FAT Berichte

Nr. 543 | 1999

Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT), CH-8356 Tänikon TG, Tel. 052/368 31 31, Fax 052/365 11 90

Asphaltböden, eine Alternative für Gärfuttersilos?

Beton, Walz- und Gussasphalt im Vergleich

Ludo Van Caenegem, Ruedi Jakob und Alfons Schmidlin, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT), CH-8356 Tänikon

Mark Weydert, Faculté universitaire des sciences agronomiques, section Génie rural, B-5030 Gembloux

Betonböden in Flach- und Hochsilos werden stark von Gärsaft angegriffen. Versuche an der FAT zeigen, dass die Beständigkeit gegenüber Gärsaft ausgesprochen von der Art des Zuschlagmaterials (Sand und Kies) abhängt. Rein kristallines Zuschlagmaterial (wie Granit) ist bedeutend resistenter als Kalkstein. Die Zementsorte spielt wider Erwarten nur eine geringe Rolle. Alternative Zemente, die im Vergleich zum Portlandzement weniger frei verfügbaren Kalk enthalten, können die Beständigkeit des Betons kaum verbessern. Das gleiche gilt für Zusatzmittel wie Dispersionsmittel.

Eine interessante Alternative zum Beton ist der Asphalt. Nicht nur ist der Angriff durch Gärsaft bei Walz- und Gussasphalt geringer als bei Beton, auch die spätere Sanierung des Belags gestaltet sich einfacher. Die Beständigkeit hängt vor allem vom Bitumengehalt ab. Wird der Belag fachmännisch eingebaut, ist sowohl bei Walzasphalt als auch bei Gussasphalt die erforderliche Wasserundurchlässigkeit gewährleistet. Laut Untersuchungen an der EMPA ist Gärfutter in Kontakt mit Asphalt physiologisch unbedenklich. Walzasphalt in einschichtigem Einbau verursacht über die gesamte Lebensdauer der Bodenplatte betrachtet die geringsten Gesamtkosten.

Abb.1: Einbau des Walzasphaltbelags im Flachsilo an der FAT.

Angriff durch Gärsaft

Bei der Konservierung von Futtermitteln wie Gras und Mais findet unter Luftabschluss eine Vergärung statt. Ist der Trockensubstanzgehalt beim Einbringen niedrig (≤ 30%), können beträchtliche Mengen an Gärsaft freigesetzt werden (siehe FAT-Berichte Nr. 438).

Die Zusammensetzung von Gärsaft aus Maissilage kann stark variieren (Tab. 1). Der Trockensubstanzgehalt liegt in der Regel bei 5 bis 8%. Der relativ tiefe pH (3,6 bis 4) ist vor allem der Milch- und Essigsäure zuzuschreiben, die in Konzentrationen von 10 bis 20 g/kg Gärsaft vorhanden sind.

Säuren bilden mit dem frei verfügbaren Kalk im Zement Salze. Je löslicher diese Salze sind, desto stärker ist die Materialabtragung. Milchsäure bildet mit Kalk

Inhalt	Seite
Problemstellung	2
Angriff durch Gärsaft	1
Untersuchung	2
Versuchsergebnisse	6
Bauliche Aspekte	7
Wirtschaftliche Aspekte	9
Empfehlungen	10
Schlussfolgerungen	10
Literatur	11

Problemstellung

Bei der Vergärung von Raufutter (Mais, Gras) in Hoch- und Flachsilos entsteht je nach Trockensubstanzgehalt mehr oder weniger Gärsaft. Dieser enthält vor allem Milch- und Essigsäure, die in kurzer Zeit die Betonoberfläche angreift. Die Auflösung von Beton erfordert nach einigen Jahren Reparaturarbeiten oder sogar eine Belagserneuerung. Ein oberflächlicher Schutz (Anstrich) ist entweder wenig dauerhaft oder mit hohen Kosten (Beschichtung) verbunden. Bitumen ist im Gegensatz zu Zement gegenüber organischen Säuren in schwacher Konzentration beständig. Walz- und Gussasphalt könnten deshalb beständiger als Beton sein, unter der Voraussetzung, dass der Bitumen ausreichend die einzelnen Zuschlagskörner (Sand, Splitt oder Kies) umhüllt und schützt. Ob diese Schwarzbeläge sich tatsächlich für den Einbau in neuen Silos oder die Reparatur bestehender Böden eignen, entscheidet nicht nur ihre chemische Beständigkeit, sondern auch ihre Wasserundurchlässigkeit und Wirtschaftlichkeit. Ausserdem ist die physiologische Unbedenklichkeit von Futter in Kontakt mit Asphalt abzuklären.

Tab. 1: Zusammensetzung des Gärsaftes bei Versuchsbeginn in g/pro kg (l) Gärsaft

Bezeichnung	Einheit	Versuch 1, 3	Versuch 2, 3	Versuch 4, 5
Asche	g/kg	12	12	11
Eiweiss	g/l	16	11	12
Zucker	g/kg	3	< 2	3
Calcium	g/kg	1,55	1,6	< 1,0
Essigsäure	g/kg	8,6	11,1	10,2
Propionsäure	g/kg	0,2	9,3 [1)]	9,5 [1)]
Buttersäure	g/kg	0,4	0,5	< 0,1
Milchsäure	g/kg	17,2	11,7	20,0
Ammoniak	g/l	0,35	0,2	0,14
Ethanol	g/kg	3,8	1	5,7
pH		3,9	4,0	3,8

Analyseergebnisse der Forschungsanstalt RAP, Posieux.
[1)] Zur Verhinderung von Pilzbefall wurde zirka 1% Propionsäure zugefügt.

Calciumlaktat, das sich bei 15 °C in der Grössenordnung von 5,5 g pro 100 ml Wasser auflösen kann. Die Wasserlöslichkeit von Calciumacetat (Salz aus Kalk und Essigsäure) liegt um ein Vielfaches höher (zirka 35 g/100 ml Wasser). Portlandzement, der allgemein für die Herstellung von Beton verwendet wird, setzt bei der Hydratation etwa 0,3 kg Kalk pro kg Zement frei.

Wie Zement im Beton sorgt Bitumen im Asphalt für die Verklebung und Umhüllung der Zuschlagkörner. Bitumen ist gegenüber Essiglösungen bis 25% und gegenüber Milchsäurelösungen bis 10% beständig. Daraus könnte man ableiten, dass Asphalt eine grössere Beständigkeit gegenüber Gärsaft als Beton aufweisen müsste. Dies ist aber nicht unbedingt der Fall. Neben dem Bindemittel (Zement im Beton oder Bitumen im Asphalt) kann auch das Zuschlagmaterial (Sand, Splitt oder Kies) mit den organischen Säuren im Gärsaft reagieren. Diese Reaktion hängt von der Art des Zuschlagmaterials und der Umhüllung der einzelnen Zuschlagkörner ab, wie Versuche an der FAT zeigen.

Untersuchung

Die Untersuchungen beziehen sich auf die chemische Beständigkeit von Beton, Walz- und Gussasphalt gegenüber Gärsaft sowie auf die Durchlässigkeit von Walzasphalt für Gärsaft und die physiologische Unbedenklichkeit von Futter in Kontakt mit Walzasphalt.

Methode

Chemische Beständigkeit

Die Untersuchungen erfolgten in fünf Versuchen in der Zeitspanne von Februar bis Juli 1998 und von April bis Juli 1999 mittels zwei verschiedenen Verfahren (Tab. 2).
Beim ersten Verfahren (zyklisch eingetaucht) wurden die Prüfkörper abwechselnd zirka 2,5 cm tief in reinen Maisgärsaft eingetaucht und anschliessend unter zwei Heizstrahlern oberflächlich abgetrocknet (Abb. 2). Die Förderkette machte eine Umdrehung pro Stunde. Beim zweiten Verfahren (permanent eingetaucht) waren sie ständig etwa 3 cm tief im gleichen Gärsaft eingetaucht (Abb. 3). Nach einer oder zwei Wochen wurden alle Prüfkörper weggenommen und im Ofen bei 50 °C getrocknet, um sie auf ihren ursprünglichen Wassergehalt zurückzubringen. Anschliessend wurden sie mit einer Kunststoffbürste gereinigt (Entfernung von losen Körnern und Pilzresten) und gewogen. Die Differenz zwischen dem Gewicht vor und nach der Versuchsperiode ergab den Gewichtsverlust durch Gärsaftangriff. Der Gewichtsverlust wurde für alle Prüfkörper auf eine Kontaktfläche von 600 cm^2 umgerechnet. Der Gärsaft wurde nach jeder Entfernung der Prüfkörper erneuert.
Bei den Versuchen 1 und 2 (zyklische Eintauchung) auf der Maschine standen jeweils zwei, beim Versuch 4 jeweils vier Prüfkörper pro Beton-, Walzasphalt- und Gussasphaltsorte zur Verfügung. Da die Maschine nur für 24 Prüfkörper Platz bietet, wurde beim Versuch 2 Beton 6 durch Beton 7 ersetzt. Der Versuch 3 (permanente Eintauchung) bezieht sich auf einen Prüfkörper pro Beton- und Asphaltsorte, der Versuch 5 (permanente Eintauchung) auf zwei Prüfkörper pro Walzasphaltsorte. Dank einer gezielten Auswahl der Beton- und Asphaltsorten

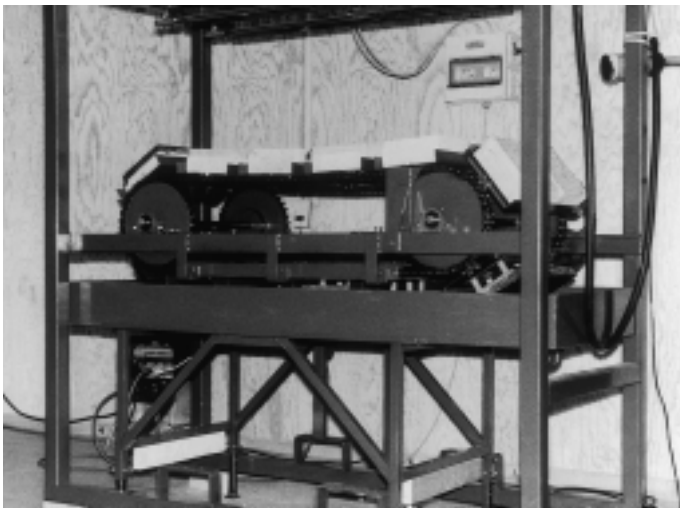

Abb. 2: Die Fördereinrichtung erlaubt das abwechslungsweise Eintauchen in Gärsaft und Trocknen der Beton- und Asphaltprüfkörper.

Abb. 3: Gleichzeitig zum Versuch auf der Maschine wurden Beton- und Asphaltkörper permanent in Gärsaft eingetaucht.

war es möglich, folgende Einflussfaktoren auf die chemische Beständigkeit zu untersuchen:
Versuche 1, 2, 3:
– Zement- oder Bitumensorte,
– Zuschlagmaterial: rein kristallines Gestein, reiner Kalkstein und ein Gemisch von beiden,
– Wasserzementwert (Verhältnis der Wasser- zur Zementmenge),
– Zusatzmittel bei Beton und Asphalt.
Versuche 4, 5:
– Nachbehandlung bei Beton,
– Zusatzmittel Trinidad (Naturasphalt) bei Walzasphalt.

Durchlässigkeit

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 Wasserundurchlässigkeit wurde von jeder Walzasphaltsorte ein Prüfkörper in einem Metallzylinder eingefasst. Zwischen Zylinder und Prüfkörper befand sich ein säurefestes Abdichtungsmittel. Über die Prüfkörper wurde eine 2 cm hohe Gärsaftsäule angebracht. Die Unterseite wurde während sechs Wochen auf das Durchsickern von Gärsaft kontrolliert.

Physiologische Unbedenklichkeit

Strassenbeläge aus Asphalt bestehen hauptsächlich aus Gestein (92 bis 94%) und einem Bindemittel (5 bis 7%), das diese Mineralstoffe verklebt. Seit einigen Jahren wird als Bindemittel ausschliesslich Bitumen verwendet. In alten Strassenbelägen kann man ausser Bitumen auch noch Teer antreffen. Teer und Bitumen unterscheiden sich in der Herstellung und im Schadstoffgehalt. Während Teer bei der Verkokung von Steinkohle anfällt, beispielsweise bei der Herstellung von Stadtgas, entsteht Bitumen durch Abtrennung der leichtflüchtigeren Anteile wie Benzin, Kerosin usw. Dies ist ein rein physikalischer Trennvorgang, weshalb praktisch keine Schadstoffe entstehen. Bei der Teergewinnung hingegen wird die Steinkohle aufgeschlossen, wodurch eine Vielzahl neuer Verbindungen gebildet wird, darunter auch grosse Mengen an polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAH). Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe sind anerkanntermassen schädlich für Mensch und Umwelt, dementsprechend auch bereits in zahlreichen Rechtserlassen geregelt (Weber 1998).
PAH entstehen auch bei der Verbrennung von organischem Material und sind daher in der Umwelt allgegenwärtig. Aus diesem Grunde wurden in sechs Flachsilos mit Walzasphaltboden jeweils zwei Proben entnommen, einerseits eine Nullprobe (ohne Bodenkontakt) und anderseits eine Probe mit direktem Bodenkontakt (Abb. 4). Die Eidgenössiche Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (EMPA) führte die Analysen auf 16 verschiedene PAH-Gehalte durch.

Tab. 2: Übersicht der verschiedenen Versuche

	Verfahren	Versuchsdauer Wochen	Material
Versuch 1	Prüfkörper zyklisch eingetaucht	4	Beton 1, 2, 3, 4, 5, 6 Walzasphalt 1, 2, 3 Gussasphalt 1, 2, 3
Versuch 2	Prüfkörper zyklisch eingetaucht	9	Beton 1, 2, 3, 4, 5, 7 Walzasphalt 1, 2, 3 Gussasphalt 1, 2, 3
Versuch 3	Prüfkörper permanent eingetaucht	10	Beton 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 Walzasphalt 1, 2, 3 Gussasphalt 1, 2, 3
Versuch 4	Prüfkörper zyklisch eingetaucht	9	Beton 8, 9 Walzasphalt 4, 5
Versuch 5	Prüfkörper permanent eingetaucht	9	Walzasphalt 4, 5

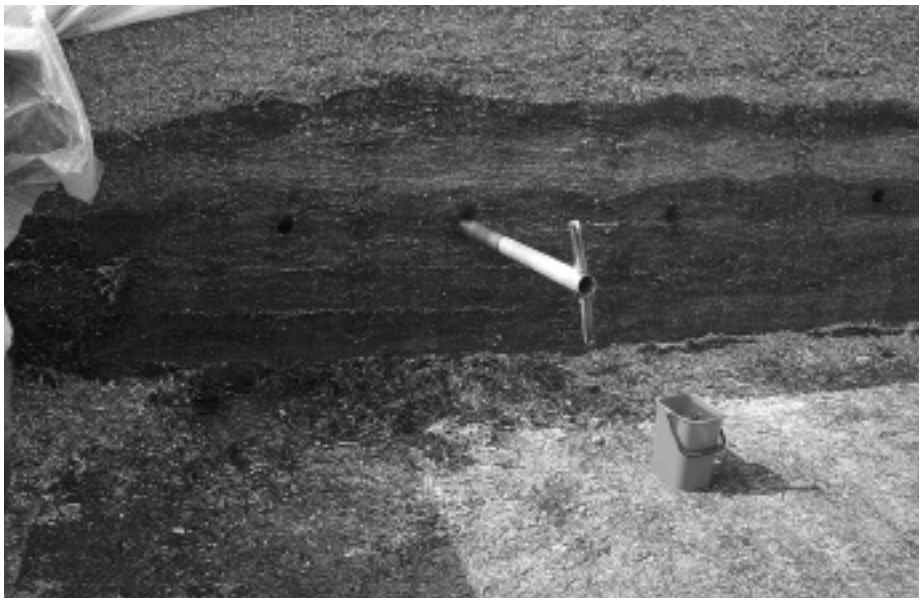

Abb. 4: In jedem Flachsilo mit Walzasphaltboden wurden zwei Proben entnommen, einerseits eine Nullprobe (ohne Bodenkontakt) und anderseits eine Probe mit direktem Bodenkontakt.

Untersuchte Betonsorten

Versuche 1, 2 und 3

In den Versuchen 1 bis 3 wurden insgesamt sieben Betonsorten geprüft. Sie unterscheiden sich entweder durch Zementsorte, Zuschlagmaterial, Wasserzementwert oder Zusatzmittel (Tab. 3).
Beton 1, 2, 6 und 7 enthalten reinen Portlandzement, Beton 3, 4 und 5 Komposit-Zemente (Hüttensand, Flugasche, Silikafume). Bei herkömmlichem Beton wird reiner Portlandzement verwendet, der im Zementofen bei sehr hohen Temperaturen aus kalk-, silizium- und aluminiumhaltigen Gesteinen hergestellt wird. Portlandzement setzt bei der Erhärtung im Beton bis zu 0,3 kg Kalk pro kg Zement frei. Neben dem reinen Portlandzement gibt es Komposit-Zemente, bei denen ein Teil des Portlandzementes durch mineralische Zusätze (beispielsweise Hüttensand, Flugasche, Silikafume) ersetzt ist. **Hüttensand** ist fein gemahlene schnell abgekühlte Hochofenschlacke, die weniger reich an Kalk als Portlandzement ist. Hüttensand kann bis zu 95% Portlandzement ersetzen. **Flugasche** entsteht bei der Verbrennung von magerer Steinkohle in thermischen Elektrizitätswerken. Sie enthält ebenfalls weniger freien Kalk als Portlandzement und erlaubt zusätzlich die Herabsetzung des Wasserzementwerts. Silikafume ist ein Nebenprodukt der Siliziumindustrie. **Silikafume** verleiht dem Beton eine höhere Druckfestigkeit und wegen seiner extremen Partikelfeinheit eine geringere Durchlässigkeit.
Beton 1, 2, 3, 4, 5 und 7 enthalten reines kristallines Zuschlagmaterial, Beton 6 reinen Kalkstein. Das grobe Zuschlagmaterial nimmt ungefähr 50% des Betonvolumens ein. Man spricht von kristallinem Gestein, wenn es in der Tiefe unter hoher Temperatur (Granit) oder Druck (Gneiss) auskristallisiert ist.
Bei Beton 2 ist der Wasserzementwert im Vergleich zu Beton 1, 3, 4, 5, 6, 7 um 20% höher (0,6 statt 0,5). Das Anmachwasser des Betons setzt sich aus der Oberflächenfeuchtigkeit des Zuschlagmaterials und dem Zugabewasser zusammen. Für die Hydratation des Betons ist 0,3 bis 0,4 l Anmachwasser pro kg Zement erforderlich (Wasserzementwert, w/z = 0,3 bis 0,4). Wegen der Verarbeitbarkeit muss dem Beton mehr Wasser zugegeben werden, als für die Hydratation erforderlich ist. Der w/z-Wert sollte jedoch möglichst 0,5 nicht übersteigen.
Beton 7 enthält ein Dispersionsmittel (Mowolith LDM 6680) in einer Dosierung von 15% zur Zementmasse (15% von 325 kg = 49 kg). Zusatzmittel wirken chemisch oder physikalisch. Beispiele sind Betonverflüssiger, die den Wasseranspruch verringern, Luftporenbildner, Dichtungsmittel, Verzögerer und Beschleuniger. Hydrophobe Dispersionsmittel sollten den Kontakt zwischen den Zuschlagkörnern und dem Gärsaft erschweren und so den Angriff verzögern.

Versuch 4

Im Versuch 4 wurde der Einfluss der Nachbehandlung auf die chemische Beständigkeit von Beton untersucht (Tab. 4). Die Festigkeitsentwicklung nach dem Einbau des Betons verläuft je nach Temperatur und Festigkeitsklasse des Zements mehr oder weniger schnell. Üblicher Beton (C25/30) erreicht bei einer Temperatur von 20 °C nach drei Tagen etwa 30 bis 40% seiner 28-Tage-Festigkeit. Bei tieferen Temperaturen nimmt die Erhärtungsgeschwindigkeit ab. Während des Erhärtungsprozesses muss durch Feuchthaltung dafür gesorgt werden,

Tab. 3: Eigenschaften der untersuchten Betonprüfkörper in den Versuchen 1, 2 und 3

	Zement	Zuschlagstoffe	Zusatzmittel	Wasserzement-wert
B 1	325 kg/m^3 Portlandzement	Kristallin	Verflüssiger 3 kg/m^3	0,52
B 2	325 kg/m^3 Portlandzement	Kristallin		0,61
B 3	250 kg/m^3 Portlandzement 75 kg/m^3 Flugasche	Kristallin	Verflüssiger 5 kg/m^3	0,52
B 4	300 kg/m^3 Portlandzement 25 kg/m^3 Silikafume	Kristallin	Verflüssiger 5 kg/m^3	0,50
B 5	98 kg/m^3 Portlandzement 227 kg/m^3 Hüttensand	Kristallin	Verflüssiger 5 kg/m^3	0,52
B 6	325 kg/m^3 Portlandzement	Kalkstein	Verflüssiger 3 kg/m^3	0,51
B 7	325 kg/m^3 Portlandzement	Kristallin	Mowolith 49 kg	0,50

Herstellung und Analyseergebnisse VSH, Versuchsstollen, Hagerbach AG, Sargans.

dass der Beton genügend Wasser behält, damit die Hydratation ausreichend stattfindet und die Oberfläche dicht und fest wird. Unter warmen und trockenen Witterungsbedingungen kann der Beton nach dem Einbau mehr als 1l Wasser pro m^2 und Stunde verlieren. Ohne Massnahmen führt diese Verdunstung in kürzester Zeit zur Austrocknung der Oberfläche. Die Austrocknung lässt sich durch das regelmässige Berieseln mit Wasser, das Abdecken mit einer Plastikfolie oder das Versprühen eines Curing Compounds (Verdunstungsschutz auf Paraffinbasis) verhindern. Die Nachbehandlung soll bei feuchter Witterung mindestens drei Tage, bei trockenen Wetterverhältnissen fünf Tage dauern. Im Versuch wurden vier Betonprüfkörper (Beton 9) gleich nach der Herstellung (auf einer Baustelle) mit einer Plastikfolie abgedeckt, während die anderen vier (Beton 8) der Witterung ausgesetzt wurden.

Untersuchte Walz- und Gussasphaltsorten

Walzasphalt und Gussasphalt bestehen wie Beton aus mineralischen Zuschlagmaterialien und einem Bindemittel. Wie Zement bei Beton, bildet Bitumen bei Asphalt das Bindemittel. Im Gegensatz zum Walzasphalt wird der Gussasphalt nicht gewalzt. Er wird bei einer höheren Temperatur (zirka 230 °C) als Walzasphalt eingebracht. Bei Gussasphalt ist der Bitumengehalt so zu bemessen, dass die Hohlräume zumindest voll ausgefüllt sind oder ein kleiner Bindemittelüberschuss besteht. Bei Walzasphalt ist der Anteil an Hohlräume je nach Anwendungsgebiet unterschiedlich hoch. Gussasphalt wird nur als Deckschicht (2,5 bis 4 cm) auf einer Tragschicht (Beton oder Walzasphalt) verwendet. Walzasphalt wird durch die meisten Tiefbauunternehmen eingebracht, Gussasphalt dagegen bleibt spezialisierten Firmen vorbehalten.

Tab. 4: Eigenschaften der untersuchten Betonprüfkörper im Versuch 4

	Zement	Zuschlagstoffe	Wasserzementwert	Nachbehandlung
B 8	325 kg/m^3 Portlandzement	Kristallin + Kalkstein	0,50	Nein
B 9	325 kg/m^3 Portlandzement	Kristallin + Kalkstein	0,50	Ja

Herstellung und Angaben, Betonwerk Aadorf.

Tab. 5: Eigenschaften der untersuchten Walz- (WA) und Gussasphaltkörper (GA) in den Versuchen 1, 2 und 3

	Bezeichnung	Bitumen	Zusatzmittel
WA 1	Ab 11N (Asphaltbeton)	PmB, 5,8 %	
WA 2	SMA 11S (Splittmastixasphalt)	B80/100, 6,6 %	Trinidad, 1%
WA 3	HMT 11L (Heissmischtragschicht)	B80/100, 5,3 %	
GA 1	GAT 8S	B40/50, 6,8 %	Trinidad, 1,1%
GA 2	GA 8S	B40/50, 7,7 %	
GA 3	GAT 11S	PmB, 6,8 %	Trinidad, 1,1 %

Herstellung und Analyseergebnisse Batigroup, Bern.

Versuche 1, 2 und 3

Walzasphalt 1 ist ein Asphaltbeton (AB, Deckschichtasphalt) mit Polymerbitumen (PmB), Walzasphalt 2 ein Splittmastixasphalt (SMA, verschleissfeste Deckschicht) mit hohem Bitumengehalt und Naturasphalt (Trinidad) und Walzasphalt 3 eine Heissmischtragschicht (HMT) mit normalen Bitumen (Tab. 5).
Gussasphalt 1 enthält normalen Bitumen und Naturasphalt (Trinidad), Gussasphalt 2 normalen Bitumen und Gussasphalt 3 Polymerbitumen mit Naturasphalt (Trinidad).
Bitumen besteht zum grössten Teil aus Kohlenwasserstoffen und aus geringen Mengen an Schwefel und Sauerstoff. Bitumen kommt in Rohzustand in der Natur vor (beispielsweise in Trinidad, Kuba, Venezuela), wird aber hauptsächlich durch Destillation aus Petroleum gewonnen.
Zähflüssigkeit (Viskosität) und Eindringungswiderstand variieren je nach Zusammensetzung. Sie werden durch eine Zahl gekennzeichnet (30 bis 220). Je tiefer die Zahl, desto zähflüssiger und desto höher die Temperatur, bei welcher der Bitumen weich wird. Je zähflüssiger, desto grösser die Gefahr auf Rissbildung, desto kleiner aber die Beschädigung des Belags durch Aufweichen im Sommer.
Dem normalen Bitumen können zur Verbesserung bestimmter Eigenschaften (Lebensdauer, mechanischer Widerstand, Haftung) Polymere (beispielsweise Polyurethan, Polystyrol) beigemischt werden. Um das Risiko auf Entmischung (Ablaufen von Bindemittel) zu vermindern, können Spezialfiller wie beispielsweise. Zeobit oder Zusatzstoffe wie Zellulosefasern beigemischt werden.

Versuche 4, 5

Aufgrund der Ergebnisse in den Versuchen 1, 2 und 3 war es nicht möglich den Einfluss von Naturasphalt (Trinidad) eindeutig festzustellen. Deshalb wurde in weiteren Versuchen (4 und 5) Walzasphalt mit und ohne Zusatzstoff Trinidad verglichen (Tab. 6).

Tab. 6: Eigenschaften der untersuchten Walzasphaltkörper (WA) in den Versuchen 4 und 5

	Bezeichnung	Bitumen	Zusatzmittel
WA 4	HMT 16L	B80/100, 5,8%	
WA 5	HMT 16L	B80/100, 5%	Trinidad, 1,5%

Versuchsergebnisse

Komposit-Zement verbessert die Beständigkeit nur geringfügig

Da die Auflösung des Zementsteins durch Gärsaft frei verfügbaren Kalk voraussetzt, würde man erwarten, dass die Komposit-Zemente, die am wenigsten frei verfügbaren Kalk aufweisen, den widerstandsfähigsten Beton liefern würden.
Die Ergebnisse zeigen, dass bei der zyklischen Eintauchung einerseits Silikafume (B 4) keinen Einfluss und andererseits Flugasche (B 3) und Hüttensand (B 5) den Gewichtsverlust nur sehr geringfügig verringern (Abb. 5). Bei den Prüfkörpern, welche permanent eingetaucht waren, ist der positive Einfluss der Komposit-Zemente etwas deutlicher. Diese letzten Resultate müssen jedoch mit Vorsicht interpretiert werden, da es sich jeweils nur um einen Prüfkörper handelt. Bei der zyklischen Eintauchung geht es dagegen um den Mittelwert von vier Prüfkörpern (ausser bei Beton 6 und 7: nur zwei Prüfkörper). Eine Erklärung für die eher enttäuschenden Ergebnisse der Komposit-Zemente könnte darin liegen, dass ein grosser Teil des Gewichtsverlustes nicht auf den Abbau des Mörtels (Zement-Sand-Gemisch), sondern des Zuschlagmaterials zurückzuführen ist. Eine visuelle Begutachtung der Prüfkörper nach Ablauf des Versuches zeigt, dass auch kristallines Gestein (zirka 95% Granit nach petrographischem Prüfbericht) vom Gärsaft angegriffen wird. Die meisten Steinchen der Schnittfläche sind sogar tiefer erodiert als der umliegende Mörtel.

Kalkstein ist als Zuschlagmaterial nicht geeignet

Der Versuch sowohl mit zyklischer als auch mit permanenter Eintauchung zeigt sehr deutlich den Einfluss der Gesteinsart (Abb. 5). Die Prüfkörper mit reinem Kalkstein (B 6) als Zuschlagmaterial verlieren um ein Vielfaches mehr Gewicht im Vergleich zu den anderen Prüfkörpern, die mit reinem kristallinem Gestein hergestellt wurden.

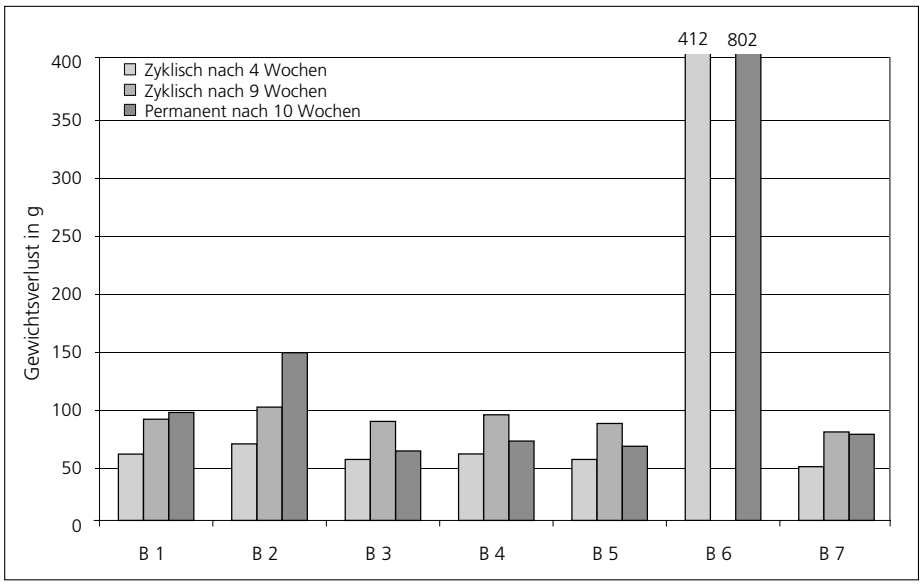

Abb. 5: Zusammenfassung der Ergebnisse aus den Versuchen 1, 2 und 3. Mittelwerte der Gewichtsverluste von sieben Betonsorten bei beiden Verfahren, zyklische und permanente Eintauchung in Gärsaft.

Ein hoher Wasserzementwert verringert die Beständigkeit des Betons

Der negative Einfluss eines hohen Wasserzementwertes auf die Beständigkeit des Betons (B 2) gegenüber Gärsaft ist bei den zyklisch eingetauchten Prüfkörpern weniger deutlich als beim permanent eingetauchten Prüfkörper (Abb. 5).

Zusatzmittel beeinflussen die Beständigkeit des Betons nur wenig

Das Dispersionsmittel Mowolith LDM 6680 (B 7) zeigt im Versuch nur eine geringe Wirkung (Abb. 5). Der leichten Zunahme der Beständigkeit stehen Mehrkosten von zirka Fr. 150.–/m^3 gegenüber.

Nachbehandlung des Betons lohnt sich

Die Versuchsergebnisse zeigen einen deutlich höheren Gewichtsverlust für die nicht nachbehandelten Prüfkörper (B 8) (Abb. 7). Dieser Versuch erfolgte nur mit zyklischer Eintauchung.

Polymerbitumen verbessert die Beständigkeit von Asphalt nur wenig

Die Ergebnisse aus den Versuchen 1, 2 und 3 zeigen, dass die Beimischung von Polymeren weder bei Walzasphalt (WA 1) noch bei Gussasphalt (GA 3) eine gesicherte Verbesserung bewirkt (Abb. 6).

Keine positive Wirkung von Naturasphalt (Trinidad)

Die Vermutung nach den ersten beiden Versuchen, dass die sehr geringen Gewichtsverluste (Abb. 6) bei Walzasphalt 2 (Splittmastixasphalt SMA) hauptsächlich dem Zusatzstoff Trinidad (Naturasphalt) zu verdanken sind, hat sich im vierten und fünften Versuch nicht bestätigt. In diesen Versuchen konnte weder bei den zyklisch noch bei den ständig eingetauchten Prüfkörpern ein gesicherter Unterschied zwischen den Prüfkörpern mit (WA 5) und ohne (WA 4) Trinidad festgestellt werden (Abb. 7).
Die hohe Beständigkeit des Spezialbelags SMA ist wahrscheinlich auf seine spezifische Zusammensetzung zurückzuführen. Wegen des hohen Bitumengehalts sind die Hohlräume weitgehend mit Asphaltmastix gefüllt, sodass die Deckschicht

nach erfolgter Verdichtung nur noch einen geringen Hohlraumgehalt aufweist. Ein SMA-Belag eignet sich nur für maschinellen Einbau.

Beton, Walzasphalt und Gussasphalt im Vergleich

Ein Vergleich der Gewichtsverluste in den Versuchen 1 bis 3 zeigt (Abb. 5 und 6), dass Walzasphalt 1 (AB) und 3 (HMT) etwa gleich viel Gewicht verlieren wie Beton 1, 3, 4, 5 und 7. Dabei ist aber zu bedenken, dass die Betonkörper mit reinem kristallinem Material hergestellt wurden, während das Zuschlagmaterial von Walzasphalt auch Kalkstein (zirka 30%) enthielt. In den Versuchen 4 und 5 bestand das Zuschlagmaterial sowohl beim Beton als auch beim Walzasphalt HMT aus einer Mischung aus kristallinem Gestein und Kalkstein. Der Unterschied zwischen üblichem Beton (einer Baustelle entnommen) und Walzasphalt (HMT) ist eindeutig. Der Gewichtsverlust von Walzasphalt beträgt nur etwa 25% im Vergleich zum Beton (Abb. 7).
Die chemische Beständigkeit von Gussasphalt ist etwa zwei Mal besser als die von Walzasphalt 1 und 3 und etwa gleich gut wie Walzasphalt 2 (SMA) (Abb. 6).

Walzasphalt ist wasserdicht

Während der ganzen Beobachtungszeit (sechs Wochen) blieb die Unterseite bei allen drei Prüfkörpern vollständig 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 Wasserundurchlässigkeit nicht zur Diskussion.

Asphalt ist physiologisch unbedenklich

Laut EMPA-Untersuchungen unterscheiden sich die Futterproben mit Bodenkontakt hinsichtlich ihrer Gehalte an polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen nicht signifikant von den Futterproben ohne Bodenkontakt. Nach heutigen Kenntnissen entstehen keine Probleme, wenn Futtermittel mit so niedrigen PAH-Werten an landwirtschaftliche

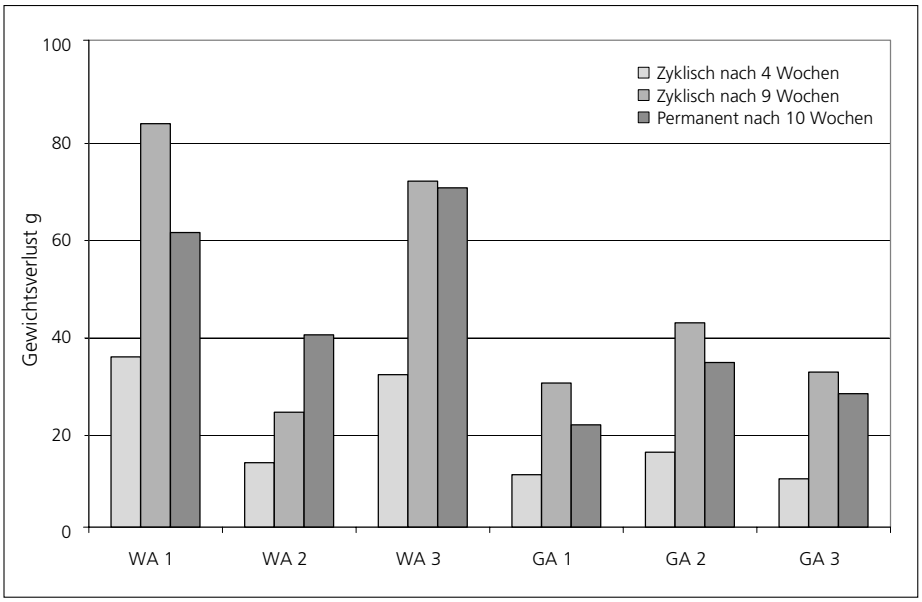

Abb. 6: Zusammenfassung der Ergebnisse aus den Versuchen 1, 2 und 3. Mittelwerte der Gewichtsverluste von drei Walzasphalt- (WA) und drei Gussasphaltsorten (GA) bei beiden Verfahren, zyklische und permanente Eintauchung in Gärsaft.

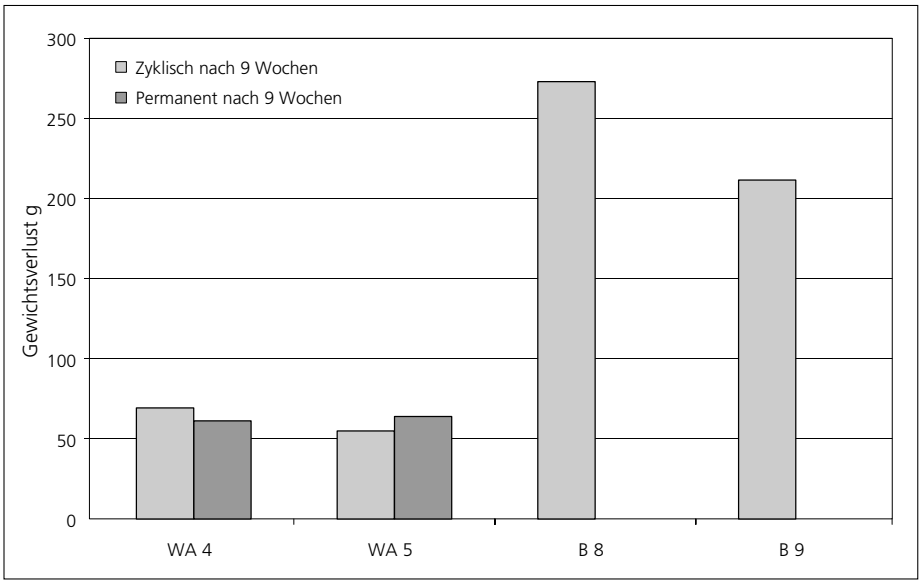

Abb. 7: Zusammenfassung der Ergebnisse aus den Versuchen 4 und 5. Mittelwerte der Gewichtsverluste von zwei Walzasphalt- (WA) und zwei Betonsorten (B) bei beiden Verfahren, zyklische und permanente Eintauchung in Gärsaft.

Nutztiere verfüttert werden. Für PAH in Futtermitteln existieren zwar keine Höchstgehalte. Die gefundenen Werte liegen jedoch im Bereich der Angaben aus der Literatur für künstlich getrocknete Futtermittel (Guidon 1999).
Die EMPA-Untersuchungen beziehen sich auf Beläge mit neuem Asphalt. Obwohl heute kein Teer mehr verwendet wird, kann durch Recycling alter Beläge trotzdem Teer in neuen Belägen eingearbeitet werden (Hugener 1998). Es ist deshalb bei Futtersilos unbedingt auf Recycling-Asphalt zu verzichten.

Bauliche Aspekte

Für die Silobodenplatte gibt es mehrere mögliche Schichtaufbauten (Abb. 8). Jeder Aufbau muss die Belastung durch die Geräte und Maschinen aushalten sowie den Anforderungen des Gewässerschutzes genügen.
Bei Neubau kommen sowohl einschichtige als auch mehrschichtige Beläge in Frage. Nicht nur wirtschaftliche, sondern auch bau- und betriebstechnische Anfor-

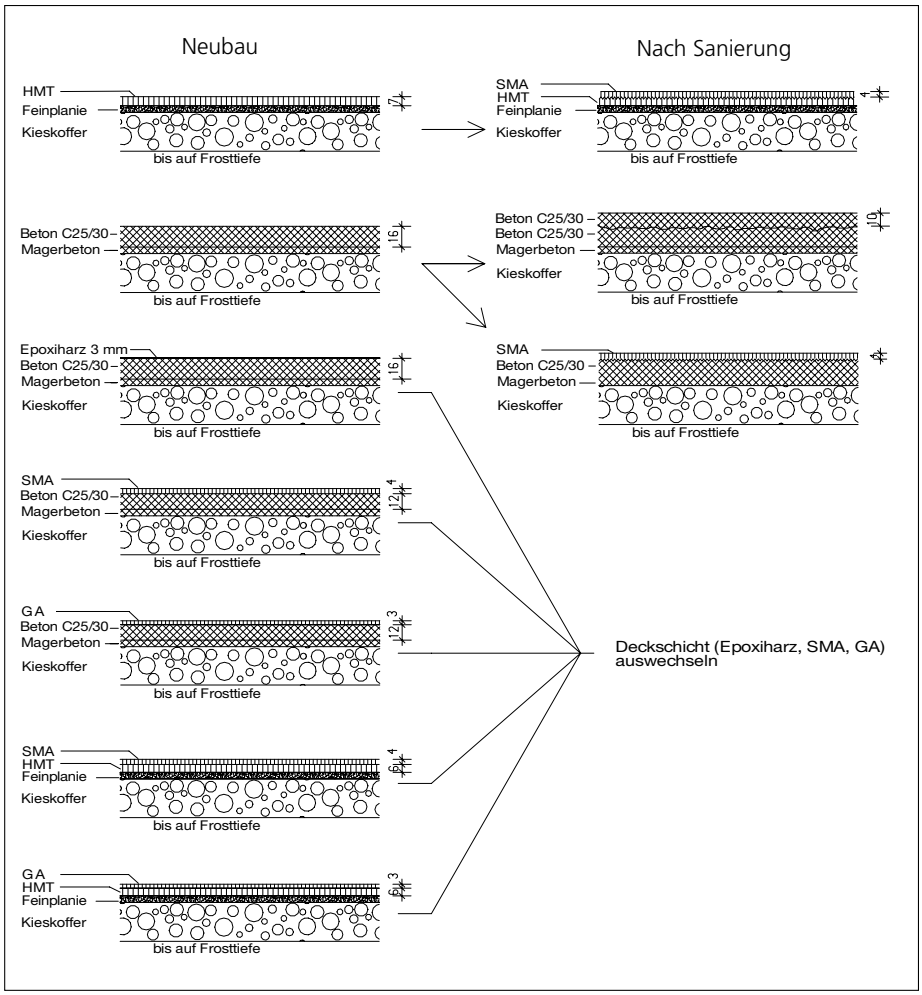

Abb. 8: Mögliche Belagsaufbauten für Siloböden bei Neubau und Sanierung.

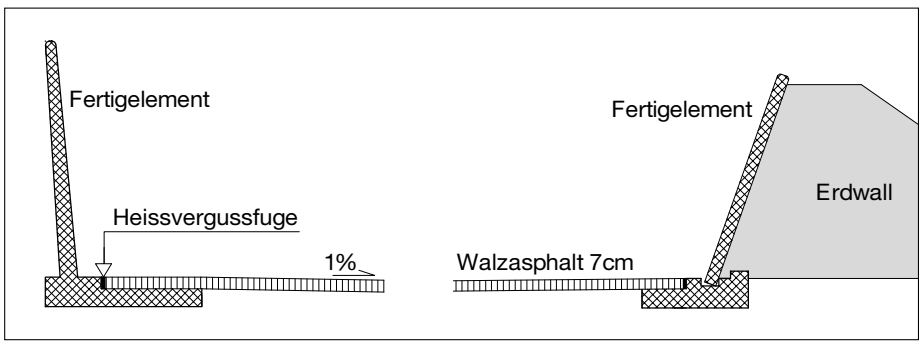

Abb. 9: Im Hinblick auf eine dichte Verbindung zwischen Wand und Bodenplatte empfiehlt es sich, den Belag nicht zwischen, sondern über einem Teil des Wandfusses einzubauen. Links freistehendes, rechts Traunstein-Fertigelement.

derungen werden die Wahl des Belagsaufbaus mitbestimmen. Eine Bodenplatte aus Walzasphalt setzt voraus, dass die Silowände für die Stabilität keine Verankerung in der Bodenplatte benötigen. Solche Silowände sind entweder freistehend (beispielsweise Fertigelemente mit Fuss in L- oder ⊥-Form) oder lehnen sich an einen Erdwall (Traunstein-Silos) an. Letztere benötigen beidseitig einen Betonstreifen mit Nut. Im Hinblick auf eine dichte Verbindung zwischen Wand und Bodenplatte empfiehlt es sich, den Asphaltbelag nicht zwischen, sondern über einem Teil des Wandfusses einzubauen. Der Wandfuss aus Beton ist in diesem Bereich genau um die Belagsdicke (7 cm) weniger dick (Abb. 9). Zur Entlastung der seitlichen Fugen soll der Boden ein Quergefälle gegen die Mitte aufweisen. Erfahrungen in der Praxis zeigen, dass vor allem die Verbindung zwischen Bodenplatte und Betonwand das grösste Risiko auf Undichtigkeit aufweist. Das sogenannte TOK-Band (elastisches bituminöses Fugenband, 30 x 10 mm), das üblicherweise beim Belagseinbau zwischen Beton und Asphalt eingelegt wird, gewährleistet keine absolute Dichtigkeit. Es empfiehlt sich, den Walzasphalt nicht bis zur Wand einzubauen, sondern eine genügend breite Fuge (zirka 2 cm) zwischen Wand und Belag zu lassen. Nach vollständiger Abkühlung und Schrumpfung des Belags wird die Fuge mit einer Heissvergussmasse gefüllt.

Entscheidet man sich für einen Betonboden, soll dieser möglichst wenig Kalkstein als Zuschlagmaterial enthalten, einen niedrigen Wasserzementwert aufweisen, gut verdichtet und nach dem Einbringen während vier bis sieben Tagen, je nach Witterung, vor Austrocknung geschützt werden (Abdecken mit einer Folie oder berieseln).

Bei der Sanierung eines Betonbodens gibt es zwei Möglichkeiten. Entweder wird nach Reinigung und Entfernung aller losen Teile auf der alten Platte ein neuer genügend dicker Betonbelag (zirka 10 cm) eingebaut, oder der alte Belag wird oberflächlich abgefräst und von einer Deckschicht (3 bis 4 cm) aus Walzasphalt (SMA) oder Gussasphalt versehen. Da beim oberflächlichen Abfräsen die grösseren Unebenheiten nicht ausgeglichen werden können, eignet sich zur Sanierung eine dünne Epoxiharz-Beschichtung nicht.

Die Sanierung eines Betonbodens, der von Anfang an mit Epoxiharz beschichtet wurde, dürfte sich laut Firmenangaben auf eine neue Versiegelung der Oberfläche beschränken. Vorgängig ist die Oberfläche mit Primer und Haftmittel vorzubereiten, und gegebenenfalls müssen mechanisch beschädigte Stellen ausgebessert werden. Eine Beschichtung mit Epoxidharz erweist sich als sehr dauerhaft, sofern die Beschichtung nicht mechanisch beschädigt wird (Abb. 10).

Bei einer Sanierung von Schwarzbelägen (Walz- oder Gussasphalt) muss der alte Belag teilweise (Tragschicht) oder ganz (Deckschicht) weggefräst werden, bevor eine neue Deckschicht eingebaut wird. Als Deckschicht empfiehlt sich ein SMA-Belag.

Abb. 10: Die Epoxiharz-Beschichtung (Streifen) im Flachsilo an der FAT ist nach sieben Jahren noch intakt.

Wirtschaftliche Aspekte

Je nach Belagsaufbau ist mit unterschiedlichen Investitionen, Lebensdauer und Reparaturkosten zu rechnen (Tab. 7).
Die Lebensdauer ist sehr schwierig abzuschätzen. Aufgrund eigener Versuchsergebnisse sowie früher durchgeführter Untersuchungen muss man damit rechnen, dass der ungeschützte Beton viel schneller und stärker als die anderen Varianten angegriffen wird. Andererseits ist aber die Belagsdicke gross, sodass auch bei einer Abtragung von ein paar Zentimeter die Tragfähigkeit und die Wasserundurchlässigkeit, sofern keine Risse entstehen, nicht gefährdet sind. Der Zeitpunkt der Sanierung hängt weiter nicht nur vom Schadenbild des Belags, sondern auch von den Anforderungen ab, die der Landwirt an den Belag stellt. Ein rauer Belag ist schwieriger zu reinigen und erschwert die Abfuhr von Gärsaft, was zu einer beschleunigten Zerstörung des Belags führt. Haben auch Tiere (Selbstfütterung) Zugang zum Silo, sind die Anforderungen an die Beschaffenheit der Bodenplatte höher, als wenn der Silo nur beim Ein- und Auslagern von Maschinen befahren wird.
Im Vergleich wurden einfachheitshalber für alle Varianten eine Lebensdauer der Gesamtanlage von 25 Jahren angenommen. Nach 15 Jahren findet eine vollständige Sanierung der Bodenplatte statt. Beim ungeschützten Beton ist örtlich, vor allem wo der Gärsaft abläuft, schon nach wenigen Jahren mit einer stark beschädigten Oberfläche zu rechnen. Es ist deshalb anzunehmen, dass schon vor der vollständigen Sanierung Reparaturarbeiten anfallen.
Ein Vergleich der Gesamtkosten (Unternehmerpreise) nach 25 Jahren (Erstellungskosten, Reparatur und Sanierung mit Verzinsung 4%) zeigt erwartungsgemäss die niedrigsten Kosten für den einschichtigen Belagseinbau. Geht man von Unternehmerpreisen aus, ist ein

Tab. 7: Vergleich von sieben Bodenplatten-Varianten

	Beton	Beton+Epoxiharz	Beton+SMA	Beton+GA	HMT	HMT+SMA	HMT+GA
Belagsaufbau	Beton 16 cm	Epoxiharz Beton 16 cm	SMA 4 cm Beton 12 cm	GA 3 cm Beton 12 cm	HMT 7 cm	SMA 4 cm HMT 6 cm	GA 3 cm HMT 6 cm
Lebensdauer der gesamten Anlage	25	25	25	25	25	25	25
Sanierung nach 15 Jahren	Ausbessern Oberfläche, neuer Betonbelag 10 cm	Ausbessern Oberfläche, neue Beschichtung	Abfräsen und Auswechseln der Deckschicht	Entfernen und Auswechseln der Deckschicht	Abfräsen Oberfläche und Deckschicht 4 cm	Abfräsen und Auswechseln der Deckschicht	Entfernen und Auswechseln der Deckschicht
Gesamtkosten [1] **%**	**100**	**125**	**113**	**131**	**85**	**106**	**127**
Erstellungskosten Fr./m^2	95	155	118	133	80	108	128
Reparaturkosten [2] Fr./m^2	10						
Sanierungskosten [3] Fr./m^2	56	20	59	74	59	59	74
	Beurteilung						
Tragfähigkeit	Hoch	Hoch	Hoch	Hoch	Deformationen bei hoher Belastung möglich	Gut	Gut
Oberfläche	Oberfläche nach kurzer Zeit stark angegriffen	Glatte Oberfläche erleichtert die Reinigung	Gute chemische Beständigkeit	Gute chemische Beständigkeit	Oberfläche nach kurzer Zeit angegriffen	Gute chemische Beständigkeit	Gute chemische Beständigkeit
Volumenverlust bei Sanierung	5 bis 8 % je nach Silohöhe	Kein Volumenverlust	Kein Volumenverlust	Kein Volumenverlust	Kein Volumenverlust	Kein Volumenverlust	Kein Volumenverlust
Eigenleistungen	Vollständig in Eigenbau möglich	Vollständig in Eigenbau möglich	Nur Tragschicht (Beton) in Eigenbau möglich	Nur Tragschicht (Beton) in Eigenbau möglich	Nur Fundation in Eigenbau möglich	Nur Fundation in Eigenbau möglich	Nur Fundation in Eigenbau möglich

[1] Gesamtkosten nach 25 Jahren Erstellung, Sanierung und Reparatur inkl. Verzinsung 4%.

[2] Zwischenzeitliche Reparaturkosten nach 10 Jahren.

[3] Sanierung der Bodenplatte nach 15 Jahren.

HMT-Walzasphaltbelag von 7 cm kostengünstiger als ein Betonboden. Der Beton aber erlaubt bei Selbstbau die grösseren Kosteneinsparungen. Asphalt muss vor allem wegen der erforderlichen Verdichtung von einem Unternehmer eingebaut werden. Bei einem einschichtigen Walzasphaltboden werden hohe Anforderungen an die Fundationsschicht gestellt. Sie muss genügend dick und flach sein sowie sehr gut verdichtet werden.
Beim mehrschichtigen Aufbau sind die Varianten mit Gussasphalt am teuersten. Die Gesamtkosten der Betonplatte mit Epoxiharz-Beschichtung sind trotz geringen Sanierungskosten fast so teuer wie die Gussasphalt-Varianten (GA). Dies ist auf die hohen Erstellungskosten am Anfang zurückzuführen.

Empfehlungen

Aufgrund der Versuche kann Walzasphalt als Alternative zu Beton für Silobodenplatten empfohlen werden. Welcher Belag - Beton oder Asphalt - sich am besten eignet, hängt neben der chemischen Beständigkeit sowie Wirtschaftlichkeit auch von der Wandkonstruktion ab. Der Einbau von Asphalt setzt Wände voraus, die für ihre Stabilität keine Verankerung in der Bodenplatte benötigen. Walzasphalt weist die geringsten Gesamtkosten auf, hat aber den Nachteil, dass er sich nicht für den Selbstbau eignet.
Die Dauerhaftigkeit von Beton und Asphalt kann man wesentlich beeinflussen (Tab. 8). Das Zuschlagmaterial hat sowohl bei Beton als auch bei Asphalt den grössten Einfluss auf die Beständigkeit. Wenn möglich soll nur kristallines Gestein verwendet werden.

Tab. 8: Empfehlungen zur Verbesserung der Dauerhaftigkeit von Siloböden aus Beton oder Asphalt

Bodenkonstruktion	**Empfehlungen**
Bodenplatte aus Beton	Betonklasse C25/30 (300 bis 325 kg Portlandzement)
	Zuschlagmaterial soviel als möglich kristallin
	Wasserzementfaktor < 0,5
	Nach Einbau Bodenplatte während drei bis fünf Tagen mit Plastikfolie abdecken
Walzasphalt einschichtig	Typ: HMT mindestens 7 cm
	Hoher Bitumengehalt
	Zuschlagmaterial soviel als möglich kristallin
	Kein Recycling-Asphalt verwenden
	Fundationsschicht sehr gut verdichten und nivellieren
Walzasphalt mehrschichtig	Tragschicht HMT, Deckschicht SMA
	Zuschlagmaterial soviel als möglich kristallin
	Kein Recycling-Asphalt in der Deckschicht verwenden

Schlussfolgerungen

Aus den Versuchen zeigt sich eindeutig, dass Kalkstein als Zuschlagmaterial für Beton in Kontakt mit Gärsaft absolut ungeeignet ist. Kristallines Gestein ist zweifelsohne um ein Vielfaches widerstandsfähiger als Kalkstein, wird jedoch auch vom Gärsaft angegriffen. Ein grosser Teil des Gewichtsverlustes des Betons ist auf den Abbau des (kristallinen) Zuschlagmaterials 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 Mowolith sollten durch Ummantelung der Körner einen direkten Kontakt mit Gärsaft verhindern. Aus dem Versuch zeigt sich jedoch, dass dieser Schutz ungenügend und von kurzer Dauer ist.
Die chemische Beständigkeit von Beton lässt sich bedeutend verbessern, wenn dafür gesorgt wird, dass der frische Beton während des Erhärtungsvorgangs nicht austrocknet.
Der Gewichtsverlust von Walzasphalt und Gussasphalt verläuft bedeutend langsamer als bei Beton, unter der Voraussetzung, dass beide mit dem gleichen Zuschlagmaterial hergestellt sind. Bei länger dauerndem Angriff durch Gärsaft lässt die schützende Wirkung des Bitumens um die Zuschlagkörner nach. Die Zugabe von Naturasphalt Trinidad oder Polymerbitumen erhöht die Widerstandsfähigkeit nicht. Die sehr gute Beständigkeit des Splittmastixasphaltes im Vergleich zu den anderen Walzasphaltsorten ist auf den hohen Bitumengehalt zurückzuführen.
Gut verdichteter Walzasphalt kann als wasserundurchlässig betrachtet werden unter der Voraussetzung, dass die Verbindung zwischen Bodenplatte und Wand fachmännisch ausgebildet wird. Asphalt ist physiologisch unbedenklich unter der Voraussetzung, dass kein Recycling-Material verwendet wird.
Walzasphalt in einschichtigem Einbau verursacht über der ganzen Lebensdauer der Bodenplatte betrachtet die geringsten Gesamtkosten (nach Unternehmerpreisen berechnet). Andererseits eignet sich Beton besser zum Selbstbau. Für die Sanierung von Beton und Walzasphalt empfiehlt sich insbesondere eine Deckschicht aus Splittmastixasphalt.

Literatur

Guidon B., 1999. Stellungnahme zu den PAH in Futtermitteln. Mitteilung vom 12. November 1999.

Hugener M., 1998. Recycling von Strassenbelägen – ein Umweltproblem? Chimia 52, Nr. 5.

Weber A., 1998. Regelungen – national und international. Informationstag PAH EAWAG, November 1998.

Weydert M., 1998. Etude de la résistance chimique du béton, du béton bitumineux et de l'asphalte coulé aux acides organiques. Diplomarbeit.
Universität B-Gembloux.

Begriffserklärungen

AB	Asphaltbeton
Flugasche	Verbrennungsprodukt von magerer Steinkohle
GA	Gussasphalt
HMT	Heissmischtragschicht
Hüttensand	Fein gemahlene Hochofenschlacke
Kristallines Gestein	Granit und Gneiss
PAH	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
PmB	Polymerbitumen
Silikafume	Nebenprodukt der Siliziumindustrie
SMA	Splittmastixasphalt
Wasserzementwert	Verhältnis der Wasser- zur Zementmenge
Zuschlagmaterial	Sand, Splitt und Kies in Beton oder Asphalt

Anfragen über das behandelte Thema und über andere landtechnische Probleme sind an die unten aufgeführten Berater für Landtechnik zu richten. Weitere Publikationen und Prüfberichte können direkt bei der FAT (CH-8356 Tänikon) angefordert werden. (Tel. 052 368 31 31, Fax 052 365 11 90).
E-Mail: info@fat.admin.ch, Internet: http://www.admin.ch/sar/fat

ZH Kramer Eugen, Landw. Schule Strickhof, 8315 Lindau, Telefon 052 354 98 30
Blum Walter, Landw. Schule Strickhof, 8315 Lindau, Telefon 052 354 98 30
BE Jutzeler Martin, Inforama Berner Oberland, 3702 Hondrich, Telefon 033 654 95 45
Hügi Kurt, Inforama Seeland, 3232 Ins, Telefon 032 312 91 21
Marti Fritz, Inforama Rütti und Waldhof, 3052 Zollikofen, Telefon 031 910 52 10
Hofmann Hans Ueli, Inforama Schwand, 3110 Münsingen, Telefon 031 720 11 21
LU Moser Anton, LBBZ Schüpfheim, 6170 Schüpfheim, Telefon 041 484 25 25
Hodel René, LBBZ, Centralstr. 21, 6210 Sursee, Telefon 041 921 91 91
Marti Pius, LBBZ Willisau, 6130 Willisau, Telefon 041 970 20 77
Widmer Norbert, LMS, 6276 Hohenrain, Telefon 041 910 26 02
UR Landw. Beratungsdienst, Aprostr. 44, 6462 Seedorf, Telefon 041 871 05 66
SZ Landolt Hugo, Landw. Schule Pfäffikon, 8808 Pfäffikon, Telefon 055 415 79 22
OW Müller Erwin, BWZ Obwalden, 6074 Giswil, Telefon 041 68 16 16
NW Egli Andreas, Landwirtschaftsamt, 6370 Stans, Telefon 041 618 40 05
GL Amt für Landwirtschaft, Poststr. 29, 8750 Glarus, Telefon 055 646 67 00
ZG Furrer Jules, LBBZ Schluechthof, 6330 Cham, Telefon 041 780 46 46
Kiefer Lukas, LBBZ Schluechthof, 6330 Cham, Telefon 041 780 46 46
FR Krebs Hans, Landw. Institut Freiburg (IAG), 1725 Posieux, Telefon 026 305 58 50
SO Wyss Stefan, Landw. Bildungszentrum Wallierhof, 4533 Riedholz, Telefon 032 627 09 62
BL Zjörjen Fritz, Landw. Zentrum Ebenrain, 4450 Sissach, Telefon 061 971 21 21
SH Landw. Bildungszentrum Charlottenfels, 8212 Neuhausen, Telefon 052 674 05 00
AI Koller Lorenz, Gaiserstrasse 8, 9050 Appenzell, Telefon 071 788 95 76
AR Vuilleumier Max, Landwirtschaftsamt AR, 9102 Herisau, Telefon 071 353 67 56
SG Haltiner Ulrich, Landw. Schule Rheinhof, 9465 Salez, Telefon 081 757 18 88
Steiner Gallus, Landw. Schule Flawil, 9230 Flawil, Telefon 071 394 53 53
GR Urwyler Hansueli, Grabenstrasse 1, 7000 Chur, Telefon 081 257 24 03
Föhn Josef, Landw. Schule Plantahof, 7302 Landquart, Telefon 081 307 45 25
AG Müri Paul, LBBZ Liebegg, 5722 Gränichen, Telefon 062 855 86 27
TG Herrmann Samuel, LBBZ Arenenberg, Fachstelle Betriebsberatung und Landtechnik, Amriswilerstr. 50, 8570 Weinfelden, Telefon 071 622 10 22
TI Müller Antonio, Ufficio consulenza agricola, 6501 Bellinzona, Telefon 091 814 35 53

Landwirtschaftliche Beratungszentrale, Abt. Landtechnik, 8315 Lindau, Telefon 052 354 97 58

Die FAT-Berichte erscheinen in zirka 20 Nummern pro Jahr. – Jahresabonnement Fr. 50.–. Bestellung von Abonnements und Einzelnummern: FAT, CH-8356 Tänikon. Tel. 052 368 31 31, Fax 052 365 11 90.
E-Mail: info@fat.admin.ch – Internet: http://www.admin.ch/sar/fat – Die FAT-Berichte sind auch in französischer Sprache als «Rapports FAT» erhältlich. – ISSN 1018-502X.