

# Beständigkeit von Siloböden gegenüber Gärssaft

Ludo VAN CAENEGEM, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT), CH-8356 Tänikon  
 Auskünfte: Ludo Van Caenegem, e-mail: ludo.van.caenegem@fat.admin.ch, Fax +41 (0) 52 365 11 90, Tel. +41 (0) 52 368 31 31

**Herkömmliche Betonböden in Flach- und Hochsilos widerstehen längerfristig dem Angriff von Silosaft nicht. Zusatzmittel und alternative Zementsorten mit weniger frei verfügbarem Kalk verbessern die Widerstandsfähigkeit nur geringfügig. Erste Versuche mit Walzasphalt und Gussasphalt, welche neben normalem Bitumen auch Naturasphalt enthalten, sind sowohl bezüglich Beständigkeit wie auch Wirtschaftlichkeit vielversprechend.**

Bei der Konservierung von Futtermitteln wie Gras und Mais findet unter Luftabschluss eine Vergärung statt. Ist der Trockensubstanzgehalt beim Einbringen niedrig ( $\leq 30\%$ ), können grosse Mengen an Gärssaft freigesetzt werden. Die Zusammensetzung von Gärssaft aus Maissilage kann je nach Zeitpunkt der Entnahme stark variieren. Der Trockensubstanzgehalt liegt in der Regel bei 5 bis 8%. Der relativ tiefe pH-Wert (3,7-4) ist vor allem der Milchsäure und Essigsäure zuzuschreiben, welche in Konzentrationen von 10 bis 20 g/kg Gärssaft vorhanden sind. Säuren bilden mit dem frei verfügbaren Kalk im Beton Salze. Je löslicher diese Salze sind, desto stärker ist die Materialabtragung. Asphalt gilt gegenüber Essig- (bis 25%) und Milchsäurelösungen (bis 10%) als beständig. Dies allerdings nur unter der Voraussetzung, dass säurebeständige Mineralstoffe verwendet werden. Dagegen greifen schon geringe Buttersäurekonzentrationen den Bitumen an. Da die Bildung dieser Salze frei verfügbaren Kalk voraussetzt, würde man erwarten, dass die Zementsorten (Komposit-Zemente), welche am wenigsten frei verfügbaren Kalk aufweisen, den widerstandsfähigsten Beton liefern. Wie sich aus den Versuchen herausstellt, ist dies nicht unbedingt der Fall. Eine Erklärung dafür liegt in der Tatsache, dass der Gärssaft nicht nur mit dem Zement reagiert, sondern auch das Zuschlagsmaterial angreift.

## Versuch mit beschleunigtem Angriff

Um die Beständigkeit von Beton, Walzasphalt und Gussasphalt zu testen, wurde ein Versuch mit beschleunigtem Angriff durch Gärssaft durchgeführt. Sieben Be-

ton-, drei Walzasphalt- und drei Gussasphalt-Sorten wurden hinsichtlich chemischer Resistenz miteinander verglichen (Tab. 1 und 2). Durch eine gezielte Auswahl der Rezepturen liessen sich folgende Einflussfaktoren untersuchen:

■ **Wasser-Zement-Faktor.** Im Hinblick auf eine leichtere Verarbeitbarkeit fügt man auf der Baustelle oft Wasser zum Frischbeton zu. Es soll sich zeigen, wie stark zusätzliches Wasser die Säurebeständigkeit beeinträchtigt.

■ **Gehalt an freiem Kalk.** Der Ersatz eines Teiles des Portland Zementes durch Flugasche, Hüttensand oder Silika Fume verringert die Menge an frei verfügbarem Kalk, welcher mit den organischen Säuren im Gärssaft reagieren kann.

■ **Zuschlagsmaterial.** Kristallines Zuschlagsmaterial ist gegenüber Milch- und Essigsäuren inerte als kalkreiches Gestein.

■ **Zusatzmittel.** Hydrophobe Dispersionsmittel sollen den Kontakt zwischen Betonkörnern und Gärssaft erschweren und so den Angriff verzögern.

Die Betonprüfkörper haben als Masse: 20 x 20 x 8 cm, die Gussasphaltpkörper: 20 x 20 x 4-6 cm. Die Prüfkörper aus Walzasphalt sind wegen des Herstellungsverfahrens (Verdichtung nach Marschall) zylinderförmig ( $\varnothing 10$  cm, h = 7 cm).

## Versuchsanlage

Frühere Versuche zeigen, dass der Angriff sich beschleunigt, wenn man die Versuchskörper abwechselnd mit Gärssaft befeuchtet und trocknet. Aus diesem Grunde wurde eine Transporteinrichtung gebaut, welche die Versuchskörper zyklisch durch ein Gärssaftbad schleppt und anschliessend abtrocknen lässt.

**Tab. 1. Eigenschaften der untersuchten Betonprüfkörper**

	Bezeichnung SIA 162	Zusatzstoffe	Zusatzmittel <sup>1</sup>	W/Z <sup>2</sup>
Beton 1	CEM I 42,5 -325 kg/m <sup>3</sup>		Rheobuild 561	1,0 % 0,52
Beton 2	CEM I 42,5 -325 kg/m <sup>3</sup>			0,61
Beton 3	CEM I 42,5 -250 kg/m <sup>3</sup>	Flugasche 75 kg/m <sup>3</sup>	Rheobuild 561	1,5 % 0,52
Beton 4	CEM I 42,5 -300 kg/m <sup>3</sup>	Silicafume 25 kg/m <sup>3</sup>	Rheobuild 561	1,5 % 0,50
Beton 5	CEM III 42,5 -98 kg/m <sup>3</sup>	Hüttensand 227 kg/m <sup>3</sup>	Rheobuild 561	1,5 % 0,52
Beton 6	CEM I 42,5 -325 kg/m <sup>3</sup>		Rheobuild 561	1,5 % 0,51
Beton 7	CEM I 42,5 -325 kg/m <sup>3</sup>		Mowilith LDM 6880	15,0 % 0,50

<sup>1</sup> In Prozent der Zementmasse

<sup>2</sup> Wasser-Zement-Faktor

Analyseergebnisse VSH, Versuchsstollen, Hagerbach AG, Sargans

**Tab. 2. Eigenschaften der untersuchten Walz- (WA) und Gussasphaltprüfkörper (GA)**

	Bezeichnung	Bindemittel Masse %	Zusatzstoffe	Hohlraum %
WA1	AB 11N PmB	BP Practiplast 5,8 %		3,5
WA2	SMA 11 S B80/100	B 80/100 6,6 %	Trinidad NAF 501 1,0 %	3,5
WA3	HMT 11 L B80/100	B 80/100 5,3 %		3,0
GA1	GAT 8 S B40/50	B 40/50 6,8 %	Trinidad Z 0/8 1,1 %	0
GA2	GA 11 S B40/50	B 40/50 7,7 %		0
GA3	GAT 11 S PmB	Styrelf 13-60 6,8 %	Trinidad Z 0/8 1,1 %	0

Analyseergebnisse Batigroup, Bern

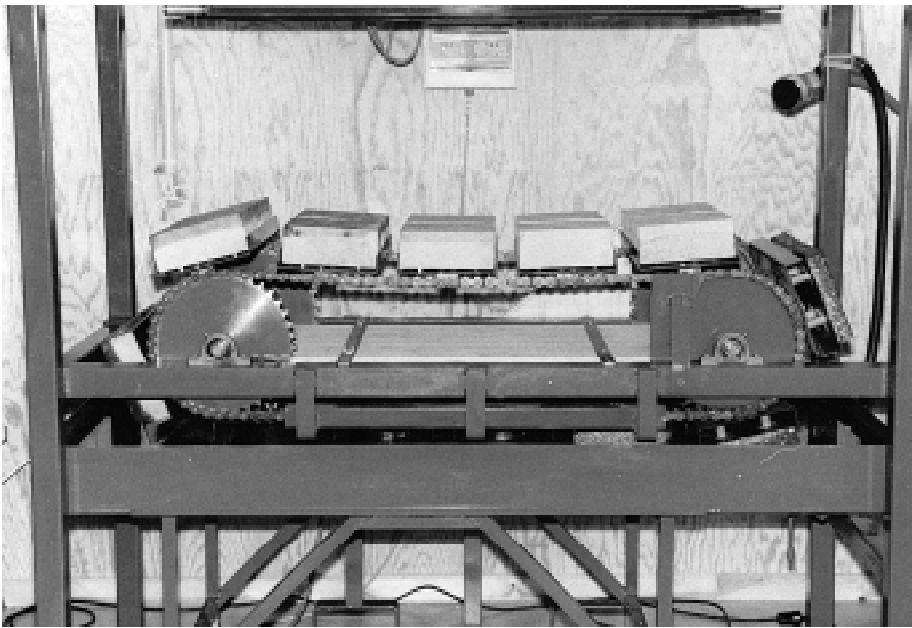


Abb. 1. Transporteinrichtung für 24 Prüfkörper. Unten befindet sich die Wanne mit Gärsaft, oben zwei Heizstäbe zur Trocknung der Prüfkörper nach Eintauchung. (Foto der Anlage).

Die Einrichtung umfasst zwei Förderketten, welche von Mitnehmern versehen sind (Abb. 1).

Auf den Mitnehmern sind zwölf Schalen montiert, in welchen jeweils zwei Prüfkörper befestigt werden können (insgesamt 24 Prüfkörper). Die Ketten werden durch einen Motor mit Getriebe angetrieben und machen eine Umdrehung pro 65 Minuten. Unterhalb der Ketten befindet sich eine Wanne mit zirka 120 l reinem Gärsaft aus Maissilage. Die Prüfkörper sind pro Umdrehung während 27 Minuten etwa 2,5 cm tief im Gärsaft eingetaucht und werden in der oberen Position etwa gleich lang einer Trocknung unter zwei Heizstäben von je 500 W ausgesetzt.

## Versuchsablauf

Der erste Versuch dauerte vier Wochen, der zweite neun Wochen. Für beide Versu-

che wurden jeweils ungebrauchte Prüfkörper verwendet. Das Alter der Prüfkörper betrug am Anfang des ersten Versuches 82 Tage, am Anfang des zweiten Versuches 132 Tage.

Während des Versuches wurden 24 Versuchskörper (2 x 6 Körper aus Beton, 2 x 3 aus Walzasphalt und 2 x 3 aus Gussasphalt) abwechselnd zirka 2,5 cm tief in den Gärsaft eingetaucht und anschliessend getrocknet. Nach jeder Woche wurden die Prüfkörper von der Maschine entfernt und im Ofen bei 50 °C getrocknet, um sie auf ihren ursprünglichen Wassergehalt zurückzubringen. Die Trocknungsdauer belief sich auf 48 Stunden für die Betonkörper und 4,5 Stunden für die Walz- und Gussasphaltpkörper. Nach der Trocknung wurden alle Körper mit einer Kunststoffbürste gereinigt (Entfernung von losen Körnern und Pilzresten) und gewogen. Die Differenz zwischen dem Gewicht

nach und vor der Versuchswoche ergibt den Gewichtsverlust durch Gärsaftangriff.

Wegen der permanenten Wasserverdunstung musste der Wanne regelmässig Gärsaft zugefügt werden. Die Messung des pH-Wertes und der Temperatur des Gärsaftes erfolgten zweimal täglich. Der Trockensubstanzgehalt des Gärsaftes wurde vor und nach jeder Versuchswoche bestimmt. Zum Vergleich bestimmte man gleichzeitig pH-Wert, Temperatur und Trockensubstanzgehalt in einem Referenz-Gärsaftbecken (zirka 20 l) ohne Prüfkörper.

Aus Platzgründen wurde Beton 6 nur in der ersten Versuchsperiode, Beton 7 nur in der zweiten Versuchsperiode erprobt.

## Geringe Unterschiede bei Beton

Ausser Beton 6, welcher mit Kalkstein hergestellt wurde, sind die Unterschiede im Gewichtsverlust gering. Beton 6 verliert innerhalb von vier Wochen zirka 5,2 % seines Gewichtes. Bei den anderen Prüfkörpern beträgt der Verlust 0,6 bis 0,9 % (Abb. 2).

Eine Erhöhung des Wasserzementfaktors von 0,5 (Beton 1) auf 0,6 (Beton 2) erhöht den Verlust um zirka 10 %. Das Ersetzen eines Teiles des Portlandzementes durch alternative Produkte (Flugasche, Silika Fume und Hochofenschlacke) bringt keine statistisch gesicherten Verbesserungen. Das Zusatzmittel Mowilith ist nur während der ersten Versuchswochen effektiv. Der Gewichtsverlust zwischen der vierten und neunten Woche des zweiten Versuches (zirka 30 g) ist praktisch gleich gross wie bei den andern Betontypen (1-5). Eine visuelle Begutachtung der Prüfkörper nach dem Versuch zeigt, dass auch kristallines Gestein (zirka 95 % Granit

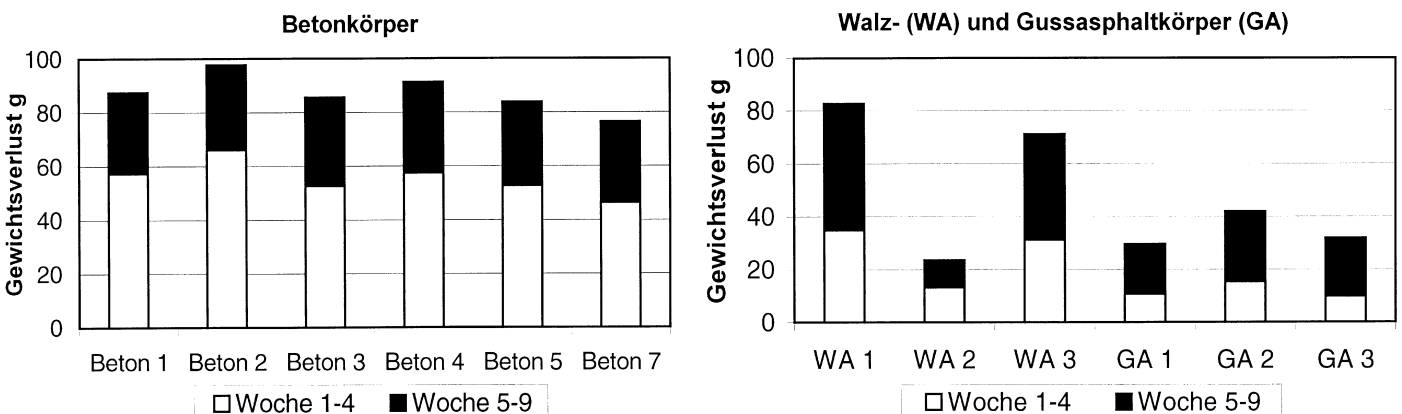


Abb. 2. Gewichtsverlust der Prüfkörper durch Gärsaftangriff während neun Wochen. Die Gewichte sind alle auf die gleiche Kontaktfläche (600 cm<sup>2</sup>) umgerechnet.

nach petrographischem Prüfbericht) vom Gärstoff angegriffen wird. Die meisten Steinchen der Schnittfläche sind sogar tiefer erodiert als der umliegende Mörtel (Sand-Zement-Gemisch).

## Positiver Einfluss von Trinidad (Naturasphalt)

Der Gewichtsverlust von Walzasphalt mit normalem oder polymermodifiziertem Bitumen (Walzasphalt 1 und 3) verläuft anfänglich langsamer als bei Beton (Abb. 2). Bei längerfristigem Angriff durch Gärstoff (Versuch 2) ist der Abbau aber nur unwesentlich geringer als bei Beton. Die Versuchsergebnisse müssen allerdings vorsichtig interpretiert werden, da das Zuschlagsmaterial bei Walzasphalt im Gegensatz zum Beton nicht rein kristallin war. Das Gleiche trifft auch für den Gussasphalt zu.

Die Zugabe von Naturasphalt Trinidad (NAF mit Zellulosefasern) scheint die Widerstandsfähigkeit beträchtlich zu erhöhen. Bei Splittmastixasphalt (Walzasphalt 2) mit 1 % Trinidad reduziert sich der Gewichtsverlust im Vergleich zu den beiden anderen Walzasphaltsorten auf ein Drittel. Der Trinidad-Zusatz erweist sich auch bei Gussasphalt 1 und 3 als vorteilhaft.

## Walzasphalt wasserundurchlässig

Nach den Bestimmungen des Gewässerschutzes müssen Lagereinrichtungen für Gärfutter dicht sein. Die Wasserundurchlässigkeit des Walzasphalts hängt in erster Linie von der Verdichtung ab. Der Hohlraumgehalt soll möglichst unter 3,5 % liegen. Zur Überprüfung der Undurchlässigkeit wurde von jeder Walzasphaltrezeptur ein Prüfkörper in einem Metallzylinder eingefasst. Zwischen Zylinder und Prüfkörper befand sich ein säurefestes Abdichtungsmittel. Über die Prüfkörper wurde eine 2 cm hohe Gärstoffsäule angebracht. Während der ganzen Beobachtungszeit (sechs Wochen) blieb die Unterseite bei allen drei Prüfkörpern vollkommen trocken. Man kann also davon ausgehen, dass in Flachsilos, wo sich wegen des Gefälles gegen die Entwässerungsrinne nur ein geringer statischer Druck aufbauen kann, die Dichtigkeit des Walzasphaltes an sich genügt. Da Gussasphalt wegen des Überschusses an Bitumen und seiner Zusammensetzung praktisch hohlraumfrei ist, steht seine Was-

serundurchlässigkeit nicht zur Diskussion.

## Walzasphalt einschichtig einbauen

Eine Kostenanalyse zeigt, dass ein einschichtiger Bodenbelag aus Walzasphalt geringere Jahreskosten verursacht als eine armierte Betonplatte (16 cm). Besteht der Asphaltbelag dagegen aus Trag- (HMT) und Deckschicht (beispielsweise SMA), sind keine Kosteneinsparungen gegenüber Beton zu erwarten. Als einschichtiger Walzasphaltbelag eignet sich am besten eine HMT (Heissmischtrag-schicht), welche auch die kostengünstigste Mischgutvariante ist. Eine Zugabe von 1,5 bis 2 % Naturasphalt (Trinidad) verteuert den Belag um etwa Fr 5.-/m<sup>2</sup>. Wenn weitere Versuche bestätigen, dass der Trinidad ebenso wie beim Splittmastixasphalt die Säurebeständigkeit des HMT-Belags wesentlich verbessert, würden die Mehrkosten sich lohnen. Es ist darauf zu achten, dass das Zuschlagsmaterial vorwiegend aus kristallinem Gestein besteht.

## Folgerungen

Der Versuch zeigt eindeutig, dass Kalkstein als Zuschlagsmaterial für Beton in Kontakt mit Gärstoff absolut ungeeignet ist. Kristallines Gestein ist zweifelsohne widerstandsfähiger als Kalkstein, wird jedoch auch vom Gärstoff angegriffen. Ein grosser Teil des Gewichtsverlustes des Betons ist auf den Abbau des (kristallinen) Zuschlagsmaterials zurückzuführen. Folglich kann das (teilweise) Ersetzen von Portlandzement durch weniger säureempfindliche Produkte wie Flugasche, Silikafume oder Hochofenschlacke nur beschränkt den Abbau reduzieren. Hydrophobe Dispersionsmittel wie Mowilith bieten nur einen vorübergehenden Schutz.

Der Gewichtsverlust bei Walzasphalt mit normalem oder polymermodifiziertem Bitumen ist etwa gleich gross wie bei Beton. Die Versuchsergebnisse müssen allerdings vorsichtig interpretiert werden, da das Zuschlagsmaterial bei Walzasphalt im Gegensatz zum Beton nicht rein kristallin war.

Die Zugabe von Naturasphalt Trinidad (NAF mit Zellulosefasern) erhöht die Widerstandsfähigkeit gegenüber organischen Säuren beträchtlich. Gut verdichteter Walzasphalt kann als wasserundurchlässig betrachtet werden.

## LITERATUR

Das vollständige Literaturverzeichnis ist beim Autor erhältlich.

## RÉSUMÉ

### Résistance des dalles de silo au jus de fermentation

Sept différents types de béton, trois types de béton bitumineux ainsi que trois types d'asphalte coulé furent exposés pendant 9 semaines à l'attaque du jus de fermentation de maïs. Les échantillons étaient fixés sur des chaînes de transmission, qui permettaient une alternance entre l'immersion et le séchage. La mesure des pertes de poids montre que des additifs et des ciments alternatifs n'augmentent guère la résistance du béton. Le béton bitumineux perd presque autant de poids que le béton, exceptés les échantillons avec matrice en gravillons (SMA) et enrichis de bitume de Trinidad qui résistent nettement mieux. Les pertes de poids des échantillons d'asphalte coulé varient entre 30 et 40% par rapport au béton. Des essais de perméabilité durant six semaines ont montré qu'une épaisseur de 7 cm suffit pour rendre les trois types de béton bitumineux étanches au jus de fermentation. Au point de vue financier, la dalle en béton bitumineux appliquée en une seule couche semble être la solution la plus avantageuse.

## SUMMARY

### Resistance of silo floors to silage juices

Seven different types of concrete, three types of asphaltic concrete and three types of mastic asphalt were exposed to silage juice of maize during 9 weeks. The samples were mounted on transmission chains making an alternation between immersion and drying possible. The measuring of the weight losses showed that the resistance of the concrete could hardly be increased by adding substances and using alternative cement types. The losses noted for asphaltic concrete were about the same as for concrete, except the samples with stone mastic asphalt and those enriched with Trinidad asphalt - they both resisted significantly better. The weight losses of the samples of mastic asphalt varied between 30 and 40% compared to those of concrete. Permeability tests performed during six weeks showed that a layer thickness of 7 cm was enough for making the three types of asphaltic concrete impermeable to silage juice. From a financial point of view, silage floors made of asphaltic concrete and applied in one layer proved to be the optimal solution.

**KEY WORDS:** silo floors, concrete, asphaltic concrete, mastic asphalt, silage juice