

# **TRBS 2153 - Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen**

## Technische Regeln für Betriebssicherheit (TRBS)

(GMBI. Nr 15/16 vom 09.04.2009 S. 278)

---

### **Vorbemerkung**

Diese Technische Regel für Betriebssicherheit (TRBS) gibt dem Stand der Technik, Arbeitsmedizin und Hygiene entsprechende Regeln und sonstige gesicherte arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse für die Bereitstellung und Benutzung von Arbeitsmitteln sowie für den Betrieb überwachungsbedürftiger Anlagen wieder.

Sie wird vom Ausschuss für Betriebssicherheit (ABS) ermittelt und vom Bundesministerium für Arbeit und Soziales im Gemeinsamen Ministerialblatt bekannt gemacht.

Die Technische Regel konkretisiert die Betriebssicherheitsverordnung hinsichtlich der Ermittlung und Bewertung von Gefährdungen sowie der Ableitung von geeigneten Maßnahmen. Bei Anwendung der beispielhaft genannten Maßnahmen kann der Arbeitgeber insoweit die Vermutung der Einhaltung der Vorschriften der Betriebssicherheitsverordnung für sich geltend machen. Wählt der Arbeitgeber eine andere Lösung, hat er die gleichwertige Erfüllung der Verordnung schriftlich nachzuweisen.

Der Fachausschuss Chemie hat die berufsgenossenschaftliche Regel "Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen" (BGR 132) erstellt. Der ABS hat diese in Anwendung des Kooperationsmodells (BArbBI.5/2001 S. 61) als TRBS 2153 in sein technisches Regelwerk aufgenommen.

Dem Fachausschuss Chemie obliegt in Absprache mit dem ABS die Fortschreibung der TRBS 2153. Hält der ABS Änderungen für erforderlich, wird er den Fachausschuss Chemie bitten, die Möglichkeit der Anpassung zu überprüfen.

### Verzeichnis der Beispiele

- 1 Beschichten und Bedrucken isolierender Folien
- 2 Befüllen mittelgroßer Behälter
- 3 Befüllen und Entleeren von Intermediate Bulk Containern (IBC) in Zone 1
- 4 Befüllen von Fässern in Zone 1
- 5 Befüllen kleiner Kunststoffkanister in Zone 1
- 6 Schläuche zum Transport von Flüssigkeiten mit niedriger Leitfähigkeit durch Zone 1, die verursacht ist durch Stoffe der Explosionsgruppen IIA und IIB
- 7 Abluftsysteme in Bereichen der Zone 1
- 8a Schläuche zum pneumatischen Transport nicht brennbarer Schüttgüter durch Zone 1, die verursacht ist durch Stoffe der Explosionsgruppen IIA und IIB
- 8b Schläuche zum pneumatischen Transport brennbarer Schüttgüter
- 9 Pneumatische Förderung brennbarer Schüttgüter
- 10 Funkenentladungen an einem isolierten Metalltrichter
- 11 Befüllen isolierender Kunststoffsäcke mit Schüttgut in Zone 21 oder 22
- 12 Erdung in Zone 1
- 13 Funkenentladungen
- 14 Büschelentladungen und Koronaentladungen
- 15 Gleitstielbüschelentladungen
- 16 Schüttkegelentladungen

**TRBS 2153 - Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen**

<b>Formelzeichen und Einheiten</b>		
Formelzeichen	Bezeichnung	Einheit
t	Zeit, Verweilzeit	s
R <sub>E</sub>	Ableitwiderstand	Ω
R <sub>D</sub>	Durchgangswiderstand	Ω
D	Durchmesser	mm
U <sub>D</sub>	Durchschlagsspannung	V
ε <sub>0</sub>	Elektrische Feldkonstante (8,852 10 <sup>-12</sup> )	As/Vm
A	Fläche	m <sup>2</sup>
V <sub>F</sub>	Flüssigkeitsdurchsatz	1/s
N	Geometriefaktor	-
v	Geschwindigkeit	m/s
C	Kapazität	F
ρ	Ladungsdichte	C/m <sup>3</sup>
L	Länge	m, mm
k	Leitfähigkeit	S/m
E	maximale umgesetzte Energie	J
E <sub>SKE</sub>	maximale zu erwartende Äquivalentenergie einer Schüttkegelentladung	mJ
E <sub>GBE</sub>	maximale zu erwartende Energie einer Gleitstielbüschelentladung	J
Q	Menge der Ladung auf einem Leiter	C
MZE	Mindestzündenergie	mJ
MZQ	Mindestzündladung	nC
σ	Oberflächenladungsdichte	C/m <sup>2</sup>
R <sub>o</sub>	Oberflächenwiderstand	Ω
ε <sub>r</sub>	Relative Permittivitätszahl (früher Dielektrizitätszahl)	1
τ	Relaxationszeit	s
D	Schichtdicke	mm, μm
v <sub>s</sub>	Schüttgeschwindigkeit	kg/s
R <sub>os</sub>	spezifischer Oberflächenwiderstand	Ω
ρ	spezifischer Widerstand, spezifischer Durchgangswiderstand	Ωm
R <sub>ST</sub>	Streifenwiderstand	Ω
I	Stromstärke	A
T	Temperatur	°C
V	Volumen	m <sup>3</sup> , Liter
s	Wandstärke	mm
R	Widerstand	Ω

## 1 Anwendungsbereich

(1) Diese Technische Regel gilt für die Beurteilung und die Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen in explosionsgefährdeten Bereichen und für die Auswahl und Durchführung von Schutzmaßnahmen zum Vermeiden dieser Gefahren.

*Hinweis:* Liegt auf Grund getroffener Maßnahmen, wie z. B. Inertisierung, keine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre vor, sind Maßnahmen nach dieser Technischen Regel nicht notwendig.

(2) Diese Technische 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.

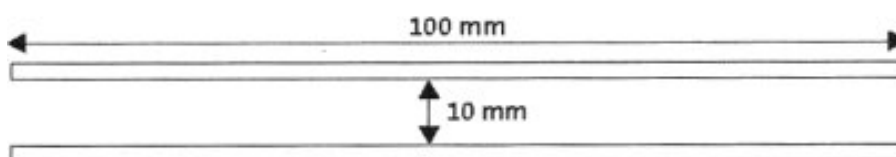
*Hinweis:* Andere als atmosphärische Bedingungen sind z. B. erhöhter Druck, erhöhte Temperatur oder erhöhter Sauerstoffgehalt. Andere Reaktionspartner als Luft sind z. B. Chlor oder Stickoxide. Andere reaktionsfähige Systeme enthalten z. B. chemisch instabile Stoffe, wie Peroxide und Ethylenoxid. Sie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

(3) Diese Technische Regel kann auch sinngemäß angewendet werden, um elektrische Ladungen als Zündursache für Brände zu vermeiden.

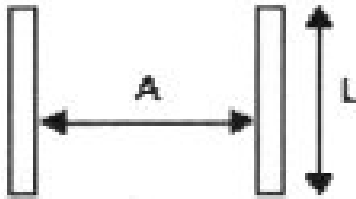
(4) Diese Technische Regel gilt auch für die Beurteilung der Bereiche, die durch explosionsgefährliche Stoffe gefährdet sind, soweit für diese keine Regelungen bestehen.

## 2 Begriffsbestimmungen

1. Stoffe sind Gase, Flüssigkeiten oder Feststoffe, mit denen im Betrieb umgegangen wird.  
*Hinweis:* Zu den Stoffen gehören z. B. Abluft, Treibstoffe und Lösemittel sowie Stäube.
2. Material ist die Bezeichnung für Werkstoffe, aus denen Gegenstände oder Einrichtungen bestehen.  
*Hinweis:* Zu den Materialien gehören z. B. Stahl, Glas, Kunststoffe, Holz, aber auch Beschichtungsmaterialien, wie 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.  
*Hinweis:* Zu den Gegenständen oder Einrichtungen gehören z. B. Rohrleitungen, Schläuche, Behälter, Ladetanks, Pumpen.
4. Durchgangswiderstand  $R$  ist der elektrische Widerstand eines Stoffes, Materials oder Gegenstandes ohne den Oberflächenwiderstand. Der Durchgangswiderstand und der spezifische Widerstand werden in  $\Omega$  bzw.  $\Omega\text{m}$  angegeben.
5. Spezifischer Widerstand  $\rho$  ist der elektrische Widerstand eines Stoffes oder Materials gemessen an einer Probe der Einheitslänge und der Einheitsquerschnittsfläche.  
*Hinweis:* Der spezifische Widerstand wird oft auch spezifischer Durchgangswiderstand genannt und in  $\Omega\text{m}$  angegeben.
6. Oberflächenwiderstand  $R_o$  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. Die Messspannung beträgt 100 V. Der Oberflächenwiderstand wird in  $\Omega$  angegeben.



7. Spezifischer Oberflächenwiderstand  $R_o$  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  $\Omega$  angegeben.



*Hinweis:* In der angelsächsischen Literatur wird der spezifische Oberflächenwiderstand häufig mit  $\Omega$ square oder  $\Omega^2$  (Anm. hier:  $R_{os}$ ) bezeichnet. Der spezifische Oberflächenwiderstand beträgt etwas das Zehnfache des Oberflächenwiderstandes.

8. Ableitwiderstand  $R_E$  eines Gegenstandes ist sein elektrischer Widerstand gegen Erdpotenzial, oft Erde genannt. Der Ableitwiderstand wird in  $\Omega$  angegeben.  
*Hinweis:* Die übliche Form der Messelektrode ist eine  $20 \text{ cm}^2$  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  $K$  ist der Kehrwert des spezifischen Widerstandes. Die Leitfähigkeit wird in  $\text{S/m}$  angegeben.
10. Leitfähig ist ein Stoff oder Material mit einem spezifischen Widerstand  $\rho \leq 10^4 \Omega\text{m}$ . Leitfähig ist ein Stoff oder Material auch, wenn sein Oberflächenwiderstand  $R_o \leq 10^4 \Omega$  beträgt.  
*Hinweis 1:* Für Flüssigkeiten, Schüttgüter oder bestimmte Gegenstände werden in den entsprechenden Abschnitten hinsichtlich der Grenzwerte spezielle Festlegungen getroffen. Zur Veranschaulichung der Begriffe siehe auch Anhang H. Leitfähige Materialien können nicht gefährlich aufgeladen werden, wenn sie geerdet sind. 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.  
*Hinweis 2:* 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  $23 \text{ }^\circ\text{C}$  und 50 % relativer Luftfeuchte oder
    - mit einem Oberflächenwiderstand zwischen  $10^4 \Omega$  und  $10^{11} \Omega$ , gemessen bei  $23 \text{ }^\circ\text{C}$  und 30 % relativer Luftfeuchte.

*Hinweis 1:* Mit sinkender Luftfeuchte nimmt der Oberflächenwiderstand in der Regel beträchtlich zu.

*Hinweis 2:* Ableitfähige Stoffe oder Gegenstände und Einrichtungen aus ableitfähigen Materialien speichern keine gefährliche elektrische Ladung, wenn sie mit Erde in Kontakt stehen. Als ableitfähig werden auch Gegenstände und Einrichtungen bezeichnet, wenn sie aus ableitfähigen Materialien bestehen.

*Hinweis 3:* Für Flüssigkeiten, Schüttgüter oder bestimmte Gegenstände, wie z. B. ableitfähige Fußböden, werden in den entsprechenden Abschnitten hinsichtlich der Grenzwerte spezielle Festlegungen getroffen. Zur Veranschaulichung der Begriffe siehe auch Anhang H. Der umgangssprachliche Begriff "antistatisch" wird an verschiedenen Stellen unterschiedlich verwendet und deshalb in dieser Technischen Regel nicht definiert.

13. Isolierend sind Stoffe oder Materialien, die weder leitfähig noch ableitfähig sind.  
*Hinweis 1:* Als isolierend werden auch Gegenstände oder Einrichtungen aus isolierenden Materialien bezeichnet.  
*Hinweis 2:* Zur Veranschaulichung der Begriffe siehe auch Anhang H.  
*Hinweis 3:* 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, wie z. B. Kunststoffe.
14. Geerdet im elektrostatischen Sinne sind leitfähige Gegenstände, Flüssigkeiten und Schüttgüter mit einem Ableitwiderstand  $R_E < 10^8 \Omega$  und Personen mit einem Ableitwiderstand  $R_E < 10^8 \Omega$ . Personen und kleine Gegenstände sind auch geerdet, wenn ihre Relaxationszeit  $\tau < 10^{-2} \text{ s}$  ist.  
*Hinweis:* Zur Erdung siehe auch den Abschnitt mit der Nummer 8.
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 eine explosionsfähige Atmosphäre, die in einer solchen Menge (gefährdrohende Menge) auftritt, dass besondere Schutzmaßnahmen für die Aufrechterhaltung des Schutzes, der Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer oder anderer erforderlich werden.  
*Hinweis:* Siehe auch § 2 Abs. 8 und 9 der Betriebssicherheitsverordnung.
19. Explosionsgefährdeter Bereich ist ein Bereich, in dem gefährliche explosionsfähige Atmosphäre auftreten kann. Ein Bereich, in dem explosionsfähige Atmosphäre nicht in einer solchen Menge zu erwarten ist, dass besondere Schutzmaßnahmen erforderlich werden, gilt nicht als explosionsgefährdeter Bereich.  
*Hinweis:* Siehe auch § 2 Abs. 10 und Anhang 3 der Betriebssicherheitsverordnung.
20. Mindestzündenergie (MZE) ist die unter festgelegten Versuchsbedingungen ermittelte kleinste, in einem Kondensator gespeicherte elektrische Energie, die bei Entladung ausreicht, das zündwilligste Gemisch einer explosionsfähigen Atmosphäre zu entzünden.  
*Hinweis:* Die MZE wird in mJ angegeben.
21. Mindestzündladung (MZQ) ist die kleinste in einer Funken- oder Büschelentladung übertragene elektrische Ladungsmenge, die das zündwilligste Gemisch einer explosionsfähigen Atmosphäre entzünden kann.
22. Explosionsgruppen I und II unterscheiden Stoffe mit dem Ziel, geeignete Geräte und Einrichtungen für den Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen auszuwählen.  
 Gruppe IIA: einige Gase und organische Flüssigkeiten, wie z. B. Aceton, Benzin, Toluol  
 Gruppe IIB: z. B. Ethen, Ethylenoxid, Diethylether  
 Gruppe IIC: z. B. Acetylen, Wasserstoff, Schwefelkohlenstoff  
*Hinweis:* Die Explosionsgruppe I gilt für explosionsgefährdete Bereiche, die durch Stoffe in Grubenbauen gebildet werden, die Explosionsgruppe II für solche, die durch alle übrigen gasförmigen und flüssigen Stoffe entstehen. Die Stoffe nach Explosionsgruppe II werden hinsichtlich ihrer Normspaltweite unterschieden.
23. Stark ladungserzeugender Prozess ist ein Vorgang, bei dem im Vergleich zur Ladungsableitung hohe Ladungsmengen pro Zeit erzeugt werden und sich ansammeln können.  
*Hinweis:* Typische Vorgänge sind z. B. laufende Antriebsriemen, pneumatische Förderung von Schüttgut oder schnelle Mehrphasenströmung von Flüssigkeiten. Ausschließlich manuelle Vorgänge sind erfahrungsgemäß nicht stark ladungserzeugend.
24. Gefährliche Aufladung ist eine elektrostatische Aufladung, die bei ihrer Entladung die zu erwartende explosionsfähige Atmosphäre entzünden kann.  
*Hinweis:* Die Entladungsformen Funkenentladung, Koronaentladung, Büschelentladung, Gleitstielbüschelentladung, gewitterblitzähnliche Entladung und Schüttkegelentladung werden im Anhang A Nummer A3 erläutert.
25. Relaxationszeit  $\tau$  ist die Zeitspanne, in der eine elektrische Ladung, wie 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.  
*Hinweis:* Die Relaxationszeit  $\tau$  bei Entladung eines Kondensators der Kapazität C über einen Entladewiderstand R beträgt  $\tau = R \cdot C$ .

26. Schüttgut umfasst Teilchen von feinem Staub über Grieß und Granulat bis hin zu Spänen.  
*Hinweis:* Zum Schüttgut zählt auch grobes Gut, das Feinstaubanteile enthält, wie z. B. Abrieb von Kohle.

### Symbollegende

	Bedeutung	Beispiel
	isolierend	Kunststoffrohr
	leitfähig oder ableitfähig	Stahlrohr
	Gas, Dampf	Gasraum im Reaktionsbehälter
	isolierende Einrichtung, gasführend	Abgasrohr aus isolierendem Material
	Partikel im Gas- oder Flüssigkeitsstrom, auch Schüttgut	pneumatische Förderung
	Flüssigkeit in leitfähiger oder ableitfähiger Einrichtung	Stahlrohrleitung für Flüssigkeit
	Flüssigkeit	Alkohol
	Entladung statischer Elektrizität	Funkenentladung
	Entladung statischer Elektrizität	Büschelentladung
	Entladung statischer Elektrizität	Koronaentladung
	Entladung statischer Elektrizität	Gleitstielbüschelentladung
	fest verlegte Erdungsleitung	
	flexibel verlegte Erdungsleitung	
	Erdungspunkt	Potenzialausgleichsschiene

### 3 Elektrostatische Aufladungen von Gegenständen und Einrichtungen

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

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

(2) 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.

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

### TRBS 2153 - Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen

(3) 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.

*Hinweis:* Mögliche Maßnahmen sind z. B. leitfähige oder ableitfähige Beschichtungen, leitfähige Fäden in Textilien, Oberflächenbegrenzungen oder auch sicher wirkende organisatorische Maßnahmen. Siehe auch Nummern 3.2 und 8.

### 3.1 Leitfähige und ableitfähige Materialien

(1) In explosionsgefährdeten Bereichen sind grundsätzlich nur leitfähige oder ableitfähige Gegenstände oder Einrichtungen zu verwenden.

(2) Je nach Zündwahrscheinlichkeit sind alle Gegenstände oder Einrichtungen aus leitfähigen Materialien zu erden und solche aus ableitfähigen Materialien sind mit Erdkontakt zu versehen. Die Erdung bzw. die Erdverbindung darf nur entfallen, wenn eine gefährliche Aufladung ausgeschlossen ist.

*Hinweis 1:* Geerdete leitfähige Gegenstände können nicht gefährlich aufgeladen werden. Sind sie jedoch von Erde isoliert, können Funkenentladungen auftreten.

*Hinweis 2:* Hinsichtlich Erdung siehe auch Nummer 8.

(3) 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.

*Hinweis:* Siehe auch Anhang A.

### 3.2 Isolierende Materialien

(1) Gegenstände aus isolierenden Materialien können durch Reiben oder infolge betrieblicher Vorgänge aufgeladen werden. Beim Umgang mit isolierenden Gegenständen oder Einrichtungen sind in explosionsgefährdeten Bereichen andere Explosionsschutzmaßnahmen, wie z. B. Vermeiden explosionsfähiger Atmosphäre, zu ergreifen.

- Isolierende Gegenstände oder Einrichtungen dürfen in explosionsgefährdeten Bereichen nur benutzt werden, wenn gefährliche Aufladungen vermieden sind:  
In den Zonen 0 und 20 auch bei seltenen Betriebsstörungen,  
in den Zonen 1 und 21 auch bei Betriebsstörungen, mit denen üblicherweise zu rechnen ist, oder bei Wartung und Reinigung,  
in den Zonen 2 und 22 bei bestimmungsgemäßem Betrieb.  
*Hinweis:* An der Oberfläche isolierenden Materials können Büschelentladungen auftreten. Deren Energien 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. Siehe auch Nummer 6 "Elektrostatische Aufladungen beim Umgang mit Schüttgütern".
- Werden isolierende Gegenstände oder Einrichtungen mit leitfähiger oder ableitfähiger Beschichtung eingesetzt, ist diese zu erden bzw. mit Erde zu verbinden.
- Leitfähige oder ableitfähige Beschichtungen isolierende] Gegenstände oder Einrichtungen in den Zonen 0 und 1 erfordern einen Nachweis ihrer dauerhaften Wirksamkeit.  
*Hinweis:* Viele Materialien, die in der Vergangenheit als isolierend galten, wie z. B. Gummi oder Kunststoffe, sind mittlerweile in ableitfähigen Varianten erhältlich. Allerdings weisen diese Varianten in der Regel Additive auf, wie z. B. Ruß oder Graphit, welche die Eigenschaften des Ausgangsmaterials beeinträchtigen können.
- Bei textilen Gegenständen, in die leitfähige oder ableitfähige Fasern eingearbeitet sind, wie z. B. bei mit Kohlenstofffasern ausgerüsteten Filtergeweben, 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.

## TRBS 2153 - Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen

(2) Für die Auswahl geeigneter Gegenstände und Einrichtungen und für deren sicheren Betrieb in explosionsgefährdeten Bereichen sollen bevorzugt Maßnahmen in nachfolgender Reihenfolge gewählt werden:

- Zur Vermeidung von Büschelentladungen ist die Größe der Fläche isolierender Gegenstände gemäß den in Nummer 3.2.1 bzw. 3.2.2 aufgeführten Abmessungen zu begrenzen. Zur Vermeidung von Gleitstielbüschelentladungen sind isolierende Beschichtungen gemäß den in Nummer 3.2.3 angegebenen Bedingungen zu begrenzen.
- Können die vorgenannten Maßnahmen nicht umgesetzt werden, kann experimentell gemäß Nummer 3.2.4 nachgewiesen werden, dass gefährliche Aufladungen nicht zu erwarten sind.
- Können die objektbezogenen Maßnahmen nicht erfolgreich umgesetzt werden, müssen zur Vermeidung gefährlicher Aufladungen umgebungsbeeinflussende Maßnahmen gemäß den Nummern 3.2.5 und 3.2.6 angewendet werden.

### 3.2.1 Begrenzung der Abmessungen von Oberflächen isolierender Gegenstände und Einrichtungen

(1) 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.

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

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

(3) Für Explosionsgruppe I beträgt die höchstzulässige Oberfläche 100 cm<sup>2</sup>.

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

*Hinweis:* Maßgeblich für isolierende Oberflächen:

- bei Gegenständen mit planen Oberflächen ist die größte freie Fläche (siehe auch Tabelle 1a) heranzuziehen,
- bei Gegenständen mit gekrümmten Oberflächen ist die Projektion der größten Fläche (siehe auch Tabelle 1a) zu Grunde zu legen,
- für lange, dünne Gegenstände, wie z. B. Kabel oder Rohrleitungen, tritt an die Stelle der Oberfläche die höchstzulässige Breite oder der höchstzulässige Durchmesser nach der Tabelle 1b,
- ist der Gegenstand aufgewickelt, gelten jedoch die Werte wie für Gegenstände mit planen Oberflächen nach der Tabelle 1a.

**Tabelle 1a:** Höchstzulässige Oberflächen isolierender Gegenstände

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



**Tabelle 1b:** Höchstzulässige Durchmesser oder Breiten langgestreckter isolierender Gegenstände

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	Maßnahmen nur erforderlich, wenn erfahrungsgemäß zündwirksame Entladungen auftreten.		

(5) 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.

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

(6) Für die Zonen 20, 21 und 22 sind vergleichbare Flächenkriterien nicht bekannt.

*Hinweis 1:* Da Staub/Luft-Gemische durch Büschelentladungen nicht entzündet werden können, sind erfahrungsgemäß Flächenbegrenzungen nicht erforderlich.

*Hinweis 2:* Sicherheitstechnische Überlegungen zu Staub/ Luft-Gemischen siehe auch Nummer 6.

### 3.2.2 Begrenzung der isolierenden Oberfläche durch leitfähige Netze

Können die höchstzulässigen Abmessungen nach Nummer 3.2.1 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 eines der beiden folgenden Kriterien erfüllt:

1. Die von der Masche des Netzes oder vom Rahmen eingeschlossene Fläche überschreitet nicht das Vierfache der in der Tabelle 1a angegebenen Werte oder, wenn die Masche nicht vollständig aufliegt, das Zweifache der in der Tabelle 1a angegebenen Werte.
2. Die Stärke isolierender Materials oberhalb eines eingebauten Metallnetzes überschreitet nicht den Wert nach Nummer 3.2.3.1 und stark ladungserzeugende Prozesse kommen nicht vor.

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

### 3.2.3 Begrenzung isolierender Beschichtungen leitfähiger oder ableitfähiger Gegenstände und Einrichtungen

#### 3.2.3.1 Begrenzung der Beschichtungsstärke

Die Dicke isolierender Beschichtungen soll für

- von Stoffen der Explosionsgruppen IIA und IIB berührte Oberflächen 2 mm und
- von Stoffen der Explosionsgruppe IIC berührte Oberflächen 0,2 mm nicht überschreiten.

Der leitfähige oder ableitfähige Teil des Gegenstandes muss bei der Handhabung geerdet sein.

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

## TRBS 2153 - Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen

### 3.2.3.2 Begrenzung der Durchschlagspannung

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

*Hinweis:* Beschichtungen mit einer ausreichend geringen Durchschlagspannung, wie z. B. Farbanstriche, werden elektrisch durchschlagen, bevor sich eine für eine Gleitstielbüschelentladung ausreichende Ladungsmenge ansammeln kann. Zur Begrenzung der Durchschlagspannung textiler Gewebe, wie z. B. FIBC, siehe auch Anhänge A 3.4 und B.

(2) Bei Gasen und Dämpfen der Explosionsgruppe IIC sind zusätzliche Maßnahmen zur Vermeidung von Entzündungen zu treffen, sofern ladungserzeugende Prozesse nicht ausgeschlossen sind.

### 3.2.3.3 Trennen isolierender Folien von festen Grundkörpern

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

*Hinweis:* Bei Arbeitsprozessen, wie z. B. Abziehen von Schrumpffolien von Packmitteln, können gefährliche Aufladungen auftreten.

(2) In Zone 2 darf das Abziehen isolierender Folien nur dann erfolgen, wenn betriebsmäßig keine Entladungen auftreten.

### 3.2.4 Begrenzung der übertragenen Ladung

(1) Die von einem Gegenstand maximal übertragene Ladung darf die folgenden Werte nicht überschreiten:

60 nC für Explosionsgruppe I oder IIA,  
30 nC für Explosionsgruppe IIB,  
10 nC für Explosionsgruppe IIC.

*Hinweis:* Der Prüfgegenstand wird möglichst hoch aufgeladen und eine Entladung zu einer Kugelelektrode eines Coulombmeters provoziert.

(2) Folgende Maßnahmen können die von isolierenden Flächen übertragene Ladung reduzieren:

- grobe Strukturierung der Oberfläche; nur für die Explosionsgruppen I oder IIA,
- Einbau leitfähiger Koronaspitzen.

### 3.2.5 Befeuchtung der Luft

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

*Hinweis:* In vielen Fällen reicht eine Erhöhung der relativen Feuchte auf 65 % - bei 23 °C - aus. 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 jedoch für viele andere Materialien, wie z. B. Polytetrafluorethylen oder Polyethylen, nicht zu.

### 3.2.6 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.

### 3.2.6.1 Passive Ionisatoren

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

*Hinweis:* Passive Ionisatoren sind geerdete spitze Elektroden, wie 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.

### 3.2.6.2 Aktive Ionisatoren

(1) Aktive Ionisatoren eignen sich, lokale Ladungsansammlungen zu neutralisieren. Ihre Wirksamkeit hängt wesentlich von der richtigen Auswahl und Positionierung und von der regelmäßigen Reinigung der Ionisatoren ab.

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

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

*Hinweis:* 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.

### 3.2.6.3 Radioaktive Ionisatoren

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

(2) Radioaktive Ionisatoren dürfen nicht in Zone 0 verwendet werden.

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

### 3.2.6.4 Gebläse mit ionisierter Luft

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

*Hinweis:* 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 von mehr als 10 cm oft schwer aufrecht zu erhalten.

## 3.3 Folien- und Papierbahnen

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

(2) Diese Aufladung entsteht beim Abheben oder Trennen des isolierenden Trägermaterials von der Unterlage oder von den Führungs- und Druckelementen, wie 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.

*Hinweis:* 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 Druckhilfen am stärksten aufgeladen. Die Farbe selbst wird durch den in ihr rotierenden Zylinder beträchtlich aufgeladen, wozu ihre dispergierten Feststoffanteile stark beitragen.

## TRBS 2153 - Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen

(3) 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, wie z. B. durch die Feuchte des Trägermaterials,

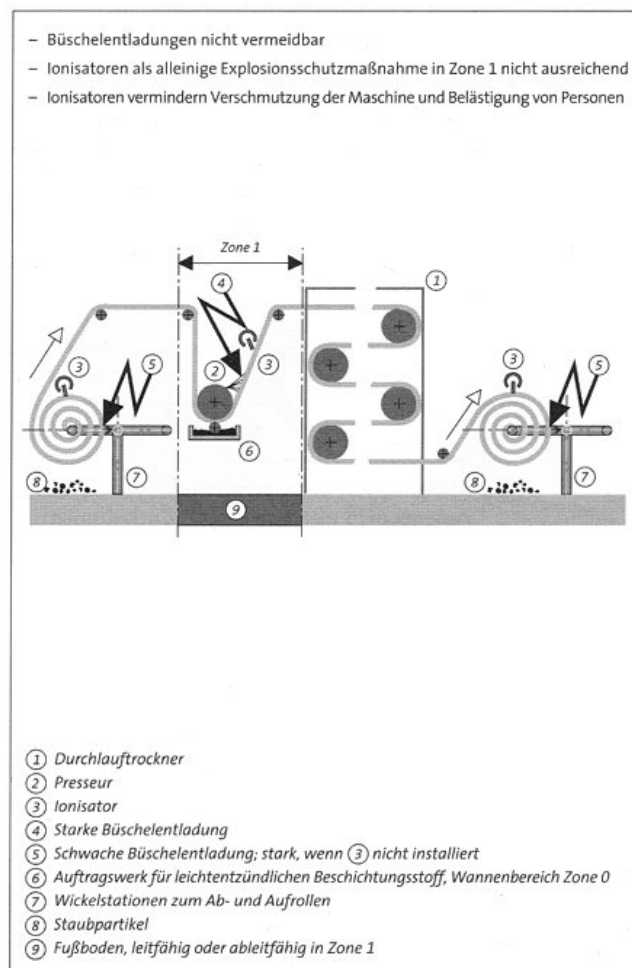
- Art, Oberflächenbeschaffenheit und Leitfähigkeit der Führungs- und Druckelemente, wie Rollen, Walzen und Zylinder,
- die Verarbeitungsgeschwindigkeit,
- konstruktionsbedingte zusätzliche Reibung zwischen Materialbahn und Rollen, Walzen und Zylindern beim Anlauf oder bei Geschwindigkeitsänderung von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

(4) Aufladungen können durch folgende Maßnahmen vermieden werden:

- Erdung aller leitfähigen Teile,
- Einsatz ableitfähiger Materialien für Rollen, Walzen, Zylinder und Trägermaterial,
- Erhöhung der Leitfähigkeit für Farben, Lacke, Klebstoffe, Lösemittel oder Schmiermittel auf mindestens 1.000 pS/m,
- Entladung der Papier- oder Folienbahnen auslaufseitig in der Mitte zwischen der Ablöselinie vom Presseur und der ersten Umlenkrolle und - falls notwendig - zusätzlich vor Eintritt in das Druck- oder Auftragswerk.

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

### Beispiel 1: Beschichten und Bedrucken isolierender Folien



### 3.4 Fördergurte

(1) 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.

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

(2) 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.

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

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

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

(5) Reparaturen ableitfähiger Fördergurte dürfen den Widerstand nicht erhöhen. Es gelten die Höchstgeschwindigkeiten der Tabelle 2

**Tabelle 2: Höchstgeschwindigkeiten für ableitfähige Fördergurte**

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

(6) Für Explosionsgruppe I gelten die gleichen Werte wie für Explosionsgruppe IIA.

(7) Für Bandgeschwindigkeiten  $v > 5$  m/s liegen keine Erfahrungen vor.

### 3.5 Antriebsriemen

(1) 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.

*Hinweis:* 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.

(2) Ein Antriebsriemen heißt ableitfähig, wenn für den Riemen gilt:

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

mit  $R$  = Widerstand des montierten Antriebsriemens gegen Erde. Die Messorte liegen jeweils auf der die Rollen berührenden Seite des Riemens und in der Mitte zwischen zwei Laufrollen.

$B$  = Bei Flachriemen die Riemenbreite, bei Keilriemen die doppelte Flankenbreite.

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

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

(4) 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.

(5) Riemenverbinder sind nicht zulässig.

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

(7) Reparaturen ableitfähiger Antriebsriemen dürfen den Widerstand nicht erhöhen.

(8) Für Antriebsriemen gelten die Höchstgeschwindigkeiten der Tabelle 3.

(9) Für Explosionsgruppe I gelten die gleichen Werte wie für Explosionsgruppe IIA.

(10) Erfahrungen bei Antriebsriemengeschwindigkeiten  $v > 30$  m/s liegen nicht vor.

**Tabelle 3:** Höchstgeschwindigkeiten für ableitfähige Antriebsriemen

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

#### 4 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 entstehende Ladungsmenge und die Höhe der Aufladung hängen von den Eigenschaften der Flüssigkeit, ihrer Strömungsgeschwindigkeit, dem Arbeitsverfahren sowie von der Größe und Geometrie des Behälters und von den Behältermaterialien ab.

#### 4.1 Einteilung von Flüssigkeiten

(1) Die entstehende Ladungsmenge einer Flüssigkeit nimmt mit der Größe vorhandener Grenzflächen, wie z. B. an Wandungen, und mit der Strömungsgeschwindigkeit zu. Eine zweite nicht mischbare Phase, wie 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  $K$  wie folgt eingeteilt:

niedrige Leitfähigkeit:  $K \leq 50 \text{ pS/m}$   
mittlere Leitfähigkeit:  $50 \text{ pS/m} < K \leq 1.000 \text{ pS/m}$   
hohe Leitfähigkeit:  $1000 \text{ pS/m} < K$

*Hinweis:* Die Leitfähigkeit ist der Kehrwert des spezifischen Widerstandes, z. B.  $1.000 \text{ pS/m}$  entsprechen  $10^9 \Omega\text{m}$ . Die hier genannten Bereiche niedrige, mittlere oder hohe Leitfähigkeit, sind nicht identisch mit den in Nummer 2 Ziffern 10, 12 und 13 genannten Bereichen für leitfähig, ableitfähig und isolierend. Messungen der Leitfähigkeit einer Flüssigkeit können unterschiedliche Werte ergeben, je nachdem, ob sie ruht oder nicht.

(2) 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, wie z. B. beim Versprühen oder wenn sie keinen Erdkontakt aufweisen, zu rechnen.

#### 4.2 Verfahrenstechnische Maßnahmen

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

(2) Alle leitfähigen Stoffe, Einrichtungen und Gegenstände sind zu erden und alle ableitfähigen mit Erde zu verbinden.

*Hinweis:* Hinsichtlich Erdung und Potenzialausgleich siehe auch Nummer 8.

(3) Arbeitsschritte, wie z. B. Rühren, Umpumpen, Dispergieren, dürfen nur in leitfähigen Behältern durchgeführt werden, es sei denn, die Leitfähigkeit der homogenen Phase beträgt mehr als  $1.000 \text{ pS/m}$ .

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

*Hinweis:* Mit speziellen Additiven kann die Leitfähigkeit einer Flüssigkeit auf über  $50 \text{ pS/m}$  erhöht werden, wie z. B. bei Flugzeugkraftstoffen. Oft genügen bereits Konzentrationen im ppm-Bereich.

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

Maßnahmen beim Rühren oder Schütteln können z. B. sein:

- das Begrenzen der Nennleistung des Rührwerks,
- das Vermeiden einer zweiten, nicht mischbaren Phase.

Maßnahmen beim Befüllen oder Entleeren eines Behälters können z. B. sein:

- das Begrenzen der Strömungsgeschwindigkeit in der Rohrleitung,

#### TRBS 2153 - Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen

*Hinweis:* Das Begrenzen der Strömungsgeschwindigkeit bezieht sich im Folgenden auf Flüssigkeiten im normalen Viskositätsbereich. Bei Flüssigkeiten hoher Viskosität, wie z. B. Schmierölen, sind darüber hinausgehende Maßnahmen erforderlich. Siehe auch Nummer 4.6.

- eine ausreichende Verweilzeit hinter Pumpen und Filtern, z. B. durch Berücksichtigen einer Zeitspanne vom Mehrfachen der Relaxationszeit (siehe auch Anhang E),
- das Vermeiden verspritzender Flüssigkeit, z. B. durch Unterspiegelabfüllung oder durch Füllrohrführung bis zum Boden bei der Kopfbefüllung oder mit Ablenkplatte bei der Bodenbefüllung,
- das Vermeiden von Gasblasen,
- das Vermeiden einer zweiten, nicht mischbaren Phase oder deren Aufwirbelung, z. B. von Wasser am Grund von Öltanks.

Maßnahmen beim Reinigen von Behältern mit Flüssigkeitsstrahler können z. B. sein:

- das Beschränken des Flüssigkeitsdruckes und -durchsatzes,
- das Vermeiden einer zweiten, nicht mischbaren Phase; insbesondere, wenn die Reinigungsflüssigkeit im Kreislauf geführt wird,
- das Vermeiden der Tankreinigung mit Dampfstrahl.

Maßnahmen beim Umgang mit Suspensionen können z. B. sein:

- das Verringern der Strömungsgeschwindigkeit. Maßnahmen sind auch:
- das Vermeiden isolierter, leitfähiger Gegenstände im Behälter sowie
- die regelmäßige Kontrolle der Flüssigkeit auf schwimmende Gegenstände.

(6) Weitergehende Maßnahmen, insbesondere beim Befüllen oder Entleeren, sind abhängig von der Behältergröße. In dieser TRBS wird zwischen

- großen,
- mittelgroßen und
- kleinen

Behälter unterschieden.

### **4.3 Große Behälter**

(1) Große Behälter im Sinne dieser TRBS sind Behälter mit einer Diagonalen  $L > 5$  m oder einem Behälterinhalt  $V > 50$  m<sup>3</sup>. Dazu gehören z. B. Lagertanks und auch Ladetanks von Schiffen.

(2) Behälter aus ausschließlich ableitfähigem Material werden wie Metallbehälter behandelt.

(3) Große Behälter aus ableitfähigem Kunststoff oder mit ableitfähigen Kunststoffbeschichtungen, sind mit der Aufschrift "elektrostatisch ableitfähig" zu versehen.

(4) Ortsfeste große Behälter müssen Erdkontakt besitzen und ortsbewegliche müssen mit Erdungseinrichtungen ausgerüstet sein.

*Hinweis:* Große Behälter aus nichtmetallischen Werkstoffen erfordern eine gesonderte Beurteilung.

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



### 4.3.1 Begrenzung der Strömungsgeschwindigkeit

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

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

- von der Verunreinigung der Flüssigkeit mit einer anderen, mit ihr nicht mischbaren Phase.

*Hinweis:* Eine Flüssigkeit ist verunreinigt, wenn sie mehr als 0,5 Vol.-% freie, nicht mischbare Flüssigkeit, wie z. B. Wasser in Benzin, oder wenn sie mehr als 10 mg/l suspendierte Feststoffe enthält.

- der Füllvorgang befindet sich noch in der Anfangsphase.

*Hinweis 1:* 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 Zweifache des Füllrohrdurchmessers überdeckt sind.

*Hinweis 2:* Bei Tanks mit Schwimmdach oder inneren Schwimmdecken endet die Anfangsphase beim Aufschwimmen des Daches oder der Abdeckung.

*Hinweis 3:* Liegt Wasser in den Rohrleitungen vor, endet die Anfangsphase, nachdem das vorhandene Wasser vollständig beseitigt wurde.

*Hinweis 4:* Erfahrungsgemäß liegt kein Wasser in den Rohrleitungen mehr vor, nachdem das Zweifache des Rohrleitungsinhaltes in den Tank gelaufen ist oder die Befüllung bei niedriger Strömungsgeschwindigkeit 30 Minuten angedauert hat.

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

*Hinweis:* Bei Strömungsgeschwindigkeiten  $v < 7$  m/s ist erfahrungsgemäß nicht mit gefährlichen Aufladungen zu rechnen.

(6) Da für mittlere Leitfähigkeiten von 50 pS/m bis 1.000 pS/m nur geringe Erfahrungswerte vorliegen, ist es zweckmäßig, die Werte der Tabelle 4 auch für diese Flüssigkeiten anzuwenden.

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

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	

### 4.3.2 Tanks mit Festdach

(1) Neben den Maßnahmen nach Nummer 4.2 sind alle leitfähigen Teile der Tanks und alle dazugehörigen leitfähigen Ausrüstungen, wie Rohre, Pumpen, Filtergehäuse, zu erden.

(2) Bei Flüssigkeiten niedriger Leitfähigkeit sind folgende zusätzliche Maßnahmen erforderlich:

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

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

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

*Hinweis:* 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.  
*Hinweis 1:* Wichtige Parameter beim Befüllen und für das Vermeiden von Turbulenzen sind der Querschnitt des Füllrohres, die Strömungsgeschwindigkeit sowie die Steuerung des Füllrohres bei Unterspiegelbefüllung.  
*Hinweis 2:* Vermeiden von Turbulenz bewirkt, dass einfließende, aufgeladene Flüssigkeit eher am Boden des Tanks verbleibt und nicht an die Oberfläche gelangt. Abgesetzte, nicht mischbare Flüssigkeiten, wie z. B. Bodenwasser, Feststoffe oder Sedimente, werden ohne Turbulenz nicht aufgewirbelt.
- Strömungsgeschwindigkeiten und Durchmesser des Füllrohres sind so zu wählen, dass die Strömungsgeschwindigkeiten weder zu Beginn noch danach die höchstzulässigen Werte nach Nummer 4.3.1 überschreiten.

### 4.3.3 Tanks mit Schwimmdach oder innerer Schwimmdecke

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

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

*Hinweis:* Schwimmkörper werden eingesetzt, um die Verdunstung im Tank zu beschränken. Sie können sich gefährlich aufladen, wenn sie nicht mit Erde verbunden sind.

(3) Strömungsgeschwindigkeiten und Durchmesser des Füllrohres sind so zu wählen, dass die Strömungsgeschwindigkeiten weder zu Beginn noch danach die höchstzulässigen Werte nach Nummer 4.3.1 überschreiten.

(4) In der Anfangsphase ist Folgendes zu berücksichtigen:

- Hinter Einrichtungen, die Flüssigkeiten aufladen, wie 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.

*Hinweis:* Damit wird die Ansammlung von Ladungen im Tank verringert.

## TRBS 2153 - Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen

(5) Die einfließende Flüssigkeit darf keine gasförmige Phase, wie z. B. Luft oder Gasblasen, enthalten.

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

#### **4.4 Mittelgroße Behälter**

(1) Mittelgroße Behälter im Sinne dieser TRBS sind Behälter mit einer Diagonalen  $L \leq 5$  m oder einem Rauminhalt  $1 \text{ m}^3 < V < 50 \text{ m}^3$ . Dazu gehören z. B. Reaktionsbehälter und die Behälter von Straßentank- oder Eisenbahnkesselwagen.

(2) Unabhängig von der Leitfähigkeit der Flüssigkeit sind die Maßnahmen zur Begrenzung der Ladungserzeugung nach Nummer 4.2 zu treffen.

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

*Hinweis:* Siehe auch Nummer 4.9.

(4) Die Leitungen dürfen mit Luft oder anderen Gasen nur dann gereinigt werden, wenn unterhalb der höchstzulässigen Strömungsgeschwindigkeit gearbeitet wird.

##### **4.4.1 Begrenzung der Strömungsgeschwindigkeit**

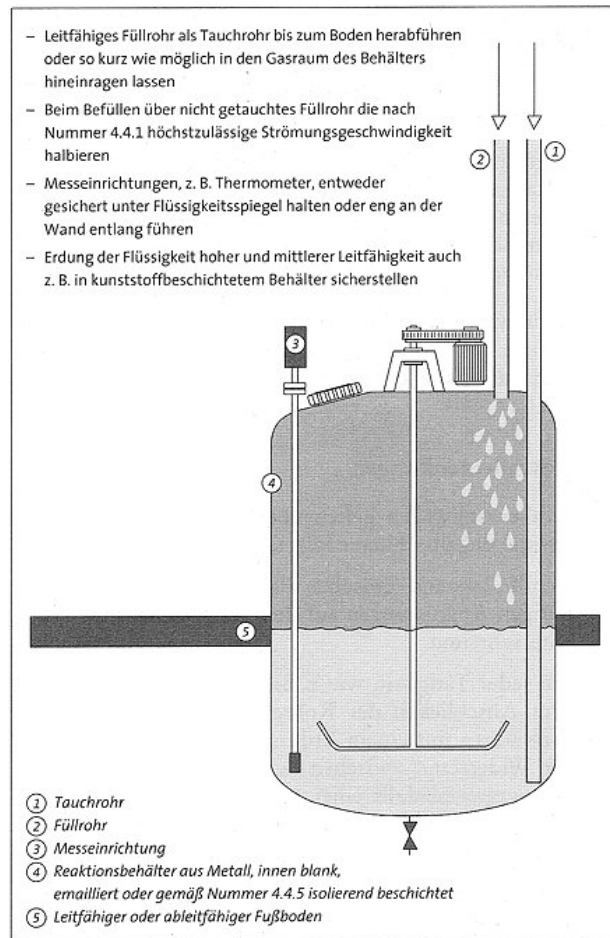
(1) Die Strömungsgeschwindigkeit ist zu begrenzen. Die höchstzulässige Strömungsgeschwindigkeit hängt von Größe und Form des Behälters, der Füllmethode, wie z. B. Kopf- oder Bodenbefüllung, dem Durchmesser der Leitung zum Behälter und der Leitfähigkeit der Flüssigkeit ab und darf 7 m/s nicht überschreiten.

*Hinweis:* Beim Befüllen von quader- oder kugelförmigen Behältern von etwa 5 m<sup>3</sup> Rauminhalt - das entspricht in etwa der Größe und Form eines Teilraums bei Straßentankwagen - kann es auf Grund ihrer Geometrie am ehesten zu gefährlichen Aufladungen kommen.

(2) 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.

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

## Beispiel 2: Befüllen mittelgroßer Behälter



(3) Für höchstzulässige Strömungsgeschwindigkeiten einphasiger Flüssigkeiten niedriger Leitfähigkeit, wie z. B. gesättigte kohlenwasserstoffhaltige Flüssigkeiten ohne freies Wasser, gilt:

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

$$v \square d/N = 0,50 \text{ m}^2/\text{s} \text{ für Boden- oder Kopfbefüllung mit zentralem Leiter}$$

mit  $v$  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]

*Hinweis:* An die Stelle 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  $L < 2,0 \text{ m}$  wobei  $L$  Tankkammerlänge [m]

=

$N = (L/2)^{0,5}$  für  $2,0 \text{ m} \leq L \leq 4,5 \text{ m}$

=

$N = 1,5$  für  $4,5 \text{ m} < L$

=

*Hinweis:* Bei der Kopfbefüllung wirkt das Füllrohr als zentraler Leiter und reduziert das maximale elektrische Potenzial im Tank. Zentraler Leiter ist ein in der Mitte des Behälters befindlicher geerdeter leitfähiger Gegenstand, wie z. B. ein Füllrohr oder ein Stahlseil.

(4) Bei der Bestimmung der Länge einer Tankkammer werden Schwallbleche nicht berücksichtigt.

(5) Liegt z. B. bei der Bodenbefüllung der Kammer eines Straßentankwagens kein zentraler Leiter vor, ist die Strömungsgeschwindigkeit nach der ersten Formel in Absatz 3 zu bestimmen, die um 25 % niedrigere Strömungsgeschwindigkeiten ergibt.

(6) Da für mittlere Leitfähigkeiten von 50 pS/m bis 1.000 pS/m nur geringe Erfahrungswerte vorliegen, ist es zweckmäßig, die Werte der Tabelle 5 auch für diese Flüssigkeiten anzuwenden.

#### 4.4.2 Straßentankwagen

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

1. Der Widerstand zwischen Fahrwerk, Tank und zugehörigen Ausrüstungen auf dem Tankwagen muss  $10^6 \Omega$  unterschreiten.
2. Vor jeder Tätigkeit, wie z. B. dem Öffnen der Deckel, dem 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.
3. Verriegelungen, die eine Be- oder Entladung bei nicht angeschlossenem oder nicht wirksamem Erdungskabel verhindern, sind zweckmäßig.
4. 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.
5. 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.
6. Beim Umgang mit Flüssigkeiten, die eine niedrige Leitfähigkeit aufweisen, gilt für die höchstzulässige Strömungsgeschwindigkeit  $v$ :

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

$v \leq d/N = 0,50 \text{ m}^2/\text{s}$  für Boden- oder Kopfbefüllung mit zentralem Leiter

zu  $v$ ,  $d$  und  $N$  siehe auch Nummer 4.4.1 (3)

*Hinweis:* Zahlenbeispiele sind in der Tabelle 5 aufgeführt.

7. Bei Kopfbefüllung ist das Tauchrohr bis auf den Grund des Tanks herabzusenken, bevor mit der Befüllung begonnen wird.
8. Straßentankwagen sollen unter freiem Himmel während eines Gewitters nicht ohne Blitzschutz mit brennbaren Flüssigkeiten befüllt werden.
9. Da für mittlere Leitfähigkeiten von 50 pS/m bis 1.000 pS/m nur geringe Erfahrungswerte vorliegen, ist es zweckmäßig, die Werte der Tabelle 5 auch für diese Flüssigkeiten anzuwenden.
10. Werden bei Wechselbeladung ("switch loading") schwefelarme Kraftstoffe eingesetzt, sind verringerte ( $v \leq d$ ) Werte gemäß der Tabelle 6 anzuwenden.

**Tabelle 5:** Höchstzulässige Strömungsgeschwindigkeiten  $v$  für das Befüllen von Straßentankwagen mit Flüssigkeiten niedriger Leitfähigkeit (mit  $N = 1$ )

Straßentankwagen ( $N = 1$ )				
Füllrohrdurchmesser $d$ [m]	Boden- oder Kopfbefüllung mit zentralem Leiter $v \square d/N = 0,50 \text{ m}^2/\text{s}$		Bodenbefüllung ohne zentralen Leiter $v \square d/N = 0,38 \text{ m}^2/\text{s}$	
	Strömungs- geschwindigkeit $v$ [m/s]	Volumen- strom [m <sup>3</sup> /min]	Strömungs- geschwindigkeit $v$ [m/s]	Volumen- strom [m <sup>3</sup> /min]
0,05	7,0*	0,83	7,0*	0,83
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

\*) Der errechnete Wert wird nach Nummer 4.4.1 auf 7,0 m/s begrenzt.

**Tabelle 6:** Höchstzulässige Werte für  $v \square d$  von Kraftstoffen in Abhängigkeit von Schwefelgehalt und Leitfähigkeit (mit  $N = 1$ )

Schwefelgehalt [ppm]	Leitfähigkeit $K$ [pS/m]		
	$\kappa > 50$	$50 \geq \kappa > 10$	$\kappa < 10$ oder unbekannt
> 50	$v \square d < 0,5$	$v \square d < 0,5$	$v \square d < 0,38$
$\leq 50$	$v \square d < 0,5$	$v \square d < 0,38$	$v \square d < 0,25$

#### 4.4.3 Eisenbahnkesselwagen

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

1. Die Widerstände zwischen den beiden Schienen des Gleiskörpers untereinander sowie zwischen dem Gleiskörper und der Ladungsbrücke müssen  $10^6 \Omega$  unterschreiten.
2. 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.
3. Wird, um Streuströme zu verhindern, ein Isolierflansch in die Fülleitung 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.
4. Werden Flüssigkeiten mit niedriger Leitfähigkeit verladen, gilt unabhängig von der Länge der Tankkammer ( $N = 1,5$ ) für die höchstzulässige Strömungsgeschwindigkeit  $v$ :

$v \square d/N = 0,35 \text{ m}^2/\text{s}$  für Wechselbeladung schwefelarmer Kraftstoffe niedriger Leitfähigkeit

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

$v \square d/N = 0,50 \text{ m}^2/\text{s}$  für Boden- oder Kopfbefüllung mit zentralem Leiter

Zu  $v$ ,  $d$  und  $N$  siehe auch Nummer 4.4.1 (3).

*Hinweis:* Zahlenbeispiele sind in der Tabelle 7 aufgeführt.

5. Bei Kopfbefüllung ist das Tauchrohr bis auf den Grund des Tanks herabzusenken, bevor mit der Befüllung begonnen wird.
6. Eisenbahnkesselwagen sollen unter freiem Himmel während eines Gewitters nicht ohne Blitzschutz mit brennbaren Flüssigkeiten befüllt werden.

**Tabelle 7:** Höchstzulässige Strömungsgeschwindigkeiten  $v$  für das Befüllen von Eisenbahnkesselwagen mit Flüssigkeiten niedriger Leitfähigkeit (mit  $N = 1,5$ )

Eisenbahnkesselwagen ( $N = 1,5$ )				
Füllrohrdurchmesser $d$ [m]	Boden- oder Kopfbefüllung mit zentralem Leiter $v d/N = 0,50 \text{ m}^2/\text{s}$		Bodenbefüllung ohne zentralen Leiter $v d/N = 0,38 \text{ m}^2/\text{s}$	
	Strömungsgeschwindigkeit $v$ [m/s]	Volumenstrom [m <sup>3</sup> /min]	Strömungsgeschwindigkeit $v$ [m/s]	Volumenstrom [m <sup>3</sup> /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

\* Der errechnete Wert wird nach Nummer 4.4.1 auf 7,0 m/s begrenzt.

7. Da für mittlere Leitfähigkeiten von 50 pS/m bis 1.000 pS/m nur geringe Erfahrungswerte vorliegen, ist es zweckmäßig, die Werte der Tabelle 7 auch für diese Flüssigkeiten anzuwenden.
8. Werden bei Wechselbeladung ("switch loading") schwefelarme Kraftstoffe eingesetzt, sind verringerte ( $v \propto d$ ) Werte gemäß der Tabelle 6 anzuwenden.
9. 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 geerdet sind oder nicht gefährlich aufgeladen werden.

#### 4.4.4 Ableitfähige Behälter

(1) Mittelgroße Behälter aus ausschließlich ableitfähigem Material werden wie Metallbehälter behandelt.

(2) Mittelgroße Behälter aus ableitfähigem Kunststoff oder mit ableitfähigen Kunststoffbeschichtungen sind mit der Aufschrift "elektrostatisch ableitfähig" zu versehen. Ortsfeste Behälter müssen Erdkontakt besitzen und ortsbewegliche mit Erdungseinrichtungen ausgerüstet sein.

#### 4.4.5 Leitfähige oder ableitfähige Behälter mit isolierender Innenbeschichtung

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

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

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

(4) Für innenbeschichtete Behälter gilt ferner:

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

#### **4.4.6 Leitfähige oder ableitfähige Behälter mit isolierender Außenbeschichtung**

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

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

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

#### **4.4.7 Leitfähige oder ableitfähige Behälter mit mehrfacher Beschichtung**

(1) Über die Anforderungen der Nummern 4.4.5 und 4.4.6 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 der Tabelle 1a für Zone 0 angegebene Wert.

*Hinweis:* Siehe auch Nummer 3.2.1.

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

#### **4.4.8 Isolierende Behälter**

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

*Hinweis:* 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 Nummer 4.4.5 eingesetzt werden.



## 4.5 Kleine Behälter

(1) Kleine Behälter im Sinne dieser TRBS sind Behälter mit einem Volumen  $V \leq 1 \text{ m}^3$ . Sie sind in der Regel aus Metall oder beschichtetem Metall, aus Kunststoffen oder umwehrten und ummantelten Kunststoffen oder aus Glas hergestellt.

*Hinweis:* Beispiele für diese Behälter sind Container, Fässer, Kanister, Flaschen. Glasbehälter siehe auch Nummer 4.13.

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

### 4.5.1 Leitfähige oder ableitfähige Behälter

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

*Hinweis:* Ein Metalltrichter darf nicht, wie z. B. durch eine Kunststoffmuffe, vom Behälter isoliert sein.

(2) Isolierende Teile, wie z. B. Kunststofftrichter, dürfen nicht eingesetzt werden. Ausnahmen siehe auch Nummern 4.5.5 und 4.8.

(3) Beim Befüllen des Behälters mit Flüssigkeiten der Explosionsgruppen IIC und IIB mit MZE  $< 0,2 \text{ mJ}$  oder mit mehrphasigen Flüssigkeiten, deren kontinuierliche Phase eine niedrige Leitfähigkeit aufweist, darf die höchstzulässige Strömungsgeschwindigkeit von  $1 \text{ m/s}$  nicht überschritten werden.

### 4.5.2 Leitfähige oder ableitfähige Behälter mit isolierender Innenbeschichtung

(1) Zur Vermeidung von Büschelentladungen dürfen Beschichtungsstärken  $2 \text{ mm}$  nicht überschreiten. Werden beschichtete Behälter für Stoffe der Explosionsgruppe IIG verwendet, dürfen nur Beschichtungsstärken  $D < 0,2 \text{ mm}$  verwendet werden.

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

(2) Stark ladungserzeugende Prozesse, wie z. B. wiederholtes schnelles Befüllen, sind zu vermeiden, es sei denn, die Innenbeschichtung besitzt eine Durchschlagspannung  $U_D < 4 \text{ kV}$ .

*Hinweis:* Andernfalls können auf der beschichteten Innenseite hohe Ladungsdichten auftreten, die zu zündwirksamen Gleitstielbüschelentladungen führen.

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

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

### 4.5.3 Leitfähige oder ableitfähige Behälter mit isolierender Außenbeschichtung

Gegen die durch die Beschichtung zusätzlich auftretenden Gefahren sind die Maßnahmen für mittelgroße Behälter nach Nummer 4.4.6 zu treffen.

#### 4.5.4 Isolierende Behälter mit leitfähiger Umhüllung

(1) Isolierende Behälter mit leitfähiger Umhüllung dürfen für brennbare Flüssigkeiten der Explosionsgruppe IIC und IIB mit MZE < 0,2 mJ nicht verwendet werden.

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

(2) Für alle anderen als die in (1) genannten brennbaren Flüssigkeiten muss nachgewiesen sein, dass weder die Außen- und Innenflächen des Behälters noch die Flüssigkeit im Behälter gefährlich aufgeladen werden können.

*Hinweis:* Ein Beispiel isolierender Behälter mit leitfähiger Umhüllung ist der gitterummantelte oder außen leitfähig beschichtete, quaderförmige Kunststoffbehälter auf Palette, der so genannte "Intermediate Bulk Container" (IBC).

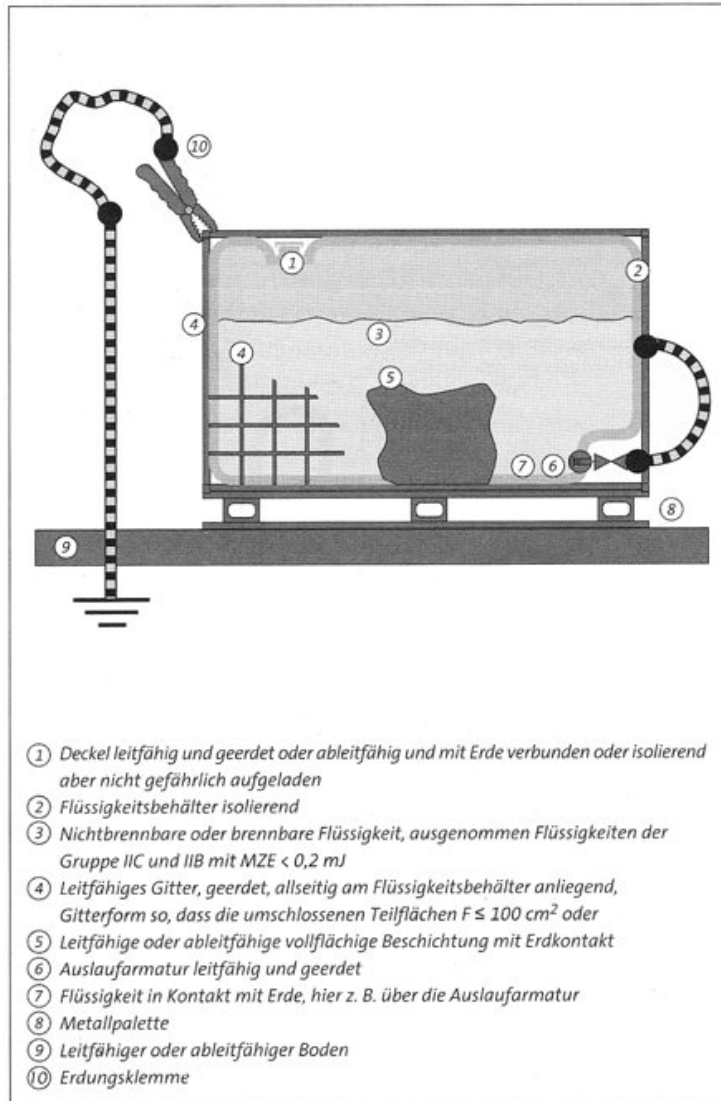
(3) Die Arbeitsschritte Befüllen, Transportieren, Lagern, Bereithalten vor Ort und Entleeren eines derartigen Behälters, wie z. B. IBC, gelten als sicher, wenn die nachfolgenden neun Mindestanforderungen erfüllt werden:

1. Die Behälterblase besitzt eine Wandstärke  $s \leq 2$  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  $A \leq 100$  cm<sup>2</sup> sein,
  - muss das Gitter an allen sechs 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,  
*Hinweis:* Konstruktionsbedingte Stellen sind z. B. Stützen und Armaturenanschlüsse.
  - kann ein größerer Abstand nur an Ecken und Kanten toleriert werden.  
*Hinweis:* Ecken und Kanten der Behälterblase sind meist abgerundet, um Stoß- und Fallprüfung zu bestehen.
3. Kleine Flächen, wie z. B. Schraubdeckel, die nicht durch die Umhüllung geschützt sind, müssen die Anforderungen nach Nummer 3.2 erfüllen.
4. Zwischen der Flüssigkeit im Behälter und der Behälterumhüllung muss eine dauerhaft leitfähige Verbindung bestehen.
5. Alle leitfähigen Teile des Behälters müssen untereinander dauerhaft leitfähig verbunden sein.
6. Die Umhüllung des Behälters muss beim Befüllen und Entleeren geerdet sein. Siehe auch Nummer 8.3.3.  
*Hinweis:* Der elektrische Widerstand zwischen Behälterumhüllung und anderen leitfähigen Teilen des Behälters sowie der Kontaktfläche zum Fußboden darf  $10^6$  Ω 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.  
*Hinweis:* 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.

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

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

### Beispiel 3: Befüllen und Entleeren von Intermediate Bulk Containern (IBC) in Zone 1



#### 4.5.5 Isolierende Behälter

(1) Bei isolierenden Behältern ist die Wahrscheinlichkeit gefährlicher Aufladungen höher einzuschätzen als bei anderen Behältern, da leitfähige oder ableitfähige Behälterwände nicht zur Verfügung stehen.

*Hinweis:* Insbesondere können Gefährdungen ausgehen von:

- isolierten leitfähigen oder ableitfähigen Gegenständen oder Stoffen, wie 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.

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

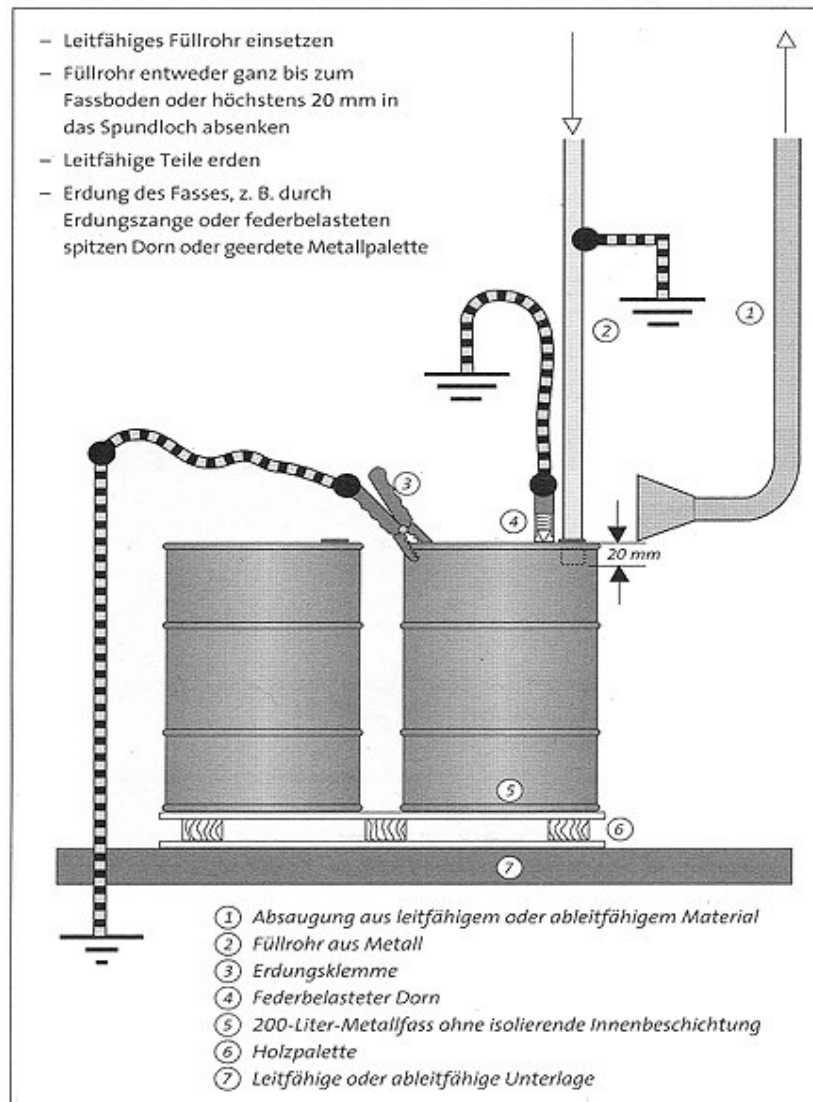
- Flüssigkeiten hoher oder mittlerer Leitfähigkeit sind mit Erde zu verbinden, wie z. B. durch ein geerdetes leitfähiges Einfüllrohr bei Unterspiegelabfüllung.
- Die Strömungsgeschwindigkeit darf bei mehrphasigen Flüssigkeiten 1 m/s nicht übersteigen.

(3) In Zone 1 beträgt die höchstzulässige Strömungsgeschwindigkeit 1 m/s. Das höchstzulässige Volumen beträgt 5 l.

*Hinweis:* Bei bestimmungsgemäßer Verwendung sind gefährliche Aufladungen durch Ein- und Ausströmen von Flüssigkeiten nicht zu erwarten, wie z. B. bei Kanistern für Otto-Kraftstoffe.

(4) In Zone 0 dürfen unabhängig von den Eigenschaften der Flüssigkeit isolierende Behälter nicht eingesetzt werden. Hiervon sind Behälter zur Probenahme nach Nummer 4.8 ausgenommen.

#### Beispiel 4: Befüllen von Fässern in Zone 1



**Beispiel 5:** Befüllen kleiner Kunststoffkanister in Zone 1

