

Die bisherigen „Richtlinien für die Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen [Richtlinien „Statische Elektrizität“]“ (ZH 1/200) vom Oktober 1989 wurden vollständig überarbeitet und in die BG-Regel „Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen“ (BGR 132) überstellt.

Hinweis:

Seit April 1999 sind alle Neuveröffentlichungen des berufsgenossenschaftlichen Vorschriften- und Regelwerkes unter einer neuen Bezeichnung und Bestell-Nummer erhältlich.

Für alle bislang unter einer VBG- bzw. ZH 1-Nummer veröffentlichten Unfallverhütungsvorschriften, BG-Regeln, Merkblätter und sonstigen Schriften bedeutet dies, dass sie erst im Rahmen einer Überarbeitung oder eines Nachdrucks auf die neue Bezeichnung und Bestell-Nummer umgestellt werden.

Bis zur vollständigen Umstellung des berufsgenossenschaftlichen Vorschriften- und Regelwerkes auf die neue Bezeichnung und Bestell-Nummer, sind alle Veröffentlichungen in einem Übergangszeitraum von ca. 3 bis 5 Jahren auch weiterhin unter der bisherigen Bestell-Nummer erhältlich.

Soweit für Veröffentlichungen des berufsgenossenschaftlichen Vorschriften- und Regelwerkes eine Umstellung auf die neue Bezeichnung und Benummerung erfolgt ist, können diese in einer so genannten Transfer-Liste des Verzeichnisses des HVGB entnommen werden.

Berufsgenossenschaftliche
Regeln für Sicherheit und
Gesundheit bei der Arbeit

BGR 132
(bisherige ZH1/200)

BG-Regel

Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen

vom März 2003

JEDERMANN-VERLAG



Postfach 10 31 40, 69021 Heidelberg
Telefon 0 62 21/14 51-0
Telefax 0 62 21/2 78 70
Internet: www.jedermann.de
E-Mail: info@jedermann.de

Fachausschuss
„Chemie“ der BGZ



HVGB
Hauptverband der
gewerblichen
Berufsgenossenschaften

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Vorbemerkung	4
1 Anwendungsbereich	6
2 Begriffsbestimmungen	6
3 Maßnahmen zur Verhütung von Gefahren für Leben und Gesundheit bei der Arbeit infolge elektrostatischer Aufladungen . . .	13
3.1 Elektrostatische Aufladungen von Gegenständen und Einrichtungen	13
3.1.1 Leitfähige und ableitfähige Materialien	14
3.1.2 Isolierende Materialien	14
3.1.3 Folien- und Papierbahnen	20
3.1.4 Fördergurte	22
3.1.5 Antriebsriemen	23
3.2 Elektrostatische Aufladungen beim Umgang mit Flüssigkeiten .	25
3.2.1 Einteilung von Flüssigkeiten	25
3.2.2 Verfahrenstechnische Maßnahmen	26
3.2.3 Große Behälter	28
3.2.4 Mittlere Behälter	31
3.2.5 Kleine Behälter	39
3.2.6 Hochviskose Flüssigkeiten	48
3.2.7 Siebeinsätze, Filter und Wasserabscheider	48
3.2.8 Maßnahmen beim Messen und Probenehmen	49
3.2.9 Rohre und Schläuche	50
3.2.10 Spezielle Befüllverfahren	57
3.2.11 Rühren und Mischen von Flüssigkeiten	59
3.2.12 Reinigen von Behältern	60
3.2.13 Glasapparaturen	63
3.3 Elektrostatische Aufladungen beim Umgang mit gasförmigen Stoffen	65
3.3.1 Sandstrahlen	65
3.3.2 Feuerlöscher und Feuerlöschanlagen	66
3.3.3 Inertisieren	66
3.3.4 Unvorhergesehene Leckage von Druckgas	67
3.3.5 Spritzlackieren, Pulverbeschichten und Beflocken . . .	67
3.3.6 Abluftsysteme	68
3.3.7 Staubsauger und Staubsauganlagen	70
3.4 Elektrostatische Aufladungen beim Umgang mit Schüttgütern .	70
3.4.1 Verfahrenstechnische Maßnahmen	71
3.4.2 Schüttgüter bei Abwesenheit brennbarer Gase und Dämpfe	75

	Seite
3.4.3 Schüttgüter in Gegenwart brennbarer Gase oder Dämpfe	85
3.4.4 Flexible Schüttgutbehälter (FIBC)	87
3.5 Aufladung von Personen	89
3.5.1 Ableitfähiges Schuhwerk	89
3.5.2 Ableitfähige Fußböden	90
3.5.3 Kleidung	90
3.5.4 Handschuhe und Schutzhelme	91
3.6 Erdung und Potenzialausgleich	92
3.6.1 Ableitung statischer Elektrizität von leitfähigen Gegenständen	92
3.6.2 Ableitwiderstand von Fußböden	93
3.6.3 Erdung und Potenzialausgleich in besonderen Fällen	93
3.6.4 Kennzeichnung	99
3.6.5 Planung und Ausführung	99
3.6.6 Betriebsanweisung und Unterweisung	100
3.6.7 Prüfung	100
Anhang 1: Auf- und Entladungsvorgänge in der Elektrostatik	102
Anhang 2: Einteilung explosionsgefährdeter Bereiche (Zoneneinteilung)	115
Anhang 3: Bauarten von FIBC	116
Anhang 4: Elektrischer Schlag	118
Anhang 5: Erdung und Potenzialausgleich	120
Anhang 6: Leitfähigkeiten und Relaxationszeiten ausgewählter Flüssigkeiten	121
Anhang 7: Mindestzündenergie brennbarer Gase und Dämpfe	126
Anhang 8: Typische Widerstände von Fußböden und Fußbodenbelägen	128
Anhang 9: Veranschaulichung von Begriffen zur Beschreibung elektrostatischer Eigenschaften	129
Anhang 10: Vorschriften und Regeln	130
Stichwortverzeichnis	134

	Seite
Verzeichnis der Beispiele	
1 Beschichten und Bedrucken isolierender Folien	21
2 Befüllen mittelgroßer Behälter	33
3 Intermediate Bulk Container (IBC)	44
4 Befüllen von Fässern in Zone 1	45
5 Befüllen kleiner Kunststoffkanister in Zone 1	46
6 Schläuche zum Transport isolierender Flüssigkeiten in Zone 1	56
7 Abluftsysteme in Räumen der Zone 1	69
8 Schläuche zum pneumatischen Transport isolierender Schüttgüter durch Bereiche der Zone 1	72
9 Pneumatische Förderung von Schüttgut in oder aus Silos der Zone 20	73
10 Funkenentladungen	76
11 Befüllen isolierender Kunststoffsäcke mit Schüttgut	84
12 Erdung und Potenzialausgleich in Zone 1	94
13 Funkenentladung, schematische Darstellung	111
14 Büschelentladungen, schematische Darstellung	112
15 Gleitstielbüschelentladungen, schematische Darstellung	113
16 Schüttkegelentladungen, schematische Darstellung	114

Legende zum Verzeichnis der Beispiele siehe Begriffsbestimmungen in Abschnitt 2.

Berufsgenossenschaftliche Regeln für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit (BG-Regeln) sind Zusammenstellungen bzw. Konkretisierungen von Inhalten z. B. aus

- staatlichen Arbeitsschutzvorschriften (Gesetze, Verordnungen) und/oder
- berufsgenossenschaftlichen Vorschriften (Unfallverhütungsvorschriften) und/oder
- technischen Spezifikationen und/oder
- den Erfahrungen berufsgenossenschaftlicher Präventionsarbeit.

Vorbemerkung

BG-Regeln richten sich in erster Linie an den Unternehmer und sollen ihm Hilfestellung bei der Umsetzung seiner Pflichten aus staatlichen Arbeitsschutzvorschriften und/oder Unfallverhütungsvorschriften geben sowie Wege aufzeigen, wie Arbeitsunfälle, Berufskrankheiten und arbeitsbedingte Gesundheitsgefahren vermieden werden können.

Der Unternehmer kann bei Beachtung der in den BG-Regeln enthaltenen Empfehlungen davon ausgehen, dass er die in Unfallverhütungsvorschriften geforderten Schutzziele erreicht. Andere Lösungen sind möglich, wenn Sicherheit und Gesundheitsschutz mindestens auf gleichem Niveau gewährleistet sind. Sind zur Konkretisierung staatlicher Arbeitsschutzvorschriften von den dafür eingerichteten Ausschüssen technische Regeln ermittelt worden, sind diese vorrangig zu beachten.

Werden verbindliche Inhalte aus staatlichen Arbeitsschutzvorschriften und/oder aus Unfallverhütungsvorschriften wiedergegeben, sind sie durch Fettdruck kenntlich gemacht oder im Anhang 10 zusammengestellt. Erläuterungen, insbesondere beispielhafte Lösungsmöglichkeiten, sind durch entsprechende Hinweise in Kursivschrift gegeben.

Die vorliegende BG-Regel hilft, bei der Gefährdungsbeurteilung nach der Betriebssicherheitsverordnung in Verbindung mit dem Anhang V Nr. 8 der Gefahrstoffverordnung zur Vermeidung von Brand- und Explosionsgefahren statische Elektrizität als Zündquelle zu berücksichtigen und wirksame Maßnahmen zu ihrer Vermeidung zu ergreifen. Entladungen statischer Elektrizität können durch viele betriebliche Vorgänge ungewollt Zündquelle

explosionsfähiger Atmosphäre aus Gemischen brennbarer Gase, Dämpfe, Nebel oder Stäube mit Luft in gefährdender Menge unter atmosphärischen Bedingungen sein. Die Bedingungen für ihr Auftreten bzw. für ihre Vermeidung sind für den Laien schwer überschaubar. Deshalb wird dieses Teilgebiet des Explosionsschutzes in der vorliegenden BG-Regel gesondert behandelt und an ausgewählten Verfahren beispielhaft verdeutlicht.

Maßnahmen zur Vermeidung oder Einschränkung explosionsfähiger Atmosphäre sind im Abschnitt E „Schutzmaßnahmen“ der „Explosionsschutz-Regeln“ (BGR 104, bisherige ZH 1/10) angeführt.

Für den Menschen selbst stellen diese Entladungen im Allgemeinen keine Gefahr dar. Es besteht jedoch die Möglichkeit des Erschreckens und dadurch ausgelöster Fehlhandlungen. Ferner können Mess- und Regelgeräte gestört sowie Fertigungsabläufe behindert werden.

1 Anwendungsbereich

- 1.1 Diese BG-Regel findet Anwendung für die Beurteilung und die Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen in explosionsgefährdeten Bereichen.

Liegt auf Grund getroffener Maßnahmen, z. B. Inertisierung, keine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre vor, sind Maßnahmen nach dieser BG-Regel nicht notwendig.

- 1.2 Diese BG-Regel findet sinngemäß auch Anwendung auf die Beurteilung und die Vermeidung von Zündgefahren explosionsfähiger Gemische unter anderen als atmosphärischen Bedingungen oder mit anderen Reaktionspartnern als Luft sowie in anderen reaktionsfähigen Systemen.

Andere als atmosphärische Bedingungen sind z. B. erhöhter Druck, erhöhte Temperatur oder erhöhter Sauerstoffgehalt. Andere Reaktionspartner als Luft sind z. B. Chlor oder Stickoxide. Andere reaktionsfähige Systeme enthalten z. B. chemisch instabile Stoffe, wie Peroxide und Ethylenoxid. Sie benötigen keinen weiteren Reaktionspartner.

- 1.3 Diese BG-Regel kann auch sinngemäß angewendet werden, um elektrostatische Aufladungen als Zündursache für Brände zu vermeiden.

- 1.4 Diese BG-Regel findet keine Anwendung auf explosionsgefährliche Arbeitsstoffe oder Explosivstoffe, so weit dort eigene Regelungen bestehen.

Für Blitzschutz, Gefährdung elektronischer Bauelemente oder den Umgang mit Explosivstoffen gelten besondere Regeln.

2 Begriffsbestimmungen

Im Sinne dieser BG-Regel werden folgende Begriffe bestimmt:

1. **Stoffe** sind Gase, Flüssigkeiten oder Feststoffe, mit denen im Betrieb umgegangen wird.

Zu den Stoffen gehören z. B. Abluft, Treibstoffe und Löse-mittel, Stäube.

2. **Material** ist die Bezeichnung für Werkstoffe, aus denen Gegenstände oder Einrichtungen bestehen.

Zu den Materialien gehören z. B. Stahl, Glas, Kunststoffe, Holz, aber auch Beschichtungsmaterialien, z. B. Lacke, Folien, Gummierungen. Ausgenommen sind Verbundwerkstoffe.

3. **Gegenstände oder Einrichtungen** sind aus Materialien gefertigt und stehen in der Regel mit Stoffen in Kontakt.

Zu den Gegenständen oder Einrichtungen gehören z. B. Rohrleitungen, Schläuche, Behälter, Ladetanks, Pumpen.

4. **Durchgangswiderstand** ist der elektrische Widerstand eines Stoffes oder Materials ohne den Oberflächenwiderstand.

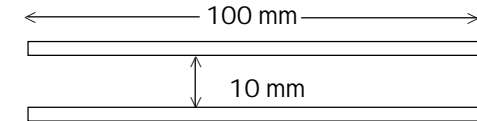
Der Durchgangswiderstand und der spezifische Widerstand werden nach DIN IEC 60093 bestimmt und in Ω bzw. Ωm gemessen.

5. **Spezifischer Widerstand** ist der elektrische Widerstand eines Stoffes oder Materials gemessen an einer Probe der Einheitslänge und der Einheitsquerschnittsfläche.

Der spezifische Widerstand wird oft auch spezifischer Durchgangswiderstand genannt und in Ωm gemessen.

Siehe auch DIN IEC 60093

6. **Oberflächenwiderstand** ist der elektrische Widerstand gemessen auf der Oberfläche eines Gegenstandes. Er wird zwischen zwei parallelen Elektroden geringer Breite und jeweils 100 mm Länge, die 10 mm auseinander liegen und mit der zu messenden Oberfläche Kontakt haben, gemessen.

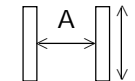


Siehe auch DIN IEC 60167.

Der Oberflächenwiderstand wird in Ω angegeben.

7. **Spezifischer Oberflächenwiderstand** ist der elektrische Widerstand gemessen auf der Oberfläche eines Gegenstandes.

Die Messung erfolgt zwischen zwei parallelen Elektroden geringer Breite und der Länge L. Der Abstand A der Elektroden ist gleich ihrer Länge L. ($A = L$).



Der Messwert wird in Ω ausgedrückt und in der angelsächsischen Literatur häufig mit Ω square oder $\Omega \square$ bezeichnet. Der spezifische Oberflächenwiderstand beträgt etwa das 10fache des Oberflächenwiderstandes.

8. **Ableitwiderstand** eines Gegenstandes ist sein elektrischer Widerstand gegen Erdpotenzial, oft Erde genannt.

Der Ableitwiderstand wird in Ω gemessen. Die übliche Form der Messelektrode ist eine 20 cm² große Kreisfläche und hat mit der Oberfläche des zu messenden Gegenstandes Kontakt. Der Ableitwiderstand hängt unter anderem vom spezifischen Widerstand, vom – gegebenenfalls spezifischen – Oberflächenwiderstand der Materialien sowie vom Abstand zwischen den gewählten Messpunkten und Erde ab.

Dieser Widerstand wird häufig auch Erdableitwiderstand R_E genannt.

9. **Leitfähigkeit** ist der Kehrwert des spezifischen Widerstandes.

Die Leitfähigkeit wird in S/m gemessen.

10. **Leitfähig** ist ein Stoff oder Material mit einem spezifischen Widerstand $\leq 10^4 \Omega\text{m}$. Leitfähig ist ein Stoff oder Material auch, wenn sein Oberflächenwiderstand $\leq 10^4 \Omega$ beträgt.

Leitfähige Materialien können nicht gefährlich aufgeladen werden, wenn sie geerdet sind. Für Flüssigkeiten, Schüttgüter oder bestimmte Gegenstände werden in den entsprechenden Abschnitten spezielle Festlegungen getroffen. Der Oberflächenwiderstand leitfähig gemachter Kunststoffe weist oft einen großen Streubereich auf. Der Höchstwert darf $10^5 \Omega$ und der Mittelwert $10^4 \Omega$ nicht überschreiten.

Als leitfähig werden auch Gegenstände und Einrichtungen bezeichnet, wenn sie aus leitfähigem Material bestehen.

11. **Leiter** sind Gegenstände oder Einrichtungen aus leitfähigen Materialien.

12. **Ableitfähig ist**

- ein Stoff oder ein Material mit einem spezifischen Widerstand von mehr als $10^4 \Omega\text{m}$ und weniger als $10^9 \Omega\text{m}$ oder
- ein Gegenstand oder eine Einrichtung
 - mit einem Oberflächenwiderstand zwischen $10^4 \Omega$ und $10^9 \Omega$ gemessen bei 23 °C und 50 % relativer Luftfeuchte oder
 - mit einem Oberflächenwiderstand zwischen $10^4 \Omega$ und $10^{11} \Omega$ gemessen bei 23 °C und 30 % relativer Luftfeuchte.

Mit sinkender Luftfeuchte nimmt der Oberflächenwiderstand in der Regel beträchtlich zu.

Ableitfähige Stoffe oder Gegenstände und Einrichtungen aus ableitfähigen Materialien speichern keine gefährliche elektrostatische Ladung, wenn sie mit Erde in Kontakt stehen.

Für Flüssigkeiten, Schüttgüter oder bestimmte Gegenstände, z. B. ableitfähige Fußböden, werden in den entsprechenden Abschnitten spezielle Festlegungen getroffen.

Die Eigenschaft ableitfähig zu sein wird umgangssprachlich auch antistatisch genannt.

Antistatisch wird außerhalb dieser Regel auch zur Beschreibung einer aufladungsvermindernden Eigenschaft verwendet, z. B. bei Schuhwerk oder bei Zusatzstoffen für den Umgang mit Flüssigkeiten, und liegt in diesen Fällen meist zwischen 10^8 und $10^{11} \Omega$.

Als ableitfähig werden auch Gegenstände und Einrichtungen bezeichnet, wenn sie aus ableitfähigen Materialien bestehen.

13. **Isolierend** ist ein Stoff oder Material, das weder leitfähig noch ableitfähig ist.

Als isolierend werden auch Gegenstände oder Einrichtungen aus isolierenden Materialien bezeichnet.

Zur Veranschaulichung der Begriffe siehe auch Anhang 9.

Isolierende Stoffe sowie Gegenstände und Einrichtungen aus isolierenden Materialien werden mit Rücksicht auf ihre elektrostatischen Eigenschaften auch als „aufladbar“ bezeichnet.

Zu diesen Materialien gehören viele Polymere, z. B. Kunststoffe.

14. **Geerdet** im elektrostatischen Sinne sind leitfähige Gegenstände, Flüssigkeiten und Schüttgüter mit einem Ableitwiderstand $< 10^6 \Omega$ und Personen mit einem Ableitwiderstand $< 10^8 \Omega$. Personen und kleine Gegenstände sind auch geerdet, wenn ihre Relaxationszeit $< 10^{-2}\text{s}$ ist.

Zur Erdung siehe auch Abschnitt 3.6.

15. **Aufladbar** sind isolierende Stoffe sowie Gegenstände und Einrichtungen aus isolierenden Materialien. Aufladbar sind auch nicht mit Erde verbundene leitfähige oder ableitfähige Gegenstände und Einrichtungen.

16. **Leitfähiges Schuhwerk** ist Schuhwerk mit einem Ableitwiderstand gegen Erde von weniger als $10^5 \Omega$.
17. **Ableitfähiges Schuhwerk** ist Schuhwerk, welches ermöglicht, dass eine auf ableitfähigem Boden stehende Person einen Ableitwiderstand gegen Erde von höchstens $10^8 \Omega$ aufweist.
18. **Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre** ist ein Gemisch brennbarer Gase, Dämpfe, Nebel oder Stäube mit Luft in gefährdender Menge unter atmosphärischen Bedingungen.

Siehe auch § 2 Abs. 8 und 9 Betriebssicherheitsverordnung.

19. **Explosionsgefährdeter Bereich** ist ein räumlicher Bereich, in dem auf Grund der örtlichen und betrieblichen Verhältnisse gefährliche explosionsfähige Atmosphäre auftreten kann. Diese Bereiche werden in Zonen unterteilt.

Siehe § 2 Abs. 10 und Anhang 3 Betriebssicherheitsverordnung.

20. **Mindestzündenergie (MZE)** ist die kleinste in einem Kondensator gespeicherte elektrische Energie, die bei Entladung über eine Funkenstrecke eine Mischung aus einem brennbaren Stoff und Luft entzünden kann.

Die MZE wird in festgelegten Verfahren bestimmt und in mJ angegeben.

Siehe für Stäube IEC 61241-2-3 und DIN EN 13821.

21. **Explosionsgruppen I und II** nach DIN EN 50014 (VDE 0170/0171 Teil 1) unterscheiden Stoffe explosionsgefährdeter Bereiche, mit dem Ziel, geeignete Geräte und Einrichtungen für den Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen auszuwählen. Die Explosionsgruppe I gilt für explosionsgefährdete Bereiche durch Stoffe in Grubenbauen und die Explosionsgruppe II für solche aller übrigen Stoffe. Die Stoffe nach Explosionsgruppe II werden in Abhängigkeit von ihrer Zündempfindlichkeit durch den Zusatz A, B oder C gekennzeichnet.

Diese Kennzeichnung beruht auf der experimentell ermittelten Grenzspaltweite oder auf dem Mindestzündstrom nach DIN EN 50014:

Gruppe I: für Schlagwetter, z. B. Methan,

Gruppe IIA: einige Gase und organische Flüssigkeiten z. B. Aceton, Benzin, Toluol,

*Gruppe IIB: z. B. Ethen, Ethylenoxid, Diethylether,
Gruppe IIC: z. B. Acetylen, Wasserstoff, Schwefelkohlenstoff.*

Siehe auch Nabert/Schön „Sicherheitstechnische Kennzahlen brennbarer Gase und Dämpfe“ oder „Chemsafe-Datenbank“. Dort werden Stoffe auch mit IIA/B gekennzeichnet, wenn ihre Zündempfindlichkeit in der Nähe der Grenze zwischen IIA und IIB liegt, z. B. bei Ethylenglykol.

22. **Stark ladungserzeugender Prozess** ist ein Vorgang, bei dem im Vergleich zur Ladungsableitung hohe Ladungsmengen pro Zeit erzeugt werden und sich ansammeln können.

Typische Vorgänge sind z. B. laufende Treibriemen, pneumatische Förderung von Schüttgut oder schnelle Mehrphasenströmung von Flüssigkeiten. Ausschließlich manuelle Vorgänge sind erfahrungsgemäß nicht stark ladungserzeugend.

23. **Gefährliche Aufladung** ist eine elektrostatische Aufladung, die bei ihrer Entladung die zu erwartende explosionsfähige Atmosphäre entzünden kann.












Die Entladungsformen Funkenentladung, Koronaentladung, Büschelentladung, Gleitstielbüschelentladung, gewitterblitzähnliche Entladung und Schüttkegelentladung werden im Anhang 1, Abschnitt 3 erläutert.

24. **Relaxationszeit τ** ist die Zeitspanne, in der eine elektrostatische Ladung, z. B. auf einer festen Oberfläche, im Innern einer Flüssigkeit, in einer Schüttung oder in einer Nebel- oder Staubwolke, auf $1/e$ (d. h. ungefähr 37 %) ihres ursprünglichen Wertes abnimmt.

Die Relaxationszeit τ bei Entladung eines Kondensators der Kapazität C über einen Entladewiderstand R beträgt $\tau = R \cdot C$.

25. **Schüttgut** umfasst Teilchen von feinem Staub über Gries und Granulat bis hin zu Spänen.

Zum Schüttgut zählt auch grobes Gut, das Feinstaubanteile enthält, z. B. Abrieb von Kohle.

Farbe	Bedeutung	Beispiel
 hellgrau	isolierend	Kunststoffrohr
 dunkelgrau	leitfähig <u>oder</u> ableitfähig	Stahlrohr
 hellblau	Gas, Dampf	Gasraum im Reaktionsbehälter
 hellblau mit hellgrauer Außenkontur	isolierende Einrichtung	Abgasrohr aus isolierendem Material
 dunkelblaue Kreise in hellblauem Hintergrund	Partikel im Gasstrom	pneumatische Förderung
 blau mit dunkelgrauer Außenkontur	Flüssigkeit in leitfähiger <u>oder</u> ableitfähiger Einrichtung	Stahlrohrleitung für Flüssigkeit
 blau	Flüssigkeit	Alkohol
 dunkelblaue Kreise in blauem Hintergrund	Schüttgut in Flüssigkeit	Suspension
 rot	Entladung statischer Elektrizität	Funkenentladung
 grün mit gelbem Querstrich	fest verlegte Erdungsleitung	
 grün mit gelbem Querstrich	flexibel verlegte Erdungsleitung	
 schwarz	Erdungspunkt	Potenzialausgleichschiene

Symbollegende

3 Maßnahmen zur Verhütung von Gefahren für Leben und Gesundheit bei der Arbeit infolge elektrostatischer Aufladungen

Gegenstände und Einrichtungen sowie Flüssigkeiten, einschließlich flüssiger Arbeits- und Hilfsstoffe, dürfen in explosionsgefährdeten Bereichen nicht gefährlich aufgeladen werden.

Reine Gase können nicht aufgeladen werden. Dennoch sind Maßnahmen gegen gefährliche Aufladungen zu treffen, wenn diese in gasführenden Systemen durch eine zweite Phase, z. B. bei Strahlarbeiten oder beim Staubsaugen, auftreten können.

Schüttgüter als meist feste Arbeitsstoffe in schüttbarem Zustand, z. B. Stäube oder Granulate, dürfen ebenfalls in explosionsgefährdeten Bereichen nicht gefährlich aufgeladen werden.

Während Gegenstände und Einrichtungen für sich allein keine explosionsgefährdeten Bereiche begründen, kann von Flüssigkeiten oder Schüttgütern sowohl die gefährliche explosionsfähige Atmosphäre als auch die gefährliche elektrostatische Aufladung ausgehen.

3.1 Elektrostatische Aufladungen von Gegenständen und Einrichtungen

Gegenstände oder Einrichtungen dürfen in explosionsgefährdeten Bereichen nicht gefährlich aufgeladen werden.

Derartige Gegenstände oder Einrichtungen sind z. B. Rohre, Behälter, Folien, Anlagen- und Apparateile, einschließlich eventueller Beschichtungen, Auskleidungen oder Ähnliches aber auch textile Gegenstände, z. B. Schlauchfilter.

Andernfalls muss das Annähern eines Gegenstandes oder einer Person an gefährlich aufgeladene Oberflächen von Gegenständen oder Einrichtungen sicher vermieden werden. Stellt diese Annäherung die einzige Möglichkeit dar, eine zündwirksame Entladung auszulösen, kann in Zone 1 auf weitere Maßnahmen verzichtet werden, solange keine stark ladungserzeugenden Prozesse vorliegen.

Stark ladungserzeugende Prozesse führen zu so starken Aufladungen, dass spontane zündwirksame Entladungen auftreten können.

Der Gebrauch von Gegenständen oder Einrichtungen aus isolierenden Materialien in explosionsgefährdeten Bereichen ist zu vermeiden.

Können Gegenstände oder Einrichtungen aus leitfähigen oder ableitfähigen Materialien nicht eingesetzt werden, sind Maßnahmen gegen gefährliche Aufladungen zu treffen.

Mögliche Maßnahmen sind z. B. leitfähige oder ableitfähige Beschichtungen, leitfähige Fäden in Textilien, Oberflächenbegrenzungen, oder auch sicher wirkende organisatorische Maßnahmen.

Siehe auch Abschnitte 3.1.2 und 3.6.

3.1.1 Leitfähige und ableitfähige Materialien

Gegenstände oder Einrichtungen aus leitfähigen Materialien sind zu erden und solche aus ableitfähigen Materialien sind mit Erdkontakt zu versehen.

Geerdete leitfähige Gegenstände können nicht gefährlich aufgeladen werden. Sind sie jedoch von Erde isoliert, können Funkenentladungen auftreten.

Hinsichtlich Erdung siehe auch Abschnitt 3.6.

Hängt die Ableitfähigkeit eines Gegenstandes oder einer Einrichtung von Temperatur- oder Feuchteschwankungen der Luft ab, sind diese im Rahmen der zu erwartenden Betriebsbedingungen zu berücksichtigen.

Siehe auch Anhang 1.

3.1.2 Isolierende Materialien

Gegenstände aus isolierenden Materialien können durch Reiben oder infolge betrieblicher Vorgänge aufgeladen werden. Beim Umgang mit isolierenden Gegenständen oder Einrichtungen sind in explosionsgefährdeten Bereichen Maßnahmen zu ergreifen. Isolierende Gegenstände oder Einrichtungen dürfen in den einzelnen Zonen nach Anhang 2 nur benutzt werden, wenn gefährliche Aufladungen in den

Zonen 0 und 20 auch bei seltenen Betriebsstörungen auszuschließen sind,

Zonen 1 und 21 auch bei Betriebsstörungen – mit denen üblicherweise zu rechnen ist – oder bei Wartung und Reinigung nicht zu erwarten sind,

Zonen 2 und 22 beim bestimmungsgemäßen Gebrauch nicht regelmäßig auftreten oder zu erwarten sind.

Ist die Verwendung isolierender Gegenstände oder Einrichtungen dennoch notwendig, sind die nachfolgend beschriebenen Maßnahmen zur Vermeidung gefährlicher Aufladungen zu treffen.

Werden isolierende Gegenstände oder Einrichtungen mit leitfähiger oder ableitender Beschichtung eingesetzt, ist diese zu erden bzw. mit Erde zu verbinden.

An der Oberfläche isolierender Materials können Büschelentladungen auftreten. Die Energien von Büschelentladungen reichen zwar für eine Entzündung explosionsfähiger Gas/Luft- oder Dampf/Luft-Gemische aus, jedoch nicht für die Entzündung von Staub/Luft-Gemischen unter atmosphärischen Bedingungen.

Maßnahmen zur Vermeidung gefährlicher Aufladungen in Schüttgütern siehe Abschnitt 3.4.

Leitfähige oder ableitfähige Beschichtungen isolierender Gegenstände oder Einrichtungen in den Zonen 0 und 1 erfordern einen Nachweis ihrer dauerhaften Wirksamkeit.

Viele Materialien, die in der Vergangenheit als isolierend galten, z. B. Gummi oder Kunststoffe, sind mittlerweile in ableitfähigen Varianten erhältlich. Allerdings weisen diese Varianten in der Regel Additive, z. B. Kohlenstoff auf, welche die Eigenschaften des Ausgangsmaterials beeinträchtigen können.

Bei textilen Gegenständen, die mit eingearbeiteten leitfähigen oder ableitfähigen Fasern ausgerüstet sind, z. B. mit Kohlenstofffasern ausgerüstete Filtertücher, ist nach Reinigung oder nach besonderer Beanspruchung zu prüfen, ob die Leitfähigkeit bzw. ableitfähige Eigenschaft über das gesamte Gewebe erhalten geblieben ist. Andernfalls ist sie wieder herzustellen.

3.1.2.1 Begrenzung der Abmessungen von Oberflächen isolierender Gegenstände und Einrichtungen

Zündgefahren sind in den Zonen 0, 1 oder 2 nicht zu erwarten, wenn

- die Größe der Fläche eines Gegenstandes oder seine Abmessung auf die in den Tabellen 1a oder 1b aufgeführten Höchstwerte beschränkt ist,
- eine gefährliche Aufladung durch betriebliche Vorgänge nicht zu erwarten ist
oder
- ein experimenteller Nachweis vorliegt, dass mit gefährlichen Aufladungen nicht zu rechnen ist.

Maßnahmen nach Tabellen 1a und 1b reichen unter Umständen nicht aus bei Vorgängen, die sehr hohe Aufladungen erzeugen, z. B. bei der Förderung von isolierenden Suspensionen oder von Stäuben durch Rohrleitungen.

An dünnen Gegenständen, z. B. Folien und Schichten aus isolierenden Materialien, können bei stark ladungserzeugenden Prozessen Gleitstielbüschelentladungen auftreten.

Zone	Oberfläche [cm ²] in Explosionsgruppen		
	IIA	IIB	IIC
0	50	25	4
1	100	100	20
2	Begrenzungen nur erforderlich, wenn erfahrungsgemäß zündwirksame Entladungen auftreten.		

Tabelle 1a: Höchstzulässige Oberflächen isolierender Gegenstände
Für Explosionsgruppe I beträgt die höchstzulässige Oberfläche 100 cm².

Zone	Breite oder Durchmesser [cm] in Explosionsgruppen		
	IIA	IIB	IIC
0	0,3	0,3	0,1
1	3,0	3,0	2,0
2	Begrenzungen nur erforderlich, wenn erfahrungsgemäß zündwirksame Entladungen auftreten.		

Tabelle 1b: Höchstzulässige Durchmesser oder Breiten langgestreckter isolierender Gegenstände

Für Explosionsgruppe I beträgt die höchstzulässige Breite oder der höchstzulässige Durchmesser 3 cm.

Maßgeblich für isolierende Oberflächen sind:

- bei Gegenständen mit planen Oberflächen die größte freie Fläche (siehe Tabelle 1a),
- bei Gegenständen mit gekrümmten Oberflächen die Projektion der größten Fläche (siehe Tabelle 1a),
- für lange, dünne Gegenstände, z. B. Kabel oder Rohrleitungen, tritt an die Stelle der Oberfläche die höchstzulässige Breite oder der höchstzulässige Durchmesser nach Tabelle 1b.

- Ist der Gegenstand aufgewickelt, gelten jedoch die Werte wie für Gegenstände mit planen Oberflächen nach Tabelle 1a.

Da die Entwicklung unter anderem zu isolierenden Werkstoffen – die sich dennoch nicht gefährlich aufladen lassen – geführt hat, kann an die Stelle des Flächenkriteriums auch der experimentelle Nachweis, dass der Gegenstand sich nicht gefährlich auflädt, treten. Ein solcher Nachweis erfordert eine fachkundige Prüfung.

Dieser Nachweis kann z. B. über die Bestimmung des Ladungstransfers erbracht werden.

Für die Zonen 20, 21 oder 22 sind vergleichbare Flächenkriterien nicht bekannt.

Da Staub/Luft-Gemische durch Büschelentladungen nicht entzündet werden können, sind erfahrungsgemäß Flächenbegrenzungen nicht erforderlich.

Sicherheitstechnische Überlegungen zu Staub/Luft-Gemischen siehe Abschnitt 3.4 „Elektrostatische Aufladungen beim Umgang mit Schüttgütern“.

3.1.2.2 Begrenzung der isolierenden Oberfläche durch leitfähige Netze

Können die höchstzulässigen Abmessungen nach Abschnitt 3.1.2.1 nicht eingehalten werden, lassen sich gefährliche Aufladungen mit Hilfe geerdeter Metallnetze oder Metallrahmen vermeiden, die in das isolierende Material eingebaut sind oder dauerhaft die Oberfläche berühren. Sie sorgen für eine ausreichende Abschirmung, wenn die Größe der gebildeten Teilflächen folgende Kriterien erfüllt:

1. Die von der Masche des Netzes oder vom Rahmen eingeschlossene Fläche überschreitet nicht das vierfache der in Tabelle 1a angegebenen Werte oder, wenn die Masche nicht vollständig aufliegt, das zweifache der in Tabelle 1a angegebenen Werte.
2. Die Stärke isolierenden Materials oberhalb eines eingebauten Metallnetzes überschreitet nicht den Wert nach Abschnitt 3.1.2.3.1
und
3. stark ladungserzeugende Prozesse kommen nicht vor.

Ein eingebautes Netz oder ein eingebauter Metallrahmen bieten bei stark ladungserzeugenden Prozessen keinen Schutz gegen Gleitstielbüschelentladungen.

3.1.2.3 Isolierende Beschichtung leitfähiger Gegenstände und Einrichtungen

3.1.2.3.1 Begrenzung der Beschichtungsstärke

Die Dicke isolierender Beschichtungen soll bei von Gasen und Dämpfen

- der Explosionsgruppen IIA und IIB berührten Oberflächen 2 mm und
- der Explosionsgruppe IIC berührten Oberflächen 0,2 mm

nicht überschreiten. Der leitfähige oder ableitfähige Teil des Gegenstandes muss beim Handhaben geerdet bleiben.

Durch diese Maßnahmen werden Büschelentladungen in der Regel verhindert. Bei stark ladungserzeugenden Prozessen können jedoch Gleitstielbüschelentladungen auftreten.

3.1.2.3.2 Begrenzung der Durchschlagspannung

Soll zur Vermeidung von Gleitstielbüschelentladungen die Durchschlagspannung eines Gegenstandes begrenzt werden, darf sie 4 kV nicht überschreiten.

Beschichtungen mit einer ausreichend geringen Durchschlagspannung, z. B. Farbanstriche, werden elektrisch durchschlagen, bevor sich eine für eine Gleitstielbüschelentladung ausreichende Ladungsmenge ansammeln kann.

Bei Gasen und Dämpfen der Explosionsgruppe IIC reicht diese Maßnahme zur Vermeidung von Entzündungen nicht aus, sofern ladungserzeugende Prozesse nicht ausgeschlossen sind.

3.1.2.3.3 Trennen isolierender Folien von festen Grundkörpern

Das Abziehen isolierender Folien von festen Grundkörpern muss außerhalb der Zonen 0 und 1 erfolgen.

Bei Arbeitsprozessen, z. B. Abziehen von Schrumpffolien von Packmitteln, können gefährliche Aufladungen auftreten.

Betriebsmäßig zu erwartende Entladungen sind auch in Zone 2 nicht zulässig.

3.1.2.4 Befeuchtung der Luft

Eine Erhöhung der relativen Feuchte darf nicht als alleinige Maßnahme in Zone 0 angewendet werden.

Ist der erforderliche Oberflächenwiderstand nicht gegeben, kann manchmal die Erhöhung der relativen Luftfeuchte auf 65 % – bei 23 °C – den erforderlichen Oberflächenwiderstand ermöglichen. Auch wenn feuchte Luft selbst isolierend ist, kann die Oberfläche vieler isolierender Materialien durch feuchte Luft ableitfähig werden. Während z. B. Glas oder Naturfasern diese Eigenschaft besitzen, trifft dies für viele andere Materialien, z. B. Polytetrafluorethylen oder Polyethylen, jedoch nicht zu.

3.1.2.5 Ionisierung der Luft

Eine gefährliche Aufladung isolierender Gegenstände kann manchmal lokal durch ionisierte Luft vermieden werden. Dieses Verfahren eignet sich z. B. zur Neutralisation elektrischer Ladungen auf Kunststoffplatten oder -schichten. Die Wirksamkeit der Ionisierungseinrichtungen ist regelmäßig zu prüfen.

3.1.2.5.1 Passive Ionisatoren

Passive Ionisatoren dürfen bei Stoffen der Explosionsgruppe IIC nicht angewendet werden. Sie sind allein keine ausreichende Maßnahme in Zone 0.

Passive Ionisatoren sind geerdete spitze Elektroden, z. B. feine Nadeln, dünne Drähte oder leitfähige Litzen. Sie neutralisieren durch Koronaentladung elektrische Ladungen auf der Oberfläche eines aufgeladenen Gegenstandes nur solange die Anfangsfeldstärke überschritten ist. Stark verschmutzte passive Ionisatoren können zu Entzündungen führen.

3.1.2.5.2 Aktive Ionisatoren

Aktive Ionisatoren eignen sich, lokale Ladungsansammlungen zu neutralisieren. Ihre Wirksamkeit hängt wesentlich von der richtigen Auswahl, Positionierung und regelmäßiger Wartung ab.

Zur Wartung gehört auch die regelmäßige Reinigung der emittierenden Seite der Ionisatoren.

Aktive Ionisatoren dürfen bei Stoffen der Explosionsgruppe IIC und darüber hinaus in Zone 0 nicht angewendet werden.

Bei Anwendung in Zone 1 muss für den Ionisator eine Baumusterprüfbescheinigung vorliegen.

Bei einem aktiven Ionisator wird üblicherweise eine hohe Spannung an koronaerzeugende Spitzen angelegt. Handelsübliche Systeme verwenden in der Regel Wechselspannung in einem Bereich zwischen 5 und 15 kV.

3.1.2.5.3 Radioaktive Ionisierung

Die Dauer der Wirksamkeit radioaktiver Ionisatoren ist wegen der Halbwertszeit der radioaktiven Präparate begrenzt.

Radioaktive Ionisatoren dürfen nicht in Zone 0 verwendet werden.

Radioaktive Stoffe ionisieren die umgebende Luft und können zur Ableitung elektrischer Ladungen von einem aufgeladenen Gegenstand eingesetzt werden.

3.1.2.5.4 Gebläse mit ionisierter Luft

Gebläse mit ionisierter Luft dürfen nicht in Zone 0 verwendet werden.

Zunächst wird die Luft mit einer der vorgenannten Methoden ionisiert und anschließend durch ein Gebläse an den Verwendungsort gebracht. Dieses Verfahren eignet sich zur Ableitung elektrischer Ladungen von Gegenständen mit kompliziert geformter Oberfläche. Innerhalb des Luftstromes ist die schnelle Abnahme der Ionenkonzentration zu berücksichtigen. Die Ionisation der Luft ist beim Transport über Distanzen > 10 cm oft schwer aufrecht zu erhalten.

3.1.3 Folien- und Papierbahnen

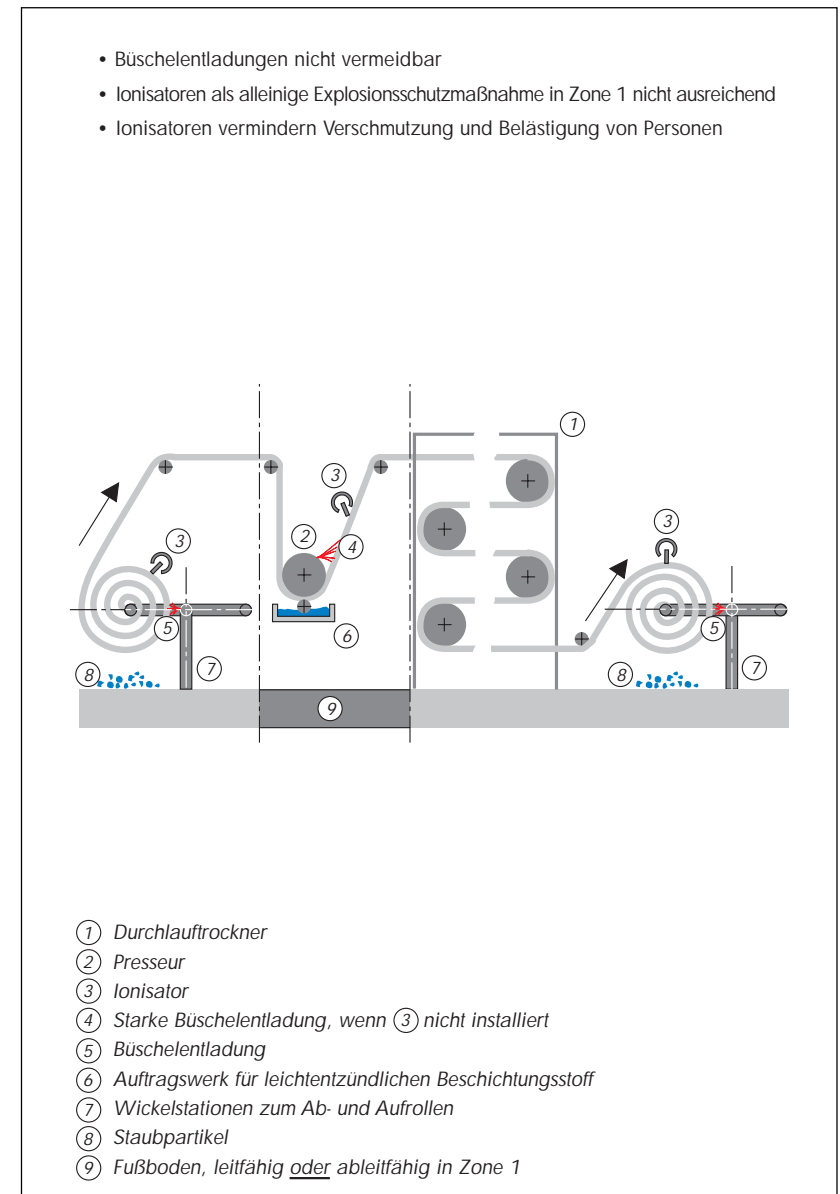
Folien- und Papierbahnen können unter anderem beim Laufen über Walzen gefährlich aufgeladen werden.

Diese Aufladung entsteht beim Abheben oder Trennen des isolierenden Trägermaterials von der Unterlage oder von den Führungs- und Druckelementen, z. B. beim Abwickeln von der Rolle bei Rollenmaschinen, beim Lauf des Trägermaterials über Führungs- und Leitwalzen, beim Austritt der bedruckten bzw. beschichteten Bahn aus dem Druck- bzw. Auftragswerk.

Erfahrungsgemäß ist an Tief- und Flexodruckmaschinen das bedruckte Trägermaterial nach seinem Austritt aus dem Druckwerk, d. h. in unmittelbarer Nähe des Farbkastens, insbesondere beim Einsatz elektrostatischer Druckhilfe am stärksten aufgeladen. Die Farbe selbst wird durch den in ihr rotierenden Zylinder beträchtlich aufgeladen, wozu ihre dispergierten Feststoffanteile stark beitragen.

Die Aufladung beim Drucken und Beschichten ist so gering wie möglich zu halten. Folgende Parameter beeinflussen ihre Höhe:

- Art, Oberflächenbeschaffenheit und Leitfähigkeit der Folien- und Papierbahnen, z. B. durch die Feuchte des Trägermaterials sowie der Verarbeitungsgeschwindigkeit,



Beispiel 1: Beschichten und Bedrucken von isolierenden Folien

- Art, Oberflächenbeschaffenheit und Leitfähigkeit der Führungs- und Druckelemente, wie Rollen, Walzen und Zylinder,
- konstruktionsbedingte zusätzliche Reibung zwischen Materialbahn und Rollen, Walzen und Zylindern beim Anlauf oder bei Geschwindigkeitsänderung von Rollenmaschinen oder bei schwergängigen Umlenkwalzen,
- relative Luftfeuchte im Arbeitsraum.

In explosionsgefährdeten Bereichen können gefährliche Aufladungen durch folgende Maßnahmen verringert werden:

- Erdung aller leitfähigen Teile,
- Einsatz ableitfähiger Materialien für Rollen, Walzen und Zylinder,
- Erhöhung der Leitfähigkeit für Farben, Lacke, Klebstoffe, Lösemittel, Schmiermittel oder des Trägermaterials auf mindestens 1000 pS/m,
- Entladung der Papier- oder Folienbahn auslaufseitig in der Mitte zwischen der Ablöselinie vom Presseur und der ersten Umlenkrolle und – falls notwendig – zusätzlich vor Eintritt in das Druck- oder Auftragswerk.

In vielen Fällen reichen die genannten Maßnahmen nicht aus und die explosionsfähige Atmosphäre ist z. B. durch technische Lüftung zu vermeiden.

3.1.4 **Fördergurte**

Der kontinuierliche Trennvorgang zwischen den Trommeln und dem Fördergurt kann beträchtliche Ladungsmengen auf den bewegten Oberflächen und dabei gefährliche Aufladungen erzeugen. Die Aufladung hängt vom spezifischen Widerstand der verwendeten Werkstoffe ab. Sie steigt mit der Geschwindigkeit, der Zugspannung sowie der Breite der Berührungsfläche.

Die vom Gurtband aufgenommene Ladung kann nur über die geerdeten ableitfähigen Rollen oder Trommeln sicher abgeleitet werden, wenn der Fördergurt ausreichend ableitfähig ist.

Normalerweise wird ein Fördergurt aus isolierendem Material gefertigt, wohingegen Antriebstrommel und Tragrollen aus leitfähigem Material bestehen.

Ein Fördergurt heißt ableitfähig, wenn die Oberflächenwiderstände der Ober- und Unterseite des Bandes weniger als $3 \cdot 10^8 \Omega$ betragen. Besteht der Gurt aus Schichten unterschiedlicher Materialien, wird er nur als ableitfähig betrachtet, solange sein Durchgangswiderstand $10^9 \Omega$ nicht überschreitet.

Die Widerstandsmessung erfolgt bei 23 °C und 50 % relativer Luftfeuchte.

Siehe auch DIN EN 1637.

In explosionsgefährdeten Bereichen dürfen nur ableitfähige Fördergurte eingesetzt werden. Diese sind über leitfähige, geerdete Rollen und Trommeln zu führen. Isolierende Fördergurte dürfen nur dann eingesetzt werden, wenn gefährliche Aufladungen ausgeschlossen sind.

Gurtverbinder sind in Bereichen der Zone 0 nicht zulässig. Gleiches gilt in Zone 1 bei Gasen oder Dämpfen der Explosionsgruppe IIC.

Reparaturen ableitfähiger Fördergurte dürfen den Widerstand nicht erhöhen.

Für Fördergurte gelten die Höchstgeschwindigkeiten der Tabelle 2.

Zone	Höchstgeschwindigkeit [m/s] für Explosionsgruppen		
	IIA	IIB	IIC
0	0,5	0,5	0,5
1	5	5	0,5
2	Beschränkungen nur erforderlich, wenn betriebsmäßig zündwirksame Entladungen auftreten.		

Tabelle 2: Höchstgeschwindigkeiten für ableitfähige Fördergurte

In Explosionsgruppe I gelten die gleichen Werte wie für Explosionsgruppe IIA.

Für Bandgeschwindigkeiten > 5 m/s liegen keine Erfahrungen vor.

3.1.5 **Antriebsriemen**

Der kontinuierliche Trennvorgang zwischen dem Antriebsriemen und der Riemenscheibe kann beträchtliche Ladungsmengen auf den bewegten Oberflächen und dabei gefährliche Aufladungen erzeugen. Die Aufladung hängt vom spezifischen Widerstand der verwendeten Werkstoffe ab. Sie steigt mit der Geschwindigkeit, der Zugspannung sowie der Breite der Berührungsflächen.

Antriebsriemen sind Keilriemen, Zahnriemen und Flachriemen, die rotierende Teile oder Maschinen antreiben.

Die Materialien, aus denen der Riemen gefertigt ist, sind häufig isolierend, während die Riemenscheiben normalerweise aus Metall sind.

Ein Antriebsriemen heißt ableitfähig, wenn für den Riemen gilt:

$$R \cdot B \leq 10^5 \Omega m$$

R Widerstand des montierten Antriebsriemens gegen Erde. Der Messpunkt liegt auf der Innenseite des Riemens und in der Mitte zwischen zwei Laufrollen.

B bei Flachriemen die Riemenbreite, bei Keilriemen die doppelte Flankenbreite.

Besteht der Antriebsriemen aus Schichten unterschiedlicher Materialien, wird er nur dann als ableitfähig betrachtet, wenn zusätzlich sein Durchgangswiderstand senkrecht zu den Schichten $10^9 \Omega$ nicht überschreitet.

Die Widerstandsmessung erfolgt bei 23 °C und 50 % relativer Luftfeuchte.

In explosionsgefährdeten Bereichen der Zone 0 dürfen keine, in den Zonen 1 und 2 nur ableitfähige Antriebsriemen eingesetzt werden. Sie sind über leitfähige, geerdete Riemenscheiben zu führen. Isolierende Antriebsriemen dürfen nur dann eingesetzt werden, wenn gefährliche Aufladungen ausgeschlossen sind.

Riemenverbinder sind nicht zulässig.

Haftwachs oder isolierende Klebstoffe dürfen die ableitfähige Eigenschaft der Antriebsriemen nicht herabsetzen.

Reparaturen ableitfähiger Antriebsriemen dürfen den Widerstand nicht erhöhen.

Für Antriebsriemen gelten die Höchstgeschwindigkeiten der Tabelle 3.

Zone	Höchstgeschwindigkeit [m/s] für Explosionsgruppen		
	IIA	IIB	IIC
0	0	0	0
1	30	30	0
2	Beschränkungen nur erforderlich, wenn betriebsmäßig zündwirksame Entladungen auftreten.		

Tabelle 3: Höchstgeschwindigkeiten für ableitfähige Antriebsriemen

In Explosionsgruppe I gelten die gleichen Werte wie für Explosionsgruppe IIA.

Erfahrungen bei höheren Treibriemengeschwindigkeiten liegen nicht vor.

Siehe auch ISO 1813.

3.2 Elektrostatische Aufladungen beim Umgang mit Flüssigkeiten

Durch Füllen und Entleeren von Behältern mit Flüssigkeiten, durch Umpumpen, Rühren, Mischen und Versprühen von Flüssigkeiten aber auch beim Messen und Probenehmen sowie durch Reinigungsarbeiten können sich Flüssigkeiten oder das Innere von Behältern gefährlich aufladen. Die Höhe der Aufladung hängt von den Eigenschaften der Flüssigkeit, ihrer Strömungsgeschwindigkeit, dem Arbeitsverfahren sowie von der Größe und Geometrie des Behälters sowie von den Behältermaterialien ab.

3.2.1 Einteilung von Flüssigkeiten

Die Höhe der Aufladung einer Flüssigkeit steigt mit der Größe vorhandener Grenzflächen, z. B. an Wandungen und mit der Strömungsgeschwindigkeit. Eine zweite, nicht mischbare Phase, z. B. in Dispersionen oder flüssig/flüssig-Mischungen, vergrößert die Aufladung erheblich. Da sich Flüssigkeiten niedriger Leitfähigkeit stärker aufladen als solche hoher Leitfähigkeit, werden zur Wahl geeigneter Maßnahmen die Flüssigkeiten hinsichtlich ihrer Leitfähigkeit χ wie folgt eingeteilt:

- niedrige Leitfähigkeit $\chi \leq 50 \text{ pS/m}$
- mittlere Leitfähigkeit $50 \text{ pS/m} < \chi \leq 1\,000 \text{ pS/m}$
- hohe Leitfähigkeit $1\,000 \text{ pS/m} < \chi$

Die Leitfähigkeit kann nach DIN 51412 Teil 1 oder Teil 2 bestimmt werden. Zur Veranschaulichung der Begriffe siehe auch Anhang 9.

Die Leitfähigkeit ist der Kehrwert des spezifischen Widerstandes, z. B. $1\,000 \text{ pS/m}$ entsprechen $10^9 \Omega m$. Die hier genannten Bereiche stimmen nicht mit den in den Begriffsbestimmungen genannten Grenzen für leitfähig, ableitfähig und isolierend überein.

Ergebnisse von Messungen der Leitfähigkeit einer Flüssigkeit können unterschiedliche Werte bei ruhenden bzw. nicht ruhenden Flüssigkeiten ergeben.

Eine gefährliche Aufladung tritt besonders leicht bei Flüssigkeiten niedriger Leitfähigkeit auf. Bei Flüssigkeiten mittlerer Leitfähigkeit ist beim Strömen durch Rohre und Filter sowie bei Rührprozessen eine gefährliche Aufladung auch noch möglich. Bei Flüssigkeiten hoher Leitfähigkeit ist mit gefährlichen Aufladungen nur bei stark ladungserzeugenden Prozessen, z. B. beim Versprühen oder wenn sie keinen Erdkontakt aufweisen, zu rechnen.

3.2.2 Verfahrenstechnische Maßnahmen

Den Maßnahmen zur Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen ist die Klärung, ob eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre vermieden werden kann, voranzustellen.

Liegt z. B. die Oberflächentemperatur der Flüssigkeit über ihrem Flammpunkt, ist im Dampfraum stets von einer explosionsfähigen Atmosphäre auszugehen. Ist ein Behälter starker Sonneneinstrahlung ausgesetzt, muss – solange der Flammpunkt der Flüssigkeiten unter 55 °C liegt – bereits von einer explosionsfähigen Atmosphäre im Behälter ausgegangen werden. In Bereichen extrem hoher Umgebungstemperatur oder besonders intensiver Sonneneinstrahlung können explosionsfähige Atmosphären auch bei Flüssigkeiten auftreten, deren Flammpunkt über 55 °C liegt. Beim Umgang mit Flüssigkeiten, deren oberer Explosionspunkt deutlich unter der Umgebungstemperatur liegt, darf nicht generell davon ausgegangen werden, dass die Dampfphase über der Flüssigkeit nicht explosionsfähig ist.

Oft entsteht die explosionsfähige Atmosphäre nicht durch die gehandhabte Flüssigkeit selbst, sondern durch Reste aus der vorhergehenden Füllung eines Behälters. Dies ist z. B. der Fall, wenn eine Flüssigkeit mit hohem Flammpunkt in einen Behälter geladen wird, der zuvor eine Flüssigkeit mit niedrigem Flammpunkt, z. B. Benzin enthielt (so genanntes „Switch-Loading“).

Die folgenden Maßnahmen gelten für den Umgang mit Flüssigkeiten und organischen Lösemitteln der Explosionsgruppen IIA und IIB mit MZE $\geq 0,2$ mJ sowie mit Mineralölprodukten, die explosionsfähige Atmosphären bilden können. Sie gelten somit z. B. nicht für Schwefelkohlenstoff oder Diethylether.

Alle leitfähigen Stoffe, Einrichtungen und Gegenstände sind zu erden und alle ableitenden mit Erde zu verbinden.

Hinsichtlich Erdung und Potenzialausgleich siehe Abschnitt 3.6.

Arbeitsschritte, z. B. Rühren, Umpumpen, Dispergieren, dürfen nur in leitfähigen Behältern durchgeführt werden, es sei denn, die Leitfähigkeit der homogenen Phase beträgt mehr als 1 000 pS/m.

Zur Vermeidung gefährlicher Ladungsansammlungen in Flüssigkeiten ist die Erhöhung der Leitfähigkeit durch Additive eine wirksame Maßnahme.

Mit speziellen Additiven kann die Leitfähigkeit einer Flüssigkeit auf über 50 pS/m erhöht werden, z. B. bei Flugzeugkraftstoffen. Oft genügen bereits Konzentrationen im ppm-Bereich.

Beim Umgang mit brennbaren Flüssigkeiten muss oft die Erzeugung elektrostatischer Ladungen begrenzt werden.

Maßnahmen können sein:

- Beim Rühren oder Schütteln z. B.:
 - Begrenzen der Nennleistung des Rührwerks,
 - Vermeiden einer zweiten, nicht mischbaren Phase.
- Beim Befüllen oder Entleeren eines Behälters z. B.:
 - Begrenzen der Strömungsgeschwindigkeit in der Rohrleitung, *Begrenzungen der Strömungsgeschwindigkeit beziehen sich im Folgenden auf Flüssigkeiten im normalen Viskositätsbereich. Bei Flüssigkeiten hoher Viskosität, z. B. Schmierölen, sind darüber hinaus gehende Maßnahmen erforderlich.*
 - *Siehe auch Abschnitt 3.2.6.*
 - Ausreichende Verweilzeit hinter Pumpen und Filtern, z. B. durch Berücksichtigen einer Zeitspanne vom mehrfachen der Relaxationszeit gemäß Anhang 6,
 - Vermeiden verspritzender Flüssigkeit, z. B. durch Unterspiegelabfüllung oder durch Füllrohrführung bis zum Boden bei der Kopfbefüllung oder Befüllung von unten mit Ablenplatte bei der Bodenbefüllung,
 - Vermeiden von Gasblasen,
 - Vermeiden einer zweiten, nicht mischbaren Phase oder deren Aufwirbelung, z. B. von Wasser am Grund von Öltanks.
- Beim Reinigen von Behältern mit Flüssigkeitsstrahler z. B.:
 - Beschränken des Flüssigkeitsdruckes und -durchsatzes,
 - Vermeiden einer zweiten, nicht mischbaren Phase; insbesondere, wenn die Reinigungsflüssigkeit im Kreislauf geführt wird,
 - Vermeiden der Tankreinigung mit Dampfstrahl.
- Beim Umgang mit Suspensionen z. B.:
 - Verringerung der Strömungsgeschwindigkeit.
- Beim Betrieb von Behältern z. B.:
 - Beschränkung des Potenzials an der Oberfläche der aufgeladenen Flüssigkeit auf Werte unter 58 kV, *Erfahrungsgemäß können Büschelentladungen zwischen der Oberfläche einer gefährlich aufgeladenen Flüssigkeit und Einbauten oder Vorsprüngen in einem Behälter auftreten.*

So gilt z. B. bei Kohlenwasserstoffen, dass deren Dampf/Luft-Gemische entzündet werden können, wenn das Potenzial an der Oberfläche der aufgeladenen Flüssigkeit auf Werte über 58 kV ansteigt.

Siehe auch Handbuch des Explosionsschutzes, Steen et al, Wiley-VCH, Weinheim (2000)

- Vermeiden isolierter, leitfähiger Gegenstände im Behälter.
Zündwirksame Entladungen können auch bei Potenzialen unterhalb von 58 kV auftreten, wenn sich in einem Behälter isolierte leitfähige Gegenstände befinden, z. B. metallene Schwimmkörper.
- Regelmäßige Kontrolle auf schwimmende Gegenstände.

Weitergehende Maßnahmen, insbesondere beim Befüllen oder Entleeren, sind abhängig von der Behältergröße. Im Folgenden werden

- große,
- mittelgroße
und
- kleine

Behälter unterschieden.

3.2.3 Große Behälter

Große Behälter sind Behälter mit einer Diagonalen > 5 m oder einem Behälterinhalt > 50 m³. Dazu gehören z. B. Lagertanks und auch Ladetanks von Schiffen.

Behälter aus ausschließlich ableitfähigem Material werden wie Metallbehälter behandelt.

Große Behälter aus ableitfähigem Kunststoff oder mit ableitfähigen Kunststoffbeschichtungen, sind mit der Aufschrift „elektrostatisch ableitfähig“ zu versehen. Ortsfeste große Behälter müssen Erdkontakt besitzen und ortsbewegliche müssen mit Erdungseinrichtungen ausgerüstet sein.

Große Behälter aus nichtmetallischen Werkstoffen erfordern eine gesonderte Beurteilung.

Im Bereich großer ortsfester Behälter unterscheidet man Tanks mit Festdach und Tanks mit Schwimmdach oder innerer Schwimmdecke.

3.2.3.1 Begrenzung der Strömungsgeschwindigkeit

Für die sichere Befüllung großer Behälter kann eine Begrenzung der Strömungsgeschwindigkeit erforderlich sein.

Die Füllgeschwindigkeit [m³/h] wird durch die Strömungsgeschwindigkeit [m/s] im Füllrohr und den Füllrohrquerschnitt [m²] bestimmt.

Die Begrenzung der Strömungsgeschwindigkeit hängt unter anderem von folgenden Randbedingungen ab:

- Verunreinigung der Flüssigkeit mit einer anderen, nicht mischbaren Phase,
Eine Flüssigkeit ist verunreinigt, wenn sie mehr als 0,5 Vol.-% freie, nicht mischbare Flüssigkeit, z. B. Wasser in Benzin, oder wenn sie mehr als 10 mg/l suspendierte Feststoffe enthält.
- der Füllvorgang befindet sich noch in der Anfangsphase.

Die Anfangsphase des Füllvorganges endet beim Tank mit Festdach, wenn der Auslauf des Füllrohres und alle weiteren Einbauteile am Boden des Tanks um mindestens das 2fache des Füllrohrdurchmessers überdeckt sind.

Bei Tanks mit Schwimmdach oder inneren Schwimmdecken endet die Anfangsphase beim Aufschwimmen des Daches oder der Abdeckung.

Liegt Wasser in den Rohrleitungen vor, endet die Anfangsphase nachdem das vorhandene Wasser vollständig beseitigt wurde.

Erfahrungsgemäß liegt kein Wasser in den Rohrleitungen mehr vor, nachdem das 2fache des Rohrleitungsinhaltes in den Tank gelaufen ist oder die Befüllung bei niedriger Strömungsgeschwindigkeit 30 Minuten angedauert hat.

Die höchstzulässigen Strömungsgeschwindigkeiten für das Befüllen großer Metalltanks mit Flüssigkeiten niedriger Leitfähigkeit zeigt Tabelle 4.

Bei Strömungsgeschwindigkeiten < 7 m/s ist erfahrungsgemäß nicht mit gefährlichen Aufladungen zu rechnen.

Randbedingung beim Befüllen	Tank mit Festdach	Tank mit Schwimmdach oder Schwimmdecke
In der Anfangsphase	v < 1 m/s	v < 1 m/s
danach ohne Verunreinigungen	v < 7 m/s	keine Begrenzung der Strömungsgeschwindigkeit
danach mit Verunreinigungen	v < 1 m/s	

Tabelle 4: Höchstzulässige Strömungsgeschwindigkeiten v beim Befüllen großer Metalltanks mit Flüssigkeiten niedriger Leitfähigkeit

Da für mittlere Leitfähigkeiten von 50 pS/m bis 1 000 pS/m nur geringe Erfahrungswerte vorliegen, wird empfohlen, die Werte der Tabelle 4 auch für diese Flüssigkeiten anzuwenden.

3.2.3.2 Tanks mit Festdach

Neben den Maßnahmen nach Abschnitt 3.2.2 sind alle leitfähigen Teile der Tanks und alle dazugehörenden leitfähigen Ausrüstungen, wie Rohre, Pumpen, Filtergehäuse, zu erden.

Bei Flüssigkeiten niedriger Leitfähigkeit sind zusätzliche Maßnahmen erforderlich:

- Flüssigkeiten dürfen nicht in einen Tank, der bereits eine Flüssigkeit höherer Dichte als die der einzufüllenden enthält, eingefüllt werden.
- Die einfließende Flüssigkeit darf keine gasförmige Phase, z. B. Luft- oder Dampfblasen enthalten.

Diese Maßnahmen vermeiden den Auftrieb aufgeladener Flüssigkeiten an die Oberfläche und verringern das elektrische Potenzial im Totraum des Tanks.

- Hinter Einrichtungen, die Flüssigkeiten aufladen, z. B. Mikrofilter in der Einfüllleitung, ist eine angemessene Verweilzeit zwischen den ladungserzeugenden Bauteilen und dem Tankeinlass erforderlich.

Damit wird die Ansammlung von Ladungen im Tank verringert.

- Die Befüllung ist so durchzuführen, dass Entladungen zwischen der Flüssigkeit und dem Füllrohr oder den Einbauteilen vermieden werden.
- Turbulenz der Flüssigkeiten ist zu vermeiden.

Hierfür wichtige Parameter sind der Querschnitt des Füllrohres, die Füllgeschwindigkeit sowie die Steuerung des Füllrohres bei Unterspiegelbefüllung.

Vermeiden von Turbulenz bedeutet, dass einfließende, aufgeladene Flüssigkeit eher am Boden des Tanks verbleibt und nicht an die Oberfläche gelangt. Abgesetzte, nicht mischbare Flüssigkeiten, z. B. Bodenwasser, Feststoffe oder Sedimente werden ohne Turbulenz nicht aufgewirbelt.

- Füllgeschwindigkeiten und Durchmesser des Füllrohres sind so zu wählen, dass die Strömungsgeschwindigkeiten sowohl zu Beginn als auch danach die höchstzulässigen Werte nach Abschnitt 3.2.3.1 nicht überschreiten.

3.2.3.3 Tanks mit Schwimmdach oder innerer Schwimmdecke

Das Schwimmdach oder die Schwimmdecke müssen aus leitfähigem Material bestehen und geerdet sein, um Aufladungen oberhalb des Flüssigkeitsspiegels zu vermeiden.

Schwimmkörper, z. B. Schwimmkugeln, dürfen nur bei Flüssigkeiten mit ausreichender Leitfähigkeit eingesetzt werden und müssen aus leitfähigem oder ableitfähigem Material bestehen und mit Erde verbunden sein.

Schwimmkörper werden eingesetzt, um die Verdunstung im Tank zu beschränken. Sie können sich gefährlich aufladen, wenn sie nicht mit Erde verbunden sind. Es sind Anwendungen bekannt, bei denen eine Leitfähigkeit > 50 pS/m ausreicht.

Füllgeschwindigkeiten und Durchmesser des Füllrohres sind so zu wählen, dass die Strömungsgeschwindigkeiten sowohl zu Beginn als auch danach die höchstzulässigen Werte nach Abschnitt 3.2.3.1 nicht überschreiten.

In der Anfangsphase ist zu berücksichtigen:

- Hinter Einrichtungen, die Flüssigkeiten aufladen, z. B. Mikrofilter in der Einfüllleitung, ist eine angemessene Verweilzeit zwischen den ladungserzeugenden Bauteilen und dem Tankeinlass erforderlich.
- Eventuell vorhandenes Bodenwasser darf nicht aufgewirbelt werden.

Damit wird die Ansammlung von Ladungen im Tank verringert.

Die einfließende Flüssigkeit darf keine gasförmige Phase, z. B. Luft- oder Gasblasen enthalten.

Unter dieser Bedingung liegt bei Tanks mit Schwimmdach oder innerer Schwimmdecke nach der Anfangsphase keine explosionsfähige Atmosphäre oberhalb des Flüssigkeitsspiegels vor.

3.2.4 Mittelgroße Behälter

Mittelgroße Behälter sind Behälter mit einer Diagonalen ≤ 5 m oder $1 \text{ m}^3 < \text{Rauminhalt} < 50 \text{ m}^3$. Dazu gehören z. B. Reaktionsbehälter und die Behälter von Straßentank- oder Eisenbahnkesselwagen.

Unabhängig von der Leitfähigkeit der Flüssigkeit sind die Maßnahmen zur Begrenzung der Ladungserzeugung nach Abschnitt 3.2.2 zu treffen.

Rohrleitungen und Schläuche müssen aus ableitfähigem Material gefertigt sein oder den Anforderungen an Rohre und Schläuche entsprechen.

Siehe auch Abschnitt 3.2.9.

Die Leitungen dürfen mit Luft oder anderen Gasen nur dann gereinigt werden, wenn unterhalb der höchst zulässigen Strömungsgeschwindigkeit gearbeitet wird.

3.2.4.1 Begrenzung der Füllgeschwindigkeit

Die Füllgeschwindigkeit ist zu begrenzen. Die höchstzulässige Strömungsgeschwindigkeit hängt von Größe und Form des Behälters, der Füllmethode, z. B. Kopf- oder Bodenbefüllung, dem Durchmesser der Leitung zum Behälter und der Leitfähigkeit der Flüssigkeit ab und darf 7 m/s nicht überschreiten.

Quader- oder kugelförmige Behälter von etwa 5 m³ Rauminhalt – das entspricht in etwa der Größe und Form eines Teilraums bei Straßentankfahrzeugen – führen auf Grund ihrer Geometrie am ehesten zu gefährlichen Aufladungen.

Bei der Befüllung mit einer zwei- oder mehrphasigen Flüssigkeit ist die Strömungsgeschwindigkeit auf 1 m/s zu begrenzen. Gleiches gilt auch, wenn abgesetztes Bodenwasser im Behälter aufgewirbelt werden kann.

Die Strömungsgeschwindigkeit soll aber auch 1 m/s nicht wesentlich unterschreiten, da sich andernfalls Wasser an tiefen Punkten in der Rohrleitung absetzen kann.

Für höchst zulässige Strömungsgeschwindigkeiten einphasiger Flüssigkeiten niedriger Leitfähigkeit, z. B. gesättigte kohlenwasserstoffhaltige Flüssigkeiten ohne freies Wasser, gilt:

$v \cdot d/N = 0,38 \text{ m}^2/\text{s}$ bei Bodenbefüllung ohne zentralen Leiter,

$v \cdot d/N = 0,50 \text{ m}^2/\text{s}$ sonstige Befüllung.

v mittlere, lineare Strömungsgeschwindigkeit im Füllrohr [m/s],
 d Füllrohrdurchmesser [m], bei mehreren Füllleitungen zwischen Tankkammern der kleinste Rohrdurchmesser im zu befüllenden Tank bzw. der Tankkammer [m].

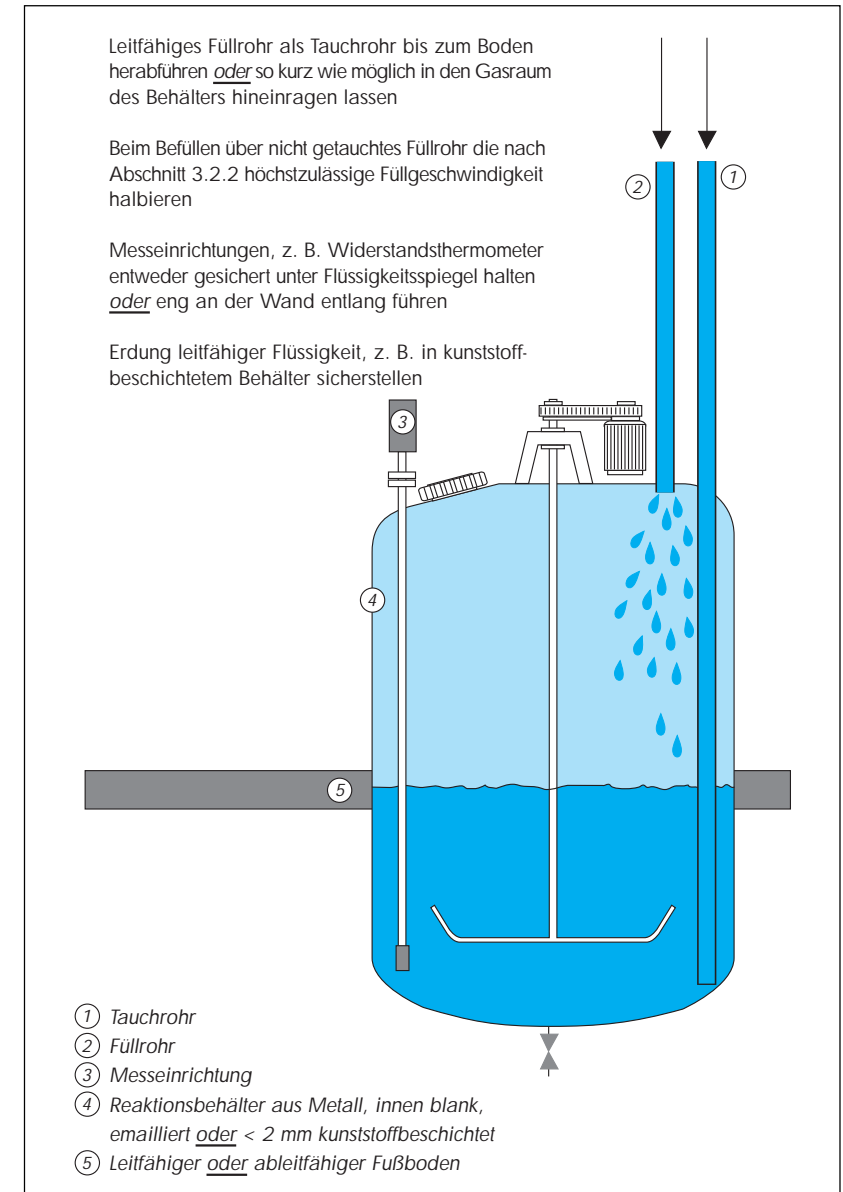
Anmerkung: Anstelle des kleinsten Rohrdurchmessers tritt der nächst größere, wenn die Länge des kleinsten Rohres kürzer als 10 m ist und sein Durchmesser mindestens 2/3 des nächst größeren Durchmessers beträgt,

N Geometriefaktor des Tanks

$N = 1$ für $L < 2,0 \text{ m}$

$N = \sqrt{\frac{L}{2}}$ für $2,0 \text{ m} \leq L \leq 4,5 \text{ m}$ {L Tankkammerlänge [m]}

$N = 1,5$ für $4,5 \text{ m} < L$



Beispiel 2: Befüllen mittelgroßer Behälter

Bei der Bestimmung der Länge einer Tankkammer werden Schwallbleche nicht berücksichtigt.

Bei der Kopfbefüllung wirkt das Füllrohr als zentraler Leiter und reduziert das maximale elektrische Potenzial im Tank.

Liegt z. B. bei der Bodenbefüllung der Kammer eines Straßentankwagens kein zentraler Leiter vor, ist die Strömungsgeschwindigkeit nach der zweiten Formel zu bestimmen, die um 25 % niedrigere Strömungsgeschwindigkeiten ergibt.

Da für mittlere Leitfähigkeiten von 50 pS/m bis 1 000 pS/m nur geringe Erfahrungswerte vorliegen, wird empfohlen, die Werte der Tabelle 5 auch für diese Flüssigkeiten anzuwenden.

3.2.4.2 Straßentankwagen

Für Straßentankwagen gelten über die Anforderungen an mittelgroße Behälter hinaus folgende Maßnahmen:

Der Widerstand zwischen Fahrwerk, Tank und zugehörigen Ausrüstungen auf dem Tankwagen muss $10^6 \Omega$ unterschreiten.

Vor jeder Tätigkeit, z. B. Öffnen der Deckel, Anschließen der Rohre oder Schläuche, ist der Tankwagen mit einem Erdungskabel zu erden, so dass der Widerstand zwischen dem Tank und dem Boden oder gegebenenfalls einer Ladungsbrücke $10^6 \Omega$ unterschreitet. Es darf nicht vor Abschluss aller Tätigkeiten entfernt werden.

Verriegelungen, die eine Be- oder Entladung bei nicht angeschlossenem oder nicht wirksamem Erdungskabel verhindern, werden empfohlen.

Ist die Versiegelung des Untergrundes einer Füllstelle unumgänglich und wird die Füllstelle nur selten benutzt, kann ein isolierender Boden toleriert werden, wenn durch zusätzliche Maßnahmen sichergestellt ist, dass Personen in der Umgebung des Tankwagens geerdet sind oder nicht gefährlich aufgeladen werden.

Werden ein oder mehrere Straßentankwagen mit unterschiedlich großen Tankkammern am gleichen Beladungsort befüllt, darf nur mit der zulässigen Strömungsgeschwindigkeit für die kleinste Tankkammer ($L = 2 \text{ m}$, d. h. $N = 1$) befüllt werden, um Fehler durch Verwechslung der Tankkammern zu vermeiden.

Beim Umgang mit Flüssigkeiten, die eine niedrige Leitfähigkeit aufweisen, gilt für die höchst zulässige Strömungsgeschwindigkeit v :

$v \cdot d/N = 0,38 \text{ m}^2/\text{s}$ bei Bodenbefüllung ohne zentralen Leiter,
 $v \cdot d/N = 0,50 \text{ m}^2/\text{s}$ sonstige Befüllung.

Entscheidend ist die niedrige Leitfähigkeit der Flüssigkeit bei der Verladung.

Zahlenbeispiele sind in Tabelle 5 aufgeführt.

Bei Kopfbefüllung ist das Tauchrohr bis auf den Grund des Tanks herabzusenken, bevor mit der Befüllung begonnen wird.

Straßentankwagen sollen unter freiem Himmel während eines Gewitters nicht ohne Blitzschutz mit brennbaren Flüssigkeiten befüllt werden.

Da für mittlere Leitfähigkeiten von 50 pS/m bis 1 000 pS/m nur geringe Erfahrungswerte vorliegen, wird empfohlen, die Werte der Tabelle 5 auch für diese Flüssigkeiten anzuwenden.

Durchmesser d [m]	Straßentankwagen (N = 1)			
	Sonstige Boden- oder Kopfbefüllung $v \cdot d/N = 0,50 \text{ m}^2/\text{s}$		Bodenbefüllung ohne zentralen Leiter $v \cdot d/N = 0,38 \text{ m}^2/\text{s}$	
	v [m/s]	Füllgeschwindigkeit [m ³ /min]	v [m/s]	Füllgeschwindigkeit [m ³ /min]
0,05	7,0	0,83	5,2	0,62
0,08	6,3	1,90	4,7	1,40
0,10	5,0	2,40	3,8	1,80
0,15	3,3	3,50	2,5	2,70
0,20	2,5	4,70	1,9	3,50

Tabelle 5: Höchst zulässige Füllgeschwindigkeiten für das Befüllen von Straßentankwagen mit Flüssigkeiten niedriger Leitfähigkeit

Zentraler Leiter ist ein in der Mitte des Behälters befindlicher geerdeter leitfähiger Gegenstand, z. B. ein Füllrohr oder ein Stahlseil.

Werden bei Wechselbeladung („switch loading“) schwefelarme Kraftstoffe eingesetzt, sind verringerte ($v \cdot d$) - Werte gemäß Tabelle 6 anzuwenden.

Schwefelgehalt [ppm]	Leitfähigkeit χ [pS/m]		
	$\chi > 50$	$50 \geq \chi > 10$	$\chi < 10$ oder unbekannt
> 50	$v \cdot d < 0,5$	$v \cdot d < 0,5$	$v \cdot d < 0,38$
≤ 50	$v \cdot d < 0,5$	$v \cdot d < 0,38$	$v \cdot d < 0,25$

Tabelle 6: Höchst zulässige Werte für $v \cdot d$ von Kraftstoffen in Abhängigkeit von Schwefelgehalt und Leitfähigkeit (mit $N = 1$)

3.2.4.3 Eisenbahnkesselwagen

Für Eisenbahnkesselwagen gelten über die Anforderungen an mittelgroße Behälter hinaus folgende Maßnahmen:

Die Widerstände zwischen den beiden Schienen des Gleiskörpers untereinander sowie zwischen dem Gleiskörper und der Ladungsbrücke müssen $10^6 \Omega$ unterschreiten.

Entsprechendes gilt für den Widerstand zwischen den Rädern, dem Tank und dem übrigen Kesselwagen. Unter diesen Voraussetzungen ist eine Erdung des Kesselwagens selbst nicht erforderlich, da diese durch die Schienen erfolgt.

Wird, um Streuströme zu verhindern, ein Isolierflansch in der Füllleitung eingebaut, ist vor Füllbeginn das Füllventil mit dem Schienenfahrzeug elektrisch zu verbinden. Die Einrichtung, die für das Füllen des Kesselwagens verwendet wird, muss vom übrigen Gleiskörper isoliert sein, um Streuströme zu vermeiden. Die Isolierung durch den Isolierflansch darf bei diesem Verfahren nicht durch Gegenstände oder Eisenbahnwagen kurzgeschlossen werden.

Werden Flüssigkeiten mit niedriger Leitfähigkeit verladen gilt, unabhängig von der Länge der Tankkammer ($N = 1,5$) für die höchst zulässige Strömungsgeschwindigkeit v :

- $v \cdot d/N = 0,35 \text{ m}^2/\text{s}$ bei Wechselbeladung schwefelarmer Kraftstoffe niedriger Leitfähigkeit,
- $v \cdot d/N = 0,38 \text{ m}^2/\text{s}$ für Bodenbefüllung ohne zentralen Leiter,
- $v \cdot d/N = 0,50 \text{ m}^2/\text{s}$ sonstige Befüllung.

Zahlenbeispiele sind in Tabelle 7 aufgeführt.

Bei Kopfbefüllung ist das Tauchrohr bis auf den Grund des Tanks herabzusenken, bevor mit der Befüllung begonnen wird.

Eisenbahnkesselwagen sollen unter freiem Himmel während eines Gewitters nicht ohne Blitzschutz mit brennbaren Flüssigkeiten befüllt werden.

Da für mittlere Leitfähigkeiten von 50 pS/m bis 1 000 pS/m nur geringe Erfahrungswerte vorliegen, wird empfohlen, die Werte der Tabelle 7 auch für diese Flüssigkeiten anzuwenden.

Durchmesser d [m]	Eisenbahnkesselwagen ($N = 1,5$)			
	Sonstige Boden- oder Kopfbefüllung $v \cdot d/N = 0,50 \text{ m}^2/\text{s}$		Bodenbefüllung ohne zentralen Leiter $v \cdot d/N = 0,38 \text{ m}^2/\text{s}$	
	v [m/s]	Füllgeschwindigkeit [m ³ /min]	v [m/s]	Füllgeschwindigkeit [m ³ /min]
0,10	7,0	3,3	5,6	2,6
0,15	5,0	5,3	3,7	4,0
0,20	3,8	7,1	2,8	5,3
0,25	3,0	8,8	2,2	6,6
0,30	2,5	10,6	1,9	7,9

Tabelle 7: Höchst zulässige Füllgeschwindigkeiten für das Befüllen von Eisenbahnkesselwagen mit Flüssigkeiten niedriger Leitfähigkeit

Ist die Versiegelung des Untergrundes einer Füllstelle unumgänglich und wird die Füllstelle nur selten benutzt, kann ein isolierender Boden toleriert werden, wenn durch zusätzliche Maßnahmen sichergestellt ist, dass Personen in der Umgebung des Eisenbahnkesselwagens gerettet sind oder nicht gefährlich aufgeladen werden.

3.2.4.4 Ableitfähige Behälter

Mittelgroße Behälter aus ausschließlich ableitfähigem Material werden wie Metallbehälter behandelt.

Zur Beurteilung können die Aussagen zu großen Behältern herangezogen werden.

Siehe auch Abschnitt 3.2.3.

Mittelgroße Behälter aus ableitfähigem Kunststoff oder mit ableitfähigen Kunststoffbeschichtungen, sind mit der Aufschrift „elektro-

statisch ableitfähig“ zu versehen. Ortsfeste Behälter müssen Erdkontakt besitzen und ortsbewegliche mit Erdungseinrichtungen ausgerüstet sein.

3.2.4.5 Leitfähige oder ableitfähige Behälter mit isolierender Innenbeschichtung

Behälter mit isolierender Innenbeschichtung dürfen nicht mit Flüssigkeiten der Explosionsgruppen IIC und IIB mit MZE < 0,2 mJ befüllt werden.

An Innenbeschichtungen können gefährliche Aufladungen z. B. durch Reibung, Reinigung oder Kontakt mit aufgeladener Flüssigkeit auftreten. Diese Gefahr besteht nicht bei Beschichtungen von weniger als 2 mm Dicke, z. B. Farbschichten oder Epoxidbeschichtungen, solange der Behälter nur zum Befüllen, Entleeren, Transportieren und Lagern verwendet wird und nicht wiederholt schnell befüllt wird.

Stark ladungserzeugende Prozesse, z. B. wiederholtes schnelles Befüllen, können auf der beschichteten Innenseite hohe Ladungsdichten erzeugen, die zu zündwirksamen Gleitstielbüschelentladungen führen. In diesen Fällen muss die Durchschlagspannung der Beschichtung < 4 kV sein.

Für innenbeschichtete Behälter gilt ferner:

- Die Beschichtung muss fest mit der Behälterwand verbunden sein; Ablösen oder Abblättern der Beschichtung darf nicht auftreten.
- Es muss eine elektrische Verbindung zwischen Flüssigkeit und Erde vorhanden sein.

Diese kann z. B. durch ein geerdetes leitfähiges Steigrohr am Tankboden oder Fußventil bzw. eine geerdete Metallplatte am Tankboden realisiert werden.

- Personen sind beim Betreten eines Behälters zu erden.

3.2.4.6 Leitfähige oder ableitfähige Behälter mit isolierender Außenbeschichtung

Der Behälter einschließlich aller Bauteile ist zu erden bzw. mit Erde zu verbinden. Personen in der direkten Umgebung des Behälters dürfen nicht aufgeladen werden.

Es besteht leicht die Gefahr, dass die äußere Beschichtung eines Behälters aufgeladen wird und dass außen angebrachte Gegenstände isoliert sind.

Bei Beschichtungsstärken < 2 mm sind keine gefährlichen Aufladungen zu erwarten, solange nicht durch äußere Prozesse starke elektrostatische Aufladungen erzeugt werden, z. B. durch Sprühaufladung.

3.2.4.7 Leitfähige oder ableitfähige Behälter mit mehrfacher Beschichtung

Über die Anforderungen der Abschnitte 3.2.4.5 und 3.2.4.6 hinaus ist bei Behältern mit mindestens einer leitfähigen Schicht, die zwischen zwei isolierenden Schichten liegt, zu beachten:

1. Der Erdungsanschluss der leitfähigen Schicht muss den zu erwartenden Belastungen standhalten.
2. Die Flüssigkeit und die leitfähigen Schichten sind elektrisch zu verbinden.
3. Besteht die leitfähige Schicht aus einem Netz oder Gitter, darf die Fläche der einzelnen Maschen nicht größer sein als der in Tabelle 1a für Zone 0 angegebene Wert.

Siehe auch Abschnitt 3.1.2.1.

Stark ladungserzeugende Prozesse, z. B. wiederholtes schnelles Befüllen, können auf der beschichteten Innenseite hohe Ladungsdichten erzeugen, die zu zündwirksamen Gleitstielbüschelentladungen führen. In diesen Fällen muss die Durchschlagspannung der Beschichtung < 4 kV sein.

3.2.4.8 Isolierende Behälter

Isolierende Behälter dürfen in explosionsgefährdeten Bereichen nicht eingesetzt werden, es sei denn, sie können nachweislich nicht gefährlich aufgeladen werden.

Sie können z. B. von außen nicht gefährlich aufgeladen werden, wenn sie in der Erde vergraben sind.

Durch Vergraben wird ein isolierender Behälter einem leitfähigen Tank mit isolierender Innenbeschichtung vergleichbar und kann für brennbare Flüssigkeiten gemäß Abschnitt 3.2.4.5 eingesetzt werden.

3.2.5 Kleine Behälter

Kleine Behälter sind Behälter mit einem Volumen ≤ 1 m³. Sie sind in der Regel aus Metall oder beschichtetem Metall, aus Kunststoffen oder umwehrten und ummantelten Kunststoffen oder aus Glas hergestellt.

Beispiele für diese Behälter sind Container, Fässer, Kanister, Flaschen.

Glasbehälter siehe Abschnitt 3.2.13.

Gefährliche Aufladungen können durch Reibung, durch Flüssigkeitsströmung oder durch nicht geerdete Personen entstehen. In diesen Fällen muss mit gefährlichen Entladungen an isolierten Metallkomponenten, z. B. Griffen, Verschlüssen, Fasspumpen, sowie an festen oder flüssigen Oberflächen gerechnet werden.

3.2.5.1 Leitfähige oder ableitfähige Behälter

Während des Befüllens und Entleerens des Behälters müssen alle leitfähigen oder ableitfähigen Teile des Systems elektrisch verbunden und geerdet sein.

Ein Metalltrichter darf nicht, z. B. durch eine Kunststoffmuffe, vom Behälter isoliert sein.

Isolierende Teile, z. B. Kunststofftrichter, dürfen nicht eingesetzt werden. Ausnahmen siehe Abschnitte 3.2.5.5 und 3.2.8.

Beim Befüllen des Behälters mit Flüssigkeiten der Explosionsgruppen IIC und IIB mit MZE < 0,2 mJ oder mit mehrphasigen Flüssigkeiten, deren kontinuierliche Phase eine niedrige Leitfähigkeit aufweist, darf die höchst zulässige Strömungsgeschwindigkeit von 1 m/s nicht überschritten werden.

3.2.5.2 Leitfähige oder ableitfähige Behälter mit isolierender Innenbeschichtung

Zur Vermeidung von Büschelentladungen dürfen Beschichtungsdicken 2 mm nicht überschreiten. Werden beschichtete Behälter für Stoffe der Explosionsgruppe IIC verwendet, dürfen nur Beschichtungsdicken < 0,2 mm verwendet werden.

An Innenbeschichtungen können gefährliche Aufladungen, z. B. durch Reibung, Reinigung oder Kontakt mit aufgeladener Flüssigkeit, auftreten.

Diese Gefahr besteht nicht bei Beschichtungsdicken < 2 mm, z. B. Farbschichten oder Epoxidbeschichtungen, solange der Behälter nur zum Befüllen, Entleeren, Transportieren und Lagern verwendet wird.

Stark ladungserzeugende Prozesse, z. B. wiederholtes schnelles Befüllen, sind zu vermeiden, es sei denn, die Innenbeschichtung besitzt eine Durchschlagspannung < 4 kV.

Anderenfalls können auf der beschichteten Innenseite hohe Ladungsdichten auftreten, die zu zündwirksamen Gleitstielbüschelentladungen führen.

Die Beschichtung muss fest mit der Behälterwand verbunden sein; Ablösen oder Abblättern der Beschichtung darf nicht auftreten.

Sowohl bei leitfähigen als auch bei ableitfähigen Flüssigkeiten muss während des Befüllens oder Entleerens eine leitfähige Verbindung zwischen Flüssigkeit und Erde vorhanden sein. Dies ist über Unterspiegelbefüllung zu erreichen, z. B. durch ein bis zum Boden geführtes Tauchrohr.

3.2.5.3 Leitfähige oder ableitfähige Behälter mit isolierender Außenbeschichtung

Gegen die durch die Beschichtung zusätzlich auftretenden Gefahren sind die Maßnahmen für mittelgroße Behälter nach Abschnitt 3.2.4.6 zu treffen.

3.2.5.4 Isolierende Behälter mit leitfähiger Umhüllung

Isolierende Behälter mit leitfähiger Umhüllung dürfen für brennbare Flüssigkeiten der Explosionsgruppe IIC und IIB mit MZE < 0,2 mJ nicht verwendet werden. Für alle anderen brennbaren Flüssigkeiten muss nachgewiesen sein, dass weder die Außen- und Innenflächen des Behälters noch die Flüssigkeit im Behälter gefährlich aufgeladen werden können.

Ein entsprechender Nachweis kann z. B. durch eine fachkundige Prüfung erbracht werden.

Ein Beispiel isolierender Behälter mit leitfähiger Umhüllung ist der glitterummantelte oder außen leitfähig beschichtete, kubische Kunststoffbehälter auf Palette, der so genannte „Intermediate Bulk Container“ (IBC).

Da Normen für Bauarten des IBC hinsichtlich ihres Aufladungsverhaltens bislang nicht vorliegen, sind Einzelheiten zu den Eigenschaften in den folgenden neun Punkten enthalten.

Die Arbeitsschritte Befüllen, Transportieren, Lagern, Bereithalten vor Ort und Entleeren eines derartigen Behälters, z. B. IBC, sind dann sicher, wenn alle nachfolgenden neun Mindestanforderungen erfüllt werden:

1. Die Behälterblase besitzt eine Wandstärke ≤ 2 mm. Ausnahmen sind nur an Ecken und Kanten zu tolerieren.

2. Der Behälter ist bis auf kleine Flächen allseitig mit einer leitfähigen Umhüllung versehen. Im Falle eines Gitters

- müssen die vom Gitter gebildeten Teilflächen $\leq 100 \text{ cm}^2$ sein,
- muss das Gitter an allen 6 Behälterseiten eng anliegen und die Kunststoffblase berühren und es darf nur an wenigen konstruktionsbedingten Stellen ein Abstand von höchstens 2 cm zwischen Kunststoffbehälter und Umhüllung auftreten,

Konstruktionsbedingte Stellen sind z. B. Stutzen und Armaturenanschlüsse.

- kann ein größerer Abstand nur an Ecken und Kanten toleriert werden.

Ecken und Kanten der Behälterblase sind meist abgerundet, um Stoß- und Fallprüfung zu bestehen.

3. Kleine Flächen, z. B. Schraubdeckel, die nicht durch die Umhüllung geschützt sind, müssen die Anforderungen nach Abschnitt 3.1.2 erfüllen.

4. Zwischen der Flüssigkeit im Behälter und der Behälterumhüllung muss eine dauerhafte leitfähige Verbindung bestehen.

5. Alle leitfähigen Teile des Behälters müssen untereinander dauerhaft leitfähig verbunden sein.

6. Gemäß Abschnitt 3.6.3.3 muss die Umhüllung des Behälters beim Befüllen und Entleeren geerdet werden.

Der elektrische Widerstand zwischen Behälterumhüllung und anderen leitfähigen Teilen des Behälters sowie der Kontaktfläche zum Fußboden darf $10^6 \Omega$ nicht überschreiten.

7. Die Befüllung eines Behälters darf nicht in gefährlich aufgeladenem Zustand erfolgen. Intermittierendes Befüllen oder Entleeren sowie Befüllen und Entleeren in kürzeren Zeitabständen als 1 h ist zu vermeiden.

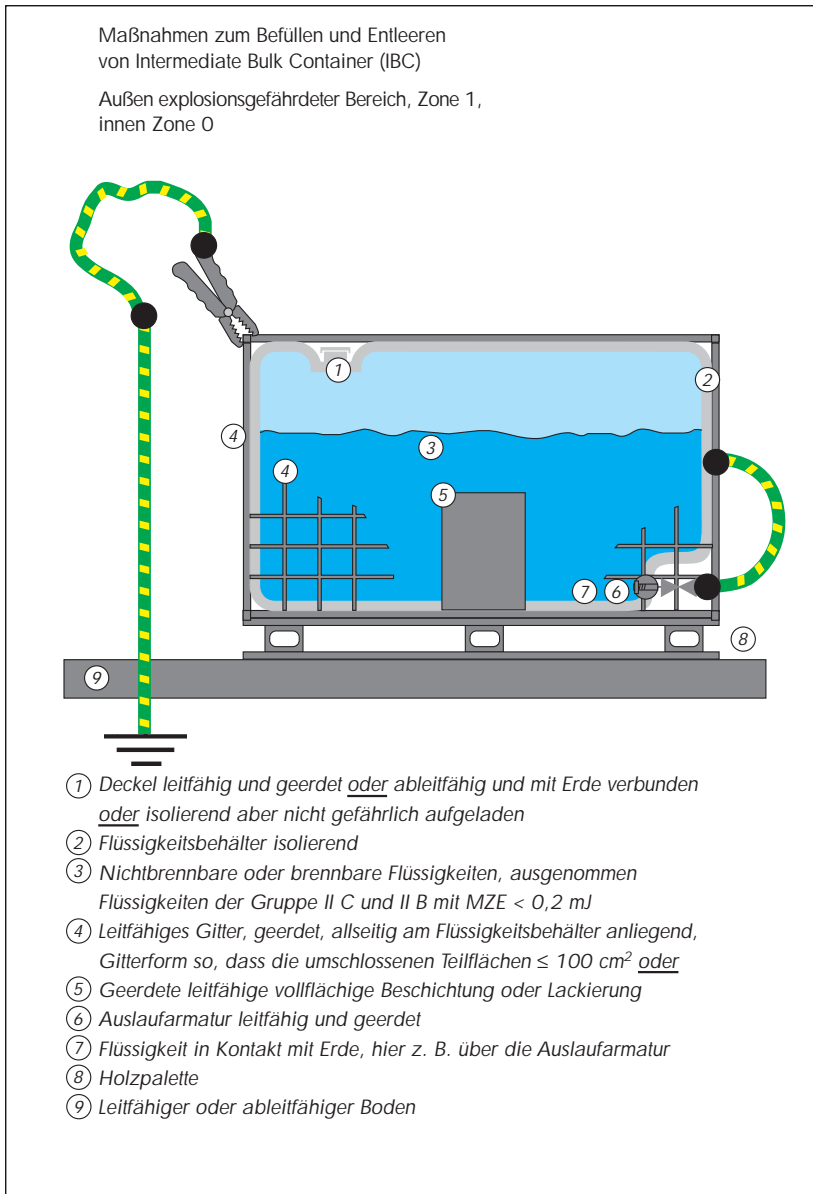
Herstellungs- oder reinigungsbedingte gefährliche Aufladungen des Kunststoffbehälters sind erfahrungsgemäß nach ca. 24 h Wartezeit abgeklungen.

8. Die Entleerung, insbesondere die Obenentleerung, ist so durchzuführen, dass sich die Behälterblase nicht von der Umhüllung ablöst.

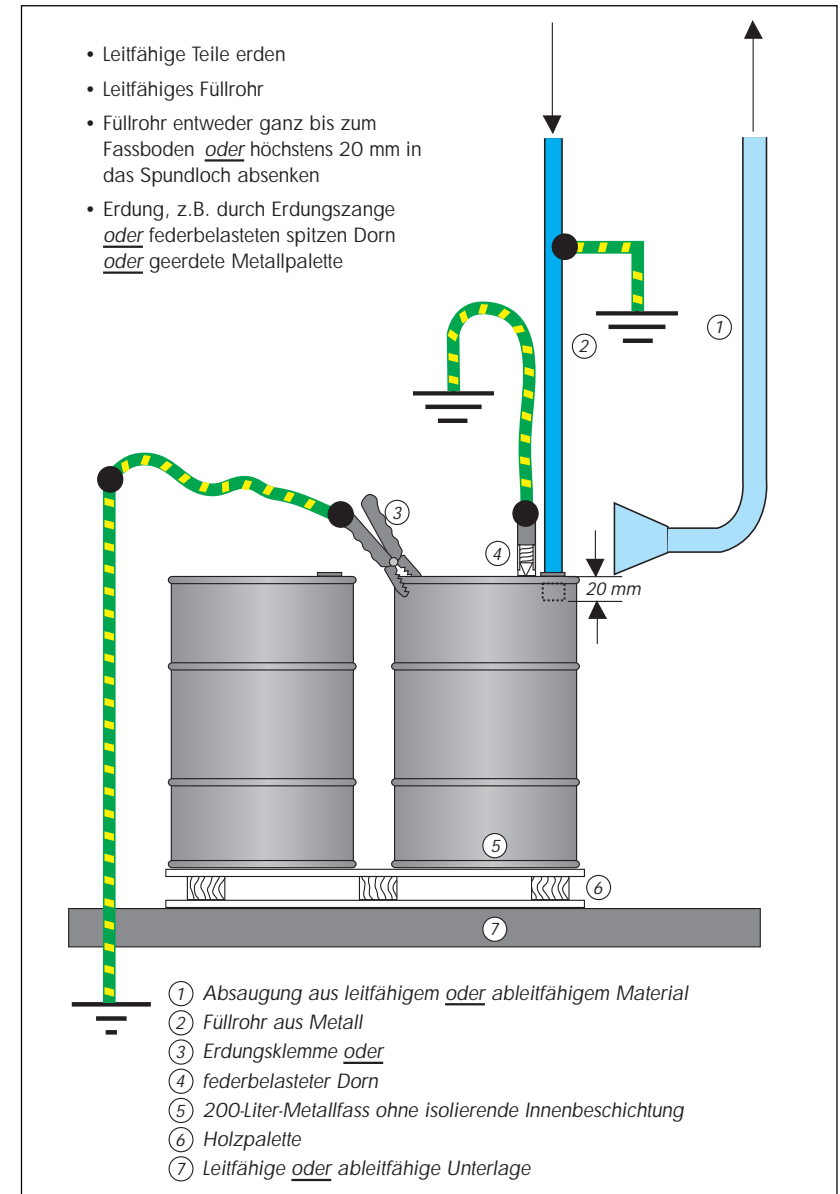
9. Das Befüllen mit warmen Flüssigkeiten ist so durchzuführen, dass sich die Behälterblase durch Kontraktion während der Abkühlung nicht von der Umhüllung ablöst.

Für andere als die vorstehend genannten Arbeitsschritte reichen die Mindestanforderungen der Nummern 1 bis 9 nicht aus; für sie ist die Verwendung isolierender Behälter mit leitfähiger Umhüllung ohne zusätzliche Maßnahmen ausgeschlossen.

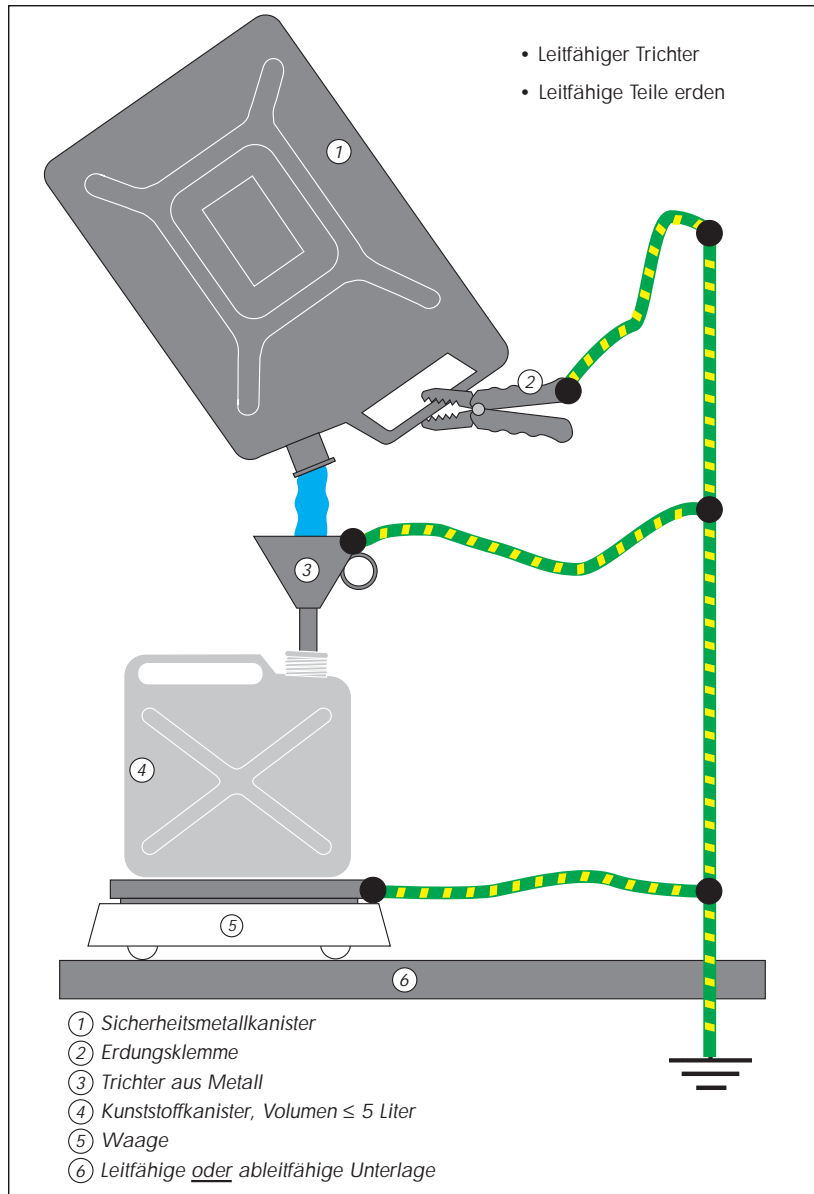
Zu den ausgeschlossenen Arbeitsschritten gehören z. B. Rühren, Mischen, Reinigen sowie die Verwendung des Behälters als Reaktionsgefäß, Absetz- oder Sammelbehälter.



Beispiel 3: Intermediate Bulk Container (IBC)



Beispiel 4: Befüllen von Fässern in Zone 1



Beispiel 5: Befüllen kleiner Kunststoffkanister in Zone 1

3.2.5.5 Isolierende Behälter

Bei isolierenden Behältern ist die Wahrscheinlichkeit gefährlicher Aufladungen höher einzuschätzen als für andere Behälter, da leitfähige oder ableitfähige Behälterwände nicht zur Verfügung stehen.

Insbesondere können Gefährdungen ausgehen von:

- Isolierten leitfähigen oder ableitfähigen Gegenständen oder Stoffen, z. B. Metalltrichter, Werkzeuge, Abdeckungen und Ansammlungen von Flüssigkeiten,
- hohen Ladungsdichten auf Oberflächen im Innern, mit der Folge hoher Potenziale innerhalb und hoher elektrischer Feldstärken außerhalb des Behälters,
- Reibung oder Strömung an den Wänden,
- verminderter Ladungsrelaxation aufgeladener Flüssigkeit.

In Zone 2 sind für den Umgang mit isolierenden Behältern folgende Maßnahmen zu treffen:

- Flüssigkeiten hoher oder mittlerer Leitfähigkeit sind mit Erde zu verbinden, z. B. durch ein geerdetes leitfähiges Einfüllrohr bei Unterspiegelabfüllung.
- Die Strömungsgeschwindigkeit darf bei mehrphasigen Flüssigkeiten 1 m/s nicht übersteigen.

Hinweis: Zone 2 schließt den offenen Umgang mit brennbaren Flüssigkeiten in der Regel aus.

In Zone 1 beträgt die höchst zulässige Strömungsgeschwindigkeit 1 m/s. Das höchstzulässige Volumen beträgt 5 l.

Bei bestimmungsgemäßer Verwendung sind gefährliche Aufladungen nicht zu erwarten, z. B. bei Kanistern für Otto-Kraftstoffe.

In Ausnahmefällen dürfen auch isolierende Behälter mit einem Volumen < 60 l verwendet werden, wenn bei der gewählten Handhabung durch weitere Maßnahmen sichergestellt ist, dass gefährliche Aufladungen nicht auftreten.

Als weitere, über die der Zone 2 hinaus gehende Maßnahmen kommen in Betracht:

- Verringerung der Strömungsgeschwindigkeit,
- Verwendung leitfähiger Flüssigkeiten, die zu erden sind,
- Vermeidung der Personenaufladung,
- Vermeidung der gefährlichen Aufladung der Behälteraußenseite.

Isolierende Behälter mit größerem Fassungsvermögen als 60 l dürfen in Zone 1 nicht benutzt werden.

In Zone 0 dürfen unabhängig von den Eigenschaften der Flüssigkeit isolierende Behälter nicht eingesetzt werden, ausgenommen Behälter zur Probenahme nach Abschnitt 3.2.8.

3.2.6 Hochviskose Flüssigkeiten

Hochviskose Flüssigkeiten, z. B. Schmieröle, laden sich häufig schneller auf als niedrigviskose, z. B. Treibstoffe oder Lösungsmittel. Die schnelle Aufladung wird oft beim Strömen durch Rohrleitungen und Filter festgestellt. In Verbindung mit der geringen Leitfähigkeit hochviskoser Flüssigkeiten muss mit großen Relaxationszeiten gerechnet werden.

Da sichere Strömungsgrenzen für hochviskose Flüssigkeiten nicht bekannt sind, werden andere Maßnahmen des Explosionsschutzes, z. B. Inertisierung, empfohlen.

Vor Produktwechsel von einer brennbaren Flüssigkeit geringer Dichte zu einer hochviskosen Flüssigkeit höherer Dichte ist der Behälter zu reinigen.

3.2.7 Siebeinsätze, Filter und Wasserabscheider

Beim Durchströmen von Drahtnetzen oder Siebeinsätzen werden Flüssigkeiten nur geringfügig mehr aufgeladen als beim Durchströmen von Rohren. Mikrofilter und Wasserabscheider mit einer Poren-Nennweite von weniger als 10 µm erzeugen dagegen sehr hohe Ladungsdichten.

Typische Werte sind 10 µC/m³ im Rohrstrom und etwa 100 µC/m³ hinter verschmutzten Drahtnetzen und Siebeinsätzen sowie 5000 µC/m³ oder mehr hinter einem Mikrofilter.

Drahtnetze und Siebeinsätze sind bei Verschmutzung zu reinigen oder auszutauschen.

Hierdurch werden die Strömungsgeschwindigkeiten im Filter und die damit verbundene Aufladung nicht unnötig erhöht. Die Verschmutzung des Siebeinsatzes lässt sich über den Druckabfall erkennen.

Beim Ausbau und bei der Reinigung isolierender Filter ist damit zu rechnen, dass diese gefährlich aufgeladen sein können.

Hinter Mikrofiltern oder Wasserabscheidern ist eine ausreichende Verweilzeit einzuhalten. Zu diesem Zweck können leitfähige Rohrleitungen hinter dem Filter oder ein zusätzlicher leitfähiger Relaxationsbehälter eingesetzt werden.

Die erforderliche Verweilzeit t [s] kann mit der Zahlenwertgleichung

$$t = 100 / \chi$$

mit χ [pS/m] errechnet werden. Damit wird die aufgeladene Flüssigkeit auf ein sicheres Niveau entladen, bevor sie in einen Behälter eintritt.

Neben der Erdung und der elektrischen Verbindung aller Teile sind folgende Bedingungen zu beachten:

1. Es ist sicherzustellen, dass das Filtergehäuse und der gegebenenfalls verwendete Relaxationsbehälter während des normalen Betriebs mit Flüssigkeit gefüllt sind, um eine explosionsfähige bzw. brennbare Atmosphäre zu verhindern.
2. Ist die Leitfähigkeit der ruhenden Flüssigkeit bekannt, beträgt die Verweilzeit mindestens das Dreifache ihrer Relaxationszeit.

Relaxationszeit siehe Anhang 6.

3. Ist die Leitfähigkeit nicht bekannt, beträgt die Verweilzeit hinter groben Filtern oder Siebeinsätzen mindestens 30 s und hinter Feinfiltern, Mikrofiltern oder Wasserabscheidern mindestens 100 s.

Bei hochviskosen Flüssigkeiten müssen längere Verweilzeiten eingehalten werden.

4. Verschmutzte Filter sind wie Mikrofilter zu betrachten.
5. Kann die Verweilzeit nicht eingehalten werden, ist eine explosionsfähige Atmosphäre im aufnehmenden Behälter, z. B. durch Inertisierung, zu vermeiden.

3.2.8 Maßnahmen beim Messen und Probenehmen

Alle beim Messen und Probenehmen verwendeten leitfähigen oder ableitfähigen Teile oder Geräte, müssen geerdet bzw. mit Erde verbunden sein.

Zu den Geräten zählen z. B. Seile, Tauchstangen oder Becher.

Die Verbindungen müssen durchgehend aus leitfähigem Material bestehen und dürfen nicht unterbrochen sein. Metallketten sind nicht einzusetzen.

Bei Flüssigkeiten niedriger und mittlerer Leitfähigkeit sind Probenahmegefäße aus isolierendem Material mit einem Volumen ≤ 1 Liter bevorzugt gegenüber leitfähigen Gefäßen gleichen Volumens einzusetzen.

In Behältern mit explosionsfähiger Atmosphäre dürfen keine Messungen und Probenahmen oberhalb der Flüssigkeitsoberfläche erfolgen, solange ladungserzeugende Prozesse stattfinden.

Zu solchen Prozessen zählen unter anderem das Pumpen von Flüssigkeiten mit geringer Leitfähigkeit (Leitfähigkeiten bis einschließlich 50 pS/m bei einphasigen Flüssigkeiten und 1000 pS/m bei mehrphasigen Flüssigkeiten) in einen anderen Tank sowie viele Reinigungsprozesse.

Nach dem Ende eines ladungserzeugenden Prozesses darf mit Messen und Probenehmen erst begonnen werden, wenn die Abwesenheit gefährlicher Aufladungen sichergestellt ist. Dies kann durch eine ausreichend lange Wartezeit erreicht werden.

Die Wartezeit nach einem Arbeitsprozess mit mehrphasigen Flüssigkeiten bei niedriger Leitfähigkeit der kontinuierlichen Phase, beträgt mindestens 30 Minuten.

Dies ist z. B. der Fall, wenn isolierende Flüssigkeiten mit aufgerührtem Wasser oder ungelösten Feststoffpartikeln in einen Behälter gepumpt wurden oder nach dem Rühren einer Suspension im Dissolver.

Nach einem Mischvorgang mit Flüssigkeiten geringer Leitfähigkeit ist abzuwarten, bis sich alle Bestandteile der Mischung abgesetzt haben.

Nach einem Reinigungsvorgang muss solange gewartet werden, bis sich ein gegebenenfalls erzeugter aufgeladener Sprühnebel abgesetzt hat.

Das Absetzen kann mehrere Stunden in Anspruch nehmen.

Wartezeiten können verkürzt werden, wenn durch ortsfeste Messgeräte, z. B. Feldstärkenmessgeräte, die Abwesenheit gefährlicher Aufladungen nachgewiesen ist.

Bei Gewittern, Schneestürmen, Hagel oder anderen atmosphärisch bedingten Störungen soll Messen und Probenehmen unter freiem Himmel nicht stattfinden.

3.2.9 Rohre und Schläuche

Innerhalb eines Rohres oder Schlauches kann gefährliche explosionsfähige Atmosphäre vorliegen, insbesondere beim Leerlaufen. Außerhalb des Rohres ist zusätzlich auf gefährliche explosionsfähige Atmosphäre durch andere Stoffe zu achten.

Strömt eine Flüssigkeit durch ein Rohr, treten elektrostatische Ladungen entgegengesetzter Polarität an der inneren Rohrwand und der Flüssigkeit auf. Insbesondere der Oberflächenwiderstand des Rohres bzw. Schlauches, die Leitfähigkeit der Flüssigkeit und die Strömungsgeschwindigkeit beeinflussen die Höhe der Aufladung. Darüber hinaus ist es möglich, dass Metallteile, die durch isolierende Rohre oder Schläuche isoliert sind, aufgeladen werden.

Die Außenfläche des Rohres kann sich zusätzlich aufladen, z. B. durch Reibung.

Im Inneren von Rohren und Schläuchen besteht keine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre, wenn sie ständig mit Flüssigkeit gefüllt sind.

3.2.9.1 Rohre aus leitfähigem oder ableitfähigem Material

Rohrleitungen aus leitfähigem oder ableitfähigem Material sind untereinander leitfähig zu verbinden und zu erden.

Aus elektrostatischer Sicht können ableitfähige Rohre wie leitfähige behandelt werden.

3.2.9.2 Leitfähige Rohre mit isolierender oder ableitfähiger Auskleidung

In der Regel sind Auskleidungen mit einem spezifischen Widerstand $< 10^8 \Omega\text{m}$ zu verwenden.

Auskleidungen mit einem spezifischen Widerstand zwischen $10^8 \Omega\text{m}$ und $10^{11} \Omega\text{m}$ können sicher unter den untersuchten Bedingungen eingesetzt werden:

- Ladungsdichte der Flüssigkeit $\leq 10^{-3} \text{ C/m}^3$,
- Rohrdurchmesser $\leq 100 \text{ mm}$,
- Stärke der Auskleidung $\leq 5 \text{ mm}$
und
- Strömungsgeschwindigkeit $\leq 2 \text{ m/s}$.

Bei Auskleidungen mit einem spezifischen Widerstand $> 10^{11} \Omega\text{m}$ muss die Stärke der Auskleidung $< 2 \text{ mm}$ sein.

Wird ein leitfähiges Rohr mit einer isolierenden Auskleidung verwendet um eine Flüssigkeit geringer oder mittlerer Leitfähigkeit zu transportieren, treten elektrostatische Ladungen an der Innenfläche der Auskleidung auf.

Gefährliche Entladungen treten bei dicken Auskleidungen, z. B. Kunststoffbuchsen, eher auf, als bei dünnen, z. B. Epoxidbeschichtungen.

Sollen dennoch leitfähige Rohre mit einem spezifischen Widerstand der Auskleidung $> 10^{11} \Omega\text{m}$ verwendet werden, müssen neben der Erdung aller leitfähigen Teile der Rohrleitung zusätzliche Maßnahmen getroffen werden. Z. B. müssen die Rohre während des Betriebes vollständig mit Flüssigkeit gefüllt bleiben. Beim Befüllen oder Entleeren darf die Austrittsgeschwindigkeit aus dem Rohr nicht mehr als 1 m/s betragen. Wird die ausströmende Flüssigkeit am Rohrende durch Mikrofilter geführt, können niedrigere Geschwindigkeiten erforderlich sein, die durch Bestimmen der Aufladung im Einzelfall festzulegen sind.

Entladungen können isolierende Auskleidungen durchschlagen und beschädigen, z. B. Korrosionsschäden verursachen. Ein spezifischer Widerstand $< 10^8 \Omega\text{m}$ oder eine Durchschlagspannung $\leq 100 \text{ kV}$ vermeiden diese Schäden.

Bei Flüssigkeiten mittlerer oder hoher Leitfähigkeit ist Erdkontakt zur Vermeidung von Ladungsansammlungen erforderlich.

3.2.9.3 Isolierende Rohre

Das Strömen von Flüssigkeiten geringer Leitfähigkeit in isolierenden Rohren kann sehr hohe Ladungsdichten an den Oberflächen der Rohre erzeugen. Es sind daher zusätzliche Maßnahmen des Explosionsschutzes erforderlich, z. B. Vermeiden explosionsfähiger Atmosphäre.

Verbleiben nach dem Verschweißen von Kunststoffrohren metallische Heizdrähte im Rohrinne mit Kontakten nach außen, sind die verbleibenden Anschlüsse der Wicklung zu isolieren, z. B. mit gut sitzenden Plastikstopfen.

Spezielle Erdungsmaßnahmen sind an den Schweißstellen von Kunststoffrohren nicht notwendig, obwohl an diesen Stellen verfahrensbedingt isolierte elektrische Leiter vorhanden sein können.

Außerdem sollte die Durchschlagspannung $> 100 \text{ kV}$ betragen, um Perforationen des Rohres und dadurch Leckagen zu vermeiden.

3.2.9.3.1 Oberirdisch verlegte isolierende Rohre

In explosionsgefährdeten Bereichen dürfen keine isolierenden Rohre eingesetzt werden; siehe auch Abschnitt 3.1.2.1.

Sollen dennoch Flüssigkeiten mit isolierenden Rohren transportiert werden, ist sicherzustellen, dass keine gefährlichen Aufladungen außerhalb des Rohres auftreten.

Starke elektrische Felder außerhalb des Rohres können zu zündwirksamen Büschelentladungen führen.

Besitzt die Flüssigkeit eine Leitfähigkeit $> 1000 \text{ pS/m}$, können isolierende Rohre eingesetzt werden, wenn die Flüssigkeit an mindestens einer Stelle vor den Rohrenden Erdkontakt über ein geerdetes leitfähiges Bauteil, z. B. einem Ventil oder Tank, besitzt.

Besitzt die Flüssigkeit eine Leitfähigkeit zwischen 50 und 1000 pS/m, dürfen isolierende Rohre nur dann eingesetzt werden, wenn über eine Einzelfallbetrachtung nachgewiesen ist, dass eine gefährliche Aufladung nicht zu erwarten ist.

Beim Einsatz isolierender Rohre muss zusätzlich sichergestellt werden, dass keine gefährliche Aufladung von außen, z. B. durch Dampfstrahlen oder Reiben, erfolgt. Alle leitfähigen Bauteile, z. B. Flansche oder Ventile sind nach Abschnitt 3.6 zu erden; entsprechendes gilt auch für leitfähige Einrichtungen, die sich in der Nähe oberirdisch verlegter isolierender Rohre befinden.

Durch Influenz sind in der Nähe aufgeladener Rohre Funkenentladungen an isolierten Metallteilen möglich.

3.2.9.3.2 Unterirdisch verlegte isolierende Rohre

Eingegrabene isolierende Rohre stellen in der Regel dann keine Zündgefahr dar, wenn ihre gesamte Oberfläche Kontakt mit Erde besitzt, die Flüssigkeit eine Leitfähigkeit $> 50 \text{ pS/m}$ besitzt und an mindestens einer Stelle mit einem geerdeten leitfähigen Bauteil, z. B. Ventil, in Berührung steht.

Beim Ausgraben eines Teils der Rohrleitung sind leitfähige oder ableitfähige Bauteile vor ihrem völligen Freilegen zu erden.

Das Erden eines bereits aufgeladenen Bauteils in einer potenziell explosionsfähigen Atmosphäre ist zu vermeiden.

Besteht die Gefahr einer explosionsfähigen Atmosphäre, sind zusätzlich alle leitfähigen Objekte in der näheren Umgebung, z. B. innerhalb der Baugrube, zu erden, da diese durch Influenz aufgeladen werden können.

3.2.9.4 Schläuche

Im Sinne dieser BG-Regel gilt als

- leitfähiger Schlauch, ein Schlauch mit einem Widerstand von weniger als $10^3 \Omega/m$,
- ableitfähiger Schlauch, ein Schlauch mit einem Widerstand von mehr als $10^3 \Omega/m$ und weniger als $10^6 \Omega/m$,
- isolierender Schlauch ein Schlauch mit einem Widerstand von mehr als $10^6 \Omega/m$.

Ω/m ist die Einheit des Quotienten aus dem zwischen den beiden Schlauchenden gemessenen elektrischen Widerstand und der Länge des Schlauches.

In explosionsgefährdeten Bereichen sollen leitfähige oder ableitfähige Schläuche eingesetzt werden, da isolierende Schläuche für den Einsatz in explosionsfähiger Atmosphäre nicht geeignet sind.

Isolierende Schläuche bestehen aus isolierendem Material und besitzen weder leitfähige Drähte noch Litzen. Sie leiten keine elektrostatischen Ladungen ab.

Nach DIN EN 12115 werden verschiedene Bauformen leitfähiger Schläuche unterschieden und als M-Schläuche oder Ω -Schläuche bezeichnet.

Ein M-Schlauch besitzt elektrisch leitfähige Drahteinlagen, z. B. Metallwendel, die so eingebracht sind, dass sie sich regelmäßig überkreuzen. Die Einlage ermöglicht eine Ableitung durch Anschluss an den Flansch oder an die Schlauchkupplung. Bei der Prüfung darf der Widerstand von M-Schläuchen zwischen den Armaturen über die ganze Länge nicht mehr als 100Ω betragen. Bei stark ladungserzeugenden Prozessen können gefährliche Aufladungen nicht ausgeschlossen werden.

Ein Ω -Schlauch besteht aus leitfähigem oder ableitfähigem Material. Er kann zusätzlich mit Metalleinlagen ausgerüstet sein. Bei der Prüfung darf der Widerstand von Ω -Schläuchen zwischen den Armaturen über die ganze Länge nicht mehr als $10^6 \Omega$ betragen.

Für Zapfschläuche an Tankstellen gilt nach DIN EN 1360 ein höchst zulässiger Widerstand von $10^6 \Omega$ zwischen den Schlauchenden. Hier sind bevorzugt Ω -Schläuche einzusetzen.

Leitfähige Schläuche erfordern regelmäßige elektrische Durchgangsprüfungen. Es muss außerdem darauf geachtet werden, dass alle inneren Metalleinlagen mit den Armaturen verbunden sind.

Auf Grund von gerissenen Verbindungsdrähten oder mangelhafter Konstruktion ist es möglich, dass leitfähige Komponenten des Schlauches, z. B. Schlauchkupplungen, Stützwendel oder Abschirmungen, elektrisch isoliert werden.

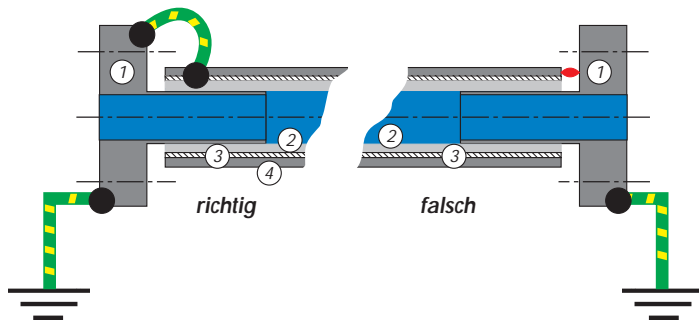
Können Streuströme nicht ausgeschlossen werden, sollen leitfähige Schläuche nicht eingesetzt werden.

Die metallischen Einlagen oder Drähte können wegen ihres geringen Widerstandes Streuströme mit sich führen, die bei Unterbrechung eine Zündgefahr darstellen.

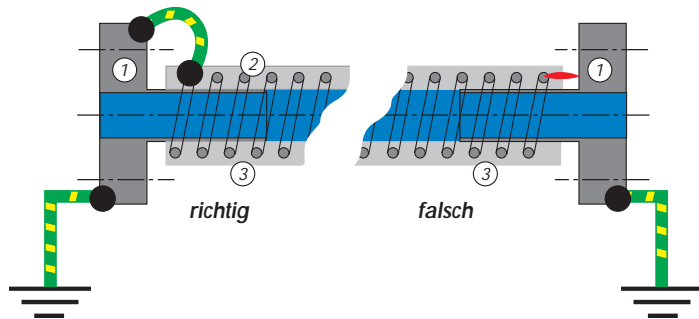
Werden lange leitfähige Schläuche oder leitfähige Schlauchleitungen eingesetzt, sind abschnittsweise isolierende Flansche einzufügen, um Schutz gegen induktive Funken zu gewährleisten. In diesem Fall ist der Schlauch abschnittsweise zu erden.

Die vorgeschriebene Handhabung leitfähiger Schläuche unterscheidet sich in den verschiedenen Mitgliedstaaten der Europäischen Union.

Für den Transport isolierender Flüssigkeiten in Zone 1 werden Schläuche des Typs Ω oder M gemäß Abschnitt 3.2.9 mit herstellerseits eingebundenen Armaturen empfohlen. Für andere Schläuche gelten folgende Einbauhinweise:



- ① Metallflansch geerdet
- ② Schlauchinnenseite isolierend
- ③ Gewebeeinlage isolierend
- ④ Schlauchaußenseite leitfähig oder ableitfähig, an beiden Enden mit den geerdeten Flanschen leitfähig verbunden



- ① Metallflansch geerdet
- ② Leitfähige Wendel an beiden Enden leitfähig mit den geerdeten Flanschen verbunden, Steigung der Wendel höchstens 30 mm
- ③ Schlauchmaterial isolierend

Beispiel 6: Schläuche zum Transport isolierender Flüssigkeiten in Zone 1

3.2.10 Spezielle Befüllverfahren

Das Befüllen von Flugzeugtanks, Straßentankwagen oder das Betanken von Kraftfahrzeugen erfordert weitere Maßnahmen als im Abschnitt über entsprechende Behälter angegeben.

3.2.10.1 Flugzeugbetankung

Bei jedem Betankungsfahrzeug, innerhalb jedes Hydrantentanksystems und innerhalb jeder Zapfsäule müssen sämtliche Metallteile einen guten elektrischen Kontakt untereinander aufweisen, damit ein einwandfreier, durchgängiger Stromverlauf gegeben ist.

Bevor die Füllschläuche angeschlossen werden, ist zuerst eine elektrische Masseverbindung zwischen dem Flugzeug und dem Betankungsfahrzeug bzw. der Zapfsäule herzustellen. Sie muss fortbestehen, bis der Tankvorgang abgeschlossen ist und die Schläuche gelöst sind.

Steht ein Erdungspunkt zur Verfügung, ist das Betankungsfahrzeug oder die Zapfsäule zunächst mit dem Erdungspunkt und dann mit dem Flugzeug zu verbinden.

Erdungs- oder Potenzialausgleichsverbindungen müssen in ausreichendem Abstand zu den Betankungsschläuchen liegen, um der Gefahr einer Entzündung durch Funken beim Herstellen oder Lösen der Verbindungen zu begegnen.

Die Betankung aus Fässern oder anderen Behältern erfordert die gleichen Erdungsmaßnahmen wie die Betankung mit Fahrzeugen. Die Fasspumpe ist sowohl mit dem Flugzeug als auch mit dem Fass über ein Massekabel zu verbinden.

Da Flugzeugtanks üblicherweise eine flache Form aufweisen, ist abweichend von Abschnitt 3.2.4.1 bei Flugzeugkraftstoffen mit einer Leitfähigkeit $> 50 \text{ pS/m}$ und beim Befüllen über einen Schlauch von 63 mm Durchmesser eine durchschnittliche Strömungsgeschwindigkeit von bis zu 7 m/s zulässig. Für Kraftstoffe ohne Leitfähigkeitsadditive dürfen 5 m/s nicht überschritten werden. Eine ausreichende Verweilzeit hinter den Filtern nach Abschnitt 3.2.7 muss sichergestellt werden.

3.2.10.2 Kraftstofflieferung mit Straßentankwagen

Folgende Maßnahmen sind zu berücksichtigen:

- Der Schlauch ist zunächst am Tankwagen anzuschließen.
- Noch bevor der Deckel des Füllrohrs geöffnet wird oder andere

Verbindungen hergestellt werden, ist ein Potenzialausgleich herbeizuführen.

Der Potenzialausgleich kann im vorliegenden Fall z. B. durch Kontakt der Schlauchendkupplung mit dem Deckel oder einem anderen Metallteil des Tanks herbeigeführt werden, wenn keine explosionsfähige Atmosphäre vorhanden ist.

- Eine separate Masseverbindung ist bei leitfähigen oder ableitfähigen Schläuchen nicht erforderlich, weil der Schlauch selbst diese Verbindung herstellt.

3.2.10.3 Betankung von Kraftfahrzeugen

Beim Betanken von Kraftfahrzeugen treten Benzindämpfe in der Nähe der Tanköffnung auf, die eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre bilden können.

Folgende Maßnahmen sind durchzuführen bzw. erforderlich:

- Die Zapfsäule muss ordnungsgemäß geerdet sein.
- Es ist ein leitfähiger oder ableitfähiger Ω -Schlauch mit einem Widerstand $< 10^6 \Omega$ zwischen seinen Enden gemäß Abschnitt 3.2.9.4 zu benutzen, um das leitfähige Zapfventil mit der Zapfsäule zu verbinden.
- Die Oberflächen der Tankstellenfahrbahnen sowie die Autoreifen müssen einen Ableitwiderstand $< 10^8 \Omega$ gegen Erde aufweisen, um eine Erdung der Fahrzeuge über ihre Reifen zu ermöglichen.
- Es ist ein elektrischer Kontakt zwischen der Fahrzeugkarosserie und dem Zapfventil notwendig.

Diese Maßnahme stellt sicher, dass das Fahrzeug, das Zapfventil, die das Zapfventil berührende Person, der leitfähige oder ableitfähige Schlauch sowie die angeschlossenen Tankeinrichtungen während der Betankung auf gleichem Potenzial liegen und mit Erde verbunden sind.

Die Erfahrung zeigt, dass der Erdkontakt ausreicht, die relativ geringen Mengen elektrischer Ladung über das Zapfventil und gegebenenfalls die Reifen während der Betankung abzuleiten. Ungeeignet versiegelte Böden und Reifen minderer Qualität können die Ableitung herabsetzen.

Die Verwendung von Kunststofftanks in Fahrzeugen bewirkt keine zusätzlichen Gefahren. Die Auflage für das Zapfventil am Tankeinfüllstutzen und alle Metallteile müssen jedoch elektrisch leitfähig mit dem Fahrzeug verbunden sein.

3.2.11 Rühren und Mischen von Flüssigkeiten

Rühren und Mischen verschiedener Flüssigkeiten oder von Flüssigkeiten mit Feststoffen sind oft stark ladungserzeugende Prozesse, die leicht zu gefährlichen Aufladungen führen können.

Ladungen werden beim Rühren und Mischen erzeugt, wenn mindestens eine Flüssigkeit eine niedrige Leitfähigkeit aufweist. Die Ladungen werden in diesem Fall insbesondere auf den in der kontinuierlichen Phase suspendierten Flüssigkeiten oder Feststoffen sowie auf isolierten Metallgegenständen angesammelt.

Für Gefäße, z. B. Mischbehälter oder Rührkessel, gelten die Maßnahmen der Abschnitte 3.2.1 bis 3.2.5 entsprechend.

Werden ausschließlich vollständig mischbare Flüssigkeiten gemischt, muss die Leitfähigkeit der Hauptkomponente $> 50 \text{ pS/m}$ betragen.

Werden Stoffe so gemischt, dass Emulsionen oder Suspensionen entstehen, sind in der Regel höhere Leitfähigkeiten für einen sicheren Betrieb notwendig, z. B. $1\,000 \text{ pS/m}$. Gegebenenfalls ist die Nennleistung des Rührwerks entsprechend herabzusetzen.

Die mindestnotwendigen spezifischen Leitfähigkeiten sind in Übereinstimmung mit dem CENELEC-Report R044-001 (Februar 1999) herangezogen. Konservative Verfahrensweisen gehen von einer um den Faktor 10 höheren Mindestleitfähigkeit aus oder es wird inertisiert.

Die Leitfähigkeit der Hauptphase kann durch Absorption von Ionen durch die Nebenphase beträchtlich sinken.

Durch Zugeben von Leitfähigkeitsadditiven kann die Leitfähigkeit erhöht werden.

Wird mit Schnellmischern, z. B. Dissolvern, gearbeitet, ist mit so starken Aufladungen zu rechnen, dass weitere Explosionsschutzmaßnahmen in Betracht gezogen werden müssen.

3.2.11.1 Strahlmischverfahren

Beim Strahlmischen von Flüssigkeiten, bei dem die Flüssigkeitsoberfläche nicht in Partikel zerfällt und deren Leitfähigkeit gegebenenfalls unter Zusatz von Leitfähigkeitsadditiven $> 50 \text{ pS/m}$ ist, ist nicht mit gefährlichen Aufladungen zu rechnen.

Weist eine Flüssigkeit eine Leitfähigkeit $< 50 \text{ pS/m}$ auf und sind andere Explosionsschutzmaßnahmen nicht möglich, ist die Aufladung des Mischgutes zu beurteilen.

Zur Beurteilung kann die Feldstärke gemessen und das Potenzial der Flüssigkeitsoberfläche abgeschätzt werden.

Folgende Fakten beeinflussen das Oberflächenpotenzial:

- Vorspringende Kanten im Behälter in Richtung der Flüssigkeitsoberfläche,
- Vorliegen einer zweiten Phase, z. B. Wasser, am Boden des Behälters,
- Füllprozesse während des Mischvorgangs,
- die Relaxationszeit nach Beendigung des Füllvorgangs.

3.2.11.2 In-Line-Mischen

Beim In-Line-Mischen können hohe Aufladungen auftreten. Ausreichende Relaxationszeiten sind einzuhalten. Beim In-Line-Prozess besteht in der Regel keine explosionsfähige Atmosphäre. Die Strömungsgeschwindigkeit ist so zu wählen, dass sich kein Dampf-raum bildet.

Bei diesem Verfahren erfolgt das Mischen in einem Rohr, durch das die verschiedenen Mischungskomponenten mit verfahrenstechnisch vorgeschriebenen Geschwindigkeiten gepumpt werden.

3.2.12 Reinigen von Behältern

Im Gegensatz zum Fluten mit Wasser bestehen zahlreiche Möglichkeiten und verschiedene Arbeitsbedingungen, mit Flüssig- oder Dampfstrahlen Behälter zu reinigen. Daher liegen bisher keine, für alle Fälle geltenden, gesicherten Erkenntnisse vor.

Beim Reinigen von Behältern, insbesondere beim Strahlen, können hohe elektrostatische Aufladungen entstehen.

Die Höhe der Aufladung wird unter anderem beeinflusst von

- den Eigenschaften des Strahlmittels, z. B. Wasser,
- weiteren Zusatzstoffen zum Strahlmittel, z. B. Lösemittel,
- dem Phasenzustand des Strahlmittels, z. B. Dampf,
- dem Phasenzustand des verunreinigten Strahlmittels,
- dem Durchsatz beim Flüssigstrahlen,
- der Form und der Anzahl der Strahldüsen,
- dem Arbeitsdruck,

- der Größe und Geometrie des Behälters,
- den Flüssigkeitseigenschaften im Behälter, gegebenenfalls der Restflüssigkeit
und
- dem Flüssigkeitsstand.

Die nachfolgend beschriebenen sicheren Verfahrensweisen beziehen sich auf Erfahrungen beim Reinigen von Behältern, die als Artikel „Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen beim Versprühen von Flüssigkeiten unter hohem Druck“ in der Zeitschrift „Die BG“ (Heft 7/83) veröffentlicht wurden.

3.2.12.1 Reinigen von Behältern mit Flüssigstrahlen

Aufprallende Reinigungsstrahlen bilden beim Zerteilen Tropfen oder Nebel, die normalerweise aufgeladen sind und elektrische Ladungen im Behälter erzeugen. Vorhandene Turbulenzen verteilen den aufgeladenen Nebel im gesamten Behälter und können so eine hohe Raumladungsdichte mit hohen Feldstärken erzeugen.

Das durch den Nebel erzeugte elektrische Potenzial besitzt seinen Maximalwert in der Mitte des Behälters und ist abhängig von der Art der Reinigungsflüssigkeit, z. B. Wasser, Öl oder dem Einsatz von Hilfsstoffen, und den Parametern des verwendeten Flüssigkeitsstrahlers, z. B. Flüssigkeitsdruck, Durchsatz und Düsendurchmesser.

Darüber hinaus können isolierte Leiter gebildet werden, wenn mit einem Wasserstrahl gereinigt wird. Herunterfallende zusammenhängende Wassercluster können dabei durch Influenz auf das Potenzial in der Tankmitte aufgeladen werden. Zündwirksame Entladungen können entstehen, wenn sich die Wassercluster geerdeten leitfähigen Gegenständen oder dem Boden nähern.

Zündempfindliche Gemische, z. B. Schwefelkohlenstoff/Luft-Gemische, erfordern weitere Maßnahmen.

3.2.12.1.1 Reinigen mit Wasserstrahlen von Drücken bis zu 12 bar

Beim Reinigen von Behältern bis zu 100 m³ Rauminhalt durch Wasserstrahlen mit Drücken bis zu 12 bar ist nicht mit gefährlichen Aufladungen zu rechnen.

Über das Reinigen von Behältern mit Volumina zwischen 100 m³ und 10 000 m³ liegen keine Erfahrungen vor.

Bei Behältern mit Rauminhalten > 10 000 m³ sind zusätzliche Maßnahmen des Explosionsschutzes, z.B. Inertisierung, erforderlich.

Erfahrungen haben gezeigt, dass beim Reinigen von Behältern mit einem Rauminhalt > 10 000 m³ Zündgefahr besteht. Detaillierte Instruktionen finden sich im „International Safety Guide for Oil Tanker and Terminals (ISGOTT)“.

3.2.12.1.2 Reinigen mit Wasserstrahlen von Drücken über 12 bar

Beim Reinigen von mit Kohlenwasserstoffen benetzten metallischen Behältern mit Wasserstrahlen ist nicht mit gefährlichen Aufladungen zu rechnen, solange der Arbeitsdruck 500 bar unterschreitet, der Flüssigkeitsdurchsatz < 5 l/s ist und der Behälterdurchmesser 3 m nicht überschreitet.

3.2.12.1.3 Reinigen mit Dampfstrahlen

Beim Dampfstrahlen von Behältern mit einem Rauminhalt < 100 m³ ist nicht mit gefährlichen Aufladungen zu rechnen. Es sollen keine isolierten Metallteile im zu reinigenden Behälter vorhanden sein.

Falls möglich, soll überhitzter Dampf verwendet und eine Kondensatbildung beim Entspannen verhindert werden.

Dampfdüsen und andere leitfähige Teile des Strahlgerätes müssen geerdet sein.

3.2.12.1.4 Reinigen mit isolierenden Lösemitteln von Drücken bis zu 12 bar

Werden als Reinigungsmittel isolierende Flüssigkeiten, z. B. Lösemittel, verwendet, darf der Anteil einer zweiten Phase, z. B. Wasser oder Feststoff, 1 % nicht überschreiten.

Reinigungsmittel dürfen im geschlossenen Kreislauf nur geführt werden, wenn die Verunreinigung unterhalb 1 % gehalten wird.

Das Ansammeln von Flüssigkeit im Behälter während der Reinigung ist zu vermeiden.

Isolierende Flüssigkeiten wie Kohlenwasserstoffe laden sich während des Versprühens weniger auf als Wasser, da sie nur eine geringe Konzentration dissoziierter Ionen enthalten. Das Versprühen von isolierenden Lösemitteln kann daher in den oben beschriebenen Fällen als sicher betrachtet werden.

3.2.12.1.5 Reinigen mit kohlenwasserstoffhaltigen Lösemitteln

Beim Reinigen metallischer Behälter mit kohlenwasserstoffhaltigen Lösemitteln ist nicht mit gefährlichen Aufladungen zu rechnen, solange der Arbeitsdruck 50 bar unterschreitet, der Flüssigkeitsdurchsatz kleiner 1 l/s ist und der Behälterdurchmesser 3 m nicht überschreitet.

Die Reinigungsflüssigkeiten dürfen nicht mehr als 1 % flüssige oder feste Bestandteile enthalten, die eine zweite Phase bilden können. Sie sind während des Reinigens abzulassen.

Über andere Rahmenbedingungen liegen bisher keine gesicherten Erkenntnisse vor.

3.2.12.2 Reinigen von Behältern durch Wasserfluten

Wasserfluten ist geeignet, explosionsfähige Atmosphären zu unterdrücken und zu dispergieren. Wasserfluten arbeitet ohne Hochdruck und erzeugt in der Regel keine Wolken oder Nebel. Gefährliche Aufladungen sind nicht zu erwarten.

3.2.13 Glasapparaturen

In Glasapparaturen verwendete Gläser weisen meist einen Oberflächenwiderstand von etwa 10¹¹ Ω gemessen bei 50 % rel. Feuchte und 23 °C auf. Unter diesen Bedingungen werden Glasapparaturen durch Vorgänge, z. B. Reiben, nicht gefährlich aufgeladen.

Isolierend beschichtete Glasapparaturen sind wie isolierende Einrichtungen zu behandeln.

Der Oberflächenwiderstand von Glas steigt mit zunehmender Temperatur des Glases und mit abnehmender Luftfeuchte. Kunststoffbeschichtungen erhöhen den Oberflächenwiderstand erheblich.

Stark ladungserzeugende Prozesse werden oft in Glasapparaturen durchgeführt. Diese Prozesse führen entsprechend häufig zu gefährlichen Aufladungen, insbesondere bei Flüssigkeiten niedriger Leitfähigkeit,

- *hinter Pumpen und Filtern oder Ähnlichem,*
- *beim Versprühen und Verdüsen, auch von Flüssigkeiten mittlerer oder hoher Leitfähigkeit,*
- *bei hohen Strömungsgeschwindigkeiten und*
- *beim Umgang mit Mehrphasengemischen.*

Infolge dieser Prozesse auftretende elektrische Felder können bei Gläsern zum Felddurchgriff führen und Aufladungen außerhalb der Glasapparatur hervorrufen.

Glasapparaturen dürfen

- in Bereichen der Zone 0,
- in Bereichen der Zone 1 zündempfindlicher Stoffe, z. B. Stoffe der Explosionsgruppe IIC,
- bei Glasbauteilen mit einer Temperatur > 50 °C

nur mit zusätzlichen Maßnahmen gegen gefährliche Aufladungen betrieben werden, wenn in ihrer Umgebung mit einer rel. Luftfeuchte < 50 % zu rechnen ist. Die Glasoberflächen dürfen in den genannten Fällen nicht gerieben werden, z. B. beim Reinigen.

Zusätzliche Maßnahmen sind z. B. Erhöhen der Leitfähigkeit der Glasoberflächen und Erhöhen der Luftfeuchte. Büschelentladungen können von Glasoberflächen nur bei einer niedrigen relativen Luftfeuchte ausgehen, z. B. wenn die Oberflächentemperatur deutlich über der Umgebungstemperatur liegt.

Leitfähige Gegenstände und Einrichtungen an Glasapparaturen sind gemäß Abschnitt 3.6 zu erden und ableitfähige mit Erde zu verbinden. Für Teile kleiner Kapazität siehe Abschnitt 3.6.3.5.

Die Kapazität leitfähiger Teile an Glasapparaturen, z. B. Metallflansche, Schrauben, Anschlussstücke, Messeinrichtungen, hängt unter anderem von der Größe der Gegenstände, z. B. vom Nenndurchmesser, ab.

Liegen zuverlässige Messwerte der Kapazität leitfähiger Teile an Glasapparaturen nicht vor, sind alle leitfähigen Gegenstände gemäß Tabelle 8 zu erden und ableitfähige mit Erde zu verbinden.

Typische Metallflansche in Glasapparaturen besitzen häufig eine Kapazität C > 3 pF. Die Kapazität von Schrauben und Bolzen bis 150 mm Länge liegt meist unter 3 pF.

Zone	Stoffe der Explosionsgruppen	
	IIA, IIB	IIC
0	für alle DN	für alle DN
1	für DN ≥ 50	für alle DN
2	für DN ≥ 50	für DN ≥ 50

Tabelle 8: Erforderliche Erdung leitfähiger Teile an Glasapparaturen in Abhängigkeit des Nenndurchmessers DN bei Abwesenheit stark ladungserzeugender Prozesse

Im Inneren von Glasapparaturen sind die gleichen Maßnahmen zu treffen wie in anderen ableitfähigen Einrichtungen.

Elektrostatische Aufladungen in Glasapparaturen treten hauptsächlich prozessbedingt durch Flüssigkeiten, Tropfen und Suspensionen oder durch Staub/Luft-Gemische geringer Leitfähigkeit auf.

3.3 Elektrostatische Aufladungen beim Umgang mit gasförmigen Stoffen

Die Bewegung reiner Gase oder Gasgemische erzeugt keine oder nur eine geringe Aufladung. Enthält ein Gasstrom jedoch Feststoffpartikel oder Flüssigkeitströpfchen, können diese sowie alle betroffenen Anlagenteile und Gegenstände aufgeladen werden.

Beispielhafte Prozesse, die zu beträchtlichen elektrostatischen Aufladungen führen können, sind der pneumatische Transport, das Freisetzen von Druckgas mit Partikeln, das Ausströmen von flüssigem Kohlendioxid, der Einsatz von industriellen Staubsaugern oder das Farbspritzen.

Solche Prozesse können zu zündwirksamen Funkenentladungen, Büschelentladungen, Gleitstielbüschelentladungen oder Schüttkegelentladungen führen.

Siehe auch Anhang 1.

Die Aufladung der Partikel selbst kann nicht vermieden werden. Zusätzlich zur Vermeidung isolierender Materialien sind folgende Maßnahmen geeignet, gefährliche Aufladungen zu verhindern:

- Entfernung der Partikel,
- Wahl ausreichend niedriger Strömungsgeschwindigkeiten,
- Wahl geeigneter Düsengeometrie zur Verringerung der Ladungsdichte,
- Verwendung leitfähiger Gegenstände oder Einrichtungen, die zu erden sind.

3.3.1 Sandstrahlen

Werden in explosionsgefährdeten Bereichen Sandstrahlarbeiten durchgeführt oder kann beim Sandstrahlen explosionsfähige Atmosphäre entstehen, dürfen nur leitfähige Sandstrahlgeräte benutzt werden. Alle leitfähigen Teile der Sandstrahlgeräte, insbesondere die am Ende des Schlauches befestigte Düse, müssen geerdet sein. Einzelne Anlagenteile, z. B. Schläuche, müssen min-

destens ableitfähig und mit anderen geerdeten Anlagenteilen elektrisch verbunden sein.

Durch diese Maßnahmen werden Funkenentladungen sicher vermieden. Trotzdem kann sich verfahrensbedingt das Strahlmittel aufladen. Liegen Stoffe geringer Mindestzündenergie vor, sind – wegen möglicher Büschelentladungen – weitere Maßnahmen, z. B. Inertisieren, notwendig.

3.3.2 Feuerlöscher und Feuerlöschanlagen

Feuerlöscher und Feuerlöschanlagen, deren Löschmittel sich beim Austritt aufladen können, dürfen in explosionsgefährdeten Bereichen nur dann zu Testzwecken ausgelöst werden, wenn sichergestellt ist, dass keine explosionsgefährliche Atmosphäre vorhanden ist.

Z. B. können Wolken aus Löschpulver oder entspanntem Kohlendioxid gefährlich aufgeladen sein.

Inertgasfeuerlöschanlagen, deren Gas, z. B. CO₂, sich beim Austritt auflädt, dürfen bei vorhandener explosionsfähiger Atmosphäre nicht ausgelöst werden.

Eine bereits vorhandene explosionsfähige Atmosphäre soll nicht durch vorbeugendes Einbringen des Löschmittels entzündet werden. Im Brandfall ist nicht mehr von einer explosionsfähigen Atmosphäre auszugehen.

3.3.3 Inertisieren

Beim Inertisieren sind aufgeladene Wolken durch aufgewirbelte Stäube, Tröpfchen oder Sublimate zu vermeiden.

Zum Inertisieren bereits vorhandener explosionsfähiger Atmosphäre dürfen nur Inertisierungsmittel verwendet werden, die nicht zu gefährlichen Aufladungen führen.

Liegt bereits eine explosionsfähige Atmosphäre vor, darf z. B. ein Inertgas nur so eingebracht werden, dass eine Bildung von Nebel oder Sublimat vermieden ist. Nassdampf und CO₂ eignen sich nicht. Geeignet sind z. B. trockener Stickstoff und Edelgase. Das Inertgas soll feststofffrei und langsam durch möglichst große Öffnungen eingeleitet werden. Ein Mitreißen von Schmutz, Kondensat oder Anbackungen aus den Leitungen ist zu vermeiden.

3.3.4 Unvorhergesehene Leckage von Druckgas

Gefährliche Aufladungen können entstehen, wenn Gase, die Flüssigkeitströpfchen oder feste Partikel oder einen hohen Dampfanteil enthalten, plötzlich entspannt oder schnell freigesetzt werden. Besteht die Möglichkeit, dass z. B. durch Leckagen brenngasführender Systeme, explosionsfähige Atmosphäre entsteht, sind alle leitfähigen Einrichtungen, z. B. Gefäße oder Rohre, die solche Gase enthalten sowie alle benachbarten oder angrenzenden leitfähigen Teile zu erden.

Personen, die einen solchen Bereich, z. B. zur Ausführung von Reparaturen betreten sowie die von ihnen mitgeführten leitfähigen Teile sind ebenfalls zu erden. Isolierende Teile sollen in einen solchen Bereich nicht eingebracht werden.

Zur Personenerdung siehe Abschnitt 3.6.

3.3.5 Spritzlackieren, Pulverbeschichten und Beflocken

Beim Verspritzen oder Versprühen von Flüssiglacken oder Pulverlacken sowie beim Beflocken werden Sprühwolken von Tröpfchen oder Feststoffteilchen erzeugt, welche oft hoch elektrostatisch aufgeladen sind.

Dies gilt insbesondere dann, wenn die Sprühwolken durch Hochspannung oder triboelektrisch gebildet werden. Da die Sprühwolken oft brennbar sind, besteht Zündgefahr infolge elektrostatischer Aufladungen und die folgenden Maßnahmen sind erforderlich:

- Alle leitfähigen Gegenstände im Arbeitsbereich, z. B. Spritzpistolen, Werkstücke, Metallobjekte in der Nähe, sind zu erden.
- Der Lackierer muss während des Beschichtens und bei der Reinigung geerdet sein, z. B. über leitfähige Handgriffe der Lackierpistolen und ableitfähiges Schuhwerk. Werden Handschuhe verwendet, müssen diese mindestens ableitfähig sein. Weitere Personen, die sich im Arbeitsbereich aufhalten, müssen ebenfalls geerdet sein.
- Werden Werkstücke mittels einer Förderanlage transportiert, ist über leitfähige Aufnahmevorrichtungen, z. B. Haken, Ösen, Auflagen oder Mitnehmer, eine dauerhafte Erdung während des gesamten Transportes sicherzustellen, z. B. durch regelmäßiges Reinigen der Aufnahmevorrichtungen.
- Beim elektrostatischen Beschichten mit Flüssiglacken sollen nur Spritzkabinen, Spritzwände oder Spritzstände aus ableit-

fähigem oder geerdetem leitfähigem Material eingesetzt werden. Isolierende Materialien dürfen nur dann verwendet werden, wenn gefährliche Aufladungen, z. B. durch Wasserberieselung, ausgeschlossen sind.

- Beim Pulverbeschichten sollen leitfähig hinterlegte Kabinenwände aus isolierendem Material nur dann eingesetzt werden, wenn ihre Wandstärke > 9 mm oder die Durchbruchspannung < 4 kV ist.

Siehe auch EN 12981.

Bei Beflockung ohne brennbare Klebstoffe ist nicht mit einer Zündgefahr durch Aufladung zu rechnen.

Weitere Hinweise zum sicheren elektrostatischen Beschichten enthält die BG-Information „Elektrostatiches Beschichten“ (BGI 764).

3.3.6 Abluftsysteme

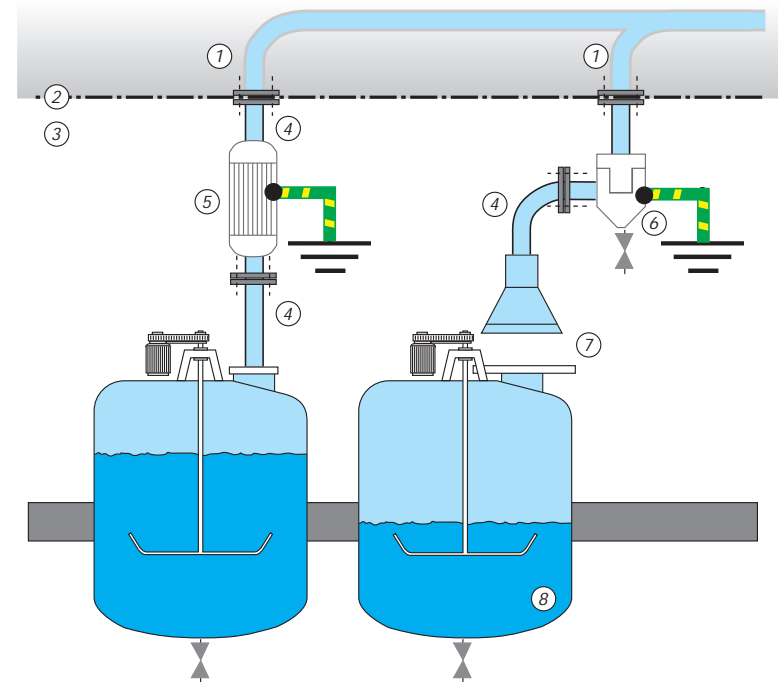
Abluft- und Abgassammelsysteme sind in explosionsgefährdeten Bereichen so zu verlegen und zu betreiben, dass sie nicht gefährlich aufgeladen werden können. Systeme aus leitfähigem Material müssen geerdet sein; zusätzliche Maßnahmen sind in der Regel nicht erforderlich.

Leitungen aus isolierendem Material sind

1. außerhalb des Arbeits- und Verkehrsbereiches zu verlegen,
2. so zu verlegen, dass Anspritzen aus undichten benachbarten Leitungen vermieden wird,
3. bei Reinigung nur mit Wasser abzuspülen oder mit wasserfeuchten Tüchern abzureiben und nicht mit Hochdruck- oder Dampfstrahlen zu reinigen,
4. von Partikeln und Tropfen freizuhalten, z. B. mittels Filter oder Abscheider im Luft- oder Gasstrom vor Eintritt in das Leitungssystem,
5. mit höchst zulässigen Abgasgeschwindigkeiten von 20 m/s zu betreiben.

Alle in einem isolierenden Leitungssystem befindlichen leitfähigen Teile, z. B. Ventile oder Rückschlagklappen, sind zu erden.

- Aufladung im Abluftsystem gering halten
 - durch Einbau von Tropfen- und Staubabscheidern
 - durch Anordnung isolierender Teile außerhalb des Arbeitsbereiches
 - durch Vermeiden von Betriebszuständen, die große Tropfen- oder Staubmengen erzeugen, z. B. schnelles Entspannen des Kessels
- Missbrauch des Absaugsystems zum Beseitigen von verschüttetem Staub
- Alle im isolierenden Rohrsystem eingebauten leitfähigen Teile z. B. Metallflansche, Absperrklappen, Schlauchweichen, Schauglashalterungen, Messeinrichtungen erden
- Bei der Bestellung von Komponenten aus leitfähigen Kunststoffen Prüfzeugnis über die elektrische Leitfähigkeit verlangen



- ① Bereich, in dem isolierende Einrichtungen möglich sind
- ② Grenze zur Wahl des Materials von Einrichtungen, z.B. Rohrleitungen
- ③ Bereich, in dem leitfähige oder ableitfähige Einrichtungen erforderlich sind
- ④ Leitfähige oder ableitfähige Rohrleitung
- ⑤ Tropfenabscheider
- ⑥ Staubfilter
- ⑦ Füllstelle für Feststoffe mit Absaughaube
- ⑧ Nichtbrennbare Flüssigkeit, andernfalls kein offener Eintrag

Beispiel 7: Abluftsysteme in Räumen der Zone 1

3.3.7 Staubsauger und Staubsauganlagen

Staubsauger oder Staubsauganlagen können hohe Ladungsdichten erzeugen und selbst gefährlich aufgeladen werden.

Als Staubsauger werden hier ortsbewegliche und als Staubsauganlagen ortsfeste Einrichtungen verstanden.

Staubsauger und Staubsauganlagen sollen aus leitfähigen oder ableitfähigen Teilen bestehen. Die leitfähigen Teile sind zu erden, insbesondere leitfähige Saugdüsen. Alle ableitfähigen Teile müssen mit leitfähigen verbunden sein, so dass Erdkontakt besteht.

Dies wird z. B. durch den Einsatz von Staubsaugern und Staubsauganlagen zum Aufsaugen explosionsfähiger Stäube erreicht, die die Anforderungen der Bauart 1 des Sicherheitstechnischen Informations- und Arbeitsblattes des BIA Nr. 510220 erfüllen.

Bei extrem zündempfindlichen Stäuben ist die Verwendung ableitfähiger Filtertücher erforderlich. Es ist sicherzustellen, dass der Staubsammelbehälter während des gesamten Betriebes, auch beim Entleeren, geerdet bleibt. Staubsauger und Staubsauganlagen dürfen nicht zum Aufnehmen lösemittelhaltiger Stäube eingesetzt werden oder wenn die Gefahr der Bildung brennbarer Gase besteht.

Staubsauger, die nicht geerdet werden können oder keine leitfähige Verbindung zwischen Saugdüse und Sammelbehälter aufweisen, dürfen weder in explosionsgefährdeten Bereichen noch zum Aufsaugen brennbarer Stäube eingesetzt werden.

Staubsauger können mit Hilfe des Netzkabels oder über einen leitfähigen Druckluftschlauch geerdet werden.

3.4 Elektrostatische Aufladungen beim Umgang mit Schüttgütern

Die Zündempfindlichkeit eines Schüttgutes, das von feinem Staub über Gries und Granulat bis hin zu Spänen reichen kann, steigt erfahrungsgemäß mit abnehmender Korngröße und geringerer Mindestzündenergie (MZE) an.

Für die Beurteilung der Explosionsgefahr ist die MZE der feinsten auftretenden Partikelfraktion zu Grunde zu legen.

Diese Fraktion erhält man in der Regel durch Sieben einer Probe durch ein 63 µm-Sieb. Zur Bestimmung der MZE siehe BIA-Report 12/97 „Brenn- und Explosionskenngrößen von Stäuben“ und IEC 61241-2-3.

Beträgt die MZE mehr als 10 J und liegen keine brennbaren Gase und Dämpfe vor, sind besondere Maßnahmen zur Vermeidung der Zündgefahr infolge elektrostatischer Aufladungen nicht erforderlich.

Eventuell sind Maßnahmen zur Minderung der Gefahr eines elektrischen Schlags angezeigt; siehe Anhang 4.

Schüttgüter werden nach ihrem spezifischen Widerstand ρ , in 3 Gruppen eingeteilt:

- Schüttgüter mit niedrigem spezifischen Widerstand: $\rho \leq 10^6 \Omega\text{m}$
- Schüttgüter mit mittlerem spezifischen Widerstand: $10^6 \Omega\text{m} < \rho \leq 10^{10} \Omega\text{m}$
- Schüttgüter mit hohem spezifischen Widerstand: $10^{10} \Omega\text{m} < \rho$

Zur Messmethode siehe z. B. DIN EN 61241-2-2 und zur Veranschaulichung der Begriffe siehe Anhang 9.

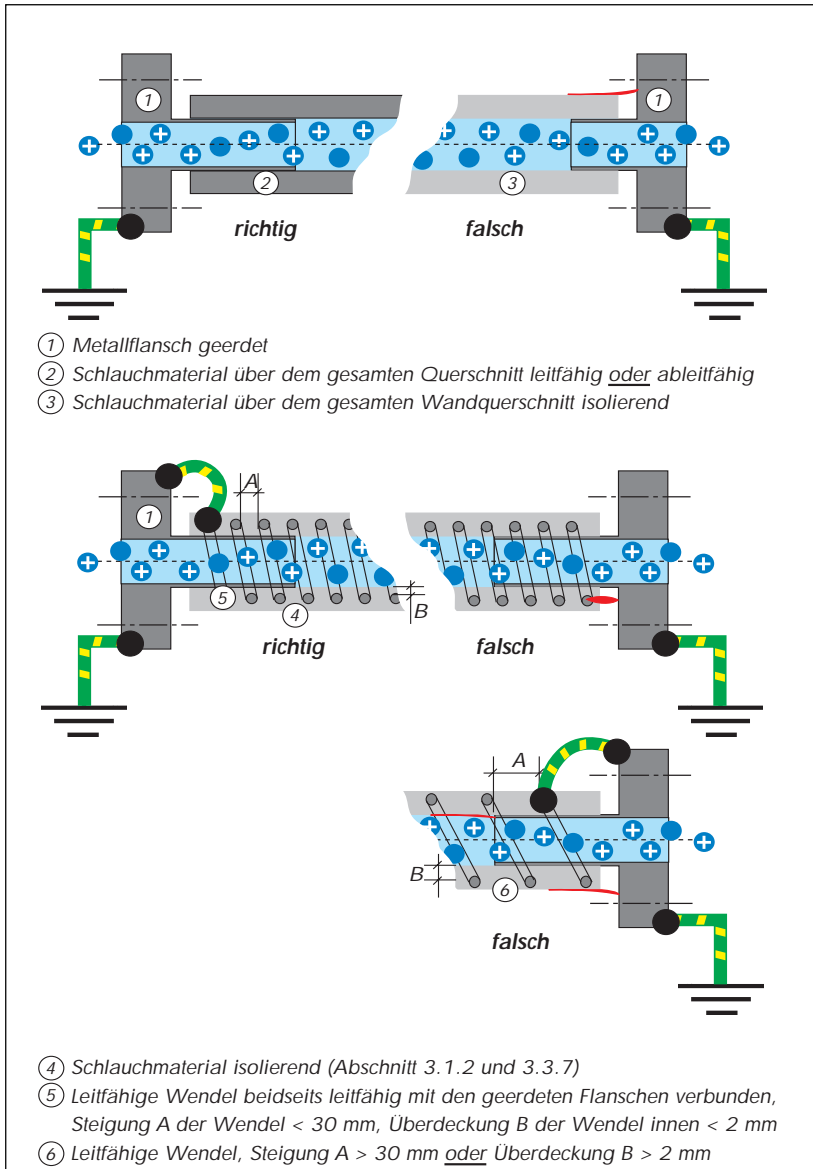
In der Praxis kommen Schüttgüter mit einem niedrigen spezifischen Widerstand selten vor. Selbst Metallpulver bleiben nicht sehr lange leitfähig, da sich Oxidschichten an der Oberfläche bilden, die den Widerstand erhöhen.

Beim Umgang mit Schüttgut muss erfahrungsgemäß mit elektrostatischen Aufladungen gerechnet werden. Neben Maßnahmen, gefährlich hohe Ladungsansammlungen zu vermeiden, sind gegebenenfalls zusätzliche Explosionsschutzmaßnahmen, z. B. Inertisierung, Explosionsunterdrückung oder Explosionsdruckentlastung zu treffen oder es ist eine explosionsfeste Bauweise für den maximal zu erwartenden Explosionsdruck zu wählen.

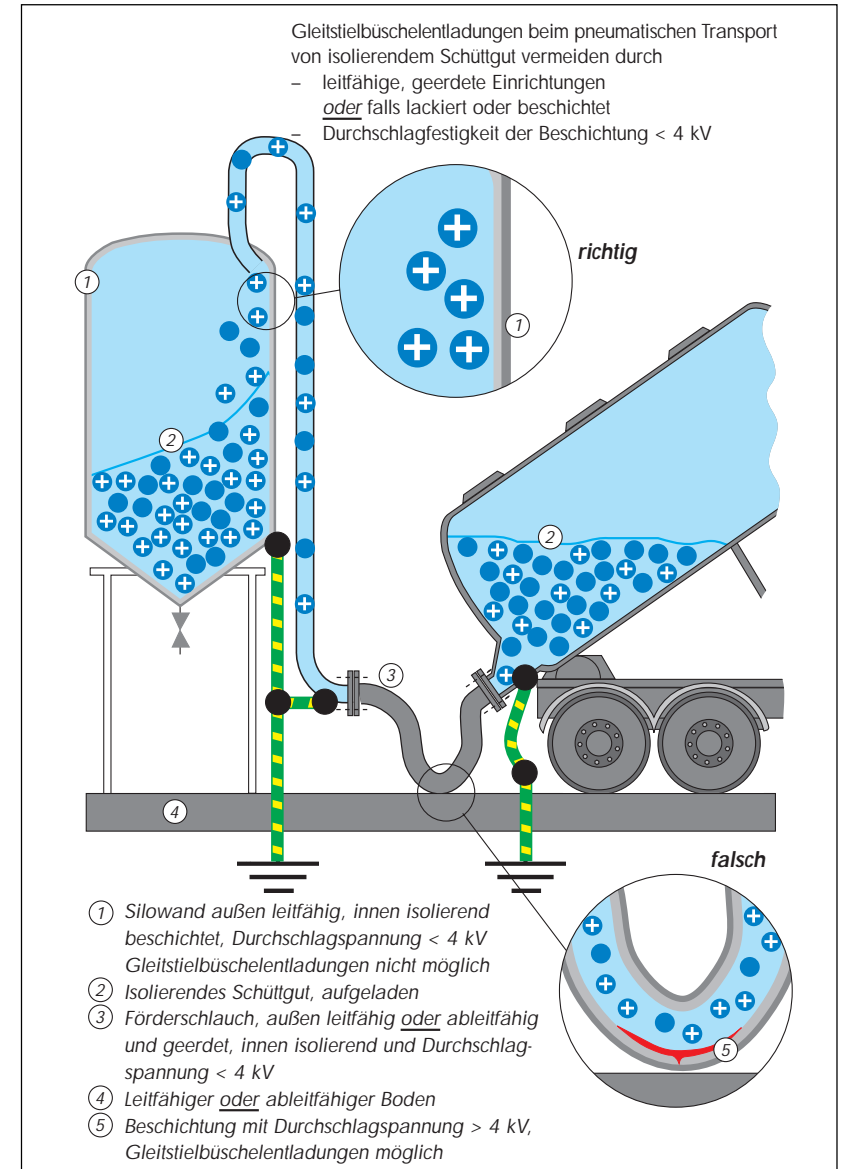
3.4.1 Verfahrenstechnische Maßnahmen

Die Arbeitsparameter sind so zu wählen, dass erfahrungsgemäß keine gefährlichen elektrostatischen Aufladungen erzeugt werden. Dazu gehören:

- Erhöhen der Leitfähigkeit des Schüttgutes und der Anlagenteile, z. B. durch Coating oder Beschichtung,
- Erhöhen der Befeuchtung oder Ionisierung,
- Vermindern von Feinanteilen im Schüttgut, z. B. Abrieb,



Beispiel 8: Schläuche zum pneumatischen Transport von isolierenden Schüttgütern durch Bereiche der Zone 1



Beispiel 9: Pneumatische Förderung von Schüttgut in oder aus Silos der Zone 20

- Beschränken des Dispersionsgrades, z. B. durch Wahl der Pfpöfenförderung anstelle der Flugförderung,
- Verringern der Fördergeschwindigkeit, des Massendurchflusses oder der Luftgeschwindigkeit,
- Vermeiden großer Schüttguthaufen,
- Bevorzugen des Transportes mit Schwerkraft vor pneumatischem Transport,
- Einsatz von leitfähigen oder ableitenden Schläuchen bei der pneumatischen Förderung von Schüttgut.

Hierdurch werden Gleitstielbüschelentladungen vermieden.

3.4.1.1 Befeuchtung

Wird die Befeuchtung als Maßnahme zum Ableiten der Ladungen von Schüttgut gewählt, werden in der Regel mindestens 70 % relative Luftfeuchte bei 23 °C benötigt.

Die Befeuchtung ist keine geeignete Maßnahme für das Ableiten von Ladungen bei starken ladungserzeugenden Prozessen – wie der Flugförderung – und keine bei warmen Produkten.

Luft ist ein schlechter Leiter für Elektrizität. Erhöhen der Luftfeuchte eignet sich nicht zum Ableiten der Ladung aus einer Staubwolke.

Eine hohe Feuchte verringert jedoch den spezifischen Widerstand vieler Schüttgüter, Polymere häufig ausgenommen, wodurch der Ladungsabbau in abgelagerten Schüttgütern beschleunigt werden kann.

3.4.1.2 Ionisierung

Die Leitfähigkeit eines Staub/Luft-Gemisches lässt sich durch Ionisieren erhöhen. Ionisierung kann auch geeignet sein, gefährliche Staubablagerungen zu verringern.

Ionisierung ist ungeeignet, gefährliche Aufladungen an größeren Schüttgutmengen oder großen Staubwolken zu vermeiden.

Es ist schwierig, die erforderliche Ionisierung für ein relativ großes Volumen von mehr als 100 l aufzubringen. Außerdem ist die zu neutralisierende Gesamtladung oft größer als die Ladung, die durch ein Ionisierungssystem abgegeben werden kann.

Die elektrostatische Ladung bereits aufgeladener Staubwolken oder Schüttgutschüttungen kann durch geerdete Spitzen oder Drähte örtlich herabgesetzt werden, wenn die elektrische Feldstärke bereits nahe der Durchbruchfeldstärke liegt.

An der Auftreffstelle des Schüttgutes angeordnete Spitzen oder Drähte können die Energie einzelner Entladungen auf ein niedriges Niveau reduzieren. Sie können außerdem angesammelte Ladungen sicher zur Erde ableiten, wenn das Schüttgut in einen isolierenden Behälter eintritt.

Die verwendeten Spitzen oder Drähte sind so zu wählen, dass weder sie noch Teile von ihnen abbrechen können.

Abgebrochene Teile können wie aufgeladene Kondensatoren wirken und Funkenentladungen verursachen.

3.4.2 Schüttgüter bei Abwesenheit brennbarer Gase und Dämpfe

Von Abwesenheit brennbarer Gase und Dämpfe wird im Sinne dieser BG-Regel auch dann ausgegangen, wenn

- bei nichtbrennbaren Schüttgütern die Konzentration brennbarer Gase und Dämpfe sicher unterhalb der unteren Explosionsgrenze (UEG) liegt,
- bei brennbaren Schüttgütern die Konzentration brennbarer Gase und Dämpfe sicher unterhalb 20 % der UEG des Gases/Dampfes liegt.

Diese Bedingung ist oft erfüllt, wenn z. B. unmittelbar nach einem Trocknungsprozess der restliche Anteil eines brennbaren Lösemittels weniger als 0,5 Gew.% des Schüttgutes beträgt.

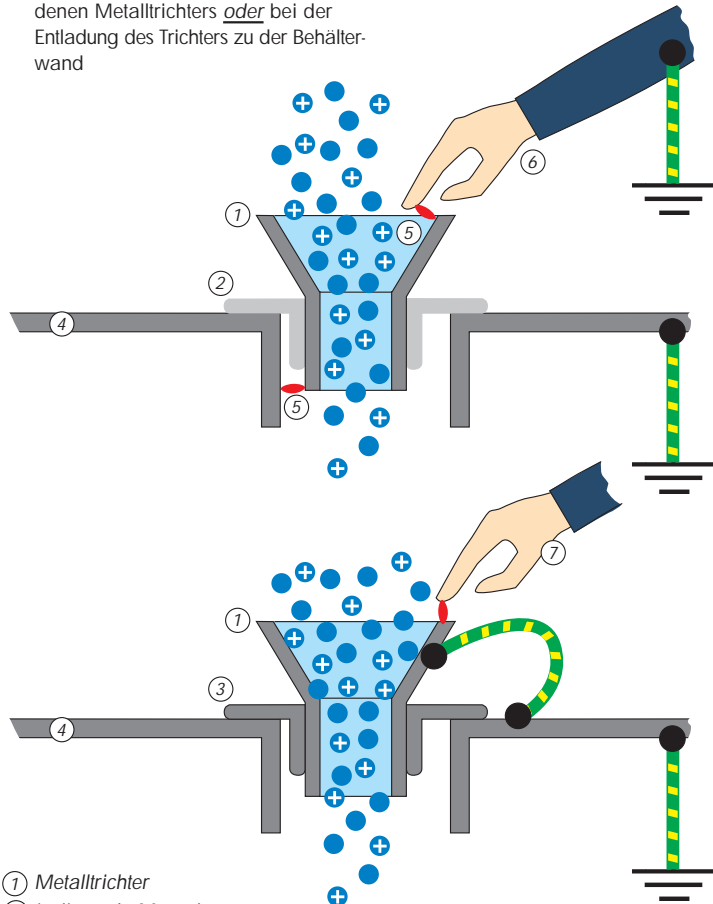
3.4.2.1 Gegenstände und Einrichtungen aus leitfähigen und ableitfähigen Materialien

In explosionsgefährdeten Bereichen sind alle Gegenstände und Einrichtungen, die aus leitfähigen und ableitfähigen Materialien gefertigt sind, gemäß Abschnitt 3.6 zu erden.

Hierzu zählen leitfähig kaschierte Packmittel und viele Arten ortsbeweglicher beschichteter Behälter, z. B. aluminiumbeschichtete.

Unter den folgenden Umständen kann auf eine Erdung verzichtet werden:

Funkenentladung z. B. beim Berühren eines isoliert eingestellten, aufgeladenen Metalltrichters oder bei der Entladung des Trichters zu der Behälterwand



- ① Metalltrichter
- ② isolierende Manschette
- ③ Leitfähige oder ableitfähige Manschette
- ④ Einfüllöffnung eines Metallbehälters
- ⑤ Funkenentladung, zündfähig für Gemische aus Stäuben, Gasen oder Dämpfen mit Luft
- ⑥ Person, geerdet, z.B. über Schuhe und Fußboden
- ⑦ Person, nicht geerdet, aufgeladen, z.B. durch Influenz

Beispiel 10: Funkenentladungen

- Gegenstände aus leitfähigem oder ableitfähigem Material werden während des bestimmungsgemäßen Betriebes einschließlich möglicher Störungen nachweislich nicht aufgeladen oder
- die auf den nicht geerdeten Gegenständen aus leitfähigem oder ableitendem Material speicherbare Energie ist kleiner als die MZE des Schüttgutes.

3.4.2.2 Gegenstände und Einrichtungen aus isolierenden Materialien

Isolierende Gegenstände oder Einrichtungen sind nur zulässig, wenn keine gefährlichen Aufladungen zu erwarten sind.

Werden Gegenstände oder Einrichtungen aus isolierenden Materialien verwendet, z. B. Rohre, Behälter, Folien, Beschichtungen oder Einstellsäcke, ist mit Aufladungen zu rechnen. Gefährliche Aufladungen können erfahrungsgemäß erst bei der Handhabung von Schüttgutmengen über 100 kg auftreten.

Solange ein ladungserzeugender Prozess andauert, z. B. während des pneumatischen Transports eines Schüttgutes durch ein isolierendes Rohr oder beim Füllen eines isolierenden Behälters mit aufgeladenem Schüttgut, kann sich an den Oberflächen Ladung aufbauen.

Aufladungen von isolierenden Oberflächen können zu Gleitstielbüschelentladungen mit typischen Energien von 1 J führen, z. B. an dünnen, isolierenden Schichten oder isolierend beschichteten leitfähigen Rohren. Werden isolierende Folien, Schichten oder Beschichtungen mit Durchschlagsspannungen < 4 kV verwendet, sind keine für Schüttgüter zündwirksamen Aufladungen zu erwarten.

Werden in einer Mischbauweise leitfähige, ableitfähige und isolierende Materialien verwendet, ist sicherzustellen, dass alle leitfähigen und ableitfähigen Teile geerdet bzw. mit Erde verbunden sind.

Aufladungen an isolierten Leitern können zu Funkenentladungen führen.

3.4.2.3 Staubabscheider

Beim Abscheiden brennbarer Stäube dürfen isolierende Filtergewebe die Erdung von Teilen des Staubabscheiders aus leitfähigen oder ableitfähigen Materialien, insbesondere von Stützkörpern, nicht unterbrechen.

Bei extrem zündempfindlichen Schüttgütern ist der Einsatz geerdeter ableitfähiger Filtertücher mit einem Ableitwiderstand $\leq 10^8 \Omega$ zweckmäßig.

Filtertücher, die mit leitfähigen Fasern ausgerüstet sind, gelten als ableitfähig, wenn ihr nach DIN 54345-5 gemessener Streifenwiderstand $R_{ST} \leq 10^8 \Omega$ beträgt.

3.4.2.4 Behälter

Schüttgüter und Schüttgutbehälter sind so zu handhaben bzw. zu betreiben, dass gefährliche Aufladungen vermieden werden. Gefährliche Aufladungen können sowohl auf dem Schüttgut als auch auf dem Schüttgutbehälter angesammelt werden.

Als Schüttgutbehälter werden neben großen Behältern oder Silos auch ortsbewegliche Behälter z. B. Gebinde, Fässer, Säcke, flexible Schüttgutbehälter (FIBC) oder andere Packmittel verstanden. Zu FIBC siehe Abschnitt 3.4.4 und Anhang 3.

Anhand der Ablaufdiagramme 1 bis 3 kann geprüft werden, ob das Schüttgut beim Befüllen von Behältern gefährlich aufgeladen werden kann. Gegebenenfalls sind Maßnahmen gegen Schüttkegelentladungen (SKE), gewitterblitzartige Entladungen oder Funkenentladungen zu treffen.

Je nach spezifischem Widerstand des Schüttgutes ρ trifft eines der drei Ablaufdiagramme zu:

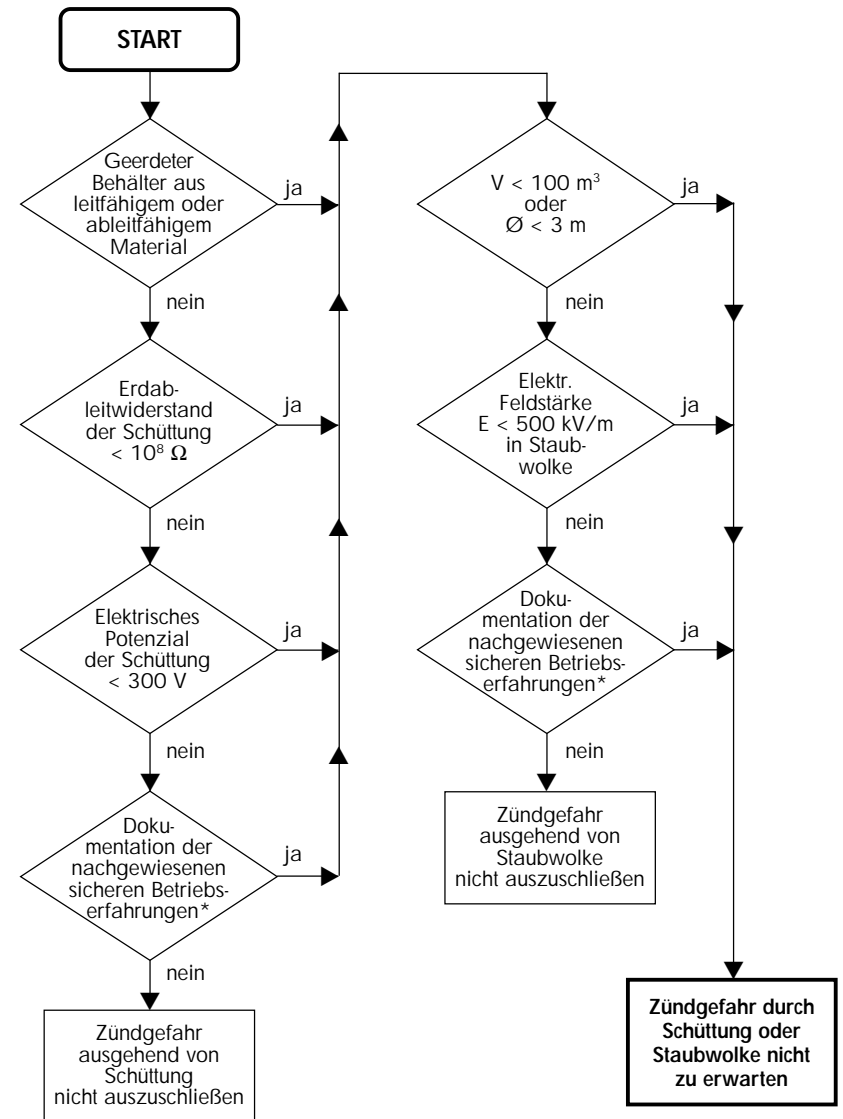
- Ablaufdiagramm 1: $\rho \leq 10^6 \Omega m$
- Ablaufdiagramm 2: $10^6 \Omega m < \rho \leq 10^{10} \Omega m$
- Ablaufdiagramm 3: $10^{10} \Omega m < \rho$

In den Ablaufdiagrammen 2 und 3 bedeutet E_{SKE} die maximale zu erwartende Äquivalentenergie der Schüttkegelentladung [mJ].

Siehe auch Abschnitt 3.6 des Anhanges 1.

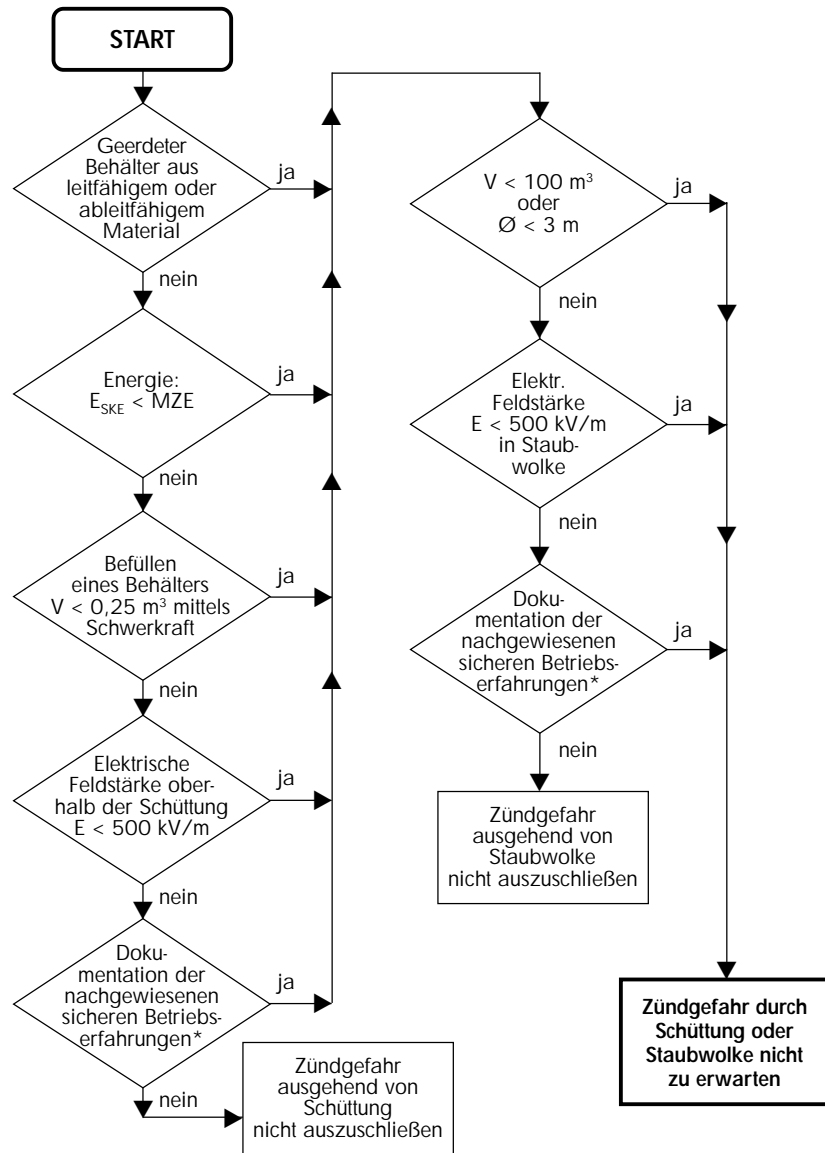
Zur Beurteilung der Aufladung verschiedener Schüttgutbehälter sind zusätzlich die Abschnitte 3.4.2.4.1 bis 3.4.2.4.5 zu beachten.

Beim Entleeren von Behältern sind bei Abwesenheit brennbarer Gase und Dämpfe in der Regel keine gefährlichen Aufladungen des Schüttgutes zu erwarten.



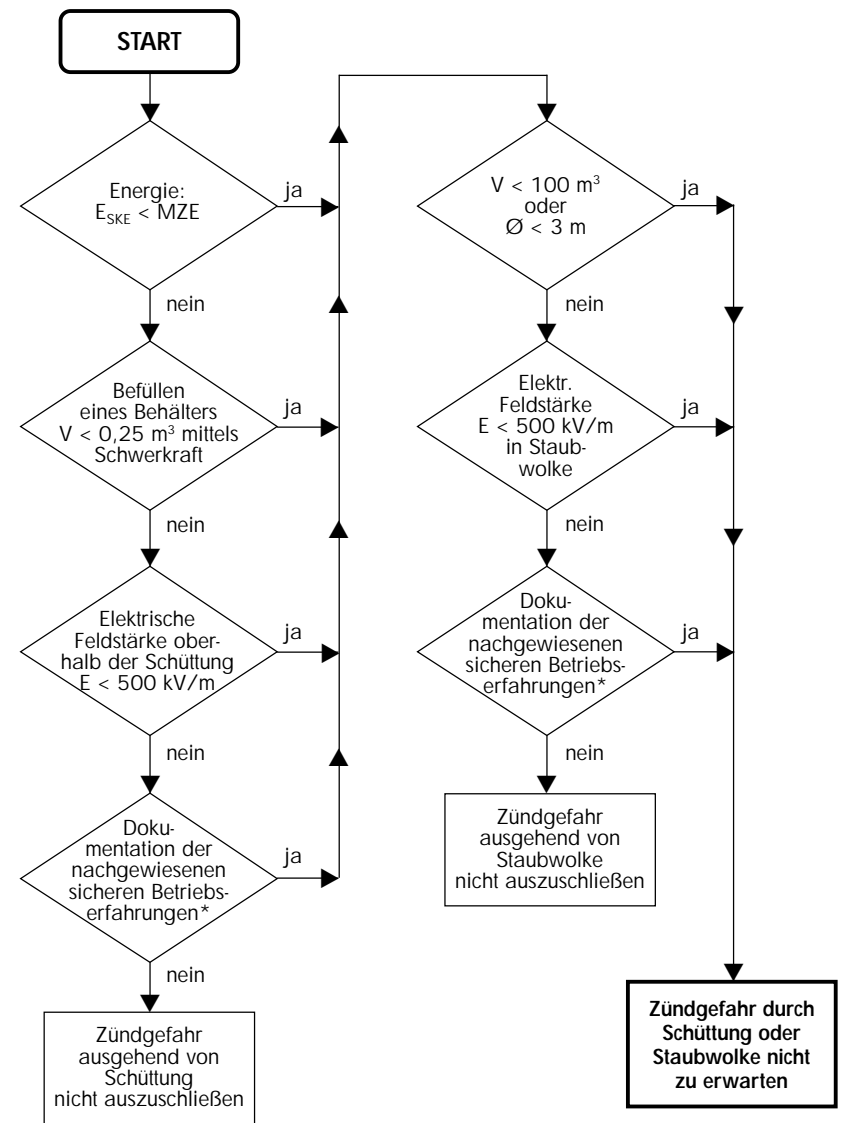
* siehe letzter Satz des Abschnittes 3.4.2.4

Ablaufdiagramm 1: Beurteilung von Schüttgütern mit $\rho \leq 10^6 \Omega m$



*siehe letzter Satz des Abschnittes 3.4.2.4

Ablaufdiagramm 2: Beurteilung von Schüttgütern mit $10^6 \Omega\text{m} < \rho \leq 10^{10} \Omega\text{m}$



* siehe letzter Satz des Abschnittes 3.4.2.4

Ablaufdiagramm 3: Beurteilung von Schüttgütern mit $\rho > 10^{10} \Omega\text{m}$

Siehe auch Abschnitt 3.4.3.

Zu beachten ist, dass jeder Entleervorgang für das schüttgut-aufnehmende System einen Befüllvorgang darstellt, auf den die Beurteilungskriterien der Ablaufdiagramme 1 bis 3 anzuwenden sind.

Leitfähige und ableitfähige Behälter müssen beim Befüllen und Entleeren geerdet bzw. mit Erde verbunden sein.

Soll gemäß einem der Ablaufdiagramme 1 bis 3 die Zündgefahr auf Grund des Entscheidungsschrittes „Dokumentation der nachgewiesenen sicheren Betriebserfahrungen“ ausgeschlossen werden, muss die Explosionsgefährdung ermittelt und einer Bewertung unterzogen worden sein. Die entsprechenden Begründungen sind im Explosionsschutzdokument darzulegen.

Zum Explosionsschutzdokument siehe auch § 6 Betriebs-sicherheitsverordnung.

3.4.2.4.1 Leitfähige und ableitfähige Behälter mit leitfähigen oder ableitfähigen Einstellsäcken

Zusätzlich zu den Maßnahmen nach Abschnitt 3.4.2.4 dürfen leitfähige und ableitfähige Einstellsäcke in explosionsgefährdeten Bereichen nur benutzt werden, wenn sie sicher geerdet sind und beim Einstellen und Herausnehmen geerdet bleiben, z. B. in dem sie mit dem Behälter fest verbunden und beim Ein- und Ausstellen über die Person geerdet bleiben.

Das Einstellen und Herausnehmen der Säcke muss anderenfalls außerhalb der Zone 21 erfolgen.

3.4.2.4.2 Leitfähige und ableitfähige Behälter mit einem isolierenden Einstellsack

Isolierende Einstellsäcke sollen vermieden werden.

Gleitstielbüschelentladungen können je nach Dicke, spezifischem Widerstand des Einstellsacks, seiner Durchschlagspannung und den elektrischen Eigenschaften des Füllgutes auftreten.

Isolierende Einstellsäcke können verwendet werden, wenn zusätzlich zu den Maßnahmen nach Abschnitt 3.4.2.4 mindestens eine der folgenden Bedingungen erfüllt ist:

- Volumen < 0,25 m³,

- Durchschlagspannung $U_D < 4 \text{ kV}$,
- dokumentierter Nachweis, dass keine Gleitstielbüschelentladungen auftreten.

Beträgt der spezifische Widerstand des Schüttguts weniger als $10^6 \Omega\text{m}$, ist es zu erden.

Die Erdung kann z. B. durch eine oder mehrere vertikale Metallstange(n) oder ein in den Behälter führendes Metallfüllrohr erfolgen. Rohr und Stangen sind vor dem brennbaren Schüttgut und nicht nachträglich einzubringen.

3.4.2.4.3 Isolierende Behälter

Isolierende Behälter sollen vermieden werden.

Füllgut mit einem spezifischen Widerstand < $10^6 \Omega\text{m}$ ist zu erden.

Die Erdung kann z. B. wie in Abschnitt 3.4.2.4.2 beschrieben erfolgen.

Isolierende Behälter können verwendet werden, wenn zusätzlich zu den Maßnahmen nach Abschnitt 3.4.2.4 mindestens eine der folgenden Bedingungen erfüllt ist:

- Volumen < 0,25 m³,
- Durchschlagspannung $U_D < 4 \text{ kV}$,
- dokumentierter Nachweis, dass keine Gleitstielbüschelentladungen auftreten.

3.4.2.4.4 Isolierende Behälter mit Einstellsäcken

Leitfähige Einstellsäcke sollen in isolierenden Behältern vermieden werden. Ist ihr Einsatz unverzichtbar, sind sie sicher zu erden.

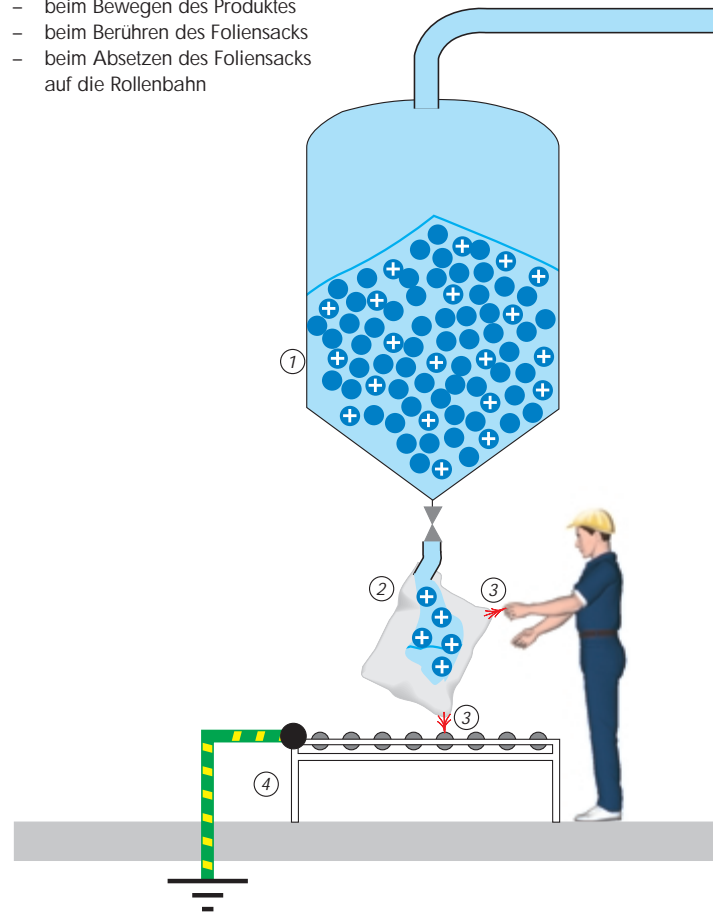
Isolierende Einstellsäcke in isolierenden Behältern sind so zu beurteilen, wie isolierende Behälter nach Abschnitt 3.4.2.4.3.

Befüllen zulässig in explosionsgefährdeten Bereichen der Zone 21 und 22, nicht zulässig in Zone 1

Funkentladung durch Erdung der leitfähigen Teile ausgeschlossen

Erzeugung von Büschelentladungen erfolgt

- beim Bewegen des Produktes
- beim Berühren des Foliensacks
- beim Absetzen des Foliensacks auf die Rollenbahn



- ① Staubexplosionsfähiges, isolierendes, aufgeladenes Produkt
- ② Foliensack aus isolierendem Material
- ③ Büschelentladung, nicht zündfähig für Staub/Luft-Gemische
- ④ Rollenbahn und Rollen leitfähig und geerdet

Beispiel 11: Befüllen isolierender Kunststofftaschen mit Schüttgut

3.4.3 Schüttgüter in Gegenwart brennbarer Gase oder Dämpfe

Bei Anwesenheit brennbarer Gase oder Dämpfe muss je nach ihrer Konzentration mit der Entzündung einer explosionsfähigen Gas- oder Dampfatosphäre oder mit der Entzündung eines so genannten hybriden Gemisches (Gemisch aus brennbaren Gasen oder Dämpfen und brennbaren Stäuben mit Luft) gerechnet werden. Die Mindestzündenergie (MZE) wird wesentlich durch anwesende gas- oder dampfförmige Komponenten bestimmt und liegt meist niedriger als die MZE des reinen Staubes.

Anstelle der Eigenschaften niedriger, mittlerer oder hoher spezifischer Widerstand von Schüttgütern genügt im Folgenden die Unterscheidung des spezifischen Widerstandes an der Grenze $10^8 \Omega\text{m}$.

3.4.3.1 Maßnahmen bei spezifischem Widerstand $\geq 10^8 \Omega\text{m}$

Die offene Handhabung von lösungsmittelfeuchten Schüttgütern mit einem spezifischen Widerstand $\geq 10^8 \Omega\text{m}$ ist zu vermeiden. Große Mengen müssen unter Inertgas gehandhabt werden.

Die Handhabung von Schüttgütern mit einem spezifischen Widerstand $\geq 10^8 \Omega\text{m}$ erzeugt in der Regel hohe elektrostatische Aufladungen, so dass Büschelentladungen nicht sicher vermieden werden können. Die Entzündung des Gemisches ist deshalb möglich.

In diesen Fällen sind zusätzliche Maßnahmen des Explosionsschutzes notwendig, z. B. Vermeiden des zündempfindlichen explosionsfähigen Gemisches durch Inertisieren, Vermeiden des hybriden Gemisches oder konstruktive Maßnahmen.

Mögliche Maßnahmen sind Arbeiten im Vakuum oder in druckfesten Behältern oder Abkühlen deutlich unter die Temperatur des Flammpunktes.

3.4.3.2 Maßnahmen bei spezifischem Widerstand $< 10^8 \Omega\text{m}$

Ist der spezifische Widerstand des Schüttgutes $< 10^8 \Omega\text{m}$, z. B. bei Schüttgütern, die ein polares Lösemittel enthalten, muss die Handhabung in leitfähigen geerdeten Anlagen erfolgen.

Bei größeren Schüttgutmengen ist eine repräsentative Probeentnahme zur Beurteilung des spezifischen Widerstandes notwendig. Anstelle des spezifischen Widerstandes kann auch die Bestimmung der Feuchte im Schüttgut aussagefähig sein.

Sowohl das Schüttgut als auch die brennbare Flüssigkeit können durch den Eintrag in den Behälter oder durch die Zugabe in die Flüssigkeit gefährlich aufgeladen werden.

3.4.3.3 Eintrag von Schüttgut in Behälter

Der Eintrag von Schüttgut in einen Behälter, der brennbare Gase oder Dämpfe enthält soll möglichst in einem geschlossenen System und unter Inertgas erfolgen. Der offene Eintrag von Schüttgut ist zu vermeiden.

Elektrostatische Aufladungen beim Eintrag von Schüttgut aus Metall- oder Kunststoffässern oder aus Kunststoffsäcken in brennbare Flüssigkeiten verursachten bislang zahlreiche Brände und Explosionen.

Elektrostatische Aufladungen werden erzeugt, wenn das Schüttgut aus einem Behälter geschüttet oder über eine Rutsche in den Sammelbehälter fließt.

Sofern keine Maßnahmen ergriffen werden, können sich gefährlich hohe Potenziale am Behälter während des Entleerens, an einem Einstellsack im Behälter, am Sammelbehälter, an der Laderutsche, am Schüttgutstrom, am Produkt im Sammelbehälter sowie an Personen, die mit der Handhabung und Bedienung befasst sind, aufbauen.

Lässt sich der offene Eintrag von Schüttgut in eine explosionsfähige Atmosphäre nicht vermeiden, sind besondere Maßnahmen vorzusehen, welche die Aufladungen auf ein ungefährliches Maß begrenzen:

1. Schüttgutbehälter oder Packmittel müssen aus leitfähigem oder ableitfähigem Material bestehen. Während des Schüttens müssen leitfähige geerdet sein und ableitfähige Erdkontakt besitzen.

Schüttgutbehälter oder Packmittel aus ableitfähigen Materialien können z. B. aus Metall, Papier oder ableitfähigen Verbundmaterialien bestehen. Zu ihnen zählen z. B. auch Packmittel aus kunststoffkaschiertem Papier.

Bei Packmitteln aus ableitfähigen Materialien, z. B. Papiersäcken, kann ein ausreichender Erdkontakt über die Person durch Anfassen erreicht werden. Bei diesem Vorgehen ist unverzichtbar, dass die ableitfähige Eigenschaft des Fußbodens, des Schuhwerkes sowie der Handschuhe gegeben ist und nicht durch Verschmutzungen herabgesetzt wird.

Bei der Lagerung ist zu beachten, dass die ableitfähige Eigenschaft der Verpackung nicht verloren geht, z. B. durch sehr trockene Lagerung.

2. Isolierende Einstellsäcke dürfen nicht verwendet werden.
3. Einstellsäcke aus leitfähigem oder ableitfähigem Material dürfen nur benutzt werden, wenn sichergestellt ist, dass sie mit dem Behälter fest verbunden sind und beim Einstellen und Herausnehmen geerdet bleiben. Andernfalls muss das Einstellen und Herausnehmen der Säcke außerhalb des explosionsgefährdeten Bereiches erfolgen. Während der Handhabung darf sich der eingestellte Sack nicht von der Behälterinnenwand ablösen.
4. Isolierend beschichtete oder mehrlagige Packmittel sollen möglichst vermieden werden.
Isolierend beschichtete Packmittel dürfen nur dann entleert werden, wenn
 - die Beschichtung bzw. die produktberührende Lage dünner als 2 mm ist und
 - die Beschichtung bzw. die produktberührende Lage beim Leeren mit dem Behälter verbunden bleibt und
 - das Packmittel Erdkontakt besitzt.
5. Eintragshilfen müssen leitfähig und geerdet sein.
Zu den Eintragshilfen gehören z. B. Schaufeln, Trichter oder Rutschen.
6. Die Erdung der beteiligten Personen ist sicherzustellen.
7. Begrenzung der Schüttgeschwindigkeit < 1 kg/s.

Entsteht durch Zugabe eines Schüttgutes in eine Vorlage eine Suspension oder Emulsion – eventuell auch nur kurzzeitig – so ist zu beachten, dass z. B. beim Rühren unabhängig vom eigentlichen Schüttvorgang eine gefährliche Aufladung im Gefäß erzeugt werden kann. In diesen Fällen ist Abschnitt 3.2.11 zu beachten.

Ein typisches Beispiel ist die Zugabe von Pigmenten bei der Herstellung einiger Farben und Lacke.

3.4.4 Flexible Schüttgutbehälter (FIBC)

Flexible Schüttgutbehälter werden bei Lagerung und Transport sowie in Produktionsprozessen, z. B. zur Aufnahme von Schüttgütern, Granulaten, verwendet. Elektrostatische Ladungen können

während des Füllens und Entleerens erzeugt werden und sich auf dem Schüttgut selbst oder auf der Oberfläche des FIBC ansammeln. Von aufgeladenen FIBC können durch Influenz weitere Gegenstände oder Personen aufgeladen werden.

Für unterschiedliche Einsatzbedingungen sind geeignete FIBC einzusetzen. Es werden die Typen A, B, C und D unterschieden. Typ A kann überwiegend nur in Bereichen ohne explosionsfähige Atmosphäre eingesetzt werden. In Bereichen mit explosionsfähiger Atmosphäre erfolgt der Einsatz der Typen B, C und D gemäß nachstehender Tabelle 9. Sie gibt Hinweise auf die geeignete Wahl von FIBC unter Berücksichtigung des zu handhabenden Schüttgutes und der Umgebungsbedingungen.

Mindestzündenergie (MZE) des Schüttgutes	Befüll- und Entleereinrichtung befindet sich im			
	nicht explosionsgefährdeten Bereich	explosionsgefährdeten Bereich der		
		Zone 21 o. 22	Zone 2	Zone 1
MZE > 10 J oder nicht staubexplosionsfähig	keine Einschränkung	keine Einschränkung	B, C, D	C ^{*)} , D ^{*)}
10 J ≥ MZE > 3 mJ	B, C, D	B, C, D	B, C, D	C ^{*)} , D ^{*)}
3 mJ ≥ MZE	C, D	C, D	C, D	C ^{*)} , D ^{*)}
Staub mit brennbarem Lösemittelanteil ^{***)}	C ^{**)} , D ^{**)}			

*) beim Befüllen des FIBC nur in Verbindung mit zusätzlichen Maßnahmen, z. B. Spülen mit Luft

***) beim Befüllen und Entleeren des FIBC nur in Verbindung mit zusätzlichen Maßnahmen, z. B. Inertisierung

***) Anteil des brennbaren Lösemittels > 0,5 Gew.-% des Schüttgutes.

Siehe auch VDI 2263 Blatt 5.

Tabelle 9: Auswahl geeigneter FIBC-Typen in Abhängigkeit von Schüttgut und Einsatzbedingungen

In Gegenwart brennbarer Gase, Dämpfe oder Stäube müssen FIBC des Typs C während des Befüllens oder Entleerens geerdet sein.

In der Umgebung von FIBC Typ D müssen in Gegenwart brennbarer Gase, Dämpfe oder Stäube alle leitfähigen Gegenstände und

Personen, die gefährlich aufgeladen werden können, geerdet werden.

Diese Forderung leitet sich aus dem physikalischen Wirkungsprinzip von FIBC des Typs D ab.

Kommen Einstellsäcke in FIBC zum Einsatz, ist das Packmittel als Ganzes zu bewerten, da die Typeinteilung des Herstellers diesen Fall in der Regel nicht mit abdeckt.

Die Typen B, C und D vermeiden bauartbedingt gefährliche Aufladungen durch verschiedene physikalische Prinzipien.

Da die Bauarten von FIBC bislang nicht genormt sind, sind Einzelheiten zu den Eigenschaften einzelner Typen im Anhang 3 zusammengestellt.

3.5 Aufladung von Personen

Personen, die in explosionsgefährdeten Bereichen tätig sind, dürfen nicht gefährlich aufgeladen werden.

Personen können aufgeladen werden, z. B. beim Gehen, beim Aufstehen von einem Sitz, beim Kleiderwechsel, beim Umgang mit Kunststoffen, durch Schütt- oder Füllarbeiten oder durch Influenz beim Aufenthalt in der Nähe aufgeladener Gegenstände. Berührt eine aufgeladene Person einen leitfähigen Gegenstand, z. B. einen Türgriff, treten Funkenentladungen auf. Die Wahrnehmungsschwelle beträgt 0,5 mJ und kann bereits zündwirksam sein. Der typische Wert für die gespeicherte Energie einer Person beträgt 10 mJ und der höchste zu erwartende Wert 15 mJ. Beim Entladungsvorgang wird nur ein Teil dieser Energie zündwirksam.

Personen, die ableitfähiges Schuhwerk auf ableitfähigen Fußböden tragen, laden sich nicht auf. Haben Personen über den Fußboden keinen Erdkontakt, ist dafür zu sorgen, dass sie in explosionsgefährdeten Bereichen nicht gefährlich aufgeladen werden.

Diese Situation kann z. B. bei Höhenarbeiten bzw. bei Auf- oder Abseilverfahren oder dem Tragen von Überschuhen auftreten.

3.5.1 Ableitfähiges Schuhwerk

In explosionsgefährdeten Bereichen der Zonen 0, 1 oder 20 sowie in Zone 21 bei Stoffen mit MZE < 3 mJ ist ableitfähiges Schuhwerk

mit einem Ableitwiderstand der Person gegen Erde von höchstens $10^8 \Omega$ zu tragen. In der Regel sind Personen nicht in den Zonen 0 oder 20 tätig.

In Bereichen, die durch Explosivstoffe gefährdet sind, ist leitfähiges Schuhwerk zu benutzen.

Socken oder Strümpfe beeinträchtigen erfahrungsgemäß die Schutzwirkung der leitfähigen und ableitfähigen Schuhe nicht.

Ableitfähiges Schuhwerk darf nicht verändert werden, wenn hierdurch die ableitfähige Eigenschaft verloren geht.

Hinweis: Schuhwerk nach DIN EN 61340-4-3 erfüllt vorstehend genannten Anforderungen. Nach DIN EN 344 und DIN EN 345 hergestellte Sicherheits-, Schutz oder Berufsschuhe besitzen einen elektrischen Durchgangswiderstand zwischen 10^5 und $10^9 \Omega$. Liegt ihr Durchgangswiderstand zwischen 10^8 und $10^9 \Omega$ sind sie für den Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen nicht geeignet. Das Baumusterprüfzeugnis des Schuhs gibt Auskunft über den elektrischen Durchgangswiderstand.

Schuhleinlagen können die ableitfähige Eigenschaft von Schuhen beeinträchtigen. Die Forderung nach ableitfähigem Schuhwerk gilt auch für orthopädisch gefertigte oder veränderte Schuhe.

Siehe auch BG-Regel „Benutzung von Fuß- und Beinschutz“ (BGR 191, bisherige ZH 1/702).

3.5.2 Ableitfähige Fußböden

Fußböden in explosionsgefährdeten Bereichen, in denen sich Personen aufhalten, müssen so ausgeführt sein, dass sich Personen beim Tragen ableitfähiger Schuhe nicht gefährlich aufladen.

Fußböden entsprechend Abschnitt 3.6.2 besitzen diese Eigenschaften.

3.5.3 Kleidung

Arbeitskleidung oder Schutzkleidung, darf in explosionsgefährdeten Bereichen der Zonen 0, 1, 20 sowie in Zone 21 bei Stoffen mit MZE < 3 mJ nicht gewechselt, nicht aus- und nicht angezogen werden.

Handelsübliche Bekleidung sowie Schutzkleidung kann aufgeladen werden. Beim Tragen stellt sie jedoch im Allgemeinen keine Zündgefahr dar, sofern die Person z. B. durch geeignetes Schuhwerk und geeignete Fußböden geerdet ist. Trotzdem kann es im Einzelfall, z. B. bei PU-beschichteter Wetterschutzkleidung, zu gefährlichen Aufladungen kommen.

In Bereichen der Zone 0 und in Bereichen, in denen mit einer Sauerstoffanreicherung oder mit dem Auftreten von Stoffen der Explosionsgruppe IIC zu rechnen ist, darf nur ableitfähige Kleidung getragen werden.

Die ableitfähige Eigenschaft der Kleidung darf, z. B. durch Waschen, nicht beeinträchtigt werden; gegebenenfalls ist die Kleidung wieder neu zu behandeln.

Ableitfähige Kleidung oder Textilien besitzen einen spezifischen Oberflächenwiderstand $< 5 \cdot 10^{10} \Omega$.

Siehe DIN EN 1149-1.

Die ableitfähige Eigenschaft der Kleidung kann durch spezielle nachträgliche Ausrüstung der Textilien erreicht werden.

Wird die ableitfähige Eigenschaft des Gewebes durch eingearbeitete leitfähige Fäden erreicht, ist sicherzustellen, dass diese Fäden während der Gebrauchsdauer nicht brechen.

3.5.4 Handschuhe und Schutzhelme

Werden in explosionsgefährdeten Bereichen der Zonen 0, 1 und 20 sowie in Zone 21 bei MZE < 3 mJ Handschuhe getragen, dürfen diese nur ableitfähig sein.

Durch Handschuhe aus isolierendem Material werden in der Hand gehaltene Objekte von Erde isoliert und können gefährlich aufgeladen werden.

Siehe auch DIN EN 388.

Zur Messung des spezifischen Durchgangswiderstandes von Schutzhandschuhen siehe DIN EN 388 und zu ihrer Kennzeichnung DIN EN 420.

In Bereichen der Zonen 1 und 20 sowie in Zone 21 bei Stoffen mit MZE < 3 mJ, in denen das Tragen von Schutzhelmen erforderlich ist, sollen die Helme auch dann getragen werden, wenn nur solche aus isolierenden Materialien verfügbar sind.

In Zone 0 sollen nur Schutzhelme aus ableitfähigem Werkstoff verwendet werden.

3.6 Erdung und Potenzialausgleich

Zur Vermeidung gefährlicher Aufladungen in explosionsgefährdeten Bereichen sind Personen sowie Gegenstände oder Einrichtungen aus leitfähigem oder ableitfähigem Material zu erden bzw. mit Erdkontakt zu versehen. Entsprechendes gilt auch für leitfähige oder ableitfähige Stoffe, z. B. Flüssigkeiten oder Schüttgüter.

Elektrostatische Aufladungen leitfähiger isolierter Gegenstände bilden eine wesentliche Gefahrenquelle, da die gespeicherte Energie in einer Entladung zur Erde oder auf einen anderen leitfähigen geerdeten Gegenstand übergehen kann. Für die Ableitung statischer Elektrizität gelten nachfolgende Kriterien; es können auch Maßnahmen zur Erdung und zum Potenzialausgleich aus der Blitzschutz-Technik angewendet werden.

Bestehen Einrichtungen aus mehreren leitfähigen Komponenten, sind diese einzeln zu erden oder untereinander elektrisch zu verbinden und insgesamt zu erden.

3.6.1 Ableitung statischer Elektrizität von leitfähigen Gegenständen

Im Allgemeinen soll der Ableitwiderstand $10^6 \Omega$ nicht überschreiten. Ein Ableitwiderstand R_E von $10^8 \Omega$ reicht jedoch aus, wenn z. B. die Ladestromstärke $I < 10^{-6} \text{A}$ und die Kapazität $C < 100 \text{pF}$ betragen. Kleine Gegenstände können auch dadurch elektrostatisch geerdet werden, indem ihre Relaxationszeit 10^{-2}s unterschreitet.

R_E ist der Ableitwiderstand eines Gegenstandes zur Erde. Er beeinflusst entscheidend die Aufladung eines Gegenstandes und die Relaxation seiner Ladungen.

Der Zusammenhang zwischen Potenzial, Ladestromstärke und Erdableitwiderstand wird in Anhang 5 erläutert.

Leitfähige Gegenstände werden aufgeladen, wenn die Geschwindigkeit der Ladungsaufnahme die der Ladungsableitung überschreitet.

Eine gefährliche zündwirksame Entladung tritt auf, wenn die elektrische Feldstärke die Durchschlagspannung der Atmosphäre überschreitet und die in der Entladung freiwerdende Energie gleich oder größer der Mindestzündenergie des brennbaren Stoffes ist.

Die Erdung und der Potenzialausgleich müssen zuverlässig und dauerhaft sein und den zu erwartenden Beanspruchungen, insbesondere durch Korrosion, standhalten.

3.6.2 Ableitwiderstand von Fußböden

In explosionsgefährdeten Bereichen der Zonen 0, 1, 20 sowie in Zone 21 bei Stoffen mit MZE $< 3 \text{mJ}$ darf der Ableitwiderstand des Fußbodens einschließlich des Fußbodenbelages den Wert von $10^8 \Omega$ nicht überschreiten. Verschmutzungen, z. B. durch Farb- oder Ölreste, oder ungewollte Isolierung, z. B. durch abgelegte Folien oder Leergut, sind zu vermeiden.

Da zur Bestimmung des Ableitwiderstandes von Fußböden unterschiedliche Prüfnormen mit entsprechenden Prüfverfahren angewendet werden können, sollte bereits vor der Lieferung und Verlegung von Fußbodenbelägen in der Ausschreibung auf das in der Abnahme anzuwendende Prüfverfahren und die einzuhaltenden Höchstwerte hingewiesen werden.

Tabelle 15 in Anhang 8 gibt typische Erfahrungswerte für verschiedene Fußböden wieder.

Bei geklebten Fußbodenbelägen ist auf die ausreichende Leitfähigkeit der verwendeten Klebstoffe zu achten. Bei nicht ausreichend leitfähiger Unterlage ist durch besondere Maßnahmen, z. B. durch Feuchthalten, dafür zu sorgen, dass der Ableitwiderstand unter $10^8 \Omega$ bleibt.

Durch Fußbodenpflegemittel darf der Widerstand nicht erhöht werden.

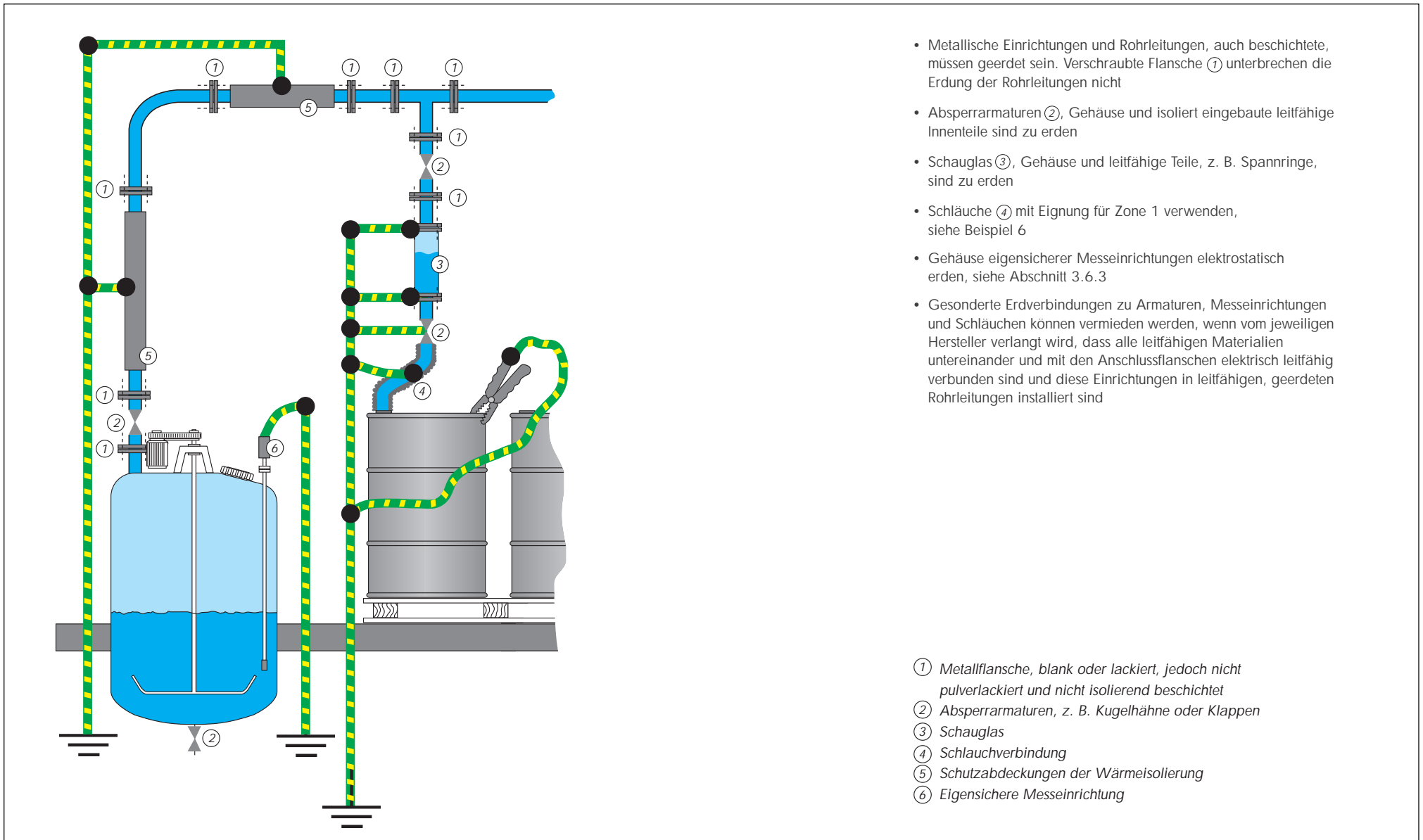
In Bereichen, in denen mit Explosivstoffen umgegangen wird, darf der Ableitwiderstand des Fußbodens $10^6 \Omega$ nicht überschreiten.

Zur Bestimmung des elektrischen Widerstandes von Fußböden siehe DIN EN 1081 oder auch DIN IEC 61340-4-1; hinsichtlich der Anzahl der Messpunkte siehe auch DIN 28052-6.

3.6.3 Erdung und Potenzialausgleich in besonderen Fällen

Meist wird mit der Energieversorgung eine Erdleitung verlegt. Darüber hinaus sind industrielle Anlagen normalerweise fest zusammengesetzt, z. B. durch Schraub- oder Schweißverbindungen, und der Ableitwiderstand beträgt bereits ohne zusätzliche Maßnahmen meist weniger als $10^6 \Omega$.

Nur wenn diese Maßnahmen nicht ausreichen, sind zusätzliche Erdungsleitungen notwendig.



Beispiel 12: Erdung und Potenzialausgleich in Zone 1

3.6.3.1 Erdung eigensicherer Betriebsmittel

Eigensichere Betriebsmittel oder eigensichere Anlagen werden häufig betriebsbedingt erdfrei betrieben. In explosionsgefährdeten Bereichen sind dennoch leitfähige oder ableitfähige Gehäuse elektrostatisch zu erden. Können in explosionsgefährdeten Bereichen Teile der eigensicheren Schaltung, z. B. Sensorelektroden, berührt oder untereinander verbunden werden, z. B. über Steckverbindungen, ist die Schaltung elektrostatisch geerdet auszuführen. In diesem Fall genügt ein Ableitwiderstand $\leq 10^8 \Omega$.

Zum Bestehen der Isolationsprüfung mit 500 V muss ein eigensicheres Betriebsmittel oder eine eigensichere Anlage einen Widerstand $\geq 15 \text{ k}\Omega$ gegen Erde aufweisen.

3.6.3.2 Leitfähige ortsfeste Einrichtungen

Anlagenteile, die nicht mit der Gesamtanlage elektrisch leitfähig verbunden sind, z. B. flexible oder schwingungsfähige Bauteile, sind getrennt zu erden.

Hierzu zählen z. B. Rohrleitungen mit isolierenden Zwischenstücken. Der Potenzialausgleich ist nur bei fehlendem metallischem Kontakt der einzelnen Rohrteile untereinander notwendig.

3.6.3.3 Leitfähige ortsbewegliche Einrichtungen

Ortsbewegliche metallische Gegenstände und Einrichtungen, z. B. Fässer, Container, Trichter, Kannen, Karren, werden im Allgemeinen nicht über die Gesamtanlage geerdet. Ihre Erdung erfolgt über eigene Erdungsanschlüsse. Insbesondere beim Füllen und Entleeren ist ein Ableitwiderstand $< 10^6 \Omega$ zu gewährleisten. Gegebenenfalls erfolgt die Erdung kleiner Gegenstände über Personen und den Fußboden.

3.6.3.4 Leitfähige Einrichtungen mit isolierenden Komponenten

Die Erdung einer Anlage kann durch isolierende Komponenten, z. B. Dichtungen, oder durch isolierende Betriebsstoffe, z. B. Schmierfette, beeinträchtigt werden. Erfahrungsgemäß zeigen Öle und Fette in normaler Schmierfilmdicke, z. B. an rotierenden Wellen, Übergangswiderstände von nicht mehr als $10^3 \Omega$.

Beim Einsatz isolierender Stoffe, z. B. Zwischenstücke aus Kunststoff mit hohem Widerstand, sind die verbleibenden leitfähigen Komponenten untereinander zu verbinden und zu erden.

Alternativ kann jedes Anlagenteil für sich geerdet werden.

In diesem Zusammenhang ist insbesondere auf von außen nicht sichtbare Teile zu achten, z. B. auf:

- *Kugelventile mit isolierenden Dichtungen,*
- *Metalleinlagen in Dichtungen,*
- *Wellen und Durchführungen mit isolierenden Manschetten,*
- *hohe oder dicke Abstandsringe,*
- *Steckverbindungen aus Kunststoffen,*
- *metallische Düsen am Ende eines Rohres aus Kunststoff.*

Bei zusammengesetzten Anlagenteilen ist gegebenenfalls eine Herstellerankunft einzuholen.

3.6.3.5 Gegenstände geringer elektrischer Kapazität

Leitfähige Gegenstände mit einer Kapazität $> 10 \text{ pF}$ sind zu erden. Darüber hinaus sind kleine leitfähige Gegenstände zu erden:

- *Unabhängig von ihrer Kapazität in der Nähe stark ladungserzeugender Prozesse,*
- *wenn ihre Kapazität $> 3 \text{ pF}$ beträgt und sie sich in den Zonen 0 oder 1 besonders zündempfindlicher Stoffe, z. B. Stoffe der Explosionsgruppe IIC, befinden,*
- *wenn sie mit dem Produktstrom in einer Apparatur Berührung haben.*

Zu den typischen kleinen Gegenständen zählen z. B. Schrauben und Muttern bis M8 oder Flansche in Glasapparaturen. Blechschrauben besitzen eine Kapazität $< 3 \text{ pF}$.

Die Höhe der Kapazität leitfähiger Teile wird von ihrer unmittelbaren Umgebung beeinflusst.

Zur Beurteilung der Kapazität kleiner Gegenstände ist ihre Kapazität im Einbauzustand, gegebenenfalls unter simulierten Bedingungen, zu bestimmen.

Zu Glasapparaturen siehe auch Abschnitt 3.2.13.

3.6.3.6 Medizinisch genutzte Räume

Liegen in medizinisch genutzten Räumen explosionsgefährdete Bereiche vor, sind Maßnahmen gegen elektrostatische Aufladungen erforderlich. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die Zündempfindlichkeit von Stoffen durch Sauerstoffanreicherung der Umgebungsluft stark erhöht wird.

Explosionsgefährdete Bereiche können z. B. durch brennbare Reinigungs- oder Desinfektionsmittel gebildet werden.

Zur Vermeidung von Aufladungen soll der Oberflächenwiderstand von Arbeitskleidung, Decken und Tüchern unter den betriebsgemäß anzunehmenden Bedingungen ableitfähig sein.

Kleidung, Tücher und Decken aus Mischgeweben mit mindestens 30 % Anteil an naturbelassener Baumwolle bzw. Viskose (ohne Kunstharzausrüstung) sind im Allgemeinen ableitfähig.

Woldecken, Plastiktücher und solche Gewebe und Gewirke, die nicht den vorgenannten Bedingungen entsprechen, sind auszuschließen, da sie bei Reibungs- und Trennungsvorgängen zu hohen Aufladungen führen können.

Auch für typische Gegenstände und Einrichtungen in medizinischen Räumen, z. B. Gummitücher, -matratzen, -kopfkissen oder gepolsterte Sitze, gelten die Anforderungen des Abschnittes 3.1. Ableitfähige Überzüge isolierender Gegenstände haben diese vollständig zu umschließen.

Abweichend von Abschnitt 3.1 dürfen als Abdeckung des Operationstisches und fahrbarer Krankentragen sowie der Sitzflächen von Hockern nur Gummi oder Kunststoffe mit Oberflächenwiderständen zwischen $5 \times 10^4 \Omega$ und $10^6 \Omega$ verwendet werden.

Der Ableitwiderstand des Fußbodens darf höchstens $10^8 \Omega$ betragen.

Bei Bodenbelägen, bei denen eine Erhöhung des Ableitwiderstandes während des Gebrauches nicht ausgeschlossen ist, darf der Ableitwiderstand im Neuzustand höchstens $10^7 \Omega$ und nach vier Jahren höchstens $10^8 \Omega$ betragen.

Unberührt bleibt die Notwendigkeit eines Ableitwiderstandes von mindestens $5 \times 10^4 \Omega$ nach Abschnitt 5.5 DIN VDE 0100 Teil 610.

Der Ableitwiderstand von $5 \times 10^4 \Omega$ soll nicht unterschritten werden, um Schleifenbildung unkontrollierter Ströme bei HF-Chirurgie zu vermeiden. Seine Messung erfolgt mit einer quadratischen Elektrode von 250 mm Kantenlänge, einer Kraft von 750 N auf einem feuchten Tuch und bei Netzspannung.

Da insbesondere bei Operationen für die beteiligten Personen keine Sturzgefahren geschaffen werden dürfen, sind Kabelverbindungen für die Erdung von Mensch und Gerät, z. B. bei Horton-Intercoupler, ungeeignet. Die Erdung muss vielmehr über den Fußbodenbelag gewährleistet sein.

Alle leitfähigen berührbaren Teile von Gegenständen oder Einrichtungen, auch die der ortsbeweglichen, müssen untereinander und mit dem Fußboden leitfähig verbunden und geerdet sein.

Die Erdverbindung darf an keiner Stelle unterbrochen sein, z. B. durch isolierende Lackierung. Der Durchgangswiderstand von Reifen oder Rollen soll $10^4 \Omega$ nicht überschreiten.

Narkosegeräte, Hocker, Tritte, fahrbare Krankentragen und Ähnliches müssen durch Rollen bzw. Fußkappen aus leitfähigem Werkstoff mit dem Fußboden verbunden sein.

In medizinisch genutzten Räumen ist ableitfähiges Schuhwerk – einschließlich der Überschuhe – zu tragen. Jedoch soll ein Ableitwiderstand von mindestens $5 \times 10^4 \Omega$ eingehalten werden.

Schläuche für die Fortleitung von medizinischen Gasen, auch von Sauerstoff, Lachgas, Anästhesiegasen, dürfen abweichend von Abschnitt 3.3.6 aus isolierenden Materialien bestehen. Sind sie dennoch leitfähig, dürfen sie nur auf metallische Schlauchtüllen ohne isolierende Lackierung aufgezogen sein. Im Verlaufe der Gasführungen, auch innerhalb von Geräten, dürfen keine isolierten leitfähigen Teile vorhanden sein.

Für Atembeutel und Bälge von Anästhesiegeräten und Sauerstoffbeatmungsgeräten sind ausschließlich leitfähige Werkstoffe zu verwenden.

Zu Erdung und Potenzialausgleich bei der Planung und Ausführung von medizinisch genutzten Räumen siehe auch VDE 0107.

3.6.4 Kennzeichnung

Einrichtungen, die zur Erdung und zum Potenzialausgleich eingesetzt werden, dürfen nicht unterbrochen oder abgeschaltet werden. Sie sind eindeutig zu kennzeichnen, z. B. durch grün/gelbgestreifte Farbgebung.

3.6.5 Planung und Ausführung

Bereits in der Planungsphase einer Anlage oder einer Einrichtung sind Maßnahmen für die Erdung und für den Potenzialausgleich vorzusehen. Die Anzahl manuell zu handhabender Erdungsvorrichtungen, z. B. Erdungsklemmen, soll gering gehalten werden. Erdungsklemmen sind vor Arbeitsbeginn anzubringen und verbleiben am Ort, bis alle gefährlichen Aufladungen abgeleitet sind. Es

sind Aufnahmevorrichtungen oder Ablagen für Erdungsklemmen vorzusehen.

Einrichtungen zur Erdung und zum Potenzialausgleich sind so auszuführen und so zu erhalten, dass

- sie ihre Funktion erfüllen,
- Mängel schnell erkannt werden können,
- sie den elektrischen, mechanischen und korrosiven Beanspruchungen standhalten,
- sie im Falle von Klemmen, Lack-, Rostschichten oder auch Folien von Einstellsäcken durchdringen können,
- sie deutlich erkennbar gekennzeichnet sind und
- sie leicht gehandhabt werden können.

3.6.6 Betriebsanweisung und Unterweisung

Für Arbeiten zur Erdung und zum Potenzialausgleich in explosionsgefährdeten Bereichen muss eine eigene Betriebsanweisung vorliegen.

Nach § 7 der Unfallverhütungsvorschrift „Allgemeine Vorschriften“ (BGV A1, bisherige VBG 1) müssen Personen, die in explosionsgefährdeten Bereichen arbeiten, über die Notwendigkeit von Maßnahmen zur Erdung und zum Potenzialausgleich unterwiesen werden.

Ziel der Unterweisung ist, dass die Versicherten die zur Erdung und zum Potenzialausgleich vorgesehenen betrieblichen Einrichtungen kennen und bestimmungsgemäß anwenden können.

Auf typische Erdungsfehler, z. B. nachträgliches Erden bereits aufgeladener Gegenstände oder Einrichtungen, ist besonders hinzuweisen.

3.6.7 Prüfung

Die Prüfungen der Einrichtungen zur Erdung und zum Potenzialausgleich sind unabhängig von anderen elektrischen Prüfungen durchzuführen.

Im Prüfungsumfang sind auch die Anlagenteile zu berücksichtigen, die neben ihrer eigentlichen Funktion auch andere Anlagenteile erden und in den Potenzialausgleich einbezogen, z. B. Schlauch und Zapfventil.

Die Prüfungen erfolgen nach § 39 der Unfallverhütungsvorschrift „Allgemeine Vorschriften“ (BGV A1, bisherige VBG 1) vor der ersten Inbetriebnahme der Anlage, in angemessenen Zeiträumen sowie nach Änderungen oder Instandsetzungen auf ihre sichere Funktion, mindestens auf äußerlich erkennbare Schäden oder Mängel.

Die Prüfung ist nach § 10 Betriebssicherheitsverordnung durch eine befähigte Person durchzuführen.

Die Prüfung umfasst die Sichtprüfung und vor der ersten Inbetriebnahme sowie nach größeren Änderungen die Messung der elektrischen Widerstände zwischen den Anlagenteilen und Erde. Die Prüfungsintervalle richten sich nach den konkreten Betriebsverhältnissen. Typische Zeiten bei Neuanlagen liegen bei 1 Monat; sie sollen im Laufe der Zeit auf nicht länger als 1/2 Jahr ausgedehnt werden und sind schriftlich festzulegen.

Die für die Prüfung verantwortliche Person oder Stelle ist zu benennen.

Eine befähigte Person im Sinne der Betriebssicherheitsverordnung ist eine Person, die durch ihre Berufsausbildung, ihre Berufserfahrung und ihre zeitnahe berufliche Tätigkeit über die erforderlichen Fachkenntnisse zur Prüfung der Arbeitsmittel verfügt.

Anhang 1

Auf- und Entladungsvorgänge in der Elektrostatik

1 Elektrostatische Aufladungen

Häufigste Ursache elektrostatischer Aufladung ist die Kontaktaufladung. Kommen zwei zuvor ungeladene Gegenstände oder Stoffe in Berührung, erfolgt an ihrer gemeinsamen Grenzfläche ein Ladungsübergang. Bei der nachfolgenden Trennung der Oberflächen trägt jede Oberfläche einen Teil dieser Ladung, jedoch mit entgegengesetzter Polarität.

Kontaktaufladung kann an allen Grenzflächen zwischen festen oder flüssigen Phasen erfolgen. Gase können nicht aufgeladen werden, wohl aber in einem Gasstrom enthaltene Feststoffpartikel oder Flüssigkeitstropfen.

Leitfähige Gegenstände können auch durch Influenz aufgeladen werden, wenn sie sich in einem elektrischen Feld befinden. Eine weitere Möglichkeit der Aufladung besteht durch Ansammeln aufgeladener Partikel oder ionisierter Moleküle.

1.1 Aufladungen von Flüssigkeiten

Die Aufladung von Flüssigkeiten erfolgt im Wesentlichen über die Kontaktaufladung. Typische Beispiele sind der Strom einer Flüssigkeit entlang einer festen Wand, z. B. eines Rohres, einer Pumpe oder eines Filters oder das Rühren, Schütteln, Sprühen oder Zerstäuben von Flüssigkeit. Enthält die Flüssigkeit mindestens eine weitere Phase, z. B. in Form suspendierter feiner Feststoffe oder dispergierter anderer Flüssigkeiten, wird die Aufladung erheblich verstärkt, da die Ausdehnung der Phasengrenzflächen deutlich zunimmt.

Normalerweise entstehen gefährliche elektrostatische Aufladungen nur bei Flüssigkeiten geringer elektrischer Leitfähigkeit. Werden sie versprüht oder vernebelt siehe Abschnitt 1.3.

1.2 Flüssigkeiten in Rohren und Filtern

Turbulente Strömungen erzeugen mehr Ladungen als laminare Strömungen. Bei laminarer Strömung einphasiger Flüssigkeiten verhält sich der erzeugte elektrische Strom nahezu proportional zur Strömungsgeschwindigkeit, bei Turbulenz hingegen quadratisch. Turbulente Strömungsvorgänge sind bei industriellen Prozessen üblich.

Tritt ungeladene Flüssigkeit in ein Rohr ein, nimmt die Ladungsdichte in der Flüssigkeit mit der Länge des Rohres zu und erreicht – sofern das Rohr ausreichend lang ist – einen konstanten Wert. Erfahrungsgemäß erfolgt die Aufladung von Flüssigkeiten geringer Leitfähigkeit weitgehend unabhängig von deren Höhe, z. B. bei gesättigten Kohlenwasserstoffen:

$$\rho_{\infty} = 5 \cdot v$$

mit ρ_{∞} Ladungsdichte der Flüssigkeit im unendlich langen Rohr [$\mu\text{C}/\text{m}^3$]

v Geschwindigkeit der Flüssigkeit im Rohr [m/s]

Ein Rohr kann als unendlich lang betrachtet werden, wenn

$$L \geq 3 \cdot v \cdot \tau \quad \text{mit } \tau = \epsilon \cdot \epsilon_0 / \chi$$

mit L Länge des Rohres [m]

τ Relaxationszeit der Flüssigkeit [s]

$\epsilon \cdot \epsilon_0$ Permittivität (o. Dielektrizität) der Flüssigkeit [F/m], z. B. $2 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}$ F/m für viele Kohlenwasserstoffe,

χ Elektrische Leitfähigkeit der Flüssigkeit [S/m].

Die Formeln können verwendet werden, um die Ladungsdichte einer Flüssigkeit abzuschätzen, die z. B. beim Befüllen eines Tanks aus dem Rohr austritt.

1.3 Versprühen und Strahlen mit Flüssigkeiten

Die Zerteilung eines Flüssigkeitsstrahles in kleine Tropfen kann unabhängig von der Leitfähigkeit der Flüssigkeit stark aufgeladene Flüssigkeitsstrahlen oder Nebel erzeugen. Im Allgemeinen gilt: je leitfähiger die Flüssigkeit, umso stärker die Ladungserzeugung. So erzeugt ein Wasserstrahl mehr Ladungen als ein Ölstrahl. Noch stärkere Aufladungen bewirken mehrphasige Mischungen, z. B. aus Öl und Wasser.

1.4 Aufladungen von Schüttgütern

Kontaktaufladung tritt bei Schüttgütern sehr häufig auf. Die Aufladungseigenschaften werden sowohl durch Oberflächeneigenschaften der Partikel als auch durch die chemische Zusammensetzung des Schüttguts selbst bestimmt.

Die Höhe der Aufladung ist normalerweise nur schwer vorherzusehen. Mit Aufladungen ist immer dann zu rechnen, wenn Schüttgut von mittlerem bis hohem spezifischen Widerstand mit einer andersartigen Oberfläche in Berührung kommt. Dies ist z. B. beim Mischen, Mahlen, Sieben, Schütten, Mikronisieren und pneumatischen Transport der Fall. Beispiele für die Ladungsmenge, die ein Schüttgut aufnehmen kann, finden sich in nachfolgender Tabelle 10.

Vorgang	Spezifische Aufladung [$\mu\text{C}/\text{kg}$]
Sieben	10^{-5} bis 10^{-3}
Schütten	10^{-3} bis 10^{-1}
Transport auf Schneckenförderer	10^{-2} bis 10
Mahlen	10^{-1} bis 10
Mikronisieren	10^{-1} bis 10^2
Pneumatischer Transport	10^{-1} bis 10^3

Tabelle 10: Aufladung von Schüttgütern mit mittlerem oder hohem spezifischen Widerstand

2 Ladungsansammlung

Ladungen, die nicht rekombinieren, zur Erde abfließen oder auf andere Art und Weise abgeleitet werden, verbleiben auf der Oberfläche des aufgeladenen Materials. Ladungen auf isolierenden Materialien bleiben auf Grund des Widerstandes erhalten. Ladungen auf leitfähigen oder ableitfähigen Materialien und Gegenständen bleiben nur erhalten, wenn kein Kontakt zur Erde besteht. Unter normalen Bedingungen sind reine Gase Isolatoren. Sie isolieren Staubpartikel und Tröpfchen, so dass Wolken und Nebel ihre Ladung über längere Zeit behalten.

Häufig wird bei technischen Vorgängen ein Gleichgewicht zwischen der Relaxation von Ladungen und ihrer kontinuierlichen Erzeugung erreicht. Beispielsweise wird das elektrische Potenzial eines isolierten Metallbehälters, in den eine aufgeladene Flüssigkeit oder ein aufgeladenes Schüttgut hineingegeben wird, bestimmt durch die Geschwindigkeiten der Ladungszu- und -ableitung. Das Potenzial wird berechnet durch:

$$U = I \cdot R \cdot \{1 - e^{-t/\tau}\}$$

mit U elektrisches Potenzial des Behälters [V]
 I „elektrostatistischer“ Ladestrom [A]
 R Widerstand zur Erde [Ω]
 t Zeit [s]
 τ Relaxationszeit [s]
 C Kapazität [F]

Zur Beurteilung einer gefährlichen elektrostatischen Aufladung wird das maximale Potenzial herangezogen, welches nach obiger Formel bei großen Zeiten erreicht wird:

$$U_{\max} = I \cdot R$$

Ableitwiderstand und Kapazität lassen sich oft messen. Das Produkt $\tau = R \cdot C$ kann zur Beurteilung der Aufladungshöhe benutzt werden.

2.1 Ladungsansammlung in Flüssigkeiten

Die Relaxation von Ladungen in einem leitfähigen oder ableitfähigen Behälter mit Flüssigkeit hängt wesentlich von der elektrischen Leitfähigkeit der Flüssigkeit ab. Wird keine Ladung erzeugt, gilt für die Relaxationszeit:

$$\tau = \epsilon \cdot \epsilon_0 / \chi$$

mit τ Relaxationszeit der Flüssigkeit [s],
 $\epsilon \cdot \epsilon_0$ Permittivität der Flüssigkeit [F/m] (auch Dielektrizität genannt),
 χ elektrische Leitfähigkeit der Flüssigkeit [S/m].

Zum Beispiel beträgt die Relaxationszeit $\tau = 18$ s für einen Kohlenwasserstoff mit einer Leitfähigkeit von $\chi = 1$ pS/m. Die Erfahrung zeigt, dass selbst bei geringen Leitfähigkeiten und sehr hohen Ladungsdichten Verweilzeiten von 100 s ausreichen, um gefährliche Aufladungen abzuleiten.

2.2 Ladungsansammlung in Schüttgütern

Erfahrungsgemäß liegt das elektrische Potenzial an der Grenze einer Staubwolke in Luft bei höchstens $3 \cdot 10^6$ V. Ursächlich ist die Aufladung des Schüttgutes.

Die Ladung sammelt sich auf einem Schüttgut an, wenn die Geschwindigkeit der Ladungserzeugung die der Ladungsableitung übersteigt. Die Relaxationszeit wird bestimmt durch:

$$\tau = \epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot \rho$$

mit τ Relaxationszeit des Schüttgutes [s],
 $\epsilon \cdot \epsilon_0$ Permittivität des Schüttgutes [F/m],
 ρ spezifischer Widerstand des Schüttgutes [Ωm].

Für ein Schüttgut mit $\rho = 10^{10}$ Ωm und der Permittivität von $2 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}$ F/m beträgt die Relaxationszeit τ in der 2/3 der angesammelten Ladung zur Erde abgeleitet werden 0,2 s. Verursacht ein Schüttgut eine Staubwolke, so ist von erheblich längeren Relaxationszeiten auszugehen, die sich nicht berechnen lassen.

3 **Entladungsarten in der Elektrostatik**

Die verschiedenen elektrostatischen Entladungstypen unterscheiden sich erheblich in ihrer Fähigkeit, explosionsfähige Atmosphäre zu entzünden.

3.1 **Funkenentladung**

Ein Funke ist eine Entladung zwischen zwei Leitern mit einem gut definierten leuchtenden Entladungskanal, durch den ein Strom hoher Dichte fließt. Im gesamten Kanal ist das Gas ionisiert. Die Entladung erfolgt sehr schnell und führt zu einem lauten Knall. Sie erfolgt, wenn die Feldstärke zwischen den Leitern die elektrische Durchbruchfeldstärke der Atmosphäre übersteigt. Die erforderliche Potenzialdifferenz hängt von der Form und dem Abstand zwischen den Leitern ab. Als Richtwert für die Durchbruchfeldstärke werden $3 \cdot 10^6$ V/m angenommen. Dieser Wert gilt erfahrungsgemäß für ebene Oberflächen oder Oberflächen mit großem Radius in Luft und 10 mm Mindestabstand. Die Durchbruchfeldstärke steigt mit abnehmendem Abstand. Die Energie des Funkens zwischen einem leitfähigen und einem leitfähigen, geerdeten Gegenstand wird berechnet:

$$E = 1/2 Q \cdot U = 1/2 C \cdot U^2$$

- mit: E maximale umgesetzte Energie [J],
- Q Menge der Ladung auf dem Leiter [C],
- U Potenzialdifferenz (Spannung) [V],
- C Kapazität [F].

Typische Werte der Kapazität von Leitern zeigt Tabelle 11.

Aufgeladener Körper	Kapazität [pF]	Potenzial [kV]	Energie [mJ]
Flansch	10	10	0,5
Kl. Metallgegenstände, z. B. Schaufel, Schlauchdüse	10 - 20	10	0,5 - 1
Eimer	10	10	0,5
Kleinbehälter bis 50 l	50 - 100	8	2 - 3
Metallbehälter von 200 l bis 500 l	50 - 300	20	10 - 60
Person	100 - 200	12	7 - 15
Große Anlagenteile, von einer geerdeten Struktur unmittelbar umgeben	100 - 1000	15	11 - 120

Tabelle 11: Kapazitäten ausgewählter Körper mit beispielhafter Aufladung

Berechnungsbeispiel:

Ein nicht geerdetes Metallfass wird mit Schüttgut gefüllt. Der Lade-strom I kann 10^7 A und der Ableitwiderstand R des Fasses zur Erde $10^{11} \Omega$ sowie seine Kapazität 50 pF betragen.

Danach ist mit einem maximalen Potenzial des Fasses von

$$U_{max} = I \cdot R = 10 \text{ kV,}$$

einer auf dem Fass gespeicherten maximalen Ladung Q_{max} von

$$Q_{max} = C \cdot U_{max} = 500 \text{ nC}$$

und einer maximalen Energie E_{max} des Entladungsfunkens von

$$E_{max} = 1/2 C \cdot U_{max}^2 = 2,5 \text{ mJ}$$

zu rechnen.

E_{max} ist mit der Mindestzündenergie des Schüttgutes zu vergleichen. Da Zündenergien stark spannungsabhängig sind, kann zur Beurteilung der Zündwirksamkeit von Funken alternativ auch die vom Funken übertragene Ladung herangezogen werden. 60 nC gelten als maximal zulässig für Stoffe der Explosionsgruppen IIA, 30 nC für Stoffe der Explosionsgruppe IIB und 10 nC für Stoffe der Explosionsgruppe IIC.

3.2 **Koronaentladung**

Koronaentladungen entstehen an scharfen Spitzen oder Ecken von Leitern, allgemeiner formuliert, an Oberflächen mit einem kleinen Krümmungsradius. An scharfen Ecken oder Spitzen werden Feldstärken von über 3 MV/m erreicht. Da das elektrische Feld mit zunehmendem Abstand schnell abnimmt, ist der Bereich für die Koronaentladung nicht weit ausgedehnt. Die Koronaentladung kann sowohl vom spitzen Gegenstand weg, als auch auf ihn zu gerichtet sein. Koronaentladungen sind schwer und oftmals nur bei Dunkelheit erkennbar. Ihre Energiedichte ist wesentlich geringer als die der Funken und in der Regel sind sie nicht zündwirksam.

Beim Umgang mit großen Mengen Schüttgut von mittlerem oder hohem spezifischem Widerstand lassen sich Koronaentladungen nicht vermeiden.

3.3 **Büschelentladung**

Diese Entladungen können auftreten, wenn geerdete Leiter auf geladene isolierende Gegenstände zu bewegt werden, z. B. zwischen dem Finger einer Person und einer Kunststoffoberfläche oder zwischen einem Metallgegenstand und der Oberfläche der Flüssigkeit.

sigkeit in einem Tank. Sie lassen sich beim Umgang mit großen Schüttgutmengen von mittlerem oder hohem spezifischem Widerstand nicht vermeiden.

Büschelentladungen sind gegenüber Koronaentladungen von kurzer Dauer und können sichtbar und hörbar sein. Obwohl Büschelentladungen normalerweise nur einen Bruchteil der Energie einer Funkenentladung besitzen, können sie die meisten brennbaren Gase und Dämpfe entzünden. Durch Büschelentladungen werden nach derzeitigem Kenntnisstand brennbare Schüttgüter mit MZE-Werten von mehr als 4 mJ und selbst zündempfindliche Stäube nicht entzündet, solange keine brennbaren Gase oder Dämpfe vorliegen.

Die Zündwirksamkeit von Büschelentladungen kann durch Messung der so genannten „übertragenen Ladung“ Q beurteilt werden. Die Beurteilung von Prüfmustern durch Messung der übertragenen Ladung ist detailliert in DIN EN 13463-1 beschrieben.

3.4 Gleitstielbüschelentladung

Gleitstielbüschelentladungen sind in aller Regel für Gase und brennbare Stäube zündwirksam und besitzen eine Energie von 1 J oder mehr. Erfahrungsgemäß treten die für Gleitstielbüschelentladungen notwendigen hohen Energiedichten unter besonderen Voraussetzungen auf:

- dünne isolierende Gegenstände oder Materialschichten,
Gleitstielbüschelentladungen werden oft an isolierenden Platten, Folien oder an Beschichtungen beobachtet, weil diese Gegenstände beidseitig Ladungen speichern können.
- hohe Durchschlagspannung eines Materials,
Die Durchschlagspannung bestimmt die Ladungsdichte auf den Oberflächen wesentlich mit.
- vorhandene starke ladungserzeugende Prozesse,
Stark ladungserzeugende Prozesse sind z. B. pneumatischer Transport, Riemenantriebe.
- geringes Absprühen von Ladungen.
Spitze Formen, Ecken und Kanten können Ladungen absprühen.

Die Gleitstielbüschelentladung hat häufig eine hell leuchtende, baumähnliche Struktur und wird von einem lauten Knall begleitet. Sie kann sowohl bei sich frei im Raum befindlichen bipolar geladenen Schichten, z. B. Verpackungsfolien, als auch bei Beschichtungen eines leitfähigen Grundkörpers auftreten.

Nach erfolgter Aufladung kann eine Gleitstielbüschelentladung ausgelöst werden durch

- mechanisches Durchstechen der Oberfläche,
- einen elektrischen Durchschlag im Inneren des Materials,
- gleichzeitige Annäherung beider Oberflächen über zwei elektrisch verbundene Elektroden, z. B. bei Dickenmessungen,
- Berühren der freien Oberfläche mit einem geerdeten Leiter, wenn die andere geerdet ist, z. B. durch Berührung der Oberfläche durch eine Person.

Die hohe Energie der Gleitstielbüschelentladung entstammt den bipolar aufgeladenen Oberflächen, die bei einem Funkendurchbruch entladen werden.

Erfahrungsgemäß sind folgende Voraussetzungen für eine Gleitstielbüschelentladung erforderlich:

- Schichtdicke < 9 mm,
- Oberflächenladungsdichte $> 2,5 \times 10^{-4}$ C/m² und
- Durchschlagspannung > 4 kV.

Gleitstielbüschelentladungen können explosionsfähige Atmosphäre aus Gasen, Dämpfen oder Stäuben entzünden. Ihre Energie kann wie folgt rechnerisch abgeschätzt werden:

$$E_{\text{GBE}} = (A \cdot d \cdot \sigma^2) / (2 \cdot \epsilon \cdot \epsilon_0)$$

mit E_{GBE} maximale zu erwartende Energie der Gleitstielbüschelentladung [J]

A Fläche [m²]

D Schichtdicke [μ m]

σ Oberflächenladungsdichte [C/m²]

$\epsilon \cdot \epsilon_0$ Permittivität der Flüssigkeit [F/m].

An dünnen Farbschichten treten normalerweise keine Gleitstielbüschelentladungen auf.

3.5 Gewitterblitzähnliche Entladung

Prinzipiell können gewitterblitzähnliche Entladungen in großen Staubwolken auftreten; sie wurden in Aschewolken bei Vulkanausbrüchen beobachtet aber bei industriellen Prozessen noch nicht nachgewiesen. Bei experimentellen Untersuchungen konnten

solche Entladungen in Silos mit einem Volumen < 100 m³ oder in beliebig hohen Behältern mit Durchmesser < 3 m nicht festgestellt werden. Theoretische Überlegungen lassen vermuten, dass in größeren Silos oder Behältern gewitterblitzähnliche Entladungen bei Feldstärken > 500 kV/m auftreten können.

3.6 Schüttkegelentladung

Wird hoch aufgeladenes isolierendes Schüttgut in Silos oder große Behälter gefüllt, erzeugt es Bereiche innerhalb der Schüttung mit sehr hoher Ladungsdichte und führt zu starken elektrischen Feldern im oberen Teil des Haufwerks. Schüttkegelentladungen können daher auftreten. Sie wurden in seltenen Fällen in zylindrischen Behältern beobachtet und verliefen radial entlang der Oberfläche des Haufwerks.

Beeinflussende Faktoren für Schüttkegelentladungen sind

- spezifischer Widerstand des Schüttgutes,
- Förderstrom,
- Volumen und Geometrie des Behälters,
- Korngröße des Schüttgutes.

Für metallische Silos mit einem Durchmesser zwischen 0,5 und 3 m und Schüttgütern mit Korngrößen zwischen 0,1 und 3,0 mm kann die Energie einer Schüttkegelentladung berechnet werden durch:

$$E_{SKE} = 5,22 \cdot D^{3,36} \cdot d^{1,46}$$

mit E_{SKE} maximale zu erwartende Energie der Schüttkegelentladung [mJ],

D Silodurchmesser [m],

d Medianwert der Korngröße [mm].

Mit zunehmendem Medianwert des Schüttgutes, z. B. bei Granulat, steigt die Energie für Schüttkegelentladungen.

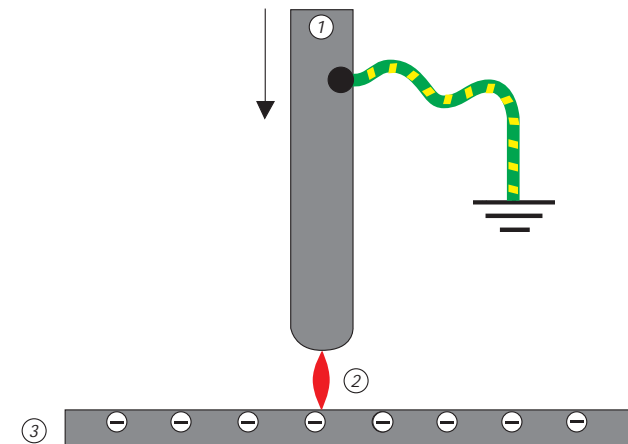
Besonders gefährlich sind Situationen, in denen die Zündenergie für Schüttkegelentladungen durch grobes Korn erzeugt wird und gleichzeitig Feinanteile des Schüttgutes, z. B. durch Abrieb, mit niedriger Mindestzündenergie vorliegen.

Schüttkegelentladungen können sowohl brennbare Gas- und Dampf/Luft-Gemische als auch zündempfindliche Staub/Luft-Gemische entzünden.

Funkenentladungen können bei üblicher Handhabung isolierender Stoffe in leitfähigen, ungeerdeten Anlagen entstehen

Sie werden durch Erden aller leitfähigen Anlagenteile vermieden

Funkenentladungen sind die häufigste Ursache für Entzündungen durch Entladungen statischer Elektrizität



① Leitfähiger geerdeter Gegenstand oder Person nähern sich an

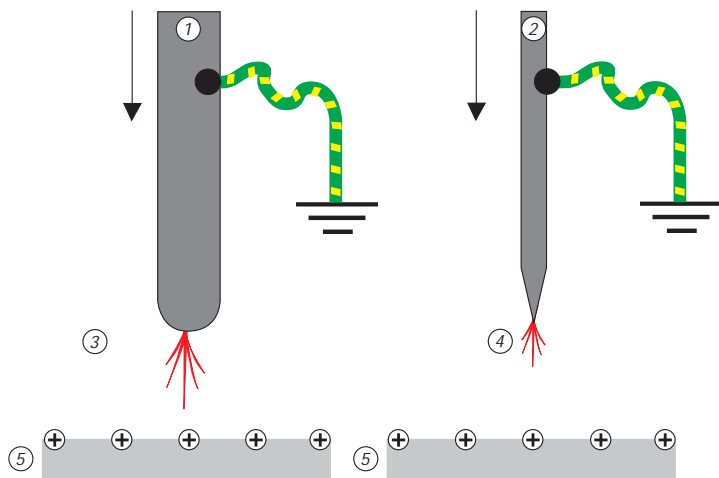
② Funkenentladung, zündfähig für Gas-, Dampf- und Staub/Luft-Gemische

③ Leitfähige ungeerdete Einrichtungen, aufgeladen

Beispiel 13: Funkenentladung, schematische Darstellung

Büschelentladungen können bei üblicher Handhabung isolierender Stoffe entstehen

Sie können z. B. durch Erhöhen der Leitfähigkeit der zu handhabenden Stoffe vermieden werden

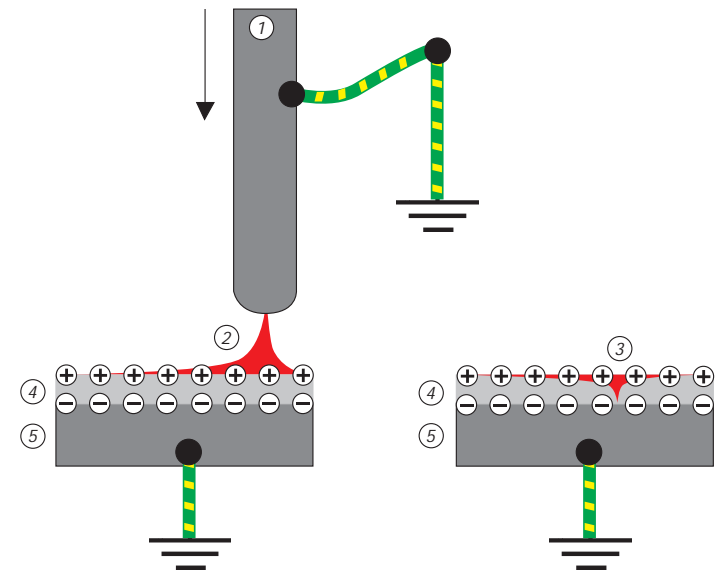


- ① Leitfähiger, geerdeter Gegenstand mit Krümmungsradius von ca. 5 mm wird angenähert
- ② Leitfähiger, geerdeter, nadelförmiger Gegenstand mit Krümmungsradius unter 1 mm wird angenähert
- ③ Büschelentladung, zündfähig für Gas- und Dampf/Luft-Gemische
- ④ Schwache Büschelentladung, Corona, sehr geringe Zündwahrscheinlichkeit
- ⑤ Isolierende Einrichtung, aufgeladen

Beispiel 14: Büschelentladungen, schematische Darstellung

Gleitstielbüschelentladungen können entstehen, wenn leitfähige und isolierende Materialien schichtweise verbunden sind und sehr hoch aufgeladen werden

Sie können vermieden werden, wenn die Durchschlagsspannung der isolierenden Schicht unter 4 kV liegt



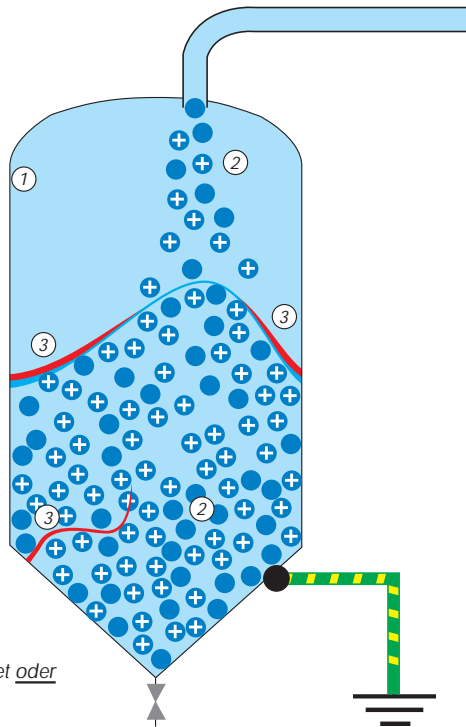
- ① Leitfähiger geerdeter Gegenstand wird angenähert
- ② Gleitstielbüschelentladungen durch Überschreiten der Durchbruchfeldstärke in Luft, zündfähig für Gas-, Dampf- und Staub/Luft-Gemische, sie können Personen gefährden
- ③ Gleitstielbüschelentladung durch Überschreiten der Durchbruchfeldstärke der Beschichtung, ebenfalls zündfähig
- ④ Isolierende Beschichtung mit sehr hoher Ladungsdichte
- ⑤ Leitfähige Einrichtung

Beispiel 15: Gleitstielbüschelentladungen, schematische Darstellung

Schüttkegelentladungen beim pneumatischen Transport von besonders hoch aufgeladenem Schüttgut

Schüttkegelentladungen sind nicht zu erwarten bei der Handhabung von Schüttgütern mit einem spezifischen Widerstand unter $10^{10} \Omega\text{m}$

Schüttkegelentladungen können elektrische Einrichtungen, z. B. Messgeräte zerstören und sind zündfähig für Staub/Luft-Gemische in Abhängigkeit von der Mindestentzündenergie des Schüttguts, der Größe des Silos und der Förderrate der Anlage. Maßnahmen im Einzelfall festlegen



① Leitfähiges Silo, geerdet oder isolierendes Silo

② Sehr hoch aufgeladenes Produkt

③ Schüttkegelentladungen an der Oberfläche oder im Innern des abgelagerten Schüttgutes, zündfähig für Gas-, Dampf- und Staub/Luft-Gemische

Beispiel 16: Schüttkegelentladungen, schematische Darstellung

Anhang 2

Einteilung explosionsgefährdeter Bereiche (Zoneneinteilung)

Explosionsgefährdete Bereiche werden nach Häufigkeit und Dauer des Auftretens gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre gemäß der Betriebssicherheitsverordnung und den „Explosionsschutz-Regeln“ (BGR 104) in Zonen unterteilt.

- Zone 0** ist ein Bereich, in dem gefährliche explosionsfähige Atmosphäre als Gemisch aus Luft und brennbaren Gasen, Dämpfen oder Nebeln ständig, über lange Zeiträume oder häufig vorhanden ist.
- Zone 1** ist ein Bereich, in dem sich bei Normalbetrieb gelegentlich eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre als Gemisch aus Luft und brennbaren Gasen, Dämpfen oder Nebeln bilden kann.
- Zone 2** ist ein Bereich, in dem bei Normalbetrieb eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre als Gemisch aus Luft und brennbaren Gasen, Dämpfen oder Nebeln normalerweise nicht oder aber nur kurzzeitig auftritt.
- Zone 20** ist ein Bereich, in dem gefährliche explosionsfähige Atmosphäre in Form einer Wolke aus in der Luft enthaltenem brennbarem Staub ständig, über lange Zeiträume oder häufig vorhanden ist.
- Zone 21** ist ein Bereich, in dem sich bei Normalbetrieb gelegentlich eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre in Form einer Wolke aus in der Luft enthaltenem brennbarem Staub bilden kann.
- Zone 22** ist ein Bereich, in dem bei Normalbetrieb eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre in Form einer Wolke aus in der Luft enthaltenem brennbarem Staub normalerweise nicht oder aber nur kurzzeitig auftritt.

Anhang 3**Bauarten von FIBC**

FIBC des Typs A erfüllen keine Anforderungen zur Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen.

FIBC des Typs B erfüllen folgende Anforderungen:

- Sie bestehen aus isolierendem Material
und
- die Durchschlagsspannung des Körpermaterials sowie des Ein- und Austragsschlauches sind kleiner 4 kV
oder
- es liegt ein gesicherter Nachweis vor, dass keine Gleitstielbüschelentladungen auftreten.

FIBC aus ableitfähigem oder leitfähigem Material müssten ansonsten geerdet werden.

Einstellsäcke können das Verhalten der FIBC Typ B verändern.

FIBC des Typs C erfüllen folgende Anforderungen:

Das Körpermaterial sowie der Ein- und Austragsschlauch besitzen eine leitfähige oder ableitfähige Struktur mit einem Ableitwiderstand von weniger als $10^8 \Omega$ von jeder Stelle des FIBC zum Erdungspunkt.

Die leitfähige oder ableitfähige Struktur kann nach einem der folgenden Prinzipien aufgebaut sein:

- Großflächig eingearbeitete parallele leitfähige oder ableitfähige Bändchen oder Fäden, die in einem Abstand von weniger als 20 mm voneinander entfernt und mindestens an einer Stelle, vorzugsweise an einem Ende, miteinander elektrisch verbunden sind. Der Ableitwiderstand jedes leitfähigen Bändchens oder Fadens zum Erdungspunkt beträgt weniger als $10^8 \Omega$.

Oder alternativ:

Gitterförmig angeordnete, leitfähige oder ableitfähige Bändchen oder Fäden, die ein elektrisch verbundenes Netz mit einer Maschenweite von maximal 50 mm bilden. Der Ableitwiderstand jedes leitfähigen Bändchens oder Fadens zum Erdungspunkt beträgt weniger als $10^8 \Omega$.

- Der Ableitwiderstand der Hebeschlaufen zum Erdungspunkt am FIBC beträgt weniger als $10^8 \Omega$.

- Sofern der FIBC eine isolierende Innenbeschichtung aufweist, beträgt die Durchschlagsspannung auf die leitfähige Struktur weniger als 4 kV.
- Am FIBC befindet sich ein gut sichtbarer Hinweis auf die Erdungspflicht.

FIBC des Typs D erfüllen die Anforderung Begrenzung der Aufladung auf ein ungefährliches Maß nach dem Prinzip der Koronaentladung. Erdungseinrichtungen besitzt der Typ D nicht. Für FIBC Typ D ist der Nachweis zu erbringen, dass beim vorgesehenen Einsatz keine gefährlichen Aufladungen auftreten.

Elektrischer Schlag

Die Entladung statischer Elektrizität durch den menschlichen Körper kann einen elektrischen Schlag verursachen. Solche elektrischen Schläge verursachen selten unmittelbare Verletzungen, können jedoch Schmerzen verursachen und Schreckreaktionen auslösen.

Entladungen statischer Elektrizität sind von kurzer Dauer ($\ll 1$ ms), haben hohe Spannungen (bis 100 000 V) und werden als impulsartig wahrgenommen. Personen können die folgenden Entladungsarten spüren:

- Büschelentladungen
können auftreten, wenn sich Personen in der Nähe einer hoch aufgeladenen isolierenden Oberfläche, z. B. Schüttgutbehälter, aufhalten oder diesen berühren. Sie verursachen oft ein hörbares Knistern.
- Funkenentladungen
treten z. B. auf, wenn Personen mit einem aufgeladenen leitfähigen Gegenstand in Berührung kommen oder umgekehrt.
- Gleitstielbüschelentladungen
können auftreten, wenn Personen mit beidseitig aufgeladenen Folien oder Platten bzw. mit aufgeladenen leitfähig beschichteten Folien oder Platten arbeiten oder hoch aufgeladenes Pulver oder Granulat in einem großen Kunststoffbehälter berühren.

Personen werden gefährdet, wenn die übertragene Ladung 50 μC oder die Energie 350 mJ überschreitet.

Die auf Trichtern, Kanistern oder Handwerkzeugen gespeicherten Energien liegen unter diesen Werten und sind für Personen ungefährlich.

Entladungen von großen Gegenständen oder Einrichtungen können jedoch die Energie von 1 J übersteigen und Personen schädigen.

Beim pneumatischen Transport sind neben der Erdung die folgenden Maßnahmen zu treffen:

- Eine Ansammlung von leitfähigem Material in einem isolierenden Rohr soll geerdet werden, bevor der Versuch gemacht wird, es zu entfernen.

Eine Metallstange, die mit einem geerdeten Draht verbunden ist, eignet sich zu diesem Zweck.

- Sammeln sich pneumatisch transportierte leitfähige Gegenstände in einem isolierenden Behälter an, soll der Behälterboden mit einem ge-

erdeten Kontakt ausgerüstet werden. Andernfalls dürfen Personen den Inhalt nicht berühren.

- Sammeln sich pneumatisch transportierte isolierende Pulver oder Körnchen in einem isolierenden Behälter > 1 m³ an, soll der Zugriff durch Personen vermieden sein.

Maßnahmen zur Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen nach diesen Regeln schließen gleichermaßen den Schutz von Personen mit ein, z.B. Schutz vor Entladung aufgeladener Schüttgüter oder aufgeladener Folien.

Anhang 5

Erdung und Potenzialausgleich

Im Allgemeinen bestehen bei vorhandener explosionsfähiger Atmosphäre und bei Potentialdifferenzen von $U < 300 \text{ V}$ bzw. von $U < 100 \text{ V}$ beim Umgang mit Explosivstoffen keine Zündgefahren. Messungen in Produktionsanlagen zeigten, dass Ladeströme I von 10^{-11} A bis höchstens 10^{-4} A auftreten. Wegen der Beziehung

$$U_{\max} = R_E \cdot I$$

kann man aus U_{\max} und I die höchstzulässigen Erdableitwiderstände berechnen.

$$R_E \leq \frac{100 \text{ V}}{10^{-4} \text{ A}} = 10^6 \Omega$$

Die zugehörigen Widerstände R_E betragen demnach mindestens $10^6 \Omega$ und können im Einzelfall bis $10^{13} \Omega$ reichen.

Geerdete Leiter besitzen Erdableitwiderstände $R_E < 10^6 \Omega$.

Anhang 6

Leitfähigkeiten und Relaxationszeiten ausgewählter Flüssigkeiten

Die nachfolgenden Tabellen 12 und 13 geben Leitfähigkeiten und Relaxationszeiten ausgewählter Flüssigkeiten verschiedener Autoren wieder. Tabelle 12 wurde dem CENELEC-Report R 044-001 entnommen.

Flüssigkeit	Leitfähigkeit [S/m]	Relaxationszeit [s]
Niedrige Leitfähigkeit		
Hochreine Paraffine	10^{-14}	2000
Schmieröle	$10^{-14} - 10^{-9}$	0,02 - 2000
Typische Paraffine	$10^{-13} - 10^{-11}$	2 - 200
Gereinigte aromatische Verbindungen (z. B. Toluol, Xylol)	$10^{-13} - 10^{-11}$	2 - 200
Petroleum	$10^{-13} - 5 \cdot 10^{-11}$	0,4 - 200
Benzin abhängig vom Schwefelgehalt*)	$10^{-13} - 10^{-10}$	0,2 - 200
Weißöle	$10^{-13} - 10^{-10}$	0,2 - 200
Ether	$10^{-13} - 10^{-10}$	0,2 - 200
Gasöl	$10^{-12} - 10^{-10}$	0,2 - 20
Aromatische Markenlösungsmittelgemische	$10^{-12} - 10^{-9}$	0,02 - 20
Typische aromatische Verbindungen	$5 \cdot 10^{-12} - 5 \cdot 10^{-11}$	0,4 - 4
Erdgaskondensat ohne Korrosionsinhibitor	$10^{-11} - 10^{-10}$	0,2 - 2
Mittlere Leitfähigkeit		
Treibstoffe*) und Öle mit leitfähigen Additiven	$5 \cdot 10^{-11} - 10^{-9}$	0,02 - 0,04
Schwere (schwarze) Heizöle	$5 \cdot 10^{-11} - 10^{-7}$	$2 \cdot 10^{-4} - 0,4$
Ester	$10^{-10} - 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-5} - 0,2$
Hohe Leitfähigkeit		
Rohöl	$\geq 10^{-9}$	$\leq 0,02$
Erdgaskondensat mit Korrosionsinhibitor	$\geq 10^{-9}$	$\leq 0,02$
Alkohole	$10^{-6} - 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-7} - 2 \cdot 10^{-5}$
Ketone	$10^{-7} - 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-7} - 2 \cdot 10^{-4}$
Wasser, nicht destilliert	$\geq 10^{-4}$	$\leq 2 \cdot 10^{-7}$
destilliertes Wasser	$5 \cdot 10^{-6}$	10^{-6}

*) Besonders hohe Aufladungen treten beim Einsatz schwefelarmer Kraftstoffe auf, z. B. bei Leitfähigkeiten $< 50 \text{ pS/m}$ und gleichzeitigem Schwefelgehalt $< 50 \text{ ppm}$.

Tabelle 12: Leitfähigkeit von Flüssigkeitsgruppen nach CENELEC-Report R 044-001

Die **Tabelle 13** enthält Leitfähigkeiten von Flüssigkeiten gemessen von verschiedenen Autoren, entnommen aus „Techniques of Chemistry Volume II, Organic Solvents, Physical Properties and Methods of Purification.“ John A. Riddick und William B. Bunger, John Wiley & Sons, 4. Auflage 1986.

Ihre Werte hängen von Verunreinigungen der Flüssigkeit ab und sind daher als orientierend zu betrachten. Wird eine Flüssigkeit in reiner Form verwendet, muss mit geringeren Leitfähigkeiten gerechnet werden.

Kohlenwasserstoffe, die ausschließlich aus C- und H-Atomen bestehen, sind in reiner Form stets als isolierend anzusehen.

Flüssigkeit	Formel	Leitfähigkeit [S/m] (gemessen bei °C)
Acetaldehyd	CH ₃ CHO	1,20 · 10 ⁴ (0 °C)
Acetamid	CH ₃ CONH ₂	8,8 · 10 ⁵ (83,2 °C)
Acetessigsäureethylester	CH ₃ COCH ₂ COOCH ₂ CH ₃	4 · 10 ⁶ (25 °C)
Aceton	CH ₃ COCH ₃	4,9 · 10 ⁷ (25 °C)
Acetonitril	CH ₃ CN	6 · 10 ⁸ (25 °C)
Acetophenon	C ₆ H ₅ COCH ₃	3,1 · 10 ⁷ (25 °C)
Acrolein	CH ₂ = CHCHO	1,55 · 10 ⁵ (- °C)
Allylamin	CH ₂ = CHCH ₂ NH ₂	5,7 · 10 ³ (25 °C)
Ameisensäure	HCOOH	6,08 · 10 ³ (- °C)
Ameisensäureethylester	HCOOC ₂ H ₅	1,45 · 10 ⁷ (20 °C)
Ameisensäuremethylester	HCOOCH ₃	1,92 · 10 ⁴ (17 °C)
Ameisensäurepropylester	HCOOCH ₂ CH ₂ CH ₃	5,5 · 10 ³ (17 °C)
2-Aminoethanol	HOCH ₂ CH ₂ NH ₂	11,0 · 10 ⁴ (25 °C)
Anilin	C ₆ H ₅ NH ₂	2,4 · 10 ⁶ (25 °C)
Anisol	C ₆ H ₅ OCH ₃	1 · 10 ¹¹ (25 °C)
Benzin		ca. 1 · 10 ¹³ (20 °C)
Benzoesäureethylester	C ₆ H ₅ COOCH ₂ CH ₃	1 · 10 ⁷ (25 °C)
Benzonitril	C ₆ H ₅ CN	0,5 · 10 ⁵ (25 °C)
Bernsteinsäuredinitril	NCCH ₂ CH ₂ CN	5,64 · 10 ² (- °C)
Brombenzol	C ₆ H ₅ Br	1,2 · 10 ⁹ (25 °C)
1-Bromnaphthalin	C ₁₀ H ₇ Br	3,66 · 10 ⁹ (25 °C)
Bromoform	CHBr ₃	< 2 · 10 ⁶ (25 °C)
Butanol-(1)	CH ₃ CH ₂ CH ₂ CH ₂ OH	9,12 · 10 ⁷ (- °C)
Butanol-(2)	CH ₃ CH ₂ CHOHCH ₃	< 1,0 · 10 ⁵ (- °C)
tert. Butanol	(CH ₃) ₃ COH	2,66 · 10 ⁶ (27 °C)
Buntanon-(2)	CH ₃ CH ₂ COCH ₃	3,6 · 10 ⁷ (- °C)

(Fortsetzung der Tabelle 13)

Flüssigkeit	Formel	Leitfähigkeit [S/m] (gemessen bei °C)
2-Butoxyethanol	CH ₃ CH ₂ CH ₂ CH ₂ OCH ₂ CH ₂ OH	4,32 · 10 ⁵ (20 °C)
Caprylsäure	CH ₃ (CH ₂) ₅ CH ₂ COOH	< 3,7 · 10 ¹¹ (- °C)
Chinolin	C ₉ H ₇ N	2,2 · 10 ⁶ (25 °C)
Chlorethan	CH ₃ CH ₂ Cl	< 3 · 10 ⁷ (0 °C)
Chlorbenzol	C ₆ H ₅ · Cl	7 · 10 ⁹ (25 °C)
1-Chlorbutan	CH ₃ CH ₂ CH ₂ CH ₂ Cl	1 · 10 ⁸ (30 °C)
2-Chlorbutan	CH ₃ CH ₂ CHClCH ₃	1 · 10 ⁸ (30 °C)
1-Chlor-2-methylpropan	(CH ₃) ₂ CHCH ₂ Cl	1 · 10 ⁸ (30 °C)
2-Chlor-2-methylpropan	(CH ₃) ₃ CCl	1 · 10 ⁸ (30 °C)
Chloroform	CHCl ₃	< 1 · 10 ⁸ (25 °C)
Cyanessigsäureethylester	NCCH ₂ COOCH ₂ CH ₃	6,9 · 10 ⁵ (25 °C)
Cyanessigsäuremethylester	NCCH ₂ COOCH ₃	4,49 · 10 ⁵ (25 °C)
Cyclohexanon	CH ₂ CH ₂ CH ₂ CH ₂ CH ₂ CO	5 · 10 ¹⁶ (25 °C)
Diethylenglykol	HOCH ₂ CH ₂ OCH ₂ CH ₂ OH	5,86 · 10 ⁵ (20 °C)
1,2-Dibromethan	CH ₂ BrCH ₂ Br	< 2 · 10 ⁸ (19 °C)
1,1-Dichlorethan	CH ₃ CHCl ₂	2,0 · 10 ⁷ (- °C)
1,2-Dichlorethan	CH ₂ ClCH ₂ Cl	4,0 · 10 ⁹ (25 °C)
Cis-1,2-Dichlorethylen	CHClCHCl	8,5 · 10 ⁷ (25 °C)
o-Dichlorbenzol	O-C ₆ H ₄ Cl ₂	3 · 10 ⁹ (25 °C)
Dichlormethan	CH ₂ Cl ₂	4,3 · 10 ⁹ (25 °C)
Dieselöl (technisch rein)		ca. 1 · 10 ¹³ (20 °C)
N,N-Dimethylformamid	HCON(CH ₃) ₂	6 · 10 ⁶ (25 °C)
Dimethylsulfoxid	(CH ₃) ₂ SO	2 · 10 ⁷ (25 °C)
p-Dioxan	C ₄ H ₈ O ₂	5 · 10 ¹³ (25 °C)
Epichlorhydrin	(Summenf. C ₃ H ₅ OCl)	3,4 · 10 ⁶ (25 °C)
Essigsäure	CH ₃ COOH	6 · 10 ⁷ (25 °C)
Essigsäureethylester	CH ₃ COOCH ₂ CH ₃	< 1 · 10 ⁷ (- °C)
Essigsäureamylester	CH ₃ COOCH ₂ (CH ₂) ₃ CH ₃	1,6 · 10 ⁷ (25 °C)
Essigsäureisobutylester	CH ₃ COOCH ₂ CH(CH ₃) ₂	2,55 · 10 ² (19 °C)
Essigsäuremethylester	CH ₃ COOCH ₃	3,4 · 10 ⁴ (20 °C)
Essigsäurepropylester	CH ₃ COOCH ₂ CH ₂ CH ₃	2,2 · 10 ⁵ (17 °C)
Ethanol	CH ₃ CH ₂ OH	1,35 · 10 ⁷ (25 °C)

(Fortsetzung der Tabelle 13)

Flüssigkeit	Formel	Leitfähigkeit [S/m] (gemessen bei °C)
2-Ethoxyethanol	CH ₃ CH ₂ OCH ₂ CH ₂ OH	9,3 · 10 ⁶ (- °C)
Ethylbromid	CH ₃ CH ₂ Br	< 2 · 10 ⁶ (25 °C)
Ethylchlorid	CH ₃ CH ₂ Cl	< 3 · 10 ⁷ (0 °C)
Ethylendiamin	H ₂ NCH ₂ CH ₂ NH ₂	9 · 10 ⁶ (25 °C)
Ethylenglykol	(CH ₂ OH) ₂	1,16 · 10 ⁴ (25 °C)
Ethylenimin	(CH ₂ CH ₂)NH	8 · 10 ⁴ (25 °C)
Formamid	HCONH ₂	< 2 · 10 ⁵ (- °C)
Glycerin	HOCH ₂ CH(OH)CH ₂ OH	ca. 0,6 · 10 ⁵ (25 °C)
Isoamylalkohol	(CH ₃) ₂ CHCH ₂ CH ₂ OH	1,4 · 10 ⁷ (25 °C)
Isobutanol	(CH ₃) ₂ CHCH ₂ OH	1,6 · 10 ⁶ (25 °C)
Isovaleriansäure	(CH ₃) ₂ CHCH ₂ COOH	< 4 · 10 ¹¹ (0,80 °C)
Kohlensäureethylenester	(Summenf. C ₃ H ₄ O ₃)	< 1 · 10 ⁵ (- °C)
Kohlensäurediethylester	(CH ₃ CH ₂ O) ₂ CO	9,1 · 10 ⁸ (25 °C)
m-Kresol	m-CH ₃ C ₆ H ₄ OH	1,397 · 10 ⁶ (25 °C)
o-Kresol	o-CH ₃ C ₆ H ₄ OH	1,27 · 10 ⁷ (25 °C)
p-Kresol	p-CH ₃ C ₆ H ₄ OH	1,378 · 10 ⁶ (25 °C)
Metatoluidin	m-CH ₃ C ₆ H ₄ NH ₂	5,5 · 10 ⁸ (25 °C)
Methanol	CH ₃ OH	1,5 · 10 ⁷ (25 °C)
N-Methylacetamid	CH ₃ CONH(CH ₃)	2 · 10 ⁵ (40 °C)
N-Methylformamid	HCONCH(CH ₃)	8 · 10 ⁵ (25 °C)
4-Methyl-2-pentanon	(CH ₃) ₂ CHCH ₂ COCH ₃	< 5,2 · 10 ⁶ (35 °C)
N-Methyl-2-pyrrolidon	(Summenf. C ₅ H ₉ ON)	2 · 10 ⁶ (25 °C)
2-Methoxyethanol	CH ₃ OCH ₂ CH ₂ OH	1,09 · 10 ⁴ (20 °C)
Milchsäureethylester	CH ₃ CH(OH)COOCH ₂ CH ₃	1,0 · 10 ⁴ (25 °C)
Nitroethan	CH ₃ · CH ₂ NO ₂	5 · 10 ⁵ (30 °C)
Nitrobenzol	C ₆ H ₅ NO ₂	2,05 · 10 ⁸ (25 °C)
Nitromethan	CH ₃ NO ₂	5 · 10 ⁷ (25 °C)
1-Nitropropan	CH ₃ CH ₂ CH ₂ NO ₂	3,3 · 10 ⁵ (35 °C)
2-Nitropropan	CH ₃ CH(NO ₂)CH ₃	5 · 10 ⁵ (30 °C)
Octanol-(1)	CH ₃ (CH ₂) ₆ CH ₂ OH	1,39 · 10 ⁵ (23,1 °C)
Oxalsäurediethylester	(COOCH ₂ CH ₃) ₂	7,12 · 10 ⁵ (25 °C)
Phenetol	C ₆ H ₅ OC ₂ H ₅	< 1,7 · 10 ⁶ (25 °C)

(Fortsetzung der Tabelle 13)

Flüssigkeit	Formel	Leitfähigkeit [S/m] (gemessen bei °C)
Phenol	C ₆ H ₅ OH	(1-3) · 10 ⁶ (50 °C)
Phthalsäuredibutylester	1,2-C ₆ H ₄ (COOCH ₂ CH ₂ CH ₂ CH ₃) ₂	1,8 · 10 ⁷ (30 °C)
Propanol-(1)	CH ₃ CH ₂ CH ₂ OH	9,17 · 10 ⁷ (18 °C)
Propanol-(2)	CH ₃ CHOHCH ₃	5,8 · 10 ⁶ (25 °C)
Propionaldehyd	CH ₃ CH ₂ CHO	1 · 10 ² (25 °C)
Propionitril	CH ₃ CH ₂ CN	8,51 · 10 ⁶ (25 °C)
Propionsäure	CH ₃ CH ₂ COOH	< 1 · 10 ⁷ (25 °C)
Propionsäureethylester	CH ₃ CH ₂ COOCH ₂ CH ₃	8,33 · 10 ² (17 °C)
Pyridin	C ₅ H ₅ N	4,0 · 10 ⁶ (25 °C)
Salicylaldehyd	(Summenf. C ₇ H ₆ O ₂)	1,64 · 10 ⁵ (25 °C)
Sebacinsäuredibutylester	C ₄ H ₉ OOC(CH ₂) ₈ COOC ₄ H ₉	1,7 · 10 ⁹ (30 °C)
Stearinsäurebutylester	CH ₃ (CH ₂) ₁₆ COOCH ₂ CH ₂ CH ₂ CH ₃	2,1 · 10 ¹¹ (30 °C)
Sulfolan	(Summenf. C ₄ H ₈ O ₂ S)	< 2 · 10 ⁶ (30 °C)
Tetrachlorethylen	CCl ₂ = CCl ₂	5,55 · 10 ² (20 °C)
Tetrachlorkohlenstoff	CCl ₄	4 · 10 ¹⁶ (18 °C)
1,1,2,2-Tetramethylharnstoff N, N, N', N''	(CH ₃) ₂ NCON(CH ₃) ₂	< 6 · 10 ⁶ (- °C)
o-Toluidin	o-CH ₃ C ₆ H ₄ NH ₂	3,792 · 10 ⁵ (25 °C)
p-Toluidin	p-CH ₃ C ₆ H ₄ NH ₂	6,2 · 10 ⁶ (100 °C)
o-Tolunitril	C ₆ H ₅ CH ₂ CN	< 0,5 · 10 ⁵ (25 °C)
Toluol	C ₇ H ₈ CH ₃	8 · 10 ¹⁴ (- °C)
Triethylenglykol	HOCH ₂ CH ₂ OCH ₂ CH ₂ OCH ₂ CH ₂ OH	8,4 · 10 ⁶ (20 °C)
1,1,1-Trichlorethan	CH ₃ CCl ₃	7,3 · 10 ⁷ (- °C)
Trichlorethylen	CHCl = CCl ₂	8 · 10 ¹⁰ (- °C)
Valeriansäurenitril	CH ₃ CH ₂ CH ₂ CH ₂ CN	1,2 · 10 ⁶ (- °C)
Waschbenzin (techn. rein)	siehe Benzin	

Tabelle 13: Leitfähigkeit von Flüssigkeiten nach John A. Riddick und William B. Bunger

Anhang 7

Mindestzündenergie brennbarer Gase und Dämpfe

Die **Tabelle 14** beruht auf Angaben der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt Braunschweig. Die angegebenen Werte beziehen sich auf einen Druck von 1013 mbar und eine Temperatur von 20 °C im Gemisch mit Luft.

Substanz	Explosionsgruppe nach DIN EN 50014	Q [nC]	MZE [mJ]	Zündwilligstes Gemisch [Vol. %]
Acetaldehyd	IIA	–	0,38	–
Aceton	IIA	127	0,55	6,5
Acrylnitril	IIB	–	0,16	9,0
Ammoniak	IIA	1500	14	20
Benzol	IIA	45	0,20	4,7
1,3-Butadien	IIB	–	0,13	5,2
Butan	IIA	60	0,25	4,7
2-Butanon	IIA	–	0,27	5,3
Cyclohexan	IIA	–	0,22	3,8
Cyclopropan	IIB	–	0,17	6,3
1,2-Dichlorethan	IIA	–	1,0	10,5
Dichlormethan	IIA	880 000	9 300	18
Diethylether	IIB	40	0,19	5,1
2,2-Dimethylbutan	IIA	70	0,25	3,4
Essigsäureethylester	IIA	120	0,46	5,2
Ethan	IIA	70	0,25	6,5
Ethen	IIB	32	0,082	8,0
Ethin	IIC	–	0,019	7,7
Ethylenoxid	IIB	–	0,061	10,8
Heptan	IIA	60	0,24	3,4
Hexan	IIA	60	0,24	3,8
Methan	IIA	70	0,28	8,5
Methanol	IIA	–	0,14	14,7
2-Methylbutan	IIA	63	0,21	3,8
Methylcyclohexan	IIA	70	0,27	3,5

(Fortsetzung der Tabelle 14)

Substanz	Explosionsgruppe nach DIN EN 50014	Q [nC]	MZE [mJ]	Zündwilligstes Gemisch [Vol. %]
Pentan	IIA	63	0,28	3,3
cis-2-Penten	IIB	–	0,18	4,4
trans-2-Penten	IIB	–	0,18	4,4
Propan	IIA	70	0,25	5,2
1-Propin	IIB	–	0,11	6,5
Propylenoxid	IIB	–	0,13	7,5
Schwefelkohlenstoff	IIC	–	0,009	7,8
Tetrafluoroethen	IIA	–	4,1	–
Tetrahydro-2H-pyran	IIA	60	0,22	4,7
1,1,1-Trichlorethan	IIA	700 000	4 800	12
Trichlorethan	IIA	150 000	510	26
Wasserstoff	IIC	12	0,016	22

Q = übertragene Ladung (siehe auch Abschnitt 3.3 des Anhanges 1)

Tabelle 14: Mindestzündenergien (MZE) brennbarer Gase und Dämpfe

Anhang 8

Typische Widerstände von Fußböden und Fußbodenbelägen

	Material	Ableitwiderstand [Ω]
1	Stahl	
1.1	Stahl, verzinkt	$\ll 10^8$
1.2	Stahl, nicht rostend	$\ll 10^8$
1.3	Stahl, pulverbeschichtet oder lackiert	$10^{11} \cdot 10^{13}$
2	Aluminium, blank	$\ll 10^8$
3	Beton	
3.1	Beton, ohne Kunststoffzusatz	$10^4 \cdot 10^8$
3.2	Beton, mit z. B. abriebverminderndem Kunststoffzusatz	$10^9 \cdot 10^{13}$
3.3	Beton, mit üblicher Betonfarbe gestrichen	$10^{12} \cdot 10^{14}$
3.4	Beton, mit ableitfähiger Epoxidharzbeschichtung	$10^5 \cdot 10^8$
3.5	Polymerbeton (Sand und Polyester)	10^{14}
4	Fliesen	
4.1	säurefeste Fliesen	$10^8 \cdot 10^{10}$
4.2	säurefeste Fliesen, mindestens einmal wöchentlich mit Wasser ohne (Wachs)zusätze gereinigt	$10^4 \cdot 10^8$
5	PVC	
5.1	PVC-Belag mit leitfähigem Kleber verlegt	$10^{10} \cdot 10^{14}$
5.2	PVC-Belag mit isolierendem Kleber verlegt	10^{14}
6	Asphalt	$10^{12} \cdot 10^{15}$

Quelle: Mitteilungen aus der Industrie und der Physikalisch Technischen Bundesanstalt

Tabelle 15: Widerstände verschiedener Fußböden oder Fußbodenbeläge in Abhängigkeit des Materials

Die Prüfung des Ableitwiderstandes soll am verlegten Bodenbelag vorgenommen werden, auch wenn für den unverlegten Belag Prüfzeugnisse vorliegen.

Beläge für den Wohnbereich unterschreiten meist nicht den geforderten Grenzwert, auch wenn sie als „antistatisch“ oder „elektrostatisch nicht aufladbar“ bezeichnet werden.

Isolierende Dichtungsfolien zwischen Betondecke und Estrich vermindern beispielsweise die Ableitung des Belages bei zusammenhängenden Flächen über 10 m² nicht mehr.

Anhang 9

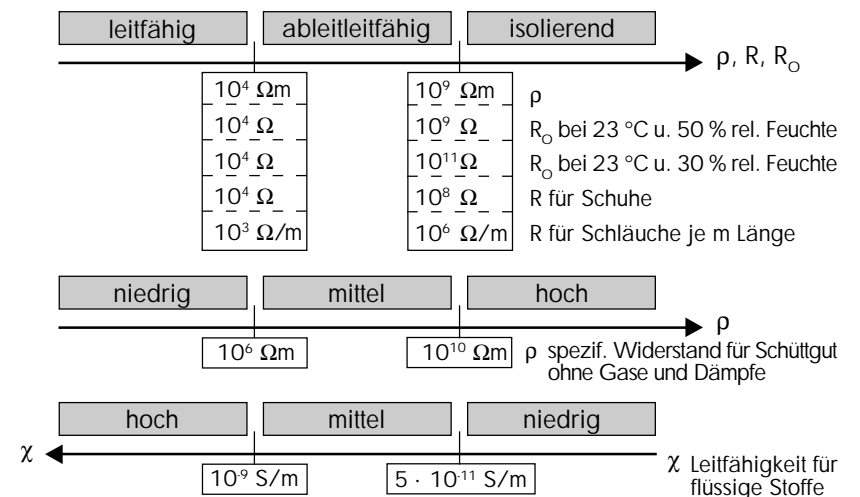
Veranschaulichung von Begriffen zur Beschreibung elektrostatischer Eigenschaften

Elektrostatische Eigenschaften sind einer direkten Messung nicht zugänglich. Die vorliegende Regel benutzt Begriffe und Messverfahren der Elektrotechnik um Maßnahmen zur Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen zu formulieren.

Die nachfolgende Übersicht ordnet verschiedene geeignete elektrische Widerstands- bzw. Leitfähigkeitsgrößen den jeweils betrachteten Objekten, z. B. Schüttgut, zu. Mit der jeweiligen Größe werden festgelegte Messverfahren angewendet, die den Phasenzustand bzw. die Form des betrachteten Objektes berücksichtigen.

Feste Stoffe und Schüttgut	Flüssige Stoffe	Feste Materialien, Gegenstände und Einrichtungen
Spezifischer Widerstand ρ [Ωm]	Leitfähigkeit χ [S/m] = $1/\rho$	spezifischer Widerstand ρ [Ωm]
		Oberflächenwiderstand R_o [Ω]
		Durchgangswiderstand R [Ω]

Die jeweiligen Grenzen zwischen den Bereichen leitfähig, ableitfähig und isolierend hängen von den einzelnen Messverfahren und Geometrien ab und besitzen deshalb unterschiedlich große Zahlenwerte.



Anhang 10

Vorschriften und Regeln

Nachstehend sind die insbesondere zu beachtenden einschlägigen Vorschriften und Regeln zusammengestellt:

1. Gesetze, Verordnungen

Bezugsquelle: Buchhandel
oder
Carl Heymanns Verlag KG,
Luxemburger Straße 449, 50939 Köln.

Gesetz über technische Arbeitsmittel (Gerätesicherheitsgesetz),

Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Bereitstellung von Arbeitsmitteln und deren Benutzung bei der Arbeit, über Sicherheit beim Betrieb überwachungsbedürftiger Anlagen und über die Organisation des betrieblichen Arbeitsschutzes (Betriebssicherheitsverordnung-BetrSichV),

Gefahrstoffverordnung (GefStoffV).

2. Berufsgenossenschaftliche Vorschriften, Regeln und Informationen für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit

Bezugsquelle: zuständige Berufsgenossenschaft
oder
Carl Heymanns Verlag KG,
Luxemburger Straße 449, 50939 Köln.

Unfallverhütungsvorschrift „Allgemeine Vorschriften“ (BGV A1, bisherige VBG 1),

„Explosionsschutz-Regeln (EX-RL)“ mit Beispielsammlung (BGR 104, bisherige ZH 1/10),

BG-Regel „Benutzung von Fuß- und Beinschutz“ (BGR 191, bisherige ZH 1/ 702),

Sicherheitsregeln für den Explosionsschutz bei der Konstruktion und Errichtung von Wirbelschicht-Sprüh-Granulatoren, Wirbelschichttrocknern, Wirbelschicht-Coatinganlagen (ZH 1/617),

BG-Information „Elektrostatisches Beschichten“ (BGI 764, bisherige ZH1/160),

BG-Information „Schlauchleitungen, Sicherer Einsatz“ (BGI 572, bisherige ZH1/134),

Bezugsquelle: Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit (BIA)
Alte Heerstraße 111, 53757 Sankt Augustin.

Brenn- und Explosionskenngrößen von Stäuben, BIA-Report 12/97.

3. Normen

Bezugsquelle: Beuth Verlag GmbH,
Burggrafenstraße 6, 10787 Berlin
bzw.
VDE-Verlag GmbH,
Postfach 12 23 05, 10591 Berlin.

CENELEC REPORT R044-001	Safety of machinery – Guidance and recommendations for the avoidance of hazards due to static electricity, February 1999 (Sicherheit von Maschinen – Richtlinien und Empfehlungen zur Verhinderung von Gefahren auf Grund von statischer Elektrizität),
DIN 28052-6	Chemischer Apparatebau; Oberflächenschutz mit nichtmetallischen Werkstoffen für Bauteile aus Beton in verfahrenstechnischen Anlagen; Teil 6: Eignungsnachweis und Prüfungen,
DIN 51412-1	Prüfung von Mineralölerzeugnissen; Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit, Laborverfahren,
DIN 51412-2	Prüfung von Mineralölerzeugnissen; Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit, Feldverfahren,
DIN EN 344-1	Sicherheits-, Schutz- und Berufsschuhe für den gewerblichen Gebrauch; Teil 1: Anforderungen und Prüfverfahren,
DIN EN 345-1	Sicherheitsschuhe für den gewerblichen Gebrauch; Teil 1: Spezifikation,
DIN EN 388	Schutzhandschuhe gegen mechanische Risiken,
DIN EN 420	Allgemeine Anforderungen für Handschuhe,
DIN EN 1081	Elastische Bodenbeläge; Bestimmung des elektrischen Widerstandes,
DIN EN 1149-1	Schutzkleidung; Elektrostatische Eigenschaften; Teil 1: Oberflächenwiderstand (Prüfverfahren und Anforderungen),
DIN EN 1360	Zapfstellenschläuche und -schlauchleitungen aus Gummi; Anforderungen,
DIN EN 12115	Gummi- und Kunststoffschläuche und -schlauchleitungen für flüssige oder gasförmige Chemikalien; Spezifikation,

DIN EN 12981	Beschichtungsanlagen – Spritzkabinen für organische Pulverlacke; Sicherheitsanforderungen,
DIN EN 13463-1	Nichtelektrische Geräte für den Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen; Teil 1: Grundlagen und Anforderungen,
DIN EN 13821	Bestimmung der Mindestzündenergie von Staub/Luft-Gemischen,
DIN EN 50014/ DIN VDE 0170/ 0171 Teil 1	Elektrische Betriebsmittel für explosionsgefährdete Bereiche; Allgemeine Bestimmungen,
DIN EN 61241-2-2	Elektrische Betriebsmittel zur Verwendung in Bereichen mit brennbarem Staub; Teil 2: Untersuchungsverfahren; Hauptabschnitt 2: Verfahren zur Bestimmung des elektrischen Widerstandes von Staubschüttungen,
DIN EN 61340-4-3	Elektrostatik; Teil 4-3: Standard-Prüfverfahren für spezielle Anwendungen; Schuhwerk,
DIN IEC 60093	Prüfverfahren für Elektroisierstoffe; Spezifischer Durchgangswiderstand und spezifischer Oberflächenwiderstand von festen, elektrisch isolierenden Werkstoffen,
DIN IEC 60167	Prüfverfahren für Elektroisierstoffe; Isolationswiderstand von festen, isolierenden Werkstoffen,
DIN VDE 0107	Starkstromanlagen in Krankenhäusern und medizinisch genutzten Räumen außerhalb von Krankenhäusern,
IEC 61241-2-3	Elektrisches Betriebsmittel zur Verwendung in Bereichen mit brennbarem Staub; Teil 2: Untersuchungsverfahren; Hauptabschnitt 3: Verfahren zur Bestimmung der Mindestzündenergie von Staub/Luft-Gemischen,
VDI 2263 Blatt 5	Staubbrände und Staubexplosionen; Gefahren; Beurteilung; Schutzmaßnahmen; Explosionsschutz bei Wirbelschichtanlagen.

4. Sonstige Schriften

Nabert/Schön „Sicherheitstechnische Kennzahlen brennbarer Gase und Dämpfe“ (vergriffen).

E. Brandes und W. Möller, „Sicherheitstechnische Kenngrößen; Band 1: Brennbare Flüssigkeiten und Gase“, ISBN 3-89701-745-8

M. Molnarne, Th. Schendler und V. Schröder, „Sicherheitstechnische Kenngrößen; Band 2: Explosionsbereiche von Gasgemischen“, ISBN 3-897701-746-6

Steen et al „Handbuch des Explosionsschutzes“, Wiley-VCH, Weinheim (2000), ISBN 3-527-29848-7

Chemsafe-Datenbank [http: www.dechema.de](http://www.dechema.de)

Bezugsquelle: Erich Schmidt Verlag, Berlin, Bielefeld, München.

Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen beim Versprühen von Flüssigkeiten unter hohem Druck, Mauer et al., „Die BG“, Heft 7/83.

Stichwortverzeichnis

	Seite	Seite
A		
Ableitfähig	8, 10, 12, 14, 22, 24, 37, 54, 89, 90, 101, 129	
Abluftsysteme	68, 69	
Antriebsriemen	23, 24	
Atmosphäre	6, 10, 26, 49, 50	
Aufladbar	9, 129	
Aufladung	6, 11, 13, 102	
B		
Befeuchtung	18, 71, 74	
Beflocken	67	
Befüllung	27, 28, 29, 32, 42, 43, 57, 78	
Behälter		
außenbeschichtet	38, 41	
FIBC	78, 87, 116	
für Flüssigkeiten	25, 28	
innenbeschichtet	38, 39, 40, 117	
isolierend	39, 40, 41, 43, 47, 83, 87	
leitfähig umhüllt	41	
mehrfachbeschichtet	39	
Reinigen	43, 60	
Schüttgut	75, 78	
Schüttguteintrag	86	
Beschichtung		
Dicke	18, 40	
Durchschlagspannung	18	
isolierend	18, 40	
mehrfache	39	
Betriebsanweisung	100	
C		
Container	40, 44, 96	
D		
Dämpfe	10, 18, 71, 75, 85, 88, 115	
Druckgas	65, 67	
Durchmesser	30, 32, 51, 57, 63, 64, 110	
Begrenzung	16	
Durchschlagspannung	18, 38, 40, 52, 83, 109	
E		
Eigensicher	95, 96	
Einrichtungen	6, 7, 13, 15, 53, 63, 75, 77	
Einstellsäcke	82, 83, 116	
Eintrag	86	
Eisenbahnkesselwagen	36, 37	
Elektrischer Schlag	118	
Entladungen statischer Elektrizität	11, 118	
Entladung		
Büschelentladung	11, 18, 21, 53, 84, 107	
Funkenentladung	12, 65, 76, 106	
gewitterblitzähnliche	109	
Gleitstielbüschelentladung	105	
Koronaentladung	11, 19, 107	
Schüttkegelentladung	11, 110	
Entleeren	25, 40, 42, 44, 78	
Erdung	9, 12, 33, 83, 84, 92	
Explosionsgefährdeter Bereich	10, 115	
Explosionsgruppe	10, 16, 23, 126	
F		
Fässer	40, 45, 57, 96	
Feuerlöschanlagen	66	
Feuerlöscher	66	
Filter	48, 102	
Flaschen	40	
Flexible Schüttgutbehälter (FIBC)	78, 87	
Flugzeugbetankung	57	
Flüssigkeit	12, 25, 26, 27, 29	
hochviskos	48	
Flüssigstrahlen	60, 61	
Folie	16, 18, 20, 22, 77, 93	
Fördergurt	22, 23	
Füllgeschwindigkeit	30, 31, 32, 35, 40, 47	
Fußboden	21, 86, 89, 91, 93, 99, 128	
G		
Gase	6, 11, 13, 65, 67, 75, 85	
Geerdet	9, 92, 93	
Gefährliche Aufladung	11, 40, 67, 77, 78	
Gegenstände	7, 13, 18, 75, 77, 92, 97	
Glasapparaturen	63	
H		
Handschuhe	67, 86, 91, 131	
I		
Inertisieren	66, 85	
In-Line-Mischen	60	
Intermediate Bulk Container (IBC)	41, 44	
Ionisierung	19, 20, 71, 74, 102	
isolierend	9, 12, 13, 15, 104, 107, 117, 129	

	Seite	Seite
K		
Kanister	40, 46, 118	
Kapazität	11, 64, 92, 97, 104, 106	
Kennzeichnung	99	
Kleidung	90, 98	
Kraftstofflieferung	57	
L		
Ladetank	7, 28	
ladungserzeugender Prozess	11, 13, 17, 25, 38, 40, 50, 59, 108	
Leiter	8, 32, 74, 106	
Leitfähig	8, 102, 118, 129	
Leitfähigkeit	8, 25, 32, 103	
Luft	6, 10, 14, 15, 17, 18, 19, 85, 105, 106	
M		
Material	6	
isolierend	9, 13, 14	
leitfähig und ableitfähig	8	
Messen	25, 49	
Mikrofilter	30, 31, 48, 52	
Mindestzündenergie	10, 70, 85, 88, 107, 126	
Mischen	25, 43, 59, 60, 103	
N		
Netz	17, 39, 116	
O		
Operationsräume	98	
P		
Packmittel	18, 75, 78, 86	
Papierbahn	20	
Person	9, 10, 13, 34, 38, 58, 67, 86, 89, 101, 106, 118	
Potenzialausgleich	12, 26, 58, 92, 98, 120	
Prüfung	17, 55, 100	
Pulverbeschichten	67	
R		
Reinigen	27, 43, 60, 61, 62, 63	
Relaxationszeit	9, 11, 48, 60, 96, 103, 121	
Rohre	25, 30, 48, 50ff, 102	
Rühren	25, 43, 59, 87, 102	
S		
Sandstrahlen	65	
Schiff	28	
Schläuche	31, 34, 50, 52, 54, 72, 99	
Schuhwerk	10, 67, 86, 89	
Schüttgut	11, 75, 77, 85, 86, 103, 105	
Schutzhelme	91	
Schutzkleidung	90, 131	
Siebe	48, 103, 104	
Spritzlackieren	67	
Staubabscheider	69, 77	
Staubsauger	13, 65, 70	
Stoff	6	
Strahlarbeiten	13, 65	
Strahlmischverfahren	59	
Straßentankwagen	31, 34, 57	
Strömungsgeschwindigkeit	25, 27, 28, 48, 51	
Suspension	12, 27, 50, 87	
T		
Tank	28, 29	
mit Festdach	30	
mit Schwimmdach/-decke	31	
U		
Umpumpen	25, 26	
Unterweisung	100	
V		
Versprühen	25, 61, 67, 103	
Verweilzeit	27, 30, 48, 57, 105	
W		
Wasserabscheider	48	
Wetterschutzkleidung	91	
Widerstand		
Ableitwiderstand	8, 9, 58, 78, 90ff	
Durchgangswiderstand	7, 22, 24, 90, 129	
Oberflächenwiderstand	7, 63, 93, 98, 129	
Spezifischer Widerstand	7, 52, 85, 110, 129	
Z		
Zone	10, 13, 14	
Zoneneinteilung	115	

BGR 132