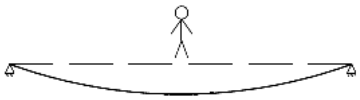
Siloschäden

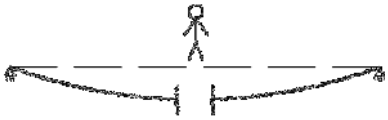
Was können wir daraus fürs Leben lernen?

Grundlegende Begriffe

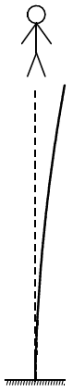
Gebrauchstauglichkeit



Tragfähigkeit (Spannungsversagen)



Tragfähigkeit (Stabilitätsversagen)



Grundlegende Begriffe

Sicherheitskonzept : Teilsicherheitskonzept

Lastseite: $\gamma_f = 1{,}00 – 1{,}50$

Widerstandsseite (Material): $\gamma_m = 1{,}00 – 1{,}50$

Silo (Urspung spanisch): Getreidegrube

Silos erfüllen eine extrem wichtige Aufgabe bei der Sicherstellung der Ernährung.

Entsprechend der ursprünglichen Bedeutung sind Silos Gruben, in denen das Getreide gespeichert und unter Begrenzung von Luftzutritt konserviert wird.

Silo (Urspung spanisch): Getreidegrube

Heute werden Silos zur Lagerung unterschiedlichster Produkte eingesetzt:

- Landwirtschaft
- Chemie
- Industrie
- …..

Silo (Urspung spanisch): Getreidegrube

Heute werden Silos zur Lagerung unterschiedlichster Produkte eingesetzt.

Infolgedessen haben sich eine Vielzahl von Bauwerksformen entwickelt.

Silo (Urspung spanisch): Getreidegrube

Heute werden Silos zur Lagerung unterschiedlichster Produkte eingesetzt.

Infolgedessen haben sich eine Vielzahl von Bauwerksformen entwickelt.

	Durchmesser	Zellenhöhe
Chemische Industrie	< 8 m	< 20 m
Getreidesilos	< 25 m	< 25 m
Bergbau, Klinkersilos	< 35 m	< 40 m

Silo (Urspung spanisch): Getreidegrube

Silo (Ursprung spanisch): Getreidegrube

Ei

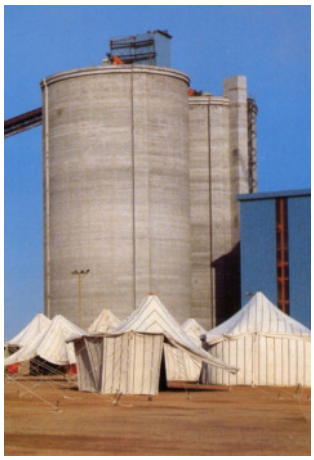
Durchmesser	d = 44,5 mm
Radius	r = 22,25 mm
Dicke	t = 0,55 mm
	r / t = 41

Alu-Silo

Radius	r = 2150 mm
Dicke	t = 10,5 mm
	r / t = 205

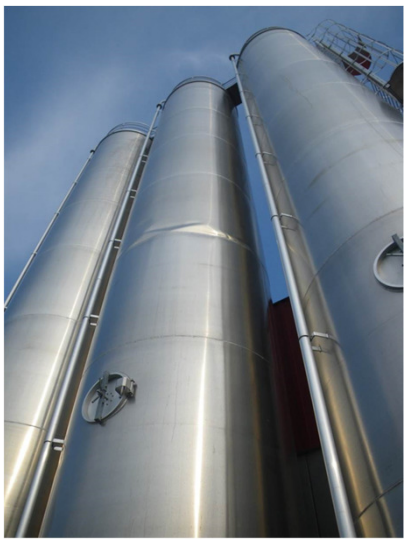
Silotypen

Silotypen

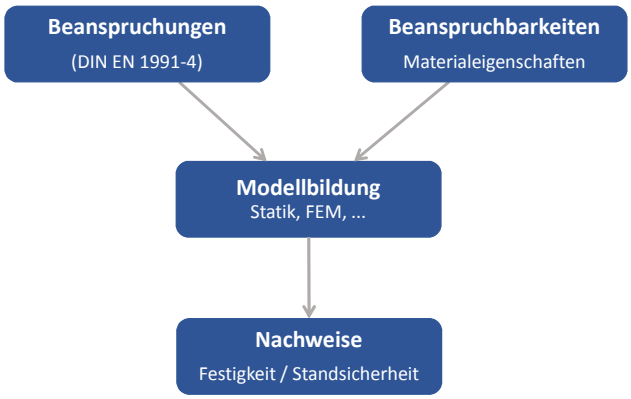


Silotypen

Silotypen



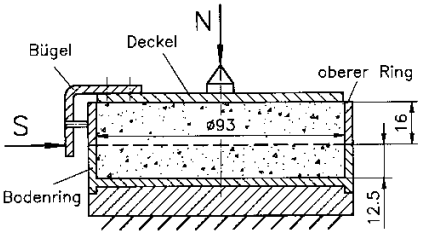
Nachweisführung am Silo

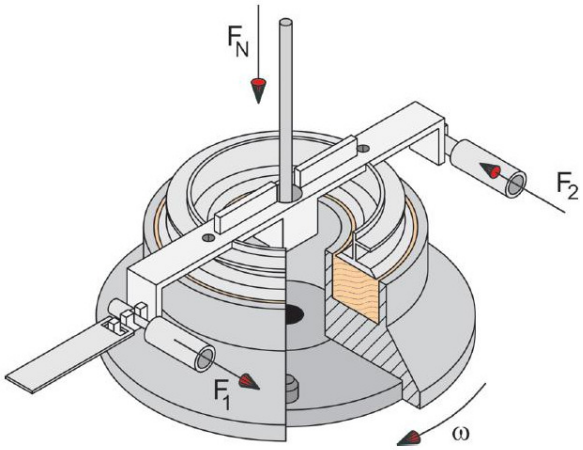


Parameter Schüttgut

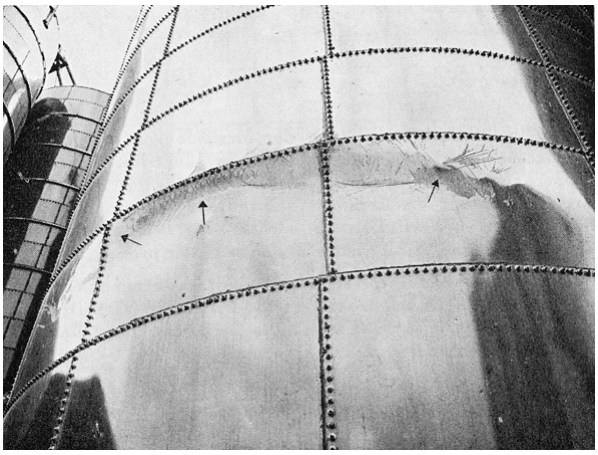
Art des Schüttgutes [d,e]	Wichte [b] γ		Böschungswinkel ϕ_r	Winkel der inneren Reibung ϕ_i		Horizontallastverhältnis K		Wandreibungskoeffizient [c] μ ($\mu = \tan \phi_w$)				Kennwert für Teilflächenlast C_{op}
	γ_ℓ	γ_u	ϕ_r	ϕ_{im}	a_ϕ	K_m	a_K	Wandtyp D1	Wandtyp D2	Wandtyp D3	a_μ	
	unterer Wert	oberer Wert		Mittelwert	Umrechnungsfaktor	Mittelwert	Umrechnungsfaktor	Mittelwert	Mittelwert	Mittelwert	Umrechnungsfaktor	
	kN/m³	kN/m³	Grad	Grad								
Allgemeines Schüttgut [a]	6,0	22,0	40	35	1,3	0,50	1,5	0,32	0,39	0,50	1,40	1,0
Betonkies	17,0	18,0	36	31	1,16	0,52	1,15	0,39	0,49	0,59	1,12	0,4
Aluminium	10,0	12,0	36	30	1,22	0,54	1,20	0,41	0,46	0,51	1,07	0,5
Kraftfuttermischung	5,0	6,0	39	36	1,08	0,45	1,10	0,22	0,30	0,43	1,28	1,0
Kraftfutterpellets	6,5	8,0	37	35	1,06	0,47	1,07	0,23	0,28	0,37	1,20	0,7
Gerste ✪	7,0	8,0	31	28	1,14	0,59	1,11	0,24	0,33	0,48	1,16	0,5
Zement	13,0	16,0	36	30	1,22	0,54	1,20	0,41	0,46	0,51	1,07	0,5

Parameter Schüttgut



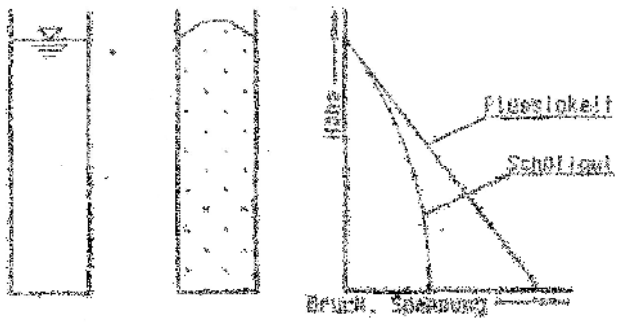


Beulen eines Getreidesilos



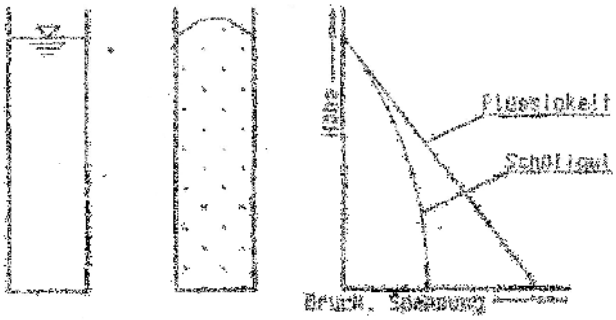
Berechnungsverfahren zur Spannungsermittlung Janssen- Verfahren (Scheibenelementmethode)

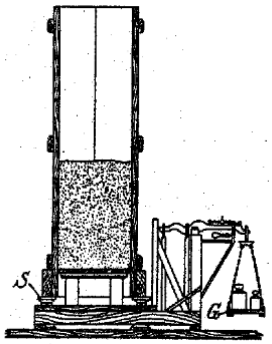
Aus der Janssengleichung folgt der Druck- bzw. Spannungsverlauf in einem Silo



Berechnungsverfahren zur Spannungsermittlung Janssen- Verfahren (Scheibenelementmethode)

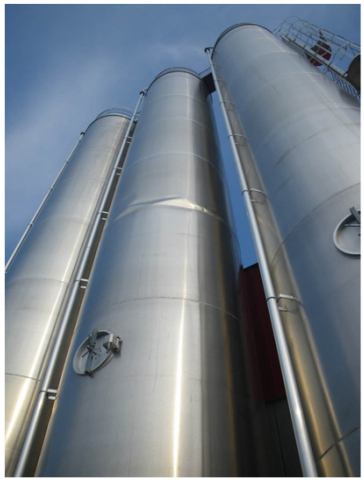
Aus der Janssengleichung folgt der Druck- bzw. Spannungsverlauf in einem Silo





Aus: H.A. Janssen, Zeitschr. d. Vereines deutscher Ingenieure 39, 1045 (1895)

Silo



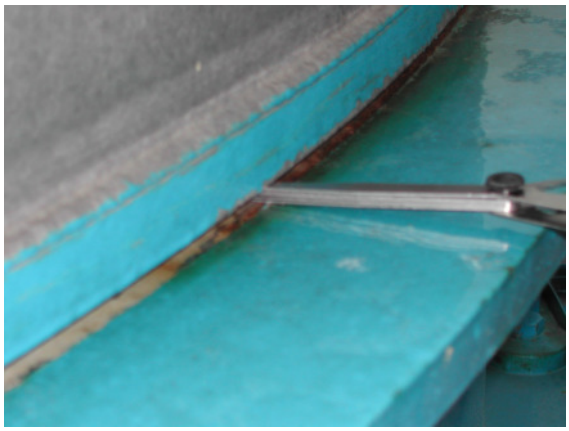
Tank

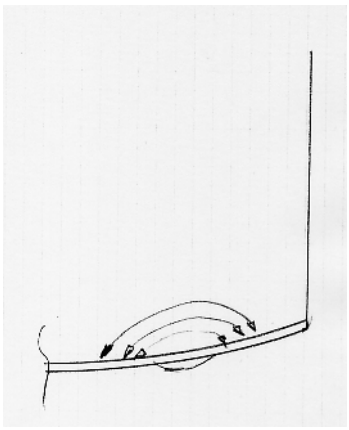
Fertigungsfehler

Fertigungsfehler Qualifizierung des Fertigungsbetriebes?

Toleranzen / Schnittstellenproblematik

Toleranzen / Schnittstellenproblematik





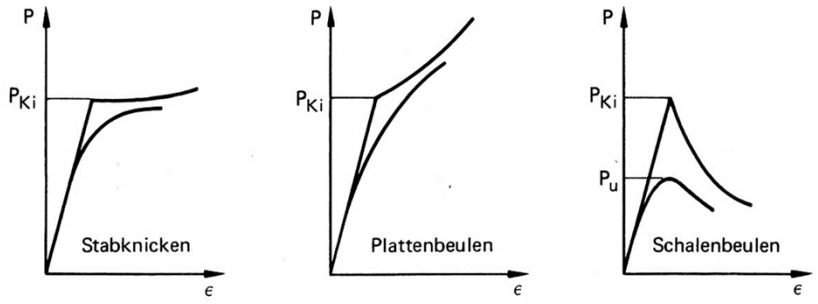
Beulen

- Axialbeulen

- Umfangsbeulen

Beulen

Stabilität der Schale hängt in hohem Maß von den vorliegenden Imperfektionen ab!



Fertigungsüberwachung!

Beulen

Stabilität der Schale hängt in hohem Maß von den vorliegenden Imperfektionen ab!

Fertigungsüberwachung!

Beulen

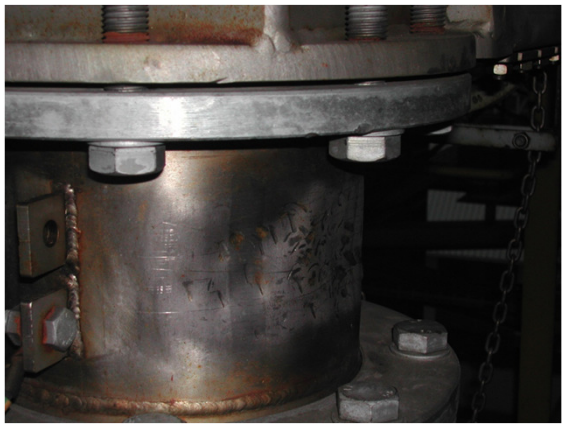
Problem: Stabilitätsproblem
Versagen ohne Vorankündigung

Beulen

Axialbeulen

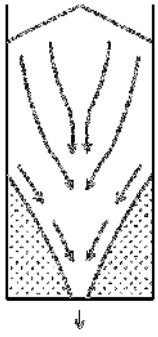
Beulen

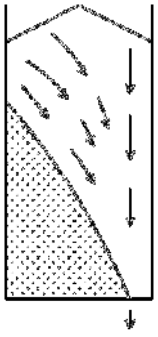
Axialbeulen, falsche Bedienung
Gebrauchstauglichkeitsproblem wird zum Stabilitätsproblem



Falsche Bedienung / Manipulation an dem BW

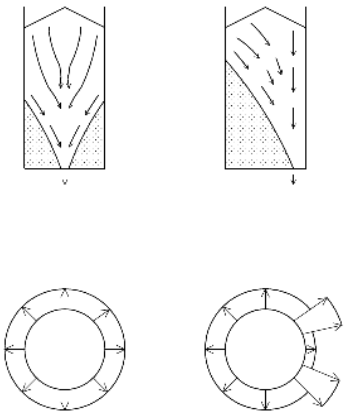
Erzeugen großer Entleerungsexzentrizitäten





Das geschieht auch ungewollt!

Erzeugen großer Entleerungs-exzentrizitäten

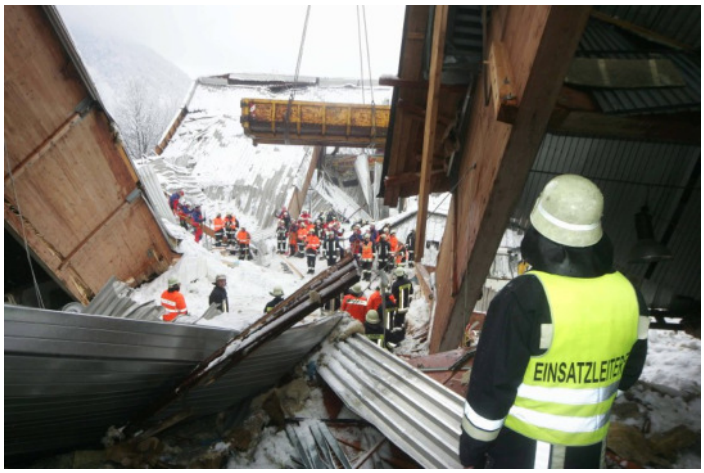


Große Entleerungsexzentrizitäten

Große Entleerungsexzentrizitäten

Große Entleerungsexzentrizitäten

Konzept der VDI 6200 / Bauwerksprüfungen



Konzept der VDI 6200 /Bauministerkonf. 2006

BAUMINISTERKONFERENZ

KONFERENZ DER FÜR STÄDTEBAU, BAU- UND WOHNUNGSWESEN ZUSTÄNDIGEN MINISTER UND SENATOREN DER LÄNDER (ARGEBAU)

Hinweise für die Überprüfung der Standsicherheit von baulichen Anlagen durch den Eigentümer/Verfügungsberechtigten

Fassung September 2006

ICS 91.120.01 | VDI-RICHTLINIEN | Februar 2010 / February 2010

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE	Standsicherheit von Bauwerken Regelmäßige Überprüfung Structural safety of buildings Regular Inspections	VDI 6200 Ausg. deutsch/englisch Issue German/English

Die deutsche Version dieser Richtlinie ist verbindlich. | The German version of this guideline shall be taken as authoritative. No guarantee can be given with respect to the English translation.

Konzept der VDI 6200 /Bauministerkonf. 2006

1. Vorbemerkung

K(

ZU:

Nach § 3 Abs. 1 der Musterbauordnung (MBO) sind bauliche Anlagen u. a. so instand zu halten, dass die öffentliche Sicherheit und Ordnung, insbesondere Leben, Gesundheit und die natürlichen Lebensgrundlagen, nicht gefährdet werden.

Hinv

Seit jeher trägt daher der Eigentümer/Verfügungsberechtigte die Verantwortung für die ordnungsgemäße Instandhaltung, d. h. Wartung, Überprüfung und ggf. Instandsetzung, und die Verkehrssicherheit der baulichen Anlage. Das gilt gleichermaßen für bauliche Anlagen von privaten Eigentümern/Verfügungsberechtigten wie von Bund, Ländern oder kommunalen Körperschaften.

Konzept der VDI 6200 / Baumi. 2006

- Methodisches Konzept zur Bestimmung eines systematischen Risikomanagement
- Basis: Regelmäßige Überprüfungen
- Ergebnis der Überprüfungen
- Sicherheitsdefizite
- Restsicherheiten
- Sanierungsplanung

Konzept der VDI 6200 / Baumi. 2006

- Einstufung in Schadensfolgeklasse (CC) und Robustheitsklasse (RC)
- Zeitintervalle der Prüfungen = f(CC; RC; Alter; Erhaltungszustand; …)
- Einstufung erfolgt in der Planungsphase bzw. bei der Erstprüfung

Schadensfolgeklasse (CC)

Schadens-folgeklasse	Merkmale	Gebäudetypen und exportierte Bauteile	Beispielhafte Bauwerke
CC 3 Kategorie 1	hohe Folgen (Schäden an Leben und Gesundheit für sehr viele Menschen, große Umweltschäden)	insbesondere: Versammlungsstätten für mehr als 5000 Personen	Stadien, Kongresshallen, Mehrzweckarenen
CC 2 Kategorie 2	mittlere Folgen (Schäden an Leben und Gesundheit für viele Menschen, spürbare Umweltschäden)	bauliche Anlagen mit über 60 m Höhe Gebäude und Gebäudeteile mit Stützweiten größer 12 m und/oder Auskragungen größer 6 m sowie großflächige Überdachungen exponierte Bauteile von Gebäuden, soweit sie ein besonderes Gefährdungspotenzial beinhalten	Hochhäuser, Fernsehtürme Bürogebäude, Industrie- und Gewerbebauten, Kraftwerke, Produktionsstätten, Bahnhofs- und Flughafengebäude, Hallenbäder, Einkaufsmärkte, Museen, Krankenhäuser, Kinos, Theater, Schulen, Diskotheken, Sporthallen aller Art, z.B. für Eislauf, Reiten, Tennis, Radfahren, Leichtathletik große Vordächer, angehängte Balkone, vorgehängte Fassaden, Kuppeln
CC 1	geringe Folgen (Sach- und Vermögensschäden, geringe Umweltschäden, Risiken für einzelne Menschen)	robuste und erfahrungsgemäß unkritische Bauwerke mit Stützweiten kleiner 6 m Gebäude mit nur vorübergehendem Aufenthalt einzelner Menschen	Ein- und Mehrfamilienhäuser landwirtschaftlich genutzte Gebäude

VDI 6200 - Regelmäßige Überprüfungen

- Begehung durch den Eigentümer
- Inspektion durch eine fachkundige Person
- Eingehende Überprüfung durch eine besonders fachkundige Person
- Vertiefte Untersuchungen / Sanierungsplanung Sicherheitsmanagement

VDI 6200 - Zeitintervalle für Prüfungen

Anhaltswerte

Schadensfolgeklassen	Begehung durch den Eigentümer	Inspektion durch eine fachkundige Person	Eingehende Überprüfung durch eine besonders fachkundige Person
CC 3	1 bis 2 Jahre	2 bis 3 Jahre	6 bis 9 Jahre
CC 2	2 bis 3 Jahre	4 bis 5 Jahre	12 bis 15 Jahre
CC 1	3 bis 5 Jahre	nach Erfordernis	

VDI 6200 - Prüfpersonal

Fachkundige Person

- Bauingenieur / Architekt
- min. 5 Jahre Berufserfahrung
- min. 3 Jahre Tragwerksplanung
- technische Bauleitung
- Erfahrung mit vergleichbaren Konstruktionen

Besonders fachkundige Person

- Bauingenieur / Architekt
- min. 10 Jahre Berufserfahrung
- min. 5 Jahre Tragwerksplanung
- technische Bauleitung
- Erfahrung mit vergleichbaren Konstruktionen

Bauwerksprüfungen

Bauwerksprüfungen

Bauwerksprüfungen

Staubexplosion

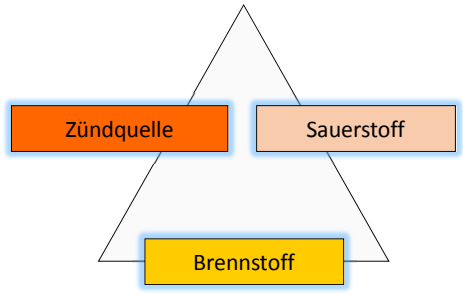
Staubexplosion

Gefahr der Staubexplosion

- Besteht bei einer Vielzahl von Silos, wenn unter bestimmten Bedingungen Schüttgüter eingelagert werden
- Staubexplosionsgefahren infolge Schüttgüter wird oft unterschätzt Gefahr wird möglicherweise nicht erkannt

Notwendigen Bedingungen nach „Gefahrendreieck“

- Brennstoff (brennbarer Staub)
- Sauerstoff
- Zündquelle



Hinreichende Bedingungen

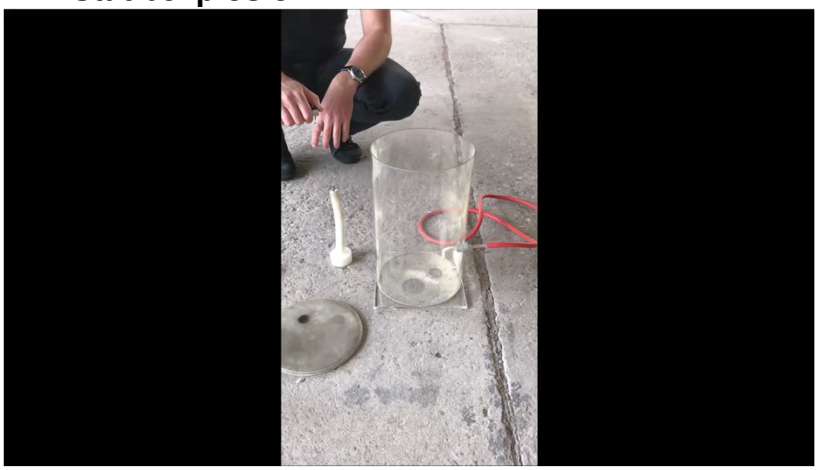
- geeignetes Verhältnis zwischen Brennstoff und Sauerstoff (Gemisch)
- ausreichende Energiekonzentration der Zündquelle

Staubexplosion

Versuch Staubexplosion

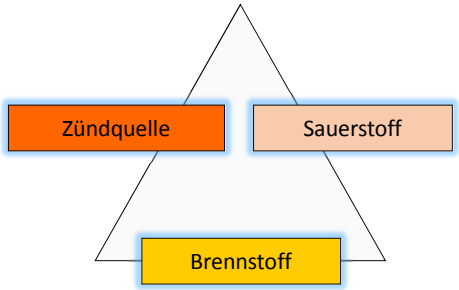
Staubexplosion

Versuch Staubexplosion



Primärmaßnahme

Verhinderung der Zündquelle



In vielen Fällen nicht gänzlich aus-zuschließen.

Begleitende Maßnahmen:
Beseitigung von Staubablagerungen, Wartung der Anlage, …

Sekundäre Maßnahmen: Konstruktiver Explosionsschutz

- Auslegung auf maximalen Explosionsdruck
- Anordnung von Druckentlastungsflächen, Bemessung auf den reduzierten Explosionsdruck p_{red}

Entlastungselemente

Situationseinschätzung!

Pressemeldung Landgericht Mainz

Urteil zum Aktenzeichen 2O 154/12

Landgericht

Mainz

Tatbestand

Die Parteien streiten um Schadensersatzansprüche aus einem Explosionsereignis vom 30.11.2008 in Worms-Rheindürkheim.

An diesem Tag brannte auf dem Betriebsgelände der Beklagten zu 1), die in Worms-Rheindürkheim eine Mälzerei betreibt, in der Braugerste zu Malz verarbeitet wird, ein Silo zur Lagerung von Malzpellets. Der Beklagte zu 2), der

Am Abend des 29.11.2008 hatte sich die Revisionsklappe rotglühend verfärbt. Der Beklagte zu 2 ließ daher gegen 17.00 Uhr alle Klappen des Silos schließen, um durch die Unterbrechung der Sauerstoffzufuhr den Brand zu ersticken. Gegen 21.00 Uhr hatte sich die Revisionsklappe etwas abgekühlt, um 0.30 Uhr war sie aber erneut rotglühend.

Situationseinschätzung!

Pressemeldung Landgericht Mainz

Urteil zum Aktenzeichen 2O 154/12

Landgericht

Mainz

Gegen 5.00 Uhr am Morgen des 30.11.2008 wurde der Beklagte zu 2) unterrichtet, dass die Klappe wieder rot sei. Er begab sich zum Betriebsgelände und beschloss, über einen ihm bekannten Feuerwehrmann aus O. an Stickstoff zu gelangen, um damit den Brand zu löschen. Da ihm gesagt wurde, dass Stickstoff nur an Feuerwehren ausgeliefert werde, setzte sich der Beklagte zu 2) mit der Berufsfeuerwehr Worms und der Freiwilligen Feuerwehr Worms-Rheindürkheim in Verbindung, die um 6.47 Uhr auf dem Betriebsgelände erschienen. Ein Mitarbeiter der Berufsfeuerwehr bestellte unmittelbar nach der Brandmeldung bei der Firma Linde, die ebenfalls in Worms ein Betriebsgelände unterhält, Stickstoff zur Brandbekämpfung.

Situationseinschätzung!

Pressemeldung Landgericht Mai

Urteil zum Aktenzeichen 2O 154/12

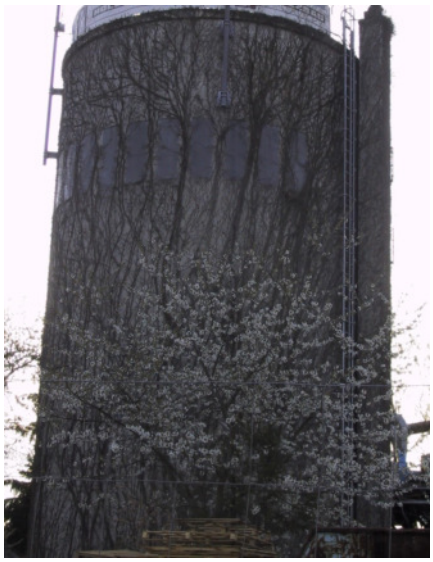
Landgericht

Mainz

Einige Zeit später erschien der später verstorbene Zeuge J von der Berufsfeuerwehr Worms am Brandort und übernahm die Einsatzleitung. Er fragte den Beklagten zu 2), welche Menge Pellets sich noch im Silo befinde und erhielt zur Antwort, dass es sich etwa um 500 bis 600 kg handele. Daraufhin beorderte der Einsatzleiter zwei Feuerwehrleute auf das Dach des Silos und ließ die Luken, die sich nicht öffnen ließen, zertrümmern, damit der Rauch aus dem Innern des Silos abziehen konnte. Anschließend wurde versucht, von oben mittels Vollstrahls aus einem C-Rohr ohne Mundstück den Brand zu löschen. Nach einigen Minuten wurde die Klappe unten geöffnet. Da kein Material austrat, wurde auf Anweisung des Einsatzleiters nunmehr mit einem Vollstrahl von unten Wasser in das Silo gegeben, um damit eine über der Klappe befindliche Materialbrücke zu zerstören. Infolgedessen rutschte eine gewisse Menge breiigen Materials aus dem Silo. Im Anschluss daran wurde wiederum mit einem Vollstrahl von oben erneut in das Silo gehalten, um weitere Anhaftungen am Rand der Silowand zu lösen. Dabei kam es zu einer Explosion. Durch diese Explosion wurde der auf dem Dach befindliche Feuerwehrmann H getötet und der ebenfalls dort befindliche Feuerwehrmann K schwer verletzt. Elf weitere Feuerwehrleute und der Einsatzleiter selbst wurden zum Teil schwer verletzt.

Staubexplosion

Wartung der Einrichtungen zum Schutz gegen Staubexplosion!



Zusammenfassung

- Lastannahmen / Eingangsparameter prüfen
- Bau-, Fertigungsüberwachung / Präqualifikationen der Firmen
- Toleranzen / Schnittstellenproblematik
- Wartungsmängel
- Bedienungsmängel (Bedieungsanleitungen / Betriebshandbücher)
- Regelmäßige Bauwerksprüfungen