

Sichere Technik

Elektrostatik

Antworten auf häufig gestellte Fragen



T 051

DGUV Information 213-117

Stand: August 2024 (Überarbeitung der Ausgabe 7/2016)

Inhaltsverzeichnis dieses Ausdrucks

Titel	7
VISION ZERO	8
1 Einleitung	9
2 Begriffsbestimmungen	9
2.1 Welcher Zusammenhang besteht zwischen der ehemaligen BGR 132 und der TRGS 727? .	9
2.2 Wann werden elektrostatische Aufladungen als gefährliche Aufladungen bezeichnet?	10
2.3 Wann müssen Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladung vermieden werden?	10
2.4 Was ist unter den Begriffen „leitfähig“, „ableitfähig“ und „isolierend“ zu verstehen?	10
2.5 Was ist unter den Begriffen „antistatisch“ und „dissipativ“ zu verstehen?	11
2.6 Was ist unter aufladbar zu verstehen?	11
2.7 Was ist unter Leitfähigkeit zu verstehen?	11
2.8 Was ist unter den Begriffen „Spezifischer Widerstand“, „Oberflächenwiderstand“, - „Ableitwiderstand“ und „Durchgangswiderstand“ zu verstehen?	12
2.9 Was unterscheidet den spezifischen Oberflächenwiderstand vom Oberflächenwiderstand? .	12
2.10 Welche Bedeutung hat die Mindestzündenergie?	12
2.11 Welche Bedeutung hat die Mindestzündladung?	13
2.12 Gibt es eine physikalische Größe mit einem Grenzwert, bei dessen Überschreitung eine Gleitstielbüschelentladung auftreten kann?	13
2.13 Ab welchen Trenn- oder Transportgeschwindigkeiten ist ein Prozess stark ladungserzeugend?	13
2.14 Warum werden in der TRGS 727 im Gegensatz zu anderen Regelwerken, zum Beispiel IEC TS 60079-32-1, keine Saugfahrzeuge behandelt?	14
2.15 Warum werden in der TRGS 727 keine anderen Normen erwähnt oder zitiert?	14
2.16 Warum wird für die Beurteilung elektrostatischer Zündgefahren die Mindestzündenergie ohne Induktivität zugrunde gelegt?	14
2.17 Was muss bei der Messung des Oberflächenwiderstands mit den üblichen Elektroden (Ring-, Streifen-, 2-Punkt-Elektrode) beachtet werden?	15
3 Elektrostatische Aufladungen von Gegenständen und Einrichtungen	16
3.1 Kann eine gefährliche Entladung durch einfache Messmethoden ermittelt oder die Höhe der Aufladung eines Gegenstandes gemessen und bewertet werden?	16
3.2 Wie sind „natürliche“ Materialien wie Baumwolle, Leder, Holz, Pappe oder Karton und Papier elektrostatisch zu bewerten?	17
3.3 Können isolierende Kunststoffe durch Zugabe sogenannter Antistatika ableitfähig gemacht werden?	17
3.4 Sind Antistatika in Kunststoffen oder auf Folien zeitlich unbegrenzt wirksam?	17
3.5 Sind in Kraftfahrzeugen mitgeführte metallische Gegenstände, zum Beispiel ein Radkeil, separat mit Erde zu verbinden, wenn sich das Fahrzeug in einem explosionsgefährdeten Bereich befindet?	18
3.6 Wie müssen isolierende Gegenstände, zum Beispiel aus Kunststoff, geerdet werden?	18
3.7 Dürfen Gegenstände aus isolierenden Materialien in Zone 2 verwendet werden?	18
3.8 Welche Maßnahmen gegen Büschelentladungen sind bei der Verwendung isolierender Gegenstände, zum Beispiel solcher aus Kunststoffen, zu treffen?	18
3.9 Sind Büschelentladungen oder Funkenentladungen zündwirksamer für Gemische aus Gasen und Dämpfen mit Luft?	19
3.10 Die Tür zu einem Biogasspeicher besitzt 3 cm breite und 1 cm dicke elastische Dichtungen. Sie dichten das Türblatt gegen den Türrahmen ab. Können diese Dichtungen gefährlich aufgeladen werden?	19
3.11 Die Tür eines Biogasspeichers soll zur Vermeidung von Korrosion auf der Innenseite 1 mm dick mit Kunststoff beschichtet werden. Ist mit einer gefährlichen Aufladung zu rechnen?	19
3.12 Dürfen Handhubwagen in Zone 1 eingesetzt werden, wenn diese auf leitfähigen Rollen Kontakt zum Fußboden besitzen?	20
3.13 Was ist beim Einsatz von Feuerlöschgeräten zu beachten?	20
3.14 Was sind die Grenzen von Ladungstransfermessungen?	20
3.15 Dürfen Etiketten aus isolierendem Material in explosionsgefährdeten Bereichen angebracht beziehungsweise entfernt werden?	21

3.16 Treten Gleitstielbüschelentladungen nur bei isolierenden Beschichtungen leitfähiger oder ableitfähiger Oberflächen auf?	21
3.17 Aus Gründen der Qualitätssicherung kann es erforderlich sein, bei der Herstellung von Beschichtungsmassen, Geräte in Zone 1 mit Folien abzudecken, um diese vor Verunreinigungen zu schützen. Ist dies gemäß TRGS 727 zulässig?	22
3.18 Ist es zweckmäßig, Ionisatoren einzusetzen, wenn Folien auf- oder abgewickelt oder bedruckt werden?	22
3.19 Ist die Erhöhung der relativen Luftfeuchte als alleinige Maßnahme geeignet, um gefährliche Aufladungen zu vermeiden?	23
4 Elektrostatische Aufladungen beim Umgang mit Flüssigkeiten	23
4.1 Es werden innen mit PTFE beschichtete Rohrleitungen und Armaturen, zum Beispiel Ventile eingesetzt. Können diese gefährlich aufgeladen werden?	23
4.2 Was ist bei der Verwendung von Schlauchleitungen in explosionsgefährdeten Bereichen der Zone 1 oder Zone 2 zur Vermeidung elektrostatischer Zündgefahren zu beachten?	23
4.3 Was ist bei der Verwendung von leit- oder ableitfähigen Schlauchleitungen mit isolierender Auskleidung für die Förderung von leicht entzündbaren Flüssigkeiten niedriger Leitfähigkeit der Explosionsgruppe IIB zu beachten?	24
4.4 Darf man isolierende Schlauchleitungen in DN20 zur Förderung von Wasser in einem explosionsgefährdeten Bereich der Zone 1 verwenden?	24
4.5 Sind Schlauchleitungen für die Verwendung in Zone 1 zu prüfen? Wenn ja, in welchen Intervallen soll eine wiederkehrende Prüfung erfolgen?	25
4.6 Sind leitfähige Gegenstände in Laborsicherheitsschränken, die brennbare Lösemittel enthalten, zu erden?	25
4.7 Muss der Spritzschutz an Flanschen in explosionsgefährdeten Bereichen der Zone 1 aus ableitfähigem Material bestehen?	25
4.8 Dürfen Kunststoffküken an Armaturen von Leitungen brennbarer Flüssigkeiten eingesetzt werden?	26
4.9 Müssen bei einer Glasapparatur in Zone 1 alle Metallteile geerdet werden?	26
4.10 Helfen Antistatika beim Handhaben von Flüssigkeiten?	26
4.11 Sind für die Aufbewahrung lösemittelfeuchter Putzlappen ableitfähige oder leitfähige Behälter notwendig? - Muss eine Erdverbindung hergestellt werden?	27
4.12 Dürfen wassermischbare Lösemittel hoher Leitfähigkeit, zum Beispiel Ethanol, in isolierenden Kunststoffbehältern von mehr als 5 l Volumen zur Anwendung bereitgehalten werden?	27
4.13 Wie ist mit angelieferten isolierenden Kunststoffbehältern von mehr als 5 l zu verfahren, die brennbare Flüssigkeiten enthalten?	27
4.14 Für die Aufnahme verbrauchter Lösemittel wird ein Sammelbehälter aus Stahl verwendet, der bisher mit Erde verbunden ist. Zur Vermeidung von Korrosion soll er durch ein Kunststofffass ersetzt werden. Was ist hier zu tun?	28
4.15 Dürfen langsam laufende Rührwerke bei der Herstellung von Lacken auf Basis brennbarer isolierender Lösemittel in 60 l Kunststoffgebinden verwendet werden, wenn das Rührorgan mit einer Zwangsabsaugung versehen und der Behälter mit einem Metalldeckel verschlossen ist? .	28
4.16 Dürfen Rigid Intermediate Bulk Container (RIBC), bestehend aus einer Kunststoffblase in einer großmaschigen Metallgitterbox, in Zone 1 mit nicht brennbaren Flüssigkeiten befüllt oder entleert werden?	28
4.17 Eine angelieferte brennbare Flüssigkeit befindet sich in einem Rigid Intermediate Bulk Container (RIBC). Wie kann dieser sicher in Zone 1 entleert werden?	29
4.18 Darf in Zone 2 ein Rigid Intermediate Bulk Container (RIBC), bestehend aus einer Kunststoffblase in einer großmaschigen Metallgitterbox, mit brennbarer Flüssigkeit befüllt werden? Was ist beim Entleeren des RIBC zu beachten?	29
4.19 Darf in Zone 2 ein Rigid Intermediate Bulk Container (RIBC), bestehend aus einer Kunststoffblase in einer großmaschigen Metallgitterbox, mit nicht brennbarer Flüssigkeit befüllt werden? Was ist beim Entleeren des RIBC zu beachten?	29
4.20 Dürfen in Zone 2 Rigid Intermediate Bulk Container (RIBC), bestehend aus einer Kunststoffblase in einer großmaschigen Metallgitterbox, als Produktionsbehälter für Zwischenprodukte verwendet werden?	30
4.21 Eine brennbare Flüssigkeit wird in Rigid Intermediate Bulk Containern (RIBC) mit ca. 1000 l Fassungsvermögen angeliefert. Sind RIBC mit Gitterummantelung oder solche mit Blechummantelung zur Vermeidung gefährlicher Aufladungen vorzuziehen?	30

4.22 Dürfen Pigmente mit einer Mindestzündenergie von etwa 1 mJ aus einem isolierenden Behälter langsam in eine Lösemittelvorlage entleert werden, zum Beispiel in Toluol?	30
4.23 Welche Anforderungen sind an die Lagerung von Ammoniakwasser (25 %) in isolierenden Kunststoffbehältern von 2 m3 Rauminhalt zu stellen?	31
4.24 Im Lager werden Proben brennbarer Flüssigkeit von etwa 1 l aus Fässern entnommen. Aus Korrosionsschutzgründen soll eine Tropfenauffangwanne aus 5 mm starkem PVC eingesetzt werden. Welche Maßnahmen sind gegen eine gefährliche Aufladung zu treffen?	31
4.25 Bei der Kristallisation in brennbaren Flüssigkeiten tritt an einem 100-l-großen Glasreaktor blaues Leuchten auf der Glasoberfläche auf. Auf den Werkstoff Glas kann nicht verzichtet werden. Welche Maßnahmen sind gegen gefährliche Aufladungen zu treffen?	31
4.26 Dürfen beliebig lange leitfähige Schläuche durch explosionsgefährdete Bereiche der Zone 1 verlegt werden?	32
4.27 Beim Reinigen verschmutzter Gegenstände werden brennbare Lösemittel eingesetzt und mit einem Pinsel aufgetragen. Können hierbei gefährliche Aufladungen auftreten?	32
4.28 Müssen flüssigkeitsabweisende Schürzen oder Schutzhandschuhe bei Arbeiten in Zone 1 ableitfähig sein?	32
4.29 Mit welcher Strömungsgeschwindigkeit darf ein Tank mit brennbaren Flüssigkeiten befüllt werden?	33
4.30 Eine reine IIB Flüssigkeit mit einem Flammpunkt von 41 °C soll in einen Kesselwagen bei einer Flüssigkeitstemperatur von 30 °C eingefüllt werden. Muss der Kesselwagen unter Spiegel befüllt werden? Wie weit darf das Füllrohr in den Kessel des Wagens hineinragen?	33
4.31 Was gilt es bei der Abfüllung von Flüssigkeiten in Kesselwagen hinsichtlich elektrostatischer Zündgefahren zu beachten?	34
4.32 Welche Anforderungen sind an einen Sammelbehälter für flüssige Abfälle zu stellen? Die in einer achtstündigen Schicht anfallenden Mengen bestehen aus 2 l Biodiesel und 0,5 l Pflanzenöl sowie 0,1 l Methanol.	34
4.33 Ist es möglich, die Höhe einer Aufladung online zu messen, um diese innerhalb eines Arbeitsprozesses, zum Beispiel beim Abfüllen von Lacken oder Lacklösemitteln in Kunststoffgebilde, zu begrenzen? Welches Messprinzip kann online eingesetzt werden?	35
4.34 Müssen gebrauchte Rigid Intermediate Bulk Container (RIBC) vor Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen geprüft werden?	35
4.35 Welche Schläuche sind zum Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen geeignet?	36
4.36 Unter welchen Bedingungen ist das Rühren brennbarer Flüssigkeiten in explosionsgeschützten RIBC erlaubt?	36
4.37 Wie können Emailleschäden an Reaktorinnenwänden verhindert werden?	37
4.38 Dürfen die Arbeitsschritte Rühren, Umpumpen oder Dispergieren von brennbaren Flüssigkeiten in isolierenden Behältern durchgeführt werden?	37
4.39 Können bei manuellen Reinigungsarbeiten an Oberflächen von Druckmaschinen (zum Beispiel Druckeinheit/Druckwerk/Druckkopf), die mit brennbaren Lösemitteln durchgeführt werden, gefährliche Aufladungen auftreten?	38
4.40 Gelten die in der TRGS 727 unter den Nummern 4.2 bis 4.5 angegebenen Maßnahmen nur für Flüssigkeiten der Explosionsgruppe IIA und IIB mit MZE $\geq 0,2$ mJ?	38
4.41 Ist das Reinigen von mit Kohlenwasserstoffen benetzten, leitfähigen geerdeten Behältern durch Wasserstrahlen mit Drücken über 500 bar ohne Zündgefahr möglich?	39
4.42 Wie ist die Anforderung in TRGS 727 zu verstehen, dass bei RIBC zwischen der Flüssigkeit im Behälter und der Behälterumhüllung eine dauerhaft leitfähige Verbindung bestehen muss?	41
5 Elektrostatische Aufladungen bei Tätigkeiten mit gasförmigen Stoffen	41
5.1 Können reine Gase aufgeladen werden?	41
5.2 Muss das Filtermaterial in Staubfiltern leitfähig oder ableitfähig sein?	41
5.3 Welche Anforderung wird an die Stützkörbe des Filtermaterials gestellt?	42
5.4 Wie muss ein Spritzlackierer geerdet sein?	42
5.5 Wie kann ein Spritzlackierer bei durch Farbe verunreinigtem Fußboden gegen eine gefährliche Aufladung geschützt werden?	42
5.6 Sind bei Spritzlackierarbeiten Bodenabdeckungen, zum Beispiel Papier oder Kunststofffolien, zulässig?	42
5.7 Wie müssen Beschäftigte beim manuellen Pulverbeschichten oder Beflocken geerdet sein?	43
5.8 Ist ausströmender heißer Wasserdampf bei Entspannung von 16 bar eine wirksame Zündquelle für brennbare Dampf-Luft-Gemische?	43

5.9 Müssen in die aus Kunststoff bestehenden Absaugleitungen einer Lackproduktion Aerosolabscheider eingebaut werden, damit Aufladungen der Rohrleitungen vermieden werden?	43
5.10 Dürfen Ventilatoren aus isolierendem Kunststoff für Abluft in Zone 2 verwendet werden? ..	44
5.11 Ist bei Tätigkeiten an Gasleitungen/-anlagen (Erdgas), bei denen eine kontrollierte oder unkontrollierte Gasausströmung auftreten kann, das Tragen von Schutzkleidung, die nach DIN EN 1149-5 in Verbindung mit der DIN EN 1149-3 geprüft wurde, geeignet, um eine gefährliche Aufladung der Person zu vermeiden?	44
6 Elektrostatische Aufladungen beim Umgang mit Schüttgütern	45
6.1 Wie groß darf die Schüttgeschwindigkeit beim Ausschütten von Schüttgut aus einem isolierenden Kunststoffbehälter in einen leitfähigen und geerdeten Behälter sein?	45
6.2 Was bedeutet die Grenze $MZE \leq 10$ mJ bei Stäuben und Schüttgütern?	45
6.3 Dürfen Gegenstände, zum Beispiel Trichter oder Gehäuse, aus Kunststoffen wie Polyamid, Polypropylen oder PTFE in Zone 21 eingesetzt werden?	46
6.4 Dürfen kunststoffbeschichtete leitfähige Gegenstände in Zone 21 eingesetzt werden?	46
6.5 Lässt sich Aluminiumpulver gefährlich aufladen?	46
6.6 Können poröse Staubablagerungen im Inneren metallischer Rohrleitungen gefährlich aufgeladen werden?	46
6.7 Welche Maßnahmen sind notwendig, wenn 5 kg pulverförmiger isolierender Stoff aus einem Kunststoffbeutel in einen Behälter mit Isopropanol zugegeben werden sollen?	47
6.8 Dürfen beim Eintragen von Schüttgut in Rührkessel mit Lösemittelvorlage Kunststofftrichter, Kunststoffrutschen oder Absaughauben aus Kunststoff eingesetzt werden?	47
6.9 Bei der Verarbeitung von Lactose tritt Staub auf. Der Bereich des offenen Umgangs ist als Zone 21 eingestuft.	47
6.10 Kann die Möglichkeit für das Auftreten von Schüttkegelentladungen in Behältern rechnerisch abgeschätzt werden?	48
6.11 Oft werden unter anderem aus Gründen der Staubdichtheit in flexible Schüttgutbehälter Liner (auch Einstellsäcke genannt) eingestellt. Kann das Einstellen eines Liners den Typ des flexiblen Schüttgutbehälters und somit seinen Einsatzbereich verändern?	49
6.12 Lässt sich der spezifische Widerstand des Wandmaterials von fertig konfektionierten Wendeschläuchen einfach messen und berechnen?	49
6.13 Warum werden unterschiedliche Anforderungen an Schläuche für den Transport von Flüssigkeiten und von Schüttgütern gestellt?	51
6.14 Warum bestehen unterschiedliche Anforderungen zwischen Rohren und Schläuchen für den pneumatischen Transport und solchen für die Aspiration?	51
6.15 Treten beim Fallen von Schüttgütern durch Rohrleitungen ähnlich hohe Aufladungen wie beim pneumatischen Transport auf?	51
6.16 Gemäß TRGS 727 Nummer 6.6 „Flexible Schüttgutbehälter (FIBC)“ Tabelle 10 dürfen Schüttgutbehälter Typ C und Typ D in Zone 1 und 2 eingesetzt werden. Gilt das auch, wenn Stoffe der Explosionsgruppe IIC vorhanden sind?	51
6.17 Sind bei der Verarbeitung von Stäuben mit niedriger Mindestzündenergie (MZE) Maßnahmen zur Zündquellenvermeidung als alleinige Explosionsschutzmaßnahme ausreichend?	52
6.18 Können Schüttkegelentladungen beim Eintrag von Schüttgut in Silos oder Behälter auch auftreten, wenn sich beim Schüttguteintrag kein Schüttkegel bildet?	53
7 Elektrostatische Aufladung von Personen und persönlichen Schutzausrüstungen	53
7.1 Wie können Personen aufgeladen werden?	53
7.2 Wodurch kann eine gefährliche Aufladung von Personen verhindert werden?	53
7.3 Können Personen beim Befahren von oder Abseilen in Behälter, Silos, Schächte oder enge Räume gefährlich aufgeladen werden?	53
7.4 Sind elektrostatische Entladungen für Personen gefährlich?	54
7.5 Kann die elektrostatische Eignung persönlicher Schutzausrüstung für ihren Gebrauch in explosionsgefährdeten Bereichen gemessen werden, zum Beispiel durch Normen entsprechendes Messen?	54
7.6 Welche Anforderungen sind an Schuhe in explosionsgefährdeten Bereichen zu stellen? ...	55
7.7 Welche Anforderungen sind an das Tragen von Kleidung, Arbeitskleidung oder Schutzkleidung in explosionsgefährdeten Bereichen zu stellen?	55
7.8 Was ist hinsichtlich der persönlichen Schutzausrüstungen und der Arbeitskleidung bei Arbeiten in explosionsgefährdeten Bereichen der Zone 1 zu beachten, wenn zum Beispiel Wasserstoff und Acetylen verarbeitet werden?	56

7.9 Gibt es für Wetterschutzkleidung besondere Empfehlungen?	56
7.10 Welche Anforderungen sind an das Benutzen von Schutzhelmen in Zone 1 zu stellen? . . .	56
7.11 Welche Anforderungen sind an das Benutzen von Schutzhandschuhen in explosionsgefährdeten Bereichen zu stellen?	56
7.12 Was ist beim Tragen von Atemschutzmasken mit großflächiger Sichtscheibe in Zone 1 zu beachten?	57
7.13 Müssen flüssigkeitsabweisende Schürzen bei Arbeiten in Zone 1 ableitfähig sein?	57
7.14 Dürfen FFP2-Masken in explosionsgefährdeten Bereichen getragen werden?	57
8 Erdung und Potenzialausgleich	58
8.1 Welche Anforderungen werden an die Leitfähigkeit des Fußbodens bei der Verarbeitung von brennbaren Lösemitteln, zum Beispiel Ethanol, Ethylacetat oder Xylol, gestellt?	58
8.2 Wie werden Erdungsleitungen zum Ableiten elektrostatischer Ladungen gekennzeichnet? . .	58
8.3 Welche Anforderungen sind an die Ausführung der elektrostatischen Erdung zu stellen? . . .	59
8.4 In welchen Intervallen sind Einrichtungen zur elektrostatischen Erdung zu prüfen?	59
8.5 Müssen Personen in Zone 21 geerdet werden?	59
8.6 Dürfen andere Erdungssysteme (elektrischer Potenzialausgleich, Blitzschutz/innerer Potenzialausgleich) auch zur elektrostatischen Erdung verwendet werden?	60
8.7 Ist es erforderlich, beziehungsweise entspricht es dem Stand der Technik, die elektrostatische Erdung mit einer elektronischen Überwachung auszurüsten?	60
8.8 Wann muss die Erdung redundant ausgeführt werden?	61
8.9 Wie ist bei einem Befüll- oder Entleervorgang eines Gebindes die Erdung richtig anzubringen?	61
8.10 Was ist zu tun, wenn bei einem Befüll- oder Entleervorgang eines Gebindes das Anschließen der Erdung vergessen worden ist?	61
8.11 Wann ist die Erdung von Gegenständen und Einrichtungen über den Fußboden nicht ausreichend?	62
8.12 Müssen Metalleinlagen in PTFE-Dichtungen in Flüssigkeitsleitungen geerdet werden?	62
8.13 Welche Anforderungen sind an die Erdung isolierend beschichteter erdgedeckter Metalltanks zu stellen?	62
8.14 Kann die Kapazität eines leitfähigen Gegenstands über sein Gewicht bestimmt werden? . .	63
8.15 Wie wird die Kapazität eines leitfähigen Objekts (Gegenstand oder Einrichtung) in der Praxis bestimmt?	63
8.16 Lässt sich die Kapazität eines leitfähigen, nicht geerdeten Gegenstands für eine vorgegebene geometrische Anordnung in der Praxis rechnerisch abschätzen?	63
8.17 Was bedeutet die Forderung in der TRGS 727, dass für Arbeiten zu Erdung und Potenzialausgleich eine „eigene“ Betriebsanweisung vorliegen muss?	65
8.18 Gibt es empfehlenswerte Erdableitwiderstände für bestimmte Gegenstände, Einrichtungen oder Installationen?	65
8.19 In anderen Regelwerken, zum Beispiel IEC TS 60079-32-1, wird ein Höchstwert von 10 Ω für metallene Erdverbindungen gefordert, in der TRGS 727 Nummer 8 nicht. Was ist richtig? . . .	67
8.20 Warum wird in der TRGS 727 Nummer 4.4.2 „Straßentankwagen“ im Gegensatz zu anderen Regelwerken, zum Beispiel IEC TS 60079-32-1, kein Erdungsüberwachungssystem empfohlen?	67
8.21 Was ist der Unterschied zwischen den Maßnahmen „Erden“ und „mit Erde verbinden“? . . .	68
8.22 Ist die Kontaktierung mit einem wasserfeuchten Vlies/Papier bei der Messung des Ableitwiderstandes von Fußböden noch erlaubt?	68
9 Angebote der BG RCI	68
9.1 Welche speziellen Angebote und Informationen bietet das Explosionsschutzportal der BG RCI?	68
9.2 Welche Videospots bietet die BG RCI?	69
9.3 Was zeigt der Film „Keine Abstimmung – Große Wirkung“?	71
10 Expertinnen und Experten	71
11 Weiterführende Literatur	73
11.1 Welche wichtigen Normen zur Elektrostatik gibt es?	73
11.2 Welche weiterführende Literatur kann empfohlen werden?	76
Anhang 1: Literaturverzeichnis	77
Bildnachweis	83
Sonstiges	84
Impressum	84

Die vorliegende Schrift konzentriert sich auf wesentliche Punkte einzelner Vorschriften und Regeln. Sie nennt deswegen nicht alle im Einzelfall erforderlichen Maßnahmen. Seit Erscheinen der Schrift können sich darüber hinaus der Stand der Technik und die Rechtsgrundlagen geändert haben.

Die Schrift wurde sorgfältig erstellt. Dies befreit nicht von der Pflicht und Verantwortung, die Angaben auf Vollständigkeit, Aktualität und Richtigkeit selbst zu überprüfen.

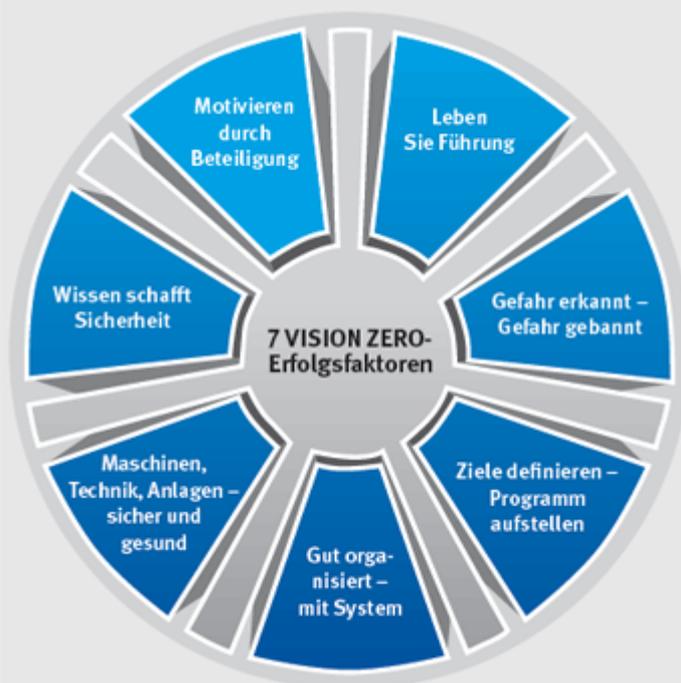
Das Arbeitsschutzgesetz spricht vom Arbeitgeber, das Sozialgesetzbuch VII und die Unfallverhütungsvorschriften der Unfallversicherungsträger vom Unternehmer. Beide Begriffe sind nicht völlig identisch, weil Unternehmerinnen oder Unternehmer nicht notwendigerweise Beschäftigte haben. Im Zusammenhang mit der vorliegenden Thematik ergeben sich daraus keine relevanten Unterschiede, sodass „die Unternehmerin und der Unternehmer“ verwendet wird.

VISION ZERO

VISION ZERO.

NULL UNFÄLLE – GESUND ARBEITEN!

Die **VISION ZERO** ist die Vision einer Welt ohne Arbeitsunfälle und arbeitsbedingte Erkrankungen. Höchste Priorität hat dabei die Vermeidung tödlicher und schwerer Arbeitsunfälle sowie Berufskrankheiten. Eine umfassende Präventionskultur hat die VISION ZERO zum Ziel.



Nähere Informationen zur VISION ZERO-Präventionsstrategie finden Sie unter www.bgrci.de/praevention/vision-zero.

In dieser Schrift besonders angesprochener Erfolgsfaktor:
„Gefahr erkannt – Gefahr gebannt“

1 Einleitung

In dieser Schrift werden an den Fachbereich „Rohstoffe und chemische Industrie“ der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV) gestellte Fragen möglichst umfassend und praxisnah beantwortet.

Viele Fragen sind jedoch sehr allgemein gestellt und lassen verschiedene Randbedingungen offen, sodass je nach der betrieblichen Situation die Antwort weiter differenziert und angepasst werden muss. In diesen Fällen ist eine weitergehende Beratung durch Expertinnen und Experten zu empfehlen. Siehe hierzu Kapitel 10 dieser Schrift.

Diese Schrift richtet sich nicht nur an Vorgesetzte, sondern auch an Fachkräfte für Arbeitssicherheit, Betriebsärztinnen und Betriebsärzte, Sicherheitsbeauftragte, Betriebsräte und Betriebsrätinnen sowie an alle Beschäftigten, die Informationen zur Statischen Elektrizität als Zündquelle suchen.

Neue sowie aktualisierte Fragen und Antworten zur Elektrostatik werden gesammelt und vorab auf dem Explosionsschutzportal der BG RCI (www.exinfo.de) veröffentlicht. Bitte prüfen Sie auch dort, ob es inzwischen eine FAQ gibt, die noch besser zu Ihrer Fragestellung passt oder ob eine Aktualisierung der Antwort auf die hier gefundene FAQ erfolgt ist.

Die vorliegende Schrift ist eine von insgesamt 7 Schriften mit häufig gestellten Fragen und ihren Antworten rund um den Explosionsschutz:

- T 049: Explosionsschutz – Antworten auf häufig gestellte Fragen
- T 050: Explosionsschutz an Maschinen – Antworten auf häufig gestellte Fragen
- T 053: Entzündbare Flüssigkeiten – Antworten auf häufig gestellte Fragen
- T 054: Brennbare Stäube – Antworten auf häufig gestellte Fragen
- T 055: Gaswarneinrichtungen und -geräte für den Explosionsschutz – Antworten auf häufig gestellte Fragen
- M 063: Lagerung von Gefahrstoffen – Antworten auf häufig gestellte Fragen (DGUV Information 213-085)

2 Begriffsbestimmungen

2.1 Welcher Zusammenhang besteht zwischen der ehemaligen BGR 132 und der TRGS 727?

Im Zuge der Erarbeitung eines einheitlichen und kohärenten Vorschriften- und Regelwerkes wurde die ehemalige berufsgenossenschaftliche Regel BGR 132 „Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen“ im Jahr 2009 an die geänderte Rechtslage und an den fortentwickelten Stand der Technik angepasst und gleichzeitig in die gleichnamige TRBS 2153 überführt. Diese wurde im Jahr 2014 überarbeitet, wegen der Änderung der rechtlichen Anbindung wurde die Regel jedoch vom Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) nicht mehr als TRBS veröffentlicht. Vielmehr wurde sie an den Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS) zur Beschlussfassung als TRGS verwiesen, dieser hat sie 2015 als TRGS 727¹ verabschiedet, sie wurde als TRGS 727 (Ausgabe Januar 2016) vom BMAS bekannt gegeben.

1 Siehe Anhang 1 Nr. 19

Die Ausgabe der TRGS 727 von 2016 gibt den aktuellen sicherheitstechnischen Stand zum Vermeiden von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen wieder.

Merkblatt T 033 „Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen“ (DGUV Information 213-060) als Version der TRGS 727 mit farbigen Abbildungen²



2.2 Wann werden elektrostatische Aufladungen als gefährliche Aufladungen bezeichnet?

Gefährliche Aufladungen sind solche, die bei ihrer Entladung zu erwartende explosionsfähige Atmosphären entzünden können.

2.3 Wann müssen Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladung vermieden werden?

Gefährliche Aufladungen müssen vermieden werden, wenn die Bereiche als explosionsgefährdet eingestuft sind.

Darüber hinaus sind auch in allen Situationen, in denen Explosions- oder Brandgefahr vorliegt, gefährliche Aufladungen zu vermeiden.

2.4 Was ist unter den Begriffen „leitfähig“, „ableitfähig“ und „isolierend“ zu verstehen?

Es ist in der Elektrostatik zweckmäßig, Stoffe, Materialien und Gegenstände hinsichtlich ihres elektrischen Widerstandes in leitfähige, ableitfähige und isolierende zu unterteilen:

Leitfähige Medien, Materialien und Gegenstände besitzen einen so geringen elektrischen Widerstand, dass sie geerdet werden können und auch selbst als Erdungspunkt für andere Gegenstände in Frage kommen.

Ableitfähige Medien, Materialien und Gegenstände besitzen einen höheren elektrischen Widerstand als leitfähige, können aber dennoch nicht gefährlich aufgeladen werden, solange sie Kontakt zu Erde besitzen und keinen stark ladungserzeugenden Prozessen ausgesetzt sind.

2 Merkblatt T 033 (wortgleich mit TRGS 727), siehe Anhang 1 Nr. 28

Isolierende Medien, Materialien und Gegenstände sind weder leitfähig noch ableitfähig und können in der Regel nicht geerdet werden.

Anstelle von „leitfähig“, „ableitfähig“ und „isolierend“ benutzt man bei Schüttgütern die Begriffe „niedriger, mittlerer und hoher spezifischer Widerstand“.

Ferner benutzt man für Flüssigkeiten den Begriff Leitfähigkeit (Kehrwert des spezifischen Widerstandes) und unterscheidet Flüssigkeiten „hoher, mittlerer und niedriger Leitfähigkeit“.

Die zugehörigen Grenzwerte für Stoffe, Materialien, Gegenstände und Einrichtungen sowie für Schüttgüter und Flüssigkeiten sind in der TRGS 727³, Anhang I anschaulich dargestellt.

Siehe auch TRGS 727, Nummer 2, Absätze 11 bis 14.

2.5 Was ist unter den Begriffen „antistatisch“ und „dissipativ“ zu verstehen?

Die TRGS 727 verwendet diese beiden Begriffe nicht:

In der Umgangssprache wird der Begriff „antistatisch“ oft zur Beschreibung einer aufladungsvermindernden Eigenschaft verwendet. Er ist nicht exakt beziehungsweise an verschiedenen Stellen unterschiedlich definiert.

„Dissipativ“ ist ein „Anglizismus“ [englisch: „dissipative“ ableitfähig].

Siehe auch TRGS 727, Nummer 2, Absatz 13.

2.6 Was ist unter aufladbar zu verstehen?

Aufladbar sind Stoffe oder Gegenstände, die in der Lage sind, elektrische Ladungen zu speichern.

Aufladbar sind isolierende Stoffe sowie Gegenstände und Einrichtungen aus isolierenden Materialien. Allerdings sind auch leitfähige oder ableitfähige Gegenstände und Einrichtungen aufladbar, wenn sie nicht mit Erde verbunden sind.

Siehe auch TRGS 727, Nummer 2, Absatz 16.

2.7 Was ist unter Leitfähigkeit zu verstehen?

Leitfähigkeit ist der Kehrwert des spezifischen Widerstandes. Es ist üblich, bei Flüssigkeiten anstelle des spezifischen Widerstandes den Begriff der Leitfähigkeit zu benutzen. Die Einheit der Leitfähigkeit ist S/m (Siemens pro Meter).

Siehe auch TRGS 727, Nummer 2, Absätze 10 und 11.

2.8 Was ist unter den Begriffen „Spezifischer Widerstand“, „Oberflächenwiderstand“, „Ableitwiderstand“ und „Durchgangswiderstand“ zu verstehen?

Der **spezifische Widerstand** eines Materials oder Stoffs ist der einzige von der geometrischen Form unabhängige physikalisch definierte elektrische Widerstand. Er wird in Ωm angegeben.

Alle anderen Widerstandsgrößen sind von der Messanordnung abhängig und werden in Ω angegeben.

Je nach Objekt und Fragestellung werden unterschiedliche Widerstandsgrößen bestimmt, zum Beispiel

- bei einem Kunststoffgehäuse der **Oberflächenwiderstand**,
- bei Fußböden der **Ableitwiderstand**,
- bei Schuhen der **Durchgangswiderstand**.

Siehe auch TRGS 727, Nummer 2, Absätze 4 bis 9 und DIN IEC 60167, DIN IEC 60093, DIN EN 61340-2-3.

2.9 Was unterscheidet den spezifischen Oberflächenwiderstand vom Oberflächenwiderstand?

Der Oberflächenwiderstand hängt von Größe, Form und Anordnung der Messelektroden ab. Trotz der sich ergebenden unterschiedlichen Zahlenwerte wird er immer in Ω angegeben.

Um Messergebnisse vergleichen zu können, verwendet man entweder eine definierte Elektrodenanordnung, zum Beispiel eine der in der TRGS 727⁴ unter Nummer 2 Absatz 6 oder Absatz 7 angegebenen, oder rechnet das Messergebnis auf eine dieser Anordnungen um. Wenn die zu untersuchende Probe sehr klein ist, das heißt die zur Verfügung stehende Messfläche nur wenig größer als der Bereich, den die Elektrodenanordnung benötigt, kann eine formale Umrechnung auf eine „Standard“-Elektrodenanordnung zu großen Abweichungen führen.

Das Messergebnis mit der Elektrodenanordnung nach TRGS 727 Nummer 2 Absatz 7 (Elektrodenabstand A gleich der Elektrodenlänge L , also $A = L$) wird als spezifischer Oberflächenwiderstand bezeichnet.

Zur Unterscheidung vom Oberflächenwiderstand wird der spezifische Oberflächenwiderstand oft mit Ω square oder Ω^2 bezeichnet.

Siehe auch TRGS 727, Nummer 2, Absätze 6 und 7 sowie DIN IEC 60167, DIN EN 62631-3-2, DIN EN 61340-2-3 und ASTM D 257-14.

2.10 Welche Bedeutung hat die Mindestzündenergie?

Die Mindestzündenergie, abgekürzt MZE, ist eine sicherheitstechnische Kenngröße. Sie beschreibt die Zündempfindlichkeit eines Stoffes gegenüber Entladungen statischer Elektrizität. Ihre Kenntnis ist zur Anwendung der explosionstechnischen Schutzmaßnahme „Vermeiden wirksamer Zündquellen“ erforderlich.

Die Mindestzündenergie ist die unter festgelegten Versuchsbedingungen ermittelte kleinste, in einem Kondensator gespeicherte Energie, die bei Entladung in einem Funken ausreicht, das zündwilligste Gemisch einer explosionsfähigen Atmosphäre zu entzünden. Sie wird in mJ (Millijoule) angegeben.

4 Siehe Anhang 1 Nr. 19

Werte werden zum Beispiel in Anhang G der TRGS 727⁵ angegeben. Eine weitere Größe zur Beschreibung der Zündquellenempfindlichkeit ist die Mindestzündladung.

Siehe auch TRGS 727, Nummer 2, Absatz 23 und 24 sowie DIN EN 80079-20-2 (für Stäube) beziehungsweise ASTM E 582 (für Gase/Dämpfe).

2.11 Welche Bedeutung hat die Mindestzündladung?

Mit der Mindestzündladung, abgekürzt MZQ, kann man die Zündempfindlichkeit eines Stoffes gegenüber Entladungen statischer Elektrizität beschreiben. Sie wird vorwiegend zur Beurteilung der Zündwirksamkeit von Entladungen, die von aufgeladenen Kunststoffoberflächen ausgehen, angewendet.

Werte werden zum Beispiel in Anhang G der TRGS 727 angegeben.

Siehe auch TRGS 727, Nummer 2, Absatz 23 und 24 sowie DIN EN 60079-0, DIN EN 13463-1, IEC TS 60079-32-1.

2.12 Gibt es eine physikalische Größe mit einem Grenzwert, bei dessen Überschreitung eine Gleitstielbüschelentladung auftreten kann?

Ein stark ladungserzeugender Prozess liegt unter anderem dann vor, wenn er eine Aufladestromdichte von mehr als 1 mA/m^2 (oder 10^{-9} A/mm^2) erzeugt.

Mit diesem Hinweis kann zum Beispiel folgende oft gestellte Frage direkt beantwortet werden: Kann bei einer ableitfähigen Folie oder Beschichtung, die sich auf einer geerdeten leitfähigen Unterlage befindet, eine Gleitstielbüschelentladung auftreten?

Eine Gleitstielbüschelentladung kann dann auftreten, wenn (bei einer glatten Oberfläche) das Oberflächenpotenzial 4 kV übersteigt. Das Oberflächenpotenzial U kann dazu nach der Formel $U = 10^{-9} \text{ A/mm}^2 \cdot R$ berechnet werden. Dabei bedeutet R den Widerstand durch die Folie oder Beschichtung über eine Fläche von 1 mm^2 .

2.13 Ab welchen Trenn- oder Transportgeschwindigkeiten ist ein Prozess stark ladungserzeugend?

Eine Beurteilung ausschließlich auf Grund der Geschwindigkeit ist nicht möglich, andere Einflussfaktoren wie

- Ableitwiderstände,
- Viskosität,
- geometrische Anordnung,
- vorausgehende Aufladung des Mediums,
- bei Staubbförderung die Staubkonzentration, Partikelgröße etc.
- etc.

5 Siehe Anhang 1 Nr. 19

beeinflussen ebenfalls die Höhe der Aufladung. Daher kann kein Grenzwert für die Trenn- oder Transportgeschwindigkeit angegeben werden.

Wischen und ähnliche manuelle Vorgänge sind erfahrungsgemäß nicht stark ladungserzeugend. Absprühende Hochspannungselektroden und maschinelle Prozesse können stark ladungserzeugend sein, deshalb muss bei ihnen beurteilt werden, ob die entstehende Ladung in ausreichendem Maße abgeführt werden kann.

Siehe auch TRGS 727, Nummer 2, Ziffer 28.

2.14 Warum werden in der TRGS 727 im Gegensatz zu anderen Regelwerken, zum Beispiel IEC TS 60079-32-1, keine Saugfahrzeuge behandelt?

Die elektrostatischen Anforderungen an Erdung und Schlauchmaterial von Saugfahrzeugen sind praktisch identisch mit denen an Straßentankwagen und können der TRGS 727⁶ Nummer 4.4.2 entnommen werden.

Darüber hinaus sind die auftretenden Prozesse zu betrachten.

Ergeben sich beim Einsaugen Mehrphasengemische, zum Beispiel durch Einsaugen von Luft am Ende des Einsaugvorganges, ist der Einsaugvorgang insbesondere im Hinblick auf die folgenden Punkte zu bewerten:

1. Innerhalb der Leitungen kann explosionsfähige Atmosphäre entstehen.
2. An der Leitungswand können je nach Wandmaterial Aufladungen durch Tropfenströmung auftreten.
3. Im Gasraum der Leitungen können Entladungen auftreten.
4. Im Freiraum des Tankes kann durch den Sprühnebel zerplatzender Blasen die Brennstoffkonzentration und die Raumladungsdichte erhöht werden.
5. In der Flüssigkeit aufsteigende Blasen führen zu erhöhter Aufladung. Zudem bringen sie frisch eingeströmte, aufgeladene Flüssigkeit direkt an die Oberfläche der Flüssigkeit. Dadurch wird die Ladungsdichte an der Flüssigkeitsoberfläche und damit das Oberflächenpotenzial erhöht.

2.15 Warum werden in der TRGS 727 keine anderen Normen erwähnt oder zitiert?

Die Zitierung von Normen ist aus rechtlichen Gründen in der TRGS 727 nicht möglich. Im Literaturverzeichnis dieser Schrift sind jedoch alle relevanten Normen aufgelistet.

2.16 Warum wird für die Beurteilung elektrostatischer Zündgefahren die Mindestzündenergie ohne Induktivität zugrunde gelegt?

Die Beurteilung der Zündwirksamkeit einer elektrostatischen Entladung kann in vielen Fällen durch Vergleich der Energie oder Äquivalentenergie der zu erwartenden elektrostatischen Entladung mit der Mindestzündenergie (MZE) des betroffenen Stoffes oder Stoffgemisches erfolgen.

6 Siehe Anhang 1 Nr. 19

Die hier zu beurteilenden elektrostatischen Entladungen sind nahezu induktionsfrei. Dies gilt insbesondere für die Entladungsarten (zum Beispiel Büschel-, Gleitstielbüschel-, Schüttkegel- oder Gewitterblitz-Entladungen), bei denen keine leitfähigen Teile – Erde ausgenommen – involviert sind.

Auch bei Funkenentladungen zwischen einem leitfähigen elektrostatisch aufgeladenen Teil und Erde bildet sich kein wirksamer elektrischer Schwingkreis aus, der die Wechselwirkungszeit (gegeben durch Mehrfachentladung) zwischen der Entladung und dem explosionsfähigen Gemisch vergrößern kann, da die Induktivitäten der beteiligten Teile vernachlässigbar sind.

Der einzige Induktionsvorgang findet beim Aufbau des Entladungskanals (Plasmakanals), das heißt bei der Entladung selbst statt. Dieser „induktive“ Bestandteil wird jedoch bei der Bestimmung der MZE mitberücksichtigt, da als Zündquelle ein Plasmakanal (einer Funkenentladung) verwendet wird.

Die nennenswerten Induktivitäten im Entladekreis der MZE-Apparatur sind neben den verwendeten Kondensatoren die Leitungen vom aufgeladenen Kondensatorsystem zur Entladestrecke. Es werden induktionsfreie Kondensatoren verwendet und die Leitungen sind so bemessen, dass die Bedingung gemäß DIN EN 13821/DIN EN ISO IEC 80079-20-2 (Induktivität kleiner 25 μH im Entladekreis) erfüllt wird.

Da die hier zu beurteilenden elektrostatischen Entladungen nahezu induktionsfrei sind, ist es für eine sachlich richtige Beurteilung erforderlich, die MZE ohne Induktivität zu Grunde zu legen (vergleiche DIN EN 13821, sowie IEC TS 60079-32-1⁷). In der Regel liegt die mit Induktivität ermittelte MZE niedriger; sie wird für die Beurteilung anderer Zündmechanismen, zum Beispiel bei mechanischen Funken, verwendet.

2.17 Was muss bei der Messung des Oberflächenwiderstands mit den üblichen Elektroden (Ring-, Streifen-, 2-Punkt-Elektrode) beachtet werden?

Die Elektroden sind so ausgelegt, dass sie den Widerstand isotroper Materialien richtig erfassen. Dabei liefert die Ringelektrode genauere Ergebnisse als die Streifen- oder eine 2-Punkt-Elektrode.

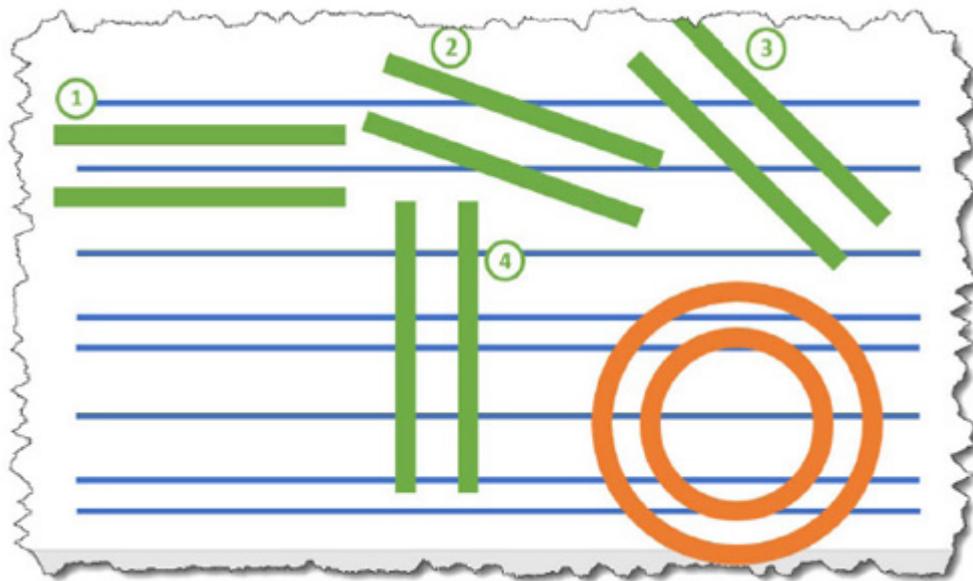
Bei anisotropen Materialien werden jedoch mit der Ringelektrode für die Beurteilung unbrauchbare Werte gemessen (Abbildung 1).

Beispiel:

Verpackungsfolien werden häufig durch Zugabe sogenannter Permanentantistatika ableitfähig gemacht. Durch den Herstellungsprozess kann sich eine Vorzugsrichtung der elektrischen Leitfähigkeit ergeben. Wird der Oberflächenwiderstand einer solchen Oberfläche mit einer Streifen- oder 2-Punkt-Elektrode bestimmt, können sich Widerstandsunterschiede von mehreren Zehnerpotenzen ergeben, je nachdem, ob die Elektrode parallel oder senkrecht zur Vorzugsrichtung aufgesetzt wird.

Bei der Messung mit der Ringelektrode tritt ein „Kurzschluss“ in den Abschnitten auf, in denen die Vorzugsrichtung radial verläuft, und es ergibt sich unabhängig von der Orientierung der Elektrode derselbe Messwert. Dieser Messwert ist für die Beurteilung der Folie nicht geeignet.

Abbildung 1: Messung mit unterschiedlichen Elektroden und unterschiedlicher Ausrichtung an einem anisotropen Material (blau: Vorzugsrichtung der elektrischen Leitfähigkeit des Materials; grün 1–4: Messung mit Streifen-Elektrode bei unterschiedlicher Ausrichtung der Elektrode; orange: Messung mit Ringelektrode)



3 Elektrostatische Aufladungen von Gegenständen und Einrichtungen

3.1 Kann eine gefährliche Entladung durch einfache Messmethoden ermittelt oder die Höhe der Aufladung eines Gegenstandes gemessen und bewertet werden?

Einfache Verfahren, die Entladungsstärke oder die Höhe einer Aufladung zu messen, gibt es nicht.

In Einzelfällen kann das Ermitteln der Aufladungshöhe erforderlich sein.

Bei leitfähigen Gegenständen kann mit einem geeigneten Voltmeter die Aufladungshöhe gemessen werden. Zur Beurteilung der Zündwirksamkeit einer daraus resultierenden Funkenentladung ist zusätzlich die Kapazität des Gegenstandes zu berücksichtigen.

Bei isolierenden Gegenständen können mit einem Feldstärkemessgerät die Orte hoher Aufladung ermittelt und mit einem Coulombmeter das Auftreten von Entladungen festgestellt werden. Diese Messungen sind oft aufwändig und erfordern messtechnische Erfahrung sowie Sachkenntnisse über die kritischsten Bedingungen. So ist zum Beispiel die elektrische Feldstärke abhängig von der Messrichtung, vom Abstand zwischen Messgerät und Messobjekt sowie von den Umgebungsbedingungen.

Es entspricht dem Stand der Technik, anstelle des Vermeidens von Entladungen bereits gefährlicher Aufladungen zu vermeiden. Dies geschieht in erster Linie durch Anwendung der Maßnahmen nach TRGS 727⁸.

3.2 Wie sind „natürliche“ Materialien wie Baumwolle, Leder, Holz, Pappe oder Karton und Papier elektrostatisch zu bewerten?

Baumwolle, Leder, Holz, Pappe, Karton und Papier sind in der Regel ableitfähig.

Bei sehr niedriger relativer Luftfeuchte können die oben genannten Materialien jedoch ihre Ableitfähigkeit verlieren.

Liegen stark ladungserzeugende Prozesse vor, zum Beispiel infolge hoher Trenngeschwindigkeit, lassen sich auch ableitfähige Materialien gefährlich aufladen.

Siehe auch TRGS 727, Nummer 2, Absätze 13 und 14.

3.3 Können isolierende Kunststoffe durch Zugabe sogenannter Antistatika ableitfähig gemacht werden?

Ja. Isolierende Kunststoffe wie zum Beispiel PP, PE, PVC oder PTFE können durch Zusatzstoffe ableitfähig oder sogar leitfähig gemacht werden. Die Menge, die einem Kunststoff hinzugefügt werden muss, damit dieser leitfähig oder ableitfähig wird, hängt vom jeweiligen Kunststoff und dem Antistatikum ab.

Hierbei kommen typischerweise folgende Zusatzstoffe (Antistatika) zum Einsatz:

1. **Spezielle Rußtypen, sogenannte Leitfähigkeitsruße:** Durch Beimischung von mehreren Gewichtsprozenten Leitfähigkeitsrußen können isolierende Kunststoffe leitfähig (spezifischer Widerstand $\leq 10^4 \Omega\text{m}$) gemacht werden. Die Abhängigkeit der Leitfähigkeit von der Luftfeuchte ist sehr gering. Dem Vorteil einer hohen elektrischen Leitfähigkeit, stehen ein höheres Gewicht und eine höhere Kaltversprödung gegenüber.

Wichtiger Hinweis: Oft wird rezyklierten Kunststoffen zwecks einheitlicher schwarzer Farbgebung nur wenig Ruß beigemischt, so dass die Leitfähigkeit nicht erhöht wird. Es gilt somit der Grundsatz: Ableitfähige oder leitfähige Kunststoffe sind oft schwarz, schwarze Kunststoffe sind aber nicht notwendigerweise leitfähig oder ableitfähig.

2. **Permanent antistatische Additive:** Permanent antistatische Additive sind typischerweise Polymere, die als Schmelzadditive in die Kunststoffe eingebracht werden. Die Abhängigkeit der Leitfähigkeit von der Luftfeuchte ist sehr gering, da die Volumenleitfähigkeit erhöht wird, nicht nur die Oberflächenleitfähigkeit.
3. **Nicht permanente antistatische Additive:** Die Wirksamkeit dieser antistatischen Additive beruht auf ihren tensidartigen Eigenschaften. Diese Zusätze wandern nach der Herstellung an die Oberfläche des isolierenden Kunststoffs und adsorbieren Wasser aus der Umgebungsluft, wodurch eine höhere Oberflächenleitfähigkeit erreicht wird. Bei diesen Additiven ist die Abhängigkeit der Leitfähigkeit von der Luftfeuchte sehr groß.

3.4 Sind Antistatika in Kunststoffen oder auf Folien zeitlich unbegrenzt wirksam?

Nein. Antistatika können durch chemische Vorgänge, zum Beispiel Oxidation, oder physikalische Vorgänge, zum Beispiel Diffusion, ihre Wirksamkeit verlieren. Viele Antistatika sind deshalb nur zeitlich begrenzt wirksam.

Ihre Beständigkeit hängt vom jeweiligen Kunststoff, vom Antistatikum und von den Einsatzbedingungen ab.

Folien besitzen im Vergleich zu kompakten Gegenständen größere Oberflächen. Diese erhöhen die mögliche Migration und Extraktion der Antistatika sowie ihre Oxidation an Luft.

Es empfiehlt sich, beim Hersteller oder Lieferanten Informationen zur Verwendungsdauer einzuholen.

Sogenannte Permanent-Antistatika sind deutlich langzeitstabiler als herkömmliche Antistatika.

3.5 Sind in Kraftfahrzeugen mitgeführte metallische Gegenstände, zum Beispiel ein Radkeil, separat mit Erde zu verbinden, wenn sich das Fahrzeug in einem explosionsgefährdeten Bereich befindet?

In einen explosionsgefährdeten Bereich dürfen Kraftfahrzeuge in der Regel nur mit Erlaubnis des Anlagenbetreibers oder der -betreiberin einfahren.

Unter üblichen Betriebsbedingungen geht vom Radkeil allein keine zusätzliche Gefährdung aus, sodass auf eine separate Erdung verzichtet werden kann.

3.6 Wie müssen isolierende Gegenstände, zum Beispiel aus Kunststoff, geerdet werden?

Isolierende Gegenstände können nicht geerdet werden.

3.7 Dürfen Gegenstände aus isolierenden Materialien in Zone 2 verwendet werden?

Ja, sofern sie nicht betriebsmäßig gefährlich aufgeladen werden.

Es dürfen keine hoch aufgeladenen Gegenstände betriebsmäßig in Zone 2 eingebracht werden. Verboten sind unter anderem isolierende Packmittel, zum Beispiel Kunststoffbehälter, die durch das Entfernen von Schrumpffolien aufgeladen wurden.

3.8 Welche Maßnahmen gegen Büschelentladungen sind bei der Verwendung isolierender Gegenstände, zum Beispiel solcher aus Kunststoffen, zu treffen?

Zur Vermeidung zündwirksamer Büschelentladungen kommen folgende Maßnahmen in Betracht:

- Begrenzung aufladbarer Flächen
- Begrenzung der Dicke der Kunststoffbeschichtungen auf leitfähiger Unterlage
- Sonstige Maßnahmen, wie zum Beispiel Vermeidung der Aufladung

Siehe auch TRGS 727, Nummern 3.2.1 bis 3.2.3 und Anhang A3.3.

3.9 Sind Büschelentladungen oder Funkenentladungen zündwirksamer für Gemische aus Gasen und Dämpfen mit Luft?

Funkenentladungen sind in der Regel zündwirksamer als Büschelentladungen. Die meisten elektrostatisch verursachten Entzündungen werden durch die zündwirksameren Funkenentladungen ausgelöst.

Die Zündwirksamkeit von Büschelentladungen darf dennoch auf keinen Fall unterschätzt werden.

Siehe auch TRGS 727, Anhänge A3.1 und A3.3.

3.10 Die Tür zu einem Biogasspeicher besitzt 3 cm breite und 1 cm dicke elastische Dichtungen. Sie dichten das Türblatt gegen den Türrahmen ab. Können diese Dichtungen gefährlich aufgeladen werden?

Die Beurteilung hängt wesentlich von der Zusammensetzung des Biogases ab. Bei Methan, einem Stoff der Explosionsgruppe IIA, ist wegen der begrenzten Oberfläche (siehe Tabelle 1b in Nummer 3.2 der TRGS 727⁹) keine gefährliche Aufladung zu erwarten.

Muss je nach Substratzusammensetzung und Betriebsweise des Faulbehälters mit dem Auftreten von Wasserstoff in einer explosionsfähigen Konzentration gerechnet werden, sind ableitfähige Dichtungen zu verbauen.

Siehe auch TRGS 727, Nummer 3.2, Tabelle 1b.

3.11 Die Tür eines Biogasspeichers soll zur Vermeidung von Korrosion auf der Innenseite 1 mm dick mit Kunststoff beschichtet werden. Ist mit einer gefährlichen Aufladung zu rechnen?

Mit gefährlicher Aufladung ist im Falle des Auftretens von Methan nicht zu rechnen. Die Dicke der Beschichtung entspricht den Anforderungen der Nummer 3.2.3.1 der TRGS 727, nach der zündwirksame Büschelentladungen vermieden werden.

Muss je nach Substratzusammensetzung und Betriebsweise des Faulbehälters mit dem Auftreten von Wasserstoff in einer explosionsfähigen Konzentration gerechnet werden, darf die Beschichtungsdicke 0,2 mm nicht überschreiten.

Hinweis: Die explosionsfähigen Konzentrationen von reinem Wasserstoff in Luft liegen zwischen 4 und 77 Vol.-%.

3.12 Dürfen Handhubwagen in Zone 1 eingesetzt werden, wenn diese auf leitfähigen Rollen Kontakt zum Fußboden besitzen?

Handhubwagen lassen gefährliche elektrostatische Aufladungen nicht erwarten, wenn sie einen Ableitwiderstand gegen Erde von höchstens $10^8 \Omega$ besitzen.

Sollen (leitfähige oder ableitfähige) Packmittel oder Gebinde befüllt oder entleert werden, die dabei noch auf dem Handhubwagen stehen, ist eine zusätzliche Erdung der Packmittel beziehungsweise Gebinde während dieser Tätigkeit erforderlich.

Hinweis: Handhubwagen zum Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen sind Geräte im Sinne der Richtlinie 2014/34/EU („ATEX“). Damit sie sicher in Zone 1 eingesetzt werden können, müssen unter anderem die Anforderungen zur Zündquellenvermeidung an Flurförderzeuge, wie sie in der Norm DIN EN 1755 für Flurförderzeuge der Gerätegruppe II und Gerätekategorie 2G angegeben sind, ebenfalls erfüllt sein.

3.13 Was ist beim Einsatz von Feuerlöschgeräten zu beachten?

Pulver und unter Druck stehendes Kohlendioxid, nicht jedoch bei nur unter sehr niedrigen Temperaturen verflüssigbare reine Gase wie Stickstoff, Argon etc., können sich beim Strömen durch leitfähige, ableitfähige oder isolierende Rohre elektrostatisch hoch aufladen und so beim Ausströmen aus Löschöffnungen in deren Bereich vorhandene explosionsfähige Atmosphäre entzünden. Um dies zu vermeiden, dürfen Feuerlöschanlagen und Feuerlöscher mit Kohlendioxid und Pulver nicht versehentlich bei Anwesenheit explosionsfähiger Atmosphäre ausgelöst werden.

Um dies zu erreichen, dürfen solche Feuerlöschanlagen nur bei Vorliegen zweier unabhängiger Brandmeldesignale von zwei unabhängigen Sensoren automatisch ausgelöst werden. Eine manuelle Auslösung darf nur durch bewusste Zerstörung oder Verschiebung einer Umhausung des Auslöseknopfes bewirkt werden. Ferner müssen die Mitarbeiter durch organisatorische Maßnahmen, zum Beispiel Schilder oder Schulungen, auf die Zündgefahr einer Probeauslösung hingewiesen werden.

Funktionsprüfungen solcher Löschanlagen dürfen nur dann durchgeführt werden, wenn eine schriftliche Bescheinigung der Abwesenheit explosionsfähiger Atmosphäre, zum Beispiel durch Verfahrensstilllegung, vorliegt.

Ferner ist zu beachten, dass Personen, welche isolierende Schuhe tragen und Pulver- oder Kohlendioxidlöscher zum Löschen von Feuer verwenden, schon nach wenigen Sekunden so hoch elektrostatisch aufgeladen werden können, dass sie bei Erdkontakt einen heftigen elektrostatischen Schlag erhalten.

3.14 Was sind die Grenzen von Ladungstransfermessungen?

Die Messung der übertragenen Ladung ist die letzte Möglichkeit zu belegen, dass ein Produkt oder Prozess elektrostatisch sicher ist, wenn alle anderen Kriterien (Oberflächenwiderstand, Flächenkriterium etc.) nicht erfüllt sind. Im einfachsten Fall provoziert man elektrostatische Entladungen durch manuelle Reibung mit speziellen Tüchern im Trockenklima und misst deren übertragene Ladung mit einem handelsüblichen Handcoulombmeter.

Im Allgemeinen wird dabei entweder der Grenzwert der übertragenen Ladungen deutlich überschritten oder aber es lässt sich keine Ladungsübertragung nachweisen. Liegen die Messwerte in der Nähe des relevanten Grenzwertes, ist bei der Beurteilung der Ergebnisse zu berücksichtigen, dass auch bei dieser Messmethode

eine statistische Streuung der Messwerte auftritt, wie bei Zündversuchen mit elektrischen Funken oder bei Biegebruchmessungen.

Wichtig ist, dass bei der Messung ein gewisser Mindestabstand von ca. 1 mm zwischen Messelektrode und betroffener Oberfläche einzuhalten ist. Denn gelegentlich treten Entladungen bei kleineren Abständen auf, dabei handelt es sich jedoch um nicht zündwirksame Niederspannungsentladungen.

Die Messung von Mehrfachentladungen muss durch einen handelsüblichen Hochfrequenzshunt mit angeschlossenem Oszilloskop erfolgen. Durch Hochregeln des Triggerlevels können so die stärksten Entladungen aus einer Serie von Entladungen herausgefiltert werden.

3.15 Dürfen Etiketten aus isolierendem Material in explosionsgefährdeten Bereichen angebracht beziehungsweise entfernt werden?

Selbstklebende Etiketten oder die Trägerfolien bestehen in der Regel aus isolierendem Material. Insbesondere beim Abziehen des Etiketts von der Trägerfolie ist daher infolge des Trennprozesses mit elektrostatischen Aufladungen zu rechnen.

Die Höhe der Aufladung beziehungsweise das Auftreten zündwirksamer Büschelentladungen ist von mehreren Parametern, zum Beispiel von der Größe der Etiketten, dem Material der Etiketten, dem Kleber etc., abhängig und lässt sich nicht pauschal vorhersagen.

- Anbringen von Etiketten:
 - Eine Etikettierung von Gebinden in Ex-Zone 1 ist nur zulässig, wenn sichergestellt ist, dass zum Zeitpunkt des Etikettierens keine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre vorhanden ist.
 - Eine Etikettierung von Gebinden in Ex-Zone 2 ist nur zulässig, wenn sichergestellt ist, dass zum Zeitpunkt des Etikettierens keine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre vorhanden ist.
Kann explosionsfähige Atmosphäre nur im Fall von Leckagen an Gebinden auftreten, kann das Etikettieren bei Einhaltung von organisatorischen Maßnahmen (Arbeitsanweisung, dass in solchen Fällen nicht etikettiert werden darf) zugelassen werden.
- Angebrachte Etiketten:
Isolierende Etiketten, die auf leitfähigen geerdeten Untergründen angebracht sind und bei der Handhabung nur manuell aufgeladen werden, sind nicht als Zündquelle zu bewerten, da daran befindliche Ladungen durch den leitfähigen Untergrund und die ausreichend geringe Foliendicke von weniger als 200 µm ausreichend „gebunden“ werden und nicht für zündwirksame Entladungen zur Verfügung stehen.
- Abziehen der Etiketten:
Beim Abziehen der Etiketten ist mit dem Auftreten von elektrostatischen Entladungen zu rechnen, die für explosionsfähige Gas/Dampf/Luft-Gemische aller Explosionsgruppen (IIA, IIB und IIC) zündwirksam sind. Es sind Explosionsereignisse bekannt, die auftraten, als Etiketten von Kunststoffbehältern, in denen sich **innen** explosionsfähige Atmosphäre befand, **außen** abgezogen wurden.

3.16 Treten Gleitstielbüschelentladungen nur bei isolierenden Beschichtungen leitfähiger oder ableitfähiger Oberflächen auf?

Gleitstielbüschelentladungen können auch an isolierenden Folien auftreten, die sich frei im Raum befinden.

Die wesentlichen Voraussetzungen für das Auftreten von Gleitstielbüschelentladungen sind:

- Material mit hohem elektrischen Durchgangswiderstand

- Material von hoher dielektrischer Festigkeit (hoher Durchschlagsspannung > 4 kV)
- Vorhandensein eines stark ladungserzeugenden Prozesses
- Ausbildung einer hohen Oberflächenladungsdichte ($> 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ C/m}^2$) auf beiden Seiten mit entgegengesetztem Vorzeichen.

Gleitstielbüschelentladungen an isolierenden Beschichtungen auf geerdeter leitfähiger Unterlage:

Im Fall einer isolierenden Beschichtung auf einer leitfähigen oder ableitfähigen Unterlage wird die Unterlage simultan zum Aufladungsprozess der Beschichtung über Influenz mit Ladungen des entgegengesetzten Vorzeichens aufgeladen. Auf diese Art entsteht die für Gleitstielbüschelentladungen erforderliche Ladungsdoppelschicht hoher Oberflächenladungsdichte.

Die Auslösung einer Gleitstielbüschelentladung erfolgt entweder durch elektrischen Durchschlag der Beschichtung oder durch Annäherung einer geerdeten Elektrode (zum Beispiel Person) von außen. In beiden Fällen entsteht ein Kurzschluss zwischen der Beschichtung und der leitfähigen oder ableitfähigen Unterlage oder der Elektrode.

Gleitstielbüschelentladungen an isolierenden Beschichtungen ohne leitfähige Unterlage:

Im Fall einer sich frei im Raum befindlichen isolierenden Folie baut sich bei Aufladung einer Oberfläche („Vorderseite“) nicht zeitgleich eine entgegengesetzt geladene Ladungsschicht auf der gegenüberliegenden zweiten Oberfläche („Rückseite“) auf. Je nach Verlauf und Stärke des elektrischen Feldes ausgehend von den Ladungen auf der Vorderseite werden jedoch Ladungen (Ionen, Elektronen, feine Staubpartikel etc.) entgegengesetzten Vorzeichens zur Rückseite angezogen. Bei fortlaufender Aufladung der Vorderseite wird so eine Ladungsdoppelschicht hoher Oberflächenladungsdichte über die freitragende Folie aufgebaut.

Die Auslösung einer Gleitstielbüschelentladung erfolgt wie oben beschrieben entweder durch Durchschlag der Folie oder durch einen elektrischen Kurzschluss zwischen Vorder- und Rückseite mittels Elektrode.

3.17 Aus Gründen der Qualitätssicherung kann es erforderlich sein, bei der Herstellung von Beschichtungsmassen, Geräte in Zone 1 mit Folien abzudecken, um diese vor Verunreinigungen zu schützen. Ist dies gemäß TRGS 727 zulässig?

Isolierende Folien dürfen in Zone 1 nicht benutzt werden, da sowohl beim bestimmungsgemäßen Betrieb als auch bei Wartungs- und Reinigungsarbeiten gefährliche Aufladungen auftreten können. Aus diesem Grund ist hierfür der Einsatz von ableitfähigen Folien erforderlich.

Dies gilt auch zum Beispiel für die Verwendung von Folien zum Auffangen von leicht entzündbaren Flüssigkeiten bei Leckagen.

3.18 Ist es zweckmäßig, Ionisatoren einzusetzen, wenn Folien auf- oder abgewickelt oder bedruckt werden?

Ja. Der Einsatz von passiven oder aktiven Ionisatoren ist in den genannten Fällen zweckmäßig, sowohl zur Vermeidung der Verletzung von den Bedienungspersonen (durch elektrischen Schlag), als auch insbesondere bei Anwesenheit explosionsfähiger Gemische. In explosionsgefährdeten Bereichen mit Stoffen der Explosionsgruppe IIC sowie in Zone 0 dürfen jedoch aktive Ionisatoren nicht eingesetzt werden.

Die von Ionisatoren entladenen Folien laden sich beim Weitertransport erneut auf, zum Beispiel an der nächsten Umlenkrolle, und müssen gegebenenfalls wieder entladen werden.

Beim Einsatz von Ionisatoren ist auf regelmäßige Reinigung zu achten. Verschmutzte aktive Ionisatoren können Brände verursachen und dadurch zur Zündquelle werden.

Siehe auch TRGS 727, Nummer 3.3, Beispiel 1.

3.19 Ist die Erhöhung der relativen Luftfeuchte als alleinige Maßnahme geeignet, um gefährliche Aufladungen zu vermeiden?

Die Höhe der Aufladung bei benetzbaren Oberflächen wie von Glas oder von Naturfasern wird durch die Luftfeuchte herabgesetzt.

Jedoch reicht die Erhöhung der Luftfeuchtigkeit als alleinige Schutzmaßnahme im Explosionsschutz in der Regel nicht aus. In Zone 0 oder bei schlecht benetzbaren Oberflächen wie denen von PTFE (Polytetrafluorethylen) oder von PE (Polyethylen) sind in jedem Fall weitere Maßnahmen zu treffen.

Siehe auch TRGS 727, Nummer 3.2.5.

4 Elektrostatische Aufladungen beim Umgang mit Flüssigkeiten

4.1 Es werden innen mit PTFE beschichtete Rohrleitungen und Armaturen, zum Beispiel Ventile eingesetzt. Können diese gefährlich aufgeladen werden?

Ja. Innen mit PTFE¹⁰ beschichtete Armaturen können gefährlich aufgeladen werden.

Deshalb hängen die Einsatzmöglichkeiten vom Verfahren und den Eigenschaften der gehandhabten Stoffe ab. Ist auf der Innenseite das Auftreten explosionsfähiger Atmosphäre, zum Beispiel durch geschlossene Rohrleitungssysteme, vermieden, können innenbeschichtete Armaturen und Rohrleitungen in explosionsgefährdeten Bereichen eingesetzt werden.

Dabei ist jedoch zu beachten, dass Entladungen im Inneren die PTFE-Schicht schädigen können, so dass Korrosion am metallischen Bauteil entstehen kann. Es wurde beobachtet, dass an den Dichtflächen Entladungen von innen nach außen auftreten, die eine explosionsfähige Atmosphäre außerhalb der Bauteile entzünden können. Darüber hinaus erodieren diese Entladungen die Dichtflächen (Schmauchspuren), was zu Undichtigkeiten und gegebenenfalls zum Auftreten explosionsfähiger Atmosphäre außerhalb führt.

4.2 Was ist bei der Verwendung von Schlauchleitungen in explosionsgefährdeten Bereichen der Zone 1 oder Zone 2 zur Vermeidung elektrostatischer Zündgefahren zu beachten?

Schlauchleitungen können bei ihrer Verwendung innen und außen gefährlich hoch aufgeladen werden. Bei der Festlegung von Anforderungen an Material und Konstruktion der Schlauchleitungen sowie Maßnahmen zur

¹⁰ PTFE = Polytetrafluorethylen.

sicheren Verwendung sind aus Sicht der Vermeidung elektrostatischer Zündgefahren folgende Aspekte zu beachten:

- Art des Fördergutes, das heißt Flüssigkeit, Gas oder Schüttgut,
- Brennbarkeit des Fördergutes,
- Leitfähigkeit des Fördergutes,
- Auftreten explosionsfähiger Atmosphäre innen,
- Art des Fördervorganges, zum Beispiel pneumatischer Transport oder gravimetrischer Transport.

Detaillierte Anforderungen finden sich in TRGS 727¹¹, Nummer 4.9.4 (Schlauchleitungen für Flüssigkeiten) und Nummer 6.4 (Schlauchleitungen für Schüttgüter).

Siehe auch DGUV Information 213-053 „Schlauchleitungen“ (Merkblatt T 002 der BG RCI) Abschnitt Nummer 4.4.2.

4.3 Was ist bei der Verwendung von leit- oder ableitfähigen Schlauchleitungen mit isolierender Auskleidung für die Förderung von leicht entzündbaren Flüssigkeiten niedriger Leitfähigkeit der Explosionsgruppe IIB zu beachten?

Im Inneren der Schlauchleitung kann es je nach Betriebsweise (insbesondere beim Leerlaufen) zum Auftreten explosionsfähiger Atmosphäre kommen. Von der isolierenden Auskleidung (spezifischer Widerstand größer $10^{11} \Omega\text{m}$) der Schlauchleitung können Büschel- und Gleitstielbüschelentladungen ausgehen. Zur Vermeidung von Büschelentladungen darf die Dicke des Liners 2 mm nicht überschreiten. Können Gleitstielbüschelentladungen nicht ausgeschlossen werden, ist die Durchschlagspannung der isolierenden Auskleidung auf nicht mehr als 4 kV zu begrenzen.

Siehe TRGS 727, Nummer 3.2.3, Nummer 4.9.2 und Beispiel 6.

4.4 Darf man isolierende Schlauchleitungen in DN20 zur Förderung von Wasser in einem explosionsgefährdeten Bereich der Zone 1 verwenden?

Schlauchleitungen aus isolierendem Material können in explosionsgefährdeten Bereichen eingesetzt werden, wenn sie nicht gefährlich hoch aufgeladen werden.

Zur Vermeidung des Auftretens von zündwirksamen Büschelentladungen ausgehend von dem isolierenden Schlauchmaterial ist der Durchmesser eines Schlauches nach Tabelle 1b der TRGS 727¹² in Abhängigkeit von Zone und Explosionsgruppe zu begrenzen. Ein Schlauch der Nennweite DN20 weist einen Außen-Durchmesser von nicht mehr als 3 cm auf und wäre damit laut Tabelle 1b für die Verwendung in Zone 1 bei Anwesenheit von Stoffen der Explosionsgruppe IIA und IIB geeignet, selbst wenn er aus isolierendem Material besteht.

Es ist dabei jedoch zu beachten, dass die in der Tabelle 1b genannten Grenzen nur für die Abwesenheit von stark ladungserzeugenden Prozessen gelten. Das Fördern einer Flüssigkeit hoher Leitfähigkeit (hier Wasser) ist kein stark ladungserzeugender Prozess, wenn die Flüssigkeit in vor- oder nachgeschalteten Anlagenteilen geerdet ist beziehungsweise Erdkontakt aufweist. Es ist somit hier nicht mit dem Auftreten von Gleitstielbüschelentladungen zu rechnen.

Der Schlauch aus isolierendem Material in der Nennweite von DN20 kann somit zur Förderung von Wasser in der Zone 1 bei Abwesenheit von Stoffen der Explosionsgruppe IIC eingesetzt werden.

11 Siehe Anhang 1 Nr. 19

12 Siehe Anhang 1 Nr. 19

Siehe auch TRGS 727, Nummer 3.2.1, Absätze 1 und 2 in Verbindung mit Tabelle 1b und Nummer 4.9.3.1, Absatz 3.

4.5 Sind Schlauchleitungen für die Verwendung in Zone 1 zu prüfen? Wenn ja, in welchen Intervallen soll eine wiederkehrende Prüfung erfolgen?

Ja. Die Prüfung vor Inbetriebnahme soll zeigen, ob eine Schlauchleitung für die vorgesehene Betriebsweise geeignet ist.

Die Fristen wiederkehrender Prüfungen sind von der Unternehmerin oder dem Unternehmer anhand der Gefährdungsbeurteilung beziehungsweise anhand der betrieblichen Erfahrung festzulegen. Die Zeitspanne zwischen zwei aufeinander folgenden Prüfungen soll höchstens 5 Jahre betragen.

Hinweise zur Durchführung der Prüfung, insbesondere der Widerstandsprüfungen, gibt die DGUV Information 213-053 „Schlauchleitungen“ (Merkblatt T 002 der BG RCI¹³), insbesondere die Nummern 7.2.1 bis 7.2.2.3.

4.6 Sind leitfähige Gegenstände in Laborsicherheitsschränken, die brennbare Lösemittel enthalten, zu erden?

Wenn der Schrankinnenraum als explosionsgefährdeter Bereich der Zone 1 klassifiziert ist, müssen leitfähige Gegenstände geerdet sein, zum Beispiel über geerdete Einlegeböden des Schrankes selbst.

Ist der Schrankinnenraum Zone 2, kann die Erdung entfallen, wenn bei bestimmungsgemäßem Betrieb eine gefährliche Aufladung ausgeschlossen werden kann.

Hinweis: In der Regel dienen Laborsicherheitsschränke zum Aufbewahren von Arbeitsstoffen in geschlossenen Behältern. Nur bei davon abweichender Betriebsweise, zum Beispiel Umfüllen brennbarer Flüssigkeiten, kommt Zone 1 in Betracht.

4.7 Muss der Spritzschutz an Flanschen in explosionsgefährdeten Bereichen der Zone 1 aus ableitfähigem Material bestehen?

Der Spritzschutz an Flanschen in explosionsgefährdeten Bereichen der Zone 1 muss bei Überschreitung der höchstzulässigen Oberfläche nach Tabelle 1a Nummer 3.2.1 der TRGS 727¹⁴ ableitfähig und mit Erde verbunden sein. Die Erdung ergibt sich bei metallischen Rohrleitungen üblicherweise durch das enge Anliegen.

Spritzschutzmanschetten aus isolierendem Material können eingesetzt werden, wenn alle folgenden Punkte erfüllt sind:

- Die Manschetten liegen eng an den Flanschplatten an.
- Sie sind dünner als 2 mm.

13 Siehe Anhang 1 Nr. 27

14 Siehe Anhang 1 Nr. 19

- Der Flanschplattenabstand beträgt weniger als 3 cm.
- Die am Flansch austretende Flüssigkeit ist der Explosionsgruppe IIA oder IIB zuzuordnen und besitzt eine mittlere oder hohe Leitfähigkeit.

Beim Anbringen und Entfernen der isolierenden Spritzschutzmanschetten ist die Abwesenheit von g. e. A. sicherzustellen.

4.8 Dürfen Kunststoffküken an Armaturen von Leitungen brennbarer Flüssigkeiten eingesetzt werden?

Nein. Kunststoffküken können elektrostatisch aufgeladen werden und von ihnen können zündwirksame Büschelentladungen ausgehen. Ihre Zündwirksamkeit hängt von den Stoffeigenschaften des Mediums und dem Durchmesser der Rohrleitung ab.

Von in den Küken vorhandenen Metallteilen können außerdem Funkenentladungen ausgehen. Solche Metallteile müssen geerdet werden.

Siehe auch TRGS 727, Nummer 3.2.1, Tabelle 1a.

4.9 Müssen bei einer Glasapparatur in Zone 1 alle Metallteile geerdet werden?

Dies ist abhängig von den verwendeten Stoffen. Bei Substanzen der Explosionsgruppe IIC müssen alle Metallteile geerdet werden.

Bei den Explosionsgruppen IIA und IIB können Metallflansche mit einer Nennweite kleiner DN50 ohne Erdung bleiben, wenn deren Kapazität 6 pF (Explosionsgruppe IIA) beziehungsweise 3 pF (Explosionsgruppe IIB) nicht überschreitet. Dies ist bei einfachen Flanschverbindungen in der Regel der Fall, während komplexere Armaturen wie zum Beispiel Handventile auch bei kleinen Nennweiten eine größere Kapazität aufweisen und deswegen unabhängig von der Stoffgruppe geerdet werden müssen.

Siehe hierzu auch TRGS 727 Nummer 4.13 mit Tabelle 8 und Nummer 8.3.5 mit Tabelle 11.

4.10 Helfen Antistatika beim Handhaben von Flüssigkeiten?

Ja. Antistatika können zur Erhöhung der Leitfähigkeit von Flüssigkeiten niedriger Leitfähigkeit eingesetzt werden. Oft genügt eine Beimischung im ppm-Bereich.

Diese Maßnahme wird zum Beispiel bei der Flugzeugbetankung angewendet. Insbesondere bei langzeitiger Verwendung der Flüssigkeiten oder thermischer Belastung (z. B. Wärmeträgeröle) sind Hinweise der Hersteller zur Ermüdung oder Verbrauch der Antistatika zu beachten.

Siehe auch TRGS 727, Nummer 4.2.

4.11 Sind für die Aufbewahrung lösemittelfeuchter Putzlappen ableitfähige oder leitfähige Behälter notwendig? Muss eine Erdverbindung hergestellt werden?

Für die Aufbewahrung lösemittelfeuchter Putzlappen sind ableitfähige oder leitfähige Behälter erforderlich. Ableitfähige Behälter müssen mit Erde verbunden sein, leitfähige Behälter müssen geerdet werden.

Hinweis: Neben den Zündgefahren durch Entladungen statischer Elektrizität sind auch das Selbstentzündungsverhalten der Lappen und die Brandlast durch den Behälterinhalt und Ähnliches zu berücksichtigen.

Entsprechend sind weitere Maßnahmen erforderlich, wie zum Beispiel Behälter – außer bei der Entnahme beziehungsweise der Entsorgung verschmutzter Lappen – dicht verschlossen halten, verschmutzte Abfalltücher zeitnah entsorgen oder zur Reinigung abtransportieren sowie am Ende der Arbeitszeit gefüllte Behälter aus dem Arbeitsraum entfernen und in einem gesicherten Bereich abstellen.

Siehe auch FBFHB-004 „Brandgefährdung durch Selbstentzündung brennbarer Materialien“¹⁵.

4.12 Dürfen wassermischbare Lösemittel hoher Leitfähigkeit, zum Beispiel Ethanol, in isolierenden Kunststoffbehältern von mehr als 5 l Volumen zur Anwendung bereitgehalten werden?

Nein. Für die Verwendung isolierender Behälter in Zone 1 beträgt das höchstzulässige Behältervolumen 5 l.

Begründung: Bei offenem Umgang mit brennbaren Flüssigkeiten entsteht im Nahbereich des Behälters eine explosionsfähige Atmosphäre, die im Allgemeinen der Zone 1 zuzuordnen ist.

Auch bei wassermischbaren Lösemitteln hoher Leitfähigkeit darf von dieser Regelung nicht abgewichen werden.

Siehe auch TRGS 727, Nummer 4.5.5.

4.13 Wie ist mit angelieferten isolierenden Kunststoffbehältern von mehr als 5 l zu verfahren, die brennbare Flüssigkeiten enthalten?

Brennbare Flüssigkeiten mit einem Flammpunkt von weniger als 60 °C dürfen in transportrechtlich zugelassenen isolierenden Kunststoffbehältern versendet und transportiert werden.

Das Befüllen und Entleeren isolierender Behälter im Betrieb ist jedoch gefährlich und darf nur unter Anwendung besonderer Explosionsschutzmaßnahmen vorgenommen werden, die im jeweiligen Einzelfall festzulegen sind. Von der Verwendung derartiger Behälter als Transport- und Arbeitsbehälter wird abgeraten.

4.14 Für die Aufnahme verbrauchter Lösemittel wird ein Sammelbehälter aus Stahl verwendet, der bisher mit Erde verbunden ist. Zur Vermeidung von Korrosion soll er durch ein Kunststofffass ersetzt werden. Was ist hier zu tun?

Die Verwendung eines ableitfähigen oder leitfähigen Kunststofffasses ist zulässig, wenn es mit Erde verbunden ist.

Alternativ ist der Einsatz eines beschichteten Metallfasses zulässig, wenn es die Anforderungen nach TRGS 727¹⁶ Nummern 4.5.2 und 4.5.3 erfüllt.

Auch sind isolierende Behälter mit leitfähiger Umhüllung gemäß TRGS 727, Nummer 4.5.4 zulässig.

Siehe auch TRGS 727 Nummern 4.5.2 bis 4.5.4.

4.15 Dürfen langsam laufende Rührwerke bei der Herstellung von Lacken auf Basis brennbarer isolierender Lösemittel in 60 l Kunststoffgebinden verwendet werden, wenn das Rührorgan mit einer Zwangsabsaugung versehen und der Behälter mit einem Metalldeckel verschlossen ist?

Die Verarbeitung von brennbaren Flüssigkeiten in Kunststoffbehältern ist ohne zusätzliche Explosionsschutzmaßnahmen nicht zulässig. Eine Absaugung allein reicht in der Regel hierzu nicht aus. Die Geschwindigkeit des Rührwerkes ist dabei unerheblich.

Hinweis: Hochviskose Flüssigkeiten laden sich in der Regel schneller auf als niedrigviskose.

Siehe auch TRGS 727, Nummern 4.5.5 und 4.6.

4.16 Dürfen Rigid Intermediate Bulk Container (RIBC), bestehend aus einer Kunststoffblase in einer großmaschigen Metallgitterbox, in Zone 1 mit nicht brennbaren Flüssigkeiten befüllt oder entleert werden?

Ein RIBC besteht in der Regel aus einer großflächigen Kunststoffblase, deren Oberfläche die Oberflächengrenzen nach TRGS 727¹⁷ Nummer 3.2.1 Tabelle 1a erheblich überschreitet.

Die Aufladung des RIBC ist unabhängig von der Brennbarkeit der Flüssigkeit; in explosionsgefährdeten Bereichen darf der RIBC selbst (auch) nicht zur Zündquelle werden.

Befüllen oder Entleeren von RIBC in explosionsgefährdeten Bereichen der Zone 1 dürfen nur mit RIBC durchgeführt werden, die der TRGS 727¹⁸ Nummer 4.5.4 Absatz 2 entsprechen.

Andere Arbeitsschritte als Befüllen und Entleeren erfordern zusätzliche Maßnahmen.

Siehe auch TRGS 727, Nummer 4.5.4, Absatz 3, Punkte 1 bis 9.

¹⁶ Siehe Anhang 1 Nr. 19

¹⁷ Siehe Anhang 1 Nr. 19

¹⁸ Siehe Anhang 1 Nr. 19

4.17 Eine angelieferte brennbare Flüssigkeit befindet sich in einem Rigid Intermediate Bulk Container (RIBC). Wie kann dieser sicher in Zone 1 entleert werden?

Brennbare Flüssigkeiten dürfen nur in RIBC, die den Anforderungen der TRGS 727 Nummer 4.5 entsprechen, gehandhabt werden. Zur Entleerung ist der RIBC zu erden.

Für die Entleerung anderer RIBC sind zusätzlich Explosionsschutzmaßnahmen zu ergreifen, die im jeweiligen Einzelfall festzulegen sind.

Die für die Entleerung benutzten Anschlüsse, Armaturen und Leitungen müssen ebenfalls ableitfähig oder leitfähig sein. In beiden Fällen ist eine Erdung notwendig. Ist die Entleerung ein stark ladungserzeugender Prozess, zum Beispiel bei Mehrphasenströmungen oder beim Entleeren von Estern, sind ausschließlich leitfähige Anschlusssteile und Leitungen zu verwenden.

Siehe auch TRGS 727, Nummern 4.5.4 und 4.9.

4.18 Darf in Zone 2 ein Rigid Intermediate Bulk Container (RIBC), bestehend aus einer Kunststoffblase in einer großmaschigen Metallgitterbox, mit brennbarer Flüssigkeit befüllt werden? Was ist beim Entleeren des RIBC zu beachten?

Die Randbedingung Zone 2 allein ist nicht maßgebend.

Sowohl beim Befüllen des RIBC als auch bei seinem Entleeren von brennbarer Flüssigkeit ist tätigkeitsbedingt mit einer explosionsfähigen Atmosphäre zu rechnen. Daher müssen beim Befüllen und Entleeren mindestens die Maßnahmen nach TRGS 727¹⁹, Nummer 4.5.4, Absatz 3, Punkte 1 bis 9 zur Vermeidung wirksamer Zündquellen getroffen werden.

4.19 Darf in Zone 2 ein Rigid Intermediate Bulk Container (RIBC), bestehend aus einer Kunststoffblase in einer großmaschigen Metallgitterbox, mit nicht brennbarer Flüssigkeit befüllt werden? Was ist beim Entleeren des RIBC zu beachten?

Es ist zwischen Flüssigkeiten niedriger oder mittlerer Leitfähigkeit und Flüssigkeiten hoher Leitfähigkeit zu unterscheiden.

Das Befüllen von RIBC mit nicht brennbaren Flüssigkeiten niedriger oder mittlerer Leitfähigkeit in Zone 2 ist nur unter Verwendung von RIBC nach TRGS 727 Nummer 4.5.4 Absatz 2 zulässig.

Nicht brennbare Flüssigkeiten hoher Leitfähigkeit können in Zone 2 in RIBC eingefüllt werden, wenn die Flüssigkeit geerdet ist, zum Beispiel über ein leitfähiges Tauchrohr.

Es ist darauf zu achten, dass betriebsmäßig keine hoch aufgeladenen RIBC in Zone 2 eingebracht werden.

Beim Entleeren ist in der Regel seltener mit zündwirksamen Entladungen am RIBC zu rechnen als beim Befüllen.

4.20 Dürfen in Zone 2 Rigid Intermediate Bulk Container (RIBC), bestehend aus einer Kunststoffblase in einer großmaschigen Metallgitterbox, als Produktionsbehälter für Zwischenprodukte verwendet werden?

Bei RIBC handelt es sich um Transport- und Lagerbehälter. Es ist eigentlich nicht vorgesehen, sie als Produktionsbehälter zu verwenden.

Soll ein RIBC dennoch als Produktionsbehälter eingesetzt werden, ist eine Gefährdungsbeurteilung durchzuführen. Sie muss aufzeigen, dass gefährliche Aufladungen bei Einhaltung der dort festgelegten Schutzmaßnahmen vermieden sind.

4.21 Eine brennbare Flüssigkeit wird in Rigid Intermediate Bulk Containern (RIBC) mit ca. 1000 l Fassungsvermögen angeliefert. Sind RIBC mit Gitterummantelung oder solche mit Blechummantelung zur Vermeidung gefährlicher Aufladungen vorzuziehen?

Sowohl gitterummantelte als auch blechummantelte RIBC sind einsetzbar, wenn sie den Anforderungen der TRGS 727²⁰ Nummer 4.5.4 entsprechen. Geeignete, herstellereitig gekennzeichnete RIBC sind in beiden Konstruktionen verfügbar.

Siehe auch TRGS 727, Nummer 4.5.4.

4.22 Dürfen Pigmente mit einer Mindestzündenergie von etwa 1 mJ aus einem isolierenden Behälter langsam in eine Lösemittelvorlage entleert werden, zum Beispiel in Toluol?

Nein. Isolierende Behälter sind nicht für Tätigkeiten in explosionsfähiger Atmosphäre durch Gase oder Dämpfe geeignet. Auch beim Einsatz leitfähiger Behälter sind zusätzliche Maßnahmen zu treffen.

Der Eintrag von Schüttgut in brennbare Lösungsmittel hat geschlossen und unter Bedingungen zu erfolgen, die eine explosionsfähige Atmosphäre vermeiden, zum Beispiel durch Inertisierung.

Ein offener Eintrag von Feststoffen aus isolierenden Gebinden in Behälter mit brennbarer Flüssigkeit ist nur zulässig, wenn die Temperatur der Flüssigkeit ausreichend weit unter ihrem Flammpunkt liegt.

Für die Beurteilung der elektrostatischen Sicherheit ist es unerheblich, ob der isolierende Behälter nach Transportrecht zugelassen ist oder nicht.

Weitere Verfahrensschritte zum Eintrag von Schüttgut in Behälter siehe TRGS 727²¹, Nummer 6.3.3.

Siehe auch TRGS 721²².

20 Siehe Anhang 1 Nr. 19

21 Siehe Anhang 1 Nr. 19

22 Siehe Anhang 1 Nr. 15

4.23 Welche Anforderungen sind an die Lagerung von Ammoniakwasser (25 %) in isolierenden Kunststoffbehältern von 2 m³ Rauminhalt zu stellen?

Büschelentladungen sind aufgrund der hohen Mindestzündenergie von Ammoniak nicht zündwirksam. Deshalb kann im vorliegenden Fall die Schutzmaßnahme „Begrenzung der Abmessungen isolierender Gegenstände“ entfallen.

Funkenentladungen sind durch Erdung aller leitfähigen Teile und der Flüssigkeit zu vermeiden.

Siehe auch TRGS 727, Nummer 3.2.1.

4.24 Im Lager werden Proben brennbarer Flüssigkeit von etwa 1 l aus Fässern entnommen. Aus Korrosionsschutzgründen soll eine Tropfenauffangwanne aus 5 mm starkem PVC eingesetzt werden. Welche Maßnahmen sind gegen eine gefährliche Aufladung zu treffen?

Die Auffangwanne muss ableitfähig oder leitfähig und mit Erde verbunden sein. PVC ist in der Regel isolierend und damit für eine ableitfähige Auffangwanne nicht geeignet.

Verschiedene Kunststoffe werden durch den Zusatz von Antistatika, zum Beispiel Ruß, ableitfähig. Die durch den Zusatz veränderten mechanischen Eigenschaften können bei einer Auffangwanne meist vernachlässigt werden.

4.25 Bei der Kristallisation in brennbaren Flüssigkeiten tritt an einem 100-l-großen Glasreaktor blaues Leuchten auf der Glasoberfläche auf. Auf den Werkstoff Glas kann nicht verzichtet werden. Welche Maßnahmen sind gegen gefährliche Aufladungen zu treffen?

Im Innern des Reaktors ist die Vermeidung explosionsfähiger Atmosphäre, zum Beispiel durch Inertisierung, erforderlich.

Stark ladungserzeugende Prozesse, zum Beispiel Mehrphasenströmungen, können Gläser gefährlich aufladen, so dass auch an ihren Außenseiten Entladungen auftreten können. Deshalb ist zur Vermeidung zündwirksamer Entladungen die Reaktoraußenwand ableitfähig zu beschichten und zu erden.

Drahtnetze oder aufgeklebte Kupferstreifen haben sich in der Praxis nicht bewährt, da sie während des Betriebes unerkannt von Erde isoliert und gefährlich aufgeladen werden können.

Siehe auch TRGS 727, Nummer 4.13.

4.26 Dürfen beliebig lange leitfähige Schläuche durch explosionsgefährdete Bereiche der Zone 1 verlegt werden?

Bei langen Gegenständen aus leitfähigem Material ist damit zu rechnen, dass sie Streuströme führen. Dies kann bei Schläuchen das Material schädigen und bei Unterbrechung der Schlauchverbindung zu Abreißfunken führen. Daher sind bei Schlauchleitungen in regelmäßigen Abständen Isolierflansche einzubauen und die Teilabschnitte jeweils zu erden. Bei flexiblen Schlauchverbindungen mit An- und Abkuppelvorgängen (Anschluss von Tankwagen, Kesselwagen, Schiffe etc.) ist entweder sicherzustellen, dass Streuströme nicht auftreten oder die Verbindungen sind durch Isolierflansche gegen Abreißfunken zu schützen.

Isolierflansche haben einen so hohen Widerstand, dass sie diese Funken verhindern, aber auch einen so niedrigen Widerstand, dass die durch Strömung im Schlauch entstehenden Aufladungen sicher abgeleitet werden können (Widerstandsbereich: 1 k Ω bis 100 M Ω).

Siehe auch TRGS 727 Nummer 4.9.4, IEC TS 60079-32-1²³ und „International Safety Guide for Oil Tankers and Terminals“ (ISGOTT)²⁴.

4.27 Beim Reinigen verschmutzter Gegenstände werden brennbare Lösemittel eingesetzt und mit einem Pinsel aufgetragen. Können hierbei gefährliche Aufladungen auftreten?

Grundsätzlich ist mit Aufladungen zu rechnen.

Werden leitfähige Teile, die geerdet sind, mit Pinsel gereinigt, ist durch diesen Vorgang typischerweise nicht mit gefährlichen Aufladungen zu rechnen.

Bei isolierenden Teilen, zum Beispiel aus üblichen Kunststoffen, die die maximal zugelassenen Flächenmaße nach TRGS 727²⁵ Tabelle 1a (zum Beispiel 50 cm² bei Lösemitteln der Explosionsgruppe IIA) überschreiten, sind dagegen gefährliche Aufladungen nicht auszuschließen.

Die Person und leitfähige Teile sind zu erden.

Das Entstehen explosionsfähiger Atmosphäre in gefahrdrohender Menge ist durch geeignete Maßnahmen, zum Beispiel Absaugung, zu vermeiden.

Siehe auch TRGS 727, Nummern 3.1 und 3.2.

4.28 Müssen flüssigkeitsabweisende Schürzen oder Schutzhandschuhe bei Arbeiten in Zone 1 ableitfähig sein?

Schürzen liegen in der Regel nicht eng am Körper an. Deshalb müssen Schürzen ableitfähig sein.

Schutzhandschuhe werden durch Tragen nicht gefährlich aufgeladen. Werden Gegenstände in der Hand gehalten, zum Beispiel bei Reinigungsarbeiten, sind jedoch ableitfähige Schutzhandschuhe zu tragen, damit die gehaltenen Gegenstände nicht aufgeladen werden (siehe auch Kapitel 7 und 8 dieser Schrift).

23 Siehe Anhang 1 Nr. 47

24 Siehe Anhang 1 Nr. 61

25 Siehe Anhang 1 Nr. 19

Siehe auch Fragen 4.39 und 7.13.

4.29 Mit welcher Strömungsgeschwindigkeit darf ein Tank mit brennbaren Flüssigkeiten befüllt werden?

Nur für leitfähige Rohrleitungen und Tanks, zum Beispiel Eisenbahnkesselwagen oder Straßentankwagen, sind maximale Strömungsgeschwindigkeiten bekannt. Sie hängen von folgenden Parametern ab:

- Leitfähigkeit der Flüssigkeit
- Verunreinigungen der Flüssigkeit
- Querschnitt der Befüllleitung
- Abmessungen des Tanks
- Ort und Art der Befüllung

In einzelnen Fällen ist eine Strömungsgeschwindigkeit bis maximal 7 m/s zulässig. In der Regel werden einphasige Flüssigkeiten durch Strömungsgeschwindigkeiten bis zu 1 m/s in leitfähigen, geerdeten Rohrleitungen nicht gefährlich aufgeladen.

Siehe auch TRGS 727, Nummer 4.4.1.

4.30 Eine reine IIB Flüssigkeit mit einem Flammpunkt von 41 °C soll in einen Kesselwagen bei einer Flüssigkeitstemperatur von 30 °C eingefüllt werden. Muss der Kesselwagen unter Spiegel befüllt werden? Wie weit darf das Füllrohr in den Kessel des Wagens hineinragen?

Bei Einhaltung der genannten Temperaturen entsteht keine explosionsfähige Atmosphäre, sofern durch den Befüllvorgang keine Aerosole gebildet werden. Treten Aerosole auf, muss – unabhängig vom Flammpunkt – mit dem Auftreten explosionsfähiger Atmosphäre gerechnet werden.

Liegt eine explosionsfähige Atmosphäre vor, muss das Füllrohr entweder als sogenanntes Tauchrohr bis zum Boden reichen, oder es darf nicht in den Tank hineinragen.

Die Strömungsgeschwindigkeit für das Befüllen mit Tauchrohr darf die Grenzwerte nach TRGS 727²⁶ Nummer 4.4 nicht überschreiten. Für das Befüllen ohne Tauchrohr ist die Geschwindigkeit auf die Hälfte der mit Tauchrohr zulässigen Werte zu begrenzen.

Durch das Tauchrohr beziehungsweise die Reduzierung der Geschwindigkeit wird auch die Bildung von explosionsfähigem Sprühnebel verringert.

Siehe auch TRGS 727, Nummer 4.4 sowie Beispiel 2.

4.31 Was gilt es bei der Abfüllung von Flüssigkeiten in Kesselwagen hinsichtlich elektrostatischer Zündgefahren zu beachten?

Sollen Flüssigkeiten bei Temperaturen sicher unterhalb ihres Flammpunktes abgefüllt werden, sind keine weiteren Maßnahmen zu treffen. Als sicher unterhalb des Flammpunktes werden Medientemperaturen angesehen, welche bei Reinstoffen 5 K beziehungsweise bei Gemischen 15 K unterhalb des Flammpunktes liegen. Hierbei sind ebenfalls erhöhte Medientemperaturen aufgrund von Sonneneinstrahlung im Sommer oder erhöhte Temperaturen bei der Abfüllung auch bei Betriebsstörungen zu berücksichtigen.

- Kann eine Befüllung des Kesselwagens bei Temperaturen sicher unterhalb des Flammpunktes nicht sichergestellt werden, ist davon auszugehen, dass eine gefährliche explosionsfähiger Atmosphäre (g. e. A.) auftreten kann.
- Genauso kann g. e. A. auftreten, wenn sich aufgrund des Verspritzens der Flüssigkeit eine Aerosolwolke bilden kann. Beim Befüllen von Behältern mittels Tauchrohr treten sie üblicherweise nicht auf. Auch beim sogenannten Splash-filling treten Aerosolwolken in zündfähigen Konzentrationen erfahrungsgemäß nicht auf.

Wenn aufgrund der oben genannten Randbedingungen festgestellt wird, dass g. e. A. nicht ausgeschlossen werden kann, so sind entsprechend der Auftretenswahrscheinlichkeit der g. e. A. wirksame Zündquellen entsprechend zu vermeiden.

Bei der Befüllung von Kesselwagen können elektrostatische Zündgefahren auftreten. Maßnahmen zur Vermeidung dieser Zündgefahren, insbesondere Beschränkung der Strömungsgeschwindigkeit beim Befüllen, sind in Abschnitt 4.4.3 der TRGS 727²⁷ beschrieben.

4.32 Welche Anforderungen sind an einen Sammelbehälter für flüssige Abfälle zu stellen? Die in einer achtstündigen Schicht anfallenden Mengen bestehen aus 2 l Biodiesel und 0,5 l Pflanzenöl sowie 0,1 l Methanol.

Werden bei offener Einleitung Sammelbehälter von **mehr als 5 l Fassungsvermögen** eingesetzt, so sollen diese – ohne die Gefährdungsbeurteilung vorwegzunehmen – aus leitfähigem Material bestehen und geerdet sein. Die Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladung sind bei den vorliegenden Mengenströmen gering.

Bei der Verwendung von Sammelbehältern von nicht **mehr als 5 l Fassungsvermögen** können – unter Beachtung der durch Stoffe und Verfahren bedingten Gefährdungen – auch Behälter aus isolierenden und daher aufladbaren Materialien eingesetzt werden.

Da im vorliegenden Fall nur sehr kleine Mengen pro Schicht anfallen, werden kleine Sammelbehälter mit einem Fassungsvermögen von weniger als 5 l empfohlen.

Sie werden zweckmäßig an einem festgelegten, gut belüfteten Ort, zum Beispiel in einem Abzug, aufgestellt. Sie sollen mit einem leitfähigen, geerdeten Tauchrohr befüllt werden. Diese Behälter dürfen auch aus isolierendem Material, zum Beispiel Polyethylen, bestehen. Die Flüssigabfälle können in diesen Behältern ohne zusätzliche Maßnahmen transportiert und gegebenenfalls auch entsorgt werden.

Hinweis zur Gefährdungsbeurteilung:

Werden brennbare Flüssigkeiten oberhalb ihres Flammpunktes gehandhabt, ist im Sammelbehälter mit dem Vorhandensein explosionsfähiger Atmosphäre zu rechnen. Wenn offen befüllt wird, ist davon auszugehen, dass ohne weitere Maßnahmen auch in der Umgebung des Sammelbehälters explosionsfähige Atmosphäre auftritt. In den genannten Fällen sind – nach Gefährdungsbeurteilung im Einzelfall – Explosionsschutzmaßnahmen festzulegen.

Bei der Gefährdungsbeurteilung ist auch zu berücksichtigen, ob gasförmige Stoffe eingeleitet werden oder durch eingeleitete flüssige Stoffe gebildet werden können.

Das Auftreten elektrostatischer Zündgefahren beim Sammeln flüssiger Abfälle hängt von einer Reihe von Randbedingungen ab: Bezüglich der gehandhabten Stoffe gehören dazu unter anderem die elektrische Leitfähigkeit und die Mischbarkeit. Zu den verfahrenstechnischen Randbedingungen zählen die Befüllart, die Mengenströme, die Temperatur und der Druck der Flüssigkeiten. Die Anlagen- und Behältergröße, das Behältermaterial, die Art der Lüftung und die Ausdehnung der Zonen sind ebenfalls zu berücksichtigen. Die Randbedingungen sind auch maßgebend für die Beurteilung der elektrostatischen Zündquellen.

Siehe auch TRGS 727, Nummer 4.5.

4.33 Ist es möglich, die Höhe einer Aufladung online zu messen, um diese innerhalb eines Arbeitsprozesses, zum Beispiel beim Abfüllen von Lacken oder Lacklösemitteln in Kunststoffgebinde, zu begrenzen? Welches Messprinzip kann online eingesetzt werden?

Die Höhe einer Aufladung kann prinzipiell online durch Messung der Feldstärke in einem definierten Abstand gemessen werden. Soll die Messung in einem explosionsgefährdeten Bereich durchgeführt werden, ist ein explosionsgeschütztes Messgerät erforderlich. Von solchen Messungen wird jedoch grundsätzlich abgeraten:

- Die gemessenen Werte sind in der Regel nicht aussagekräftig für die Beurteilung der Situation.
- Die Messung ist verfahrenstechnisch nicht ohne erheblichen Aufwand möglich.
- Das Verfahren ist sehr störungsanfällig.

Beim Abfüllen brennbarer Flüssigkeiten unter Einhaltung der Maßnahmen der TRGS 727²⁸, Nummer 4 sind solche Messungen nicht erforderlich.

4.34 Müssen gebrauchte Rigid Intermediate Bulk Container (RIBC) vor Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen geprüft werden?

RIBC, die dem Gefahrguttransport dienen, unterliegen dem Transportrecht und müssen auf dieser Grundlage alle 30 Monate einer Wiederholungsprüfung (WHP) unterzogen werden. Werden RIBC in explosionsgefährdeten Bereichen eingesetzt, müssen sie auch die in Nummer 4.5.4 der TRGS 727 beschriebenen Anforderungen erfüllen.

Die TRGS 727 sieht eine regelmäßige Wirksamkeitskontrolle der elektrostatischen Schutzmaßnahmen vor, das Prüfintervall ist unter Berücksichtigung der Vorbelastung der RIBC und nach den jeweiligen Einsatzbedingungen festzulegen. Es muss insbesondere geprüft werden, ob alle Metallteile und die Kontaktstelle mit der Flüssigkeit und die Kontaktstellen mit dem Fußboden elektrisch untereinander leitfähig verbunden sind. Dies kann durch Sicht- oder messtechnische Prüfung erfolgen.

Handelt es sich um einen RIBC, dessen Kunststoffblase ableitfähig ausgeführt ist, muss vor der Weiterverwendung messtechnisch nachgewiesen werden, dass die Ableitfähigkeit des gebrauchten RIBC noch gegeben ist.

Sollen rekonditionierte RIBC in explosionsgefährdeten Bereichen eingesetzt werden, müssen sie vor der Wiederbenutzung geprüft werden. Der Prüfumfang entspricht dem der wiederkehrenden Prüfung gebrauchter RIBC.

*Siehe TRGS 727, Nr. 4.5.4, Absätze 5 und 6.
Hinweis: Für den Einsatz von RIBC vgl. Fragen 4.16 ff.*

4.35 Welche Schläuche sind zum Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen geeignet?

Gemäß der weltweit vereinbarten DIN EN ISO 8031²⁹ sind Schlauchleitungen zum Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen geeignet, wenn sie folgende Eigenschaften aufweisen:

- Elektrischer Widerstand zwischen den Schlaucharmaturen, bedingt durch zwei Metallwendel im Schlauchinneren, kleiner 100 Ω („M-Schlauch“),
- Elektrischer Widerstand zwischen den Schlaucharmaturen, bedingt durch leitfähigen Gummi im Schlauchinneren, kleiner 1 M Ω („leitfähiger Ω -Schlauch“),
- Elektrischer Widerstand zwischen den Schlaucharmaturen, bedingt durch ableitfähigen Gummi im Schlauchinneren, zwischen 1 k Ω und 100 M Ω („antistatischer Ω -Schlauch“).

Wie die genannten Widerstände zwischen den Armaturen konstruktiv erreicht werden, spielt für die Klassifizierung nach der ISO 8031 keine Rolle.

Diese weltweit vereinbarte Norm muss aus Gründen der Harmonisierung auch die Basis der deutschen Technischen Regeln bilden. Es gibt jedoch Fälle, in denen diese Anforderungen elektrostatisch nicht ausreichend sind. In der IEC TS 60079-32-1³⁰ werden daher auf Basis der DIN EN ISO 8031 weitere Schlauchtypen definiert, welche auch unter kritischen Einsatzbedingungen verwendbar sind. Hierzu gehört insbesondere der leitfähige Ω -CL-Schlauch mit ableitfähiger Außen- und Innenseite. Der gleiche Schlauchtyp wird auch in der DIN EN 12115³¹ beschrieben und dort Ω/T genannt. Da beide Regelwerke zeitgleich erschienen sind, war eine gegenseitige Abstimmung über den Namen des neuen Schlauchtyps nicht möglich. Auch hier spielt es für die Klassifizierung keine Rolle, wie die geforderten Widerstände konstruktiv erreicht werden. So schließt zum Beispiel die Forderung eines geringen Widerstands zwischen Außen- und Innenseite nicht aus, dass eine isolierende Schlauchzwischenwand vorhanden ist und der Strom bei der Widerstandsmessung somit nicht direkt, sondern über eingearbeitete Metallfäden und eine Schlaucharmatur fließt.

Bei normalen Strömungsgeschwindigkeiten, bei denen typischerweise ein Aufladestrom von weniger als 10 μ A auftritt, sind „antistatische Ω -Schläuche“, wie sie in der DIN EN ISO 8031 beschrieben sind, ausreichend. Unter kritischeren Bedingungen sind Ω -CL- beziehungsweise Ω/T -Schläuche zu empfehlen. Es wäre anzustreben, dass in Zukunft unterschiedliche Symbole für „antistatische“ und „leitfähige Ω -Schläuche“ sowie ein einheitliches Symbol für Ω -CL- und Ω/T -Schläuche international vereinbart werden.

4.36 Unter welchen Bedingungen ist das Rühren brennbarer Flüssigkeiten in explosionsgeschützten RIBC erlaubt?

Rühren und Mischen sind typischerweise stark ladungserzeugende Prozesse, welche zusätzliche Schutzmaßnahmen erforderlich machen. Eine mögliche Schutzmaßnahme ist eine hohe elektrische Ruheleitfähigkeit des Mediums, welche bei wasserverdünnbaren Flüssigkeiten (zum Beispiel Wasserlacke) vorliegt, in Kombination mit einer großen leitfähigen geerdeten Rühreroberfläche. Manchmal kann auch durch Reduzierung der Rührerleistung ein sicherer Zustand eingestellt werden.

29 Siehe Anhang 1 Nr. 35

30 Siehe Anhang 1 Nr. 47

31 Siehe Anhang 1 Nr. 41

Maßnahmen zur Vermeidung explosionsfähiger Gemische, zum Beispiel Inertisierung, sind in jedem Fall zweckmäßig.

4.37 Wie können Emailleschäden an Reaktorinnenwänden verhindert werden?

Bei Flüssigkeiten/Emulsionen mit hoher Leitfähigkeit (zum Beispiel Alkohole mit Leitfähigkeit $> 10^{-9}$ S/m) sind Emailleschäden nicht zu erwarten, da der großflächig wirkende Ableitwiderstand über die Emailleschicht in der Regel ausreichend niedrig ist (Ableitwiderstand $\leq 10^8 \Omega$). Im Zweifelsfall kann am Reaktorboden die Flüssigkeit durch einen Erdungspunkt (Tantal oder Hastelloy) geerdet werden.

Bei Flüssigkeiten/Emulsionen niedriger Leitfähigkeit (zum Beispiel Toluol, Benzin, Leitfähigkeit $< 10^{-11}$ S/m) ist ein einzelner Erdungspunkt nicht ausreichend. Hier muss versucht werden, die elektrostatische Aufladung der Flüssigkeit durch geringe Strömungsgeschwindigkeit und Vermeidung von Turbulenzen möglichst gering zu halten. Auch die Erhöhung der Leitfähigkeit durch Zugabe von Additiven ist hilfreich.

4.38 Dürfen die Arbeitsschritte Rühren, Umpumpen oder Dispergieren von brennbaren Flüssigkeiten in isolierenden Behältern durchgeführt werden?

In der TRGS 727³² (Ausgabe 8/2016) werden zu dieser Frage in verschiedenem Kontext unterschiedliche Aussagen gemacht:

Gemäß Nummer 4.2 Absatz 3 „dürfen isolierende Behälter für Flüssigkeiten und organische Lösemittel der Explosionsgruppen IIA und IIB mit MZE $\geq 0,2$ mJ sowie für Mineralölprodukte, die eine explosionsfähige Atmosphäre bilden können, verwendet werden, sofern die Leitfähigkeit der homogenen Phase mehr als 10 000 pS/m beträgt.“

Dies ist im Grundsatz richtig, es sind jedoch

- alle in Nummer 4.11 „Rühren und Mischen von Flüssigkeiten“ genannten Einschränkungen zu beachten. Insbesondere gilt:
Rühren und Mischen darf nur erfolgen
 1. in leitfähigen Behältern,
 2. in ableitfähigen Behältern oder
 3. in Behältern mit isolierender Innenschicht, wenn sie leitfähig umhüllt sind und die Anforderungen von Nummer 4.4.5 bei mittelgroßen Behältern beziehungsweise Nummer 4.5.4 bei kleinen Behältern erfüllt werden.
- Ferner sind alle in Nummer 4.11 genannten Hinweise zu beachten.
- alle leitfähigen Medien, Einrichtungen und Gegenstände zu erden, alle ableitfähigen Medien, Einrichtungen und Gegenstände sind mit Erde zu verbinden (Nummer 4.2 Absatz 2).

4.39 Können bei manuellen Reinigungsarbeiten an Oberflächen von Druckmaschinen (zum Beispiel Druckeinheit/Druckwerk/Druckkopf), die mit brennbaren Lösemitteln durchgeführt werden, gefährliche Aufladungen auftreten?

Bei der manuellen Reinigung können an allen gegeneinander bewegten Apparate­teilen, Reinigungsgerät und Betriebsmitteln elektrostatische Aufladungen auftreten.

Um daraus resultierende zündwirksame Entladungen zu vermeiden, ist Folgendes zu beachten:

- Leitfähige Gegenstände sind zu erden.
- Personen sind zu erden.
- Sind isolierende Oberflächen zu reinigen, ist ein leitfähiges Lösemittel einzusetzen (zum Beispiel Isopropanol, MEK, Aceton), da sonst beim Reinigungsvorgang die Oberfläche gefährlich aufgeladen wird.
- Das Lösemittel ist mit Bürste/Lappen aufzubringen, nicht vorher auf die Oberfläche zu gießen oder zu versprühen.
- Bei handgeführtem Reinigungsgerät und Betriebsmitteln (Lappen, gegebenenfalls leitfähig durch leitfähige Reinigungsmittel) ist ein ununterbrochener Ableitpfad zu Erde über die Person sicherzustellen (keine isolierenden Handschuhe!).
- Reinigungsgerät in einer Mischbauweise unter Verwendung von leitfähigen und isolierenden Materialien darf nur eingesetzt werden, wenn die leitfähigen Teile geerdet sind.
- Lose und nicht am Körper anliegende Kleidung (zum Beispiel Schürze) aus isolierendem Material darf nicht getragen werden.

Anmerkungen:

Das Arbeiten mit Bürste an einem leitfähigen, geerdeten Gegenstand führt in der Regel nicht zu gefährlichen Aufladungen, da über die Borsten einer Ladungsspeicherung ausreichend entgegengewirkt wird (Absprühen der Ladung wegen hoher Feldstärke).

Erfolgt die Reinigung mit einem Tuch aus isolierendem Material können Büschelentladungen auftreten, daher sind leitfähige Lösemittel zu verwenden.

Zur Aufladung der Person und Wechseln, An- oder Ausziehen von Kleidungsstücken vergleiche Fragen unter Nummer 7 „Elektrostatische Aufladung von Personen und persönlichen Schutzausrüstungen“.

4.40 Gelten die in der TRGS 727 unter den Nummern 4.2 bis 4.5 angegebenen Maßnahmen nur für Flüssigkeiten der Explosionsgruppe IIA und IIB mit MZE $\geq 0,2$ mJ?

Die in den Nummern 4.3 ff. der TRGS 727³³ beschriebenen Maßnahmen bilden die Basis zur Vermeidung gefährlicher Aufladungen bei Befüll- und Entleervorgängen von Behältern und sind zu erfüllen. In der Regel sind sie aber nicht ausreichend, wenn mit Flüssigkeiten der Explosionsgruppe IIC beziehungsweise IIB mit MZE $< 0,2$ mJ umgegangen wird. Für die Abfüllung und die gesamte Anlage muss auf Grundlage der in TRGS 727 Nr. 4.2 ff. beschriebenen Maßnahmen beurteilt werden, ob und gegebenenfalls welche zusätzlichen Maßnahmen zur Vermeidung gefährlicher Aufladungen festzulegen sind. Dabei kommt auch die Betreibererfahrung zum Tragen.

Beispielsweise spielen bei einer Abfüllung für Flüssigkeiten hoher Leitfähigkeit unter anderem folgende Überlegungen eine wichtige Rolle:

- Sofern durchgängig geerdete leitfähige Einrichtungen und Gebinde eingesetzt werden, ist bei Flüssigkeiten hoher Leitfähigkeit die Füllgeschwindigkeit keine relevante Größe hinsichtlich des Entstehens gefährlicher Aufladungen.
- Wesentlich ist dagegen, dass keine isolierend beschichteten Füllrohre, Gebinde etc. verwendet werden, weil Tröpfchen unterschiedlichen Potentials bei isolierender Beschichtung zu zündwirksamen Entladungen führen können.

4.41 Ist das Reinigen von mit Kohlenwasserstoffen benetzten, leitfähigen geerdeten Behältern durch Wasserstrahlen mit Drücken über 500 bar ohne Zündgefahr möglich?

Elektrostatische Zündgefahren aufgrund von Büschelentladungen aus Raumladungswolken, die im Rahmen der Fragestellung in Behältern auftreten, sind beim Versprühen von Trinkwasser durch die Beurteilungskriterien des nachfolgenden Ablaufdiagramms (Abbildung 2) vermeidbar. Dabei sind die angegebenen Grenzen abgeleitet von den Randbedingungen der Untersuchungen.³⁴

Hinweis 1:

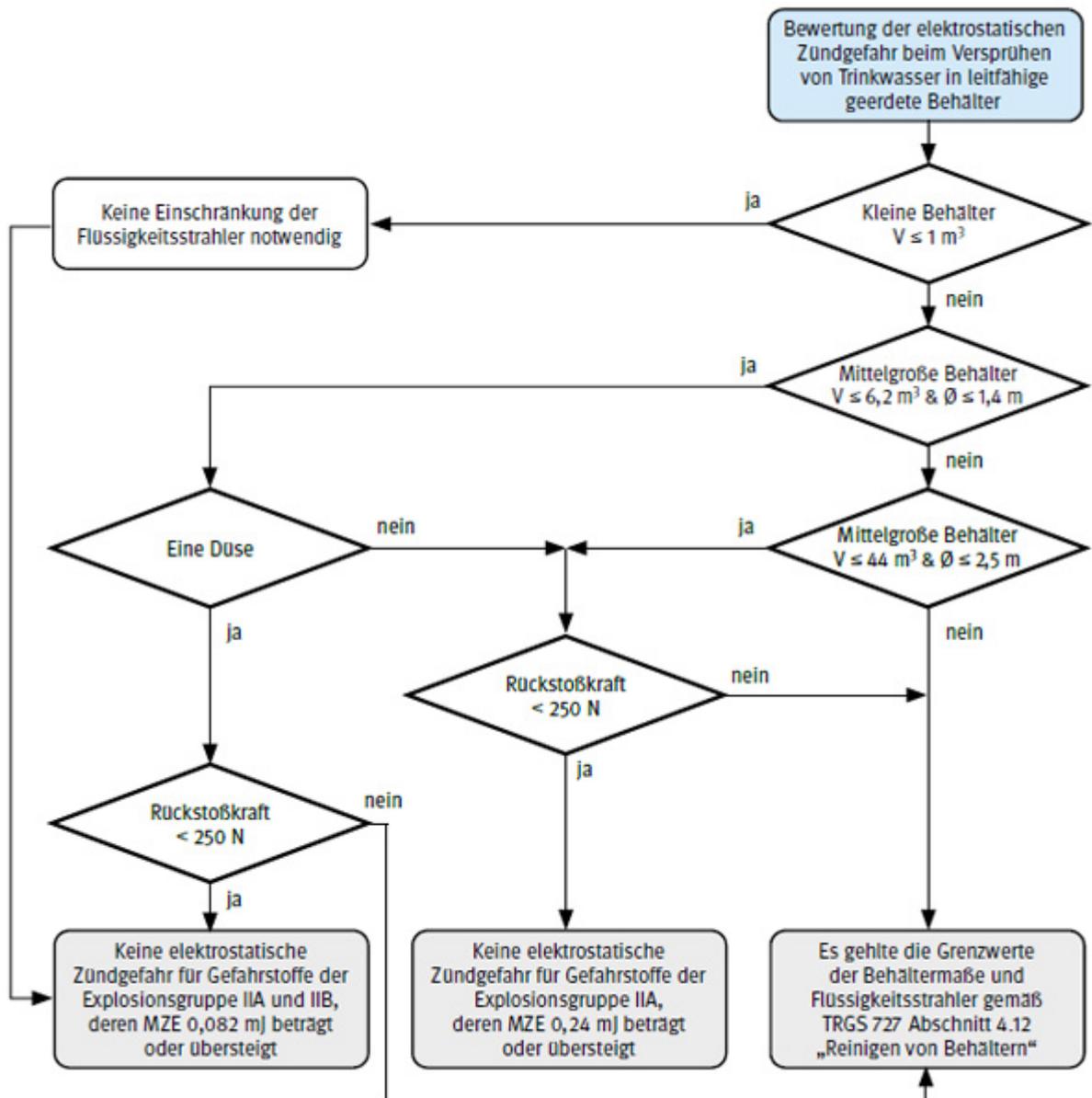
Das Versprühen von Wasser ist ein stark ladungserzeugender Prozess, aus dem Raumladungswolken im Behälter resultieren. Büschelentladungen können zwischen der Raumladungswolke und leitfähigen geerdeten Einbauteilen im Behälter oder der leitfähigen geerdeten Behälterwand auftreten. Die Gefährdung, ausgehend von der Raumladungswolke, ist nicht allein abhängig vom Arbeitsdruck. Sie ist abhängig von der Rückstoßkraft des Wasserstrahls an der Düse und den Behälterabmessungen. Die Rückstoßkraft resultiert aus dem Düsendurchmesser, Volumenstrom und Arbeitsdruck.

Beim Versprühen von vollentsalztem Wasser gelten die Grenzwerte der Behältermaße und Flüssigkeitsstrahler gemäß TRGS 727³⁵ Abschnitt 4.12 „Reinigen von Behältern“.

34 Siehe Anhang 1 Nr. 71

35 Siehe Anhang 1 Nr. 19

Abbildung 2: Flussdiagramm zur Bewertung der elektrostatischen Zündgefahr beim Versprühen von Trinkwasser in leitfähige geerdete Behälter



Treten beim Reinigungsprozess isolierte Leiter in Gestalt zusammenhängender Wassercluster auf, von welchen Funkenentladungen ausgehen können, ist die TRGS 727³⁶ Abschnitt 4.12 Absatz 4 Hinweis 2 zu beachten und eine gesonderte sicherheitstechnische Bewertung durchzuführen.

Hinweis 2:

Isolierte Leiter können durch Strahlsegmente eines Vollstrahls oder zusammenhängende Wassermassen gebildet werden.

4.42 Wie ist die Anforderung in TRGS 727 zu verstehen, dass bei RIBC zwischen der Flüssigkeit im Behälter und der Behälterumhüllung eine dauerhaft leitfähige Verbindung bestehen muss?

Im Kontext von TRGS 727³⁷ Abschnitt 4.5.4 Absatz 3 Nummer 4 ist nicht die Begriffsbestimmung der TRGS von „leitfähig“ heranzuziehen, dass der Widerstand der Verbindung maximal $10^4 \Omega$ beziehungsweise $10^4 \Omega\text{m}$ betragen darf. Vielmehr soll durch die Anforderung sichergestellt werden, dass sich die Flüssigkeit bei den zulässigen Tätigkeiten nicht gefährlich aufladen kann. Die Zielstellung der Regelung ist erfüllt, wenn nach Einfüllen einer kleinen Menge einer Flüssigkeit hoher Leitfähigkeit (zum Beispiel 1 Liter Wasser) der Ableitwiderstand zwischen der Flüssigkeit und der geerdeten Umhüllung maximal $10^6 \Omega$ beträgt.

5 Elektrostatische Aufladungen bei Tätigkeiten mit gasförmigen Stoffen

5.1 Können reine Gase aufgeladen werden?

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

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

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

Siehe auch TRGS 727, Nummern 5, 6.4 und 6.5 sowie Anhänge A3 und B.

5.2 Muss das Filtermaterial in Staubfiltern leitfähig oder ableitfähig sein?

Ist mit dem Auftreten explosionsfähiger Atmosphäre durch leitfähige Stäube mit einer Mindestzündenergie (MZE) $\leq 3 \text{ mJ}$ oder durch Gase und Dämpfe zu rechnen, sind leitfähige oder ableitfähige Filtermaterialien zu verwenden. Sie müssen während des Betriebes geerdet sein. Die Leit- oder Ableitfähigkeit des Filtermaterials und die Erdung müssen dauerhaft aufrechterhalten werden.

Siehe auch TRGS 727, Nummern 5.7 und 6.5.

5.3 Welche Anforderung wird an die Stützkörbe des Filtermaterials gestellt?

Leitfähige Stützkörbe müssen dauerhaft geerdet sein. Darauf ist insbesondere bei der Verwendung isolierender Filtermaterialien zu achten.

Siehe auch TRGS 727, Nummer 6.5.

5.4 Wie muss ein Spritzlackierer geerdet sein?

Der Spritzlackierer muss über die Spritzpistole geerdet sein. Werden Handschuhe getragen, müssen sie einen Durchgangswiderstand $< 10^8 \Omega$ haben.

Beim elektrostatischen Beschichten hat der Spritzlackierer darüber hinaus ableitfähiges Schuhwerk zu tragen. Der Boden muss ableitfähig sein. Die Ableitfähigkeit des Fußbodens ist dauerhaft aufrechtzuerhalten, zum Beispiel durch regelmäßige Reinigung.

Vergleiche Fragen 5.5 und 5.6.

Siehe auch TRGS 727, Nummer 5.5.

5.5 Wie kann ein Spritzlackierer bei durch Farbe verunreinigtem Fußboden gegen eine gefährliche Aufladung geschützt werden?

Beim Spritzlackieren muss mit durch Farbe verunreinigten Fußböden gerechnet werden, die den Spritzlackierer gegen Erde isolieren können. Deshalb ist seine Erdung auf andere Art und Weise sicherzustellen.

Dies erfolgt in der Regel über die in der Hand gehaltene Spritzpistole. Die Erdung darf durch isolierende Schutzhandschuhe nicht unterbrochen werden.

Vergleiche Fragen 5.4 und 5.6.

Siehe auch TRGS 727, Nummer 5.5.

5.6 Sind bei Spritzlackierarbeiten Bodenabdeckungen, zum Beispiel Papier oder Kunststofffolien, zulässig?

Bei nicht elektrostatisch unterstützten Lackierarbeiten sind Abdeckungen zulässig. Zur Vermeidung hoher Brandlasten müssen Abdeckungen jedoch regelmäßig gewechselt werden. Auch bei Reinigungsarbeiten ist auf eine Erdung der Person zu achten.

Bei elektrostatisch unterstütztem Beschichten sind Abdeckungen nur dann zulässig, wenn diese die Erdung des Spritzlackierers über den Fußboden nicht beeinträchtigen. Nur Abdeckungen mit einem Durchgangswiderstand $\leq 10^8 \Omega$ sind geeignet.

Vergleiche Fragen 5.4 und 5.5.

Siehe auch TRGS 727, Nummer 5.5.

5.7 Wie müssen Beschäftigte beim manuellen Pulverbeschichten oder Beflocken geerdet sein?

Pulverlackieren und Beflocken sind elektrostatisch unterstützte Verfahren.

Die Beschäftigten müssen sowohl über die Sprühpistole als auch über ableitfähiges Schuhwerk in Verbindung mit ableitfähigen Fußböden geerdet sein.

Die Ableitfähigkeit des Fußbodens muss dauerhaft erhalten bleiben, zum Beispiel durch regelmäßige Reinigung.

Werden Schutzhandschuhe getragen, müssen sie einen Durchgangswiderstand $< 10^8 \Omega$ haben.

Siehe auch TRGS 727, Nummer 5.5.

5.8 Ist ausströmender heißer Wasserdampf bei Entspannung von 16 bar eine wirksame Zündquelle für brennbare Dampf-Luft-Gemische?

Beim Entspannen von Wasserdampf ist schon bei weit geringeren Vordrücken als 16 bar mit sehr hohen elektrostatischen Aufladungen zu rechnen.

Die Wassertröpfchen entstehen durch Kondensation und strömen mit hoher Geschwindigkeit aus. Der Abriss der Tröpfchen von der Ausströmöffnung ist ein Trennprozess, der oft hohe Aufladungen zur Folge hat.

Die auftretenden elektrostatischen Entladungen sind in der Regel zündwirksam für explosionsfähige Gas- oder Dampf-Luft-Gemische.

Bei der Entspannung von unter Druck stehenden Flüssigkeiten oder Dämpfen ist grundsätzlich mit elektrostatischen Aufladungen zu rechnen.

Siehe auch TRGS 727, Nummer 5 und Anhang A1.3.

5.9 Müssen in die aus Kunststoff bestehenden Absaugleitungen einer Lackproduktion Aerosolabscheider eingebaut werden, damit Aufladungen der Rohrleitungen vermieden werden?

Da im Inneren der Rohrleitungen mit explosionsfähiger Atmosphäre zu rechnen ist, müssen Aerosolabscheider eingebaut werden, um die Aufladung der Rohre von innen zu vermeiden.

Darüber hinaus ist zu prüfen, inwieweit aufgrund der umgebenden Atmosphäre Rohrleitungen aus Kunststoff zulässig sind. Innerhalb des Arbeitsbereiches sind in Zone 1 Rohre aus leitfähigem oder ableitfähigem Material einzusetzen.

In der gesamten Rohrleitung sind eingebaute leitfähige Teile wie Metallflansche, Absperrklappen, Schlauchweichen, Schauglashalterungen und Messeinrichtungen zu erden.

Siehe auch TRGS 727, Nummer 5.6, Beispiel 7 und Nummer 6.4.1.

5.10 Dürfen Ventilatoren aus isolierendem Kunststoff für Abluft in Zone 2 verwendet werden?

Beim Strömen von Gasen oder Dämpfen in isolierenden Rohrleitungen oder Ventilatoren treten in Abwesenheit von Tröpfchen oder Partikeln keine elektrostatischen Aufladungen auf. Isolierende Rohrleitungen sind deshalb gemäß TRGS 727³⁸ für Abluftströme der Zone 1 und 2 zugelassen, sofern sie von Partikeln und Tropfen, zum Beispiel mittels Filter oder Abscheider im Luft- oder Gasstrom vor Eintritt in das Leitungssystem, freigehalten werden (siehe TRGS 727 Nummer 5.6 und DIN EN 14986³⁹). Grenzwerte für die Strömungsgeschwindigkeit in den Rohrleitungen sind nicht vorgegeben, typischerweise liegen die Geschwindigkeiten im Bereich zwischen 10 m/s und 20 m/s.

In Ventilatoren können jedoch zwischen Schaufelrad und Wand Strömungsgeschwindigkeiten bis zu 100 m/s auftreten. Bei derart hohen Strömungsgeschwindigkeiten können schon in Gegenwart kleinster Mengen von Staubpartikeln oder Flüssigkeitströpfchen stark ladungserzeugende Prozesse an der isolierenden Wand des Ventilators auftreten. Somit kann ein Auftreten von zündwirksamen Büschel- und/oder Gleitstielbüschelentladungen nicht ausgeschlossen werden.

Erfahrungsgemäß können in der industriellen Praxis geringe Mengen von Staubpartikeln und/oder Flüssigkeitströpfchen in der Abluft nicht sicher ausgeschlossen werden. Folglich müssen für Abluft der Zone 2 und Zone 1 das Ventilatorgehäuse und auch das Schaufelrad aus leitfähigem oder ableitfähigem Material bestehen und geerdet sein.

5.11 Ist bei Tätigkeiten an Gasleitungen/-anlagen (Erdgas), bei denen eine kontrollierte oder unkontrollierte Gasausströmung auftreten kann, das Tragen von Schutzkleidung, die nach DIN EN 1149-5 in Verbindung mit der DIN EN 1149-3 geprüft wurde, geeignet, um eine gefährliche Aufladung der Person zu vermeiden?

Bei den genannten Tätigkeiten an Gasleitungen/-anlagen, können die Personen durch einen Gasstrom angeströmt werden, der Feststoffpartikel und/oder Flüssigkeitströpfchen enthalten kann. Dies darf nicht zu einer gefährlichen Aufladung der Person führen, was nach dem Konzept der TRGS 727⁴⁰ durch das Tragen ableitfähiger Kleidung in Verbindung mit der Erdung der Person über ableitfähiges Schuhwerk verhindert wird.

Die Prüfverfahren der DIN EN 1149 Teil 3⁴¹ beruhen nicht auf einer Messung der Ableitfähigkeit und die Kriterien für ein Bestehen der Prüfung sind nicht an der Ableitfähigkeit des textilen Materials ausgerichtet, weil die untersuchten Materialien üblicherweise komplex aufgebaut sind und isolierende und leitfähige Anteile enthalten.

Weil für die Entzündung eines Erdgas/Luft-Gemisches die Mindestzündenergie von Methan eine wichtige Kenngröße ist, die das Kriterium für die Gefährlichkeit der auftretenden Aufladungen bildet, bietet in diesem Fall nach DIN EN 1149 Teil 5⁴² in Verbindung mit Teil 3 Prüfverfahren 2 geprüfte Schutzkleidung die gleiche Sicherheit zur Vermeidung von gefährlichen Aufladungen (Vermeidung von zündfähigen Entladungen) wie Schutzkleidung, deren Ableitfähigkeit im Sinne der TRGS 727⁴³ nach DIN EN 1149 Teil 5 in Verbindung mit Teil 1 geprüft wurde.

38 Siehe Anhang 1 Nr. 19

39 Siehe Anhang 1 Nr. 42

40 Siehe Anhang 1 Nr. 19

41 Siehe Anhang 1 Nr. 39

42 Siehe Anhang 1 Nr. 40

Unabhängig vom Prüfverfahren besteht in der Praxis das Problem, die leitfähigen Materialien der Schutzkleidung in die Erdungskette einzubinden. Die Erdung ableitfähiger Schutzkleidung soll über den Körper der die Kleidung tragenden Person erfolgen. Die Kleidung sollte daher so konstruiert sein, dass sich ein definitiver Hautkontakt der äußeren ableitfähigen Struktur ergibt.

Siehe auch Fragen unter Nummer 7.

6 Elektrostatische Aufladungen beim Umgang mit Schüttgütern

6.1 Wie groß darf die Schüttgeschwindigkeit beim Ausschütten von Schüttgut aus einem isolierenden Kunststoffbehälter in einen leitfähigen und geerdeten Behälter sein?

In Abwesenheit brennbarer Gase und Dämpfe gilt:

- Die Schüttgeschwindigkeit (kg/s) allein ist nicht maßgeblich zur Bewertung von Zündgefahren.
- Die vom Schüttgut ausgehende Zündgefahr ist anhand der Ablaufdiagramme 1 bis 3 der TRGS 727⁴⁴ Nummer 6.2.3 zu beurteilen.
- Unabhängig von der Schüttgeschwindigkeit besteht keine Zündgefahr, wenn
 - das Gesamtvolumen des gehandhabten Schüttguts < 250 Liter ist,
 - alle leitfähigen Teile geerdet sind und alle ableitfähigen Teile in Kontakt mit Erde stehen,
 - bei Verwendung einer Schütte und/oder eines Fallrohrs, diese aus leitfähigem Material bestehen und nicht isolierend beschichtet sind
 - und die Fallhöhe 3 m nicht überschreitet, falls ein isolierender Einstellsack vorhanden ist.

(Alle Bedingungen müssen erfüllt sein.)

Bei Anwesenheit brennbarer Gase und Dämpfe ist jeder Fall einzeln zu betrachten.

Siehe auch TRGS 727, Nummer 6.2.3, Ablaufdiagramme 1 bis 3.

6.2 Was bedeutet die Grenze $MZE \leq 10$ mJ bei Stäuben und Schüttgütern?

MZE ist die gängige Abkürzung für „Mindestzündenergie“. Je geringer die MZE eines Schüttgutes ist, desto eher kann eine Zündquelle wirksam werden. Für Stäube mit einer $MZE \leq 10$ mJ ist es besonders schwierig zu beurteilen, ob gefährliche Aufladungen auftreten. Bereits kleine, nicht geerdete leitfähige Gegenstände geringer Kapazität oder aufgeladene Personen können zur Zündquelle werden.

Siehe auch TRGS 727, Anhang A3.1.

43 Siehe Anhang 1 Nr. 19

44 Siehe Anhang 1 Nr. 19

6.3 Dürfen Gegenstände, zum Beispiel Trichter oder Gehäuse, aus Kunststoffen wie Polyamid, Polypropylen oder PTFE in Zone 21 eingesetzt werden?

Gefährliche Aufladungen hängen neben dem Material des Gegenstandes von der Art des verwendeten Schüttgutes und dem Aufladungsprozess ab. Sofern

- stark ladungserzeugende Prozesse vermieden werden,
- Metallteile nicht isoliert sind und
- das Produkt nicht leitfähig ist,

können Gegenstände aus Kunststoff in Zone 21 eingesetzt werden.

Siehe auch TRGS 727, Nummer 6.2.2.

6.4 Dürfen kunststoffbeschichtete leitfähige Gegenstände in Zone 21 eingesetzt werden?

Mit isolierenden Kunststoffen beschichtete Gegenstände dürfen nicht verwendet werden, wenn stark ladungszeugende Prozesse auftreten können, es sei denn, die Durchschlagsspannung der Beschichtung ist < 4 kV.

Kunststoffbeschichtungen mit einem Durchgangswiderstand $< 10^8 \Omega$ können verwendet werden.

Siehe auch TRGS 727, Nummern 3.2.3 und 6.2.3.

6.5 Lässt sich Aluminiumpulver gefährlich aufladen?

Aluminiumpulver kann sich bei der Handhabung oder Verarbeitung in Anlagen aus isolierendem oder isolierend beschichtetem Material gefährlich aufladen.

Da Aluminiumpulver in der Regel eine dünne isolierende Oxidschicht besitzt, kann es sich auch in geerdeten leitfähigen Anlagen aufladen.

6.6 Können poröse Staubablagerungen im Inneren metallischer Rohrleitungen gefährlich aufgeladen werden?

Wenn der Innenraum der Rohrleitung als explosionsgefährdeter Bereich durch Stäube eingeteilt ist, so ist mit einer gefährlichen Aufladung ausgehend von einer durch Ablagerungen entstandenen, isolierenden und porösen Staubschicht im Inneren metallischer, geerdeter Rohrleitungen nicht zu rechnen. Die Durchschlagsspannung der Schicht sollte gemessen werden. Liegt ihr Wert unter 4 kV, können für Stäube zündwirksame Gleitstielbüschelentladungen ausgeschlossen werden.

Sind die Ablagerungen jedoch nicht porös, sondern stark verdichtet oder sogar aufgesintert oder eingeschmolzen und liegt der Wert der Durchschlagsspannung über 4 kV, können Zündgefahren durch auftretende Gleitstielbüschelentladungen nicht mehr ausgeschlossen werden.

Vergleiche auch TRGS 727, Nummer 6.4.2 Beispiel 12.

6.7 Welche Maßnahmen sind notwendig, wenn 5 kg pulverförmiger isolierender Stoff aus einem Kunststoffbeutel in einen Behälter mit Isopropanol zugegeben werden sollen?

Pulverförmige Stoffe dürfen nicht offen aus Kunststoffbeuteln in einen Vorlagebehälter mit einem brennbaren Lösemittel, wie zum Beispiel Isopropanol, eingetragen werden.

Der Eintrag muss über eine Schleuse in die inertisierte Vorlage erfolgen.

Zwei-Klappen-Systeme, Schneckenförderer und sogenannte „Powder-Transfer-Systems“, welche die Inertisierung im Vorlagebehälter nicht gefährden, haben sich als Schleusen in der Praxis bewährt.

Isolierende Kunststoffbeutel dürfen aber nur dann verwendet werden, wenn der Eintragsort Zone 2 zugeordnet oder zonenfrei ist. Andernfalls muss aus ableit- oder leitfähigen und geerdeten Packmitteln eingetragen werden. Ferner ist auf eine Personenerdung zu achten.

Siehe auch TRGS 727, Nummer 6.3.

6.8 Dürfen beim Eintragen von Schüttgut in Rührkessel mit Lösemittelvorlage Kunststofftrichter, Kunststoffrutschen oder Absaughauben aus Kunststoff eingesetzt werden?

Unter der Voraussetzung, dass im Inneren des Rührkessels gefährliche explosionsfähige Atmosphäre vorliegt, dürfen keine Trichter, Rutschen oder Absaughauben aus isolierendem Kunststoff eingesetzt werden, weil an ihnen gegenüber den Lösemitteldämpfen zündwirksame Büschelentladungen auftreten können.

Siehe auch TRGS 727, Nummer 6.3.3, vgl. auch TRGS 722.

6.9 Bei der Verarbeitung von Lactose tritt Staub auf. Der Bereich des offenen Umgangs ist als Zone 21 eingestuft.

- a) Ist leitfähiges Behältermaterial notwendig?
- b) Müssen die Personen geerdet werden?
- c) Ist die Schüttgeschwindigkeit beim Entleeren oder Befüllen zu begrenzen?

Zu a): Leitfähiges Behältermaterial ist in Zone 21 zu verwenden, wenn Aufladungen, die zu Gleitstielbüschelentladungen führen können, nicht auszuschließen sind. Mit Gleitstielbüschelentladungen ist zu

rechnen, wenn stark ladungserzeugende Prozesse, wie zum Beispiel pneumatischer Transport oder Luftstrahlmahlung, vorliegen.

Zu b): Beträgt die Mindestzündenergie des Staubes 10 mJ oder weniger, müssen die Personen geerdet werden. Von aufgeladenen Personen wird in der Regel keine größere Energie als 10 mJ freigesetzt.

Siehe auch TRGS 727, Nummer 7.

Zu c): Die elektrostatische Aufladung von Schüttgütern beim Entleeren und Befüllen kann nicht vollständig verhindert werden.

Wenn hohe Ladungsdichten entstehen und die Gefahr von Schüttkegelentladungen besteht, kann durch Verringerung der Schüttgeschwindigkeit die Wahrscheinlichkeit von Schüttkegelentladungen herabgesetzt werden.

Wann immer möglich, ist eine Entleerung und Befüllung durch Schwerkraft zu bevorzugen. Dabei ist zu beachten, dass die Fallhöhe 3 m nicht überschreiten darf, wenn zum Beispiel Gebinde, Behälter, Fallrohre aus Kunststoff eingesetzt werden. Sonst kann wie bei dem pneumatischen Transport ein stark ladungserzeugender Prozess vorliegen, der Schutzmaßnahmen nach TRGS 727⁴⁵ Nummer 6 erforderlich macht.

Vergleiche Frage 6.1 und siehe auch TRGS 727, Anlage A 3.6, Beispiel 17.

6.10 Kann die Möglichkeit für das Auftreten von Schüttkegelentladungen in Behältern rechnerisch abgeschätzt werden?

Die Randbedingungen für das Auftreten von Schüttkegelentladungen sind in der TRGS 727⁴⁶ in den Ablaufdiagrammen 1 bis 3 unter Nummer 6.2.3 dargestellt.

Eine rechnerische Abschätzung kann durch die Berechnung des elektrischen Feldes ausgehend von der aufgeladenen Produktschüttung im Behälter erfolgen. Das elektrische Feld hängt von der spezifischen Ladung des Schüttgutes, der Schüttdichte, dem Füllmengenstrom, der relativen Permittivität der Schüttung, des spezifischen Widerstands des Schüttgutes und von der Silogeometrie ab. Liegt die berechnete maximale elektrische Feldstärke in radialer Richtung während des Befüllens an der Behälterwand unterhalb 3 MV/m muss nicht mit dem Auftreten von Schüttkegelentladungen gerechnet werden. Der Wert von 500 kV/m in den beiden Ablaufdiagrammen bezieht sich auf die messtechnische Bestimmung der Feldstärke.

Informationen in den Ablaufdiagrammen:

Durch Eintrag von Schüttgütern in einen Behälter kann sich sowohl die Schüttung als auch die sich bildende Staubwolke gefährlich aufladen. Zur Beurteilung der Zündgefahren ausgehend von der Schüttung von Produkt in einem Behälter aus leitfähigem oder ableitfähigem Material ist unter anderem der spezifische Schüttgutwiderstand eine wesentliche Größe. Liegt dieser unterhalb 10^{10} Ω m fließt bei betriebsüblichen Füllgeschwindigkeiten die Ladung so schnell nach Erde ab, dass eine gefährliche Aufladung nicht zu erwarten ist. Diesem Sachverhalt wird in Ablaufdiagramm 1 und 2 der TRGS 727 Nummer 6.2.3 dadurch Rechnung getragen, dass im Fall von Behältern aus leitfähigem oder ableitfähigem Material die Beurteilung direkt zur Beurteilung der Zündgefahren ausgehend von der Staubwolke (rechte Kolonne der Entscheidungsschritte) weiterführt.

Oberhalb eines spezifischen Schüttgutwiderstands von 10^{10} Ω m ist zwar eine gefahrlose Ladungsableitung grundsätzlich immer noch möglich, es kann aber nicht a priori davon ausgegangen werden. Als Beurteilungskriterium können die in den Ablaufdiagrammen 2 und 3 in der linken Kolonne einzeln dargestellten Entscheidungsschritte herangezogen werden oder eine Feldberechnung vorgenommen werden.

45 Siehe Anhang 1 Nr. 19

46 Siehe Anhang 1 Nr. 19

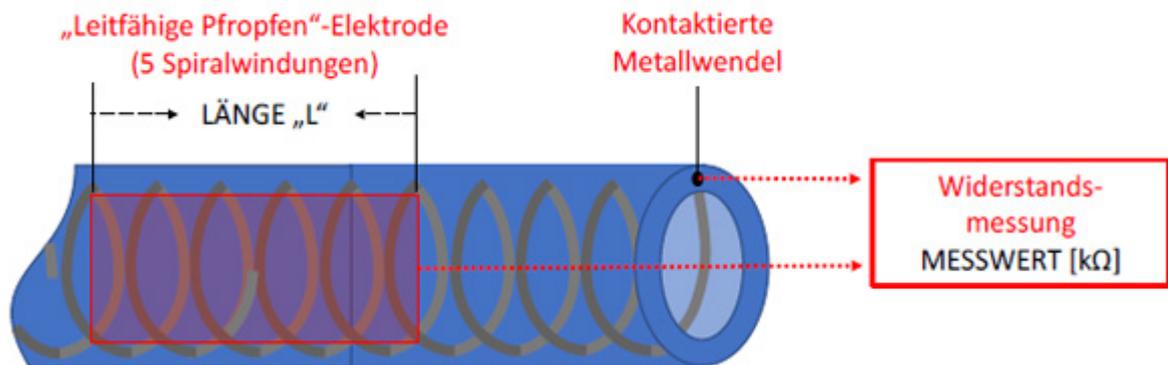
6.11 Oft werden unter anderem aus Gründen der Staubdichtheit in flexible Schüttgutbehälter Liner (auch Einstellsäcke genannt) eingestellt. Kann das Einstellen eines Liners den Typ des flexiblen Schüttgutbehälters und somit seinen Einsatzbereich verändern?

Das Einstellen eines Liners in einen flexible Schüttgutbehälter kann sehr wohl dessen Typ und somit dessen Einsatzbereich verändern. Anforderungen und zugelassene Konfigurationen von Linern und flexiblen Schüttgutbehältern sind in der Norm DIN EN IEC 61340-4-4⁴⁷ beschrieben.

6.12 Lässt sich der spezifische Widerstand des Wandmaterials von fertig konfektionierten Wendelschläuchen einfach messen und berechnen?

Der spezifische Widerstand des Wandmaterials von fertig konfektionierten Wendelschläuchen lässt sich folgendermaßen einfach messen und berechnen: In das Innere des Wendelschlauchs wird zum Beispiel ein trockener Pfropfen aus leitfähigem elastischem Material mit einer Länge von ca. fünf Steigungen der Wendel derart eingeschoben, dass die Innenwandoberfläche vollflächig berührt wird. Die Außenflansche oder die Metallwendel dürfen jedoch nicht berührt werden. Nun wird der Widerstand zwischen der Metallwendel und diesem leitfähigen Pfropfen mit einer Messspannung von bis zu (1000 ± 50) V gemessen (vergleiche Abbildung 3).

Abbildung 3: Widerstandsmessung an Wendelschläuchen



Durch Simulationsrechnungen wurde ein Zusammenhang zwischen einem derart gemessenen Wert und dem spezifischen Widerstand des Wandmaterials ermittelt. Dies wurde für folgende Parameterbereiche der Messung durchgeführt (vergleiche dazu die Abbildungen 4 und 5):

Abbildung 4: Ganghöhe und Schlauchdurchmesser

Länge der Messelektrode:	$50 \text{ mm} \leq L \leq 200 \text{ mm}$
Schlauchdurchmesser (außen):	$40 \text{ mm} \leq D_a \leq 160 \text{ mm}$
Wandstärke:	$TH = 6 \text{ mm}$
Steigung der Wendel (Ganghöhe einer Windung):	$18 \text{ mm} \leq DT \leq 38 \text{ mm}$
Abstand Innenwand zur Wendeldrahtoberfläche (Überdeckung der Spirale durch Wandmaterial):	$0,5 \text{ mm} \leq DWS \leq 2,5 \text{ mm}$
Durchmesser des Wendeldrahts:	$1,2 \text{ mm} \leq DW \leq 3,6 \text{ mm}$

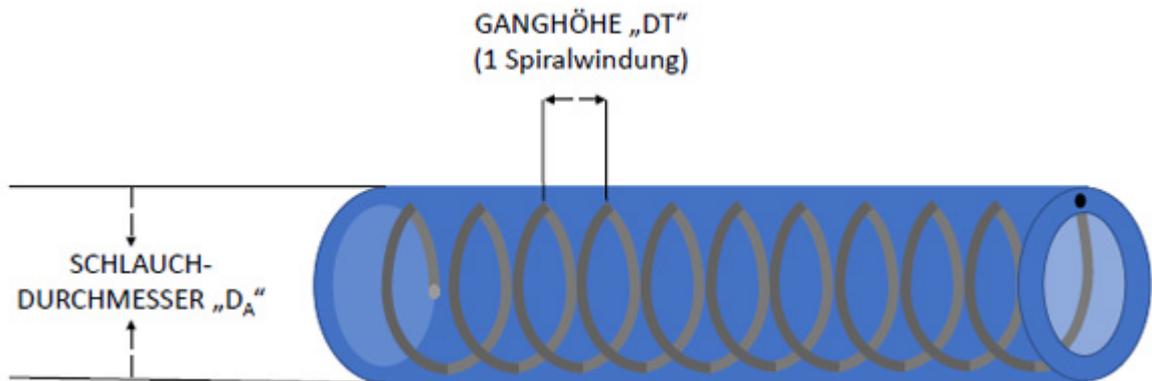
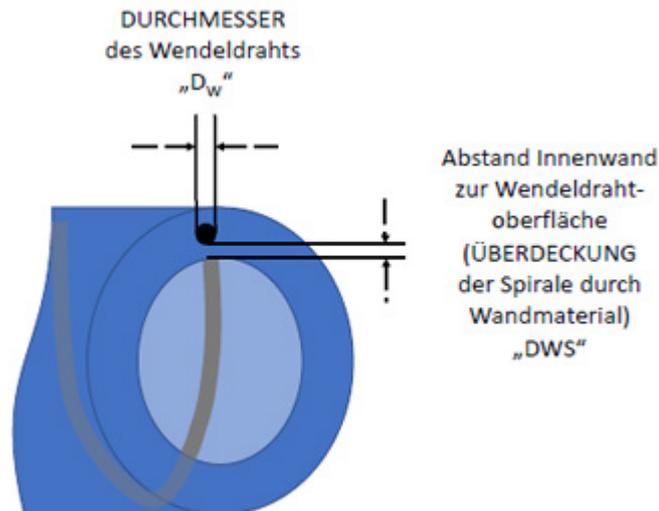


Abbildung 5: Durchmesser des Wendeldrahts und Abstand Innenwand zur Wendeldrahtoberfläche



Liegen die Parameter des Schlauchs innerhalb dieser Grenzen, kann der spezifische Widerstand des Wandmaterials abgeleitet werden, indem die Parameter des Schlauchs und der gemessene Wert des Widerstands in das folgende Excel-Tool (Download des Excel-Tools unter www.exinfo.de, Seiten-ID #79UA) eingegeben werden.

6.13 Warum werden unterschiedliche Anforderungen an Schläuche für den Transport von Flüssigkeiten und von Schüttgütern gestellt?

Der Transport von Schüttgütern führt erfahrungsgemäß zu viel höheren Aufladeströmen an der Schlauchinnenwand als der Flüssigkeitstransport. Neue Untersuchungen haben gezeigt, dass beim pneumatischen Transport mit Aufladeströmen bis zu 1 mA/m² gerechnet werden muss^{48, 49}.

Zum Vermeiden von Gleitstielbüschelentladungen im Inneren des Schlauches muss auch eine hinreichende Ladungsableitung von der Schlauchinnenwand zu den geerdeten Flanschen gefordert werden und nicht nur ein Widerstand von weniger als 1 MΩ von Flansch zu Flansch wie es bei Flüssigkeitsschläuchen gefordert ist.

6.14 Warum bestehen unterschiedliche Anforderungen zwischen Rohren und Schläuchen für den pneumatischen Transport und solchen für die Aspiration?

Es wird davon ausgegangen, dass in Rohren und Schläuchen zur Aspiration im Gegensatz zum pneumatischen Transport nur eine geringe Staubbeladung im Inneren der Schlauchleitung vorliegt und somit nur selten und kurzzeitig mit dem Auftreten gefährlicher explosionsfähiger Staubatmosphäre zu rechnen ist. Sofern dies nicht zutrifft, dürfen Rohre und Schläuche aus isolierenden Materialien nicht verwendet werden.

6.15 Treten beim Fallen von Schüttgütern durch Rohrleitungen ähnlich hohe Aufladungen wie beim pneumatischen Transport auf?

Die Aufladungen sind im Allgemeinen beim Fallen oder Schütten geringer als beim pneumatischen Transport. Die Aufladung geschieht hauptsächlich durch den Wandkontakt und hängt von der Partikelgeschwindigkeit ab. Bei einer Fallhöhe von 3 m kann eine Geschwindigkeit von bis zu 8 m/s erreicht werden, was nahe bei den Geschwindigkeiten der pneumatischen Puffenförderung ist. Deshalb sind ab einer Höhendifferenz von 3 m an Fallrohre und Schütten dieselben Anforderungen wie bei der pneumatischen Förderung zu stellen. Beim freien Fall ohne Wandkontakt tritt dagegen keine **zusätzliche** Aufladung auf.

6.16 Gemäß TRGS 727 Nummer 6.6 „Flexible Schüttgutbehälter (FIBC)“ Tabelle 10 dürfen Schüttgutbehälter Typ C und Typ D in Zone 1 und 2 eingesetzt werden. Gilt das auch, wenn Stoffe der Explosionsgruppe IIC vorhanden sind?

Nein. Typ D Schüttgutbehälter werden gemäß der einschlägigen Prüfnorm DIN EN IEC 61340-4-4⁵⁰ mit einer Zündsonde mit einer Energie von 0,14 mJ geprüft. Stoffe der Explosionsgruppe IIC weisen aber eine Mindestzündenergie von weniger als 0,14 mJ auf. Eine Prüfung mit einer Zündsonde mit einer Energie von 0,14 mJ ist deshalb nicht hinreichend sicher. Schüttgutbehälter des Typs C dürfen jedoch in Zone 1 und 2 mit Stoffen der Explosionsgruppe IIC (außerhalb des Schüttgutbehälters) verwendet werden.

48 Siehe Anhang 1 Nr. 60

49 Siehe Anhang 1 Nr. 53

50 Siehe Anhang 1 Nr. 45

6.17 Sind bei der Verarbeitung von Stäuben mit niedriger Mindestzündenergie (MZE) Maßnahmen zur Zündquellenvermeidung als alleinige Explosionsschutzmaßnahme ausreichend?

Verschiedene Regelwerke, die vor Erscheinen der TRGS 727⁵¹ verabschiedet und veröffentlicht wurden, enthalten unterschiedliche Antworten auf diese Frage. Einerseits liegen die genannten Grenzwerte für die Mindestzündenergie bei 10 mJ oder bei 3 mJ. Andererseits reicht die Verbindlichkeit für den Einsatz weiterer Explosionsschutz-Maßnahmen von „zu empfehlen“ bis hin zu „erforderlich“.

Bezüglich der elektrostatischen Zündgefahren werden in der TRGS 727 folgende Maßnahmen zur Zündquellenvermeidung bei der Verarbeitung von Schüttgütern gefordert:

- Für alle Schüttgüter gilt, dass alle leitfähigen Teile der Anlagen und Einrichtungen zu erden und alle ableitfähigen Teile der Anlagen und Einrichtungen mit Erdkontakt zu versehen sind. Die Verwendung von isolierendem Material ist nur zulässig, wenn dadurch die Erdung der leitfähigen oder ableitfähigen Teile nicht unterbrochen wird. Teile aus isolierendem Material dürfen ebenfalls nicht verwendet werden, wenn stark ladungserzeugende Prozesse auftreten (Gefahr von Gleitstielbüschelentladungen) oder wenn Explosionsgefahr durch brennbare Gase/Dämpfe oder durch hybride Gemische vorhanden ist.
- Werden Schüttgüter mit spezifischem Widerstand $\leq 10^6 \Omega\text{m}$ gehandhabt, dürfen diese grundsätzlich nicht durch isolierende Teile von Erde isoliert werden.
- Wird ein Schüttgut mit spezifischem Widerstand $> 10^{10} \Omega\text{m}$ gehandhabt und besteht die Möglichkeit des Auftretens von Schüttkegelentladungen, darf die Äquivalentenergie der Schüttkegelentladungen nicht größer sein als die MZE des Staubes.
- Beim Auftreten hybrider Gemische müssen zündwirksame Büschelentladungen vermieden werden.

Hinweis:

- Büschelentladungen ausgehend vom Schüttgut sind vermieden, wenn der spezifische Widerstand des Schüttguts $\leq 10^8 \Omega\text{m}$ ist und das Schüttgut geerdet beziehungsweise mit Erdkontakt versehen ist.
- Büschelentladungen ausgehend von einer aufgeladenen Staubwolke sind vermieden, wenn die elektrische Feldstärke im homogenen Feld 100 kV/m nicht überschreitet.
- Büschelentladungen ausgehend von Anlagen und Einrichtungen sind vermieden, wenn ableitfähige Materialien mit einem Ableitwiderstand $R_E \leq 10^8 \Omega$ oder leitfähige geerdete Materialien eingesetzt werden.

Diese Maßnahmen sind gemäß TRGS 727⁵² auch bei Stäuben mit niedriger MZE geeignet, um Zündgefahren durch elektrostatische Aufladungen zu vermeiden.

Das Explosionsschutzkonzept muss allerdings die Größe und Komplexität der betrachteten Anlage berücksichtigen. Die für den konkreten Anwendungsfall erstellte Gefährdungsbeurteilung kann ergeben, dass es als zielführend angesehen wird, zusätzlich eine Inertisierung oder Phlegmatisierung (Reduktion der Sauerstoffkonzentration auf einen Wert oberhalb der Sauerstoffgrenzkonzentration, bei welchem die für eine Entzündung erforderliche Energie wesentlich höher ist als die MZE) vorzunehmen oder Maßnahmen des konstruktiven Explosionsschutzes zu ergreifen.

Das kann beispielsweise erforderlich sein, wenn die Zuverlässigkeit der Maßnahmen zum Vermeiden gefährlicher elektrostatischer Aufladungen als nicht hinreichend beurteilt wird (zum Beispiel Sicherstellen von Erdverbindungen in Fällen, wo der Potenzialausgleich nicht durch die Konstruktion gegeben ist oder hinsichtlich der Möglichkeit von Fehlern bei Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten).

51 Siehe Anhang 1 Nr. 19

52 Siehe Anhang 1 Nr. 19

6.18 Können Schüttkegelentladungen beim Eintrag von Schüttgut in Silos oder Behälter auch auftreten, wenn sich beim Schüttguteintrag kein Schüttkegel bildet?

Der Name „Schüttkegelentladung“ ist etwas irreführend. Schüttkegelentladungen treten auch an ebenen oder sogar eingebuchteten Schüttgutoberflächen auf. Dies haben Versuche beim pneumatischen Befüllen von Silos mit fein- und/oder grobkörnigem Schüttgut gezeigt. Die wesentliche Schüttgutaufladung erfolgt nicht – wie immer wieder fälschlicherweise geglaubt wird – beim Abrutschen der Schüttgutkörner entlang dem Schüttkegel, sondern schon beim Transport in das Silo. In der Schüttung wird dann das aufgeladene Schüttgut durch die Schwerkraft kompaktiert und somit entsteht eine hohe Raumladungsdichte und ein hohes elektrisches Feld, welches die Schüttkegelentladungen auslöst. Dieser Vorgang findet unabhängig davon statt, ob ein Schüttkegel gebildet wird oder nicht.

Wenn die Schüttung während des Eintrags fluidisiert wird, wird die Schüttdichte der Schüttung und somit auch die Raumladungsdichte wahrscheinlich etwas kleiner, es ist jedoch davon auszugehen, dass auch dann Schüttkegelentladungen auftreten können.

7 Elektrostatische Aufladung von Personen und persönlichen Schutzausrüstungen

7.1 Wie können Personen aufgeladen werden?

Personen können aufgeladen werden, zum Beispiel 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.

7.2 Wodurch kann eine gefährliche Aufladung von Personen verhindert werden?

Sind Personen geerdet, können sie nicht gefährlich aufgeladen werden. Personen können über ableitfähiges Schuhwerk und ableitfähigen Fußboden geerdet werden, solange sie nicht einem stark ladungserzeugenden Prozess ausgesetzt sind.

Siehe auch Fragen 2.2 und 2.3.

7.3 Können Personen beim Befahren von oder Abseilen in Behälter, Silos, Schächte oder enge Räume gefährlich aufgeladen werden?

Am Seil frei hängende Personen laden sich in der Regel nicht gefährlich auf.

Gleiches gilt auch für die von ihnen benutzten persönlichen Schutzausrüstungen, zum Beispiel Auffanggurte oder Schutzhelme. Auch das Material des Seils beeinflusst die Aufladung nicht. Übt diese Person jedoch eine Tätigkeit aus, die zu einer gefährlichen Aufladung führen kann, ist für eine ausreichende Personenerdung zu sorgen.

Wird ein Chemikalienschutzanzug getragen, darf sich dieser nicht gefährlich aufladen. Aus diesem Grund ist ein ableitfähiger Anzug zu wählen.

Siehe auch TRGS 727, Nummern 8.3 und 8.6.

7.4 Sind elektrostatische Entladungen für Personen gefährlich?

Die Entladung von aufgeladenen Gegenständen, wie zum Beispiel Trichtern, Kannen oder Handwerkzeugen, und elektrostatische Entladungen von Personen führen in der Regel nicht zu Verletzungen.

Bei energiereichen Funken- oder bei Gleitstielbüschelentladungen sind jedoch gesundheitliche Beeinträchtigungen nicht auszuschließen. Personen mit Herzschrittmacher können gefährdet werden.

Unabhängig von der Energie der Entladung kann eine Unfallgefahr durch Schreckreaktionen gegeben sein.

Siehe auch TRGS 727, Anhang D.

7.5 Kann die elektrostatische Eignung persönlicher Schutzausrüstung für ihren Gebrauch in explosionsgefährdeten Bereichen gemessen werden, zum Beispiel durch Normen entsprechendes Messen?

Materialien, wie sie für die Herstellung von persönlicher Schutzausrüstung verwendet werden, zum Beispiel für Schutzhandschuhe oder für Schutzkleidung, besitzen unterschiedliche Konstruktionen. Die ableitfähigen Elemente eines Textils können oberflächennah oder oberflächenfern eingearbeitet sein. Bei ableitfähiger Schutzausrüstung muss der Hersteller Auskunft darüber geben können, welche elektrostatische Eigenschaft nach welcher Norm geprüft wurde und welche Ergebnisse er erhalten hat.

Die Eigenschaften „leitfähig“, „ableitfähig“ und „isolierend“ gemäß der TRGS 727⁵³, Nummer 2 können wie dort angegeben gemessen werden, wenn es sich um homogene Materialien mit ebenen Oberflächen handelt. Übliche Elektroden erfassen beim Auflegen auf Textil nur den Oberflächen-nahen Anteil des zu untersuchenden Materials und auch nicht die konfektionierte persönliche Schutzausrüstung.

Darüber hinaus gibt es für verschiedene persönliche Schutzausrüstung spezielle in Normen beschriebene Messverfahren zum Beispiel für Schutzschuhe und -handschuhe.

Unabhängig vom Prüfverfahren besteht in der Praxis das Problem, die leitfähigen Materialien der Schutzkleidung in die Erdungskette einzubinden.

Siehe auch Frage 7.7.

7.6 Welche Anforderungen sind an Schuhe in explosionsgefährdeten Bereichen zu stellen?

Damit Personen nicht gefährlich aufgeladen werden, ist in explosionsgefährdeten Bereichen der Zonen 0, 1 und 20 solches Schuhwerk zu tragen, das die Aufladung der Person verhindert. In diesem Sinne gilt Schuhwerk als ableitfähig, wenn der Widerstand zwischen der Person und dem Fußboden höchstens $10^8 \Omega$ beträgt.

Die gleiche Forderung gilt auch in Zone 21 bei Stäuben mit einer Mindestzündenergie $\leq 10 \text{ mJ}$.

Siehe auch TRGS 727, Nummer 7.1.

7.7 Welche Anforderungen sind an das Tragen von Kleidung, Arbeitskleidung oder Schutzkleidung in explosionsgefährdeten Bereichen zu stellen?

Handelsübliche Kleidung kann aufgeladen werden. Beim Tragen stellt sie jedoch im Allgemeinen keine Zündgefahr dar, sofern die Person, zum Beispiel durch geeignetes Schuhwerk und geeignete Fußböden, geerdet ist.

Kleidung, Arbeitskleidung oder Schutzkleidung darf in explosionsgefährdeten Bereichen der Zonen 0 und 1 nicht gewechselt, nicht aus- und nicht angezogen werden.

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.

Eine ausreichende Ableitfähigkeit liegt vor, wenn der unter Normbedingungen gemessene Oberflächenwiderstand zwischen $10^4 \Omega$ und $10^9 \Omega$ (bei $23 \text{ }^\circ\text{C}$ und 50% relativer Luftfeuchte) beziehungsweise $10^{11} \Omega$ (bei $23 \text{ }^\circ\text{C}$ und 30% relativer Luftfeuchte) liegt. Die Messung kann zum Beispiel nach DIN EN 1149-1⁵⁴ erfolgen.

Wird die Ableitfähigkeit des Gewebes durch eingearbeitete leitfähige Fäden erreicht, ist sicherzustellen, dass diese Fäden während des Gebrauchs Erdkontakt haben und nicht brechen.

Die Ableitfähigkeit der Kleidung darf, zum Beispiel durch Waschen, nicht beeinträchtigt werden. Gegebenenfalls ist die Kleidung wieder neu zu behandeln.

In der Praxis besteht das Problem, die leitfähigen Materialien der Schutzkleidung in die Erdungskette einzubinden. Die Erdung ableitfähiger Schutzkleidung soll über den Körper, der die Kleidung tragenden Person, erfolgen. Die Kleidung sollte daher so konstruiert sein, dass sich ein definitiver Hautkontakt der äußeren ableitfähigen Schicht ergibt. Ein direkter Hautkontakt kann zum Beispiel über folgende Maßnahmen erreicht werden:

- ableitfähige Bündchen (Hautkontakt kann durch längere Unterkleidung oder Handschuhe verhindert werden)
- ableitfähige Daumenschlaufen (Hautkontakt kann durch Handschuhe verhindert werden)
- ableitfähige Handgelenkbänder (siehe ESD-Ausrüstung) mit Kontakt zu der äußersten Schicht.

Alle genannten Maßnahmen ergeben nicht „automatisch“ eine Erdung der Kleidung, sondern erfordern, dass dem Träger der Kleidung der Zweck der Maßnahme bewusst ist und er sich entsprechend verhält (Anlegen der Schlaufen/Bänder beziehungsweise Vermeiden isolierender Schichten).

Siehe auch Frage 4.39 und die weiteren Fragen in Nummer 7 „Elektrostatische Aufladung von Personen und persönlichen Schutzausrüstungen“. Siehe auch TRGS 727, Nummern 7.1 bis 7.6.

7.8 Was ist hinsichtlich der persönlichen Schutzausrüstungen und der Arbeitskleidung bei Arbeiten in explosionsgefährdeten Bereichen der Zone 1 zu beachten, wenn zum Beispiel Wasserstoff und Acetylen verarbeitet werden?

Wasserstoff und Acetylen gehören zu den sogenannten IIC-Stoffen, die sich durch eine hohe Zündempfindlichkeit auszeichnen. Deshalb darf in einer Zone 1, die durch das Auftreten von Wasserstoff oder Acetylen bestimmt wird, nur ableitfähige Kleidung getragen werden.

Siehe auch TRGS 727, Nummer 7.3, Absatz 2.

7.9 Gibt es für Wetterschutzkleidung besondere Empfehlungen?

Wetterschutzkleidung besteht häufig aus wasserabweisenden, aufladbaren Materialien. Für ihren Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen gelten die Antworten auf die Fragen 7.7 und 7.8 dieser Schrift.

7.10 Welche Anforderungen sind an das Benutzen von Schutzhelmen in Zone 1 zu stellen?

Ist das Tragen von Kopfschutz in Zone 1 erforderlich, soll er auch dann getragen werden, wenn nur solcher aus isolierenden Materialien verfügbar ist.

Schutzhelme laden sich in der Regel beim Tragen nicht gefährlich auf.

Siehe auch TRGS 727, Nummer 7.5.

7.11 Welche Anforderungen sind an das Benutzen von Schutzhandschuhen in explosionsgefährdeten Bereichen zu stellen?

Schutzhandschuhe werden durch Tragen nicht gefährlich aufgeladen.

Sollen jedoch in der Hand gehaltene Gegenstände über den Handschuh geerdet werden, muss der Widerstand zwischen dem Gegenstand und Erde $< 10^8 \Omega$ sein, deshalb muss der Durchgangswiderstand des Handschuhs ebenfalls $< 10^8 \Omega$ sein.

Da in den Zonen 0, 1 und 20 sowie in Zone 21 bei Stoffen mit Mindestzündenergie $MZE \leq 10 \text{ mJ}$ erhöhte Anforderungen an die Zündquellenvermeidung gestellt werden, dürfen bei Arbeiten in diesen Zonen keine Handschuhe aus isolierenden Materialien benutzt werden.

Sind ableitfähige Schutzhandschuhe oder Schutzhandschuhe mit einem Durchgangswiderstand $< 10^8 \Omega$ erforderlich, wird empfohlen, beim Hersteller eine Bestätigung einzuholen, dass der erforderliche Wert

eingehalten wird. Der Hersteller kann Auskunft darüber geben, welchen Widerstandswert er nach welcher Norm gemessen hat. Messanordnungen sind zum Beispiel in DIN EN 16350⁵⁵ beschrieben, die auf das Prüfverfahren nach DIN EN 1149-2⁵⁶ verweist.

Siehe auch TRGS 727, Nummer 7.4.

7.12 Was ist beim Tragen von Atemschutzmasken mit großflächiger Sichtscheibe in Zone 1 zu beachten?

Sichtscheiben von Atemschutzmasken können sich gefährlich aufladen, da sie in der Regel zu große aufladbare Flächen besitzen.

Gefährliche Aufladungen sind in der Regel jedoch nur durch Abwischen von Spritzern oder Entfernen von Verschmutzungen von der Scheibe zu erwarten.

Ist mit solchen Situationen zu rechnen, sind Atemschutzmasken mit ableitfähigen oder leitfähigen Sichtscheiben zu benutzen. Stehen diese nicht zur Verfügung, sind sie vor ihrem Einsatz mit einem Antistatikum zu behandeln. Dies ist in die entsprechende Betriebsanweisung aufzunehmen.

Siehe auch TRGS 727, Nummern 3.2.1 und 7.6.

7.13 Müssen flüssigkeitsabweisende Schürzen bei Arbeiten in Zone 1 ableitfähig sein?

Schürzen liegen in der Regel nicht eng am Körper an. Deshalb müssen Schürzen ableitfähig sein. Es ist zu beachten, dass auch beim Ablegen einer Schürze zündwirksame Entladungen auftreten können. Deshalb dürfen auch ableitfähige Schürzen in Zone 1 (oder Zone 0) nicht an-, ausgezogen oder gewechselt werden.

In der Praxis besteht das Problem, die leitfähigen Materialien der Schutzkleidung in die Erdungskette einzubinden.

Siehe Fragen 7.5 und 7.7.

7.14 Dürfen FFP2-Masken in explosionsgefährdeten Bereichen getragen werden?

Aufgrund der COVID-19-Pandemie mussten bei bestimmten Tätigkeiten FFP2-Masken getragen werden. Nach momentanem Kenntnisstand werden keine FFP2-Masken aus ableitfähigem Material angeboten, nur solche aus isolierendem Material. Die Projektion der größten Fläche der Maske überschreitet dabei die nach TRGS 727⁵⁷ Nummer 3.2.1 Tabelle 1a in Zone 1 höchstzulässige Oberfläche. Beim Einsatz in Zone 2 besteht keine Flächenbegrenzung, es dürfen aber erfahrungsgemäß keine zündwirksamen Entladungen auftreten.

Bei einem Gegenstand aus einem isolierenden Material ist zu überlegen, ob mit einer gefährlichen Aufladung zu rechnen ist. Dies ist der Fall bei der Entnahme der Maske aus einer Schutzhülle („Plastikbeutel“), nicht

55 Siehe Anhang 1 Nr. 43

56 Siehe Anhang 1 Nr. 38

57 Siehe Anhang 1 Nr. 19

dagegen während des bestimmungsgemäßen Tragens der Maske (im Gegensatz zum Beispiel zu Tätigkeiten, bei denen isolierende Schürzen o. ä. getragen werden).

Die Maske wird unmittelbar am Körper getragen, diese wird recht schnell feucht, so dass dadurch der Oberflächenwiderstand an der Innenseite vermutlich schnell abnimmt, und die Maske dadurch als ableitfähig eingestuft werden kann. Damit ist beim Tragen von Sicherheitsschuhen mit dem geforderten Ableitwiderstand von $10^8 \Omega$ über den Träger ein Erdkontakt der Maske gegeben.

Entsprechend können FFP2-Masken in explosionsgefährdeten Bereichen für Stoffe der Explosionsgruppen IIA und IIB in Zone 1 und 2 getragen werden, sofern

- bei den Tätigkeiten keine stark ladungserzeugenden Prozesse erfolgen (beim Tragen und manuellen Vorgängen ist dies nicht der Fall) und
- an der Oberfläche der Maske keine metallischen Einbauten vorhanden sind (ein in das Material eingebetteter Nasenbügel ist unschädlich).

Das Aufsetzen und Ablegen der Maske hat außerhalb der explosionsgefährdeten Bereiche zu erfolgen, soll ein Wiederverpacken im Ex-Bereich erfolgen, sind zum Beispiel ableitfähige Plastikbeutel zu verwenden.

Hinweis: Bei Überschreitung von Arbeitsplatzgrenzwerten oder beim Vorliegen einer explosionsgefährlichen Atmosphäre besteht Gesundheitsgefahr, da FFP2-Masken nicht gegenüber Gasen und Dämpfen oder bei Sauerstoffmangel schützen!

8 Erdung und Potenzialausgleich

8.1 Welche Anforderungen werden an die Leitfähigkeit des Fußbodens bei der Verarbeitung von brennbaren Lösemitteln, zum Beispiel Ethanol, Ethylacetat oder Xylol, gestellt?

Der offene Umgang mit brennbaren Lösemitteln führt in der Regel zur Einstufung des Arbeitsbereiches in einen explosionsgefährdeten Bereich der Zone 1.

In explosionsgefährdeten Bereichen der Zonen 0, 1 und 20 sowie in Zone 21 bei Stäuben mit MZE ≤ 10 mJ sind Fußböden mit einem Ableitwiderstand von weniger als $10^8 \Omega$ erforderlich.

Die Erdung über den Fußboden darf nicht durch Verschmutzungen, ausgelegte Papierbahnen, isolierende Folien, isolierende Füße von Leitern oder Podesten etc. unterbrochen werden.

Siehe auch TRGS 727, Nummern 7, Absatz 3, 7.2 und 8.2.

8.2 Wie werden Erdungsleitungen zum Ableiten elektrostatischer Ladungen gekennzeichnet?

In Deutschland gibt es keine Vorgaben für die farbliche Kennzeichnung von Erdungsleitungen für die Vermeidung von Aufladungen. Häufig werden gelb-grüne Kabel wie für den Potenzialausgleich verwendet.

In einigen Ländern, zum Beispiel in Großbritannien, wird die Farbe Grün vorgegeben.

Siehe auch TRGS 727, Nummer 8.4.

8.3 Welche Anforderungen sind an die Ausführung der elektrostatischen Erdung zu stellen?

Die abzuleitenden Ströme sind in der Regel sehr klein, daher gibt es außer dem Ableitwiderstand keine quantitativen Anforderungen an die mechanische Ausführung.

Bei Kabeln sind der Querschnitt und die Ausführung so zu wählen, dass sie den zu erwartenden mechanischen oder korrosiven Beanspruchungen standhalten, zum Beispiel durch hochflexible oder korrosionsgeschützte Ausführung.

Entgegen den Forderungen des elektrischen Potenzialausgleiches ist bei der elektrostatischen Erdung die Verwendung von selbstsichernden Verbindungen nicht zwingend erforderlich. Es muss lediglich die mechanische Eignung gewährleistet sein, die dauerhaft den geforderten Ableitwiderstand von $R_E < 10^6 \Omega$ sicherstellt.

Werden, zum Beispiel bei Abfüllvorgängen, Erdungszangen verwendet, ist insbesondere dann, wenn die Oberflächen beschichtet sind, darauf zu achten, dass der Kontakt zum metallischen Material des zu erdenden Gegenstands zuverlässig hergestellt wird. Erdungsklemmen, die die Beschichtung nicht durchdringen, sind zum Beispiel bei pulverbeschichteten Gebinden nicht geeignet. Potenzialausgleichanschlüsse, die nur der elektrostatischen Erdung und nicht dem elektrischen Potenzialausgleich oder dem Blitzschutz dienen, sollten als solche eindeutig gekennzeichnet sein, da der für diese Einrichtungen geforderte Ableitwiderstand von $R_E < 10^6 \Omega$ den Anforderungen des elektrischen Potenzialausgleiches nicht zwangsläufig genügt.

Siehe auch TRGS 727, Nummern 8.3 und 8.5.

8.4 In welchen Intervallen sind Einrichtungen zur elektrostatischen Erdung zu prüfen?

Ein festes Intervall kann nicht vorgegeben werden, da die Erdungseinrichtungen abhängig von den Betriebsbedingungen in regelmäßigen Abständen zu prüfen sind. Das Intervall muss so festgelegt werden, dass die Einrichtungen bis zur nächsten festgelegten Prüfung sicher verwendet werden können.

Oft reicht eine Sichtprüfung aus. Vor erstmaliger Inbetriebnahme und nach Änderungen ist der Erdableitwiderstand zu messen.

Prüfungen von Einrichtungen zur elektrostatischen Erdung sind ergänzend zu anderen elektrischen Prüfungen durchzuführen.

Siehe auch TRBS 1201 Teil 1 und TRGS 727, Nummer 8.7.

8.5 Müssen Personen in Zone 21 geerdet werden?

Beträgt die Mindestzündenergie des Staubes, der für die Festlegung der Zone 21 bestimmend ist, ≤ 10 mJ, müssen die Personen geerdet werden. Von aufgeladenen Personen wird in der Regel keine größere Energie als 10 mJ freigesetzt.

*Siehe auch Frage 7.7 und 7.9.
Siehe auch TRGS 727, Nummer 7.*

8.6 Dürfen andere Erdungssysteme (elektrischer Potenzialausgleich, Blitzschutz/innerer Potenzialausgleich) auch zur elektrostatischen Erdung verwendet werden?

Ja. Seitens des Ableitwiderstandes, der sowohl beim elektrischen Potenzialausgleich als auch bei Blitzschutzanlagen im niederohmigen Bereich liegt, und der verwendeten Leiter-Querschnitte, sind beide Systeme in der Lage, auch den Anforderungen der elektrostatischen Erdung mit einem geforderten $R_E < 10^6 \Omega$ zu genügen.

Allerdings dürfen von den verwendeten Erdungssystemen keine Zündgefahren ausgehen:

- Ein Einspeisen von Fremdspannung in das elektrostatische Erdungssystem ist unbedingt zu vermeiden, da dies zu Streuströmen mit induktiven Funken führt. Dieses Problem kann zum Beispiel bestehen bei Blitzableitung oder wenn das Erdungssystem nahe an Bahn-/Hochspannungsanlagen, Hafanbetankungen etc. liegt.
- Die Verfügbarkeit muss dauerhaft und unterbrechungsfrei sichergestellt sein (Gefahr bei Einbindung in Rohrleitungsnetze, Kabelpitschen).

Sind bei Betriebsmitteln zum Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen Erdungsanschlüsse vorgesehen, müssen sie darüber in den betrieblichen Potenzialausgleich eingebunden werden, dann ist eine alleinige Erdung über den Schutzleiter nicht zulässig.

8.7 Ist es erforderlich, beziehungsweise entspricht es dem Stand der Technik, die elektrostatische Erdung mit einer elektronischen Überwachung auszurüsten?

Diese Frage kann nicht pauschal beantwortet werden. Entscheidend ist die Anforderung an die Zuverlässigkeit der Erdverbindung des zu erdenden Objektes, wie sie in der Gefährdungsbeurteilung festgelegt ist.

Der Markt bietet eine Vielzahl von metallischen Erdungsklemmen und -anschlüssen, die auch ohne elektronische Überwachung die Erdung sicherstellen können. Aufgrund der Zahnung der Klemmbacken und der Federspannung von Erdungszangen und -klemmen werden in der Regel dünne Lackschichten durchdrungen, zum Beispiel an einfach lackierten Fässern. Im Zweifelsfall ist das durch Messungen nachzuweisen.

Bei anderen zu erdenden Objekten kann eine elektronische Überwachung der Erdung mit Freigabefunktion sinnvoll oder erforderlich sein, zum Beispiel

- bei Objekten mit dickeren Lackschichten,
- beim Umschlag größerer Mengen brennbarer Lösemittel, zum Beispiel beim Entladen von Schiffen.

8.8 Wann muss die Erdung redundant ausgeführt werden?

Die Erdung von Anlagen, Maschinen, Rohrleitungen etc. muss dauerhaft und ununterbrochen wirksam sein. Bei einer Unterbrechung der Erdung kann es zu gefährlichen Aufladungen des Anlagenteils und zu Funkenentladungen kommen.

Ein konstruktiv über eine Anlage hinweg realisierter Potenzialausgleich, zum Beispiel unter Nutzung metallischer Rohrleitungen oder Verbindungen, kann zum Beispiel durch Demontage einer Komponente unterbrochen werden.

Ist diese Situation nicht auszuschließen, muss die Erdung redundant ausgeführt werden, zum Beispiel indem sie von zwei Seiten an die zu erdenden Objekte herangeführt wird.

8.9 Wie ist bei einem Befüll- oder Entleervorgang eines Gebindes die Erdung richtig anzubringen?

Mobile Erdungsvorrichtungen, zum Beispiel Zangen zum Erden von Gebinden, müssen an allen am Füllvorgang beteiligten Gebinden vor Beginn des Befüll- oder Entleervorgangs angebracht werden. Auch andere metallische Gegenstände, zum Beispiel Metalltrichter, müssen vor dem Vorgang geerdet werden. Sie dürfen zwischendurch nicht, sondern erst nach vollständigem Abschluss des Vorganges entfernt werden, zum Beispiel kein Abklemmen vor dem Verschließen des befüllten Gebindes. Nur so kann verhindert werden, dass Aufladungen zur Zündgefahr werden. Über die korrekte Erdung der Befüll- und Entleervorgänge ist das Personal regelmäßig zu unterweisen.

8.10 Was ist zu tun, wenn bei einem Befüll- oder Entleervorgang eines Gebindes das Anschließen der Erdung vergessen worden ist?

Keinesfalls sollte die Erdungsverbindung einfach nachträglich angebracht werden, da sich auf dem Gebinde schon Ladung angesammelt haben könnte. Beim Annähern einer Erdungszange führt diese Aufladung zu einer Funkenentladung und eine Zündgefahr ist gegeben.

Folgende Vorgehensweise ist anzuraten, muss aber auf die betrieblichen Belange abgestimmt werden.

1. Unterbrechen des Befüll-/Entleerprozesses, wenn dies ohne die Gefahr einer Funkenentladung möglich ist. Insbesondere die Annäherung einer Person kann zur Funkenentladung führen.
2. System ruhen lassen, bis sich die Ladung abgebaut hat. Der Zeitraum ist mengen- und stoffabhängig und kann von einigen Minuten bis hin zu mehreren Stunden in Anspruch nehmen.
3. Erdverbindung anbringen und Vorgang wieder aufnehmen.

Eine vorhandene Aufladung des Gebindes kann durch direkten Kontakt mit einem ableitfähigen Gegenstand von mindestens 100 MΩ zum Beispiel mit einem trockenen Holzstab, gefahrlos zur Erde abgeleitet werden, da hierbei kein Funke entsteht.

Wird jedoch nachgewiesen, dass am Erdungspunkt keine explosionsfähige Atmosphäre vorhanden ist, zum Beispiel durch Überprüfung mit einem Explosimeter, kann die Erdung direkt angebracht werden.

8.11 Wann ist die Erdung von Gegenständen und Einrichtungen über den Fußboden nicht ausreichend?

Die Erdung von Gegenständen und Einrichtungen über den Fußboden ist nicht ausreichend, wenn sie unmittelbar an ladungserzeugenden Prozessen beteiligt sind.

Entsprechende ladungserzeugende Prozesse sind zum Beispiel

- Rühren, Mischen,
- Befüllen, Entleeren,
- Pumpen, Fördern durch Leitungen.

Bereits beim Betreiben kleiner verfahrenstechnischer Anlagen ist eine Erdung von Gegenständen und Einrichtungen über den Fußboden in der Regel nicht ausreichend.

8.12 Müssen Metalleinlagen in PTFE-Dichtungen in Flüssigkeitsleitungen geerdet werden?

In leitfähigen Leitungen müssen alle Metalleinlagen in PTFE-Dichtungen unabhängig vom Nenndurchmesser (DN) geerdet werden, sofern nicht nachgewiesen werden kann, dass nicht mit gefährlichen Aufladungen gerechnet werden muss. Der Grund hierfür liegt in der durch die Einbauweise („doppelter Plattenkondensator“) bedingten wesentlich höheren Kapazität im Vergleich zu der nicht eingebauten Dichtung.

Zur Erdung von Metalleinlagen in PTFE-Dichtungen haben sich Metalleinlagen mit Erdungslaschen in der Praxis bewährt.

Siehe auch Frage 5.1.

8.13 Welche Anforderungen sind an die Erdung isolierend beschichteter erdgedeckter Metalltanks zu stellen?

Erdgedeckte Metalltanks werden gelegentlich mit Kunststoff oder Bitumen beschichtet. Diese Stoffe besitzen einen hohen Oberflächen-, Durchgangswiderstand und eine hohe Durchschlagsspannung. Daher handelt es sich bei außen beschichteten Tanks um isolierend beschichtete Metalltanks im Sinne TRGS 727⁵⁸ Nummer 4.4.6, beziehungsweise bei innen beschichteten Nummer 4.4.5.

Bei außen beschichteten Behältern wird die notwendige Sicherheit üblicherweise durch Eingraben beziehungsweise Erddeckung und separate Erdung der metallenen Behälterwand gewährleistet. Zur Prüfung der elektrostatistischen Erdung siehe Frage 8.4.

Bei innen beschichteten Behältern muss die metallene Behälterwand unmittelbar Kontakt zum Erdreich aufweisen oder geerdet sein. Außerdem muss die Flüssigkeit im Behälter Kontakt zu Erde besitzen.

Ist ein erdgedeckter Tank außen und innen beschichtet, so ist die Behälterwand separat zu erden und Erdkontakt mit der Flüssigkeit herzustellen.

8.14 Kann die Kapazität eines leitfähigen Gegenstands über sein Gewicht bestimmt werden?

Die Kapazität eines leitfähigen, nicht geerdeten Gegenstands hängt nicht von seinem Gewicht, sondern von seiner Oberfläche und seiner Umgebung ab. Eine Vollkugel besitzt somit die gleiche Kapazität wie eine dünnwandige Hohlkugel gleicher Größe in gleicher Umgebung. Theoretisch lässt sich einem leitfähigen, elektrisch isolierten Gegenstand nur eine Kapazität zuordnen, wenn er weit von Erde entfernt im sogenannten „freien Raum“ gehalten wird. „Weit von Erde entfernt“ bedeutet in diesem Zusammenhang, dass dessen Distanz zur Erde oder anderen leitfähigen Gegenständen größer ist als die für ihn charakteristischen linearen Außenmaße (zum Beispiel Durchmesser, Kantenlänge).

Die effektive Kapazität eines leitfähigen, nicht geerdeten Gegenstands in einer definierten Umgebung lässt sich mittels Computermodellrechnungen berechnen.⁵⁹

Siehe auch Frage 8.15 und 8.16.

8.15 Wie wird die Kapazität eines leitfähigen Objekts (Gegenstand oder Einrichtung) in der Praxis bestimmt?

Es ist eine physikalische Gesetzmäßigkeit, dass die Kapazität eines Objekts nicht nur von seiner Größe und Form, sondern auch ganz wesentlich von seiner Umgebung abhängt. In der Nähe von leitfähigen geerdeten Oberflächen kann die Kapazität eines Objekts um ein Vielfaches größer sein als im freien Raum.

Beispielsweise beträgt die Kapazität eines Metallfasses (200 l, 600 mm Ø) auf einer trockenen Holzpalette (70 mm Dicke, relative Permittivitätszahl 2) auf Betonboden ca. 70 pF. Dasselbe Fass auf einer Kunststoffolie (140 µm Dicke) auf demselben Boden weist eine ca. 500-fach höhere Kapazität von ca. 35 nF auf.

Die Kapazität von elektrisch isolierten, leitfähigen Objekten muss deshalb unbedingt in der Situation gemessen werden, die in der Praxis vorliegt.

Die Messung erfolgt zweckmäßig mit einem handelsüblichen Kapazitätsmessgerät. Für die Messung insbesondere kleiner Kapazitäten ist Fachexpertise erforderlich, da die Randbedingungen des jeweiligen Einzelfalls (einschließlich der die Messungen ausführenden Person) sehr großen Einfluss auf das Messergebnis haben können.

8.16 Lässt sich die Kapazität eines leitfähigen, nicht geerdeten Gegenstands für eine vorgegebene geometrische Anordnung in der Praxis rechnerisch abschätzen?

Wie schon in der Frage 8.14 erwähnt, lässt sich die Kapazität eines leitfähigen, nicht geerdeten Gegenstands für eine vorgegebene geometrische Anordnung in der Praxis am besten mittels Computermodellrechnungen abschätzen.

Eine vereinfachte Möglichkeit besteht auch darin, die vorgegebene geometrische Anordnung mittels Platten-, Zylinder- und Kugelkondensatoren zu beschreiben und die Gesamtkapazität durch Parallel- beziehungsweise Serienschaltung aller dieser Kondensatoren zu berechnen. Die Formeln für die Kapazitäten C der verschiedenen Kondensatoren lauten:

59 Siehe Anhang 1 Nr. 19

$$C = \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot A / \ell$$

mit

ε : Relative Permittivität des Zwischenmediums (in der Regel Luft = 1, gilt aber zum Beispiel nicht für eine Metallwellring-Dichtung!)

ε_0 : absolute Permittivität des Vakuums ($8,86 \cdot 10^{-12}$ As/Vm)

A: Plattenfläche in m²

ℓ : Plattenabstand in m

Zylinderkondensator:

$$C = 2 \cdot \pi \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot \ell / \ln(r_a / r_i)$$

mit

ε : Relative Permittivität des Zwischenmediums (in der Regel Luft = 1)

ε_0 : absolute Permittivität des Vakuums ($8,86 \cdot 10^{-12}$ As/Vm)

ℓ : Zylinderlänge in m

r_a : Radius außen in m

r_i : Radius innen in m

Kugelkondensator:

$$C = 4 \cdot \pi \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot r_a \cdot r_i / (r_a - r_i)$$

mit

ε : Relative Permittivität des Zwischenmediums (in der Regel Luft = 1)

ε_0 : absolute Permittivität des Vakuums ($8,86 \cdot 10^{-12}$ As/Vm)

r_a : Radius außen in m

r_i : Radius innen in m

Beispiel:

Die Kapazität einer Person lässt sich durch die Parallelschaltung eines Zylinder- und eines Plattenkondensators folgendermaßen berechnen:

Größe L = 1,75 m

Mittlerer Körperradius $r_i = 0,3$ m

Mittlerer Abstand zu einer leitfähigen Wand $r_a = 2$ m

Fläche der Füße $A = 65 \cdot 270 \text{ mm}^2 = 0,01755 \text{ m}^2$

Abstand zum Fußboden (Schuhsohlendicke) $d = 2,1$ mm

Relative Permittivität der Schuhsohlen $\epsilon_0 = 2$

$$C_{\text{tot}} = C_{\text{Zylinder(Körper)}} + C_{\text{Platte(Füße)}} = 2 \cdot \pi \cdot \epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot \ell / \ln(r_a / r_i) + \epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot A / d = 52 \text{ pF} + 148 \text{ pF} = 200 \text{ pF}$$

8.17 Was bedeutet die Forderung in der TRGS 727, dass für Arbeiten zu Erdung und Potenzialausgleich eine „eigene“ Betriebsanweisung vorliegen muss?

Diese Forderung in TRGS 727⁶⁰ Nummer 8.6 Absatz 1 zielt auf Arbeiten, die zur Installation von Erdungs- oder Potenzialausgleichseinrichtungen vorgenommen werden, also typischerweise Montage- und Instandhaltungsarbeiten sind. Sofern bei diesen Arbeiten Explosionsgefährdungen auftreten können, müssen diese in der Gefährdungsbeurteilung berücksichtigt und die erforderlichen Schutzmaßnahmen festgelegt werden. Dazu gibt die TRBS 1112 Teil 1⁶¹ Hilfestellung. Es ist sinnvoll die Maßnahmen, die sich aus Überlegungen zum Vermeiden von Gefahren durch elektrostatische Aufladungen ergeben, in den Kontext der Betriebsanweisung nach TRBS 1112 Teil 1 zu integrieren und nicht dafür eine separate Betriebsanweisung zu erstellen.

Erdungsmaßnahmen im Rahmen von betrieblichen Vorgängen (zum Beispiel das Anbringen der Erdungszangen vor dem Befüllen von Behältern) sind mit den im oben genannten Absatz 1 genannten „Arbeiten zur Erdung“ nicht gemeint, sie fallen aber unter die in Absatz 2 angesprochene Unterweisungspflicht. Hierfür ist es sinnvoll, die Erdungsmaßnahmen in die Betriebsanweisung für die jeweilige Tätigkeit (zum Beispiel das Abfüllen von brennbaren Lösemitteln in metallische Gebinde) aufzunehmen.

8.18 Gibt es empfehlenswerte Erdableitwiderstände für bestimmte Gegenstände, Einrichtungen oder Installationen?

Ja. In folgender Tabelle sind die wichtigsten Werte aus der TRGS 727⁶² sowie IEC TS 60079-32-1⁶³ zusammengefasst.

60 Siehe Anhang 1 Nr. 19
61 Siehe Anhang 1 Nr. 9
62 Siehe Anhang 1 Nr. 19
63 Siehe Anhang 1 Nr. 47

Art der Installation	Maximal zulässiger Widerstand gegen Erde ^{a-e}	Bemerkungen	TRGS 727 Nummer
Standardwert	1 MΩ	Werte bis 100 MΩ sind erlaubt bei elektrischen Kapazitäten kleiner 100 pF und einer Ladestromstärke $I < 10^{-6}$ A <i>vgl. Frage 8.11</i>	8.1
Große ortsfeste Gegenstände aus Metall (Rührkessel, Silos, Vorratstanks etc.)	1 MΩ	In den meisten Fällen sind diese Gegenstände durch ihre Einbindung in die Gebäudekonstruktion bereits geerdet.	8.3.2
Metallrohre	1 MΩ	Metallrohre können über Halterung und Einbindung in die Gebäudekonstruktion geerdet werden. Besondere Aufmerksamkeit muss jedoch auf Verbindungsbauteile gerichtet werden, die einen zu hohen Widerstand aufweisen können.	4.9.1
Ortsbewegliche Gegenstände aus Metall (Fässer, Tonnen, Eisenbahnkesselwagen, Tankwagen etc.)	1 MΩ	Eine Verbindung mit Erde ist beim Befüllen und Entleeren zwingend gefordert. Bei rein metallenen Verbindungen sollten 10 Ω nicht überschritten werden.	8.3.3
Metallteile mit isolierenden Komponenten (Ventile, Flansche etc.)	1 MΩ	Kann der Widerstand von 1 MΩ konstruktionsbedingt nicht sicher eingehalten werden, muss eine zusätzliche Erdverbindung verwendet werden.	8.3.4
Kleine leitfähige Gegenstände in isolierenden Einrichtungen (z. B. Schrauben und Metallflansche bei isolierenden Plastikrohren)	Kein allgemein empfohlener Wert	Große ungeerdete Metallteile in isolierenden Bauteilen sind grundsätzlich nicht zulässig, es sei denn, sie sind nur in den Zonen 2 oder 22 angeordnet und es liegen keine ladungserzeugenden Prozesse vor.	8.3.5
Gegenstände aus ableitfähigen Materialien	1 MΩ bis 100 MΩ	Ableitfähige Materialien an der Grenze zu Isolierenden Materialien müssen nicht geerdet werden, wenn stark ladungserzeugende Prozesse ausgeschlossen werden können. Sie müssen jedoch Erdkontakt besitzen. <i>vgl. Frage 8.21</i>	3.1
Fußböden in explosionsgefährdeten Bereichen	100 MΩ	Erdableitwiderstand von der Fußbodenoberseite zur Erde.	8.2
Fußböden in Bereichen, in denen mit besonders anzünd-/zündempfindlichem Explosivstoff umgegangen wird	100 kΩ	Erdableitwiderstand von der Fußbodenoberseite zur Erde.	8.1
Schuhe zur Erdung von Personen in explosionsgefährdeten Bereichen	100 MΩ	Widerstand zwischen einem handgehaltenen Metallbolzen und einer Metallplatte unter einer Schuhsohle.	7.1
Erdung von Gehäusen über eigensichere Stromkreise	100 MΩ	Dieser Widerstand ist ausreichend zur Isolierung von eigensicheren Niederspannungsstromkreisen.	8.3.1
Schiffe beim Be- und Entladen	Alle Metallteile sind miteinander zu verbinden	Ein einzelner Isolierflansch mit einem Durchgangswiderstand von 1 MΩ muss die Zuleitung unterbrechen, wobei eine Seite hafenseitig und die andere Seite über Schiff und See zu erden ist.	ohne

		<i>Siehe International Safety Guide for Oil Tankers and Terminals (ISGOTT), fifth edition, International chamber of shipping, 2006 und IEC TS 60079-32-1.</i>	
Flugzeuge beim Betanken	25 Ω	Gemäß IEC TS 60079-32-1 und internationalen Betankungsregeln.	4.10.1
Kraftfahrzeuge beim Betanken	100 MΩ	Erdableitwiderstand der Bodenfläche vor der Zapfsäule.	4.10.3
	10 GΩ	Erdableitwiderstand zwischen Zapfventil und Bodenfläche über einen einzelnen Reifen gemäß IEC TS 60079-32-1.	
	1 MΩ	Erdableitwiderstand zwischen Zapfventil und Erde über einen ableitfähigen Ω-Zapfschlauch. Bei leitfähigen M-Zapfschläuchen beträgt der erlaubte Grenzwert 100 Ω.	
<p>a Diese Tabelle sollte im Zusammenhang mit den angegebenen Nummern der TRGS 727 gelesen werden.</p> <p>b Die angegebene Testmethode sollte verwendet werden.</p> <p>c In den Zonen 2 und 22 ist eine Erdung notwendig, wenn eine kontinuierliche Ladungserzeugung vorliegt.</p> <p>d Beim Blitzschutz und bei den Regeln für elektrische Anlagen wird üblicherweise ein niedrigerer Erdungswiderstand verlangt.</p> <p>e Die Werte in der Tabelle sollen nicht für den Schutz elektrostatisch sensibler Bauelemente verwendet werden.</p>			

8.19 In anderen Regelwerken, zum Beispiel IEC TS 60079-32-1, wird ein Höchstwert von 10 Ω für metallene Erdverbindungen gefordert, in der TRGS 727 Nummer 8 nicht. Was ist richtig?

Der Grenzwert von 10 Ω steht nicht explizit in der TRGS 727⁶⁴. Wenn eine metallene Erdverbindung einen Ableitwiderstand von mehr als 10 Ω aufweist, ist jedoch davon auszugehen, dass Korrosion, Verschmutzung oder eine andere Störung vorliegt. Nach TRGS 727 Nummer 8.1 Absatz 3 ist gefordert, dass die Erdung zuverlässig und dauerhaft sein muss. Es ist daher sinnvoll, den in IEC TS 60079-32-1⁶⁵ angegebenen Höchstwert nicht zu überschreiten.

8.20 Warum wird in der TRGS 727 Nummer 4.4.2 „Straßentankwagen“ im Gegensatz zu anderen Regelwerken, zum Beispiel IEC TS 60079-32-1, kein Erdungsüberwachungssystem empfohlen?

Auch in der TRGS 727 wird in Nummer 4.4.2 für Straßentankwagen ein Erdüberwachungssystem empfohlen: „Verriegelungen, die eine Be- oder Entladung bei nicht angeschlossenem oder nicht wirksamen Erdungskabel verhindern, sind zweckmäßig“.

64 Siehe Anhang 1 Nr. 19

65 Siehe Anhang 1 Nr. 47

8.21 Was ist der Unterschied zwischen den Maßnahmen „Erden“ und „mit Erde verbinden“?

In der TRGS 727 (Ausgabe 2016) wird je nach Leitfähigkeit (leitfähig oder ableitfähig) des zu erdenden Objekts (Gegenstand oder Einrichtung) ein Unterschied zwischen „Erden“ und „mit Erde verbinden“ gemacht. Dies hat rein praktische Gründe:

- Unter „Erden“ wird eine Verbindung mit einem Erdungskabel und einer Befestigung mittels Anklemmens oder Anschraubens verstanden. Der Erdableitwiderstand darf dabei $10^6 \Omega$ nicht überschreiten.
- Unter „mit Erde verbinden“ wird eine Berührung oder ein Kontakt zwischen dem zu erdenden Objekt und Erde verstanden. Dies bedeutet, dass es beispielsweise genügt, wenn ein ableitfähiger Kunststoffsock oder Kanister beim Befüllen oder Entleeren auf einer leitfähigen, geerdeten Unterlage aufliegt oder über die Person Erdkontakt hat. Eine Erdung mit Erdungskabel und Erdungsklammer ist für diese Anwendung in der Praxis in der Regel untauglich.

Leitfähige Objekte müssen geerdet werden, ableitfähige Objekte müssen mit Erde verbunden sein.

8.22 Ist die Kontaktierung mit einem wasserfeuchten Vlies/Papier bei der Messung des Ableitwiderstandes von Fußböden noch erlaubt?

Die Kontaktierung von Fußböden mit wasserfeuchtem Vlies zur Bestimmung des Ableitwiderstandes führt oft zu Fehlmessungen, da die Feuchte des Vlieses das Messergebnis signifikant beeinflussen kann. Die Feuchte des Vlieses wird – insbesondere bei benetzbaren oder porigen Fußbodenmaterialien – von dem (trockenen) Fußboden aufgenommen, was zur Erniedrigung des Ableitwiderstandes führt. Durch diese Beeinflussung zur unsicheren Seite besteht die Gefahr, dass gegebenenfalls eine Eignung des Fußbodens für die Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen attestiert wird, die nicht gegeben ist.

In den Begriffsbestimmungen der TRGS 727⁶⁶ Nummer 2 unter Absatz 9 „Ableitwiderstand R_E “ wird davon ausgegangen, dass die Messung mit trockener Kontaktierung erfolgt. 1998 wurde die DIN EN 51953, welche eine Kontaktierung mit feuchtem Vlies vorsah, zurückgezogen und durch die DIN EN 1081⁶⁷ ersetzt, die eine trockene Prüfung des Fußbodens vorschreibt. Selbst wenn im besonderen Fall (zum Beispiel bei der Zulassung von Fußbodensystemen) die Bestimmung des Ableitwiderstandes mit feuchter Kontaktierung vorgegeben ist, sind Messungen mit trockener Kontaktierung entsprechend TRGS 727 Nummer 2 Absatz 9 erforderlich, um nachzuweisen, dass die Anforderungen der TRGS 727 erfüllt sind.

9 Angebote der BG RCI

9.1 Welche speziellen Angebote und Informationen bietet das Explosionsschutzportal der BG RCI?

Im Explosionsschutzportal der BG RCI unter www.exinfo.de findet man folgende Menüpunkte:

66 Siehe Anhang 1 Nr. 19

67 Siehe Anhang 1 Nr. 36

- Newsletter „Exinfo“
- Dokumente
- Ex-Schutz-Wissen
- IVSS
- Veranstaltungen
- Videodownload
- Wichtige Links
- Kontakt



Neben dem aktuellen Newsletter können auch frühere Ausgaben nachgesehen werden.

Des Weiteren finden sich unter Dokumenten wichtige Links zum aktuellen europäischen wie deutschen Regelwerk.

Die umfangreiche Liste funktionsgeprüfter Gaswarngeräte (Anlage 3 der EX-RL) ist ebenfalls unter dem Pfad Dokumente – Explosionsschutz-Regeln (EX-RL) eingestellt.

Im Menüpunkt Ex-Schutz-Wissen werden unter anderem Antworten auf häufig gestellte Fragen gegeben und über die aktuelle Forschung berichtet.

9.2 Welche Videospots bietet die BG RCI?

Die von den Fachexpertinnen und -experten Explosionsschutz der BG RCI erstellten Videospots behandeln wesentliche Schwerpunkte des modernen Explosionsschutzes.

Sie richten sich an

- Führungskräfte
- Betriebs- bzw. Personalrätinnen und Betriebs- bzw. Personalräte
- Fachkräfte für Arbeitssicherheit
- Ausbilderinnen und Ausbilder
- Planerinnen/Planer, Herstellerinnen/Hersteller und Betreiberinnen/Betreiber von explosionsgefährdeten Anlagen
- Beschäftigte von Aufsichtsbehörden und Prüfstellen
- Vertreterinnen und Vertreter der Unfall- und Sachversicherungsträger

Für den Explosionsschutz bei brennbaren Flüssigkeiten sind insbesondere folgende Videospots relevant:

Elektrostatik 1: Entladungsarten

Der Film zeigt die Entstehung elektrischer Aufladungen und die Zündwirksamkeit der wichtigsten Entladungsarten. Gegenmaßnahmen, mit denen gefährlichen Aufladungen begegnet werden kann, werden vorgestellt.

Dauer: 7 Minuten

Elektrostatik 2: Gegenstände geringer Dicke und Folien

Gegenstände geringer Dicke und Folien wirken oft wie Kondensatoren: Sie speichern größere Mengen elektrischer Energie als dicke Gegenstände gleicher Größe. Der Film geht auf die Besonderheiten dünner Gegenstände und Folien ein und beschreibt die sogenannte Gleitstielbüschelentladung.

Dauer: 5 Minuten

Elektrostatik 3: Flüssigkeiten

Beim Arbeiten mit brennbaren Flüssigkeiten entstehen oft unvermeidbar Brandlasten oder explosionsfähige Atmosphäre. Der Film beschreibt elektrostatische Zündquellen bei Tätigkeiten mit brennbaren Flüssigkeiten und zeigt Maßnahmen für sicheres Verhalten auf.

Dauer: 5 Minuten

Elektrostatik 4: Schüttgut

Schüttgut besitzt eine höhere Mindestzündenergie als die meisten Dämpfe von Flüssigkeiten. Andererseits entstehen beim Handhaben von Schüttgut oft hohe Aufladungen, die zu zündwirksamen Entladungen führen können. Der Film zeigt Maßnahmen für sicheres Arbeiten mit Schüttgut und für die richtige Auswahl von flexiblen Schutzgutcontainern (FIBC, „flexible intermediate bulk container“, „Big Bags“).

Dauer: 6 Minuten

Umfüllen brennbarer Flüssigkeiten

Das Umfüllen brennbarer Flüssigkeiten wird in Produktionsbetrieben in vielerlei Hinsicht durchgeführt. An diversen Beispielen – vom Pipettieren im Labor bis zum Befüllen eines Tankschiffs – werden exemplarisch ausgewählte Maßnahmen des Explosionsschutzes dargestellt.

Dauer: 8 Minuten

Explosionsschutz an Maschinen

Am Beispiel einer Siebmaschine aus der pharmazeutischen Industrie werden verschiedene Konzepte des Explosionsschutzes dargestellt: Überdrucküberwachung, erhöhte Sicherheit und Vergusskapselung. Darüber hinaus erläutert das Video die Kennzeichnung explosionsgeschützter Betriebsmittel.

Dauer: 4 Minuten

Konstruktiver Explosionsschutz

Auf der DVD, die als Gemeinschaftsproduktion zwischen der FireEX Consultant GmbH und der ehemaligen Berufsgenossenschaft der Chemischen Industrie produziert wurde, ist der aktuelle technische Stand des konstruktiven Explosionsschutzes an praktischen Beispielen aufgezeigt.

Im Einzelnen sind das zum Beispiel:

- Explosionsfeste Bauweise (Druckfeste Bauweise, Druckstoßfeste Bauweise)
- Druckentlastung (Berstscheibe, Ex-Klappe, Entlastung)
- Explosionsunterdrückung
- Explosionstechnische Entkopplung (Flammendurchschlagsichere Einrichtungen für Gase/Dämpfe/Nebel, Entkopplungseinrichtungen für Stäube, Löschmittelsperre, Schnellschlussschieber, -klappe, Explosionsschutzventil, Zellenradschleuse, Entlastungsschlot)
- Funkendetektion

Durch Animationen, Prinzipskizzen und schematische Darstellungen werden die Funktionsprinzipien der einzelnen technischen Lösungen anschaulich dargestellt. In einem beigefügten Sonderabschnitt sind Produktinformationen und technische Unterlagen einiger Industrieausrüster zum Thema enthalten.

Dauer: 15 Minuten

Die vollständige DVD „Konstruktiver Explosionsschutz“ kann kostenpflichtig unter folgender Anschrift bezogen werden:

FireEx Consultant GmbH, Rotenwies 2, CH-9056 Gais

www.fireex.ch

Alle Videospots sowie eine Zusammenfassung zur DVD „Konstruktiver Explosionsschutz“ können auf der Homepage der BG RCI unter www.exinfo.de kostenlos heruntergeladen bzw. gestreamt werden.

9.3 Was zeigt der Film „Keine Abstimmung – Große Wirkung“?

Um einen sicheren Anlagenbetrieb zu gewährleisten, bedarf es im organisatorischen Bereich neben der Festlegung von Verantwortlichen, Kompetenzen und Handlungsanweisungen auch der Festlegung der Wege für Koordination und Kommunikation zwischen allen verantwortlichen Stellen.

Im Film wird dieser Problembereich aufgegriffen und – ausgehend von einem realen Ereignis – dargestellt, wie Mängel im Betriebsmanagement zu einem schwerwiegenden Unfall führen können: In einer Chemieanlage wurden bei laufendem Betrieb zahlreiche Modernisierungs- und Erweiterungsprojekte mit Fremdfirmenbeteiligung durchgeführt; unter anderem waren Schweißarbeiten an einem Lagertank für Formalin notwendig. Die Schweißarbeiten wurden wie geplant begonnen, kurz danach explodierte jedoch der Tank. Bei diesem Unfall wurden zwei Beschäftigte der Fremdfirma getötet, mehrere andere Personen zum Teil schwer verletzt.

Dauer: 12 Minuten

Der Film kann auf der Homepage der BG RCI unter www.exinfo.de kostenlos gestreamt werden.

10 Expertinnen und Experten

Folgende Expertinnen und folgende Experten haben mitgeholfen, die vorliegenden Antworten auf die gestellten Fragen zu finden und sind befähigt, weitergehende Fragen zu beantworten:

Dr. Andreas Arnold	Berufsgenossenschaft Nahrungsmittel und Gastgewerbe (BGN) Geschäftsbereich Prävention Dynamostraße 7-11 68165 Mannheim
Dipl.-Ing. Matthias Beck	Covestro Deutschland AG COV-CTO-HSE-PPS Geb. E54, 1. OG Kaiser-Wilhelm-Allee 60 51373 Leverkusen
Dr.-Ing. Carsten Blum	Dr. Blum electrostatics An der Margarethenkapelle 4 44227 Dortmund
Dr. Wolfgang Fath	Früher BASF SE
Dr. Johannes Fischer	BASF SE RGA/BS – L511-004 Carl-Bosch-Straße 38 67056 Ludwigshafen am Rhein
Dr. Martin Glor	Swiss Process Safety Consulting GmbH Schönenbuchstraße 36 CH-4123 Allschwil
Dipl.-Ing. Roland Knopp	Berufsgenossenschaft Holz und Metall (BGHM) Seligmannallee 4 30173 Hannover
Dr. Oswald Losert	Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie (BG RCI) PA Gefahrstoffe und biologische Arbeitsstoffe Kurfürsten-Anlage 62 69115 Heidelberg
Dr. Katerina Matheis	Merck KGaA Frankfurter Str. 250 64293 Darmstadt

Dipl.-Ing. Dieter Möckel	Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) FB 3.7, AG 3.73 Bundesallee 100 38116 Braunschweig
Dr. Lothar Neumeister	Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse (BG ETEM) Oblatterwallstraße 18 86153 Augsburg
Dipl.-Ing. Sebastian Samland	Bayer AG FI-ET-PPS-EXS Geb. B 407 51368 Leverkusen
Dr.-Ing. Carola Schierding	Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) FB 3.7, AG 3.73 Bundesallee 100 38116 Braunschweig
Dr. Klaus Schwenzfeuer	F. Hoffmann-La Roche AG MSUSL Grenzacher Straße 124 CH-4070 Basel
Dr. Claus-Dieter Walther	Früher Bayer Technology Services

11 Weiterführende Literatur

11.1 Welche wichtigen Normen zur Elektrostatik gibt es?

Im Folgenden findet sich eine Auswahl relevanter Normen zur Elektrostatik:

- IEC/TS 60079-32-1: Explosive atmospheres – Part 32-1: Electrostatic hazards, Guidance (August 2013)
- DIN 51412-1: Prüfung von Mineralölerzeugnissen – Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit – Teil 1: Laborverfahren (Juni 2005)

- DIN 51412-2: Prüfung von Mineralölerzeugnissen – Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit – Teil 2: Feldverfahren (Januar 2013)
- DIN 52326: Prüfung von Glas; Bestimmung des spezifischen elektrischen Durchgangswiderstandes (Mai 1986)
- DIN 54345-1: Prüfung von Textilien; Elektrostatisches Verhalten; Bestimmung elektrischer Widerstandsgrößen (Februar 1992)
- DIN 54345-4: Prüfung von Textilien; Elektrostatisches Verhalten; Bestimmung der elektrostatischen Aufladbarkeit textiler Flächengebilde (Juli 1985)
- DIN 54345-5: Prüfung von Textilien; Elektrostatisches Verhalten; Bestimmung des elektrischen Widerstandes an Streifen aus textilen Flächengebilden (Juli 1985)
- DIN EN 1755: Flurförderzeuge – Sicherheitsanforderungen und Verifizierung – Zusätzliche Anforderungen für den Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen (Februar 2016)
- DIN EN 1081: Elastische, Laminat- und modulare mehrschichtige Bodenbeläge – Bestimmung des elektrischen Widerstandes (Januar 2021)
- DIN EN 1149-1: Schutzkleidung – Elektrostatische Eigenschaften – Teil 1: Prüfverfahren für die Messung des Oberflächenwiderstandes (September 2006)
- DIN EN 1149-2: Schutzkleidung – Elektrostatische Eigenschaften – Teil 2: Prüfverfahren für die Messung des elektrischen Widerstandes durch ein Material (Durchgangswiderstand) (November 1997)
- DIN EN 1149-3: Schutzkleidung – Elektrostatische Eigenschaften – Teil 3: Prüfverfahren für die Messung des Ladungsabbaus (Juli 2004)
- DIN EN 1149-5: Schutzkleidung – Elektrostatische Eigenschaften – Teil 5: Leistungsanforderungen an Material und Konstruktionsanforderungen (November 2018)
- DIN EN 1360: Zapfstellenschläuche und -schlauchleitungen aus Gummi und Kunststoff – Anforderungen (September 2013)
- DIN EN 12115: Gummi- und Kunststoffschläuche und -schlauchleitungen für flüssige oder gasförmige Chemikalien – Anforderungen (April 2011)
- DIN EN 12981: Beschichtungsanlagen – Spritzkabinen für organische Pulverlacke – Sicherheitsanforderungen (Juni 2010) (wurde zurückgezogen)
- DIN EN 13463-1: Nicht-electrische Geräte für den Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen – Teil 1: Grundlagen und Anforderungen (Juli 2009) (wurde zurückgezogen)
- DIN EN 13483: Gummi- und Kunststoffschläuche und -schlauchleitungen mit innenliegender Gasrückführung für Zapfsäulen an Tankstellen – Anforderungen (Dezember 2022)
- DIN EN 13821: Explosionsfähige Atmosphären – Explosionsschutz – Bestimmung der Mindestzündenergie von Staub/Luft-Gemischen (März 2003) (wurde zurückgezogen)
- DIN EN 14986: Konstruktion von Ventilatoren für den Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen (April 2017)
- DIN EN 16350: Schutzhandschuhe – Elektrostatische Eigenschaften (Juli 2014)
- DIN EN 50050-1: Elektrostatische Handsprüheinrichtungen – Sicherheitsanforderungen – Teil 1: Handsprüheinrichtungen für entzündbare flüssige Beschichtungsstoffe (VDE 0745-101) (März 2014)
- DIN EN 50050-2: Elektrostatische Handsprüheinrichtungen – Sicherheitsanforderungen – Teil 2: Handsprüheinrichtungen für entzündbares Beschichtungspulver (VDE 0745-102) (März 2014)
- DIN EN 50050-3: Elektrostatische Handsprüheinrichtungen – Sicherheitsanforderungen – Teil 3: Handsprüheinrichtungen für entzündbaren Flock (VDE 0745-103) (März 2014)
- DIN EN 50176: Stationäre Ausrüstung zum elektrostatischen Beschichten mit entzündbaren flüssigen Beschichtungsstoffen – Sicherheitsanforderungen (VDE 0147-101) (April 2010)
- DIN EN 50177: Stationäre Ausrüstung zum elektrostatischen Beschichten mit entzündbaren Beschichtungspulvern – Sicherheitsanforderungen (VDE 0147-102) (April 2010) + A1:2013

- DIN EN 50223: Stationäre elektrostatische Flockanlagen für entzündbaren Flock – Sicherheitsanforderungen (VDE 0147-103) (September 2015)
- DIN EN 50348: Stationäre Ausrüstung zum elektrostatischen Beschichten mit nichtentzündbaren flüssigen Beschichtungsstoffen – Sicherheitsanforderungen (VDE 0147-200) (August 2010) + Cor.:2010
- DIN EN 60079-0: Explosionsgefährdete Bereiche – Teil 0: Betriebsmittel – Allgemeine Anforderungen (VDE 0170-1) (September 2019; Berichtigung April 2021)
- DIN EN 60079-32-2: Explosionsgefährdete Bereiche – Teil 32-2: Elektrostatische Gefährdungen – Prüfverfahren (VDE 0170-32-2) (Dezember 2015)
- DIN EN 60243-1: Elektrische Durchschlagfestigkeit von isolierenden Werkstoffen – Prüfverfahren – Teil 1: Prüfungen bei technischen Frequenzen (VDE 0303-21) (Januar 2014)
- DIN EN 60243-2: Elektrische Durchschlagfestigkeit von isolierenden Werkstoffen – Prüfverfahren – Teil 2: Zusätzliche Anforderungen für Prüfungen mit Gleichspannung (VDE 0303-22) (August 2014)
- 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 (VDE 0170/0171-15-2-2) (April 1996) (wurde zurückgezogen)
- DIN IEC/TR 61340-1: Elektrostatik – Teil 1: Elektrostatische Vorgänge – Grundlagen und Messungen (VDE 0300-1) (August 2021)
- DIN EN 61340-2-1: Elektrostatik – Teil 2-1: Messverfahren – Fähigkeit von Materialien und Erzeugnissen, elektrostatische Ladungen abzuleiten (VDE 0300-2-1) (Juli 2016)
- DIN EN 61340-2-3: Elektrostatik – Teil 2-3: Prüfverfahren zur Bestimmung des Widerstandes und des spezifischen Widerstandes von festen planen Werkstoffen, die zur Vermeidung elektrostatischer Aufladung verwendet werden (VDE 0300-2-3) (Mai 2017)
- DIN EN 61340-4-1: Elektrostatik – Teil 4-1: Standard-Prüfverfahren für spezielle Anwendungen – Elektrischer Widerstand von Bodenbelägen und verlegten Fußböden (VDE 0300-4-1) (April 2016)
- DIN EN 61340-4-3: Elektrostatik – Teil 4-3: Standard-Prüfverfahren für spezielle Anwendungen; Schuhwerk (VDE 0300-4-3) (Oktober 2018)
- DIN EN 61340-4-4: Elektrostatik – Teil 4-4: Normprüfverfahren für spezielle Anwendungen – Einordnung flexibler Schüttgutbehälter (FIBC) in elektrostatischer Hinsicht (VDE 0300-4-4) (Januar 2019)
- DIN EN 61340-4-5: Elektrostatik – Teil 4-5: Standard-Prüfverfahren für spezielle Anwendungen – Verfahren zur Charakterisierung der elektrostatischen Schutzwirkung von Schuhwerk und Boden in Kombination mit einer Person (VDE 0300-4-5) (April 2019)
- DIN EN 62631-3-2: Dielektrische und resistive Eigenschaften fester Isolierstoffe – Teil 3-2: Bestimmung resistiver Eigenschaften (Gleichspannungsverfahren) – Oberflächenwiderstand und spezifischer Oberflächenwiderstand (Oktober 2016)
- DIN EN 80079-20-2: Explosionsfähige Atmosphären – Teil 20-2: Werkstoffeigenschaften – Prüfverfahren für brennbare Stäube (Dezember 2016)
- DIN EN ISO 284: Fördergurte – Elektrische Leitfähigkeit – Spezifikation und Prüfverfahren (April 2013)
- DIN EN ISO 8031: Gummi- und Kunststoffschläuche und Schlauchleitungen – Bestimmung des elektrischen Widerstands und der elektrischen Leitfähigkeit (2020)
- DIN EN ISO 20344: Persönliche Schutzausrüstung – Prüfverfahren für Schuhe (April 2022)
- DIN EN ISO 20345: Persönliche Schutzausrüstung – Sicherheitsschuhe (Juni 2022)
- DIN EN ISO 21179: Leichte Fördergurte – Bestimmung des von einem laufenden, leichten Fördergurt erzeugten elektrostatischen Feldes (September 2013)
- DIN EN ISO/IEC 80079-20-2: Explosionsfähige Atmosphären – Werkstoffeigenschaften – Prüfverfahren für brennbare Stäube (2016)

- DIN IEC 60093: Prüfverfahren für Elektroisolierstoffe; Spezifischer Durchgangswiderstand und spezifischer Oberflächenwiderstand von festen, elektrisch isolierenden Werkstoffen (Dezember 1993) (wurde zurückgezogen)
- DIN IEC 60167: Prüfverfahren für Elektroisolierstoffe; Isolationswiderstand von festen, isolierenden Werkstoffen (Dezember 1993) (wurde zurückgezogen)

11.2 Welche weiterführende Literatur kann empfohlen werden?

Im Folgenden findet sich eine Auswahl empfehlenswerter Literatur zur Elektrostatik:

- Internationale Vereinigung für Soziale Sicherheit (IVSS): Statische Elektrizität – Zündgefahren und Schutzmaßnahmen. ISSA Prevention Series No. 2017 (G)/ ISSA-35. 1995. ISBN: 92-843-7091-4 (in Überarbeitung)
- ICS, OCIMF & IAPH: ISGOTT – International Safety Guide for Oil Tankers and Terminals. 6. Auflage, 2020. Witherby Seamanship International Ltd., Livingston. ISBN: 978-1-85609-9189
- National Fire Protection Association: NFPA 77 – Recommended Practice on Static Electricity. 2019
- Berndt, Hartmut: Elektrostatik – Ursachen, Wirkungen, Schutzmaßnahmen, Messungen, Prüfungen, Normung. 4. Auflage, 2016. VDE-Schriftenreihe – Normen verständlich, Band 71. VDE Verlag GmbH, Berlin. ISBN: 978-3-8007-3619-5
- Britton, Laurence G.: Avoiding Static Ignition Hazards in Chemical Operations. 1999. American Institute of Chemical Engineers (AIChE)/John Wiley & Sons GmbH, New York. ISBN: 978-0-8169-0800-4
- Cross, Jean: Electrostatics – Principles, Problems and Applications. 1987. Adam Hilger Ltd., Bristol. ISBN: 978-0852745892
- Fath, Wolfgang, Blum, Carsten, Glor, Martin und Walther, Claus-Diether: Electrostatic ignition hazards due to pneumatic transport of flammable powders through insulating or dissipative tubes and hoses – New experiments and calculations. Journal of Electrostatics (2013), Vol. 71 (3), S. 377–382
- Glor, Martin: Electrostatic Hazards in Powder Handling. 1988. Research Studies Press Ltd., Letchworth. ISBN: 978-0-86380-071-9
- Glor, Martin: Ignition hazard due to static electricity in particulate processes. Journal of Powder Technology (2003), Vol. 135–136, S. 223–233
- Glor, Martin: Overview of the occurrence and incendivity of cone discharges with case studies from industrial practice. Journal of Loss Prevention in the Process Industries (2001), Vol. 14 (2), S. 123–128
- Glor, Martin und Maurer, Bodo: Bestimmung der Zündfähigkeit von Schüttkegelentladungen. VDI Fortschrittsberichte, Reihe 3, Heft 389. 1995. VDI Verlag GmbH, Düsseldorf. ISBN: 978-3183389032
- Glor, Martin und Pey, Alexis: Modelling of electrostatic ignition hazards in industry examples of improvements of hazard assessment and incident investigation. Journal of Electrostatics (2013), Vol. 71 (3), S. 362–367
- Glor, Martin, Blum, Carsten, Fath, Wolfgang und Walther, Claus-Diether: Electrostatic ignition hazards associated with the pneumatic transfer of flammable powders through insulating or dissipative tubes and hoses. Chemical Engineering Transactions (2013), Vol. 31, S. 691–696
- Jones, Thomas B. und King, Jack L.: Powder Handling and Electrostatics: Understanding and Preventing Hazards. 1991. Lewis Publishers, Michigan. ISBN: 978-0873714884
- Krämer, Helmut: Kriterien zur Beurteilung der Zündgefahren infolge elektrostatisch aufgeladener Flüssigkeiten. Chemie Ingenieur Technik (1983), Vol. 55 (6), S. 419–428

- Lüttgens, u. a.: Statische Elektrizität: Durchschauen – Überwachen – Anwenden. 1. Auflage 2019. Wiley-VCH, Berlin.
ISBN 978-3527-41372-0
- Post, Lothar, Lüttgens, Günter, Maurer, Bodo und Glor, Martin: Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen beim Versprühen von Flüssigkeiten unter hohem Druck. Die BG (1983), Heft 7, S. 370–374
- Post, Lothar, Glor, Martin, Lüttgens, Günter und Maurer, Bodo: The avoidance of ignition hazards due to electrostatic charges occurring during the spraying of liquids under high pressure. Journal of Electrostatics (1989), Vol. 23, S. 99–109
- Pratt, Thomas H.: Electrostatic Ignitions of Fires and Explosions. 1997. American Institute of Chemical Engineers (AIChE)/John Wiley & Sons GmbH, New York.
ISBN: 978-0-8169-9948-4
- Schubert, Wolfgang und Lüttgens, Günter: Praxislexikon – Statische Elektrizität. 1. Auflage, 2022. expert Verlag GmbH, Renningen.
ISBN: 978-3-8169-3506-3
- Steen, Henrikus: Handbuch des Explosionsschutzes. 2000. Wiley-VCH Verlag GmbH, Weinheim.
ISBN: 978-3527298488
- Walmsley, Harold L.: The avoidance of electrostatic hazards in the petroleum industry. Journal of Electrostatics (1992), Vol. 27 (1&2), S. 94–112

Anhang 1: Literaturverzeichnis

Verbindliche Rechtsnormen sind Gesetze, Verordnungen und der Normtext von Unfallverhütungsvorschriften. Abweichungen sind nur mit einer Genehmigung der zuständigen Behörde beziehungsweise des zuständigen Unfallversicherungsträgers (zum Beispiel Berufsgenossenschaft) erlaubt. Voraussetzung für die Erteilung einer Ausnahmegenehmigung ist, dass die Ersatzmaßnahme ein mindestens ebenso hohes Sicherheitsniveau gewährleistet.

Von Technischen Regeln zu Verordnungen, Durchführungsanweisungen von Unfallverhütungsvorschriften (DGUV Vorschriften) und DGUV Regeln kann abgewichen werden, wenn in der Gefährdungsbeurteilung dokumentiert ist, dass die gleiche Sicherheit auf andere Weise erreicht wird.

Keine verbindlichen Rechtsnormen sind DGUV Informationen, Merkblätter, DIN-/VDE-Normen. Sie gelten als wichtige Bewertungsmaßstäbe und Regeln der Technik, von denen abgewichen werden kann, wenn die gleiche Sicherheit auf andere Weise erreicht wird.

Fundstellen im Internet

Die Schriften der BG RCI sowie ein umfangreicher Teil des staatlichen Vorschriften- und Regelwerkes und dem der gesetzlichen Unfallversicherungsträger (rund 1700 Titel) sind im Kompendium Arbeitsschutz der BG RCI verfügbar. Die Nutzung des Kompendiums im Internet ist kostenpflichtig. Ein kostenfreier, zeitlich begrenzter Probezugang wird angeboten.

Weitere Informationen unter www.kompendium-as.de.

Zahlreiche aktuelle Informationen bietet die Homepage der BG RCI unter www.bgrci.de/praevention und fachwissen.bgrci.de.

Detaillinformationen zu Schriften und Medien der BG RCI sowie Bestellung siehe medienshop.bgrci.de.

Zahlreiche Merkblätter, Anhänge und Vordrucke aus Merkblättern und DGUV Regeln sowie ergänzende Arbeitshilfen stehen im Downloadcenter Prävention unter downloadcenter.bgrci.de kostenfrei zur Verfügung.

Unfallverhütungsvorschriften, DGUV Regeln, DGUV Grundsätze und viele DGUV Informationen sind auf der Homepage der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV) unter publikationen.dguv.de zu finden.

1 Veröffentlichungen der Europäischen Union im Amtsblatt der Europäischen Union

Bezugsquelle: Bundesanzeiger-Verlag, Postfach 10 05 34, 50445 Köln;
Freier Download unter eur-lex.europa.eu/de/index.htm

- (1) Richtlinie 94/9/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23.03.1994 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten für Geräte und Schutzsysteme zur bestimmungsgemäßen Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen (für Geräte und Schutzsysteme, die bis zum 19.04.2016 in Verkehr gebracht werden)
- (2) Richtlinie 97/23/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 29.05.1997 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über Druckgeräte (für Druckgeräte, die bis zum 18.07.2016 in Verkehr gebracht werden; mit Ausnahme des Art. 9 der Richtlinie)
- (3) Richtlinie 1999/92/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16.12.1999 über Mindestvorschriften zur Verbesserung des Gesundheitsschutzes und der Sicherheit der Arbeitnehmer, die durch explosionsfähige Atmosphären gefährdet werden können (Fünfzehnte Einzelrichtlinie im Sinne von Artikel 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG)
- (4) Richtlinie 2006/42/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17.05.2006 über Maschinen und zur Änderung der Richtlinie 95/16/EG (Neufassung) (für Maschinen, die ab dem 29.12.2009 in Verkehr gebracht wurden)
- (5) Richtlinie 2010/35/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16.06.2010 über ortsbewegliche Druckgeräte und zur Aufhebung der Richtlinien des Rates 76/767/EWG, 84/525/EWG, 84/526/EWG, 84/527/EWG und 1999/36/EG
- (6) Richtlinie 2014/34/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 26.02.2014 zur Harmonisierung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten für Geräte und Schutzsysteme zur bestimmungsgemäßen Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen (Neufassung) (für Geräte und Schutzsysteme, die ab dem 20.04.2016 in Verkehr gebracht werden)
- (7) Richtlinie 2014/68/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 15.05.2014 zur Harmonisierung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die Bereitstellung von Druckgeräten auf dem Markt (Neufassung) (für Druckgeräte, die ab dem 19.07.2016 in Verkehr gebracht werden; Art. 13 der Richtlinie betreffend die Einstufung der Fluide ist bereits seit dem 01.06.2015 anzuwenden)

2 Gesetze, Verordnungen, Technische Regeln

Bezugsquellen: Buchhandel
Freier Download im Internet unter www.gesetze-im-internet.de (Gesetze und Verordnungen) beziehungsweise www.baua.de (Technische Regeln)

- (8) Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Verwendung von Arbeitsmitteln (Betriebssicherheitsverordnung – BetrSichV) mit Technischen Regeln für Betriebssicherheit (TRBS), insbesondere
- (9) TRBS 1112-1: Explosionsgefährdungen bei und durch Instandhaltungsarbeiten – Beurteilungen und Schutzmaßnahmen

- (10) TRBS 1201: Prüfungen und Kontrollen von Arbeitsmitteln und überwachungsbedürftigen Anlagen
- (11) TRBS 1201 Teil 1: Prüfung von Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen
- (12) TRBS 3151 (TRGS 751): Vermeidung von Brand-, Explosions- und Druckgefährdungen an Tankstellen und Gasfüllanlagen zur Befüllung von Landfahrzeugen
- (13) Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen (Gefahrstoffverordnung – GefStoffV) mit Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS), insbesondere
- (14) TRGS 720: Gefährliche explosionsfähige Gemische – Allgemeines
- (15) TRGS 721: Gefährliche explosionsfähige Gemische – Beurteilung der Explosionsgefährdung
- (16) TRGS 722: Vermeidung oder Einschränkung gefährlicher explosionsfähiger Gemische
- (17) TRGS 723: Gefährliche explosionsfähige Gemische – Vermeidung der Entzündung gefährlicher explosionsfähiger Gemische
- (18) TRGS 724: Gefährliche explosionsfähige Gemische – Maßnahmen des konstruktiven Explosionsschutzes, welche die Auswirkungen einer Explosion auf ein unbedenkliches Maß beschränken
- (19) TRGS 727: Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen (wortgleich mit Merkblatt T 033) (DGUV Information 213-060)

3 Unfallverhütungsvorschriften (DGUV Vorschriften), DGUV Regeln, DGUV Informationen, DGUV Grundsätze, Merkblätter und sonstige Schriften der Unfallversicherungsträger

Bezugsquelle: Carl Heymanns Verlag, Luxemburger Straße 449, 50939 Köln, www.arbeitssicherheit.de
Freier Download der Inhalte unter www.exinfo.de

- (20) DGUV Regel 113-001: Explosionsschutz-Regeln (EX-RL) – Sammlung technischer Regeln für das Vermeiden der Gefahren durch explosionsfähige Atmosphäre mit Beispielsammlung zur Einteilung explosionsgefährdeter Bereiche in Zonen

Bezugsquellen: Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie, Postfach 10 14 80, 69004 Heidelberg, medienshop.bgrci.de oder Jedermann-Verlag GmbH, Postfach 10 31 40, 69021 Heidelberg, www.jedermann.de, verkauf@jedermann.de
Mitgliedsbetriebe der BG RCI können die folgenden Schriften (bis zur nächsten Bezugsquellenangabe) in einer der Betriebsgröße angemessenen Anzahl kostenlos beziehen.

- (21) DGUV Vorschrift 1: Grundsätze der Prävention
- (22) Merkblatt A 001: Schriften und Medien für Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Arbeit
- (23) Merkblatt M 017: Lösemittel (DGUV Information 213-072)

- (24) Merkblatt M 063 Lagerung von Gefahrstoffen – Antworten auf häufig gestellte Fragen (DGUV Information 213-085)
- (25) Merkblatt R 003: Sicherheitstechnische Kenngrößen – Ermitteln und bewerten (DGUV Information 213-065)
- (26) Merkblatt R 005: Übertragung chemischer Synthesen vom Labor bis in den Betrieb (DGUV Information 213-068)
- (27) Merkblatt T 002: Schlauchleitungen – Sicherer Einsatz (DGUV Information 213-053)
- (28) Merkblatt T 033: Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen (wortgleich mit TRGS 727) (DGUV Information 213-060)
- (29) Merkblatt T 049: Explosionsschutz – Antworten auf häufig gestellte Fragen
- (30) Merkblatt T 050: Explosionsschutz an Maschinen – Antworten auf häufig gestellte Fragen
- (31) Merkblatt T 053: Entzündbare Flüssigkeiten – Antworten auf häufig gestellte Fragen
- (32) Merkblatt T 054: Brennbare Stäube – Antworten auf häufig gestellte Fragen
- (33) Merkblatt T 055: Gaswarneinrichtungen und -geräte für den Explosionsschutz – Antworten auf häufig gestellte Fragen
- (34) FBFHB-004 „Brandgefährdung durch Selbstentzündung brennbarer Materialien“ (publikationen.dguv.de/DguvWebcode/index/query/p021362)

4 Normen

Bezugsquelle: DIN Media GmbH, Burggrafenstraße 6, 10787 Berlin;
dinmedia.de

Ausführliche Auflistung relevanter Normen siehe Frage 11.1 dieser Schrift

- (35) DIN EN ISO 8031:2020-11: Gummi- und Kunststoffschläuche und Schlauchleitungen – Bestimmung des elektrischen Widerstands und der elektrischen Leitfähigkeit
- (36) DIN EN 1081:2021-01: Elastische, Laminat- und modulare mehrschichtige Bodenbeläge – Bestimmung des elektrischen Widerstandes
- (37) DIN EN 1149-1: Schutzkleidung – Elektrostatische Eigenschaften – Teil 1: Prüfverfahren für die Messung des Oberflächenwiderstandes (September 2006)
- (38) DIN EN 1149-2: Schutzkleidung – Elektrostatische Eigenschaften – Teil 2: Prüfverfahren für die Messung des elektrischen Widerstandes durch ein Material (Durchgangswiderstand) (November 1997)
- (39) DIN EN 1149-3: Schutzkleidung – Elektrostatische Eigenschaften – Teil 3: Prüfverfahren für die Messung des Ladungsabbaus (Juli 2004)

- (40) DIN EN 1149-5: Schutzkleidung – Elektrostatische Eigenschaften – Teil 5: Leistungsanforderungen an Material und Konstruktionsanforderungen (November 2018)
- (41) DIN EN 12115: Gummi- und Kunststoffschläuche und -schlauchleitungen für flüssige oder gasförmige Chemikalien – Anforderungen (April 2021)
- (42) DIN EN 14986: Konstruktion von Ventilatoren für den Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen (April 2017)
- (43) DIN EN 16350: Schutzhandschuhe – Elektrostatische Eigenschaften (Juli 2014)
- (44) DIN EN 60079-32-2: Explosionsgefährdete Bereiche – Teil 32-2: Elektrostatische Gefährdungen – Prüfverfahren (VDE 0170-32-2) (Dezember 2015)
- (45) DIN EN 61340-4-4: Elektrostatik – Teil 4-4: Normprüfverfahren für spezielle Anwendungen – Einordnung flexibler Schüttgutbehälter (FIBC) in elektrostatischer Hinsicht (VDE 0300-4-4) (Januar 2019)
- (46) DIN EN 61340-4-5: Elektrostatik – Teil 4-5: Standard-Prüfverfahren für spezielle Anwendungen – Verfahren zur Charakterisierung der elektrostatischen Schutzwirkung von Schuhwerk und Boden in Kombination mit einer Person (VDE 0300-4-5) (April 2019)
- (47) IEC TS 60079-32-1: Explosive atmospheres – Part 32-1: Electrostatic hazards, guidance (2013)

5 Andere Schriften und Medien

Bezugsquellen: IVSS-Sektion Chemie, c/o Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie, Kurfürsten-Anlage 62, 69115 Heidelberg, www.issa.int/prevention-chemistry und Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie, Postfach 10 14 80, 69004 Heidelberg, medienshop.bgrci.de

- (48) ISSA-35: Statische Elektrizität – Zündgefahren und Schutzmaßnahmen. 1995. ISBN: 92-843-7091-4 (in Überarbeitung)

Bezugsquelle: ASTM International (ehemals American Society for Testing and Materials), 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA, 19428-2959 USA, www.astm.org

- (49) Active Standard ASTM D 257 – 14: Standard Test Methods for DC Resistance or Conductance of Insulating Materials

Bezugsquelle: National Fire Protection Association, 1 Batterymarch Park, Quincy, MA, 02169-7471 USA www.nfpa.org

- (50) National Fire Protection Association: NFPA 77 – Recommended Practice on Static Electricity. 2019

Bezugsquelle: Buchhandel

- (51) Berndt, Hartmut: Elektrostatik – Ursachen, Wirkungen, Schutzmaßnahmen, Messungen, Prüfungen, Normung. 4. Auflage, 2016. VDE-Schriftenreihe – Normen verständlich, Band 71. VDE Verlag GmbH, Berlin.
ISBN: 978-3-8007-3619-5

- (52) Britton, Laurence G.: Avoiding Static Ignition Hazards in Chemical Operations. 1999. American Institute of Chemical Engineers (AIChE)/John Wiley & Sons GmbH, New York.
ISBN: 978-0-8169-0800-4
- (53) Cross, Jean: Electrostatics – Principles, Problems and Applications. 1987. Adam Hilger Ltd., Bristol.
ISBN: 978-0852745892
- (54) Fath, Wolfgang, Blum, Carsten, Glor, Martin und Walther, Claus-Diether: Electrostatic ignition hazards due to pneumatic transport of flammable powders through insulating or dissipative tubes and hoses – New experiments and calculations. Journal of Electrostatics (2013), Volume 71, Issue 3, S. 377–382
- (55) Glor, Martin: Electrostatic Hazards in Powder Handling. 1988. Research Studies Press Ltd., Letchworth.
ISBN: 978-0-86380-071-9
- (56) Glor, Martin: Ignition hazard due to static electricity in particulate processes. Journal of Powder Technology (2003),
Volume 135–136, S. 223–233
- (57) Glor, Martin: Overview of the occurrence and incendivity of cone discharges with case studies from industrial practice. Journal of Loss Prevention in the Process Industries (2001), Volume 14, Issue 2, S. 123–128
- (58) Glor, Martin und Maurer, Bodo: Bestimmung der Zündfähigkeit von Schüttkegelentladungen. Ausgabe 389 von Fortschrittsberichte VDI/Reihe 3: Verfahrenstechnik. 1995. VDI Verlag GmbH, Düsseldorf.
ISBN: 978-3183389032
- (59) Glor, Martin und Pey, Alexis: Modelling of electrostatic ignition hazards in industry examples of improvements of hazard assessment and incident investigation. Journal of Electrostatics (2013), Volume 71, Issue 3, S. 362–367
- (60) Glor, Martin, Blum, Carsten, Fath, Wolfgang und Walther, Claus-Diether: Electrostatic ignition hazards associated with the pneumatic transfer of flammable powders through insulating or dissipative tubes and hoses. Chemical Engineering Transactions (2013),
Volume 31, S. 691–696
- (61) ICS, OCIMF & IAPH: ISGOTT – International Safety Guide for Oil Tankers and Terminals. 5. Auflage 2006. Witherby Seamanship International Ltd., Livingston.
ISBN: 978-1-85609-291-3
- (62) Jones, Thomas B. und King, Jack L.: Powder Handling and Electrostatics: Understanding and Preventing Hazards. 1991. Lewis Publishers, Michigan.
ISBN: 978-0873714884
- (63) Krämer, Helmut: Kriterien zur Beurteilung der Zündgefahren infolge elektrostatisch aufgeladener Flüssigkeiten. Chemie Ingenieur Technik (1983), Volume 55, Issue 6, S. 419–428
- (64) Lüttgens, Günter et al.: Statische Elektrizität – Durchschauen – Überwachen – anwenden. 1. Auflage, 2019. Wiley-VCH, Berlin. ISBN: 978-3527-41372-0

- (65) Post, Lothar, Lüttgens, Günter, Maurer, Bodo und Glor, Martin: Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen beim Versprühen von Flüssigkeiten unter hohem Druck. Die BG (1983), Heft Nr. 7, S. 370–374
- (66) Post, Lothar, Glor, Martin, Lüttgens, Günter und Maurer, Bodo: The avoidance of ignition hazards due to electrostatic charges occurring during the spraying of liquids under high pressure. Journal of Electrostatics (1989), Volume 23, S. 99–109
- (67) Pratt, Thomas H.: Electrostatic Ignitions of Fires and Explosions. 1997. American Institute of Chemical Engineers (AIChE)/John Wiley & Sons GmbH, New York.
ISBN: 978-0-8169-9948-4
- (68) Schubert, Wolfgang und Lüttgens, Günter: Praxislexikon – Statische Elektrizität. 1. Auflage, 2022. expert Verlag GmbH, Renningen.
ISBN: 978-3-8169-3506-3
- (69) Steen, Henrikus: Handbuch des Explosionsschutzes. 2012. Wiley-VCH Verlag GmbH, Weinheim.
ISBN: 978-3527298488
- (70) Walmsley, Harold L.: The avoidance of electrostatic hazards in the petroleum industry. Journal of Electrostatics (1992), Volume 27, Nr. 1–2, S. 94–11
- (71) Abschlussbericht „Elektrostatische Aufladung beim Versprühen von Wasser – Untersuchung praxisrelevanter Prozesse bei der Reinigung kleiner und mittelgroßer Behälter“ Baumann, F., M. Himstedt, D. Möckel, M. Thedens und M. Beyer, 2022. Elektrostatische Aufladung beim Versprühen von Wasser – Untersuchung praxisrelevanter Prozesse bei der Reinigung kleiner und mittelgroßer Behälter. Braunschweig: PTB Open Access Repository. PTB-Bericht M-1.
ISBN 978-3-944659-20-6. Verfügbar unter: doi.org/10.7795/110.20220629

6 Medien

Bezugsquellen: Jedermann-Verlag GmbH, Postfach 10 31 40, 69021 Heidelberg, www.jedermann.de und Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie, Postfach 10 14 80, 69004 Heidelberg, medienshop.bgrci.de

- (72) Kompendium Arbeitsschutz als Online-Datenbank (kostenpflichtig): Vorschriften und Regelwerk, Symbolbibliothek, Programme zur Durchführung und Dokumentation der Gefährdungsbeurteilung (GefDok Pro-Demoversion, GefDok KMU und GefDok light). Information und kostenloser, zeitlich begrenzter Testzugang unter www.kompendium-as.de.
- (73) DVD 335: Keine Abstimmung – Große Wirkung

Bildnachweis

Die im Merkblatt verwendeten Bilder dienen nur der Veranschaulichung. Eine Produktempfehlung seitens der BG RCI wird damit ausdrücklich nicht beabsichtigt.

Die Abbildungen wurden freundlicherweise zur Verfügung gestellt von:

Titelbild:

Martin Glor
Swiss Process Safety Consulting GmbH
Schönenbuchstraße 36
CH-4123 Allschwil

Die Abbildungen 1 bis 5 wurden vom Arbeitskreis „Elektrostatik“ erstellt.

Ausgabe 8/2024

Diese Schrift können Sie über den Medienshop
unter medienshop.bgrci.de beziehen.

Haben Sie zu dieser Schrift Fragen, Anregungen, Kritik?
Dann nehmen Sie bitte mit uns Kontakt auf.

- Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie,
Prävention, Grundsatzfragen und Information, Medien
Postfach 10 14 80, 69004 Heidelberg
- E-Mail: medien@bgrci.de
- Kontaktformular: www.bgrci.de/kontakt-schriften

Impressum

Herausgegeben von:

Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie
Postfach 10 14 80
69004 Heidelberg
Kurfürsten-Anlage 62
69115 Heidelberg
E-Mail: praeventionsprodukte@bgrci.de
Internet: www.bgrci.de

Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV)
Glinkastraße 40
10117 Berlin
E-Mail: info@dguv.de
Internet: www.dguv.de

Sachgebiet „Explosionsschutz“
Fachbereich „Rohstoffe und chemische Industrie“ der DGUV e. V.

Vervielfältigung, auch auszugsweise, nur mit ausdrücklicher Genehmigung der Berufsgenossenschaft Rohstoffe
und chemische Industrie