindestens 20 mm anzugeben. Dies be-

deutet, dass der Beton bis zur oberen Bewehrungslage (ca. 30 mm Abtragstiefe) komplett abgetragen werden müsste, um den sowieso schon festgestellten Schädigungshorizont technisch einigermaßen sicher abtragen zu können.

In vielen Fällen ist daher eine Instandsetzung bereits nach kurzer Nutzungszeit nicht mehr wirtschaftlich durchzuführen.

9. Diskussion der Bauweise

9.1 Wandfugen

Wie dargelegt sind insbesondere bei Einlagerung von Maissilage Fahrsilos mit Betonseitenwänden stark gefährdet.

Derzeit herrschen noch beträchtliche Unsicherheiten hinsichtlich der zu verwendenden Fugendichtstoffe für Bauteilfugen (insbesondere Fertigteile) und Bewegungsfugen.

Die Beanspruchungen sind enorm. Nach Einlagerung treten Säurebelastungen mit pH-Werten < 4 bei Prozesstemperaturen im Silostock von bis zu $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ auf. Nach der Entleerung sind die Fugen über das Sommerhalbjahr bis zur erneuten Einlagerung der Witterung und entsprechender UV-Belastung ausgesetzt.

Zwar können im Falle Ortbeton Bauteilfugen vermieden werden, hier stellt sich jedoch die Problematik die Schwindrissbildung zu minimieren. Um eine hohe Sicherheit hinsichtlich weitgehender Minimierung der Schwindrissbildung zu erreichen sind hohe Bewehrungsgrade und kurze Bauteillängen notwendig.

9.2 Wand-Bodenanschlüsse

Nach Auffassung des Autors sind senkrechte Anschlüsse zu vermeiden, da hier eine besonders große Gefahr der Ausbildung von klaffenden Fugen in der Abdichtungsebene bestehen.

Durch Ausbildung von Vouten kann neben der Stärkung der Rahmenecke die Andichtung des Walzasphalts ggf. in der Schräge erfolgen und die Naht aus dem direkten Einflussbereich der Rahmenecke gelegt werden

9.3 Flächenbeschichtung

Bei Schwindrissen an Ortbetonwänden von rund 0,1-0,15 mm Rissbreite traten an unbeschichteten Betonflächen bereits größere Schäden auf, die auch die Bewehrung beeinträchtigen.

Bei Einlagerung von Maissilage ist daher eine abdichtende Beschichtung dringend anzuraten.

Beschichtungen sind nach einer Nutzungsperiode zu kontrollieren und zu ggf. zu erneuern. Neben ähnlicher Beanspruchung wie die Wandfugen sind hier zusätzlich die Belastungen durch Stoßbelastungen (Ladeschaufeln bei der Entleerung, siehe Bild 14) und Abrasion (z.B. Reifenwandung bei Einlagerung und Verdichtung, siehe Bild 15) aber auch zu berücksichtigen.



Bild 14: Kerbe in Betonwandung verursacht durch Entladeschaufel



Bild 15: Abriebspuren an Betonwandung

9.4 Entwässerung

Eine schnelle Abführung des Silagesaftes vermindert naturgemäß das Angriffspotential. Durch sinnvolle Planung von Gefälle und Einlaufabständen kann die Belastung bereits in der Planung vermindert werden.

10. Resümee

Wie im Artikel aufgezeigt, hat sich durch veränderte Einlagerungs- und Nutzungsgewohnheiten sowie durch die Vergrößerung der Anlagen das Angriffs- und Schädigungspotential der Fahrsilos in den letzten Jahren beträchtlich erhöht.

Bereits nach kurzer Zeit treten Schäden auf. In Einzelfällen sind Wandungen aufgrund Tragfähigkeitseinschränkungen eingestürzt. Daher besteht nach Auffassung des Autors Handlungs- und Aufklärungsbedarf.

Derzeit bieten die vorliegenden Regelwerke keine ausreichenden Sicherheiten zur Vermeidung der Schäden. Auch fehlen Nachweise für geeignete Beschichtungsverfahren und Fugenausbildungen.

Quellenangaben

- <1a> DIN 11622-1, Ausgabe 2006-01:
Gärfuttersilos und Güllebehälter; Teil 1: Bemessung, Ausführung, Beschaffenheit; Allgemeine Anforderungen
- <1b> DIN 11622-2, Ausgabe 2006-01:
Gärfuttersilos und Güllebehälter; Teil 1: Bemessung, Ausführung, Beschaffenheit; Gärfuttersilos und Güllebehälter aus Stahlbeton, Stahlbetonfertigteilen, Betonformsteinen und Betonschalungssteinen
- <1c> DIN 11622-1, Ausgabe 1994-07 (ersetzt durch Ausgabe 2006-01):
Gärfuttersilos und Güllebehälter; Teil 1: Bemessung, Ausführung, Beschaffenheit; Allgemeine Anforderungen
- <1d> DIN 11622-2, Ausgabe 1994-07 (ersetzt durch Ausgabe 2006-01):
Gärfuttersilos und Güllebehälter; Teil 1: Bemessung, Ausführung, Beschaffenheit; Gärfuttersilos und Güllebehälter aus Stahlbeton, Stahlbetonfertigteilen, Betonformsteinen und Betonschalungssteinen
- <2> Nußbaum, H.J.:
Clever einsilieren ins Fahrsilo
Vortrag deutsche Grünlandtagung 2007
- <3> Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (Hrsg.):
KTBL Arbeitsblatt Nr. 1060 (zurückgezogen)
Schutzanstriche und -beschichtungen für Gärfutterbehälter aus zementgebundenen Baustoffen
Selbstverlag, Darmstadt, 1996
- <4> Bayerische Staatsministerien für Landwirtschaft und Forsten, Umwelt Gesundheit und Verbraucherschutz (Hrsg.):
Merkblatt Silagesaft und Gewässerschutz Sachgemäße Behandlung von Silagesickersäften aus der Gärfutterbereitung unter Berücksichtigung des Gewässerschutzes
Selbstverlag, München, 4. Auflage 2004

- <5> Deutsches Institut für Bautechnik, DIBt (Hrsg.):
Dichtkonstruktionen in der Landwirtschaft Bauaufsichtliche Verwendbarkeitsnachweise für Bauprodukte und Bauarten für Anlagen zum Lagern und Abfüllen von Jauche, Gülle und Silagesickersäften
DIBt Mitteilungen 5/2008 S. 155- 162
- <6> Land Rheinland-Pfalz:
Verordnung zur Feststellung der wasserrechtlichen Eignung von Bauprodukten und Bauarten durch Nachweise nach der Mausterbauverordnung (WasBauPVO) Gesetzes- und Verordnungsblatt des Landes Rheinland-Pfalz, 14.04.98
- <7a> DIN 1045-1, Ausgabe 2008-08 (ersetzt durch DIN EN 1992-1-1)
Tragwerke aus Beton Stahlbeton und Spannbeton
Teil 1: Bemessung und Konstruktion
- <7b> DIN 1045-2, Ausgabe 2008-08
Tragwerke aus Beton Stahlbeton und Spannbeton
Teil 2: Beton; Festlegung, Eigenschaften Herstellung und Konformität
- <7c> DIN 1045-3, Ausgabe 2008-08 (ersetzt durch Ausgabe 2012-03)
Tragwerke aus Beton Stahlbeton und Spannbeton
Teil 3: Bauausführung
- <7d> DIN 1045-4, Ausgabe 2001-07(ersetzt durch Ausgabe 2012-03)
Tragwerke aus Beton Stahlbeton und Spannbeton
Teil 4: Ergänzende Regelungen für die Herstellung und Konformität von Fertigteilen
- <8> DIN EN 206-1; Ausgabe: 2001-07
Beton
Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität
- <9a> DIN EN 1992-1-1; Ausgabe: 2011-01
Eurocode 2
Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken
Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau
- <9b> DIN EN 1992-1-1/NA; Ausgabe: 2011-01
Eurocode 2
Nationaler Anhang; National festgelegte Parameter

- <10a> Bundesverband der deutschen Zementindustrie
(Hrsg.)
Schriftenreihe der Bauberatung Zement
Bauteilkatalog
**Planungshilfe für dauerhafte Betonbauteile
nach der neusten Normengeneration**
Verlag Bau und Technik GmbH, Düsseldorf,
6. Überarbeitete Auflage 2009
- <10b> Bundesverband der deutschen Zementindustrie
(Hrsg.)
Schriftenreihe der Bauberatung Zement
Bauteilkatalog
**Planungshilfe für dauerhafte Betonbauteile
nach der neusten Normengeneration**
Verlag Bau und Technik GmbH, Düsseldorf,
7. Überarbeitete Auflage 2011
- <11> Verein Deutscher Zementwerke (VDZ)
Zement Taschenbuch 2008
Verlag Bau+Technik GmbH, Düsseldorf 2008
- <12> Breit, W.:
Betontechnische Berichte 2001 -2003
Säurewiderstand von Beton
Verlag Bau+Technik GmbH, Düsseldorf,
S. 181-190