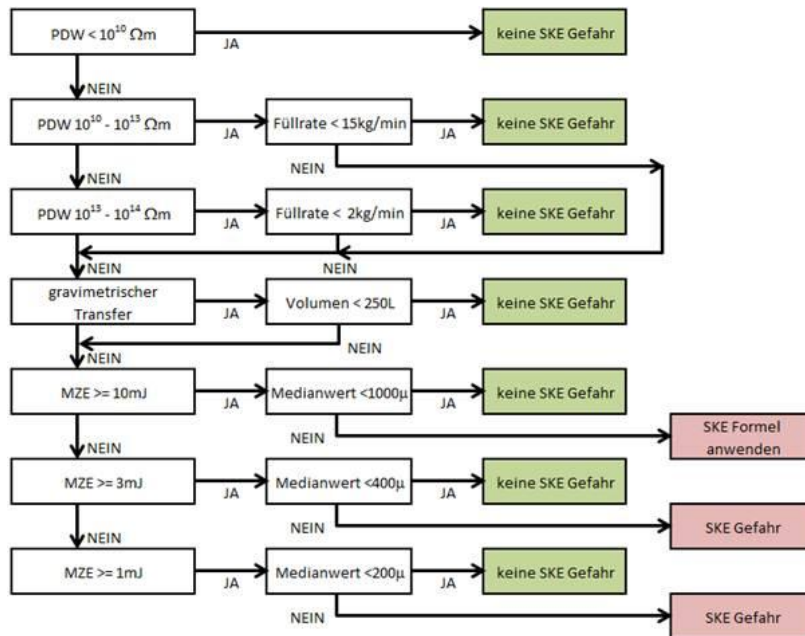




Process Safety

Mehr Sicherheit.
Mehr Wert.



Verfeinerte Betrachtung der Schüttkegelentladung dank Modellierung

Dr. Serge Forestier

Infotag Swissi Process Safety
17.09.2015



1. Beurteilung
2. Erste Annäherung
3. Was machen wir jetzt?
4. Formalisierung



1. **Beurteilung**
2. Erste Annäherung
3. Was machen wir jetzt?
4. Formalisierung

Was sind Schüttkegelentladungen?



Process Safety

Beschreibung

Eine Schüttkegelentladung kann auftreten, wenn ein isolierendes Pulver in einem Behälter grosser Kapazität gelagert wird.

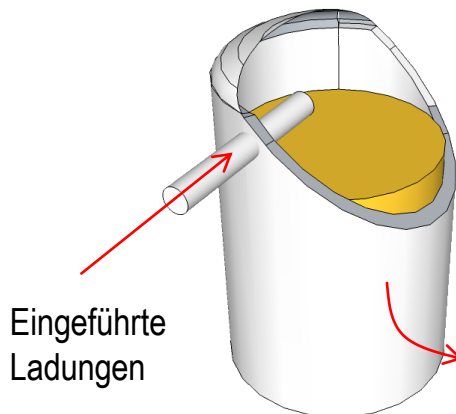
- ▶ Silo
- ▶ FIBC
- ▶ Zwischentank
- ▶ ...



Ineris

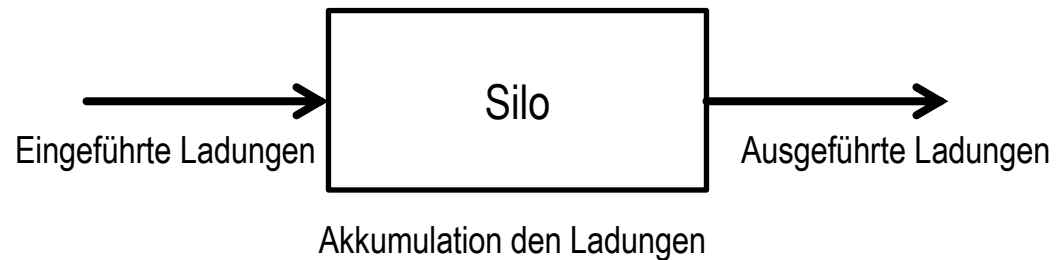
Phänomenologie

Die Reibung des Pulvers gegen die Wand des Rohrs lädt die Partikel.



Eingeführte
Ladungen

Ausgeführte Ladungen



Was sind Schüttkegelentladungen?



Process Safety

Auftreten

Das Feld erreicht mehr als 3 MV/m an der Wand. Eine Entladung tritt auf.



Energie einer Schüttkegelentladung

Gerechnet nach Glor et al. (Glor und Lüttgens, 1989; Glor, 2001)

$$W = 5.22 \times D^{3.36} \times d^{1.49}$$

► Gerundet über verschiedene Versuchsprüfungen.

Parameter	Meinung	Einheit
W	Energie	mJ
D	Durchmesser des Silos	M
d	Durchmesser der Partikel	mm



1. Beurteilung
2. Erste Annäherung
3. Was machen wir jetzt?
4. Formalisierung

Was sind Schüttkegelentladungen?

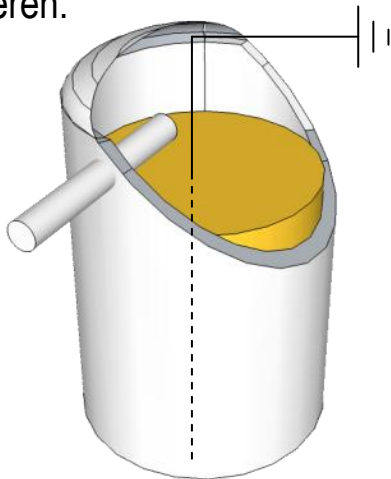
Kritikalität

Wenn $W > MZE$ des Pulvers → Zündung.
Es wird nicht gefragt, ob eine Schüttkegelentladung auftreten kann oder nicht.

Sicherheitsmassnahmen

$$W = 5.22 \times D^{3.36} \times d^{1.49}$$

Mann kann nur die Parameter D und d ändern um die Energie zu reduzieren.



	$D \nearrow$	$D \searrow$
$d \nearrow$	$W \nearrow$	F. zu F.
$d \searrow$	F. zu F.	$W \searrow$



1. Beurteilung
2. Erste Annäherung
3. Was machen wir jetzt?
4. Formalisierung

Neue Frage

Gibt es genug Ladung um eine Schüttkegelentladung zu auslösen?

Methode

Ladungsvolumendensität

Pulverwiderstand

Pulversspezifische
Permittivität

Füllrate

Zeitkonstante

Elektrisches Feld (x, y, z, t)

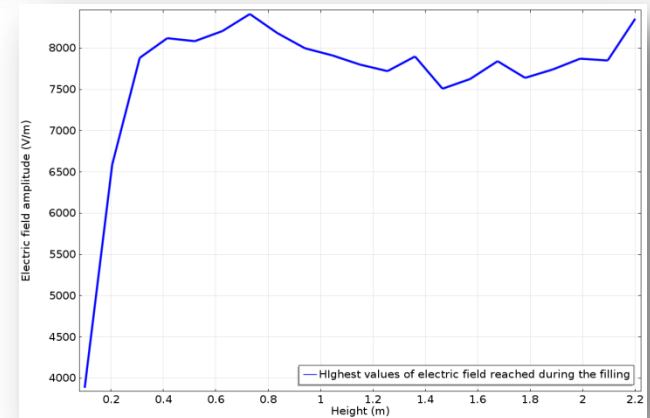
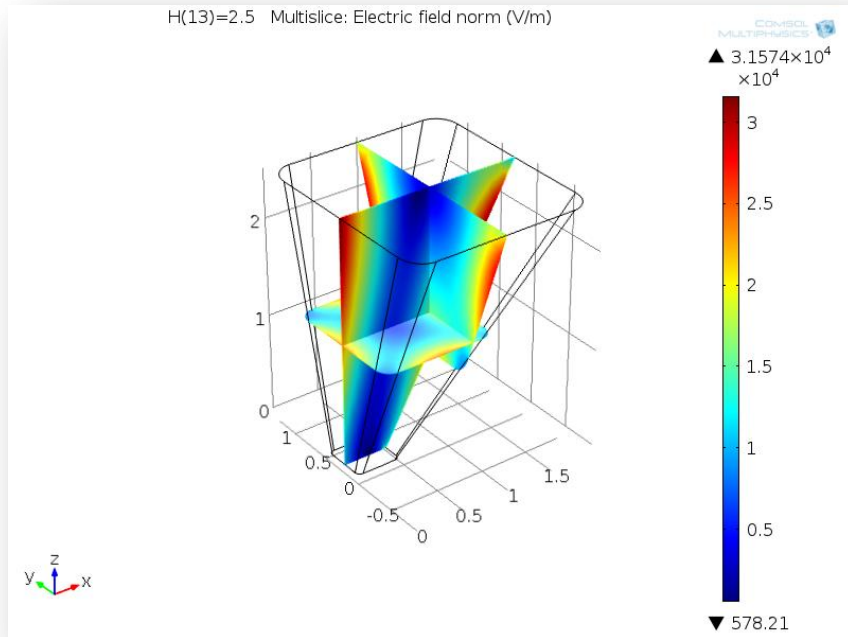
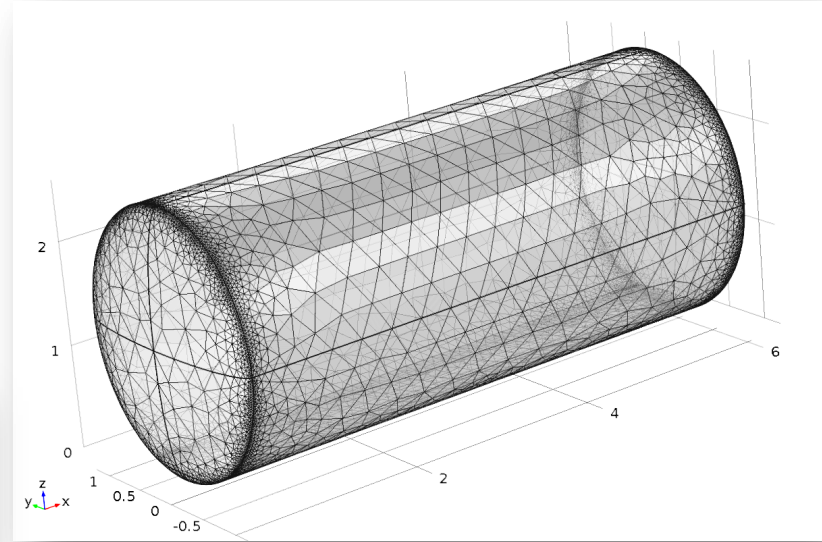


Ladungsvolumendensität

- ▶ Kann berechnet werden
- ▶ Kann im Betrieb gemessen werden
 - ▶ Bessere Präzision
 - ▶ Die Werten der IEC 6007932-1 sind konservativ. Oft ist die Ladungsvolumendensität weniger.
- ▶ Vorteil
 - ▶ Bessere numerische Simulation
- ▶ Nachteil :
 - ▶ Die Installationen im Betrieb müssen diese Messungen erlauben.



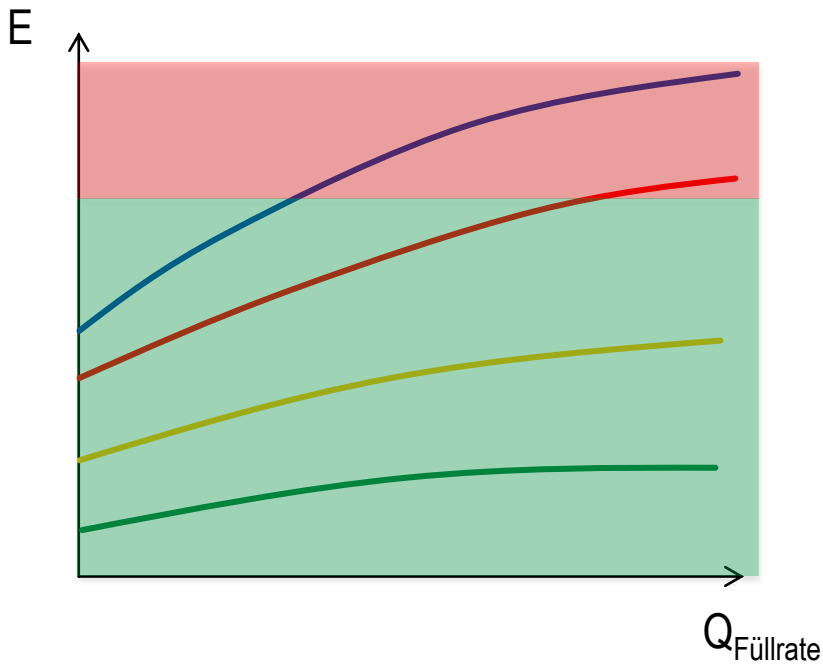
Exkursion



Resultate

Für eine gegebene Geometrie:

$$\left\| \vec{E} \right\| = f(x, y, z, t, \rho_{el}, \varepsilon_r, Q_{Füllrate}, \rho)$$



$$\rho_{el} > \rho_{el} > \rho_{el} > \rho_{el}$$

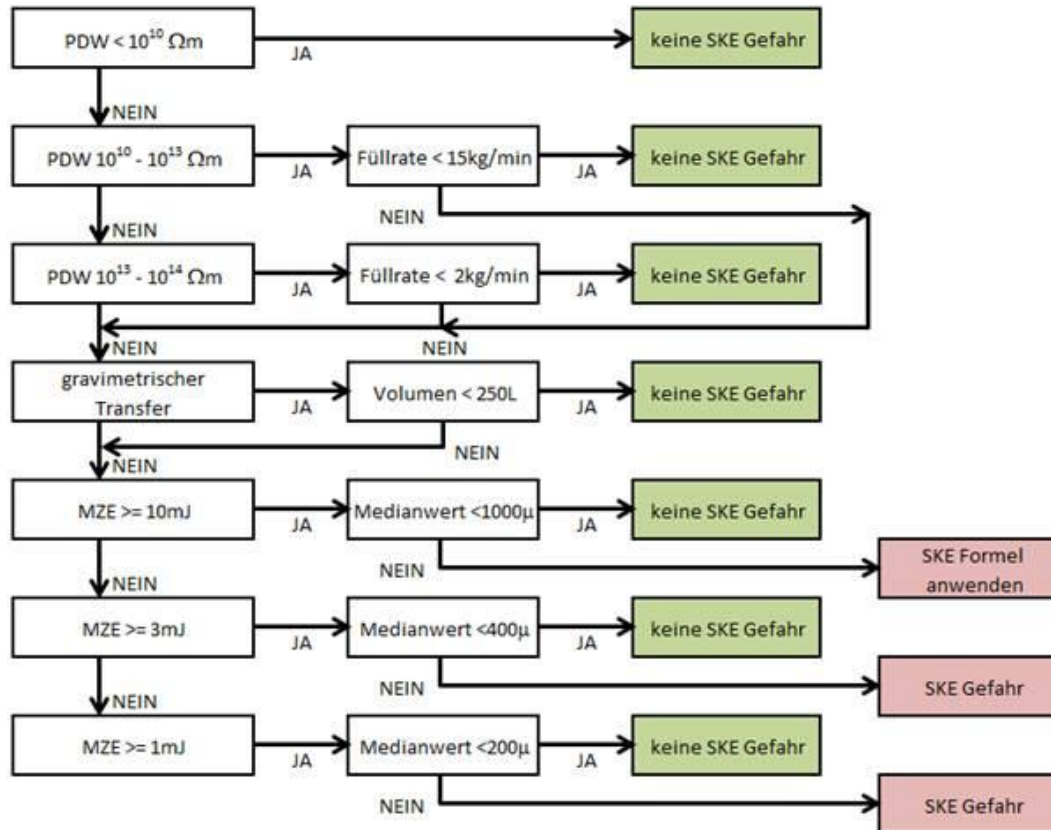
Parameter	Bedeutung	Einheit
E	Elektrisches Feld	V/m
x, y, z		m
t	Zeit	s
ρ_{el}	Spezifische Resistivität	$\Omega \cdot m$
ε_r	Spezifische Permittivität	-
$Q_{Füllrate}$	Füllrate	kg/s
ρ	Ladungsvolumedensität	C/kg



1. Beurteilung
2. Erste Annäherung
3. Was machen wir jetzt?
4. **Formalisierung**

Formalisierung

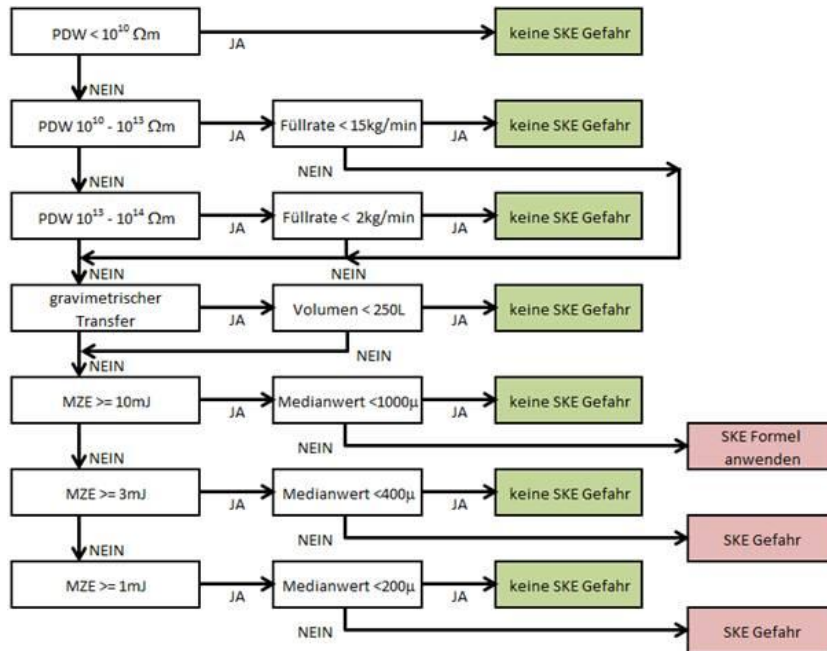
Zum Beispiel für einen Mehrzwecktank:





Process Safety

Mehr Sicherheit.
Mehr Wert.



Verfeinerte Betrachtung der Schüttkegelentladung dank Modellierung

Dr. Serge Forestier

Infotag Swissi Process Safety
17.09.2015