

Abdeckungen für Güllensilos

Technische und finanzielle Hinweise

Ludo Van Caenegem, Dunja Dux und Beat Steiner, Agroscope FAT Tänikon, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik, CH-8356 Ettenhausen
E-Mail: ludo.vancaenegem@fat.admin.ch

In der Schweiz stammten im Jahr 2000 91 % der gesamten Ammoniakemissionen oder zirka 41 300 Tonnen Stickstoff aus der Landwirtschaft, der Rest aus nichtlandwirtschaftlichen anthropogenen Quellen.

Die Tierhaltung ist für 79 % aller Ammoniakemissionen verantwortlich. Davon sind drei Viertel auf die Rindviehhaltung zurückzuführen. Der Anteil der Ammoniak-Emissionen während der Hofdüngerlagerung in der Emissionskette, Weide – Stall – Lagerung – Ausbringung, wird gesamtschweizerisch auf 12 % geschätzt (Reidy und Menzi 2005). Die Freisetzung von Ammoniak im Güllenbehälter hängt unter anderem von der Luftbewegung über der Oberfläche ab. Eine Begrenzung des Luftaustausches über der Güllenoberfläche durch natürliche Schwimmschichten und künstliche Abdeckungen ist deshalb ein wirksames Mittel, um die Ammoniakemissionen bei der Lagerung zu reduzieren.

Da Witterungseinflüsse und Gülle aufreissen die schwimmende Materialschicht aufreissen können, erfüllen natürliche Schwimmschichten und Aufschüttungen (Strohhäcksel, Holzschnitzel, Blähtonku-

geln usw.) die vorsorgliche Emissionsbegrenzung in neuen Güllensilos nicht (Cercl’Air, 2003). Sie sind jedoch in bestehenden offenen Behältern, für welche die Abdeckungspflicht nicht gilt, wünschenswert. Neue Güllensilos sind mit künstlichen Abdeckungen, schwimmend oder als Zeltdach, auszurüsten. Schwimmende Abdeckungen haben den Vorteil, dass sie günstiger sind, den Behälter nicht statisch belasten und nicht sichtbar sind. Zeltdächer dagegen erlauben eine Kontrolle beim Rühren und leiten das Meteorwasser ab. Sie müssen minimal gelüftet werden, damit sich unter der Plane keine explosive Gasmischung bildet.

Schwimmende Folien verteuern den Stahl- oder Betonsilo je nach Durchmesser um 20 bis 25 %, Zeltdächer um 40 bis 55 %. Wesentliche Kosteneinsparungen durch Selbstbau sind bei kleinen Zeltdächern möglich. Sie müssen sowohl der mechanischen Belastung, Schnee und Wind, als auch dem biochemischen Angriff der Güllengase standhalten. Stürzen unzureichend geplante Dach-Konstruktionen ein, können sie auch den Stahlbehälter in Mitleidenschaft ziehen.

Durch die Abdeckungspflicht verliert der offene Güllensilo einen Teil seines Kostenvorteils gegenüber einer rechteckigen oder runden gedeckten Betongrube. Die Abdeckung verursacht für den Landwirt aber nicht nur zusätzliche Kosten. Die Minderung der Ammoniakemissionen erlaubt auch Einsparungen beim Stickstoff-Mineraldünger.



Abb. 1: Zwei bewährte Güllensiloabdeckungen: links Zeltdach mit zentraler Stütze, rechts seitlich geführte Schwimmfolie.

Inhalt	Seite
Problemstellung	2
Wie wird Ammoniak aus dem Güllensilo freigesetzt?	2
Wie lassen sich Emissionen während der Lagerung reduzieren?	2
Schwimmende Abdeckungen	4
Nicht schwimmende Abdeckungen	6
Was kosten Abdeckungen	8
Investitionen für Güllensilo und Güllengrube im Vergleich	11
Sicherheits- und verfahrenstechnischer Aspekte	12
Schlussfolgerungen	13
Literatur	14

Problemstellung

Für die Landwirtschaft bedeuten Ammoniakemissionen einen Verlust an Stickstoffdüngern und belasten die Umwelt. Sie stammen zum grossen Teil aus der Nutztierhaltung und erfolgen über den gesamten Bereich der Tierhaltung, von der Stallhaltung über die Lagerung bis zur Ausbringung. Die Emissionen bei der Lagerung sind anteilmässig zwar deutlich geringer als im Stall, jedoch nicht zu vernachlässigen. Sie lassen sich durch künstliche Abdeckungen weitgehend reduzieren. Ausgeprägte natürliche Schwimmschichten, eventuell verstärkt mit Schüttschichten aus Stroh oder Blähton, haben ein gutes Emissionsminderungspotenzial, hängen aber stark von der Witterung und der Rührpraxis ab. Sie werden deshalb von den zuständigen Vollzugsstellen in der Schweiz für neue Güllensilos als ungenügend betrachtet. Als künstliche Abdeckungen haben sich Schwimmfolien und Zeltdächer durchgesetzt. Dieser FAT-Bericht zeigt, was sie kosten und was dabei zu beachten ist.

Wie wird Ammoniak aus dem Güllenlager freigesetzt?

Gesamtchweizerisch beträgt der mittlere Anteil der Hofdüngerlagerung an den gesamten Ammoniakemissionen der Landwirtschaft 12% (Reidy und Menzi, 2005). Einzelbetrieblich kann dieser Anteil aufgrund der individuellen Emissionssituation stark abweichen. Der Anteil der Lagerung an den Gesamtemissionen wird zum Beispiel deutlich höher liegen, wenn die ganze Gülle offen gelagert wird. Ausländische Versuche von Hüther (1999) zeigen, dass die Freisetzung von Ammoniak neben der Temperatur und des pH-Wertes in der Gülle stark von der Luftbewegung über und vom Diffusionswiderstand an der Oberfläche abhängt. Beim Aufrühren der Gülle erhöhen sich die Gaskonzentrationen in der Grenzschicht zusätzlich, wodurch unter anderem Ammoniak, Methan, Kohlendioxid und Schwefelwasserstoff verstärkt freigesetzt werden. Je nachdem, wie die Güllenoberfläche abgedeckt ist, variieren die NH₃-Emissionen zwischen etwa 100 und 700 g pro Tonne Gülle und Jahr. In offenen Behältern ohne natürlich ausgeprägte Schwimmschicht sind sie am

höchsten. Eine Begrenzung des Luftaustausches über der Güllenoberfläche durch natürliche Schwimmschichten und künstliche Abdeckungen sind deshalb die wirksamsten Mittel, um die Ammoniakemissionen bei der Lagerung zu reduzieren. Gemäss einer Umfrage bei den kantonalen Amtsstellen und Güllentechnik-Firmen beläuft sich die Zahl der offenen Güllenbehälter auf zirka 4500. Die Behältergrössen variieren zwischen 26 und 2000 m³. Bei einer durchschnittlichen Behältergrösse von 400 m³ kann das gesamte Güllenvolumen, das in offenen Behältern gelagert wird, auf rund 1,8 Mio. m³ Gülle geschätzt werden. Die Betriebszählung des Bundesamtes für Statistik 2003 ergibt hochgerechnet eine Anzahl von 5227 (± 371) Güllenbehälter ohne Abdeckung.

Wie lassen sich Emissionen während der Lagerung reduzieren?

Die Emissionen während der Lagerung lassen sich durch eine Reihe von Massnahmen senken. Bauliche Massnahmen wie Behälterform, Wind- und Sonnenschutz sowie natürliche und künstliche Abdeckungen wirken auf die Grenzschicht Güllen-Luft ein, indem der konvektive Transport von Ammoniak gehemmt wird. Andere Massnahmen, wie angepasste Fütterung, Futterzusätze, Ansäuern der Gülle und kurze Lagerdauer bezwecken eine Reduktion der Ammoniakbildung in der Gülle selber. Nicht alle Massnahmen sind praxistauglich.

Gülle ansäuern

In der Gülle gibt es ein Gleichgewicht zwischen Ammoniak als Gas (NH₃) und seinen Ionen (NH₄⁺ und OH⁻). Das Gleichgewicht verschiebt sich in die Richtung der Ionen, wenn der pH abnimmt. Versuche mit Ansäuern von Gülle zeigen, dass eine Herabsetzung des pH-Werts bis 6,5 die Emissionen um 40% reduzieren, bis 5 sogar um 90% (De Bode et al., 1991; Berg, 1998). Wegen hohen Kosten, Korrosion (Beton, Stahl) sowie auch möglichen Gefahren bei der Handhabung von starken Säuren ist diese Technik in der Praxis zurzeit nicht umsetzbar.

Güllenmenge und Temperatur

Durch Ableiten des Meteorwassers und Beschränkung der Menge Reinigungswasser lässt sich die Güllenmenge oft erheblich reduzieren. Ist die Güllengrube mit Spaltenboden abgedeckt (Laufhof), kann das Meteorwasser nicht abgeleitet werden und fliesst in den Behälter. Gülle mit sehr hohen TS-Gehalten und/oder Gülle mit viel unverrottetem Stroh kann jedoch Probleme geben bei der Schleppschlauchverteilung mit Vakuumpumpe. Durch das Zuschalten einer Pumpe oder das Einsetzen eines Pumpfasses kann zwar auch Gülle mit höheren TS-Gehalten gefördert werden, beim Transport über Rohrleitungen und Verschlauchungen ist jedoch mit erheblichen Druckverlusten zu rechnen.

Die Gasproduktion und -freisetzung ist auch von der Temperatur abhängig. Der entsprechende Standort, die Beschattung des Behälters sowie die Material- und

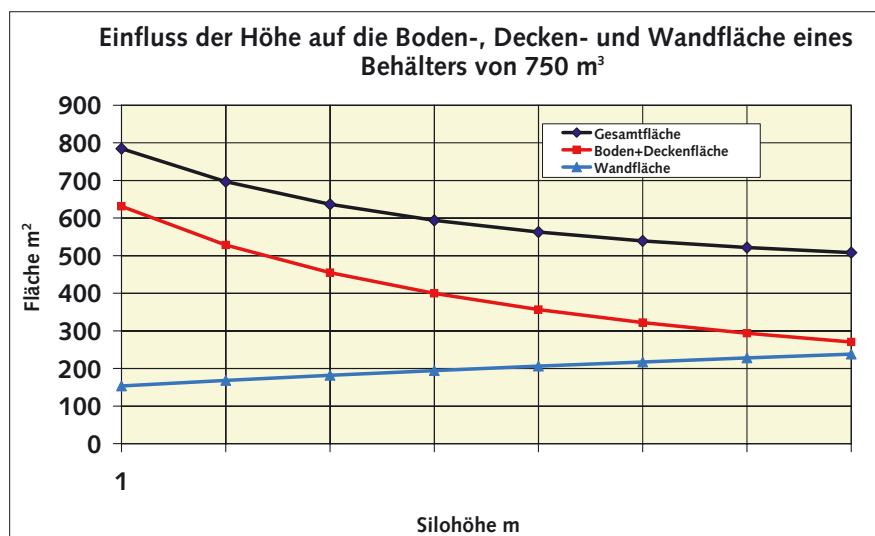


Abb. 2: Die Silohöhe beeinflusst die Boden-, Decken- und Wandfläche und folglich auch die Kosten des Güllensilos (750 m³).

Farbwahl können deshalb die Emissionen ebenfalls reduzieren.

Behälterform optimieren

Da die Emissionen von der emittierenden Fläche abhängen, ist bei gleichbleibendem Volumen eine Reduktion der Emissionen durch Zunahme der Behälterhöhe und folglich kleinerer Grundfläche möglich. Die maximale Höhe ist bei Obenentnahme (Forderung für Überflurbehälter gemäss Gewässerschutzgesetz) physikalisch limitiert (maximaler Unterdruck der Förderpumpe). In bestimmten Regionen dürfte auch aus Gründen des Landschaftsschutzes die Höhe begrenzt sein.

Eine Zunahme der Silohöhe ist auch wirtschaftlich interessant, da bei gleichbleibendem Volumen die gesamte Bauhülfläche (Boden, Wand und Abdeckung) abnimmt (Abb. 2). Eine Zunahme der Silohöhe führt bei Stahlsilos in der Regel nicht zu grösserer Wandstärke, da einerseits bei gleichbleibendem Volumen die Zugspannung im Mantel nur proportional zur Wurzel der Höhe zunimmt und andererseits die Wandstärke schon minimal 2 oder 2,5 mm beträgt. Für grössere Behälter besteht ausserdem die Möglichkeit, anstelle von Fe 360 Stahlqualität Fe 510 zu verwenden. Die Pumpenleistung bei der Entnahme beschränkt die maximal mögliche Höhe.

Luftaustausch über der Gülloberfläche beschränken

Natürliche Schwimmdecke

Die einfachste Abdeckung ist eine natürliche Schwimmdecke (Abb. 3). Diese bildet sich in der Regel bei Rindergülle und generell bei Stalleinstreu mit Stroh oder ähnlichen Materialien. Die Dicke, Dichtigkeit und Beständigkeit hängen von verschiedenen Faktoren ab: Fütterung, Grösse der Behälteroberfläche, Rührintervalle, Gülloverdünnung und Einstreumenge. In Zeiten mit sehr guter Ausbildung der Schwimmdecke kann eine hohe Emissionsminderung erreicht werden. Andererseits ist bei schwacher Ausbildung die Emissionsminderung vernachlässigbar.

Schüttschichten

Zur Unterstützung der Schwimmdeckenbildung können verschiedene organische (Strohhäcksel, Ölschichten, Holzschnitzel, Maisstängel) und anorganische Materialien (Blähton-, Perlite-Kugeln) verwendet

werden (Tab. 1, Abb. 4). Schüttschichten aus diesen Materialien haben bei genügender und homogener Stärke (10 bis 15 cm) ein Minderungspotenzial für Ammoniakemissionen, das mit einer geschlossenen Abdeckung vergleichbar ist. Organische Schüttschichten können jedoch durch ihre Zersetzung zu erhöhten Methan- und Lachgasfreisetzungen führen. Sie sind regelmässig zu ergänzen, was mit entsprechendem Arbeits- und Materialaufwand verbunden ist. Je nach Güllenzusammensetzung kann sich zusätzlich eine natürliche Schwimmdecke bilden, die sich ohne Beeinträchtigung der Schüttschicht nur schwer einmischen lässt.

Künstliche Abdeckungen

Durch die Abdeckung des Güllobehälters mit Beton und Kunststoffplanen wird der Luftaustausch über der Güllooberfläche



Abb. 3: Auf natürlichen Schwimmdecken entwickelt sich häufig schon nach wenigen Monaten eine Begrünung. Die komplette Zerstörung der Schwimmdecke wird dadurch erschwert. Es ist zur Zeit nicht bekannt, wie sich eine Begrünung auf die Emissionen auswirkt.

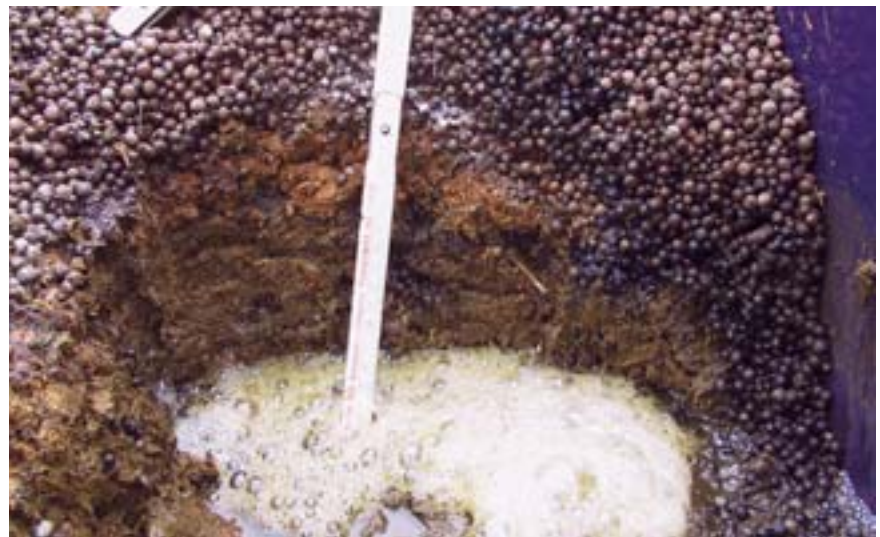


Abb. 4: Abdeckungen mit Schüttmaterialien wie Blähton müssen in homogener Schichtdicke aufgebracht sein. Durch angepasste Rühr- und Entnahmeabläufe ist die Schicht intakt zu halten.

Tab. 1: Beurteilung der Praxistauglichkeit verschiedener schwimmender Abdeckungen (Williams, 2003).

Rapsöl	Ungeeignet wegen des biologischen Abbaus und der Zunahme von CH ₄ - und NO _x -Emissionen. Zusätzlicher Geruch (ranziges Öl). Vermischung Öl mit natürlicher Schwimmdecke.
Blähtonkugeln (Leca)	Stabiles Material. Reduktion der NH ₃ -Emissionen um 80% bei einer geschlossenen Schichtdicke von 10 bis 15 cm.
Stroh	Zunahme der CH ₄ -Emissionen und Lachgasemissionen. Abbau des Materials. Schichtdicken von mindestens 10 cm erforderlich. Homogene Verteilung schwierig.
Polystyren Chips (Verpackungsmaterial)	Ungeeignet wegen Windanfälligkeit (Verfrachtung).
Perlite	Ungeeignet wegen Windanfälligkeit (Verfrachtung). Vermischung mit natürlicher Schwimmdecke. Schichtdicken von mindestens 10 cm erforderlich.

Tab. 2: Gegenüberstellung schwimmender und nichtschwimmender Abdeckungen.

Schwimmende Abdeckung	Nicht-schwimmende Abdeckung
Vorteile	
Geringere Investitionen	Kein Einfluss auf das Rühren
Keine bauliche (statische) Anforderungen an Behälterwand	Einfache Kontrolle beim Rühren
Nicht sichtbar (keine zusätzliche Beeinträchtigung der Landschaft)	Kein Meteorwasser in der Gülle (kleineres Silovolumen, geringere Ausbringmenge)
Nachteile	
Erschwerte Kontrolle beim Rühren	Hohe Investitionen
Möglicherweise Probleme bei der Zerstörung der natürlichen Schwimmdecke	Möglicher Angriff der Abdeckung durch aggressive Gase
Beschränkungen bei der Wahl des Rührwerks	Mögliche Anhäufung von explosiven und giftigen Gasen
Eindringung von Regenwasser in den Behälter oder regelmässiges Abpumpen erforderlich	Belastung der Wände durch Schnee- und Windlast. Randverstärkung der Wand eventuell notwendig

verringert. Eine luftdichte schwimmende Abdeckung (Folie) verhindert den direkten Kontakt zwischen der Gülloberfläche und der darüber liegenden Luftschicht. Die in der Literatur beschriebenen Experimente ergeben teilweise sehr unterschiedliche Emissionsminderungen für vergleichbare Abdeckungsmethoden. Das ist unter anderem auf die unterschiedlichen Versuchsbedingungen zurückzuführen. Feste Abdeckungen und Zeltdach erreichen in den Versuchen eine Emissionsminderung von 70 bis 90 % im Vergleich zur offenen Lagerung. Die Schwimmfolie liegt in einem ähnlichen Bereich.

Schwimmende oder nicht schwimmende Abdeckungen

Künstliche Abdeckungen können schwimmend oder ohne Berührung der Gülloberfläche ausgeführt werden. Schwimmende Abdeckungen haben den Vorteil, dass sie günstiger sind, den Behälter nicht statisch belasten und nicht sichtbar sind (Tab. 2). Nicht schwimmende Abdeckungen (beispielsweise Zeltdach) dagegen erlauben eine Kontrolle beim Rühren und leiten das Meteorwasser ab.

Schwimmende Abdeckungen

Von den verschiedenen theoretisch möglichen Systemen haben sich bisher vorwiegend die Folienabdeckungen durchge-

setzt. Damit die Folien schwimmen, gibt es zwei Möglichkeiten. Entweder wird die Abdeckung ganzflächig als Sandwichfolie zum Beispiel mit Schaumstoffkern (System Kohli) ausgeführt oder mit Schwimmern (System Arnold) ausgestattet. Schwimmende Folien müssen gut befestigt sein, damit sie sich beim Rühren nicht verdrehen oder vom Wind abgehoben werden. Da beide Systeme relativ neu sind, liegen noch keine langjährigen Erfahrungen vor. Im ersten Betriebsjahr haben sich keine Probleme ergeben. Neben diesen beiden Folien kann die schwimmende Abdeckung auch in Holz ausgeführt werden. Diese Lösung eignet sich für den Selbstbau. Als Alternative zur Folie wird neu das Hexa-Cover System angeboten. Diese schwimmende Abdeckung, die aus einzelnen Schwimmkörpern besteht eignet sich insbesondere für Schweinegülle ohne natürliche Schwimmdecke. Über die Praxistauglichkeit können zurzeit keine Aussagen gemacht werden, da bis jetzt Erfahrungen in der Schweiz fehlen.

Anbieter von Schwimmfolien

Kohli

Die Firma Kohli, Gülle- und Umwelttechnik hat in Zusammenarbeit mit der Firma Bieri Techtex Systems eine schwimmende Abdeckung entwickelt. Diese liegt auf der Gülle auf und ist am Rande durch senkrecht montierte Chromstahl-Seile geführt (Abb. 5). Die Abdeckung ist somit gegen Windeinwirkung und Verdrehen beim Auf-rühren gesichert. Die Abdeckung ist alle 30 cm auf einer Breite von 5 cm verschweisst.



Abb. 5: Perforierte schwimmende Sandwichfolie (System Kohli). Die schwimmende Sandwichfolie ist am Behälterrand an vertikalen Seilen geführt.

Im verschweissten Band sind im Abstand von 50 cm Löcher mit einem Durchmesser von 18 mm eingestanzt. Diese dienen als Durchtrittsöffnungen für Meteorwasser und Gase. Für die Rühr- und Einfüll-/Entnahmeleitungen werden entsprechende Ausschnitte erstellt.

Arnold

Die Folie ist an einem ringförmigen Cr-Ni-Stahlrohr befestigt (Abb. 6). Das luftdicht verschweisste Rohr dient als Schwimmer. Der Randabstand beträgt etwa 10 cm. Die Folie selber ist ebenfalls mit Schwimmern ausgestattet. Sie hat in der Mitte eine Öffnung für den Wasserablauf. Um das Auflösen von natürlichen Schwimmdecken bei Schwimmfolien zu verbessern und die Kollision mit dem Rührwerk zu verhindern, wird die Folie beim Rühren mittels Seilen aufgezogen und von der Schwimmschicht entfernt. Beim Ausbringen werden erst einige m³ Gülle entnommen. Durch das Absenken des Güllepegels löst sich die allfällige natürliche Schwimmdecke von der Folie, die an Seilen aufgehängt ist. Anschliessend kann die Schwimmdecke durch Rühren aufgelöst werden. Nach dem Ausbringen der Gülle muss man die Folie herunterlassen, bis sie auf der Gülle schwimmt, damit sie durch direkten Kontakt den Luftaustausch über der Gülloberfläche verhindert.



Abb. 6: Schwimmende Folie mit Schwimmern (System Arnold). Um das Auflösen von natürlichen Schwimmdecken bei Schwimmfolien zu verbessern wird die Folie beim Rühren mittels Seile aufgezogen.

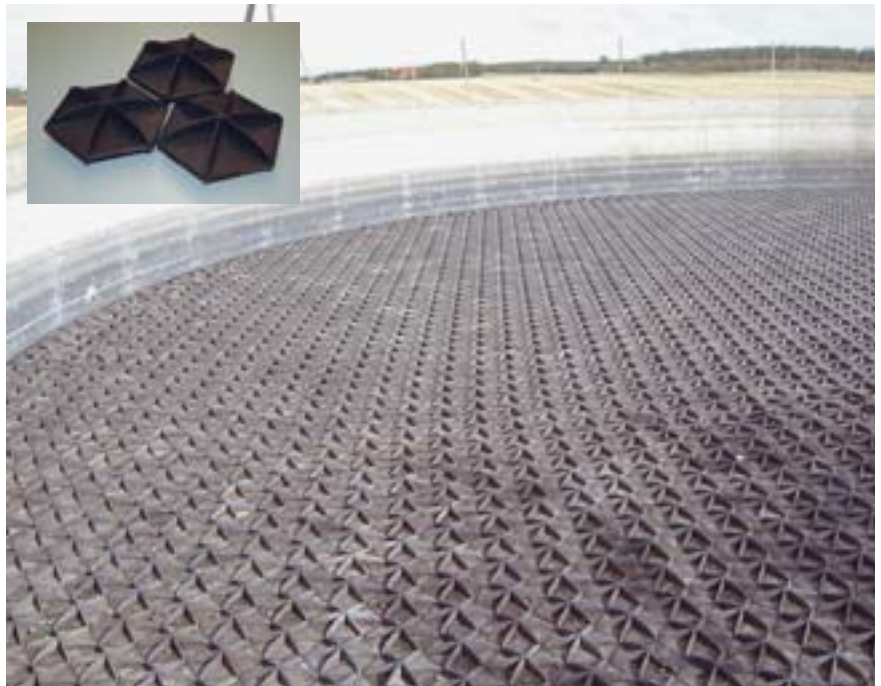


Abb. 7: Der Hexa-Cover Schwimmbelag setzt sich aus sechseckigen Kunststoff-Schwimmkörpern zusammen.

Hexa-Cover (DK)

Der Hexa-Cover Schwimmbelag setzt sich aus sechseckigen Kunststoff-Schwimmkörpern zusammen. Diese formieren sich automatisch auf der Gülloberfläche und erreichen einen Abdeckungsgrad

von 95 % bis 99 % (Abb. 7). Der einzelne Schwimmkörper hat einen Durchmesser von 228 mm und besteht aus recyceltem Polypropylen. Die Dichte beträgt 0,5 kg/dm³. Rippen unten und oben verhindern, dass die Einzelkörper übereinander schieben. Erste Erfahrungen in Dänemark und Schweden zeigen, dass das System bei Schweinegülle mit verhältnismässig niedriger Viskosität gut funktioniert. Für Rindergülle mit natürlicher Schwimmdecke ist das System weniger geeignet. Untersuchungen in Dänemark und Deutschland bescheinigen dem Hexa-Cover ein Emissionsminderungspotenzial für Ammoniak von mehr als 95 % und für Geruch von 81 bis 96 %. Die Versuche basieren auf Messungen im Labormassstab (Behältergrösse 1 bis 2 m³). Nach Herstellerangaben ist die Decke unempfindlich gegenüber Wind und kann mit einer Lebenserwartung von mindestens 25 Jahren gerechnet werden. Die Schwimmkörper werden in Säcken zu 2 m³ (entspricht etwa 35 m²) angeliefert. Das Einfüllen übernimmt der Landwirt. Die Schwimmkörper fallen in den Behälter und verteilen sich. Das Rührwerk kann durch die Schwimmkörper in den Behälter eingebracht werden. Die Schwimmkörper rutschen zur Seite und fügen sich nach dem Abschluss des Umrührens wieder aneinander. Eine Beurteilung der Praxis-tauglichkeit unter schweizerischen Bedingungen ist zurzeit nicht möglich, da Erfahrungen fehlen.

Nicht schwimmende Abdeckungen

Als 1991 in den Niederlanden die Abdeckung von offenen Behältern obligatorisch wurde, gab es eine Vielzahl an Abdeckungssystemen (Abb. 8). Im Laufe der Zeit sind einige dieser Systeme aus verschiedenen Gründen (hohe Kosten, geringe Lebensdauer, mangelnde Praxistauglichkeit) vom Markt verschwunden. Das Kegeldach mit Betonelementen eignet sich wegen des Gewichts nur für Betonbehälter. Im letzten Jahrzehnt hat sich das Zeltdach durchgesetzt. Eine Ausnahme bildet die kanadische Lösung mit aufblasbarer Kugelkappe. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Zeltdächern beziehen sich hauptsächlich auf die Befestigung der Kegelplane. Die Garantie läuft in der Regel fünf Jahre. Die Lebensdauer der Abdeckung dürfte bedeutend länger sein. In den Niederlanden gibt es Zeltdächer, die 15 Jahre alt sind.

In schneereichen Gebieten stossen Zeltabdeckungen auf Stahlbehältern bezüglich Lastübertragung an Grenzen (Abb. 9). Obwohl es durch Verstärkung mit Spann-



Abb. 9: Damit Schneeverfrachtungen oder einseitige Schneeschmelze keine Schäden verursachen, muss die Zeltabdeckung entsprechend nachgespannt werden. In schneereichen Gebieten stossen Zeltabdeckungen auf Stahlbehältern bezüglich Lastübertragung an Grenzen.

gurten und Verwendung von reissfesteren Folien möglich ist, auch höhere Lasten aufzunehmen, ist eine solche Abdeckung im Berggebiet zumindest für Stahlsilos nicht sinnvoll. Die Übertragung von asymmetrischen Lasten (Schneeverfrachtung oder

einseitige Schneeschmelze) auf den Behälterrand kann zur Ausbeulung und Zerstörung der Wand führen. Hersteller garantieren bei Zeltdächern nur eine maximale Schneelast von 2 kN/m². Eine umlaufende Tropfkante an der Unterseite der Plane muss verhindern, dass aggressives Kondenswasser auf die Wände hinunterläuft.

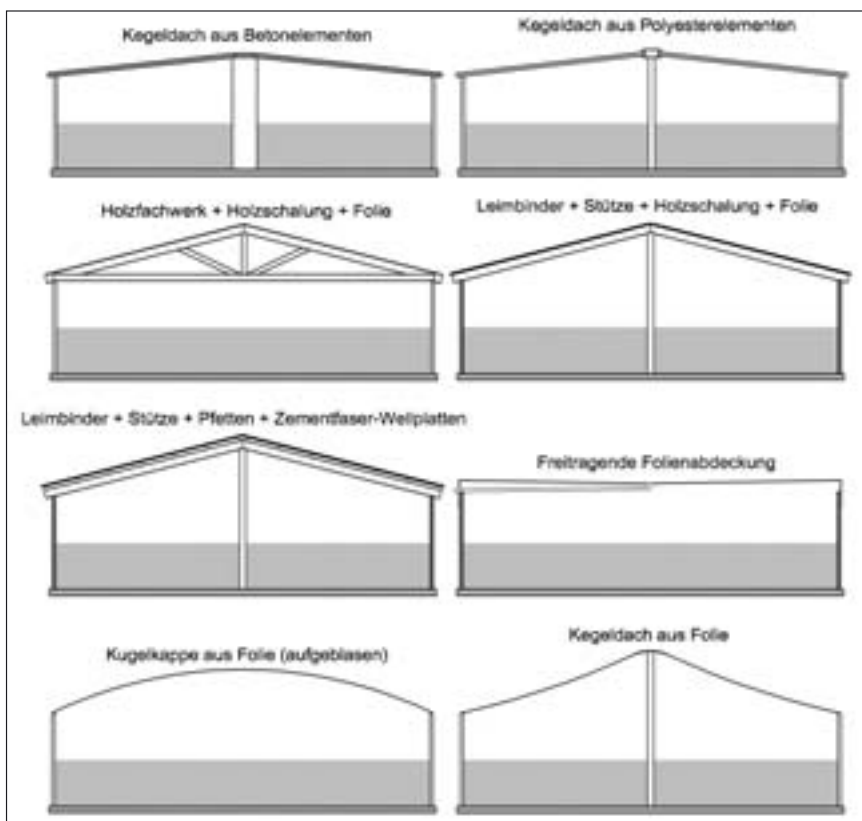


Abb. 8: Von den vielen möglichen nicht schwimmenden Abdeckungssystemen hat sich in letzter Zeit nur hauptsächlich das Zeltdach durchgesetzt.

Anbieter von Zeltdächern

Ceno (D)

Beim CENO-Hochsilodach ist die Pendelstütze feuerverzinkt und mit Epoxydharz beschichtet. Sie ist teleskopierbar und erlaubt das Dach zu spannen und somit die richtige Form und die Standsicherheit zu gewährleisten. Die Dachmembrane hat eine biaxiale Form. Die Membrane wird mittels Hohlraum und innenliegendem Stahlrohr (entsprechend dem Siloradius vorgebogene Rohre von je 6 m Länge) an der Oberkante des Silos gehalten (Abb. 10). Die Halterung der Membrane erfolgt mit V2A-Lochbändern, die am Silo angeschraubt sind. Im First ist eine Entgasungsöffnung von 60 cm Durchmesser (2800 cm²) eingebaut. Weiter ist eine Bedienungsöffnung von 1,00 x 1,35 m standardmässig vorgesehen. Die Firma hat langjährige Erfahrung. Die Vertretung in der Schweiz nimmt die Firma Arnold AG wahr.

Bieri

Die Firma Bieri entwickelte zusammen mit der Firma Kohli und der Firma Ceno-Tec



Abb. 10: Zeltdach in biaxialer Form der Firma Ceno-Tec (D). Die Folie ist mit Lochbändern am Silo angeschraubt.

Milieusystemen (NL)

Die Firma Milieusystemen hat wie die Firma PAS schon 15 Jahre Erfahrung mit Zeltdach-Abdeckungen. Die Abdeckung ist ebenfalls zertifiziert. Der Unterschied zum PAS-System bezieht sich auf die Randbefestigung (trapezförmiges Fachwerk) und die Abluftöffnungen, die in der Plane integriert sind (Abb. 13).

EPA (Cd)

Die Abdeckung hat die Form einer Kugelkappe und wird über dem Behälter aufgeblasen (Abb. 14). Die Plane ist fest mit dem oberen Rand des Behälters verbunden. Solche Systeme werden vor allem in Kanada zur dichten Abdeckung von grossen runden Behältern (15 bis 40 m Durchmesser) gebaut. Ein Gebläse (0,5 bis 3 PS) sorgt für einen konstanten leichten Überdruck. Die gasdichte Folie besitzt ein Nylon-Netzwerk und Spanngurten. Die Spanngurten müssen verhindern, dass die Folie in die Gülle fällt, wenn das Gebläse ausfällt.

ein neues Zeltdach. Die zentrale Pendelstütze mit Schüssel besteht aus verzinktem oder Rostfreistahl. Das Spannen der Folie erfolgt wie bei Ceno durch das Anheben der teleskopierbaren Stütze. Die Stütze steht auf einer Inox-Fussplatte. Im Gegensatz zum vorherigen System sind die Spanngurten nicht an einem im Hohlraum liegenden Stahlrohr, sondern direkt an der Plane befestigt (Abb. 11). Die Spanngurten werden beim Stahlsilo an der Bodenplatte, bei Betonsilos an der Wand fixiert. Bis jetzt wurden zwei Abdeckungen realisiert.

Pas (NL)

Die Firma PAS war eine der ersten Firmen in den Niederlanden, die in den Achtzigerjahren ein Membran-System zur Abdeckung von offenen Güllebehältern entwickelt hat (Abb. 12). Sie hat in der Zwischenzeit mehrere tausend Güllensilos in den Niederlanden und anderen Ländern mit ihrem zertifizierten Zeltdach zugedeckt. In der relativ flachen Kegelplane (Dachneigung zirka 15°) sind radial Spannbänder und Lüftungsschlitze integriert. Die zentrale Pendelstütze besteht aus Hartholz (Azobe), dickwandigem PVC-Rohr oder rostfreiem Stahl. Die Entlüftungsöffnung befindet sich in der Firstschüssel. Im Saum der Plane verläuft ringsherum ein Rohr, woran Spanngurte mit Ratschen (Inox) befestigt werden. Ein Nachspannen der Kegelplane ist normalerweise nicht erforderlich.



Abb. 11: Zeltdach der Firma Bieri-Kohli. Die Spanngurten sind direkt an der Plane befestigt.



Abb. 12: Zeltdach der Firma PAS. Im Saum der Plane verläuft ringsherum ein Rohr, woran Spanngurte mit Ratschen befestigt werden.



Abb. 13: Zeltdach der Firma Milieutechnieken (NL). Die Entlüftungsöffnungen sind in der Plane integriert.

ten einzusparen. Neben festen Abdeckungen in Holz gibt es die Möglichkeit der Schwimmschicht mit Blähtonkugeln.

Schwimmende Holzabdeckung

Die Holzabdeckung besteht aus frisch eingeschnittenem Holz (auf dem Beispielbetrieb Weisstanne; besser wäre Lärchenholz). Die Bretter mit einer Stärke von 50 mm sind mit Querhölzern von 60 mm Stärke in einem Abstand von 200 cm versteift (Abb. 16). An diese Versteifung wurden insgesamt 48 m geschlossene PE-Rohre (Durchmesser 150 mm) als Schwimmkörper angebracht.

Diese sollen der Abdeckung etwas Auftrieb geben, damit sie ein stabileres Schwimmverhalten hat. Die Holzabdeckung ist mit zwei gegenüberliegend montierten Stabilitätsrohren (V2A, Durchmesser 100 mm) gegen Drehen gesichert (Abb. 17). Für

Was kosten Abdeckungen?

Die Investitionen hängen – insbesondere beim Zeltdach – stark vom Behälterdurchmesser ab (Abb. 15). Die Preise der Firmen PAS und Milieutechnieken beziehen sich auf eine Montage in den Niederlanden (Tab. 3). Bei den sonstigen ausländischen Anbietern handelt es sich um Preisangaben der Vertretung in der Schweiz.

Einsparungsmöglichkeiten durch Selbstbau

Die relativ hohen Investitionen der Abdeckungen werfen die Frage auf, ob für kleine Behälter eine Abdeckung im Selbstbau nicht bedeutend kostengünstiger wäre. Sowohl bei den schwimmenden Abdeckungen als auch bei den Zeltdächern gibt es in der Praxis Versuche, Kos-

Tab. 3: Übersicht über die verschiedenen, auf dem Markt erhältlichen Güllensilo-Abdeckungen (schwimmende Folien und Zeltdächer). Investitionen in Fr. pro m² inkl. MwSt. (Wechselkurs 1 € = 1.50 CHF).

Abdeckung	Anbieter	Durchmesser	Investitionen Fr./m ²	Bemerkungen
Zeltdach	Ceno-Tec (D) www.ceno-tec.de	Ø 10 m Ø 16 m Ø 20 m	235.- 132.- 115.-	Kegelplane mit teleskopierbarer Pendelstütze.
Zeltdach	PAS (NL) ¹ www.pastanks.nl	Ø 10 m Ø 15 m Ø 20 m	203.- 127.- 91.-	Kegelplane, Spannbänder in der Plane integriert, Pendelstütze. Mehr als 15 Jahre Erfahrung.
Zeltdach	Milieusystemen (NL) ¹ www.milieusystemen.nl	Ø 16,6 m Ø 20 m	108.- 84.-	Kegelplane, Spannbänder in der Plane integriert, Pendelstütze. Mehr als 15 Jahre Erfahrung.
Zeltdach	Ecotop (NL) www.ecotop.com	Ø 10 m Ø 16 m Ø 20 m	227.- 120.- 97.-	Kegelplane, Spannbänder in der Plane integriert, Pendelstütze.
Zeltdach	Bieri - Kohli (CH) www.bieri.ch www.kohliag.ch	Ø 13,5 m	166.-	Kegelplane mit teleskopierbarer Pendelstütze, Spanngurte an der Bodenplatte fixiert. Neu seit 2003.
Zeltdach	Hochdorfer (CH)	Ø 10 m Ø 16 m Ø 20 m	169.- 105.- 84.-	Neuentwicklung. Noch keine Abdeckungen in der Schweiz realisiert.
Schwimmfolie	Kohli (CH) www.kohliag.ch	Ø 10 m Ø 16 m Ø 20 m	91.- 79.- 71.-	Sandwichfolie perforiert, am Rand durch senkrechte Seile geführt.
Schwimmfolie	Arnold (CH) www.arnold-ag.ch	Ø 10 m Ø 16 m Ø 17,5 m	156.- 85.- 76.-	Folie an ringförmigem Stahlrohr befestigt mit Schwimmern. Folie kann aufgezogen werden.
Schwimmfolie	Milieutechnieken (NL) ¹ www.milieusystemen.nl	Ø 16,6 m Ø 20 m	38.- 29.-	Folie mit ringsherum Wulst. Wasserfassung max. 20 cm Höhe. Wasser muss regelmässig abgepumpt werden. Keine Aussparung für Rührwerk vorgesehen.
Hexa-Cover	Hexa-Cover Deutschland www.hexa-cover.de	Ø 16 m	53.-	Besteht aus sechseckigen Schwimmkörpern von 228 mm. Nur geeignet für Schweinegülle ohne natürliche Schwimmdecke.



Abb. 14: Siloabdeckung der Firma Epa-Canada. Die Abdeckung hat die Form einer Kugelkappe und wird über dem Behälter aufgeblasen.

¹Preise für Lieferung und Montage in NL/B. Da bis jetzt noch keine Abdeckungen in die Schweiz geliefert wurden, konnten die Firmen keine Angaben für Preiszuschläge (Transport, Montage) machen.

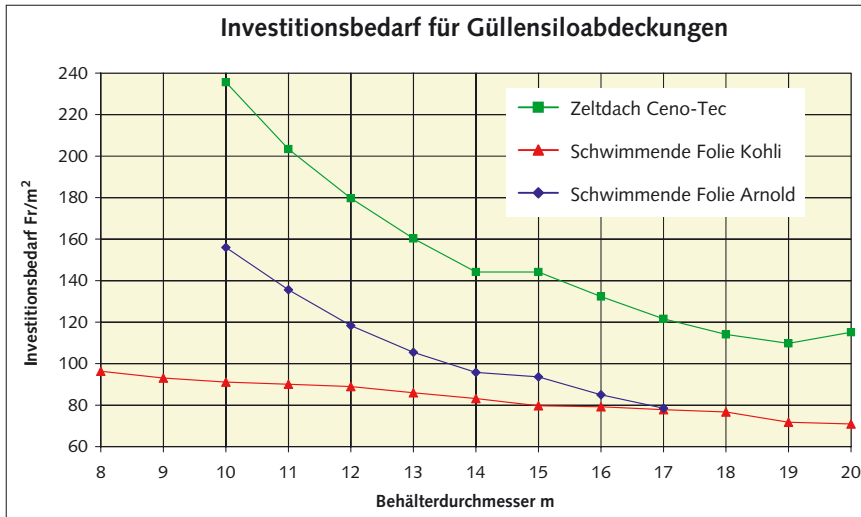


Abb. 15: Investitionsbedarf (inkl. MwSt) für Zeltdach und schwimmende Abdeckungen in Abhängigkeit des Behälterdurchmessers.

das Rührwerk, die Befüll- und Entnahmeleitungen sind entsprechende Aussparungen eingeschnitten. Wie sich das Holz als Abdeckung bewährt, ist noch offen, da die Einflüsse der Witterung von oben und allfälliger natürlicher Schwimmschichten von unten schwer abschätzbar sind. Wegen der ungesicherten Aussparungen und im Laufe der Nutzungsdauer steigenden Bruchgefahr der Abdeckung sollte am Güllenbehälter beim Aufstieg ein Warnhinweis gegen das Betreten angebracht werden.



Abb. 16: Die Holzabdeckung ist mit Querhölzern versteift, die zusätzlich mit PE-Rohren als Schwimmhilfe versehen sind.

Der Behälter (850 m ü. M.) wurde während des Winters 2003/2004 mit Rindergülle befüllt. Die aufgetretenen Schneelasten bewirkten keine nennenswerte Schiefelage der Abdeckung. Grosse Nassschneemengen fielen in diesem Winter jedoch nicht an. Zwischen der Behälterwand und der Abdeckung bildete sich zeitweise eine Eisbrücke. Um diese zu zerstören und damit die Abdeckung wieder frei schwimmen konnte, wurde die Abdeckung mit Gülle überflutet. Das Abfließen der Gülle nach dieser Massnahme habe keine Probleme



Abb. 17: Zwei gegenüberliegend montierte Stabilitätsrohre sichern die Abdeckung gegen Drehen. Dadurch können die Aussparungen für Rührwerk, Befüll- und Entnahmeleitungen minimal ausgeführt werden.

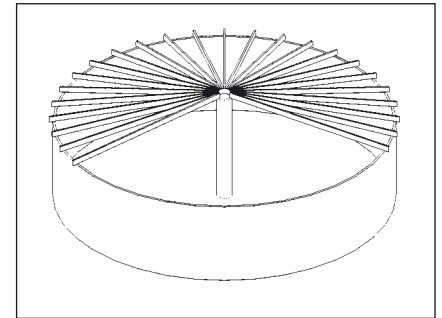


Abb. 18: Güllensiloabdeckung aus Holz in Selbstbauweise. Auf den imprägnierten Holzsparren kommt eine UV-beständige Gitterfolie. Nur für kleine Behälter unter Vorbehalt zu empfehlen.

bereit. Die Materialkosten (Holz, Rohre, Verbindungsmittel) belaufen sich auf Fr. 4800.– oder Fr. 37.– pro m². Die Arbeit umfasste, laut Angaben des Landwirts, etwa 55 Stunden.

Kegeldach mit Gitterfolie

Als mögliche einfache Tragstruktur kommt eine zentrale Stütze (beispielsweise Betonrohr oder PVC-Rohr mit Beton gefüllt) mit radialen Holzsparren in Frage (Abb. 18). Wegen der permanent feuchten Umgebung ist nur der Einsatz von genügend resistentem (druckimprägniertem) Holz sinnvoll. Als kostengünstige Abdeckung auf den Sparren ist eine Gitterfolie (LDPE) aus dem Gewächshäuserbau möglich. Auch eine Holzschalung wäre möglich, sie ist jedoch wegen der runden oder polygonalen Form sehr arbeitsaufwändig und schwierig im Randbereich abzudichten. LDPE-Gitterfolien sind UV stabilisiert und haben eine garantierte Haltbarkeit von fünf Jahren. Allerdings müssen sie reibungsfrei montiert werden. Unter der Annahme, dass man die Folie alle fünf Jahre ersetzen muss, ist über eine Periode von zehn Jahren mit Materialkosten (Stütze, Holzbalken, zwei Gitterfolien, Verbindungsmittel) von etwa Fr. 50.– pro m² zu rechnen.

Vergleicht man die Investitionsschätzung für die Selbstbauabdeckung mit den Firmenangeboten für Kegeldächer, scheint das Einsparungspotenzial durch Selbstbau vor allem für kleine Behälter gross zu sein. Es ist jedoch zu bedenken, dass in der permanent feuchten Umgebung die Tragkonstruktion aus Holz trotz Druckimprägnierung keine grosse Lebensdauer



Abb. 19: Der Blähton wird beim ersten Befüllen direkt ab Werk mit Silowagen geliefert und in den Behälter eingeblassen.

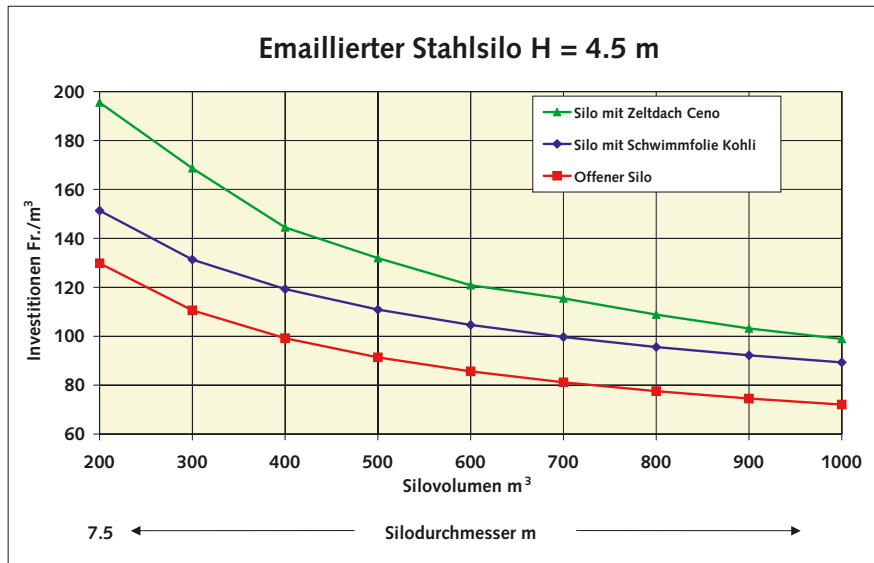


Abb. 20: Vergleich der Investitionen (inkl. MwSt) für Güllensilos aus emailliertem Stahl ohne Abdeckung, mit Zelt Dachabdeckung und mit Schwimmfolie.

erwarten lässt. Das Holz wird bekanntlich nur teilweise durchdringend imprägniert. Im Verlaufe der Zeit kann wegen Holzfäule das Betreten der Abdeckung (Erneuern der Folie) zum Risiko werden. Deshalb kann der Selbstbau nur mit Vorbehalt und lediglich für kleine Behälter empfohlen werden.

Schütttschicht in Blähton

Blähton wird bei neuen Güllensilos nicht als Abdeckung toleriert, kann jedoch eine Lösung zur Emissionsminderung bei bestehenden Silos mit ungenügend ausgebildeter natürlicher Schwimmschicht sein. Die gebrannten Blähtonkugeln (Durchmesser 4 bis 8 mm) werden mit einem Silowagen direkt ab Werk geliefert und ins Güllensilo eingeblassen (Abb. 19). Durch die

Einblastechnik ist es möglich, eine regelmäßige Schichtdicke im ganzen Behälter zu erreichen. Die Schichtdicke sollte 10 bis 15 cm betragen. Bei einem m³-Preis von 145.-/m³ (Preisansatz 2004) ergeben sich Materialkosten von Fr. 15.- bis 22.- pro m³. Man rechnet mit jährlichen Verlusten von etwa 10 %. Die genauen jährlichen Verluste während der Entnahme werden an einer Pilotanlage evaluiert. Für das jährliche Erneuern kann der Landwirt über den Baustoffhandel Säcke palettiert beziehen.

Tab. 4: Vergleich der Investitionen für die Güllenlagerung in unterschiedlichen Behältern bei einem Boxenauslaufstall für 32 Milchkühe und einer Winterlagerung der Gülle von fünf Monaten.

	Variante a Eckige Beton- grube mit Nutzung als Laufhof	Variante b Runde Beton- grube mit Nutzung als Mistplatz	Variante c Stahl-Email-Silo mit Zelt Dach- abdeckung	Variante d Stahl-Email-Silo mit Schwimm- folie
Masse Güllenbehälter (m)	29,5 x 5,0 x 3,5	14,1 x 3,5	11,0 x 4,5	12,0 x 4,5
Güllenbehälter	Fr. 100 382.-	Fr. 86 042.-	Fr. 47 070.-	Fr. 51 200.-
Abdeckung			Fr. 19 373.-	Fr. 9 675.-
Laufhof betoniert		Fr. 11 772.-	Fr. 11 772.-	Fr. 11 772.-
Verlängerung als Vorgabe (Laufhof)		Fr. 3 153.-	Fr. 3 153.-	Fr. 3 153.-
Dickstoffpumpe in Vorgrube			Fr. 10 000.-	Fr. 10 000.-
Güllenleitung		Fr. 1 000.-	Fr. 1 000.-	Fr. 1 000.-
Einsparung Streifenfundament	Fr. -4 614.-			
Einsparung Nutzung als Mistplatz		Fr. -10 745.-		
Total Investitionen	Fr. 95 768.-	Fr. 91 222.-	Fr. 92 368.-	Fr. 86 799.-
Differenz zur Variante a		Fr. -4 547.-	Fr. -3 401.-	Fr. -8 969.-

Berechnungsgrundlagen:
 FAT-Preisbaukasten: Hilty, Van Caenegem und Herzog, 2005.
 Maschinenkosten 2005: Ammann 2004.
 Güllensilo-Abdeckungen: Angaben der Vertreter/Hersteller (Arnold AG Umwelttechnik, Schachen; H.U. Kohli AG, Gisikon).

Der m³ Blähton kommt dabei geliefert auf zirka Fr. 220.-. Erste Erfahrungen an der Pilotanlage zeigen, dass auch bei starkem Wind die Blähtondecke stabil bleibt. Befüll- und Entnahmeleitungen sollten bis auf den Behälterboden geführt sein, damit bei der Entnahme von Gülle die Blähtonkugeln nicht abgesaugt werden. Ein minimaler Güllenpegel ist einzuhalten. Es sollte nur gerührt werden, solange ein minimaler Abstand von zirka 150 cm zwischen dem Güllenpegel und dem Rührwerk vorhanden ist. Der Rührstrahl sollte deshalb annähernd gegen die Mitte gerichtet sein (70 bis 80 Grad zur Wand), damit die Strömung der Wand entlang nicht die Blähtonschicht aufreisst. Die bisherigen Erfahrungen ergeben keine Hinweise auf Probleme beim Ausbringen von Blähton in der vorliegenden Korngröße. Das Ausbringen mit Schleppllauchverteiltern ist möglich.

Investitionen für Güllensilo und Güllengrube im Vergleich

Soll ein gedeckter Güllenbehälter gebaut werden, sind im Vergleich zu einem offenen Güllensilo zusätzliche Investitionen nötig. Abbildung 20 zeigt die Investitionen pro m³ Silovolumen für Güllensilos mit Zelt Dachabdeckung, Schwimmfolie und ohne Abdeckung. Ein Güllensilo mit künstlicher Abdeckung verteuert sich je nach Silodurchmesser bei einer schwimmenden Folie um 16 bis 24% und bei einer Zelt Dachabdeckung um 38 bis 51%. Die Investitionen nehmen bei der Zelt Dachabdeckung mit steigendem Silovolumen am stärksten ab. Da sich die Investitionen für ein Güllensilo (in Stahl oder Beton) durch die Abdeckungspflicht verteuern, stellt sich die Frage, ob eine Güllengrube nicht günstiger zu stehen kommt als ein Güllensilo. In einem Investitionsvergleich darf der Güllenbehälter nicht isoliert betrachtet werden, es müssen auch die Auswirkungen auf das Gebäude berücksichtigt werden. So kann ein Unterflur-Güllensilo mit Betonabdeckung als Mistplatz oder Abstellfläche verwendet werden. Wird der Güllenbehälter im Stallbau integriert, kann er mit einem Spaltenboden als Laufhof genutzt werden.

Im nachfolgenden Beispiel wird ein Laufstall für 32 Milchkühe mit seitlich angeordnetem Laufhof und verschiedenen Güllenbehältern verglichen (Abb. 21). In Variante a wird die rechteckige Güllengrube mit Spaltenbodenabdeckung als Laufhoffsfläche genutzt. Bei der rechteckigen Güllengrube reduziert sich das Streifenfundament des Stalles um die Grubentiefe. Der runde Unterflur-Güllensilo mit Abdeckung aus Beton in Variante b kann als Abstellplatz oder Mistplatte genutzt werden. Im Beispiel wird angenommen, dass die Hälfte der Behälterdecke als Mistlager genutzt wird. In den Varianten c und d ist der Güllenbehälter ein emailliertes Stahlsilo mit Zelt Dachabdeckung bzw. Schwimmfolie.

Die Füllhöhe beträgt bei den Unterflurbehältern (Variante a und b) 3,5 m, bei den Überflursilos (Variante c und d) 4,5 m. Beim Güllensilo mit Schwimmfolie (Variante d) wird das Regenwasser nicht abgeleitet und fliesst in den Behälter. Der erforderliche Silodurchmesser ist deshalb 12 m statt 11 m beim Zelt Dach (Lagerdauer 5 Monate). Das gilt auch für die Variante b, wo wegen der Mistlagerung das Regen-

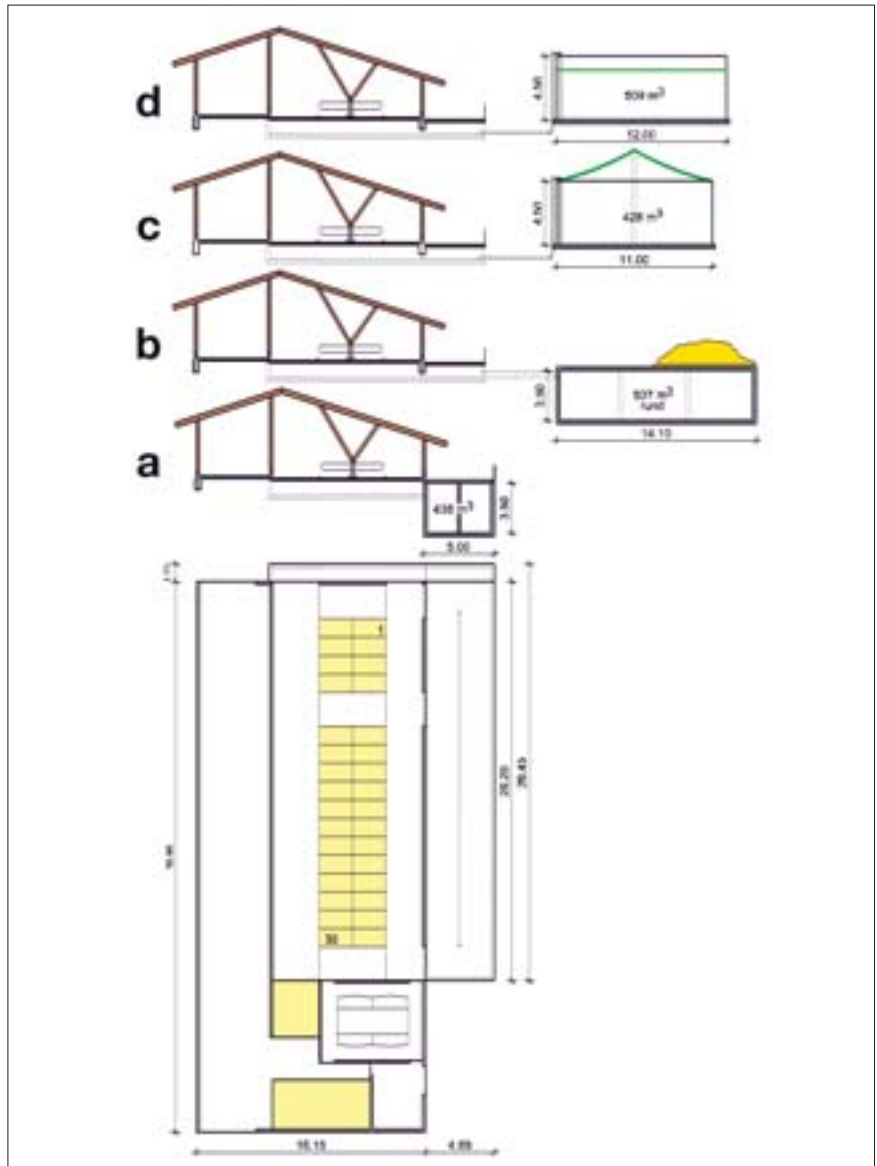


Abb. 21: Beispiel für den Investitionsvergleich der Güllensilo- und Güllengrubenabdeckung in rechteckiger (a) und runder (b) Güllengrube aus Beton bzw. in emailliertem Stahlsilo mit Zelt Dach (c) oder Schwimmfolie (d) bei einem Boxenlaufstall für 32 Milchkühe.

wasser (69 m³) gesammelt werden muss. Bei Variante a wird das Regenwasser des nicht überdachten Teils des Spaltenbodens ebenfalls in die Güllengrube entwässert. In den Varianten c und d braucht es eine Dickstoffpumpe, um die Gülle in die Überflurbehälter zu fördern. In den Varianten a und b hingegen fliesst die Gülle mittels Schwerkraft in die Unterflurbehälter. In den Varianten b bis d ist die Vorgrube um die Laufhoffsbreite grösser, weil der Güllenbehälter nicht direkt unter dem Laufhof liegt und für den Transport der Gülle in den Behälter wird eine Güllenleitung von zehn Metern benötigt.

Im erläuterten Beispiel liegen die Investitionen für das Güllensilo mit Schwimmfolie am tiefsten (Tab. 4). Gegenüber der rechteckigen Güllengrube unter dem Laufhof

können etwa Fr. 9000.– eingespart werden. Bei der Abdeckung mit einem Zelt Dach reduzieren sich die Einsparungen der Investitionen auf etwa Fr. 3400.–. Nutzt man die Hälfte der runden Betongrube als Mistplatz, verursacht dieser Unterflurbehälter einen tieferen Investitionsbedarf als die rechteckige Grube (Fr. 4500.–) und der Güllensilo mit Zelt Dach (Fr. 1100.–).

Die Garantieleistung für künstliche Abdeckungen beträgt in der Regel fünf Jahre. In der Praxis (Niederlande) gibt es allerdings Abdeckungen, die mehr als 15 Jahre alt sind. Die Lebensdauer der künstlichen Siloabdeckungen ist aber kürzer als jene der Betondecke auf einem Unterflurbehälter. Beim Vergleich des Investitionsbedarfs ist darum zu berücksichtigen, dass während der Lebensdauer eines Betongüllebehäl-

ters oder eines emaillierten Stahlsilos das Zeltdach und die Schwimmfolie mindestens einmal zu ersetzen ist. Der tiefere Investitionsbedarf für Güllensilos mit künstlicher Abdeckung wird im Vergleich zur rechteckigen Güllengrube im berechneten Beispiel aufgehoben.

Die Ergebnisse dieses Beispiels können nicht auf jeden Praxisfall direkt übertragen werden. Wie die Gülle schliesslich am günstigsten gelagert wird, muss auf jedem Betrieb separat abgeklärt werden. Topographische Gegebenheiten (flaches Terrain oder Hanglage) und arbeitswirtschaftliche Überlegungen (Entmistung des Laufhofs) wie auch Flexibilität bei allfälligen späteren Umbauten oder Erweiterungen sollen berücksichtigt werden.

Sicherheits- und verfahrenstechnische Aspekte

Explosionsgefahr unter Zeltdächern

Unter Zeltabdeckungen kann sich ein explosives Gasgemisch bilden. Warnhinweise sollten deshalb angebracht werden. Um Explosionsfälle zu vermeiden, werden bei geschlossenen Güllengruben in der Schweiz gemäss Unfallverhütungsvorschriften Lüftungsöffnungen eingebaut.



Abb. 23: Durch eine von aussen sichtbare und funktionssichere Füllstandsanzeige werden viele Kontrollgänge auf dem Güllenbehälter vermieden. Sie trägt damit zur Reduktion der Unfallrisiken bei.

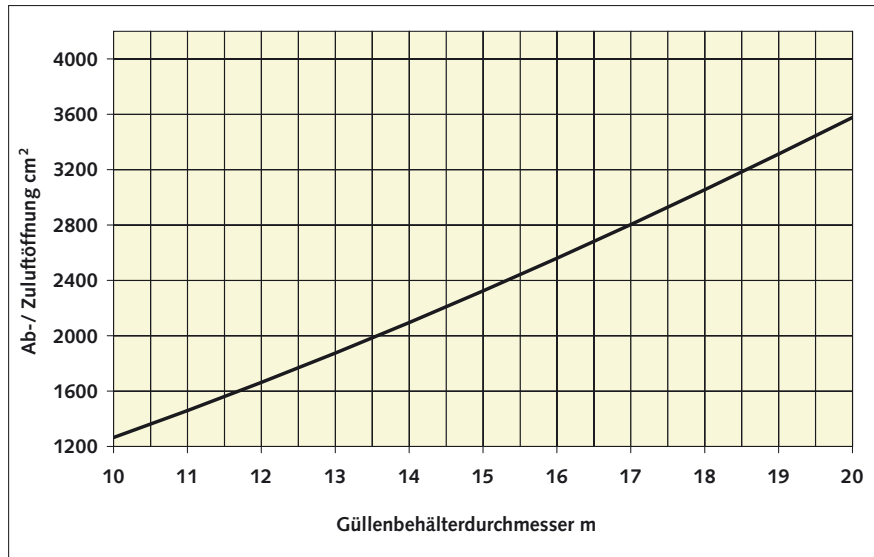


Abb. 22: Vorläufige Richtwerte für den Querschnitt der Ab- und Zuluftöffnungen von Zeltdächern über Güllenbehältern in Abhängigkeit des Behälterdurchmessers.

Diese basieren auf einer entsprechenden Untersuchung, deren Ergebnisse jedoch nicht auf Güllensilos mit Zeltabdeckung übertragbar sind. Die BUL befürchtet einen erneuten Anstieg von Explosionen, wenn Güllensilos abgedeckt und dadurch nicht genügend gelüftet werden.

In der Interessensabwägung zur Minimierung der Emissionen einerseits und des Explosionsrisikos andererseits soll die Betriebssicherheit die höhere Priorität haben. Bis Ergebnisse zu den Maximalwerten der Methangasfreisetzung (geplante Versuche an der FAT) vorliegen, wird vorgeschlagen, die Ab- bzw. Zuluftöffnungen in den Zeltdächern eher grosszügig zu dimensionieren (Abb. 22). Die Abluftöffnung soll sich am höchsten Punkt des Kegeldachs befinden.

Vermeiden von Unfallrisiken

Bei nicht schwimmenden Abdeckungen kann durch die Montageöffnungen die Rührwirkung kontrolliert werden. Beim Öffnen dieser Luken ist grösste Vorsicht geboten. Im Gegensatz zum offenen Behälter treten die beim Rühren freigesetzten Gase konzentriert durch diese Öffnungen aus. Neben Erstickung droht Explosionsgefahr, wenn eine Zündquelle vorhanden ist (anzünden einer Zigarette, Einsatz von Metallwerkzeugen, Abschaltfunken von Elektroschaltern). Um Stürze zu verhindern, ist in jeder Öffnung ein Sicherheitsnetz einzubauen. Weil durch das Aufrühren der Gülle eine intensive Gasfreisetzung entsteht, soll grundsätzlich

nur so wenig als nötig aufgerührt und die natürliche Schwimmschicht der Gülle nur soweit erforderlich zerstört werden. Beim Zugang zu Montageöffnungen sind ebenfalls Warnhinweise bezüglich Gefahren durch Schadgase erforderlich.

Beim Einsatz von schwimmenden Abdeckungen sind Warnhinweise gegen das Betreten der Abdeckung anzubringen. Sicherheitstechnisch korrekt aufgebaute Einrichtungen wie von aussen sichtbare Füllstandsanzeigen (Abb. 23) helfen Risiken zu minimieren. Wird ein Güllenbehälter nachträglich abgedeckt, ändern sich die sicherheitstechnischen Anforderungen. Bezüglich Entlüftung und Absturzsicherung gelten die oben beschriebenen Massnahmen.

Verfahrenstechnische Aspekte

Werden die Befüll- und Entnahmeleitungen bis zum Siloboden geführt, lässt sich die Zerstörung der natürlichen Schwimmschicht beim Befüllen und Leeren vermeiden. Nicht alle Rührsysteme taugen für das Rühren der Gülle in abgedeckten Güllensilos. Nach bisherigen Erkenntnissen, die sich hauptsächlich auf ausländische Erfahrungen beziehen, eignet sich sowohl unter schwimmenden als auch nicht schwimmenden Abdeckungen das in der Höhe verstellbare Schiffschrauben-Rührwerk am besten. In den Niederlanden ist das Schiffschraubenrührwerk vielfach fest installiert und wird mit einer durch die Behälterwand durchgeführten Antriebswelle

vom Traktor angetrieben. Nicht geeignet sind Haspelrührwerke, Paddelrührwerke mit schräger Achse und bei schwimmenden Folien Tauchschneidepumpen mit Rührdüse.

Bei schwimmenden Abdeckungen ist die visuelle Kontrolle eingeschränkt. In den Niederlanden wird vor allem bei Silos mit grossem Durchmesser (>20 m) von Schwierigkeiten bei der Zerstörung der natürlichen Schwimmschicht berichtet. Die Schwimmschicht kann an der Folie festkleben und verhindert so drehende Bewegungen der Güllenoberfläche. In einigen Fällen konnte das Problem nur gelöst werden, indem auf der gegenüberliegenden Seite ein zweites Tauchmotorrührwerk montiert wurde.

Beim System Kohli wird die Abdeckung so angefertigt, dass die Öffnung in der Abdeckung dem erforderlichen Durchtrittsmass für das Schiffschraubenrührwerk entspricht. Dadurch wird das Verletzen der Abdeckung verhindert und eine bessere Kontrollmöglichkeit bezüglich Schwimmschicht und Rührmechanik geschaffen. Zusätzlich wird das Ausheben des Rührwerks für Unterhaltsarbeiten erleichtert. Bei Traktorbetrieb durch die Behälterwand wird die Welle mit dem Propeller unter die Schwimmschicht geführt und entsprechend mit Schutzringen versehen (Abb. 24).

Schlussfolgerungen

Gesamt-schweizerisch beträgt der mittlere Anteil der Hofdüngerlagerung an den gesamten Ammoniakemissionen der Landwirtschaft 12 % (Reidy und Menzi 2005). Die Ammoniakemissionen während der Lagerung lassen sich durch eine Reihe von Massnahmen wie Ansäuern der Gülle, Optimierung der Behälterform und Begrenzung des Luftaustausches über der Güllenoberfläche senken. Nicht alle Massnahmen sind praxistauglich. Am wirksamsten ist die Begrenzung des Luftaustausches über der Güllenoberfläche durch natürliche oder künstliche Abdeckungen. Da Witterung und Rühren die Dichtheit der natürlichen Schwimmdecken und Schüttschichten (Stroh, Blähtonkugeln...) beeinflussen, erfüllen sie aus der Sicht der Vollzugstellen die vorsorgliche Emissionsbegrenzung für neue Güllenbehälter nicht. Bei bestehenden Anlagen ist es möglich, mit gezieltem Rührmanagement natürli-

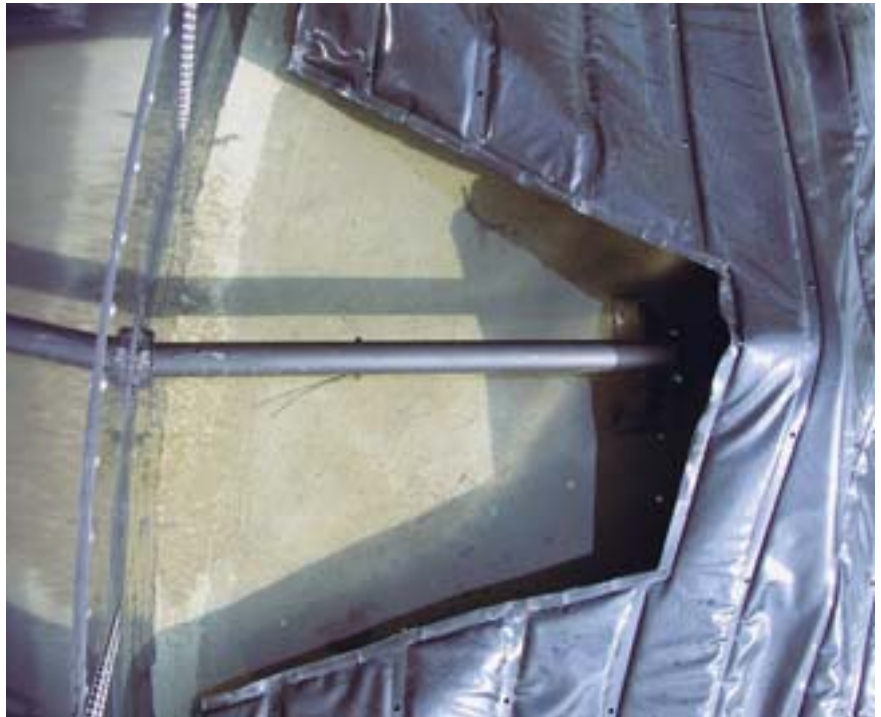


Abb. 24: Schwimmfolien müssen gegen mechanische Beschädigungen wirksam geschützt werden. Entsprechende Aussparungen und Schutzkörbe über Propellern sind dazu mögliche Massnahmen.

che Schwimmschichten sowie auch Abdeckungen mit Schüttgütern wie Blähton und Strohhäcksel ohne längere Unterbrüche intakt zu halten. Um Aufwirbelungen an der Oberfläche zu vermeiden, soll die Gülle generell über der Sohle eingeführt und abgesaugt werden.

Als künstliche Abdeckungen haben sich Schwimmfolien und Zeltdächer durchgesetzt. Schwimmende Abdeckungen haben als Vorteile, dass sie günstiger und weniger sichtbar sind sowie den Behälter nicht statisch belasten. Zeltdächer dagegen erlauben eine Kontrolle beim Rühren und leiten das Meteorwasser ab. Hierdurch wird das erforderliche Lagervolumen geringer. Hersteller garantieren bei Zeltdächern nur eine maximale Schneelast von 2 kN/m². Je nach Hersteller und Silodurchmesser variieren die Investitionen für in der Schweiz angebotene Zeltdächer zwischen Fr. 84.- und Fr. 235.- pro m² und für Schwimmfolien zwischen Fr. 71.- und Fr. 156.- pro m². Der Preisunterschied zwischen einem Zeltdach und einer Schwimmfolie ist vor allem bei kleinen Behälterdurchmessern gross. Die relativ hohen Investitionen werfen die Frage auf, ob für kleine Behälter eine Abdeckung in Selbstbau nicht bedeutend günstiger wäre. Praxisbeispiele zeigen, dass Selbstbau möglich ist. Vorsicht ist jedoch geboten, da die feuchte und

korrosive Umgebung die Tragfähigkeit von Konstruktionen aus Holz, Stahl oder Aluminium stark beeinträchtigen kann. Ein Stahlsilomantel kann durch Einsturz einer Abdeckung in Mitleidenschaft gezogen werden.

Durch die Abdeckungspflicht verringert sich der Investitionsvorteil der offenen Güllensilos gegenüber geschlossenen Güllenruben. In einem Investitionsvergleich darf der Güllenbehälter nicht isoliert betrachtet werden, es müssen auch die Auswirkungen auf das Gebäude berücksichtigt werden. So kann ein Unterflur-Güllenbehälter mit Betonabdeckung als Mistplatz oder Abstellfläche verwendet werden. Wird der Güllenbehälter im Stallbau integriert, kann er als Laufhof genutzt werden. Bezüglich Erweiterungsmöglichkeiten ist wiederum ein Güllensilo vorteilhaft.

Unter Zeltabdeckungen kann sich ein explosives Gasgemisch bilden. Deshalb sollen minimale Zu- und Abluftöffnungen einen ausreichenden Luftwechsel bei jeder Witterung gewährleisten. Auf die Vergiftungsgefahren im Bereich der Öffnungen muss durch entsprechende Warnhinweise aufmerksam gemacht werden. Die verschiedenen Abdeckungsvarianten erfordern entsprechend ausgeführte Rührwerke.

Literatur

- Ammann H. (Red.), 2004. Maschinenkosten 2005 – Kostenansätze Gebäudeteile und mechanische Einrichtungen. FAT-Berichte Nr. 621, Agroscope FAT Tänikon.
- Berg W., Hörnig G., Türk M., 1998. Güllebehandlung mit Milchsäure. Landtechnik 6/98: 378-379.
- Cercl'Air, Schweizerische Gesellschaft der Lufthygiene-Fachleute, 2003. Cercl'Air-Empfehlung Nr. 21-A, Minderung der Ammoniak-Emissionen aus der Landwirtschaft, Abdeckung neuer Güllelager. Vollzugshilfe zur Luftreinhaltung.
- De Bode M.J.C., Verkerk H.A.C. 1991. Meten van Ammoniakemissie. Landbouwmecanisatie Februar 1991, 14-15.
- Döhler H., Eurich-Menden B., Dämmgen U., Osterburg B., Lüttich M., Bergschmidt A., Berg W., Brunsch R., 2002. BMVEL/UBA-Ammoniak-Emissionsinventar der deutschen Landwirtschaft und Minderungsszenarien bis zum Jahr 2010. Umweltbundesamt Texte 05/02, Berlin.
- Hilty R., L. Van Caenegem, Herzog D., 2005. Preisbaukasten – Baukostensammlung für landwirtschaftliche Betriebsgebäude. Agroscope FAT Tänikon.
- Hüther L., Schuchardt F., 1998. Wie lassen sich Schadgasemissionen bei der Lagerung von Gülle und Festmist verringern. KTBL Arbeitspapier 250: 177-181. Darmstadt.
- Reidy B., Menzi H., 2005. Ammoniakemissionen in der Schweiz: Neues Emissionsinventar 1990 und 2000 mit Hochrechnungen bis 2003. Schlussbericht zuhanden des BUWAL. Schweiz. Hochschule für Landwirtschaft (SHL), Zollikofen (in Bearbeitung).
- Williams A. G., 2003. Floating covers to reduce ammonia emissions from slurry. International Symposium on gaseous and odour emissions from animal production facilities, DK-Horsens, S.283-291.

Anfragen über andere landtechnische Probleme sind an die unten aufgeführten Berater für Landtechnik zu richten. Weitere Publikationen und Prüfberichte können direkt bei Agroscope FAT Tänikon, Bibliothek, CH-8356 Ettenhausen angefordert werden, Tel. 052 368 31 31, Fax 052 365 11 90, E-Mail: doku@fat.admin.ch, Internet: <http://www.fat.ch>

- ZH** Merk Konrad, Strickhof,
8315 Lindau, Telefon 052 354 98 11
Blum Walter, Strickhof,
8315 Lindau, Telefon 052 354 98 11
- BE** Jutzeler Martin, Inforama Berner Oberland,
3702 Hondrich, Telefon 033 650 84 30
Marti Fritz, Inforama Rütli 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 041 485 88 00
Hodel René, LMS, 6276 Hohenrain,
Telefon 041 914 30 05
Widmer Norbert, LMS,
6276 Hohenrain, Telefon 041 914 30 77
- 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 041 675 16 16
Landwirtschaftsamt, St. Antonistr. 4,
6061 Sarnen, Telefon 041 666 63 58
- NW** Wolf Franz, Landwirtschaftsamt,
Kreuzstr. 2, 6371 Stans,
Telefon 041 618 40 07
- GL** Amt für Landwirtschaft, Postgasse 29,
8750 Glarus, Telefon 055 646 67 00
- ZG** Gut Willy, LBBZ Schluechthof,
6330 Cham, Telefon 041 784 50 50
Furrer Jules, LBBZ Schluechthof,
6330 Cham, Telefon 041 784 50 50
- FR** Kilchherr Hansruedi, Landw. Schule Grangeneuve
1725 Posieux, Telefon 026 305 58 50
- SO** Wyss Stefan, Landw. Bildungszentrum Wallierhof,
4533 Riedholz, Telefon 032 627 09 62
- BL** Ziörjen Fritz, Landw. Zentrum Ebenrain,
4450 Sissach, Telefon 061 976 21 21
- SH** Landw. Beratungszentrum Charlottenfels,
8212 Neuhausen, Telefon 052 674 05 20
- AI** Inauen Bruno, Gaiserstrasse 8,
9050 Appenzell, Telefon 071 788 95 76
- AR** Vuilleumier Marc, Landwirtschaftsamt AR,
9102 Herisau, Telefon 071 353 67 56
- SG** Lehmann Ueli, LBBZ Rheinhof,
9465 Salez, Telefon 081 758 13 19
Steiner Gallus, Landw. Schule Flawil,
9230 Flawil, Telefon 071 394 53 53
- GR** Föhn Josef, Landw. Schule Plantahof,
7302 Landquart, Telefon 081 307 45 25
- AG** Müri Paul, Berufsbildung, Weiterbildung und
Beratung Liebegg, 5722 Gränichen,
Telefon 062 855 86 27
- TG** Baumgartner Christof, Fachstelle
Beratung und Landtechnik, Amriswilerstr. 50,
8570 Weinfelden, Telefon 071 622 10 23
- TI** Müller Antonio, Ufficio consulenza agricola,
6501 Bellinzona, Telefon 091 814 35 53

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

Impressum

Herausgeber: Agroscope FAT Tänikon, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT), CH-8356 Ettenhausen

Die FAT-Berichte erscheinen in rund 20 Nummern pro Jahr. – Jahresabonnement Fr. 60.–. Bestellung von Abonnements und Einzelnummern: Agroscope FAT Tänikon, Bibliothek, CH-8356 Ettenhausen. Tel. 052 368 31 31, Fax 052 365 11 90, E-Mail: doku@fat.admin.ch, Internet: <http://www.fat.ch>

Die FAT-Berichte sind auch in französischer Sprache als «Rapports FAT» erhältlich.
ISSN 1018-502X.