



Einsatz an Siloanlagen



7.016

Merkblatt für die Feuerwehren Bayerns

Einsatz an Siloanlagen

Zielsetzung des Merkblattes

Das Merkblatt gibt einen Überblick über die wichtigsten taktischen und technischen Möglichkeiten bei Unfällen und Bränden an Silobauwerken.

Anmerkung:

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird in den Merkblättern der Staatlichen Feuerweherschulen auf eine geschlechtsneutrale Differenzierung verzichtet. Entsprechende Begriffe gelten im Sinne der Gleichbehandlung grundsätzlich für alle Geschlechter. Die verkürzte Sprachform hat redaktionelle Gründe und beinhaltet keine Wertung.

Inhaltsverzeichnis

1. VORWORT	7
2. GRUNDSÄTZE	9
3. SILOTECHNIK	11
3.1 Einsatzbeispiele	14
4. SILOTECHNIK	15
4.1 Grundsätzliche Maßnahmen	15
4.2 Bei verschütteten Personen	15
5. LÖSCHMITTEL	17
6. EINSATZTAKTIK.....	19
6.1 Allgemeine Verhaltensregeln	19
6.2 Lagefeststellung / Erkundung.....	19
6.3 Brandbekämpfung	23
6.4 Brandbekämpfung durch Inertisierung.....	24
6.5 Brandbekämpfung durch Ausfahren des Lagergutes.....	26
7. MESSEN	29
8. INERTISIERUNGSKONZEPT BAYERN.....	31
9. TABELLEN UND STOFFDATEN	37
10. NOTRUFNUMMERN.....	39
10.1 Lieferanten für flüssigen Stickstoff	39
10.2 Fachberatung vor Ort	39

1. VORWORT

Einsatzstelle Silo

Das Merkblatt gibt einen Überblick über die wichtigsten technischen Möglichkeiten bei Unfällen und Bränden an Silobauwerken.

Aus der Statistik von Schadensereignissen ist zu entnehmen, dass Silos mit brennbaren Feststoffgütern zu den Anlagen zählen, die in der Vergangenheit überdurchschnittlich oft von Bränden und daraus resultierenden Explosionen betroffen waren.

Bei der Silobrandbekämpfung hat die richtige Auswahl an Löschmitteln (Löschgase, Gel-Löschmittel) immer mehr an Bedeutung gewonnen.

In den meisten Fällen wird der Brand in einem Silo ein Schwelbrand sein. Dies ist eine langsame Verbrennung unter Sauerstoffmangel ohne sichtbare Lichterscheinung, die durch Rauch und Temperaturanstieg gekennzeichnet ist. Wird dem Schwelbrand allerdings Sauerstoff zugeführt, so kann es speziell bei feinkörnigem Lagergut zu einer sehr intensiven Verbrennung kommen.

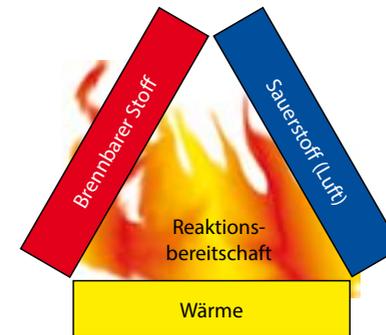


Abb. 1
Verbrennungsdreieck

Durch Fehleinschätzung und unbekannte Zustände im Siloinneren sind in der Vergangenheit vereinzelt auch Staubexplosionen ausgelöst worden, die zu Personen- und Sachschäden geführt haben.

Aus diesem Grund ist es im Bereich des vorbeugenden Brandschutzes sinnvoll, ganzheitliche Konzepte zu erarbeiten und umzusetzen.

Einsätze an Silobauwerken stellen für die Feuerwehren immer eine hohe Herausforderung dar, da zum einen die Erkundung sehr schwierig ist und zum anderen gerade bei Bränden in Silos eine aktuelle Einschätzung der Lage von vielen Faktoren abhängt.

Silobrände sind zeitintensive und langwierige Einsätze (mehrere Tage oder sogar Wochen), die sich aber zu jeder Zeit rasant ausbreiten können. Sie erfordern eine ständige Lagekontrolle durch die Einsatzkräfte vor Ort.

Mit diesem Hintergrund wird in diesem Merkblatt auf den Führungskreislauf sowie auf diverse Löschmittel eingegangen.

In Bayern wurde die Ausrüstung für eine Brandbekämpfung in Zusammenarbeit mit der BayWa AG, dem Müllerbund und Genossenschaftsverband Bayern ergänzt und ein Löschverbund bestehend aus 2 Abrollbehältern mit Inertgasverdampfern gegründet. Auch über diesen Löschverbund informiert das Merkblatt.



Abb. 2
Silobrand in
Altmorschen

Quelle:
BF Würzburg

2. GRUNDSÄTZE

Brände in Silos und Behältern verlaufen meist ohne offenes Feuer und relativ unspektakulär. Dennoch stellen sie für die Feuerwehr eine große Herausforderung dar.

Werden falsche Einsatzmaßnahmen durchgeführt oder eine falsche Einsatztaktik gewählt, kann sich ein Schwelbrand rasch in eine nur schwer berechenbare Einsatzsituation verwandeln.

Grundsatz

Mit der geringsten Gefährdung der Einsatzkräfte wirksame Lösch-erfolge erzielen. Die erfolgversprechendste Möglichkeit zur Brandbekämpfung und zum sicheren Ausräumen im Ereignisfall ist die Inertisierung des Silos oder Bunkers.

Mögliche Brandursachen

Natürliche Ursachen

- Erhitzung durch Gärprozesse, Hitzestaus durch Produktablagerungen (Selbstentzündung)

Technische Defekte

- Reibungswärme bei schnell laufenden Bearbeitungs- und Fördermaschinen
- Funkenbildung durch metallische Fremdkörper oder Reibung (Schleifen)
- Rückströmung aus Verarbeitungs- oder Verbrennungsprozessen
- Elektrostatische Auf- bzw. Entladungen
- Defekte Trocknungsanlagen
- Überhitzung von elektrischer Antriebstechnik

Welche Stoffe können in Silos gelagert werden?

In aller Regel werden in Silos und ähnlichen Großbehältern lose Schüttgüter gelagert. Folgende Eigenschaften weisen diese Schüttgüter auf:

- Staubförmig (Kunststoffpulver, Zementmehl, Faserstaub ...)
- Körnig (Sand, Futtermittel, Trockenmörtel, Granulat, Getreide ...)
- Stückig (Schotter, Kohle, Erz, Lebensmittel, z. B. Rüben)
- Breiig (Klärschlamm ...)
- Geschnitzelt (Holz, Metall, Kunststoffabfälle ...)

Abb. 3 a)
Querschnitt eines
Flachbodensilos /
Zylindersilo mit
Flachbodenentnahme

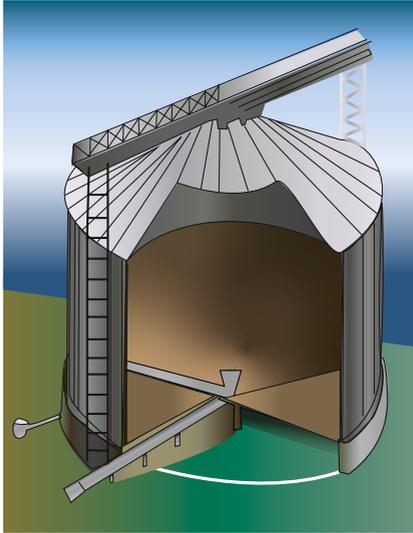
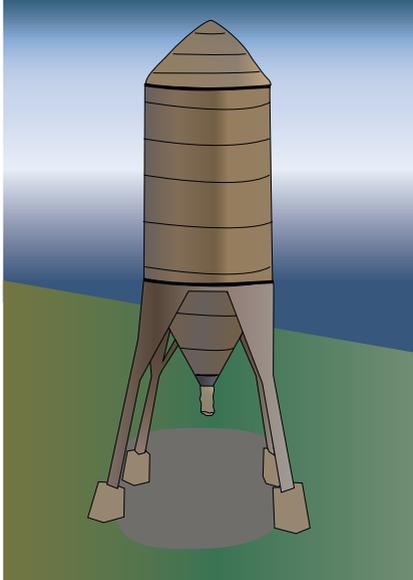


Abb. 3 b)
Zylindersilo mit
Entnahmetrichter



3. SILOTECHNIK

Erläuterungen zum Bauwerk Silo

- Ein Silo ist ein zylindrischer oder quaderförmiger, stehender abgeschlossener Behälter
- Silos werden in der Regel von oben befüllt und von unten entleert
- Silo- und Behältergrößen sind sehr unterschiedlich und können bis mehrere tausend Kubikmeter Fassungsvermögen haben
- Silobauwerke werden aus diversen Materialien hergestellt. Verwendung finden Stahl, Holz, Beton oder Mauerwerk
- Anbauteile an Silos für die Förderung des Lagergutes und den Betrieb der Einrichtung sind Klappen, Mannlöcher, Förderbänder, Förderschnecken, Rohre, Filter, Entlüftungsöffnungen und Armaturen
- Prinzipiell werden Siloarten mit verschiedenen Entnahmemöglichkeiten unterschieden:
 - > Zylindersilos / Trichtersilos
 - > Silos ohne Entnahmetrichter / Flachbodensilos (hier ist mit Einbauten zur Entnahme am Boden zu rechnen)
- Durch die Verlagerung des Gewichts des Schüttgutes, bspw. bei der Entnahme, wird die Statik wesentlich beeinflusst, was zum Einsturz führen kann

Abb. 4: Immer mittige
Entleerung Kernfluss!

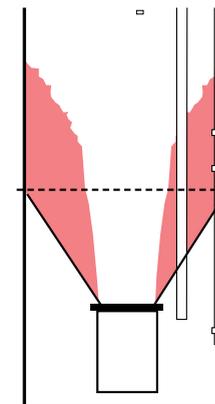


Abb. 5: Außer mittige Entleerungen sind nur bei
minimalen Füllständen statisch sicher!

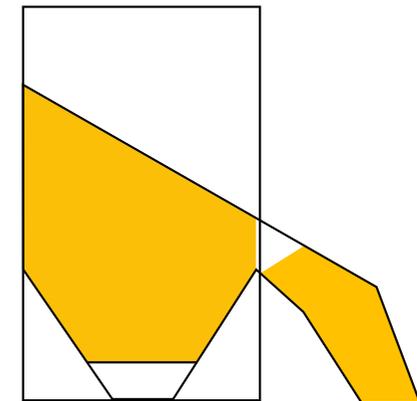
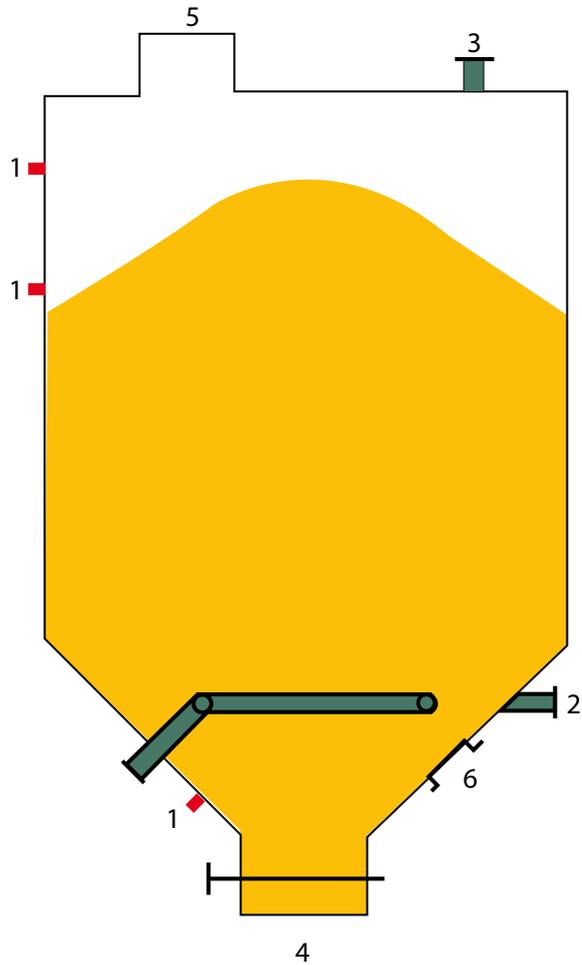


Abb. 4 und Abb. 5
Trichtersilos
Silo das mittig entleert
wird und Silo das außer-
mittig entleert werden
kann.

Abb. 6
Aufbau von einem Silo



- 1 Öffnung für Messsonden
- 2 Unterer Inertgasanschluss als Stutzen oder Ringkanal
- 3 Oberer Inertgasanschluss
- 4 Austragseinrichtung
- 5 Einlauf
- 6 Notaustragsöffnung



Abb. 7
Silofuß

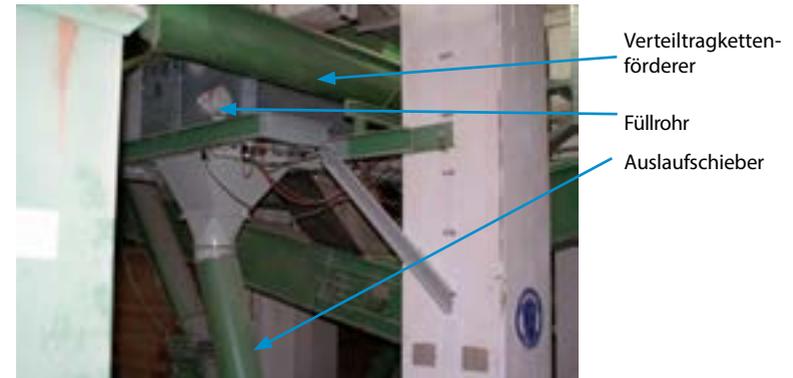


Abb. 8
Silokopf

Die Befüllung und Entleerung kann mit diverser Technik durchgeführt werden:

Abb. 9
Fördertechnik



3.1 Einsatzbeispiele

Abb. 10
Silokopfmit Abdichtung der Einstiegsöffnungen zur Selbstinertisierung



Abb. 11 rechts
Brandeinwirkung am Silofuss und an der Ausstragsschnecke durch das Lagergut im Inneren



Abb. 12
Temperaturüberwachung und Kontrolle im Bereich der Fördertechnik mittels Wärmebildkamera



4. SILOTECHNIK

Bei einer Personenrettung aus einem Silo müssen verschiedene Sicherheitsvorkehrungen getroffen werden. Nur unter Berücksichtigung verschiedener Maßnahmen kann eine Rettung sicher durchgeführt werden.

4.1 Grundsätzliche Maßnahmen

- Sauerstoffkonzentration von 21 Vol.-% und atembare Luft im Innenraum des Silos muss bei Arbeiten ohne umluftunabhängigen Atemschutz gewährleistet sein. Sicherstellung der Schadstofffreiheit durch geeignete Messungen, wie zum Beispiel CO, CO₂ usw.
- Umluftunabhängiger Atemschutz ist zwingend erforderlich, sowie grundsätzlich ein truppweises Vorgehen. Der zweite Mann im Trupp bleibt in Bereitschaft an der Einfahröffnung des Silos, während die erste Person einsteigt. Ein Sicherheitstrupp muss in Bereitschaft stehen
- Immer mit einem geeigneten Einfahrgerät in das Silo einfahren
- Ausreichende Beleuchtung sicherstellen ggf. Ex-Schutz berücksichtigen
- Bei allen Personen, die an der Rettungsmaßnahme direkt in der Siloanlage beteiligt sind, ist die Absturzsicherung durchzuführen. Geeignete Fest- und Anschlagpunkte sind zu wählen
- Niemals unter das Niveau des Lagergutes und der Anpackungen in die Siloanlage einfahren
- Not-Halt im Vorfeld der Arbeiten aktivieren, um damit alle Einbauten stillzulegen (Rührwerke, usw.)

4.2 Bei verschütteten Personen

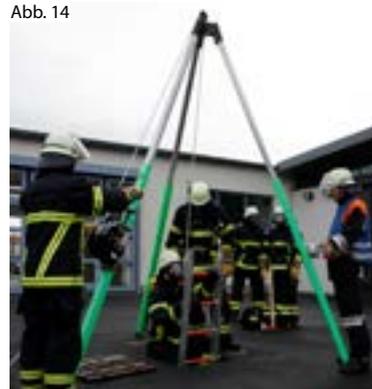
- Maschinen und Förderanlagen niemals bedienen, wenn die Gefährdung eines Verschütteten nicht sicher ausgeschlossen werden kann. Gegen unbefugtes Wiedereinschalten sichern!
- Die verschüttete Person möglichst wenig belasten
- Mit verletzten Personen ist durchweg zu kommunizieren
- Verletzten Personen anstehende Maßnahmen erläutern und diese dadurch beruhigen, um möglichst wenig Erschütterungen durch hektische Bewegung in das Schüttgut einzubringen
- Geeignete Verbauungstechnik zur Sicherung des Verunglückten einsetzen, zum Beispiel „Karlsruher Ringe, siehe Abbildung 13, Düsseldorfer Verbauplatten“ oder ähnlich geeignetes Einsatzmaterial

- Zuerst Kopf des Verschütteten, möglichst zeitnah, freilegen, erst danach den Oberkörper frei machen
- Die verschüttete Person ist immer komplett frei zu legen bevor der Versuch unternommen wird diese herauszuziehen, da durch überhastete Aktionen weitere Verletzungen zugefügt werden können
- Im speziellen Fall können Saugfahrzeuge eingesetzt werden, um Material aus dem Silo zu fördern

Abb. 13 links
Karlsruher Ringe im Einsatz
Quelle:THW OV Essen

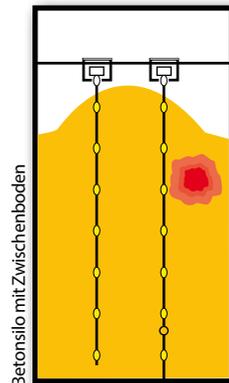


Abb. 14 rechts
Dreibock und Auf-/Abseilgerät im Einsatz



- Aus Platzgründen kann es notwendig sein mit Händen oder geeigneten Schaufeln (Klappspaten) zu arbeiten. Schüttgüter sind zu entfernen und über geeignete Fördereinrichtungen (Eimern) aus dem Gefahrenbereich zu bringen
- In explosionsgefährdeten Bereichen Ex-Schutz beachten, dort nur geschützte Geräte einsetzen! Funktechnik evtl. in ATEX Ausführung.
- Achtung: Siloeinbauten, wie technische Messgehänge, sind spannungsführende Einrichtungen und können den Einfahrenden behindern

Abb. 15
Silo mit technischen Messgehänge



5. LÖSCHMITTEL

Bei Bränden in Siloanlagen kann die Beaufschlagung von zusätzlichem Gewicht zu statischen Problemen im Bauwerk führen. Aus diesem Grund ist bei der Wahl des Löschmittels mit entsprechender Vorsicht vorzugehen.

Wasser

- Brandherde in einer Siloanlage sind grundsätzlich mit Sprühstrahl zu bekämpfen, wobei ein möglichst geringer Wasserdruck und eine möglichst geringe Durchflussmenge zu wählen ist
- Netzwasser ist bevorzugt zu verwenden, da hierdurch der Löscherfolg erhöht und gleichzeitig die Gewichtsbelastung durch die Aufbringung des Löschmittels möglichst klein gehalten wird
- Beim Aufbringen von Löschmittel auf quell- und saugfähigem Lagergut ist äußerst behutsam vorzugehen, da dies zu statischen Problemen führen kann (1 Liter Löschwasser = 1 kg Gewichtszunahme im Lagerbehälter)
- Bei der Verwendung des Löschmittels Wasser ist vorab die Reaktionsfähigkeit des Lagergutes zu prüfen
- Die Möglichkeit des Ausspülens von Lagergut ist zu erkunden. Hierbei ist besonderes Augenmerk auf eine ausreichende Abflussmöglichkeit und auf die statische Belastbarkeit des Bauwerkes zu werfen
- Beim Einbringen von Löschwasser ist zu beachten, dass durch aufquellendes Lagergut eine Sperrschicht entsteht, durch die unter Umständen auch kein Inertgas strömen kann

Schaum

- Mittelschaum nur bei offenen Bränden und zum Abdecken von Brandstellen verwenden
- Schwertschaum bei offenen Bränden, großen Entfernungen und ebenfalls zum Abdecken bei Brandstellen im Freien
- Druckluftschaum ist wie Schwertschaum zu behandeln
- Leichtschaum zum Fluten von Siloanlagen verwenden. Hierbei ist eine möglichst große Füllhöhe anzustreben, um ein großes Volumen auf das Lagergut aufzubringen. Eine Staubexplosion bei einstürzendem Lagergut kann durch eine entsprechend große Schicht mit Leichtschaum verhindert werden. Beim Einbringen der Leichtschaumschicht ist auf äußerst geringem Wasseranteil und eines geringen Druckes bei gleichzeitig hoher Schaumzumischung zu achten

Pulver

- Pulver ist ein geeigneter Stoff zur Abdeckung des Lagergutes, um die Luftzufuhr zur Brandstelle abzuschließen
- Zu beachten ist, dass die zum Abschließen der Luftzufuhr aufgebrachte Pulverdeckschicht durch einstürzendes Lagergut leicht aufgerissen werden kann
- Pulver ist bei Entstehungs- und Anlagenbränden einsetzbar (Förderbänder, Trockner, Schnecken usw.)

Löschgel

- Eignet sich besonders gut zum Löschen in Hohlräumen und zum Schutz von noch nicht betroffenen Bereichen, da es gute Haftungseigenschaften aufweist (0,5 % bis 1 % Zumischung)
- Löschgel eignet sich ebenfalls sehr gut zur Bildung einer Deckschicht, die auf den Vorgang der Selbst- oder Fremdinertisierung unterstützend wirkt (2 % bis 3 % Zumischung)
- Zu beachten ist, dass die Deckschicht auch hier durch einstürzendes Lagergut leicht aufgerissen werden kann
- Löschgel kann beim Kühlen von Nachbarobjekten zum Einsatz kommen (1 % bis 2 % Zumischung)

Gase mit Löschwirkung

- Als Löschgas bezeichnet man nicht brennbare Gase, die in der Lage sind das Verhältnis von Sauerstoff und brennbarem Stoff zu beeinflussen oder durch inhibierende Wirkung die freien Radikale / Moleküle, die zu einem Brand mit Flamme notwendig sind, unwirksam zu machen
- Einsatz von Löschgas ist nur in geschlossenen Räumen sinnvoll
- Gaseigenschaften müssen bei der Verwendung berücksichtigt werden

6. EINSATZTAKTIK

6.1 Allgemeine Verhaltensregeln

- Kein Personal in betroffene brennende Silos einfahren
- Ausleuchten der Arbeitsbereiche (Ex-Schutz beachten)
- Nur in den Bereichen die Spannungsversorgungen aufrechterhalten, die zur Einsatzabarbeitung notwendig sind
- Bei Arbeiten in Höhen immer Maßnahmen zur Absturzsicherung ergreifen
- Trümmerschatten von Silos / Silogebäuden beachten (Faustregel: 1,5 x Silohöhe h)
- Innerhalb des Trümmerschattens nur so viel Personal vorhalten wie direkt für die Maßnahme benötigt wird
- Bereitstellungsräume für freies Personal einrichten
- Aufenthalt vor Druckentlastungsöffnungen und Berstscheiben verboten
- Eventuell vorhandene Einsatz- und Alarmpläne (Feuerwehrplan) nutzen
- Einsatzleitung einrichten und mit umfassenden Dokumentationsaufgaben betrauen
- Zutrittskontrolle und Registrierung des Personals am Siloeingang
- Bilder, Besprechungsergebnisse sowie Gesprächsnotizen archivieren
- Messprotokolle führen und dokumentieren

6.2 Lagefeststellung / Erkundung

Der bekannte Führungsvorgang, als immer wiederkehrender Denk- und Handlungsprozess, kommt auch bei Einsätzen an Siloanlagen für die Führungskräfte zum Einsatz. Allerdings gilt es hier das Augenmerk auf spezielle Eigenschaften von Siloanlagen zu legen.

Allseitige Erkundung (4 Phasen der Erkundung)

1. Frontalansicht
2. Personen befragen
3. Eingangsbereich erkunden
4. Rundumsicht

Wichtige Erkundungsergebnisse

- Gefährdete Personen – Wie viele und welcher Aufenthaltsort?
- Informationen von Betriebsangehörigen!
- Welches Gut wird gelagert?
- Welche Mengen werden gelagert und in welcher Silozelle?
- Wie sind die Zugänglichkeiten?
- Wie ist der aktuelle Produktionsstand (laufende Maschinen usw.)?
- Aufbau des Silos?
- Förderwege? Wie wird das Material in das Silo eingebracht und wie wird es entnommen? Besteht die Möglichkeit parallel zur regulären Entnahmemöglichkeit das Silogut, z. B. ins Freie zu fördern?
- Verbindungen mit anderen Silos oder Bauteilen vorhanden?
- Stadium der thermischen Umsetzung des Brandgutes?
- Vorhandene Selbstschutzeinrichtungen?

Planung

Welche Gefahren sind erkannt?

Abb. 16
Gefahrenmatrix

Gefahren für	durch										
	Atemgifte	Ausbreitung	Angstreaktion	Atomare Strahlung	Chemische Gefahren	Erkrankung / Verletzung	Explosion	Elektrizität	Einsturz	?	
	A	A	A	A	C	E	E	E	E	?	
Welche Gefahren müssen bekämpft werden?											
Menschen											
Tiere											
Umwelt											
Sachwerte											
Vor welchen Gefahren müssen sich meine Einsatzkräfte schützen?											
Mannschaft											
Gerät											

Welche Gefahr ist die Hauptgefahr?

Atemgifte

Durch Brandrauch entstehen Atemgifte. Eine Kohlenmonoxidbildung (CO) bei Schwelbränden ist äußerst wahrscheinlich. Atemgifte entstehen aber auch durch den normalen Silobetrieb. Kohlendioxid (CO₂) entsteht durch den natürlichen Zersetzungsprozess und wird auch als Selbstinertisierung bezeichnet.

Atomare Strahlung

Messtechnik in Siloanlagen kann auf Strahlentechnik basieren. Hierbei können in einem Silo Sensoren verbaut sein, die durch geringe radioaktive Strahlung Messungen durchführen.

Beispiele: Zementwerk, Eisenverhüttung

Ausbreitung

Über Wärmestrahlung oder Transportwege ist die Ausbreitung eines Brandes möglich. Von außen ist die Brandstelle meist nicht sichtbar, da sich oftmals Glutkamine im Inneren des Silos bilden.

Zu beachten gilt, dass bei der Verwendung von Strahlrohren im Löschein-satz von außen, zusätzlich zum Löschwasser eine erhebliche Menge Luftsauerstoff (gem. US-Studien: 225 Liter O₂ / 1 Liter Löschwasser) in ein Silo eingeführt werden kann, was zur Bildung von Schwel- und Pyrolysegasen führen kann.

Angstreaktion

Angstreaktionen entstehen immer dann, wenn ungewöhnliche Ereignisse eintreten. Dies kann bei Siloanlagen auf Werk- und Betriebsgeländen für Mitarbeiter und Besucher zutreffen, die mit einem Schadensereignis konfrontiert werden.

Chemische Gefahren

Lagergut, zum Beispiel Düngemittel, zersetzt sich bei Hitzeeinwirkung. Es entstehen nitrose Gase. Gerade bei Düngemittelbränden ist aber auch auf eine Löschwasserrückhaltung zu achten, um keine chemischen Stoffe unkontrolliert in die Umgebung zu bringen.

Explosion

Durch Aufwirbelung von brennbarem Lagergut kann eine Staubexplosion hervorgerufen werden. Zusätzlich besteht die Gefahr von Schwelgas-Explosionen. Das Lagergut ist staubig, körnig, schrotig oder stückig und enthält bis zu 40 % Luftanteil in der Schüttung. Beim Transport des Lagergutes entsteht, durch mechanischen Abrieb, Staub, welcher wiederum zu einer gefährlichen Reaktion führen kann.

Elektrizität

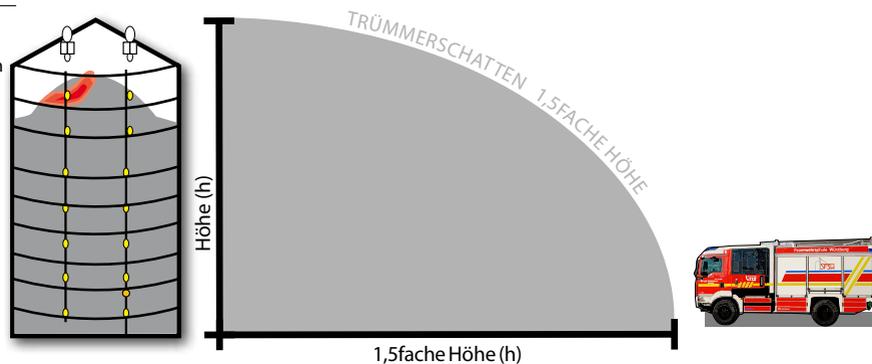
Betriebs- und prozesstechnische Anlagen werden gesteuert und über Elektrizität betrieben. Hier können sehr hohe Leistungen für den Prozess notwendig sein. Entsprechende Abstände gem. DIN VDE 0132 sind bei der Brandbekämpfung einzuhalten.

Einsturz

Durch Brand- und Explosionsereignisse können Bauteile geschwächt oder zerstört werden. Ein Einsturz von Gebäudeteilen oder ein Absturz von Mitarbeitern oder Feuerwehrdienstleistenden muss in der Einsatzplanung berücksichtigt werden.

Beim Einbringen von Löschwasser kann durch Aufquellen das Volumen des Lagergutes zunehmen, so dass die statische Belastung der umgebenden Wände enorm ansteigt. Hierdurch entsteht die Gefahr des Berstens bzw. des Einsturzes der Siloanlage!

Abb. 17
Trümmerschatten



Die Gefahr des Einsturzes kann sich ebenso bei der Einbringung von Löschwasser auf heißes Lagergut ergeben, da aus 1 Liter Wasser bei vollständiger Verdampfung ca. 1.700 Liter Wasserdampf werden. Zusätzlich zur Gefährdung der Einsatzkräfte durch Einsturz kann der Wasserdampf zu Verbrühungen führen.

Erkrankung / Verletzung

Durch Brand- und Explosionsereignisse können Mitarbeiter und Einsatzkräfte verletzt werden. Bei Silos hat man immer mit Aufenthaltsorte in großen Höhen am Silokopf oder Tiefen am Silofuß zu rechnen.

6.3 Brandbekämpfung

Verhinderung einer Staubexplosion

- Luftzug und Aufwirbelungen vermeiden
- Löschmittel nur drucklos aufbringen
- Vollstrahl vermeiden!
- Indirektes Aufbringen des Löschmittels – erst auf Umgebung und dann auf den Brandherd

Möglichst zeitnah handeln

- Betriebspersonal und sachkundige Fachberater einbinden
- Löschmittel festlegen und ggf. anfordern
- Eventuell zur Selbstinertisierung abdecken / Luftzufuhr unterbinden
- Temperaturmessung und evtl. Kühlmaßnahmen frühzeitig einleiten
- Zum Erhalt der Tragfähigkeit, Silowand bei Temperaturen größer 80° C kühlen

Umgang mit offenen Brandstellen

- Offene Brände umgehend ablöschen unter Berücksichtigung der Grundsätze von außen nach innen und von unten nach oben
- Alle Löschmittel drucklos aufbringen

Glimm- und Schwelbrände bedecken

- Mit einer Schaumschicht, Gelschicht, Löschpulver oder anderen geeigneten Mitteln abdecken

Anlagentechnik

- Alle Öffnungen erkunden und ggf. abdichten, wenn diese den Brandverlauf begünstigen
- Für eine Inertisierung müssen alle mögliche Öffnungen abgedichtet werden

Messungen

- Messung von Kohlenmonoxid und Kohlendioxid sowie Temperaturen
- Alle angrenzenden Räume messen.
- Atemschutz einsetzen

6.4 Brandbekämpfung durch Inertisierung

Die Taktik zur Inertisierung findet immer dann Anwendung, wenn eine drohende Explosion verhindert werden soll.

Abb. 18
Abdichtung des Silokopfes zur Reduzierung des Sauerstoffanteils



Allgemeines zur Inertisierung

- Nur bei Stoffen mit Sauerstoffbindung wirksam
- Verschließen von Öffnungen
- Nie Silokopf und Silofuß gleichzeitig öffnen
- Das Gas ist an mehreren Stellen gleichzeitig zubringen
- Messmittel vorhalten (Mehrgasmesstechnik, Wärmebildkamera usw.)
- Fachberater durch Gaslieferanten, Berufsgenossenschaft oder Betreiber anfordern
- Abdichtmaterialien wie Dichtkissen, Holzplatten, Silikon oder Schaum vorhalten
- Bei Oberflächenbränden, Anpackungen oder schlecht durchströmbaren Schüttgütern ist zusätzlich vom Silokopf her zu inertisieren
- Eine kontinuierliche Inertisierung ist anzustreben, somit ist immer eine ausreichende Stickstoffreserve vorzuhalten (evtl. mit Pufferspeichern arbeiten)

Eigeninertisierung

Unter Eigeninertisierung versteht man das Verschließen von Öffnungen am Silo, sodass dem Feuer durch Reduzierung bzw. Ausschluss lediglich der verbliebene Sauerstoff im inneren der Siloanlage zur Verfügung steht. Während des Verbrennungsvorgangs reduziert sich der verbliebene Sauerstoffanteil bei gleichzeitiger Erhöhung des Kohlenmonoxidanteiles in der Siloanlage. Durch diese Maßnahme wird der für die Verbrennung nötige Sauerstoff gebunden und steht dem weiteren Verbrennungsvorgang nicht mehr zur Verfügung.

Fremdinertisierung

Unter Fremdinertisierung versteht man das Einleiten von Stickstoff in eine Siloanlage, sodass eine Reduzierung der Sauerstoffkonzentration erreicht wird. Stickstoff kann im Aggregatzustand flüssig oder gasförmig eingeleitet werden. Die Anlieferung des Stickstoffs erfolgt in der Regel in flüssigem Zustand durch Tanklastzüge. Mit Hilfe einer Verdampfeinheit, siehe Kapitel 8 Inertisierungskonzept Bayern, wird die angelieferte Flüssigkeit in den gasförmigen Zustand überführt.

- Einsatz von Stickstoff ist zu bevorzugen
 - › Farb- und geruchloses Gas, geringfügig leichter als Luft
 - › Aus 1 kg Flüssigphase wird ca. 840 l Gas, dies entspricht ungefähr einem Volumen von 800 dm³ Gas
 - › Wirkt erstickend
 - › Gasförmiger Stickstoff muss von unten eingeleitet werden

Stickstoff (tiefgekühlt, flüssig)

UN-Nummer / CAS-Nummer: 1977 / 7727-37-9

Siedepunkt: -196 °C

- Stickstoffmengen zur Inertisierung um eine Konzentration von unter 8,0 Vol.-% Sauerstoff im Silo zu erhalten:
 - › Freier Silo-Kopfraum ca. 1,5 m³ Gas pro m³ freier Kopfraum (Luftraum)
 - › Aufgaberraten von 0,5 bis 1,0 m³ Inertgas pro m³ Schüttung oder Schüttgut
 - › Faustwert: 1 Tankzug flüssigen Stickstoff zur ersten Brandbekämpfung notwendig

Löschmaßnahme mit flüssigem Stickstoff

- Entnahmemöglichkeit aus Transportfahrzeug für flüssigen Stickstoff klären
 - › Pumpenantrieb durch Nebenantrieb des Tankzuges (keine externe Einspeisung erforderlich)
 - › Pumpenantrieb durch externe Versorgung (Anschluss klären, z. B. 63A)

- Prinzipiell sollte man immer die vor Ort max. verfügbare Stickstoffmenge einbringen, da die Standzeiten des Transportfahrzeuges sehr hohe Kosten verursachen
- Von Beginn an Messungen am Silokopf durchführen
- Sicherheitsbelehrung der Einsatzkräfte durchführen

Nebenbetrachtung

- Einsatz von Kohlendioxid
 - › Alternativ, nur wenn Stickstoff nicht zeitnah zur Verfügung steht
 - › Farb- und geruchsloses Gas, rund 50 % schwerer als Luft
 - › Aus 1 kg Flüssigphase wird ca. 540 l Gas, dies entspricht ungefähr einem Volumen von 0,5 m³ Gas
 - › Einbringung von oben
 - › Seebildung am Silofuß
 - › Nervengift (AGW 0,5 Vol.-% , akute Gefahr ab 6,0 Vol.-% , tödlich 10,0 Vol.-% , ETW-1 nicht festgelegt, ETW-4 10000 ppm)
 - › Zersetzung beginnt ab 1.200 °C
 - › Bei Kohlendioxideinsätzen in Verbindung mit Glutbränden ist auch immer mit Kohlenmonoxid zu rechnen! Kohlendioxid kann bei sehr hohen Temperaturen im Siloinneren zu explosivem Kohlenmonoxid reagieren

Kohlendioxid (tiefgekühlt, flüssig)

UN-Nummer: 2187

Siedepunkt: -78,5 °C

- Kohlendioxidmengen (gasförmig) zur Inertisierung auf eine Konzentration von weniger als 8,0 Vol.-% Sauerstoff:
 - › Freier Silo-Kopfraum ca. 1,0 m³ pro m³ freier Kopfraum
 - › Aufgaberraten von 0,5 bis 1,0 m³ Inertgas pro m³ Schüttung
 - › Haltezeit ca. 48 Stunden
- Einsatz von Edelgasen
 - › Nur bei Bränden von reaktiven Metallstäuben vertretbar (hier muss der Sauerstoffwert kleiner 4 Vol.-% angestrebt werden, um einen Löscherfolg zu erzielen)

6.5 Brandbekämpfung durch Ausfahren des Lagergutes

Vorgehensweise

- Verfahren grundsätzlich nur unter größter Vorsicht

- Ex-Schutz im Silo beachten (nur ex-geschützte Geräte einsetzen)!
- Auf Staubreduzierung achten, da eine mögliche Ex-Gefahr bis zur endgültigen Beseitigung der Zündquellen besteht
- Unter inerter Atmosphäre Möglichkeiten für Zerstörung von Lagergutbrücken und Anpackungen nutzen
- Löschbereitschaft von der Entnahmeöffnung bis zur Ablagerungsstelle herstellen
- Die Entnahme aus Silos sollte immer mittig erfolgen, da durch Gewichtsverlagerungen die Stabilität unter Umständen nicht mehr gewährleistet ist. Eine Restentleerung über speziell außermittig angebrachte Öffnungen oder über Notentnahmeöffnungen ist nur unter einem bestimmten minimalen Füllstand erlaubt. Der Kernfluss im Silo ist für die Statik und somit für die Standsicherheit wichtig!

Voraussetzungen für das Ausfahren des Lagergutes

- Platzreserven für ausreichend Lagergut schaffen
- Sauerstoffgehalt bei Inertisierung unter 8 Vol.-%. Jedoch ist zum Ausfahren des Lagergutes ein Sauerstoffgehalt von < 2 Vol.-% anzustreben
- Achtung! Kopfraum überwachen und Kopfraum evtl. gasförmig inertisieren
- Einsatzbereite Löschmaßnahmen vorhalten
- Geeignetes Gerät einsetzen (z. B. Schubkarren, Rutschen, mobile Förderbänder mit brandhemmendem Material usw.)
- Material zur Entfernung von Brücken
- Großgeräte einplanen (z. B. Radlader)
- Kontrollierte Lagergutentnahme durch Schieber, Zellenradschleusen oder sonstigen Einrichtungen
- Größe der Messsondenöffnungen ca. 2" = ca. 50 mm
- Messöffnungen wenn möglich nicht in der Nähe der Einblasestutzen wählen
- Messergebnisse protokollieren (Datum, Uhrzeit, genaue Messstellenbezeichnung, Messmittel, Messwert, Einheit, Produkt, Name des Messtrupführers)
- Temperaturmessungen mittels Heumesssonde, Wärmebildkamera oder sonstigen Temperaturmesssensoren
- CO Messung am Silokopf zur Beurteilung des Brandverlaufes. Für einen Löscherfolg muss sich der messbare CO Wert am Silokopf deutlich reduzieren
- Geeignete Messmittel verwenden. Im Bereich der CO Konzentration können sehr hohe Werte auftreten

Gefahrenhinweise

Beim Ausfahren des Lagergutes kann es zu erneutem Brand oder zu einer Staubexplosion kommen!

- Mit dem Ausräumen des Silos darf erst nach Löschen des Brandes begonnen werden
- Die Feststellung „Feuer aus“ erfolgt über die CO-Konzentration
- Eine dauerhafte CO-Konzentration < 30 ppm nach Beendigung der Inertisierung (keine Inertgasaufgabe mehr) deutet auf eine erfolgreiche Löschung hin
- Kann eine Löschung nicht erzielt werden, muss das Ausräumen des Silos unter Inertatmosphäre im Silo und unter Inertatmosphäre in den dazu benutzten Fördereinrichtungen erfolgen
- Durch den Glimmbrand können sich innerhalb des Silos sogenannte Brücken gebildet haben, die bei Entleerung des Silos einstürzen können und eine Staubaufwirbelung verursachen. Die Folge kann eine Staubexplosion sein, sofern keine Inertatmosphäre mehr gegeben ist
- Vor Beginn der Ausräumaktion sind die mit dem Silo verbundenen Räume auf Staubfreiheit zu kontrollieren und ggf. zu säubern. Hierbei müssen Staubaufwirbelungen unbedingt vermieden werden
- Beim Austragen des Schüttgutes muss durch geeignete Maßnahmen auch außerhalb des Silos die Bildung von gefährlichen Staub-Luft-Gemischen verhindert werden, z. B. durch Aufbringen eines Wasserschleiers

Grundsatz

Der Einsatzleiter muss beurteilen, wie sich die Möglichkeiten technisch umsetzen lassen. Die Kriterien Sicherheit, Aufwand, Schnelligkeit, Umweltverträglichkeit und mögliche Nebenerscheinungen müssen in die Beurteilung mit einfließen, um einen zielgerichteten Entschluss fassen zu können.

Hinweis: Messung der CO-Konzentration

Kohlenstoffmonoxid (CO), umgangssprachlich auch Kohlenmonoxid genannt, ist ein farb-, geruch- und geschmackloses Gas. Das hochgiftige CO entsteht, wenn kohlenstoffhaltige Stoffe bei unzureichender Sauerstoffzufuhr verbrannt werden, gast aber auch aus Produkten aus.

Der Kohlenmonoxid-Anteil in der Luft wird in der Regel mit ppm = „parts per million“ („Teile pro Million“) angegeben. In Promilleangaben entspricht 1 ppm = 0,001 ‰. Der Arbeitsplatzgrenzwert (AGW) für CO liegt bei 30 ppm bzw. 35 mg/m³.

Personen, die gegenüber einer erhöhten CO-Belastung von 150 bis 300 ppm exponiert sind, entwickeln Schwindelgefühle, Schläfrigkeit, Übelkeit und Erbrechen. Belastungen über 300 ppm führen schnell zur Bewusstlosigkeit und können in weiterer Folge sogar zum Tod führen.

Quelle: SiBe Report Nr. 2/2019

7. MESSEN

- Größe der Messsondenöffnungen ca. 2" = ca. 50 mm
- Messöffnungen, wenn möglich nicht in der Nähe der Einblasestutzen wählen



Abb. 19

Messung von Werten

- Messergebnisse protokollieren (Datum, Uhrzeit, genaue Messstellenbezeichnung, Messmittel, Messwert, Einheit, Produkt, Name des Messtruppführers)
- Temperaturmessungen mittels Heumesssonde, Wärmebildkamera oder sonstigen Temperaturmesssensoren
- CO-Messung am Silokopf zur Beurteilung des Brandverlaufes. Für einen Löscherfolg muss sich der messbare CO-Wert am Silokopf deutlich reduzieren
- Geeignete Messmittel verwenden. Im Bereich der CO-Konzentration können sehr hohe Werte auftreten. Dauermessungen mit geeigneten Vorstufen, wie zum Beispiel Messgastrockner versehen
- Auf Messbereich achten

Beispiel eines Messprotokolls:

Abb. 20
Beispiel eines
Messprotokolls

Lfd. Nr.	Datum	Uhrzeit	Bezeichnung der Messstelle	Messmittel	Messwert	Einheit	Produkt	Messtruppführer
1	01.01.14	07.58	3. Siloebene Treppenhaus	Prüfröhrchen Firma Nr. 3	20	Vol.%	CO	Muster-mann
2	01.01.14	08.30	Silofuß Zellenradschleuse	Mehrgasmessgerät Firma	5	ppm	O ₂	Muster-mann

Zusatz

Wenn möglich Messungen zur Überwachung der Statik des Silobauwerkes im Außenbereich durchführen. Veränderungen der Wände sowie der Standsicherheit stellen eine Gefährdung der Einsatzkräfte dar. Ebenso ist es wichtig auf Rissbildung oder Temperaturänderung der Silowände zu achten.

8. INERTISIERUNGSKONZEPT BAYERN

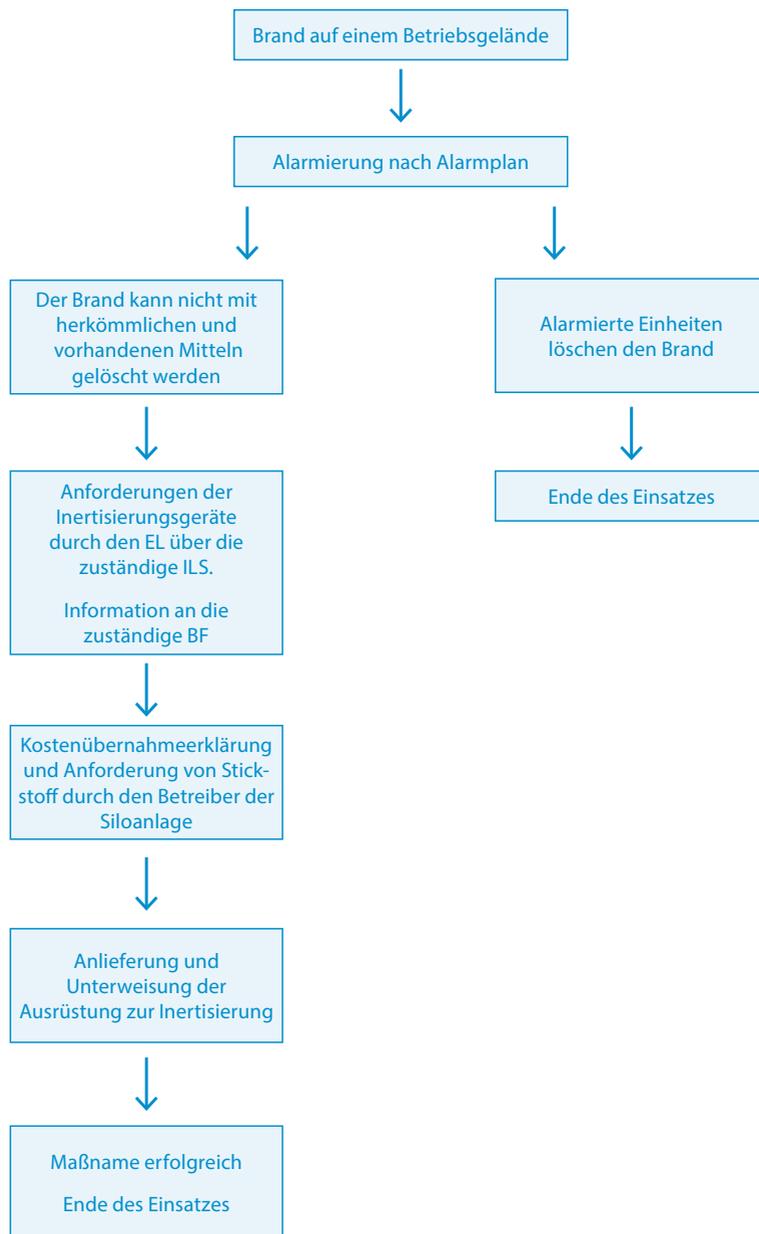
An den Standorten der Berufsfeuerwehr Regensburg sowie der Berufsfeuerwehr Würzburg ist jeweils ein Abrollbehälter „Verdampfungseinheit“ stationiert. Dieser kann über die jeweilig zuständige ILS im Einsatzbereich angefordert werden.

Zuständigkeitsbereich der Verdampfeinheiten:



Abb. 21
Einsatzbereich
Inertisierung

Ablaufschema Anforderung / Einsatz einer „Verdampfeinheit“



Mit dieser Einheit ist es möglich flüssigen Stickstoff zu verdampfen und mit den mitgeführten Schläuchen und Armaturen in die Silos einzuleiten.

Welche Maßnahmen müssen vor der Anforderung der Stickstoffverdampfeinheiten getroffen werden:

Siloaufbau geeignet für Inertisierung?

- Dichtheit muss gegeben sein (eventuell Maßnahmen zur Abdichtung ergreifen, Sandsäcke, Bauschaum o. ä. ...)! Siehe Abbildung 10 und Abbildung 18
- Messöffnungen vorhanden?
- Einbindung von Fachpersonal des Silobetreibers zur Erörterung der Maßnahme (die Druckbelastbarkeit des Silos muss geklärt werden)!
- Ordnung des Raumes und Freihaltung / Ausweisung von Aufstellflächen für die Inertisierungstechnik
 - › Stellplatz außerhalb des Trümmerschattens für den Abrollbehälter sowie für einen Puffertank und das Lieferfahrzeug
 - › Abrollbehälter Verdampfeinheit – Aufstellfläche (Länge x Breite = 20 m x 5 m)
 - › Max. 100 m Leitungslänge (B75 Leitung) vom Verdampfer zur Armaturentafel / Verteilung
 - › Max. 50 m formstabile Leitung pro Verdampfeinheit für die Zuführung des Stickstoffs von der Verteilung zur Einspeisestelle
 - › Zwischenpuffer für flüssigen Stickstoff (Länge x Breite = 5 m x 5 m)
 - › Welche Anschlussarmaturen hat der Gaslieferant an seinem Vorratstank?
 - › Anfahrtzonen für Stickstofflieferant
 - › Aufstellflächen mit geeigneter Belastbarkeit wählen

Technik

Ablauf der Einsatzmaßnahme Inertisierung nachdem die Realisierbarkeit und die Kostenübernahmeerklärung durch den Betreiber abgeklärt wurden:

- Bereitstellung von flüssigem Stickstoff durch einen Gaslieferanten
- Anlieferung der Verdampfungstechnik durch die jeweilige zuständige Berufsfeuerwehr (hier ist je nach Anfahrtszeit mit einer entsprechenden Vorlaufzeit zu planen)
- Gemeinsamer Aufbau der Verteilungstechnik für den gasförmigen Stickstoff durch die örtlich zuständige Feuerwehr. Mit einer Mindeststärke für die Unterstützung 1/5 wird unter Anleitung des Führungsdienstes der Berufsfeuerwehr und der Besatzung des Wechselladerfahrzeuges 1/1 der Berufsfeuerwehr die Einsatzbereitschaft hergestellt
- Montage der Stickstoffanschlüsse am Silo

Abb. 22 links
Stickstofftank

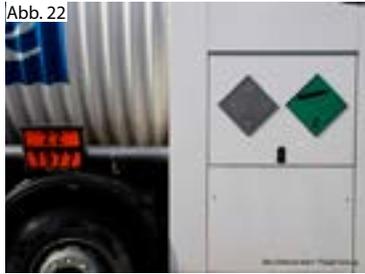


Abb. 23 rechts
Druckregelung am Verdampfer



Abb. 24 links
Druckregler

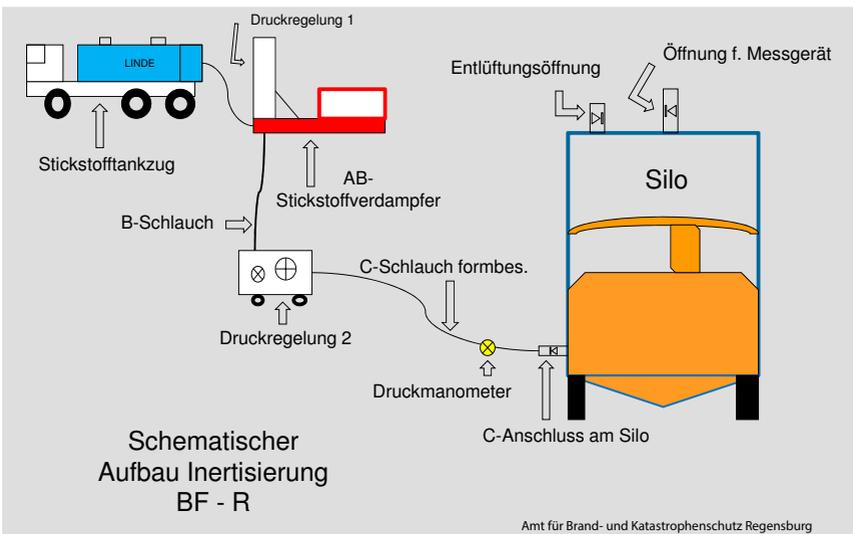


Abb. 25 rechts
Druckmanometer am Einspeiseschlauch



Abb. 26
Schematischer Aufbau
Quelle: Stadt Regensburg

Schematischer Aufbau



Bestandteile der Verdampfeinheit

Abrollbehälter Verdampfeinheit



Abb. 27
Bestandteile der Verdampfeinheit

Geräteraum G1

- Diverse Armaturen (B-Schläuche, Verteiler, Absperrorgane)
- Schläuche zur Verteilung des Stickstoffs



Geräteraum G2

- Löschschlange



Armaturentafel zur Verteilung des gasförmigen Stickstoffs



Diverse Anschlüsse um vorhandene Öffnungen am Silo für das Einbringen von Stickstoff vorzubereiten



Inbetriebnahme der Verdampfereinheit

Abb. 28
Inbetriebnahme der Verdampfereinheit

<p>Schritt 1</p> <p>Anlieferung des flüssigen Stickstoffs (LIN) und Anbindung des Lieferfahrzeuges an die Verdampfereinheit</p>	
<p>Schritt 2</p> <p>Vorbereitung der Anschlüsse am Silo</p>	
<p>Schritt 3</p> <p>Verbindung des Verdampferausgangs mit der Armaturentafel</p> <p>Maximale Leitungslänge: 100 m B75</p> <p>Fortleitung von der Armaturentafel (rechts) in zweifacher Ausführung zum Silo</p> <p>Maximale einfache Leitungslänge: 50 m Ausführung: Formstabile Leitung</p>	
<p>Schritt 4</p> <p>Verlegung der formstabilen Verbindungsleitung von der Armaturentafel zum Silo</p> <p>Die Messtechnik zur Drucküberwachung wird in die Leitung eingekuppelt</p>	
<p>Schritt 5</p> <p>Anschluss der GAN Leitung (Stickstoff gasförmig) an die Anschlüsse des Silobauwerks</p>	

9. TABELLEN UND STOFFDATEN

Abb. 28
Tabellen und Stoffdaten

Materialbezeichnung	Eigenschaft	Ca. Schüttgewicht in t/m ³	Bemerkung
Aluminiumspäne	lang	0,13	
Braugerste	trocken	0,65	
Braugerste	nass	0,95	
Gerste		0,6 – 0,72	
Getreide, feucht	feucht	0,88 – 0,96	
Getreide, Mehl	Mehl	0,61 – 0,64	
Getreide, Schrot	Schrot	0,67 – 0,69	
Getreide, trocken	trocken	0,40 – 0,48	
Holzmehl		0,25 – 0,60	
Holzschnitzel		0,12 – 0,30	
Holzspäne		0,20 – 0,40	
Kohle	trocken, Braunkohle	0,65	
Kompost		0,48 – 0,80	
Mehl	lose	0,42 – 0,50	
Ölsaart		0,70	
Ölsaatschrot		0,50	
Presskohle		1,0	
Raps		0,56 – 0,60	
Sojabohnen	gebrochen	0,40 – 0,70	
Stahlspäne		1,60 – 2,40	
Stroh	gepresst	0,28	
Stroh	lose	0,05	
Zellulose		0,37	

Umrechnungsfaktoren

Gasförmiger Stickstoff in flüssigen Stickstoff	= 1,19 kg/m ³
Gasförmiges Kohlendioxid in flüssiges Kohlendioxid	= 1,85 kg/m ³

Benötigte Inertgasmengen – Beispielrechnung nach DMT

Siloabmessung:	Höhe = 40 m, Durchmesser = 8 m
Siloquerschnittsfläche = (ASilo)	Durchmesser x Durchmesser x 3,14 (Kreiszahl) Beispielrechnung: $8\text{ m} \times 8\text{ m} \times 3,14 = 50\text{ m}^2$
Silogesamtvolumen = (VGes)	Volumen = Fläche x Höhe Beispielrechnung: $50\text{ m}^2 \times 40\text{ m} = 2.000\text{ m}^3$
Füllstand (VLagergut) =	z. B. 60 % Beispielrechnung: $2.000\text{ m}^3 \times 0,6 = 1.200\text{ m}^3$
Inertgasmenge für Kopfraum (VKopf) = (VGes-VLagergut)	VKopf x 1,5 m ³ Stickstoff/m ³ Luftraum Beispielrechnung: $800\text{ m}^3 \times 1,5 = 1.200\text{ m}^3$
Aufgaberate Inertgas für Schüttung (VSchüttung) =	VSchüttung x 0,5 m ³ Stickstoff/m ³ Schüttung Beispielrechnung: $1.200\text{ m}^3 \times 0,5 = 600\text{ m}^3$
Abgaberate für Silo (QInertisierung) =	Max. 250 m ³ /h max. Leistung Verdampfeinheit
Zeit für eine Durchströmung Inertisierung =	(VKopf + VSchüttung) / QInertisierung Beispielrechnung: $1.800\text{ m}^3 / 250\text{ m}^3/\text{h} = 7,2\text{ h} \hat{=} 1\text{ Zyklus}$

Empfohlene Inertisierungszeit errechnet sich nach Volumenaustausch im Silo. Bei angenommenen 10 Zyklen errechnet sich eine Inertisierungszeit von 72 Stunden. Es sind mehrere Zyklen der Gaseinströmung notwendig, um die gewünschte Sauerstoffkonzentration im Silo zu erreichen.

$$72\text{ h} \times 250\text{ m}^3/\text{h} = 18.000\text{ m}^3 + \text{Inertgasmenge für Verluste durch Undichtigkeit}$$

Ergebnis der Stickstoffberechnung aus der Beispielrechnung:

$$18.000\text{ m}^3 \times 1,19\text{ kg/m}^3 = 21.420\text{ kg ca. } 22\text{ t} + \text{ zum Beispiel } 5\% \text{ Verluste}$$

Eine Gesamtmenge von mindestens ca. 23 Tonnen flüssiger Stickstoff muss zur Verfügung gestellt werden.

10. NOTRUFNUMMERN

10.1 Lieferanten für flüssigen Stickstoff

- Firma Linde AG
 - › Telefon: 089 7446-2110
 - › Telefon: 089 7446-2333
- Firma Air Liquide Deutschland GmbH
 - › Telefon: 01805 826282
- Firma Messer Industriegase GmbH
 - › Telefon: 06196 7760-200

10.2 Fachberatung vor Ort

- Firma DMT GmbH (Notrufnummer für Fachberatung und Expertise)
 - › Telefon: 0231 5333-237
- Bayerischer Müllerbund e. V. - Landesverband bayerischer Mühlen
 - › Telefon: 089 2811-55

IMPRESSUM

Herausgeber: Staatliche Feuerweherschule Würzburg,
Weißenburgstr. 60, 97082 Würzburg

Mitwirkung: DMT Herr Kayser;
Messer AG Austria;
Landesfeuerwehrverband Niederösterreich;
Landesfeuerwehrverband Bayern e. V.;
BayWa AG;
Müllerbund Bayern;
Dr. rer. nat. M. Wenzel;
Berufsgenossenschaft Nahrungsmittel und
Gastgewerbe;
BF Würzburg und BF Regensburg

Gestaltung: Staatliche Feuerweherschule Würzburg,
Sachgebiet Lehr- und Lernmittel

Druck: Hinckel-Druck GmbH; Wertheim

Version: 4.0

Auflage 10.000, 05/2019

feuerwehr-lernbar.bayern

Kosten abhängig vom
Netzbetreiber

