



issa

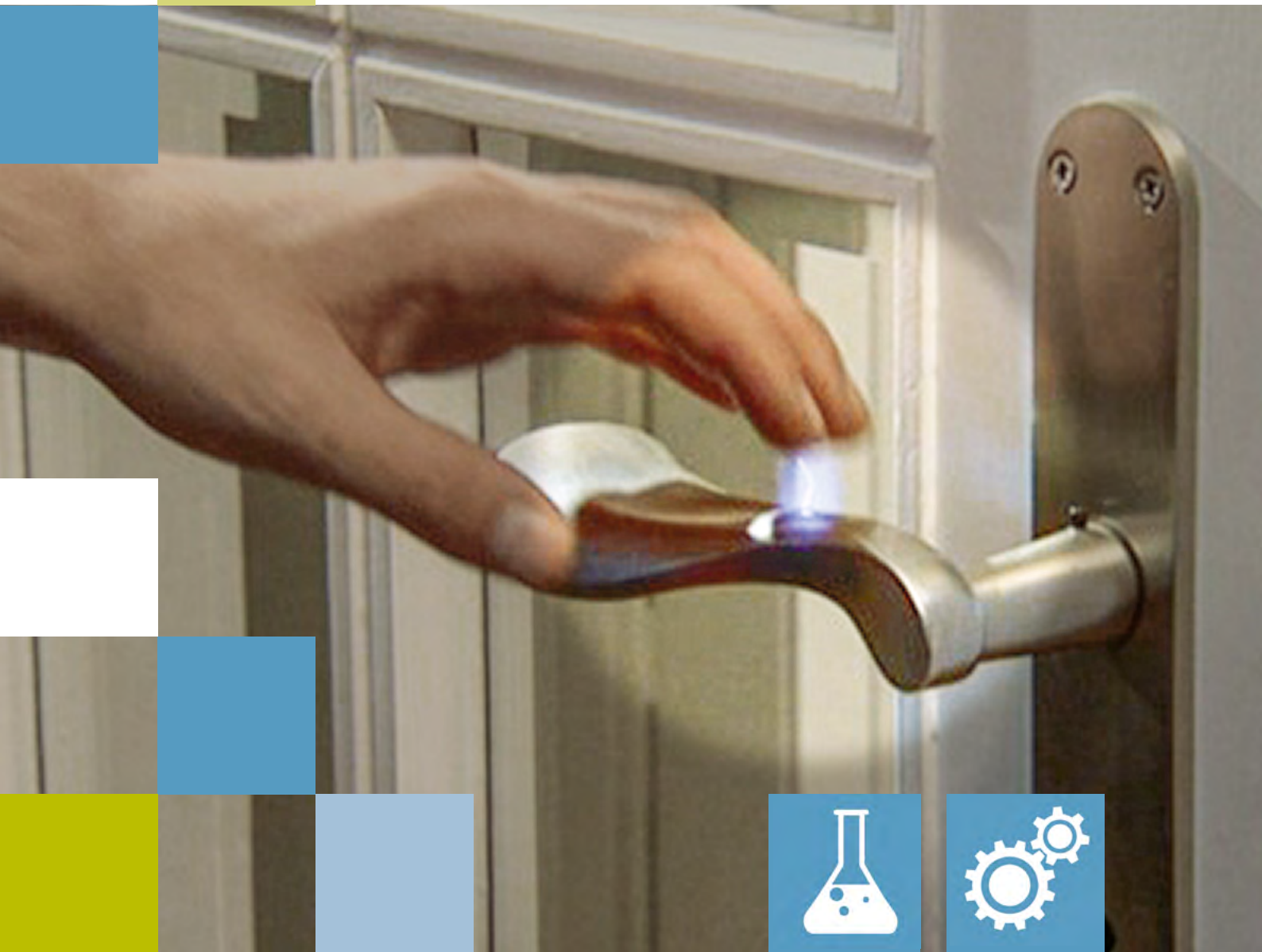
INTERNATIONALE VEREINIGUNG FÜR SOZIALE SICHERHEIT | IVSS

*Sektion für Prävention in der chemischen Industrie  
Sektion für Maschinen- und Systemsicherheit*

Zündgefahren und Schutzmaßnahmen

# Statische Elektrizität

10/2024



## Herausgeber:



### IVSS Sektion Chemie

Kurfürsten-Anlage 62  
69115 Heidelberg  
Deutschland  
Telefon: +49 (0) 6221 5108-11002  
<https://ww1.issa.int/de/prevention-chemistry>  
E-Mail: [issa.chemistry@bgrci.de](mailto:issa.chemistry@bgrci.de)



### IVSS Sektion Maschinen- und Systemsicherheit

Dynamostraße 7–11  
68165 Mannheim  
Deutschland  
Telefon: +49 (0) 621 4456-2213  
<https://www.safe-machines-at-work.org/>  
E-Mail: [info@ivss.org](mailto:info@ivss.org)

## Impressum

2. Ausgabe 10/2024  
ISBN 978-92-843-5137-4

Copyright © IVSS 2024  
Vervielfältigung, auch auszugsweise,  
nur mit ausdrücklicher Genehmigung

## Download der Broschüren:

<https://ww1.issa.int/de/prevention-chemistry/publications>  
<https://www.safe-machines-at-work.org/explosion-protection/>



Zündgefahren und Schutzmaßnahmen

# Statische Elektrizität





# Vorwort

Diese Broschüre wendet sich an Ingenieure, Betriebsleiter, Sicherheitsfachkräfte und andere betriebliche Akteure und will ihnen die Möglichkeit geben, ohne spezielle Kenntnisse auf dem Gebiet der statischen Elektrizität zu beurteilen, ob Zündgefahren durch statische Elektrizität im eigenen Betrieb oder beim Bau, bei der Ausrüstung und Aufstellung sowie dem Betrieb von Anlagen auftreten können.

Dabei konzentriert sich die vorliegende Schrift darauf, grundlegende Informationen zu elektrostatischen Vorgängen zu liefern und auf mögliche Schutzmaßnahmen hinzuweisen. Probleme sollen aufgezeigt und Lösungen zur Erfüllung der Schutzziele formuliert werden. Es sind aber nicht alle im Einzelfall erforderlichen Maßnahmen aufgeführt, da diese nicht pauschal angegeben werden können, sondern auf dem Hintergrund der konkreten betrieblichen Situation und der aktuellen nationalen Rechtsvorgaben festzulegen sind.

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



**Thomas Köhler**  
Präsident der Sektion Chemie



**Jürgen Schulin**  
Präsident der Sektion Maschinen- und Systemsicherheit

# Symbollegende



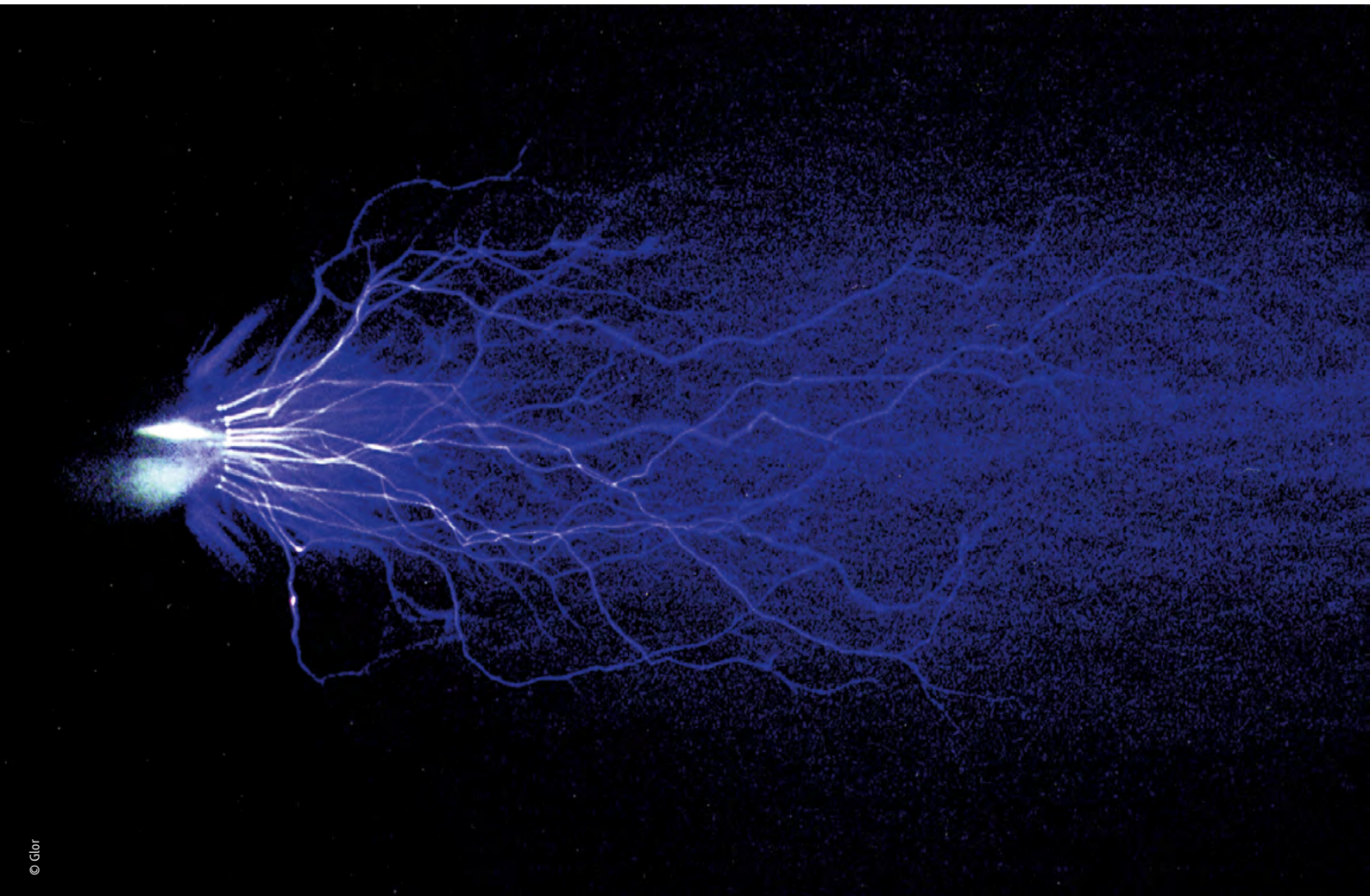
6

	<b>Bedeutung</b>	<b>Beispiel</b>
	Wandung, isolierend	<i>Rohr aus isolierendem Kunststoff</i>
	Wandung, leitfähig oder ableitfähig	<i>Stahlrohr</i>
	Gasphase/Dampf, in der Regel Luft, Konturlinie	<i>Gasraum im Transportbehälter</i>
	Gasphase: Inertgas	<i>mit Stickstoff inertisierter Gasraum eines Behälters</i>
	Flüssigkeit, leitfähig	<i>Wasser, Alkohol</i>
	Flüssigkeit, isolierend	<i>Benzin</i>
	Ladungen	<i>aufgeladene Folie</i>
	Tröpfchen	<i>Sprühnebel</i>
	feste Partikel, im Schüttgut, leitfähig	<i>Schüttgutstrom, -haufwerk, z. B. Graphit</i>
	feste Partikel, im Schüttgut, isolierend	<i>Schüttgutstrom, -haufwerk, z. B. Kunststoffgranulat</i>
	Apparat/Gegenstand, leitfähig (Füllung bei Vollmaterial)	<i>Metallfass</i>
	Apparat/Gegenstand, isolierend (Füllung bei Vollmaterial)	<i>Kunststoffdichtung</i>
	Apparat/Gegenstand, leitfähig, gefüllt mit leitfähiger Flüssigkeit	<i>Tank für Abwasser</i>
	Entladung statischer Elektrizität	<i>Funkenentladung</i>
	Entladung statischer Elektrizität	<i>Büschelentladung</i>
	Entladung statischer Elektrizität	<i>Coronaentladung</i>
	Entladung statischer Elektrizität	<i>Gleitstielbüschelentladung</i>
	Erdungsleitung mit Anschlusspunkt für Erdung, an einem Gegenstand oder einer Einrichtung	
	Erdungspunkt der Anlage/baulichen Einrichtung	<i>Potenzialausgleichsschiene</i>
	Ableitfähiger Fußboden	<i>Fußboden mit Erdableitwiderstand von nicht mehr als <math>10^8 \Omega</math></i>



# Inhalt

<b>Vorwort</b>	5
<b>1.</b> Explosionsgefahr und elektrostatische Aufladung – Übersicht	9
<b>2.</b> Entstehen elektrostatischer Aufladungen (Ladungstrennung)	18
<b>3.</b> Ladungsanhäufung und Ladungsableitung	23
<b>4.</b> Entladungsarten und Zündwirksamkeit	32
<b>5.</b> Maßnahmen gegen Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen	60
<b>6.</b> Umgang mit brennbaren Flüssigkeiten und Gasen	70
<b>7.</b> Umgang mit Suspensionen und Emulsionen brennbarer Flüssigkeiten	79
<b>8.</b> Umgang mit brennbaren Schüttgütern	81
<b>9.</b> Umgang mit Schüttgütern, die brennbare Lösemittel enthalten	87
<b>10.</b> Stichwortverzeichnis	89
<b>11.</b> Literatur	92
<b>12.</b> Impressum	92
<b>13.</b> Schriftenreihe der IVSS	93
<b>14.</b> Die IVSS	94





# 1 Explosionsgefahr und elektrostatische Aufladung – Übersicht

## Wann besteht Explosionsgefahr?

Explosionsgefahr kann bestehen, wenn im Betrieb brennbare Gase, Flüssigkeiten oder Feststoffe hergestellt, gelagert oder verarbeitet werden und dabei Gase, Dämpfe, Nebel oder Stäube im Gemisch mit Luft oder einem anderen Oxidationsmittel auf-

treten und beim Entzünden Schaden zu erwarten ist (siehe IVSS-Broschüren „Gasexplosionen“ und „Staubexplosionen“)<sup>1</sup>. In diesem Fall spricht man von gefährlichen explosionsfähigen Gemischen.

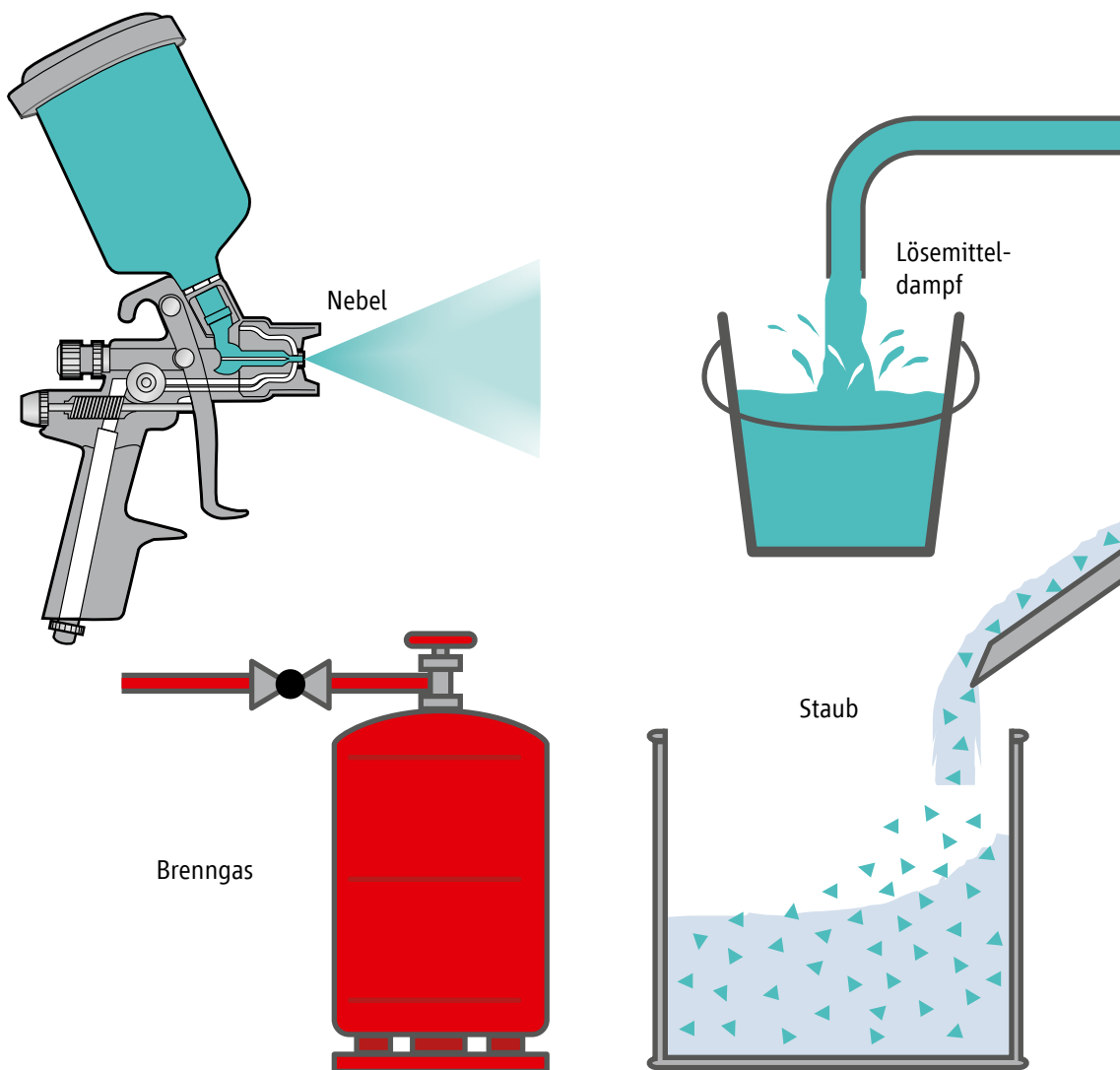


Abb. 1: Freisetzung von brennbaren Gasen, Dämpfen, Nebeln und Stäuben (Beispiele)

1 Vgl. IVSS-Broschüren „Gasexplosionen – Schutz vor Explosionen durch brennbare Gase, Dämpfe oder Nebel im Gemisch mit Luft“ (ISSA-34) und „Staubexplosionen – Schutz vor Explosionen durch brennbare Stäube“ (ISSA-32)

## Wann kommt es zu einer Explosion?

Zu einer Explosion kommt es (Abb. 2), wenn gleichzeitig und am selben Ort

- ein explosionsfähiges Gemisch, d. h.
  - brennbarer Stoff (Gas, Dampf, Nebel oder Staub) in hinreichender Menge und Verteilung innerhalb der Explosionsgrenzen sowie
  - für die Verbrennung ausreichend Oxidationsmittel (in der Regel der Sauerstoff der Luft)
- und
- eine wirksame Zündquelle vorliegen.

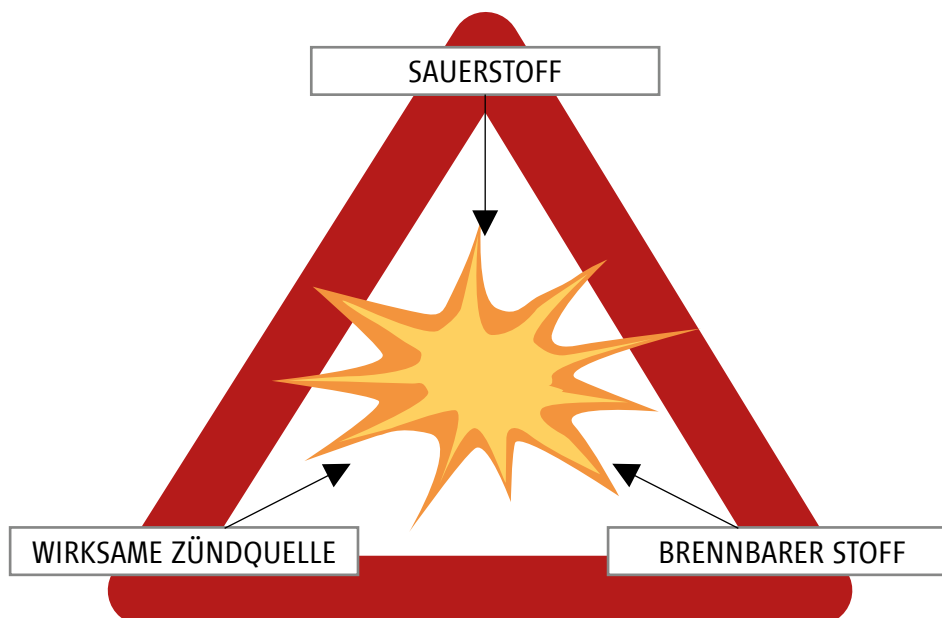


Abb. 2: Voraussetzungen für das Zustandekommen einer Explosion

## Was sind wirksame Zündquellen?

Es gibt in der Praxis eine Vielzahl von verschiedenen Zündquellen (z. B. heiße Oberflächen, Feuer, Flammen, Glut, mechanisch oder elektrisch erzeugte Funken und Entladungen statischer Elektrizität), welche sich u. a. aufgrund ihrer Energie voneinander unterscheiden. Auch sind die explosionsfähigen Gemische unterschiedlich zündempfindlich.

Nicht jede Zündquelle ist energiereich genug, um alle Arten explosionsfähiger Gemische zu entzünden, d. h. nicht jede Zündquelle ist in einer gegebenen Situation zündwirksam.

In der Regel ist es notwendig, die Zündquellen näher zu untersuchen, um die Zündgefahr in Verbindung mit den zu erwartenden explosionsfähigen Gemischen zu beurteilen.

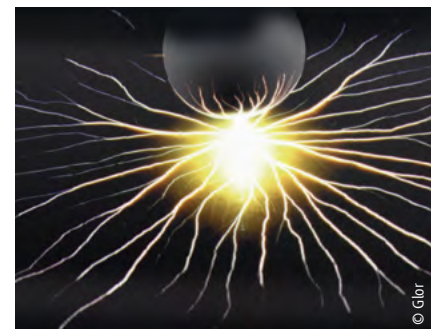
Im Folgenden werden unter diesen Gesichtspunkten ausführlich die Entladungen infolge elektrostatischer Aufladungen behandelt.



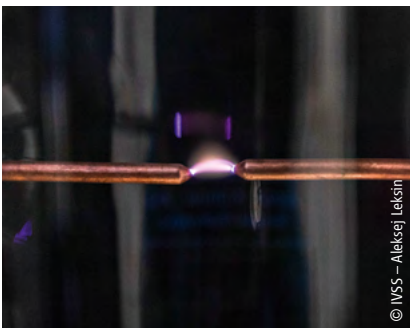
Feuer, Flammen, Glut



Heiße Oberfläche



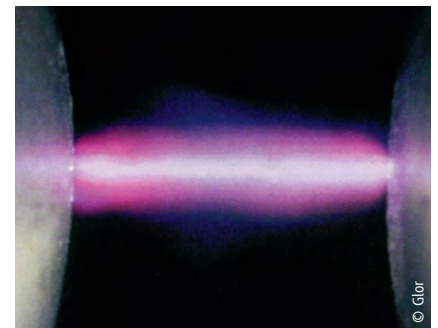
Elektrostatische Entladung (Gleitstielbüschel)



Elektrischer Funke



Mechanisch erzeugte Funken



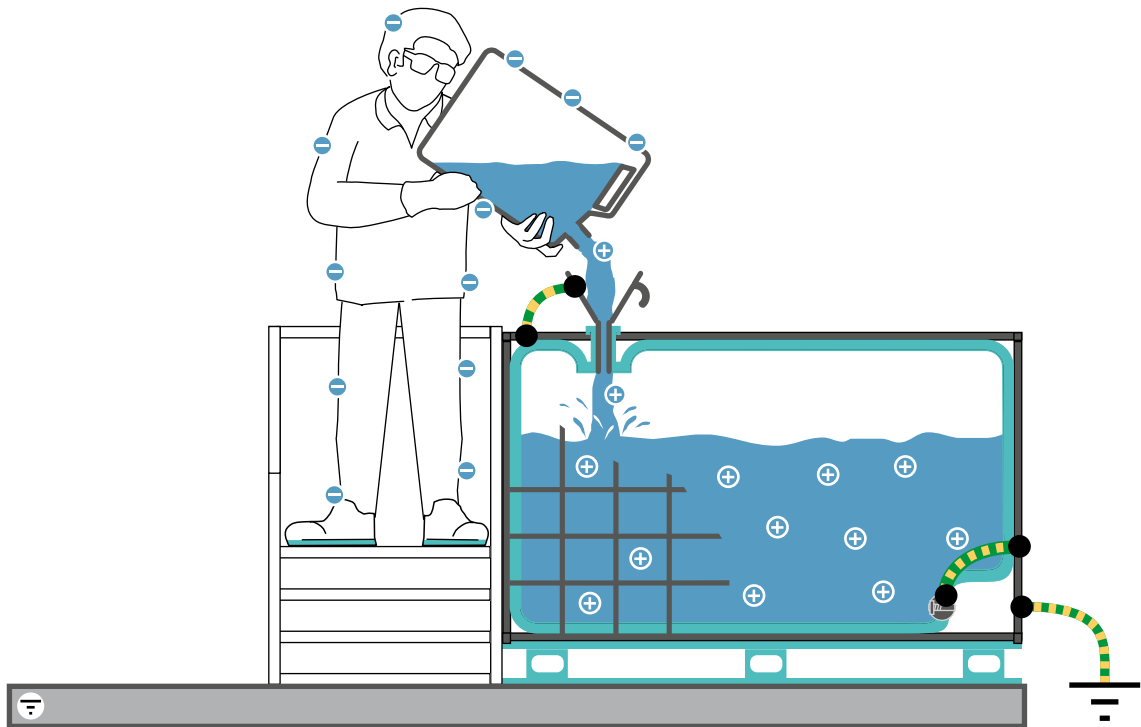
Elektrostatischer Funke (vergrößert)

Abb. 3: Mögliche Zündquellen (Beispiele)

## Wann wird eine elektrostatische Aufladung zur Zündgefahr?

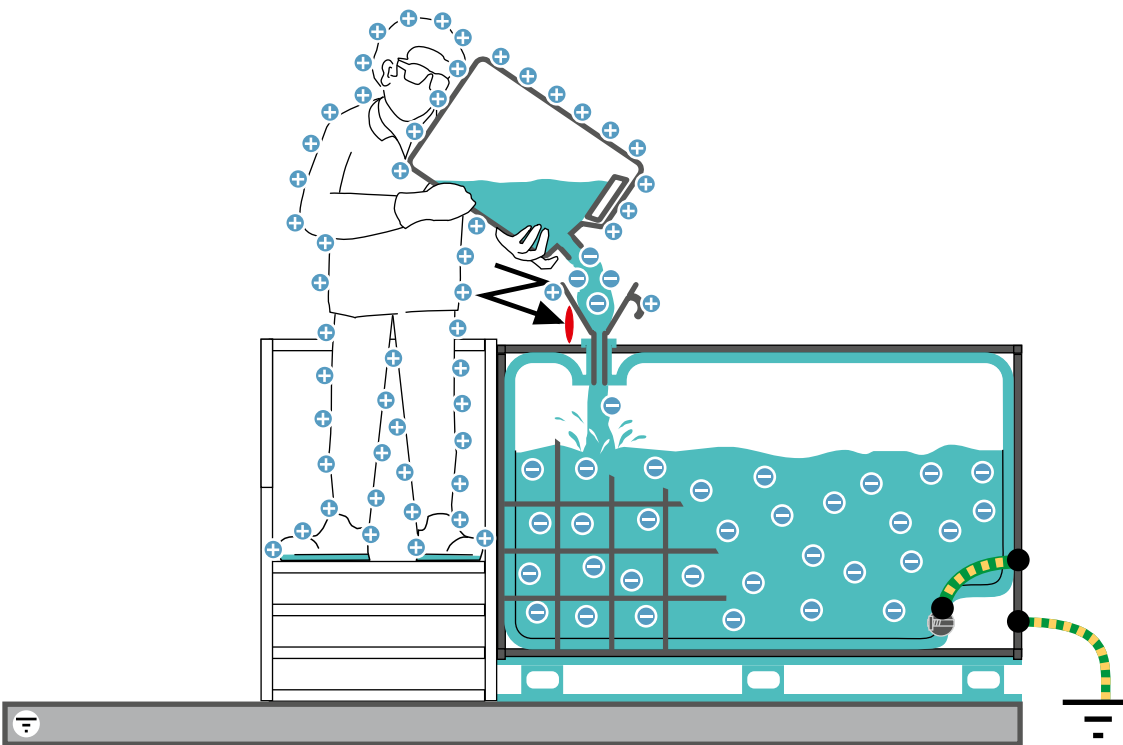
Eine elektrostatische Aufladung allein stellt nicht notwendigerweise eine Zündgefahr dar. Erst wenn die Aufladung so hoch wird, dass infolge des hohen

elektrischen Feldes Entladungen auftreten, kann Zündgefahr bestehen.



**Abb. 4.1: Ladungsanhäufung mit geringer Aufladung (keine Zündgefahr)**

*Eine geringe Aufladung, die in der Regel nicht zu einer Zündgefahr führt, erfolgt bei der manuellen Handhabung leitfähiger Flüssigkeiten und ausreichenden Erdungsmaßnahmen (z. B. Trichter). Die akkumulierten Ladungsmengen reichen für eine zündwirksame Entladung nicht aus.*



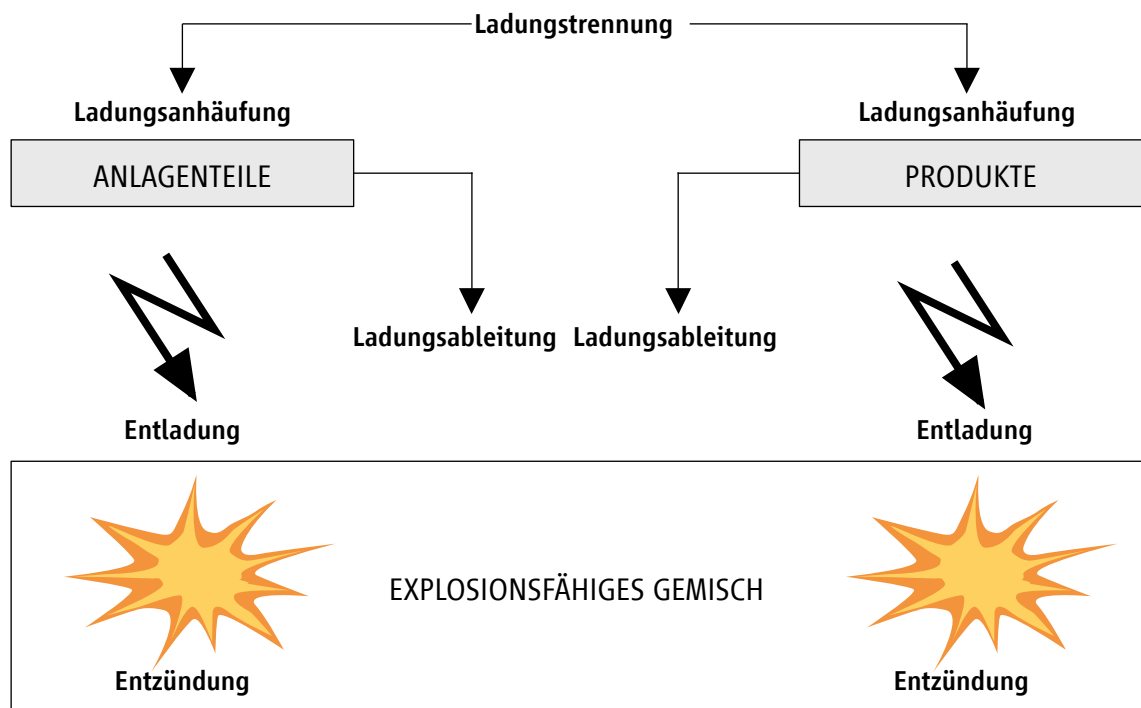
#### Abb. 4.2: Ladungsanhäufung mit hoher Aufladung (Zündgefahr)

*Eine hohe Aufladung, die zu einer Zündgefahr führen kann, erfolgt bei der Handhabung isolierender Flüssigkeiten und/oder bei nicht ausreichenden Erdungsmaßnahmen (Person, Trichter). Dargestellt ist eine Funkenentladung zwischen dem isolierten, leitfähigen Trichter und dem geerdeten, leitfähigen IBC. Die Funkenentladung kann jedoch auch zwischen dem Trichter und dem Kanister oder der Person auftreten.*

## Wann kommt es zu einer Entladung statischer Elektrizität?

Die einzelnen Schritte, die zum Auftreten einer Entladung führen, sind grundsätzlich immer dieselben:

- **Ladungstrennung:** Durch Trennprozesse (meistens zwischen Produkt und Anlagenteilen) werden die vorher in Kontakt stehenden Oberflächen aufgeladen.
- **Ladungsanhäufung:** Auf Produkten, Anlagenteilen, Packmitteln, Personen usw. können Ladungen angesammelt werden.
- **Ladungsableitung:** Sofern an den Orten der Ladungsanhäufung eine Erdverbindung mit hinreichender Leitfähigkeit vorhanden ist, kann die Ladung gefahrlos auf Erde abfließen.
- **Entladung:** Wird die Ladungsanhäufung immer größer, weil die bei Trennprozessen entstehenden Ladungen nicht oder nicht genügend schnell auf Erde abfließen können, tritt beim Erreichen der Durchbruchfeldstärke eine Entladung auf.

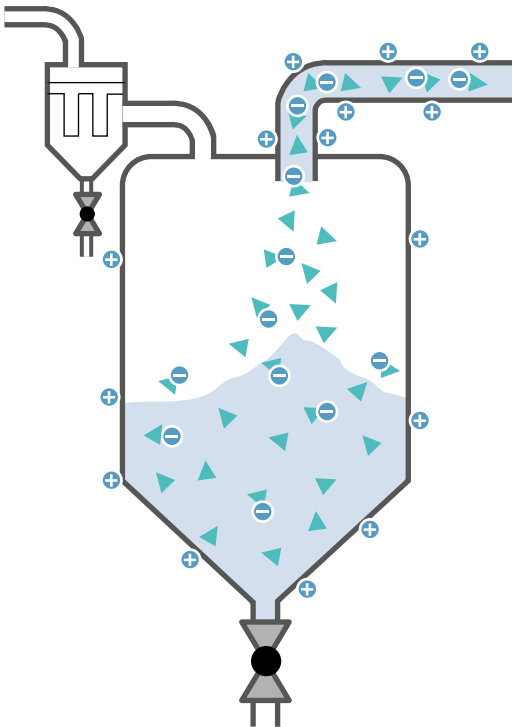


**Abb. 5: Grundschemata der elektrostatischen Zündgefahr: von der Ladungstrennung bis zur möglichen Entzündung eines explosionsfähigen Gemisches (Explosion)**

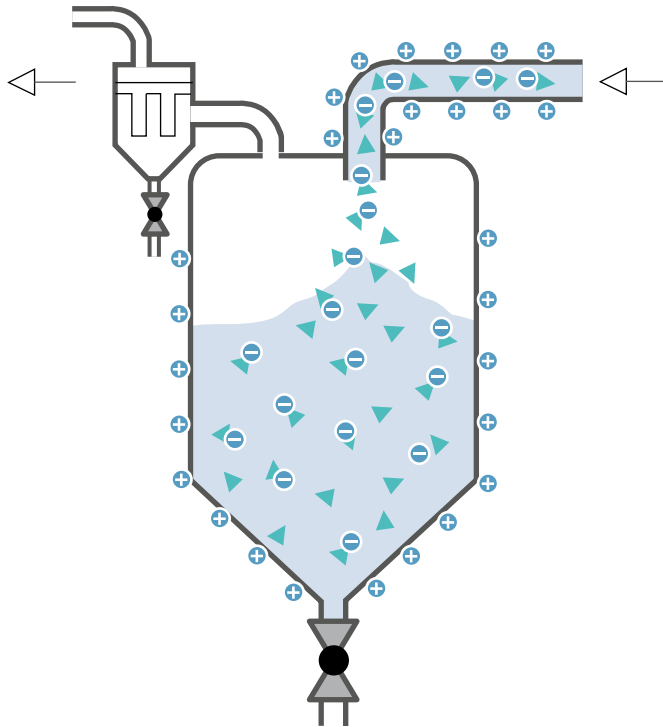
Es sind beide Pfade, die Ladungsanhäufung auf der Anlage und die auf dem Produkt zu betrachten:

- Ladungsanhäufung erfolgt, wenn die Ladungstrennung schneller erfolgt als die Ableitung der Ladungen.
- Entladung erfolgt, wenn die Akkumulation der Ladung ausreicht, dass die auftretende Feldstärke die Durchbruchfeldstärke der Luft übersteigt.
- Entzündung erfolgt, wenn ein explosionsfähiges Gemisch vorhanden ist, die Entladung zündwirksam ist und am Ort des explosionsfähigen Gemisches auftritt.

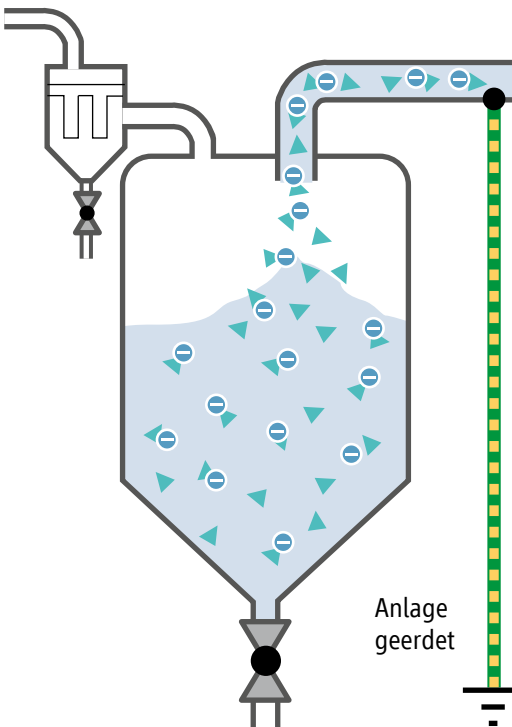
Grundschemata – Beispiele zu Ladungstrennung, Ladungsanhäufung und Ladungsableitung



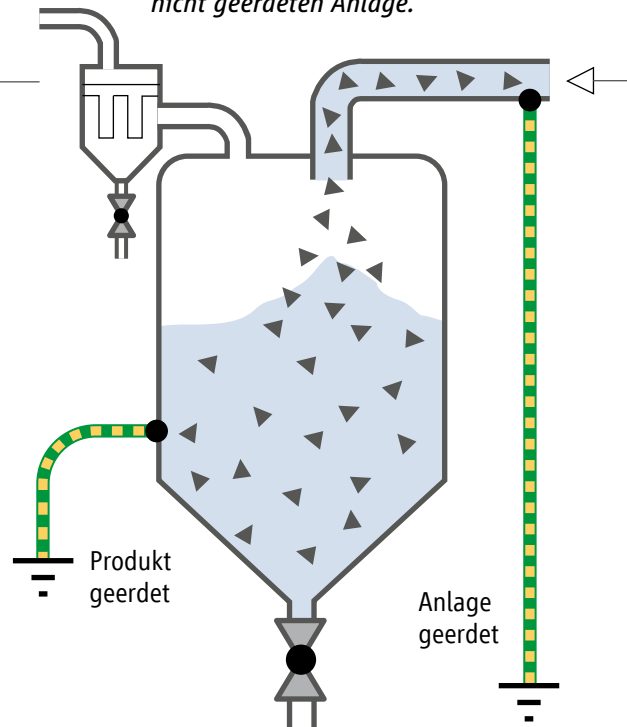
**Abb. 6.1: Ladungstrennung**  
Ladungstrennung durch Stofftransport.



**Abb. 6.2: Ladungsanhäufung**  
Ladungsakkumulation (-speicherung) auf isolierendem Produkt **und** auf der nicht geerdeten Anlage.

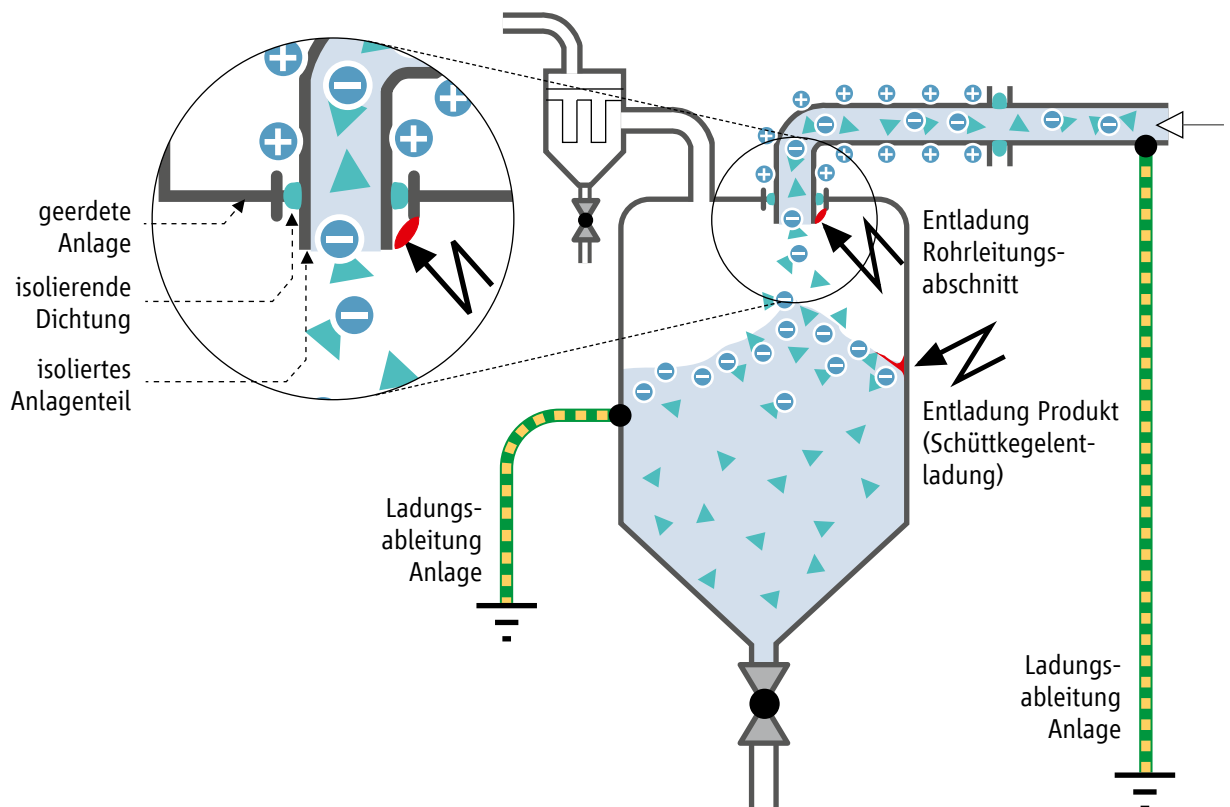


**Abb. 6.3: Ladungsableitung**  
Ableitung der Ladungen von der leitfähigen Anlage durch Erdung; Ableitung der Ladungen vom isolierenden Produkt nicht möglich.



**Abb. 6.4: Ladungsableitung**  
Ladungsableitung von der Anlage durch Erdung **und** vom leitfähigen Produkt durch Erdung (Kontakt mit geerdeter Anlage).

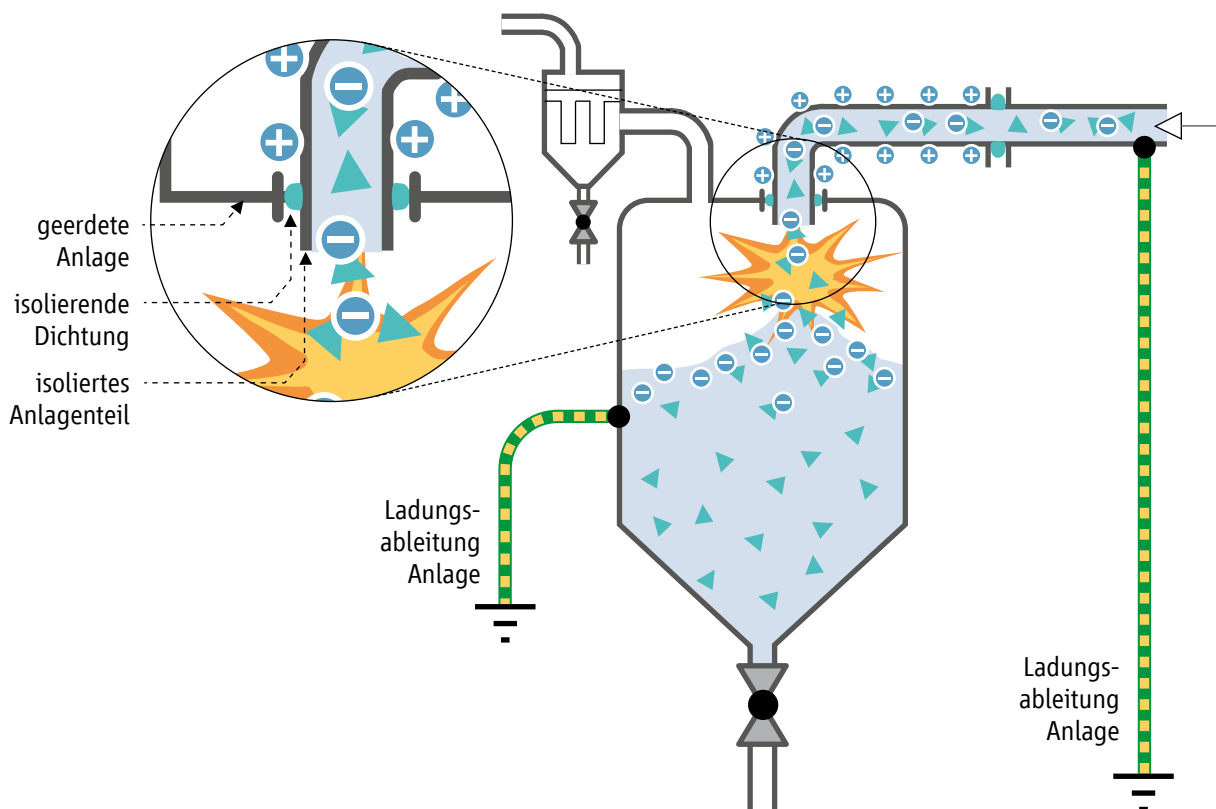
### Grundschemata - Beispiele zu Entladung und Entzündung



**Abb. 7.1: Funken- und Schüttkegelentladung**

*Der isolierte, leitfähige Rohrleitungsabschnitt wird durch den Produktfluss aufgeladen und entlädt sich in einer Funkenentladung gegen die geerdete Anlage (Silowandung); das in das Silo geförderte, aufgeladene Produkt entlädt sich in einer Schüttkegelentladung.*





**Abb. 7.2: Bei zündwirksamer Entladung: Explosion**

*Wenn die zündwirksame Entladung (hier: Funkenentladung oder Schütkegelentladung) in einem Bereich auftritt, in dem die Konzentration des aufgewirbelten Staubes ausreichend hoch ist, ist mit einer Explosion zu rechnen.*

## 2 Entstehen elektrostatischer Aufladungen (Ladungstrennung)

### Was ist ein Trennprozess?

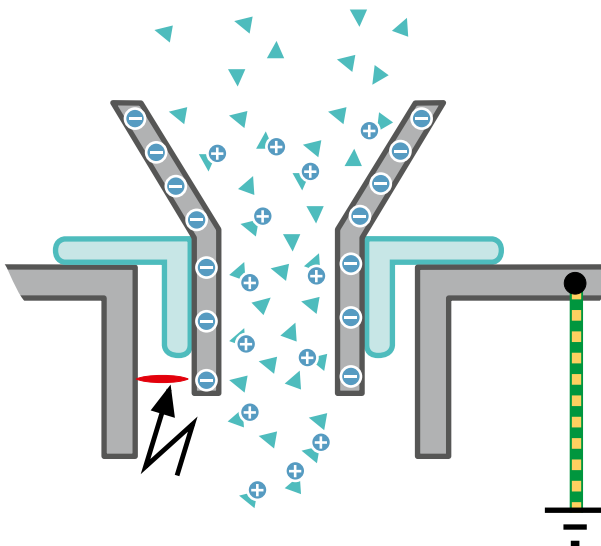
Jeder Vorgang, bei welchem Oberflächen, die miteinander (auch nur kurzzeitig) in engem Kontakt stehen, voneinander getrennt werden, ist ein Trennprozess.

Trennprozesse treten z. B. bei folgenden Vorgängen auf:

- Umfüllen von Produkten (Abb. 8.1, 8.2)
- Gehen des Menschen auf dem Fußboden (Abb. 8.3)
- Bewegen eines Förderbandes über eine Umlenkrolle
- Abrollen einer Folie (Abb. 8.4, Abb. 12.1)
- Strömen einer Flüssigkeit durch eine Rohrleitung
- Filtrieren einer Suspension

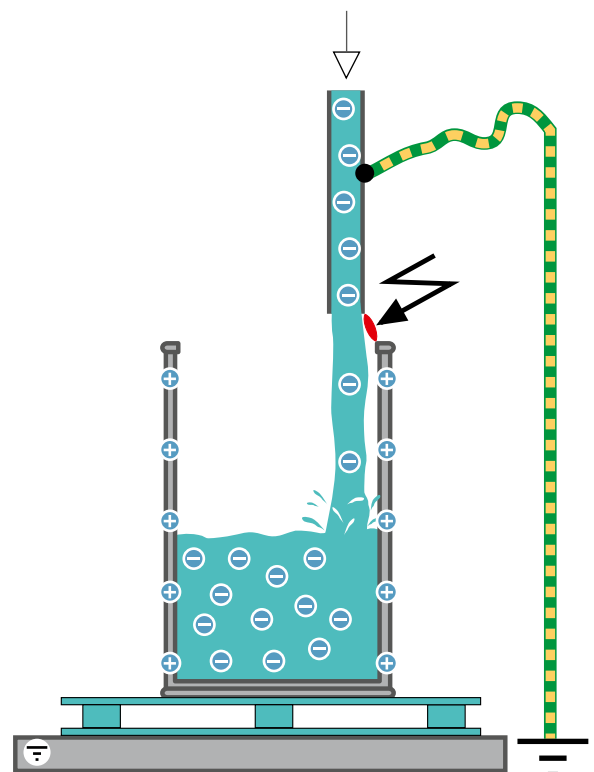
- Verdüsen oder Versprühen einer Flüssigkeit (Abb. 8.5)
- Ausschütten eines Schüttgutes aus einem Sack oder Behälter
- Pneumatisches Fördern eines Schüttgutes durch eine Rohrleitung
- Aufprallen von Staubteilchen auf die Wand eines Abscheiders (Abb. 8.6)

18



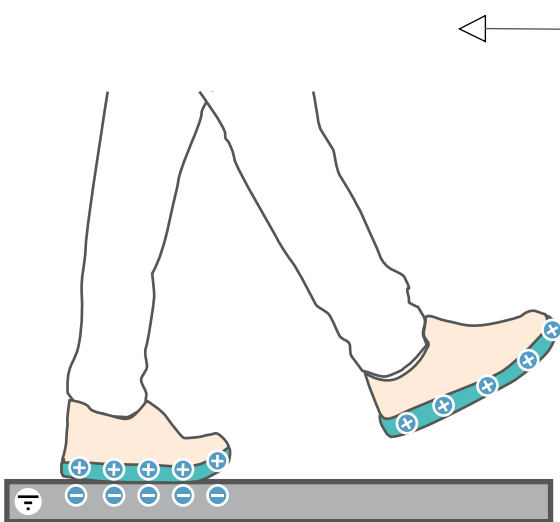
**Abb. 8.1: isoliert eingebauter leitfähiger Trichter**

*Der Trichter wird durch Transportprozesse (Einfüllen von Schüttgut) aufgeladen und entlädt sich in einer Funkenentladung gegen Erde (Bühne).*

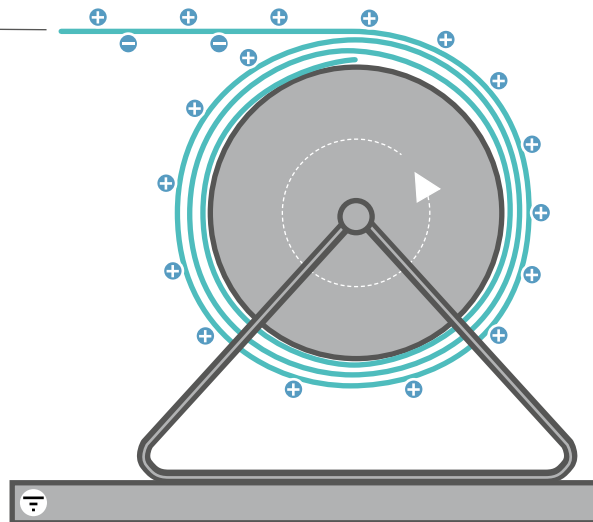


**Abb. 8.2: isoliert aufgestelltes leitfähiges Fass**

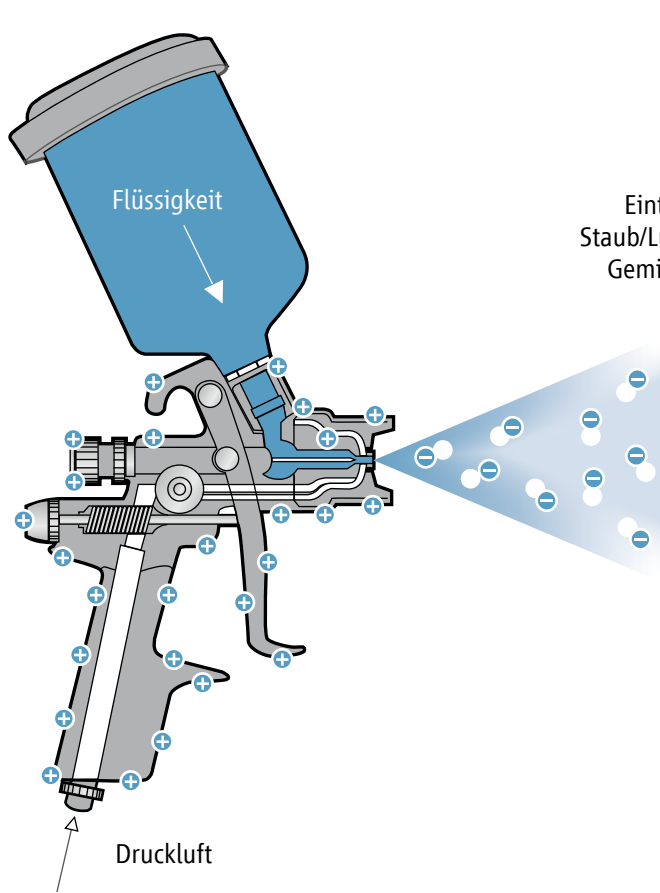
*Das nicht geerdete Fass wird durch die Art der Befüllung aufgeladen und entlädt sich in einer Funkenentladung gegen Erde (Befüllrohr).*



**Abb. 8.3: Person mit isolierendem Schuhwerk**  
*Trennprozesse zwischen isolierenden Schuhsohlen und geerdetem Fußboden führen beim Gehen zur Aufladung der Schuhsohlen. Gleiches gilt auch umgekehrt, wenn die Person ableitfähiges Schuhwerk trägt, der Fußboden jedoch isolierend ist.*

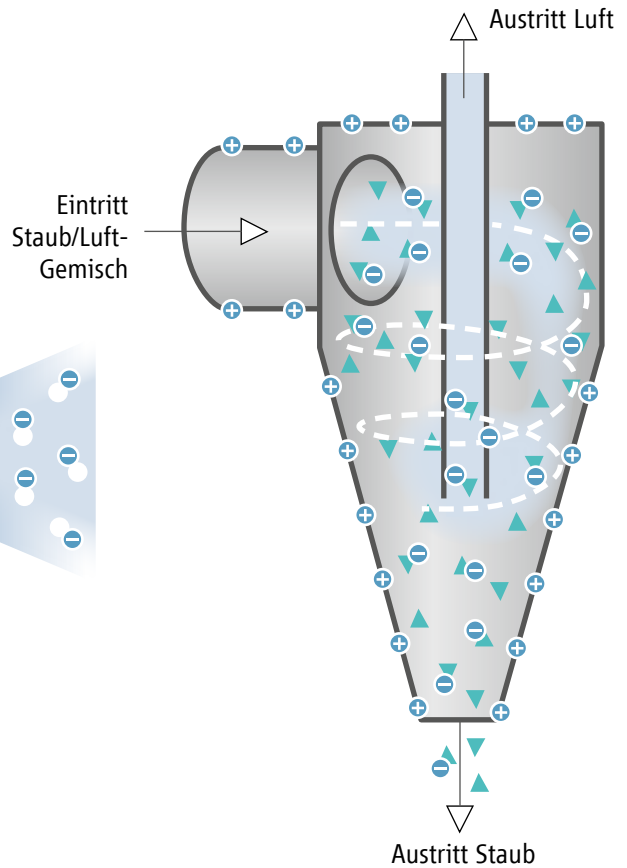


**Abb. 8.4: Abwickeln einer isolierenden Materialbahn (z. B. Folie)**  
*Das Abwickeln von bahnenförmigem, isolierendem Material führt zur Ladungstrennung.*



**Abb. 8.5: Versprühen (Verdüsen) von Flüssigkeiten**

Beim Versprühen (Verdüsen) von Flüssigkeiten tritt eine sehr effektive Ladungstrennung bei der Bildung der Tröpfchen („Zerreißen“ der Flüssigkeit) und dem Abriss der Tröpfchen von der Wandung der Spritzpistole auf. Die entstehenden Sprühnebel sind daher i. d. R. hoch aufgeladen.



**Abb. 8.6: Abscheider (Zyklon)**

In einem Abscheider (Zyklon) tritt eine sehr effektive Ladungstrennung durch Kontakt der Staubpartikel mit der Wand des Abscheiders auf. Der abgeschiedene Staub wird hoch aufgeladen und die Anlage ebenfalls, wenn sie nicht leitfähig und geerdet ist.

Mit elektrostatischer Aufladung muss bei Trennprozessen immer gerechnet werden, sobald zumindest ein Kontaktpartner elektrisch isolierend ist.

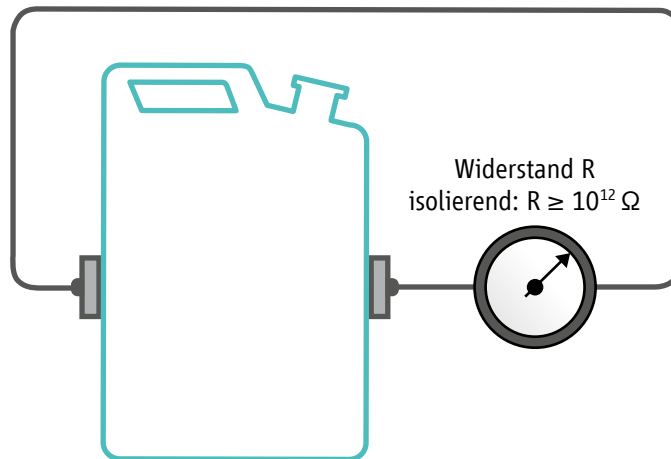
## Wann ist ein Stoff isolierend?

Die Isolationseigenschaften von Feststoffen, Schüttgütern und Flüssigkeiten werden durch Messung des elektrischen Widerstandes bestimmt.

- Typische isolierende Feststoffe sind fast alle Kunststoffarten wie Polyethylen (PE), Polypropylen (PP), Polyvinylchlorid (PVC), Polytetrafluor-

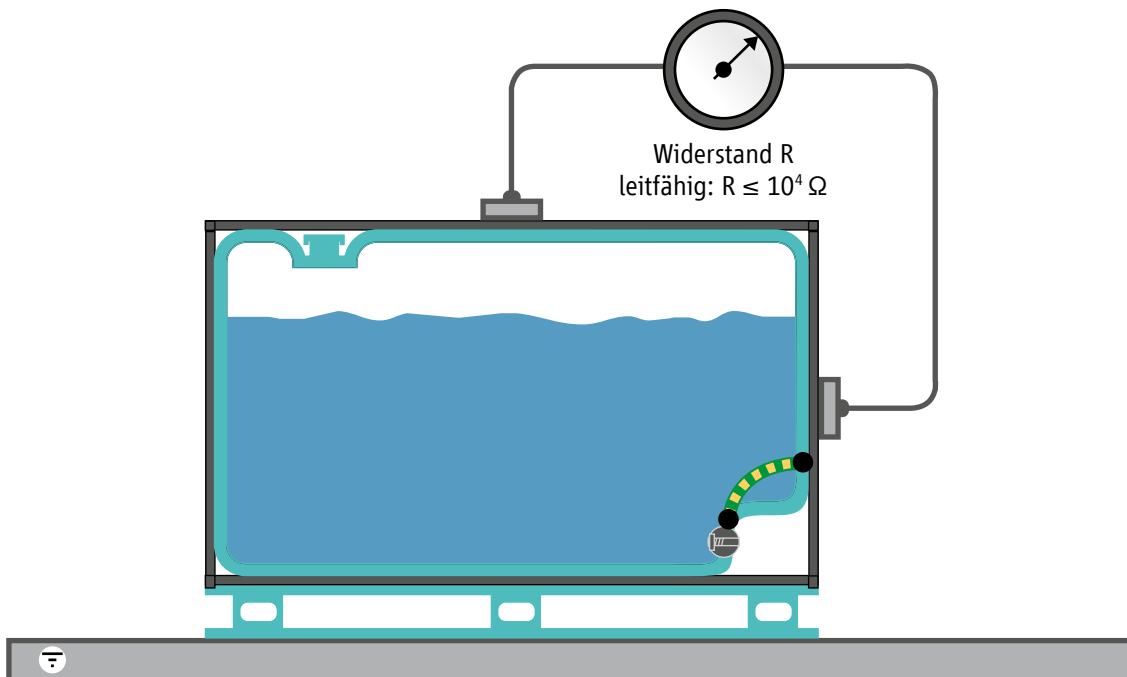
ethylen (PTFE). Aber auch andere organische Produkte können isolierend sein.

- Typische isolierende Flüssigkeiten sind beispielsweise Kohlenwasserstoffe wie Hexan, Heptan, Benzin, Toluol, Xylol.
- Isolierende Stoffe werden oft auch als nichtleitfähig bezeichnet.



**Abb. 9.1: Kunststoffbehälter (isolierend)**

Schematische Darstellung der Messung des Widerstandes R zwischen zwei Punkten: ein (homogenes) Material ist isolierend bei  $R \geq 10^{12} \Omega$ .



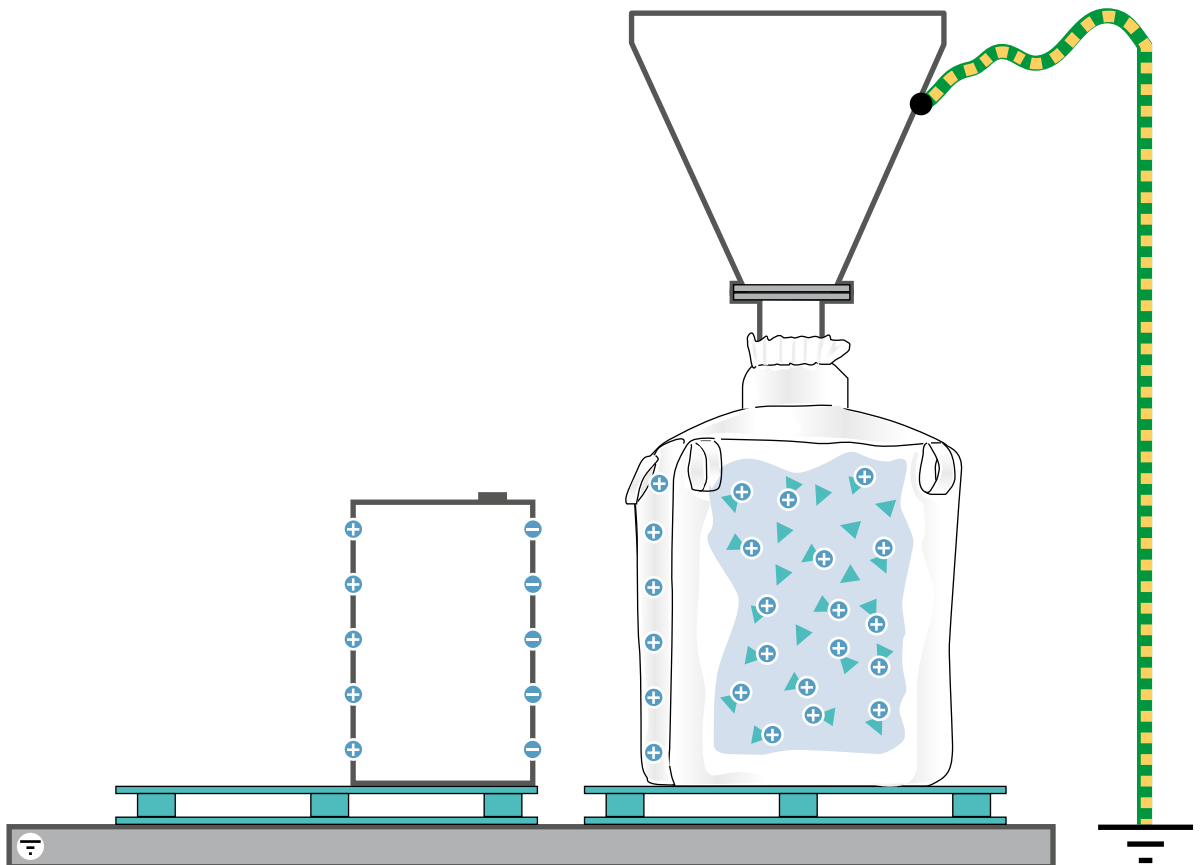
**Abb. 9.2: Gitterbox eines IBC für brennbare Flüssigkeiten (leitfähig)**

Schematische Darstellung der Messung des Widerstandes R zwischen zwei Punkten: ein (homogenes) Material ist leitfähig bei  $R \leq 10^4 \Omega$ .

## Gibt es noch andere Auflademechanismen?

Eine besondere Form der Ladungstrennung erfolgt bei der Aufladung durch **Influenz**. Sie ist ein physikalisches Phänomen, das dadurch gekennzeichnet ist, dass Ladungsträger in einem elektrischen Leiter verschoben werden, der sich in einem elektrischen Feld befindet, wodurch eine Aufladung erfolgt. Typi-

sche Beispiele: Isoliertes Metallfass oder Person mit isolierenden Schuhen in der Nähe eines aufgeladenen Kunststoffesackes (Abb. 10).



**Abb. 10: Aufladung eines von Erde isolierten leitfähigen Fasses durch Influenz**

*Ein aufgeladener Behälter (FIBC) zieht bei einem benachbart stehenden leitfähigen Behälter (Fass) Ladungen entgegengesetzter Polarität auf die dem FIBC zugewandte Seite des Fasses (Aufladung durch Influenz). Auf der dem FIBC abgewandten Seite des Fasses überwiegen die zu dem FIBC gleichnamigen Ladungen, sofern das Fass nicht geerdet ist.*

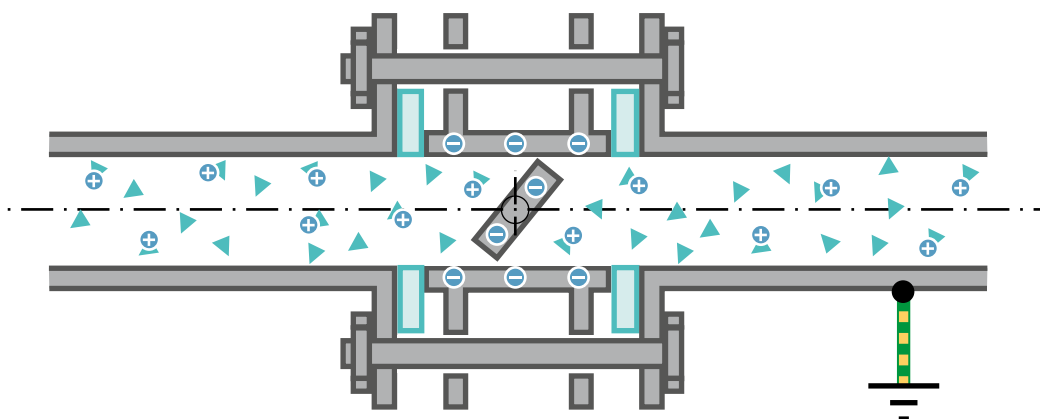
**Nicht geerdete Metallteile und Personen können auch durch Influenz aufgeladen werden.**

# 3 Ladungsanhäufung und Ladungsableitung

## Wo können Ladungen angehäuft werden?

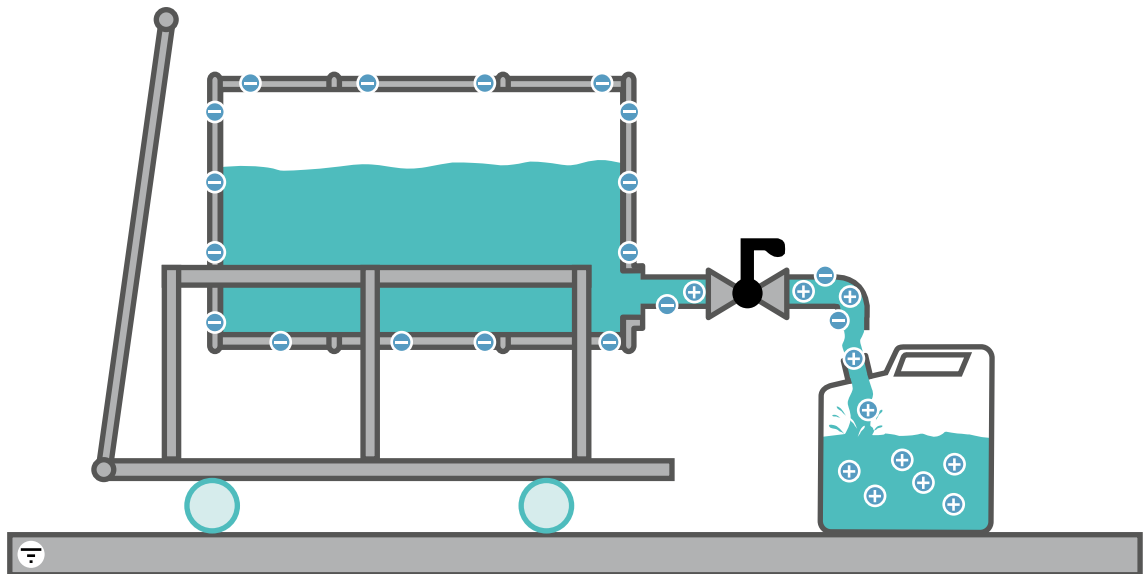
Ladungen können angehäuft werden auf/in

- leitfähigen, aber von Erde elektrisch isolierten Teilen, z. B.
  - auf einem Metallrohr/-klappe, das/die durch nicht leitfähige Dichtungen isoliert ist (Abb. 11.1),
  - auf einem Metallfass, das auf isolierender Unterlage steht (Abb. 11.2),
  - in einer leitfähigen Flüssigkeit, die über eine isolierende Rohrleitung in ein isolierendes Gebinde abgefüllt wird (Abb. 11.3),
  - auf dem menschlichen Körper, wenn isolierendes Schuhwerk getragen wird oder der Boden nicht ableitfähig ist (Abb. 11.4),
  - auf einem nicht geerdeten Metallflansch einer Glasleitung (Abb. 11.5)
- Oberflächen von isolierenden Werkstoffen oder Produkten, z. B.
  - auf der Oberfläche eines Kunststoffsackes oder einer Kunststoffolie (Abb. 12.1),
  - auf der Oberfläche einer Kunststoffleitung oder Absaugung (Abb. 12.2),
  - auf der Oberfläche eines isolierenden Filtertuches (Abb. 12.3),
- isolierenden Flüssigkeiten, Suspensionen und Emulsionen,
- abgelagerten isolierenden Schüttgütern (Abb. 12.4)
- Wolken von aufgeladenen Staubteilchen und/oder Tröpfchen.



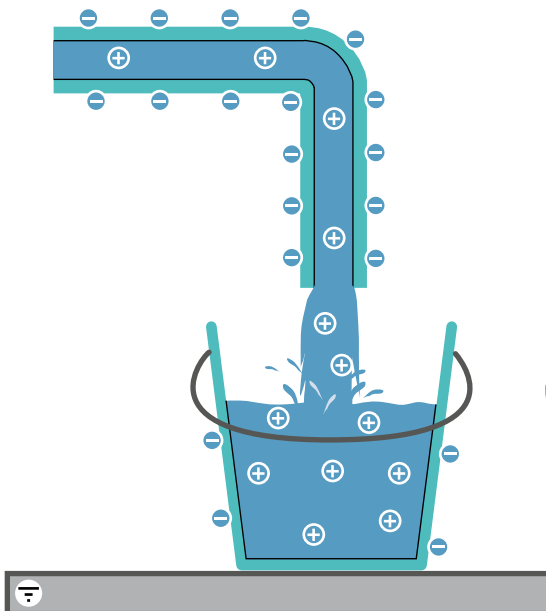
**Abb. 11.1: Rohrabschnitt mit isolierter leitfähiger Klappe**

*Die leitfähige Klappe ist über isolierende Dichtungen eingebaut und deshalb nicht geerdet. Daher steht der Aufladung durch den Stofftransport keine ausreichende Ladungsableitung gegenüber und auf dem Material der Klappe (Gehäuse und Blatt) sammeln sich Ladungen an. Oft sind Klappengehäuse und Klappenblatt nicht leitfähig miteinander verbunden, so dass neben der Erdung des Gehäuses auch das Blatt zu erden ist.*

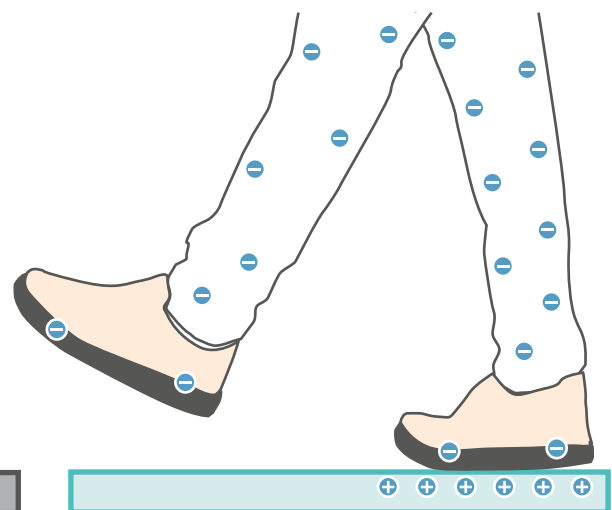


**Abb. 11.2: Entnahmefass auf Transportwagen mit isolierenden Rädern**

Durch die isolierenden Räder des Transportgeräts ist das Fass von Erde isoliert. Bei Befüll- oder Entleervorgängen erfolgt eine Aufladung des Fasses und der Flüssigkeit. Zur Vermeidung einer Aufladung ist der Transportwagen mit leitfähigen Rädern auszurüsten und Fass und Kanister sind bei Füllvorgängen mittels Erdungszange zu erden.

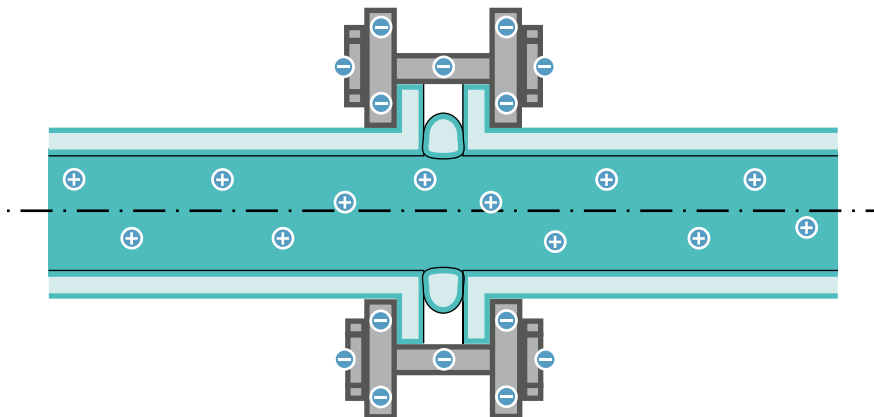


**Abb. 11.3: Abfüllung aus isolierendem Rohr in isolierenden Kunststoffeimer**  
Rohrleitung und Wand des Eimers sind aus isolierendem Material und werden bei Flüssigkeitsdurchströmung aufgeladen. Ebenso die (nicht geerdete) leitfähige Flüssigkeit.



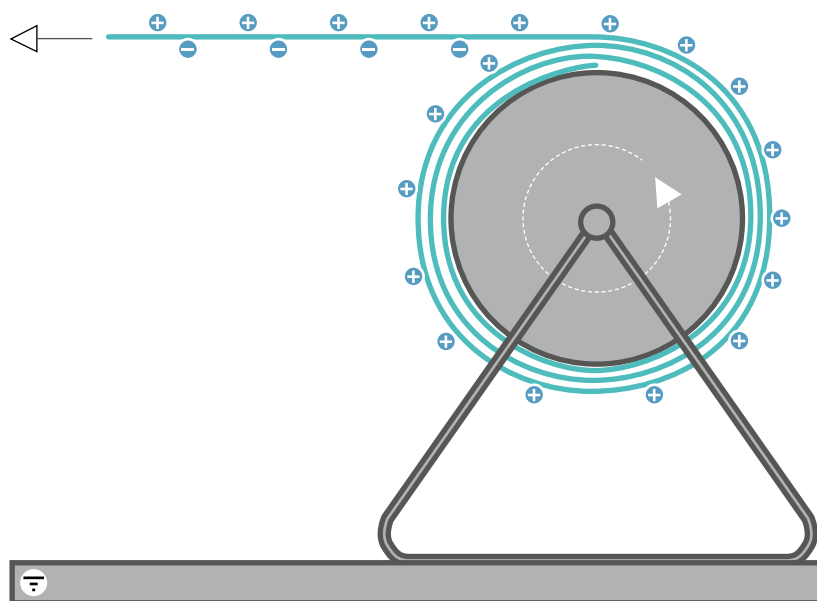
**Abb. 11.4: Gehen auf isolierendem Fußboden**  
Eine Person, die ableitfähige Schuhe trägt, lädt sich beim Gehen über einen Boden aus isolierendem Material auf.





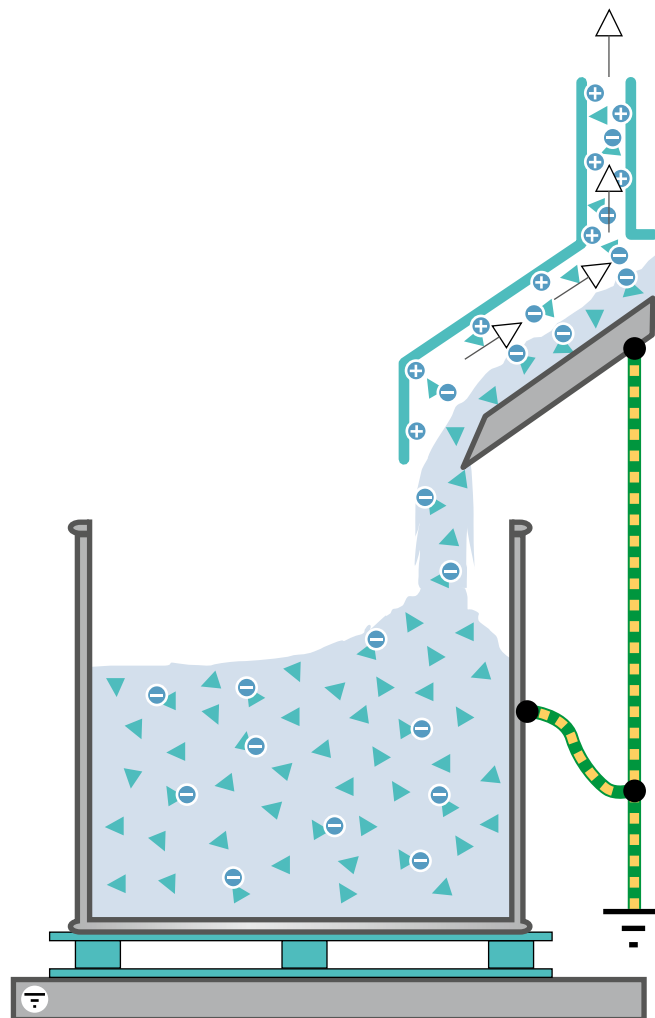
**Abb. 11.5: Metallflansch auf Glasleitung**

Ein leitfähiger Flansch, der zwei Rohrstücke aus isolierendem Material, z. B. PTFE, PE oder Glas verbindet und nicht geerdet ist, wird beim Strömen von Flüssigkeit (oder Schüttgut) durch die Rohrleitung aufgeladen (Aufladung durch Influenz).



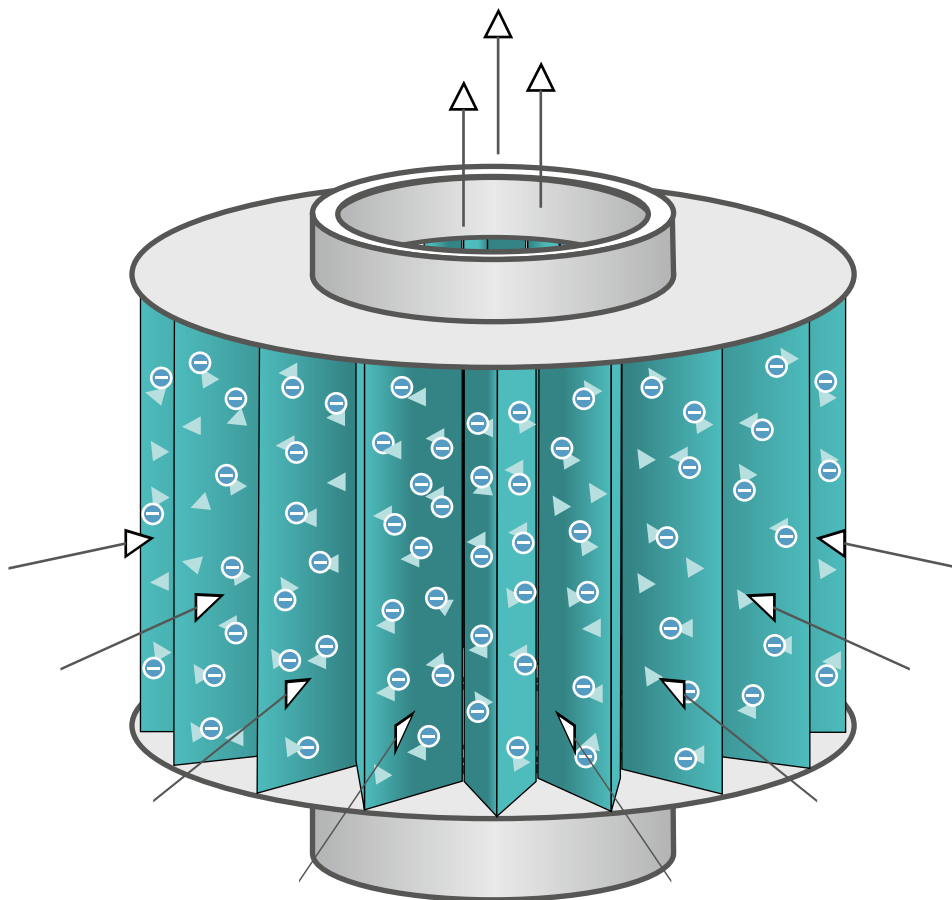
**Abb. 12.1: Abwickeln von isolierenden Folien**

Ladungstrennung beim Abwickeln eines bahnenförmigen, isolierenden Materials (isolierende Kunststoffolie, Textilbahn, u. ä.) führt zur Aufladung des Materials.



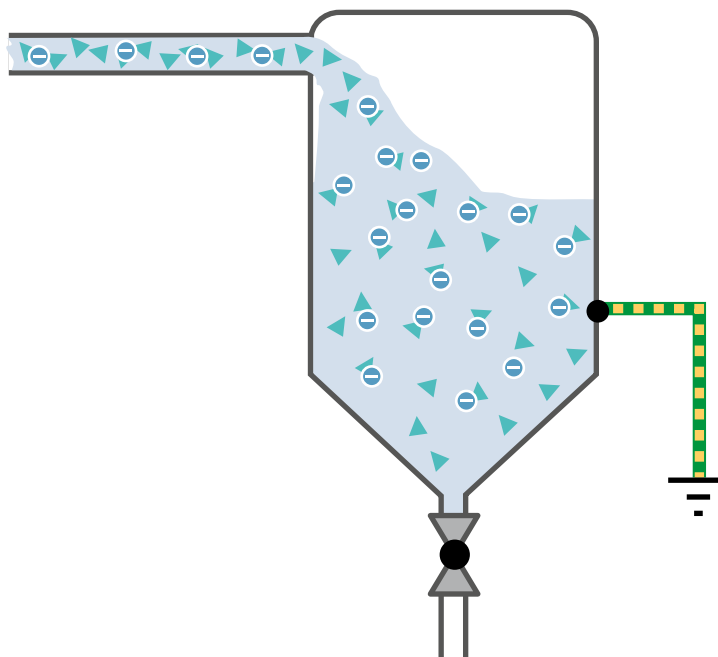
**Abb. 12.2: Absaughaube aus isolierendem Kunststoff**

*Über eine leitfähige Schütte wird isolierendes Schüttgut in einen leitfähigen Behälter abgefüllt. Gebinde und Schütte sind nicht aufgeladen, weil geerdet. Der aufgewirbelte Feinstaubanteil des Schüttgutes wird über eine Absaugung aus isolierendem Material entfernt; dabei werden Staub und Absaugung aufgeladen.*



**Abb. 12.3: Isolierende Filtermaterialien**

*Die Filterpatrone aus isolierendem Material lädt sich bei der Staubabscheidung auf, es erfolgt Ladungsakkumulation auf dem isolierenden Filtermaterial.*



**Abb. 12.4: Isolierendes Schüttgut**

*Isolierendes Schüttgut lädt sich beim Transport auf, über die geerdete Anlage erfolgt bei isolierendem Produkt keine nennenswerte Ladungsableitung.*

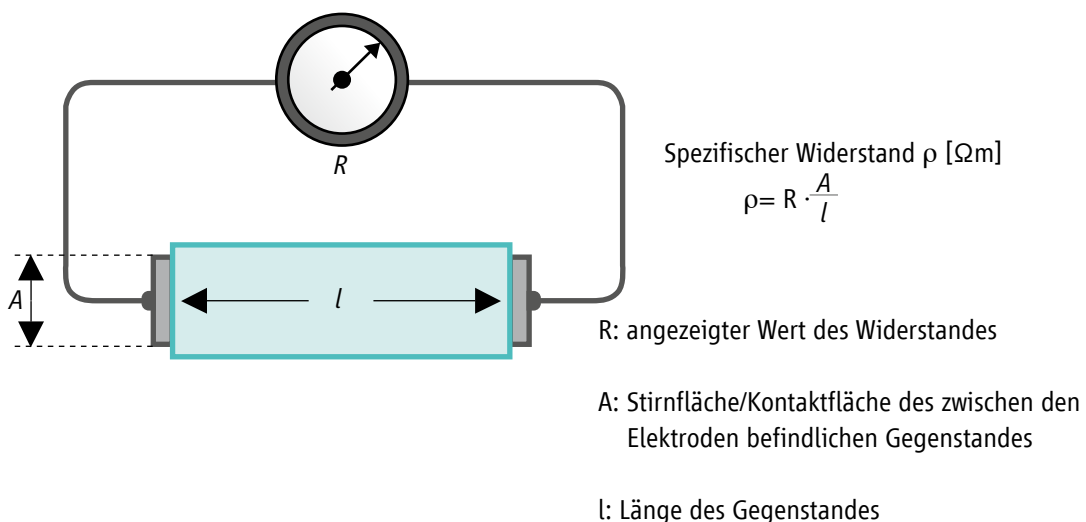
## Wann werden Ladungen abgeleitet?

Ladungen werden abgeleitet, wenn das aufgeladene Objekt elektrostatisch leitfähig und geerdet ist.

## Welche Messgrößen werden für das Beurteilen der elektrostatischen Leitfähigkeit (Ladungsableitung) herangezogen?

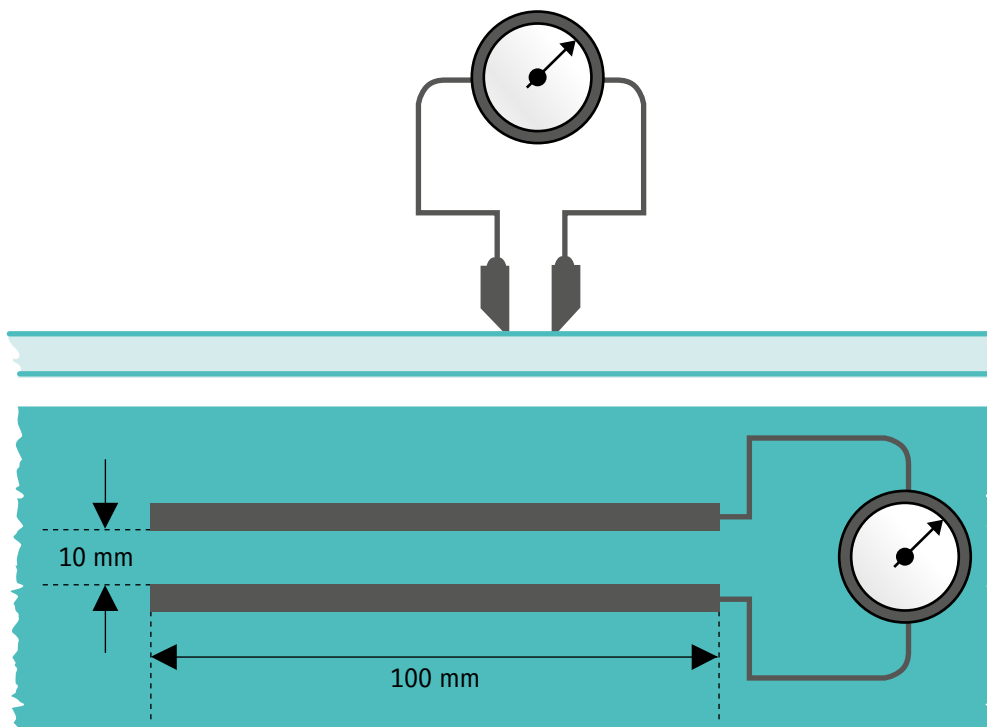
Für das Beurteilen der Ladungsableitung ist der elektrische Widerstand maßgebend. Je nach zu beurteilender Situation werden unterschiedliche Widerstandsgrößen herangezogen, z. B.:

- Der **spezifische Widerstand**  $\rho$  ist die stoffspezifische Angabe des Widerstands eines Feststoffes, einer Flüssigkeit oder einer Staubschüttung (Materialeigenschaft) (Abb. 13.1).
- Die **Leitfähigkeit**  $\kappa$  ist der reziproke Wert des spezifischen Widerstands eines Stoffes (Materialeigenschaft). Sie wird insbesondere bei Flüssigkeiten angegeben.
- Der **Oberflächenwiderstand**  $R_o$  wird für das Beurteilen der Ladungsableitung von der Oberfläche eines Feststoffes benutzt (Abb. 13.2).
- Der **Durchgangswiderstand**  $R_D$  ist der, je nach Material und Geometrie gegebene totale Widerstand zwischen zwei Punkten eines Gegenstandes (z. B. Durchgangswiderstand zwischen dem Inneren und der Lauffläche eines Schuhes) (Abb. 13.3).
- Der **Ableitwiderstand**  $R_E$  ist der totale Widerstand zwischen einem Punkt und Erde. Er wird oft auch Erdableitwiderstand genannt (Abb. 13.4).



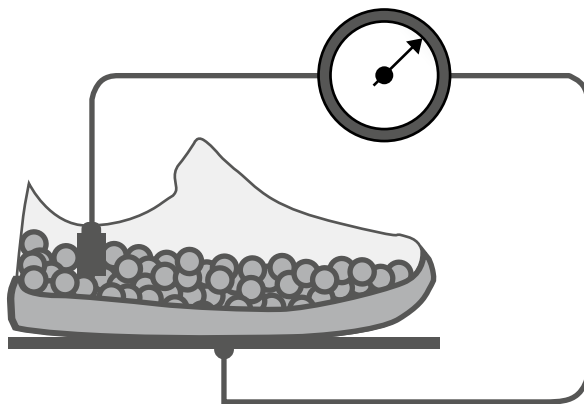
**Abb. 13.1: Messung des spezifischen Widerstandes  $\rho$**

*Schematische Darstellung der Messung des spezifischen Widerstandes  $\rho$  an einer Probe aus isolierendem Material.*



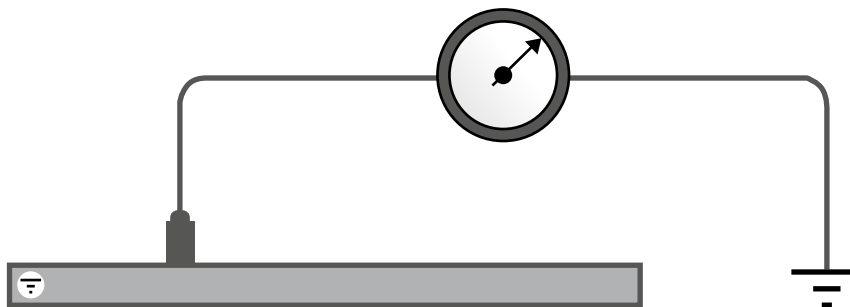
**Abb. 13.2: Messung des Oberflächenwiderstandes  $R_o$**

Schematische Darstellung der Messung des Oberflächenwiderstandes  $R_o$  an einer Probe aus isolierendem Material (oben: Seitenansicht, unten: Draufsicht).



**Abb. 13.3: Messung des Durchgangswiderstandes  $R_D$  von Schuhwerk**

Schematische Darstellung der Messung des Durchgangswiderstandes  $R_D$  von Schuhwerk. Für die normgerechte Messung werden die Schuhe mit Stahlkugeln gefüllt. Bedingung für ableitfähiges Schuhwerk ist ein Durchgangswiderstand  $R_D \leq 10^8 \Omega$ .



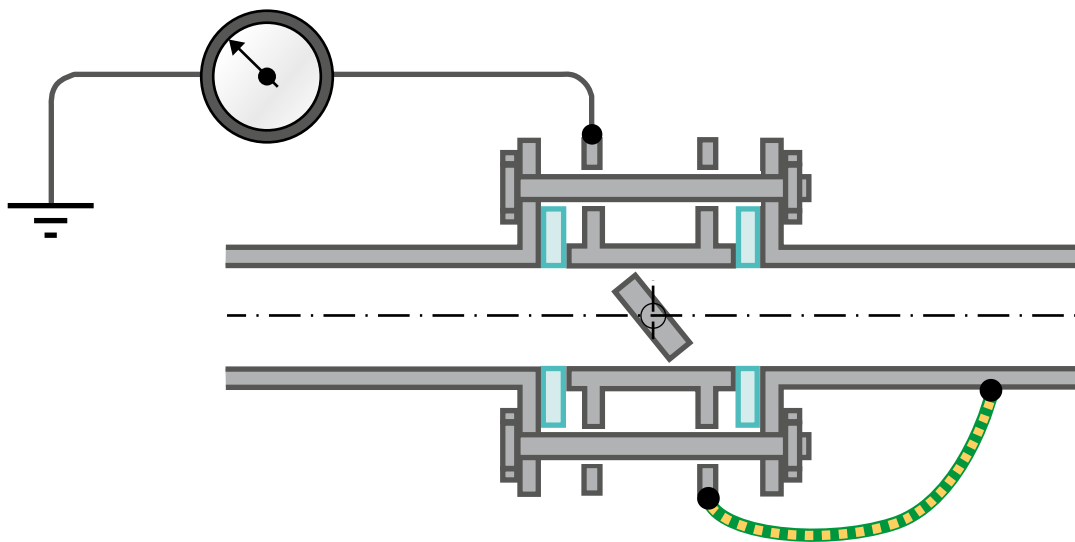
**Abb. 13.4: Messung des Erdableitwiderstandes  $R_E$**

Schematische Darstellung der Messung des Erdableitwiderstandes  $R_E$  eines Fußbodens. Der Erdableitwiderstand eines ableitfähigen Fußbodens beträgt  $R_E \leq 10^8 \Omega$ .

## Gibt es sichere Grenzwerte für die Widerstandsgrößen?

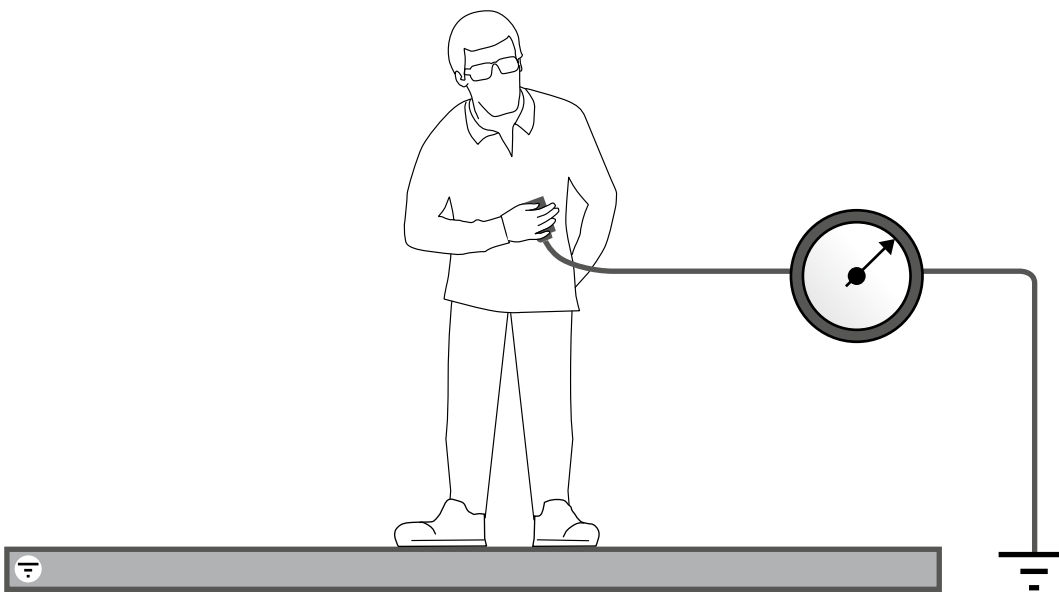
Die für eine gefahrlose Ladungsableitung notwendigen Widerstandsgrenzwerte sind von der Art des Widerstandes (spezifischer Widerstand, Oberflächenwiderstand usw.) abhängig. Ferner können die Grenzwerte in den verschiedenen nationalen Richtlinien unterschiedlich festgelegt sein. Folgende Richtwerte haben sich in der Praxis bewährt:

- Erden von Anlagenteilen: Ableitwiderstand gegen Erde (Erdableitwiderstand)  $R_E \leq 10^6 \Omega$
- Erden von Personen: Durchgangswiderstand der Schuhe und Erdableitwiderstand des Fußbodens  $R_E \leq 10^8 \Omega$



**Abb. 14.1: Messung des Erdableitwiderstandes  $R_E$  eines Anlagenteils**

*Schematische Darstellung der Messung des Erdableitwiderstandes  $R_E$  eines Anlagenteils am Beispiel einer isoliert eingebauten Klappe. Eine (elektrostatik) Erdung ist gegeben, wenn der Erdableitwiderstand  $R_E \leq 10^6 \Omega$  beträgt. In Abb. 14.1 ist das Gehäuse der Klappe geerdet, das Klappenblatt jedoch nicht und muss geerdet werden.*



**Abb. 14.2: Messung des Erdableitwiderstandes  $R_E$  einer Person**

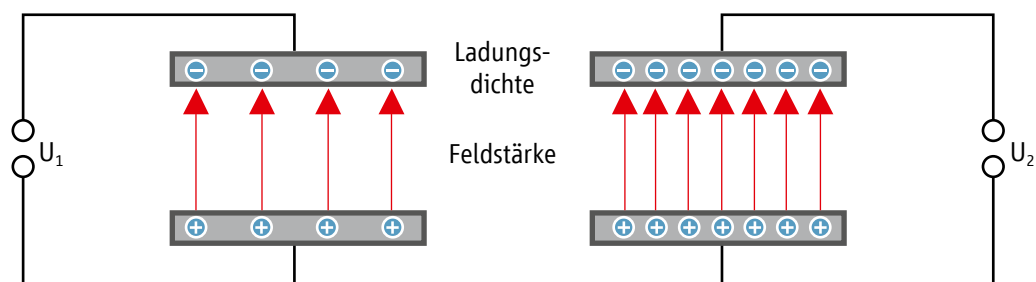
*Schematische Darstellung der Messung des Erdableitwiderstandes  $R_E$  einer Person. Die (elektrostatistische) Erdung einer Person ist gegeben, wenn der Erdableitwiderstand  $R_E \leq 10^8 \Omega$  beträgt.*

**Widerstandsmessungen in einem für das Beurteilen von Elektrostatikgefahren üblichen Größenbereich erfordern spezielle Messgeräte und sind nur von fachkundigem Personal durchzuführen.**

# 4 Entladungsarten und Zündwirksamkeit

Wird das elektrische Feld infolge hoher Ladungsdichte (Ladungsanhäufung auf kleinem Raum) sehr stark, so kommt es beim Erreichen der Durchbruchfeldstärke zur Entladung. Für das Beurteilen der Zündwirksamkeit (Zündfähigkeit) einer Entladung ist die durch den Entladungsvorgang freigesetzte Energie maßgebend. Je nach betrieblicher Situation kann diese freigesetzte Energie nur ein Bruchteil der gesamten in der Ladungsanhäufung enthaltenen Energie sein. Aus Erfahrung und theoretischen

Betrachtungen ist bekannt, unter welchen Bedingungen die gesamte oder nur ein Bruchteil der gespeicherten Energie durch einen Entladungsvorgang freigesetzt wird. Es lassen sich unterschiedliche Entladungsarten abgrenzen, welchen unterschiedliche Energiebeträge und damit Zündwirksamkeiten zugeordnet werden können (Äquivalentenergie). Die Abgrenzung erfolgt aufgrund der Leitfähigkeit, der Geometrie und der räumlichen Anordnung der aufgeladenen Objekte.



**Abb. 15: Ladungsdichte und Feldstärke**

*Je höher die Ladungsdichte, desto höher die Feldstärke (mehr Feldlinien;  $U_2 > U_1$ ).*

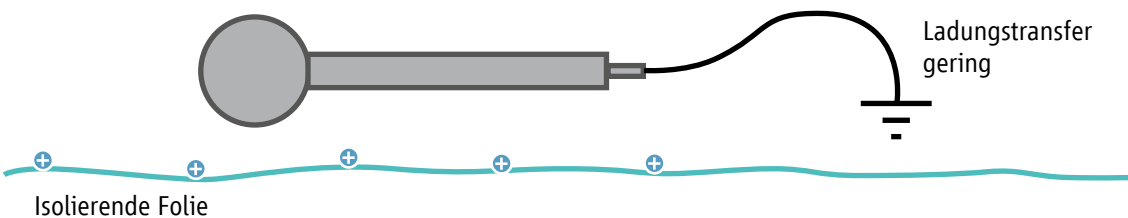
Die Stärke einer Entladung kann mit Hilfe des Ladungstransfers bestimmt werden, indem durch Annähern einer Kugelelektrode an die aufgeladene Oberfläche eine Entladung ausgelöst wird und die übergegangene (übertragene) Ladung auf einem

Messgerät gespeichert wird. Wenn kein Ladungstransfer detektiert wird, bedeutet das, dass die Aufladung zu gering ist für eine Entladung (vgl. Abb. 16.1). Die Stärke einer Entladung kann mit Hilfe des Ladungstransfers abgeschätzt werden.



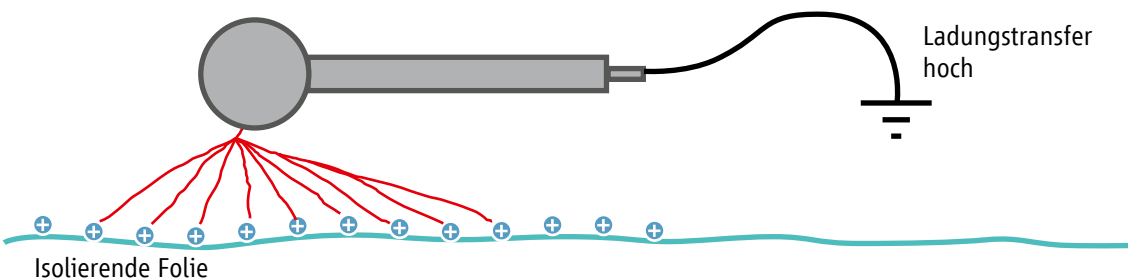
## Wann kommt es zu einer Entladung?

Zu einer Entladung kommt es dann, wenn das elektrische Feld infolge hoher Raum- oder Oberflächendichte (Ladungsdichte) die Durchbruchfeldstärke erreicht.



**Abb. 16.1: Geringe Aufladung**

*Ladungstransfer von einer aufgeladenen Oberfläche (Folie) aus isoliertem Material zu einer geerdeten Elektrode zur Ermittlung der Höhe der Aufladung: geringe Aufladung führt zu geringem Ladungstransfer (keine Entladung).*



**Abb. 16.2: Hohe Aufladung**

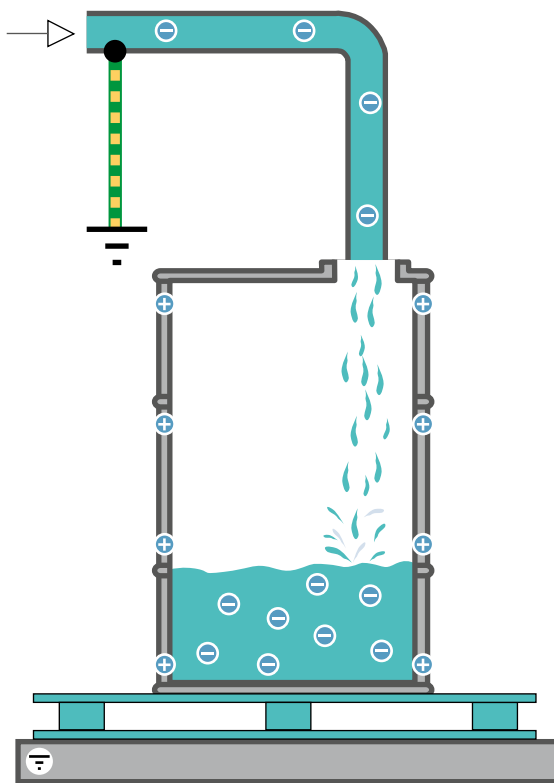
*Ladungstransfer von einer aufgeladenen Oberfläche (Folie) aus isoliertem Material zu einer geerdeten Elektrode zur Ermittlung der Höhe der Aufladung: hohe Aufladung führt zu hohem Ladungstransfer (Büschelentladung). In der Praxis fungiert oft der Finger einer Person als Elektrode.*

## Wie zündwirksam ist eine Entladung?

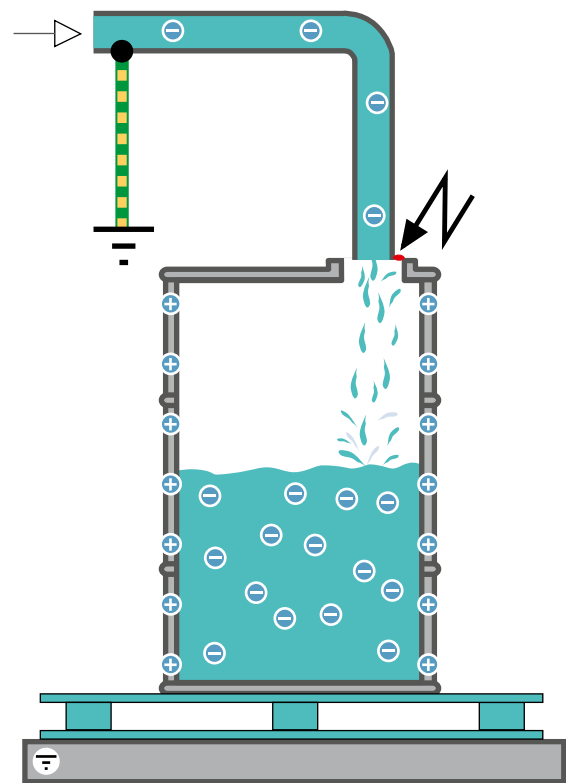
Je nach betrieblicher Situation können Entladungen unterschiedlicher Energie auftreten. Ihre Zündwirksamkeit wird durch den Betrag der freigesetzten

Energie bestimmt. Die Entladungen lassen sich in unterschiedliche Entladungsarten mit unterschiedlichen Zündwirksamkeiten einteilen.

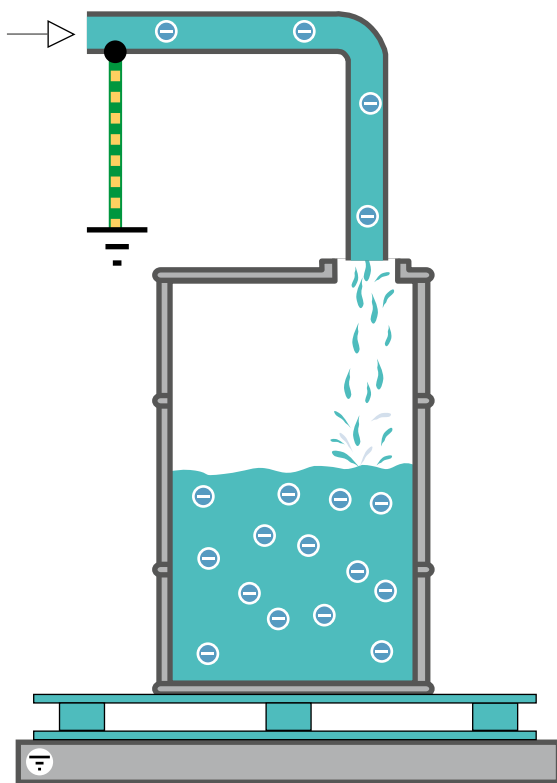
### Aufladung bei der Befüllung eines isolierten Fasses mit einer Flüssigkeit



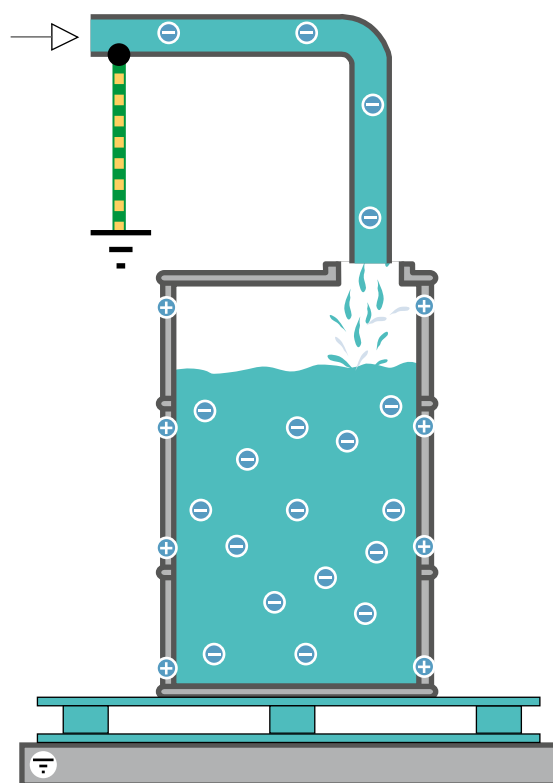
**Abb. 17.1: Trennprozess und Aufladung**  
*Aufladung der isolierenden Flüssigkeit und des nicht geerdeten, leitfähigen Fasses.*



**Abb. 17.2: Funkenentladung**  
*Ladungsakkumulation auf dem Fass und Funkenentladung vom Fass zum geerdeten Füllrohr.*

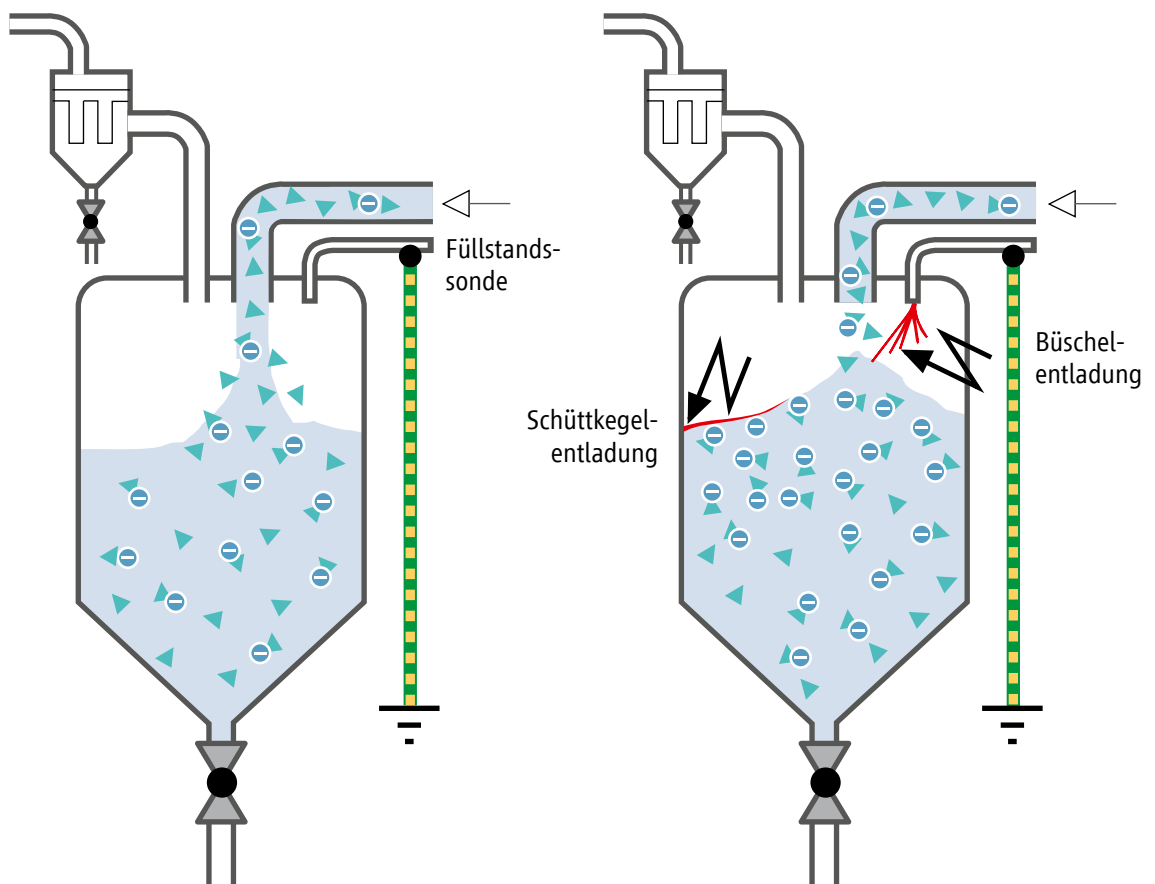


**Abb. 17.3: Vollständige Entladung des Fasses**  
*Das Fass ist entladen, die Flüssigkeit nicht.*



**Abb. 17.4: Bei Weiterbefüllung: wie 17.1**  
*Erneute Aufladung des Fasses (und Zunahme der Ladungen der Flüssigkeit im Fass) wie bei 17.1, d. h. bei Weiterbefüllung sind weitere Funken (wie bei 17.2) möglich, wenn durch die Aufladung das Potenzial des Fasses die Durchschlagspannung in Luft wieder erreicht.*

### Aufladung bei der Befüllung eines Behälters mit Schüttgut

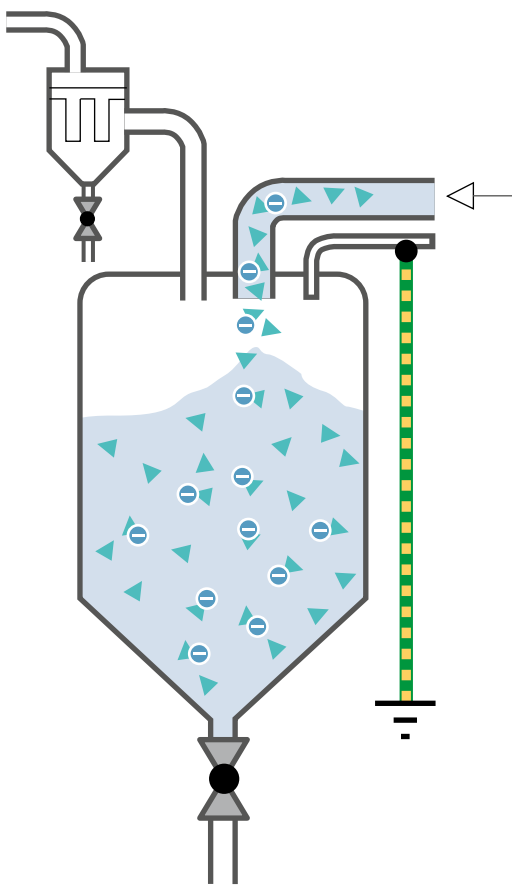


**Abb. 18.1: Trennprozess und Aufladung**

*Durch Transport aufgeladenes, isolierendes Schüttgut wird in einen geerdeten Behälter eingebracht.*

**Abb. 18.2: Büschelentladung und Schüttkegelentladung**

*Das aufgeladene Schüttgut entlädt sich z. B. gegenüber geerdeten Einbauten durch Büschelentladungen (in Abwesenheit von brennbaren Gasen/Dämpfen für Stäube nicht zündwirksam) und über Schüttkegelentladungen (Zündwirksamkeit abhängig von der Mindestzündenergie und dem Medianwert des Schüttgutes sowie dem Behälterdurchmesser).*



**Abb. 18.3: Entladung eines Teilbereichs**

*Die Entladung führt nicht dazu, dass die gesamte Ladung des Schüttgutes entfernt wird, sondern ist nur **lokal**.*

## Wie zündempfindlich sind explosionsfähige Gemische?

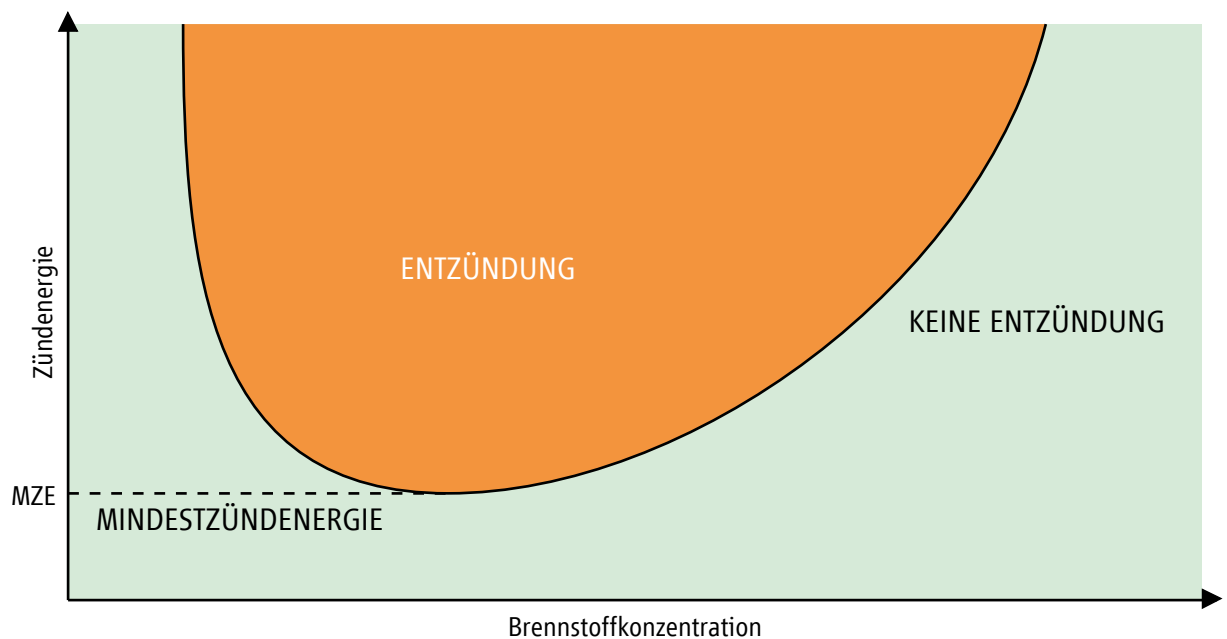
Die Zündempfindlichkeit eines Stoffes im Hinblick auf eine Entzündung durch Entladungen infolge elektrostatischer Aufladung wird durch die Mindest-

zündenergie des betreffenden explosionsfähigen Gemisches bestimmt.

## Was ist die Mindestzündenergie (MZE)?

Die Mindestzündenergie (MZE) eines Stoffes ist die unter festgelegten Versuchsbedingungen ermittelte kleinste, in einem Kondensator gespeicherte elektrische Energie, die bei der Entladung ausreicht, das

zündempfindlichste Gemisch einer explosionsfähigen Atmosphäre aus dem Stoff und Luft unter Normalbedingungen zu entzünden.



### Abb. 19: Zündenergie als Funktion der Brennstoffkonzentration

Die zum Minimum der in Abb. 19 dargestellten Kurve gehörende Energie wird als Mindestzündenergie (MZE) bezeichnet. Sie führt bei dem zündempfindlichsten Gemisch gerade noch zu einer Entzündung.



## Welche Mindestzündenergie weisen explosionsfähige Brennstoff/Luft-Gemische auf?

Die Mindestzündenergie der üblichen Lösemitteldampf/Luft-Gemische beträgt ca. 0,2 bis 1 mJ.

Sehr leicht entzündbare Stoffe wie Acetylen, Wasserstoff und Schwefelkohlenstoff weisen im Gemisch mit Luft Mindestzündenergie-Werte von weniger als 0,025 mJ auf.

Die Mindestzündenergie der brennbaren Stäube überstreicht einen weiten Bereich. Einige Stäube weisen eine Mindestzündenergie von weniger als 10 mJ auf, vereinzelte Stäube liegen sogar unterhalb 1 mJ. Grundsätzlich gilt, dass die Mindestzündenergie eines Staub/Luft-Gemisches umso tiefer liegt, je feiner und trockener das Produkt, je höher

die Temperatur der Staubwolke und je geringer ihre Turbulenz ist.

Schon geringe Beimischungen von brennbaren Gasen oder Dämpfen, auch in Konzentrationen unterhalb der unteren Explosionsgrenze des entsprechenden Gas/- oder Dampf/Luft-Gemisches, können die Mindestzündenergie eines Staub/Luft-Gemisches erniedrigen (Bildung eines hybriden Gemisches).

**Die Mindestzündenergie ist die wichtigste Kenngröße zum Beschreiben der Zündempfindlichkeit eines explosionsfähigen Gemisches bezüglich der Zündquelle „Entladungen statischer Elektrizität“.**

## Wie zündwirksam sind Entladungen?

Die Zündwirksamkeit einer Entladung im Hinblick auf die Entzündung eines explosionsfähigen Gemisches wird nach Maßgabe der Mindestzündenergie

(MZE) des explosionsfähigen Gemisches und der freigesetzten Energie einer Entladung bestimmt.

## Welche Entladungsarten sind bekannt?

Die bis heute in der Praxis beobachteten Entladungsarten sind:

- Funkenentladung
- Büschelentladung
- Coronaentladung
- Gleitstielbüschelentladung
- Schüttkegelentladung

Ferner sind gewitterblitzartige Entladungen, wie sie bei Vulkanausbrüchen in Aschewolken beobachtet werden, zu nennen. In industriell erzeugten Staubwolken innerhalb umschlossener Räume (z. B. Großbehältern) wurden sie allerdings noch nicht nachgewiesen.

Art der Entladung	Wirksamkeit als Zündquelle für Gemische mit Luft von		
	Wasserstoff, Acetylen usw. (MZE $\leq$ 0,025 m)	Lösemitteldämpfen (MZE $>$ 0,025 m)	trockenen, brennbaren Stäuben (MZE $>$ 1 m)
Corona	(+)*	(-)**	-
Büschel	+	+	-
Funke	+	+	+
Gleitstielbüschel	+	+	+
Schüttkegel	+	+	+
Gewitterblitz	+	+	+

\* Eine Zündwirksamkeit kann nach derzeitigem Kenntnisstand nicht ausgeschlossen werden

\*\* In der Regel nicht zündwirksam; unter besonderen Bedingungen, wie z. B. höhere Oxidationsmittelkonzentration, kann Zündwirksamkeit gegeben sein

**Tabelle 1: Zündwirksamkeit verschiedener elektrostatischer Entladungsarten**





## Was ist eine Funkenentladung?

Eine Funkenentladung ist eine Entladung zwischen zwei leitfähigen Objekten unterschiedlichen Potentials. Sie tritt dann auf, wenn das elektrische Feld

im Raum zwischen den leitfähigen Objekten die Durchbruchfeldstärke erreicht.

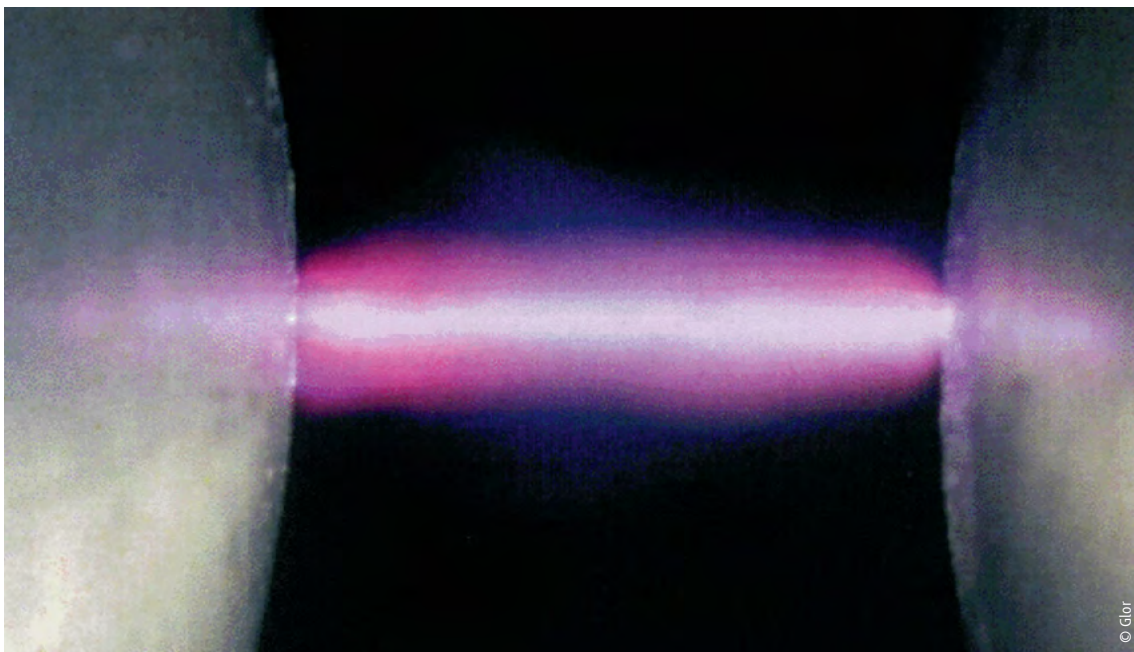
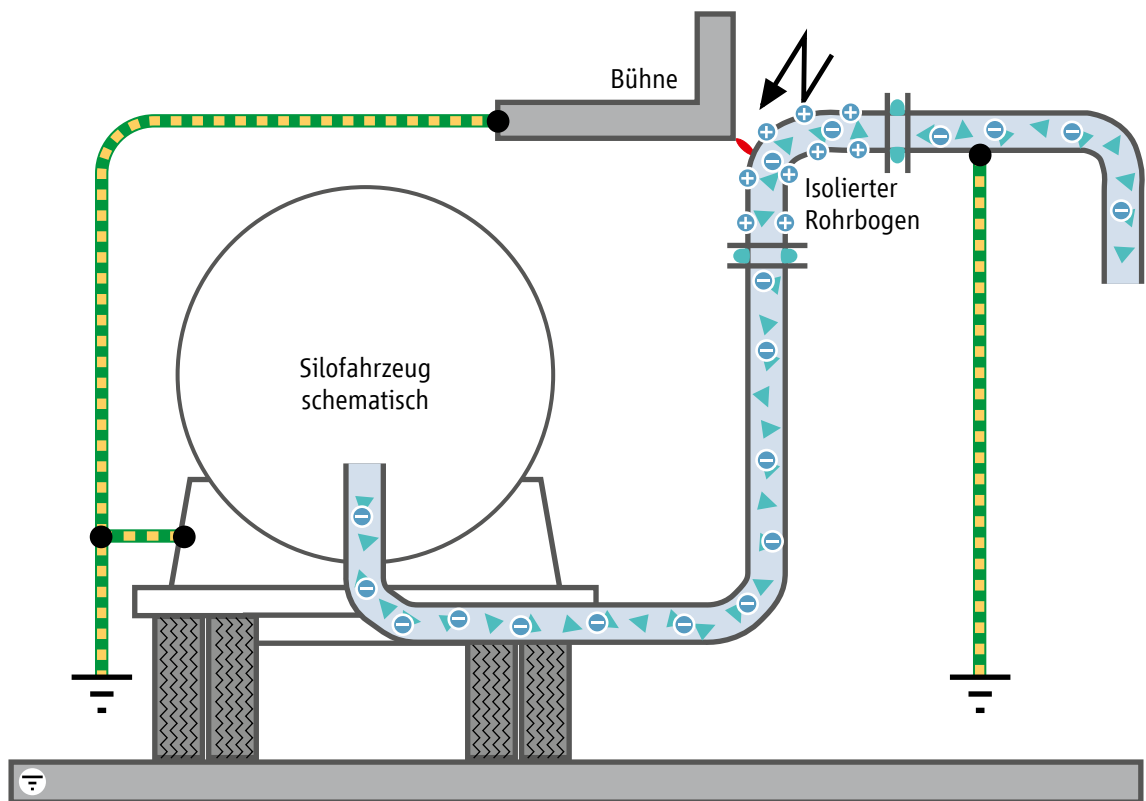


Abb. 20: Foto einer Funkenentladung (zwischen zwei Kugelelektroden)

## Wann treten Funkenentladungen in der Praxis auf?

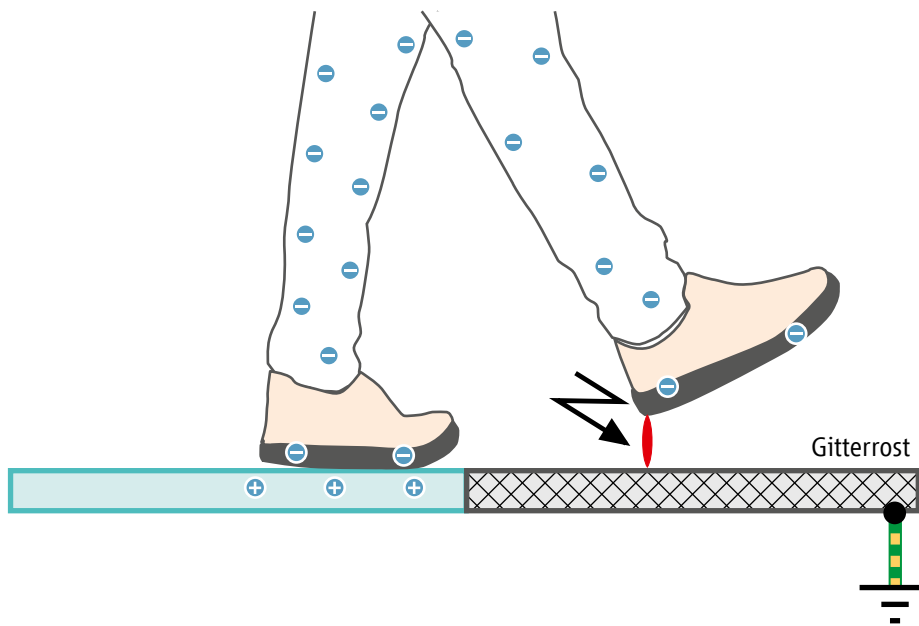
Funkenentladungen treten in der Praxis üblicherweise immer dann auf, wenn leitfähige Objekte (Anlagenteile, Gebinde, Produkte, Personen usw.), welche nicht geerdet sind, aufgeladen werden, und wenn eine geeignete Funkenstrecke vorhanden ist. Dies ist beispielsweise dann der Fall, wenn ein leitfähiger, geerdeter Gegenstand in der Nähe ist und im Zwischenraum die Durchbruchfeldstärke überschritten wird.

- einem leitfähigen, durch Dichtungen isolierten Rohrstück (Abb. 21.1),
- einer Person, die sich auf isolierendem Boden aufgeladen hat (Abb. 21.2),
- einem Metallfass auf isolierender Unterlage (Abb. 21.3),
- einem isoliert eingebautem leitfähigen Auslass (Abb. 21.4).



**Abb. 21.1: Funkenentladung an aufgeladenem Rohrbogen**

*Stofftransport führt zu Ladungstrennung und Ladungen auf Schüttgut und Anlage. Auf dem von Erde isolierten Rohrbogen werden Ladungen akkumuliert, die sich in einer Funkenentladung gegen die geerdete Anlage entladen. Auf dem geerdeten Teil der Anlage erfolgt keine Ladungsakkumulation.*



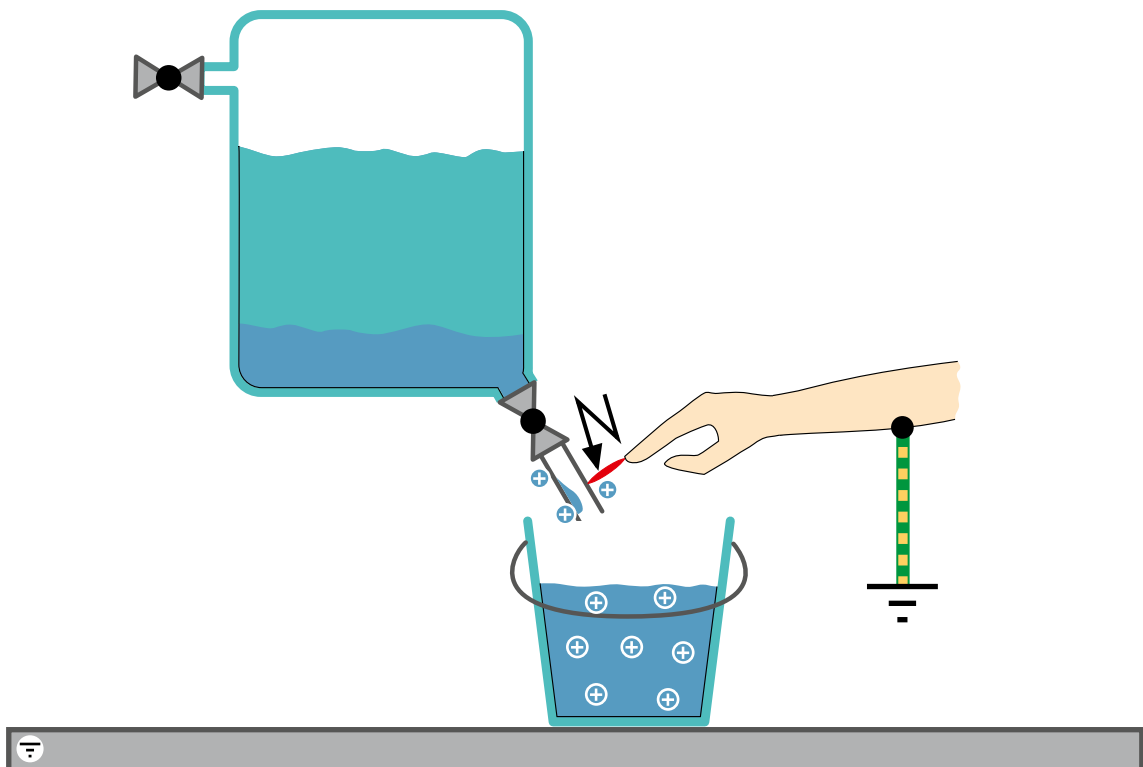
**Abb. 21.2: Funkenentladung durch aufgeladene Person**

Die durch Gehen auf isolierendem Fußboden aufgeladene Person entlädt sich durch eine Funkenentladung, sobald sie sich einem geerdeten Objekt (hier: Gitterrost) annähert.



**Abb. 21.3: Funkenentladung durch aufgeladenes Metallfass**

Das isoliert aufgestellte Fass (isolierende Zwischenlage!) wird durch die Befüllung mit einer isolierenden Flüssigkeit aufgeladen (Influenz und Kontakt). Es erfolgt eine Entladung gegen den geerdeten Transportwagen in einer Funkenentladung. Auf dem Kanister sind keine Ladungen dargestellt; es wird unterstellt, dass er Erdkontakt über die Person besitzt.



**Abb. 21.4: Funkenentladung durch aufgeladene Auslaufarmatur**

*Der Kondensatbehälter aus isolierendem Material besitzt eine leitfähige Auslassarmatur. Das Ablassen der wässrigen Phase führt zur Ladungstrennung und Aufladung der nicht geerdeten Auslaufarmatur (und der leitfähigen Flüssigkeit im Eimer aus isolierendem Material). Bei Annäherung der Person nach dem Ablassen entlädt sich die Auslassarmatur in einer Funkenentladung gegen die Person.*

## Wie zündwirksam sind Funkenentladungen?

Bei einer Funkenentladung wird praktisch die gesamte auf dem aufgeladenen Objekt gespeicherte Energie freigesetzt. Die Entladungsenergie  $W$  entspricht deshalb der gespeicherten Energie, welche aus der Kapazität  $C$  und dem Potenzial  $U$  des aufgeladenen Objektes (Kondensators) nach der Formel

$$W = \frac{1}{2} C \cdot U^2$$

berechnet werden kann.

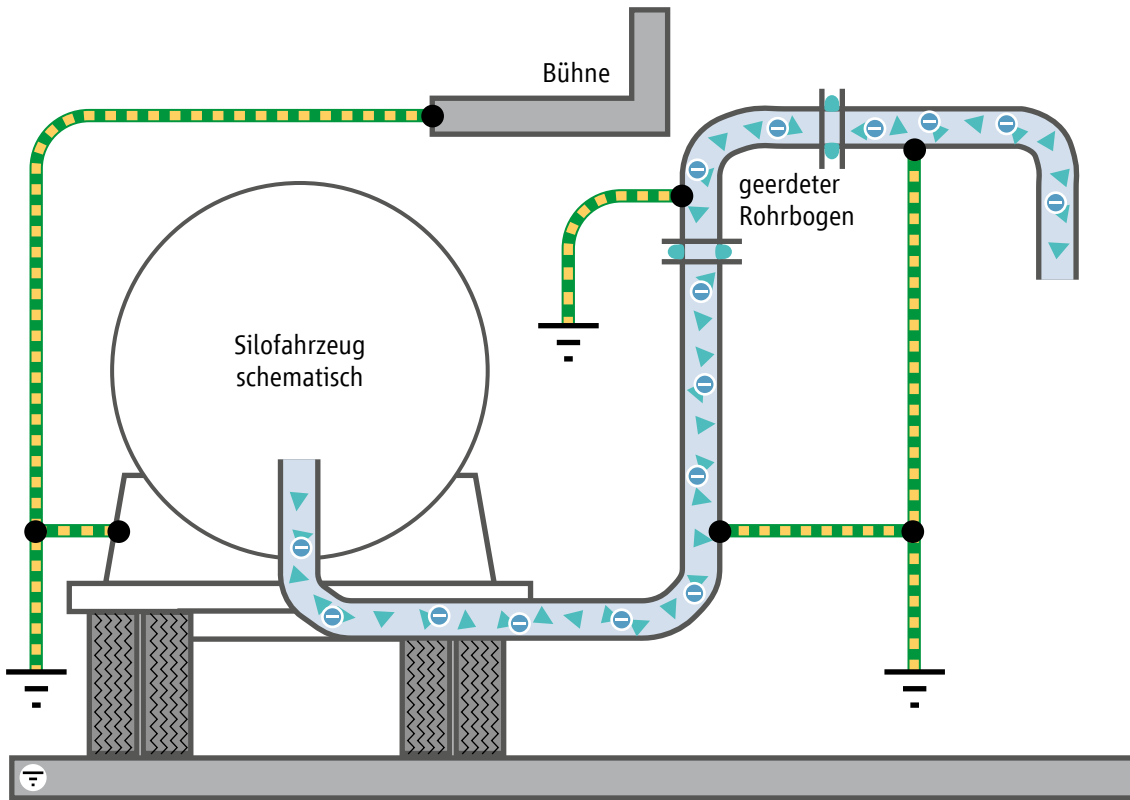
Funkenentladungen sind grundsätzlich als zündwirksam für explosionsfähige Gas/Luft-, Dampf/Luft- und Staub/Luft-Gemische zu betrachten (siehe auch Tabelle 1). Tabelle 2 zeigt typische Werte für die Energie von Funkenentladungen.

Aufgeladenes Objekt	Kapazität $C$ [pF]	Potenzial $U$ [kV]	Energie $W$ [mJ]
Flansch	10	10	0,5
Kleinbehälter (50 l)	50	8	2
Person	150	12	11
Metallfass (200 l)	200	20	40

**Tabelle 2: Typische Werte für die Energie von Funkenentladungen in der Praxis**

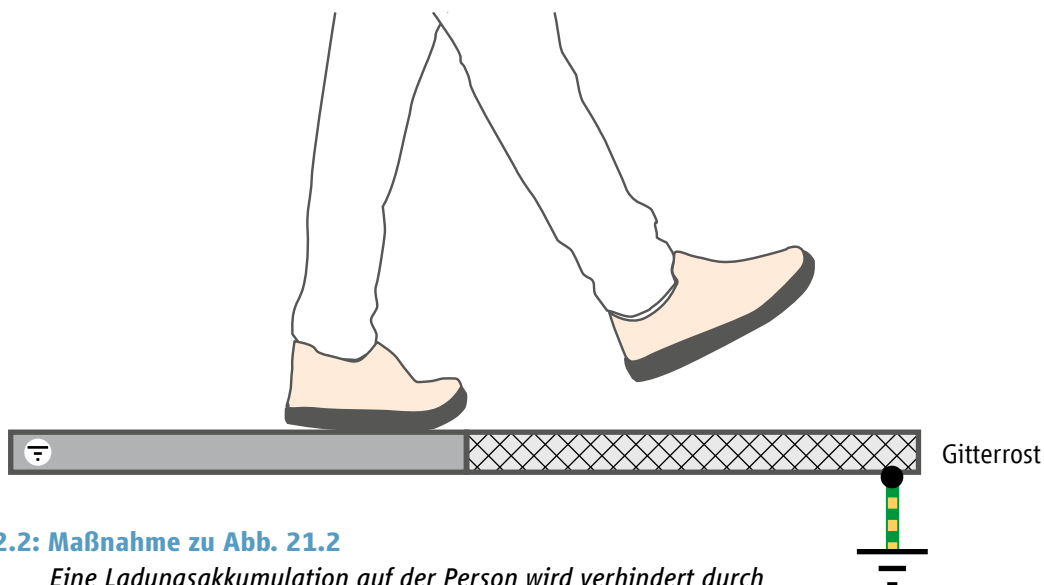
## Wie können Funkenentladungen vermieden werden?

Funkenentladungen können durch Erden aller leitfähigen Objekte (Anlagenteile, Gebinde, Produkte, Personen usw.) vermieden werden.



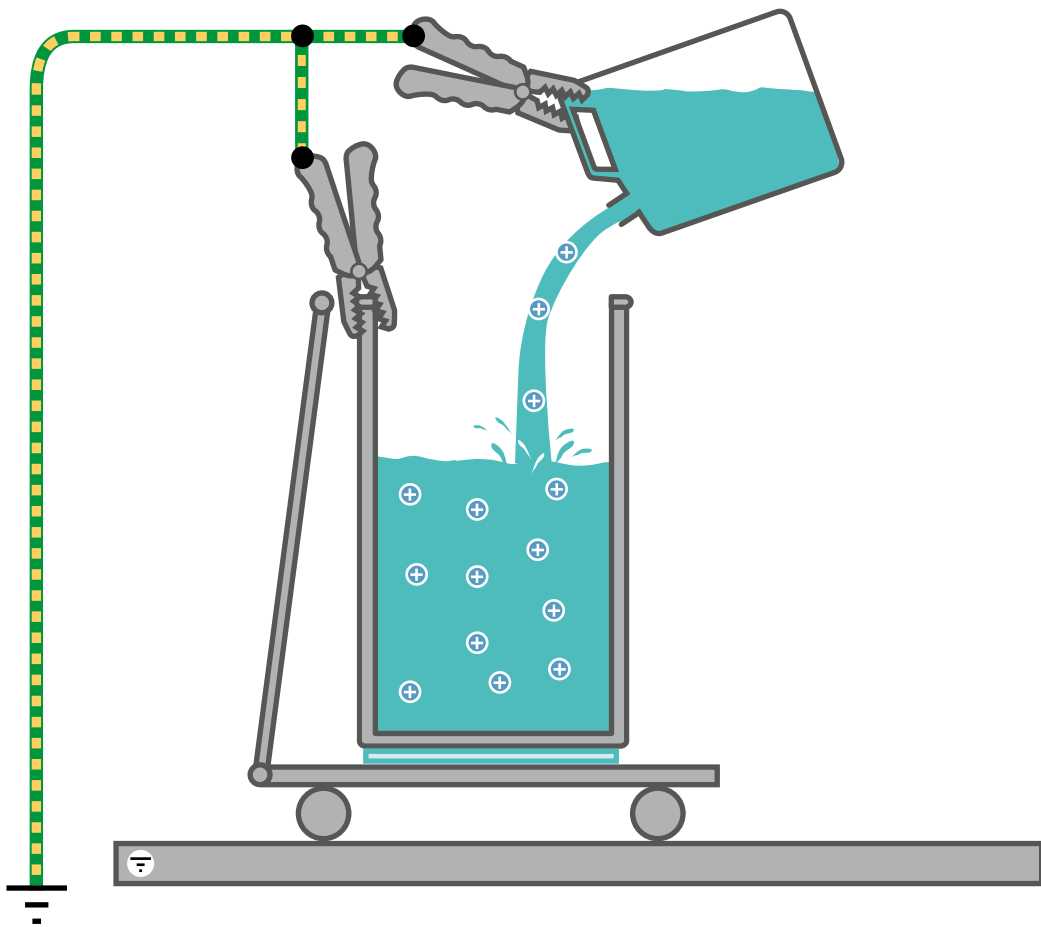
**Abb. 22.1: Maßnahme zu Abb. 21.1**

*Durch die Erdung wird eine Ladungsakkumulation auf dem leitfähigen Gegenstand verhindert.*



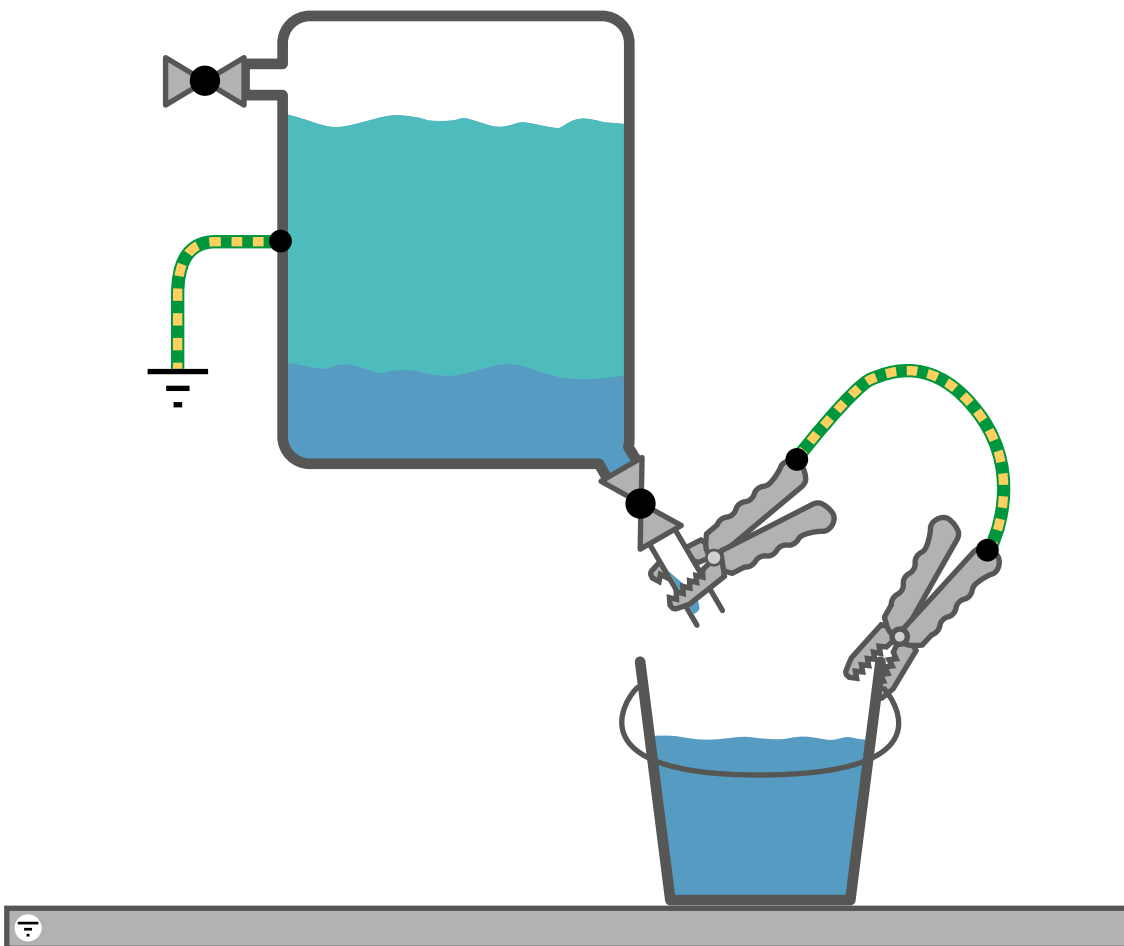
**Abb. 22.2: Maßnahme zu Abb. 21.2**

*Eine Ladungsakkumulation auf der Person wird verhindert durch Kombination von ableitfähigem Schuhwerk und ableitfähigem, geerdetem Fußboden.*



**Abb. 22.3: Maßnahme zu Abb. 21.3**

*Durch die Erdung wird eine Ladungsakkumulation auf dem Fass verhindert.*



**Abb. 22.4: Maßnahme zu Abb. 21.4**

*Verwenden leitfähiger Gebinde und Erdung des Kondensatbehälters sowie Verbindung von Eimer und Kondensatbehälter („bonding“) mittels Erdungszange, so dass sich alle leitfähigen Teile auf demselben Potenzial befinden, verhindern eine Ladungsakkumulation.*

## Was ist eine Büschelentladung?

Büschelentladungen können dann auftreten, wenn eine leitfähige, geerdete und gekrümmte Oberfläche (Elektrode) vorzugsweise mit einem Krümmungsradius von 5 mm bis 50 mm einem hohen elektrischen Feld – z. B. ausgehend von einer hoch aufgeladenen Oberfläche eines isolierenden Werk-

stoffes – ausgesetzt ist. Die Entladung breitet sich ausgehend vom Ort der größten Krümmung (höchste Feldstärke) in den Raum aus und zwar in Form eines hellen Entladungskanals, der sich nach mehreren Millimetern Länge fein verästelt (daher der Name Büschelentladung).

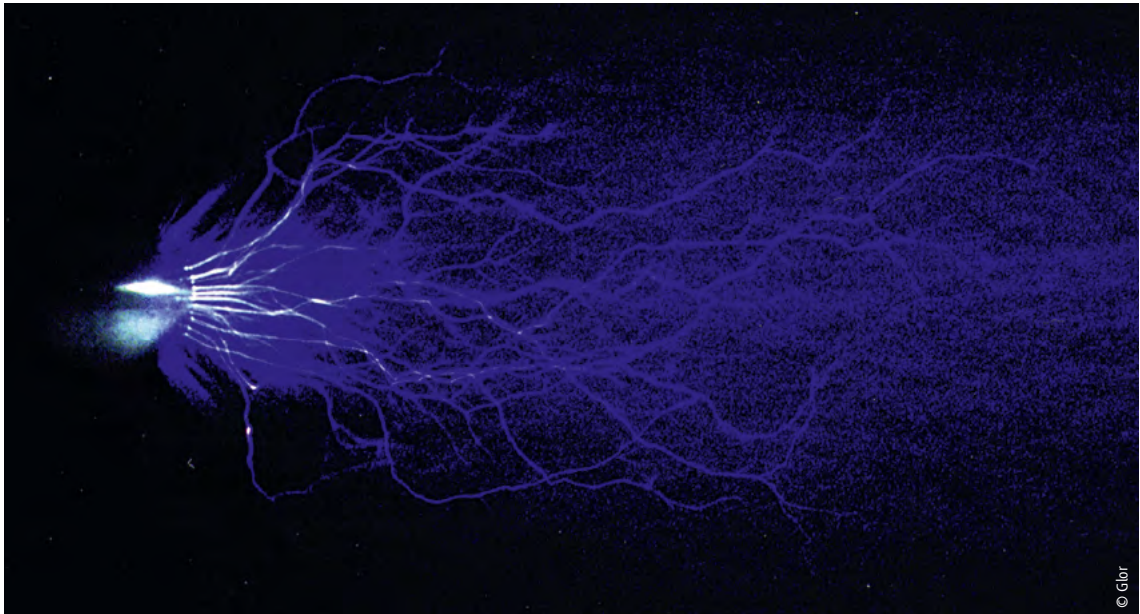


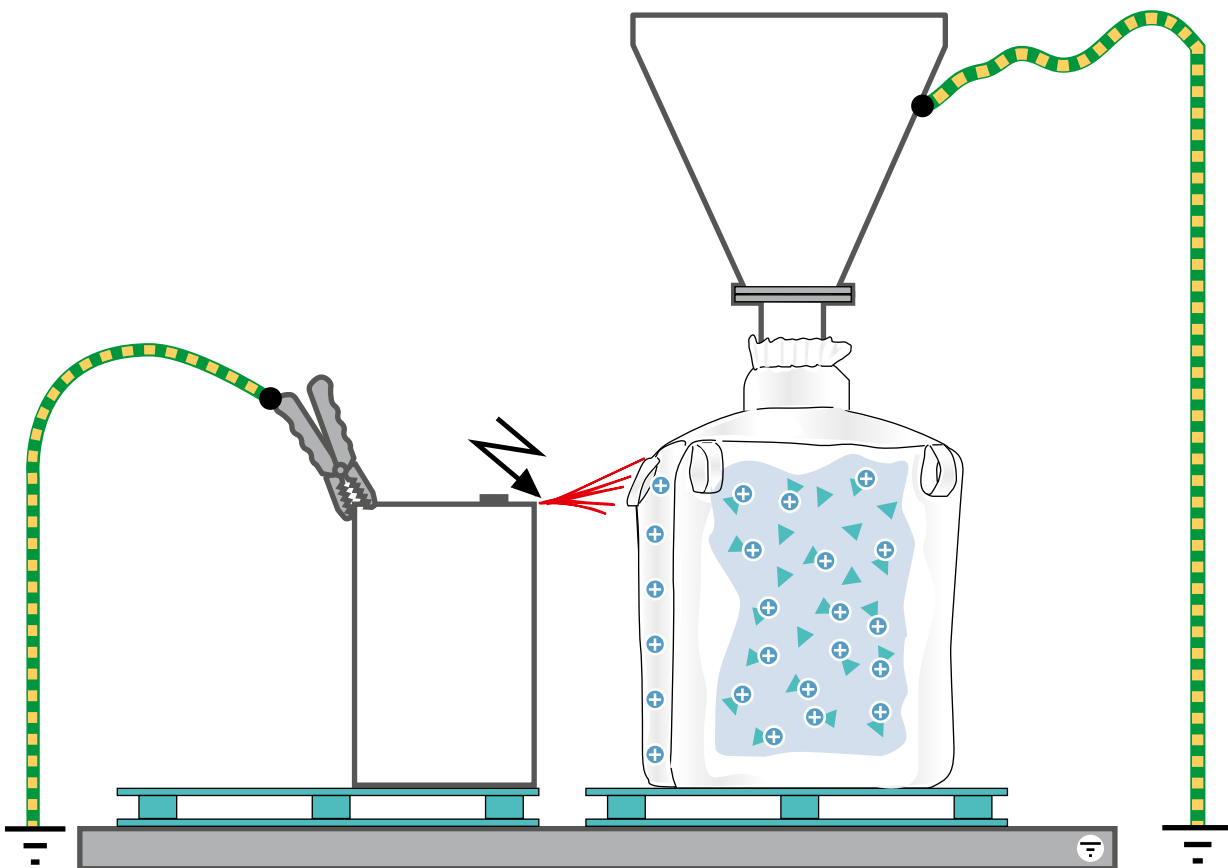
Abb. 23: Foto einer Büschelentladung

## Wann treten Büschelentladungen in der Praxis auf?

Für das Auftreten einer Büschelentladung ist es grundsätzlich belanglos, wie das hohe elektrische Feld erzeugt wird. Typische Beispiele aus der Praxis sind:

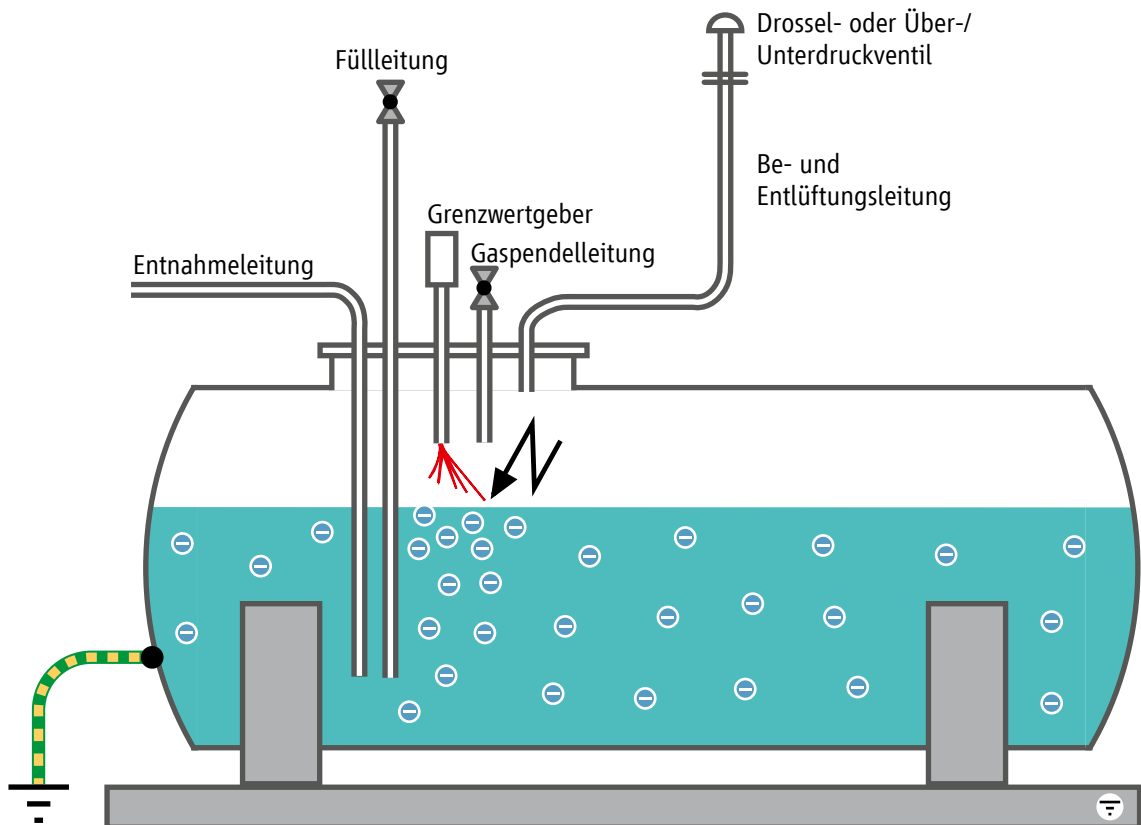
- Annähern einer leitfähigen Elektrode, wie Werkzeug oder Fingerspitze, an hoch aufgeladene, isolierende Oberfläche (z. B. Kunststoffleitung zur Flüssigkeits- oder Staubförderung, Kunststoff sack, Kunststoffgebinde, Filterschlauch, Folienbahn oder Förderband). Büschelentladung zwischen Kante von Metallfass und aufgeladenem, isolierendem Schüttgutbehälter (Abb. 24.1)
- Entleeren von Feststoffen aus einem Kunststoff sack oder Ausschütteln eines Kunststoff sackes in der Nähe von Metallarmaturen (z. B. über der Eintragsöffnung eines Reaktionskessels)
- Fördern einer isolierenden Flüssigkeit mit hoher Geschwindigkeit in einen Tank und Annäherung der aufgeladenen Flüssigkeitsoberfläche an ableitfähige oder leitfähige innere Einbauten (Abb. 24.2)
- Absenken eines leitfähigen, geerdeten Bechers auf eine hoch aufgeladene Flüssigkeitsoberfläche zwecks Probenentnahme
- Hineinragen von leitfähigen, geerdeten Einbauteilen in eine hoch aufgeladene Staubwolke oder einen hoch aufgeladenen Tröpfchennebel (Abb. 24.3)
- Eintragen von isolierendem, staubförmigen Produkt in Gebinde, Behälter oder Silos, Annäherung der hoch aufgeladenen Staubschüttung an innere Einbauteile oder Herablassen eines leitfähigen, geerdeten Bechers zur Probeentnahme oder einer Niveausonde zur Füllstandsbestimmung
- Hineinragen von Tankbe-/entlüftungsleitungen, Fahnenstangen, Antennen, Schiffsmasten oder Eispickeln in hohe atmosphärische Felder (Elmsfeuer bei Gewitter) (Abb. 24.4)



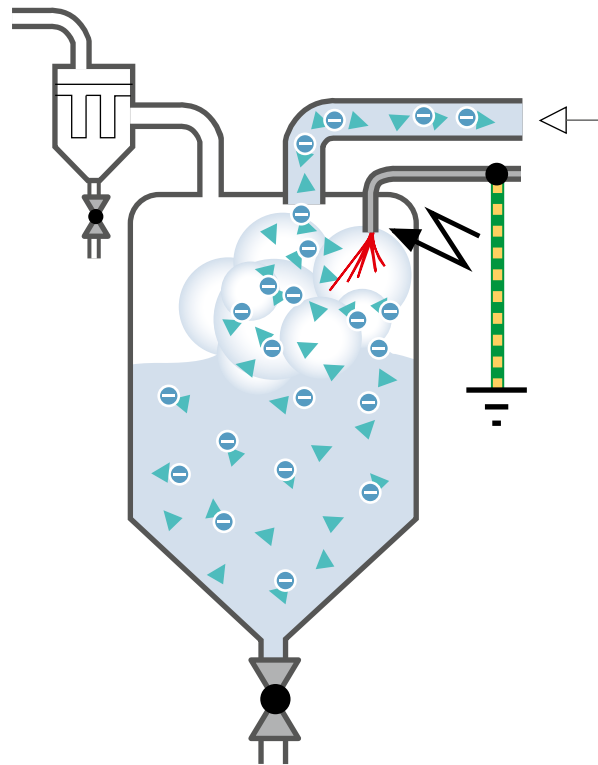


**Abb. 24.1: Büschelentladung ausgehend von einem Schüttgutbehälter**

*Ein Teil der aufgeladenen Oberfläche des isolierenden FIBC entlädt sich gegen einen geerdeten Gegenstand (Fass), dessen Rand eine geeignete Elektrode darstellt (geeignete Krümmung).*



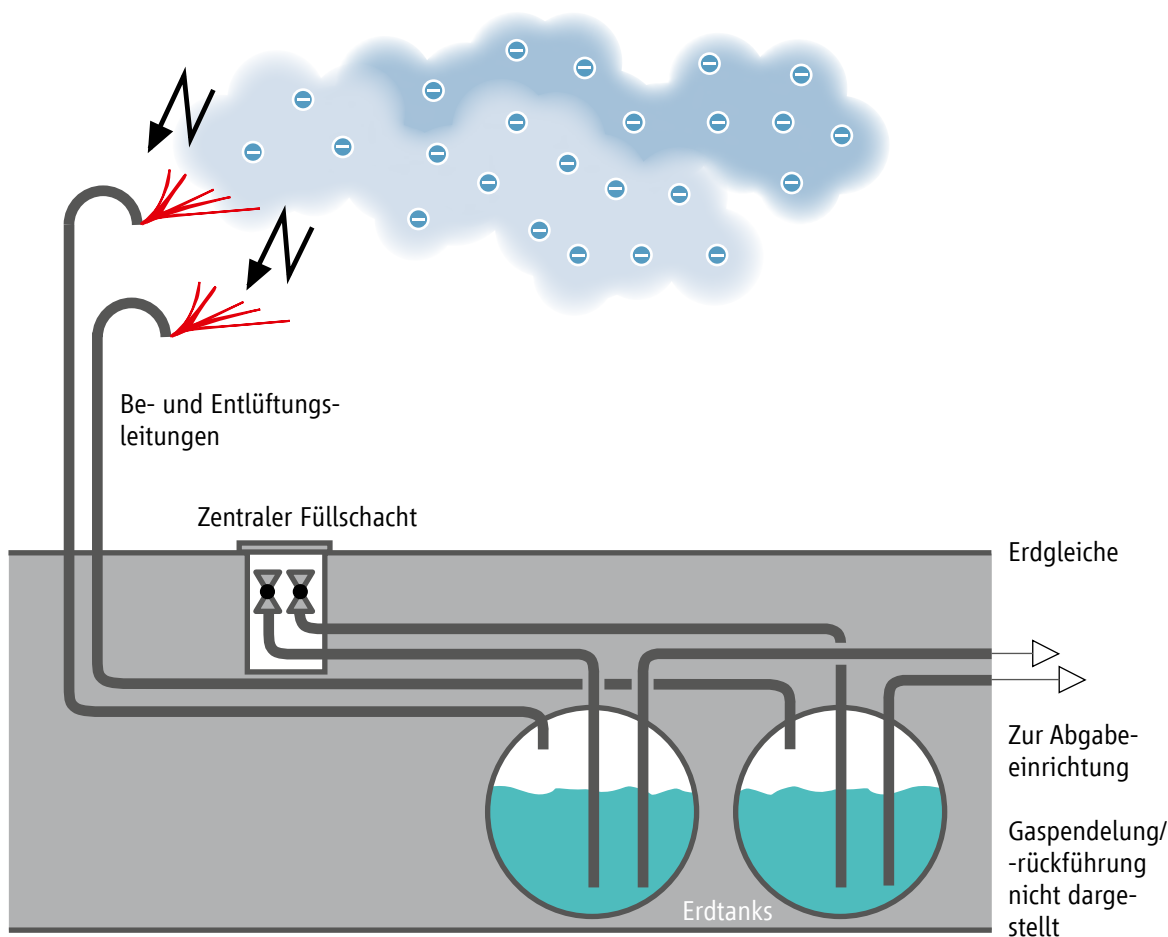
**Abb. 24.2: Büschelentladung ausgehend von einer aufgeladenen, isolierenden Flüssigkeit**  
 Die – z. B. durch einen Transportvorgang aufgeladene – isolierende Flüssigkeit entlädt sich bei Annäherung des Spiegels an geerdete Einbauten geeigneter Form (hier: Grenzwertgeber) in einer Büschelentladung.



**Abb. 24.3: Büschelentladungen ausgehend von einer aufgeladenen Staubwolke**

*Durch Transportvorgänge aufgeladenes, isolierendes Schüttgut mit Staubanteil wird in einen Behälter eingebracht. Aus der aufgeladenen Staubwolke können Büschelentladungen zu geerdeten Anlagenteilen erfolgen. In Abwesenheit von brennbaren Gasen/Dämpfen können Büschelentladungen brennbare Stäube nicht entzünden.*

## Beispiele von Büschelentladungen (Fortsetzung)



**Abb. 24.4: Büschelentladungen ausgehend von (aufgeladener) Gewitterwolke**

*An Spitzen/Kanten der geerdeten Be- und Entlüftungsleitungen der Tanks, können Büschel- und Coronaentladungen auftreten.*

## Wie zündwirksam sind Büschelentladungen?

Die Energie von Büschelentladungen lässt sich schwer direkt bestimmen. Messwerte für die mit Gasen bestimmte Äquivalentenergie liegen im Bereich von wenigen Millijoule. Gemäß heutigem Kenntnisstand können reine Staub/Luft-Gemische in Abwe-

senheit brennbarer Gase und Dämpfe nicht durch Büschelentladungen entzündet werden. Mit der Entzündung von explosionsfähigen Gas/Luft-, Dampf/Luft- oder hybriden Gemischen durch Büschelentladungen muss jedoch gerechnet werden.

## Wie können Büschelentladungen vermieden werden?

Büschelentladungen können vermieden werden, indem starke elektrische Felder, z. B. durch Verwenden leitfähiger Materialien und deren Erdung,

durch Begrenzen der Oberfläche isolierender Objekte oder durch Abschirmungsmaßnahmen, vermieden werden.



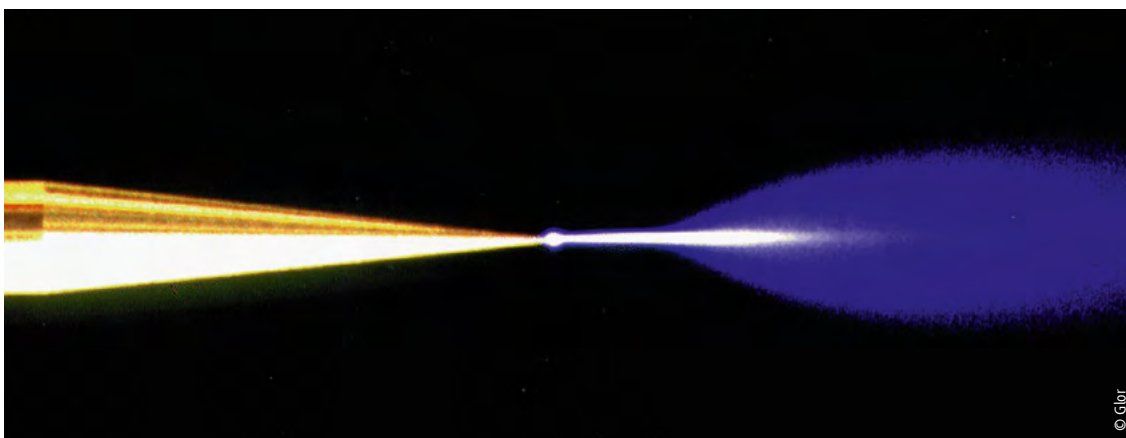
**Abb. 25: Vermeiden von Büschelentladungen durch Verwenden von leitfähigen, geerdeten Packmitteln (keine Kunststoffsäcke, keine Kunststoffbehälter)**

*Eine Ladungsableitung von Packmitteln aus isolierenden Materialien ist nicht durch Erdung oder Kontakt mit Erde möglich, daher sind diese Packmittel ungeeignet. Leitfähige Gebinde (hier: Fass) müssen bei Befüll- und Entleervorgängen geerdet sein, ableitfähige mit Erde verbunden sein.*

## Was ist eine Coronaentladung?

Ist der Krümmungsradius einer Elektrode sehr klein (kleiner als 1 mm), die in ein elektrisches Feld gebracht wird (z. B. durch Annäherung an eine aufgeladene Oberfläche eines Gegenstands aus isolierendem Material), wird das Feld in unmittelbarer Nähe der Spitze gestört. Es entsteht eine schwache, auf die unmittelbare Umgebung der Spitze beschränkte kontinuierliche Gasentladung (Coronaentladung). Diese Entladungsart ist bis auf wenige

Ausnahmen (z. B. bei gegenüber Luft erhöhter Sauerstoffkonzentration) nicht zündwirksam und spielt daher in der Praxis als wirksame Zündquelle keine Rolle (siehe auch Tabelle 1). Sie ermöglicht es jedoch, aufgeladene isolierende Oberflächen zu neutralisieren (Ladungsausgleich durch Ionisatoren, vgl. Tabelle 3, Abbildung 30.2 sowie S. 76/77 unter „Maßnahmen“).



**Abb. 26: Foto einer Coronaentladung (Entladung an einer Metallspitze)**

## Was ist eine Gleitstielbüschelentladung?

Eine Gleitstielbüschelentladung ist eine Entladung längs der Oberfläche einer beidseitig mit entgegengesetztem Vorzeichen sehr hoch aufgeladenen dün-

nen dielektrischen (isolierenden) Schicht. Die dielektrische Schicht kann entweder als „freitragende“ Wand oder als Beschichtung einer Metalloberfläche vorliegen.



**Abb. 27: Foto einer Gleitstielbüschelentladung**

*Oberhalb der Gleitstielbüschelentladung (GSB) befindet sich die geerdete Kugelelektrode (die GSB spiegelt sich darin), unterhalb liegt die hochaufgeladene, isolierende Oberfläche.*

## Wann treten Gleitstielbüschelentladungen in der Praxis auf?

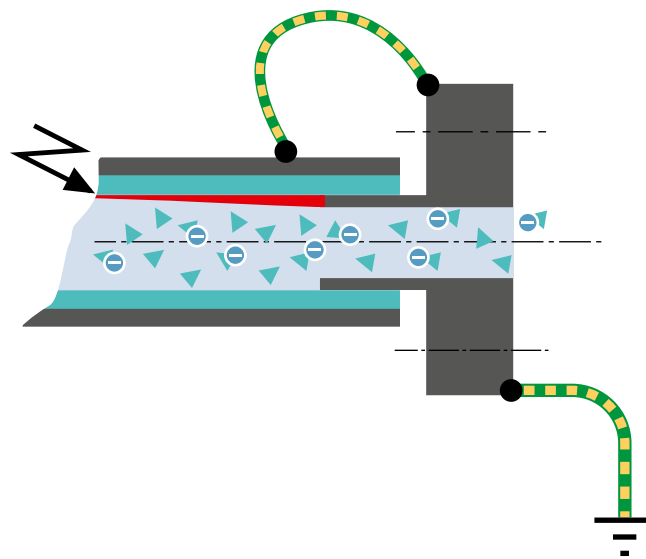
Es sind Aufladevorgänge im Zusammenhang mit hohen Trenngeschwindigkeiten und isolierenden Materialien hoher dielektrischer Festigkeit (hoher elektrischer Durchschlagfestigkeit) notwendig, wie sie etwa bei folgenden Operationen zu erwarten sind:

- Pneumatisches Fördern von Staub mit hoher Geschwindigkeit durch eine isolierende Rohrleitung oder durch eine leitfähige Rohrleitung mit isolierender Innenbeschichtung (Abb. 28.1)
- Fördern von isolierenden Flüssigkeiten mit hoher Geschwindigkeit durch eine isolierende Rohrleitung oder durch eine leitfähige Rohrleitung mit isolierender Innenbeschichtung
- Fortwährendes Aufprallen immer neuer Staubteilchen auf dieselbe Isolatoroberfläche oder auf eine isolierend beschichtete Metalloberfläche z. B. in

einem Staubabscheider (Zyklon: Abb. 28.2) oder an der Frontscheibe eines Flugzeuges beim Durchfliegen einer Wolke mit Eis- oder Staubpartikeln

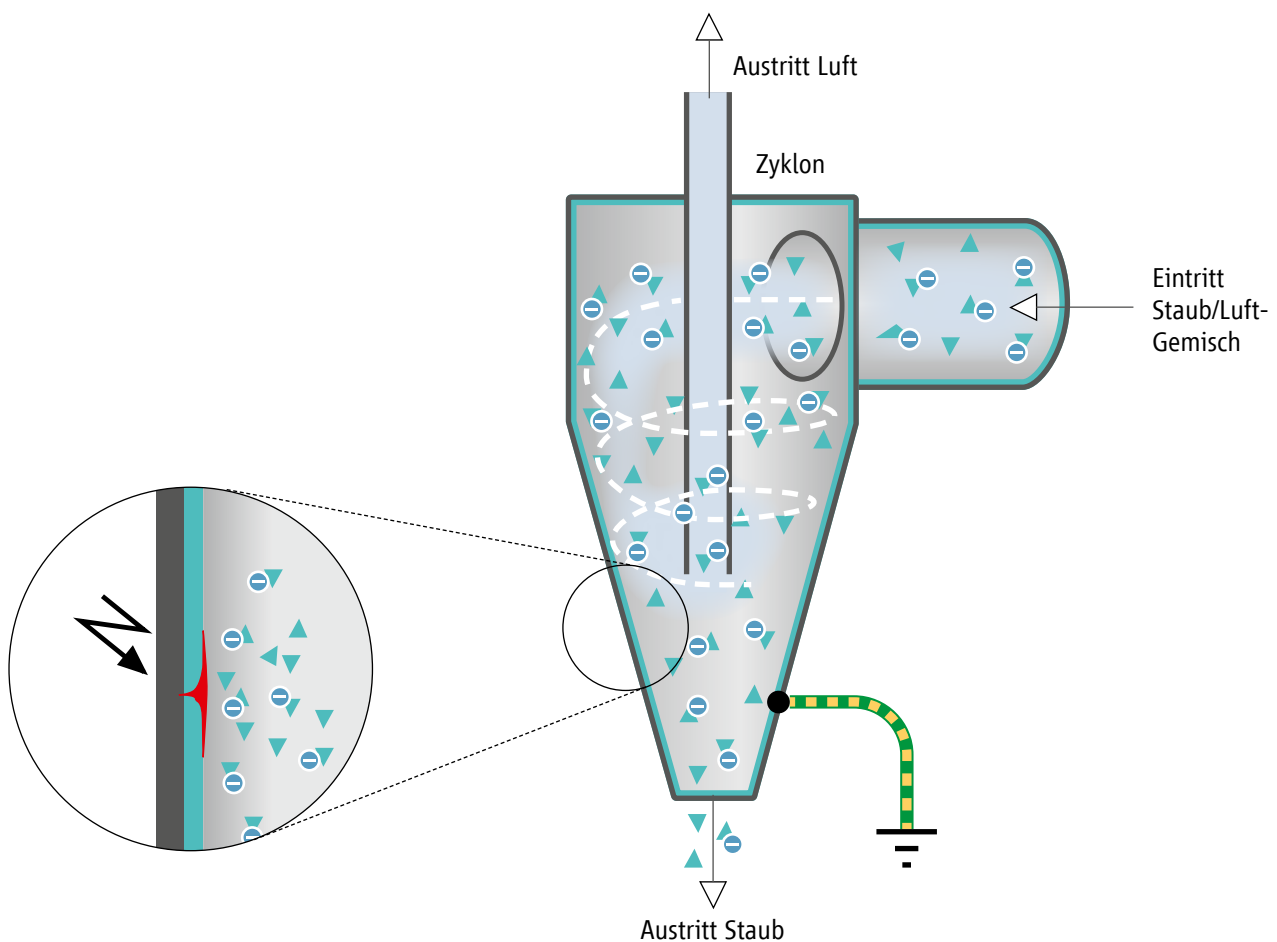
- Befüllen von isolierenden Großgebinden und Silos mit hochaufgeladenem, isolierendem Produkt (Abb. 28.3)
- Schnelles Umlaufen von isolierenden oder einseitig leitfähig beschichteten Förder- oder Antriebsbändern (Abb. 28.4)

Bei manuell bewirkten Trennvorgängen (z. B. Abreiben von isolierenden Oberflächen, Ausschütten von staubförmigem Produkt aus einem Kunststoff sack) treten üblicherweise keine so hohen Oberflächenladungsdichten, wie sie zur Entstehung von Gleitstielbüschelentladungen notwendig sind, auf.



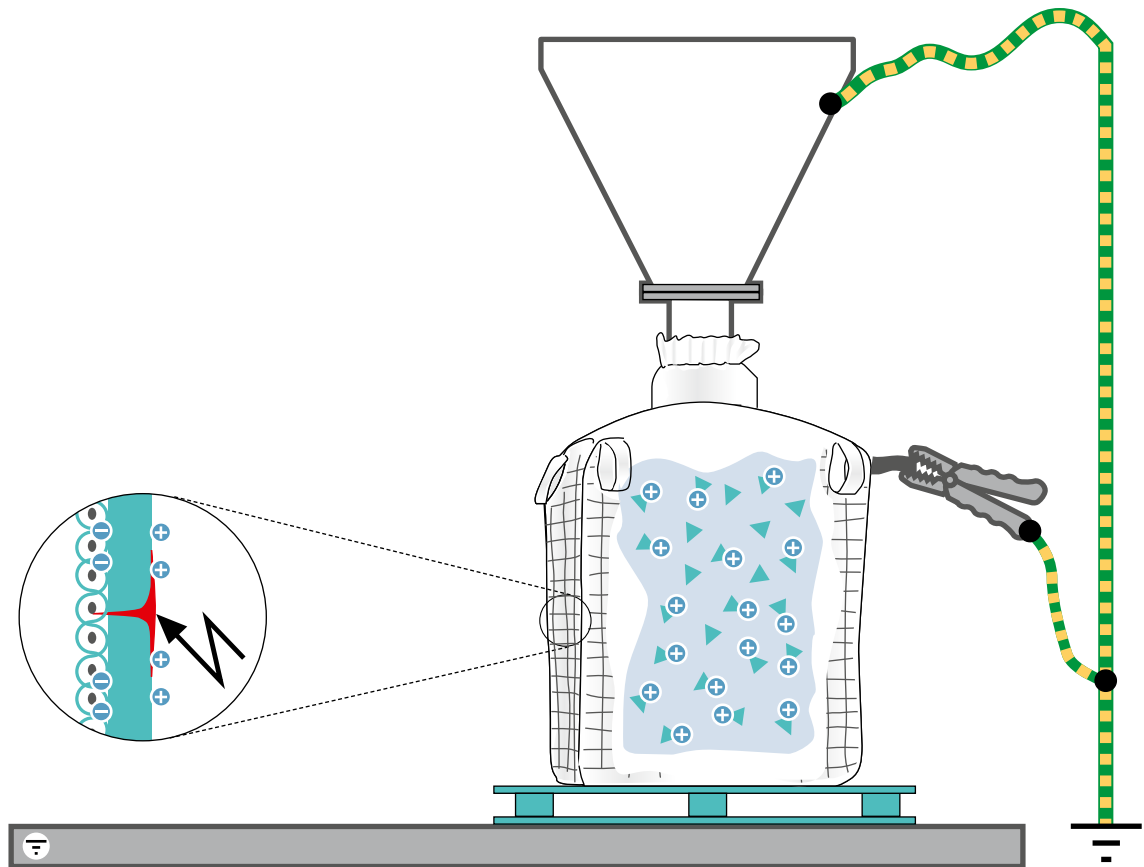
**Abb. 28.1: Gleitstielbüschelentladung an innen isolierend beschichteter Rohrleitung**

Der stark ladungserzeugende Prozess ist hier der pneumatische Transport von isolierendem Schüttgut durch die Leitung, die innen eine dünne isolierende Auskleidung besitzt. Die Gleitstielbüschelentladung erfolgt zum geerdeten Flansch.



**Abb. 28.2: Gleitstielbüschelentladung an innen isolierend beschichtetem Abscheider**

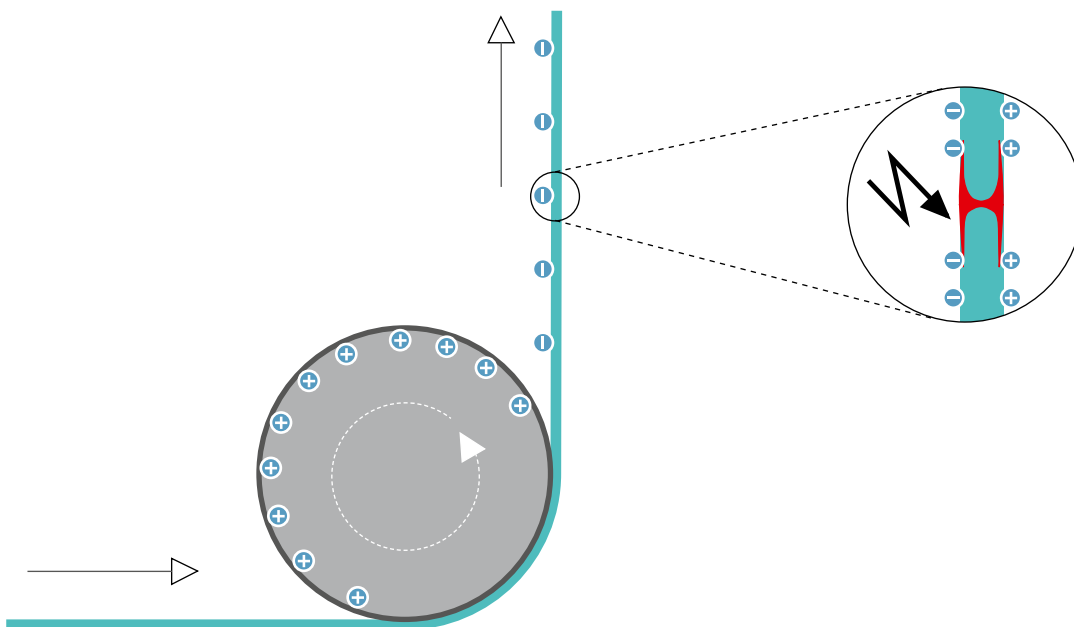
Der stark ladungserzeugende Prozess ist hier die pneumatische (maschinelle) Förderung des Staub/Luft-Gemisches in den Zyklon, der innen eine dünne isolierende Auskleidung besitzt. Die Gleitstielbüschelentladung erfolgt als Durchschlag durch die Auskleidung zum geerdeten Metallgehäuse des Zyklons.



**Abb. 28.3: Gleitstielbüschelentladung an isolierendem Schüttgutbehälter**

*Der stark ladungserzeugende Prozess ist hier die Befüllung des flexiblen Schüttgutbehälters (FIBC), der außen ein Gitter aus leitfähigen Fäden und innen einen dünnen, isolierenden „Liner“ besitzt. Die Gleitstielbüschelentladung erfolgt als Durchschlag zu einem leitfähigen, geerdeten Faden des FIBC. Wenn die Durchschlagsspannung des Liners weniger als 4 kV beträgt (FIBC Typ C), treten keine Gleitstielbüschelentladungen auf.*





**Abb. 28.4: Gleitstielbüschelentladung an isolierendem Förderband**

*Der stark ladungserzeugende Prozess ist hier die Umlenkung des schnelllaufenden Förderbandes an einer Rolle. Die Gleitstielbüschelentladung erfolgt als Durchschlag („pinholing“) durch das Förderband, an dem sich durch Anlagerung von Ionen entgegengesetzter Polarität eine elektrische Doppelschicht gebildet hat (vgl. Lupendarstellung).*

## Wie zündwirksam sind Gleitstielbüschelentladungen?

In einer Gleitstielbüschelentladung wird ein großer Teil der gesamten gespeicherten Energie freigesetzt. Die gespeicherte Energie kann entsprechend den Gesetzmäßigkeiten beim Plattenkondensator berechnet werden. Sie kann schon für aufgeladene

Flächen von  $0,1 \text{ m}^2$  mehrere Joule betragen. Mit einer Entzündung von explosionsfähigen Gas/Luft-, Lösemitteldampf/Luft- und Staub/Luft-Gemischen durch Gleitstielbüschelentladungen muss gerechnet werden.

## Wie können Gleitstielbüschelentladungen verhindert werden?

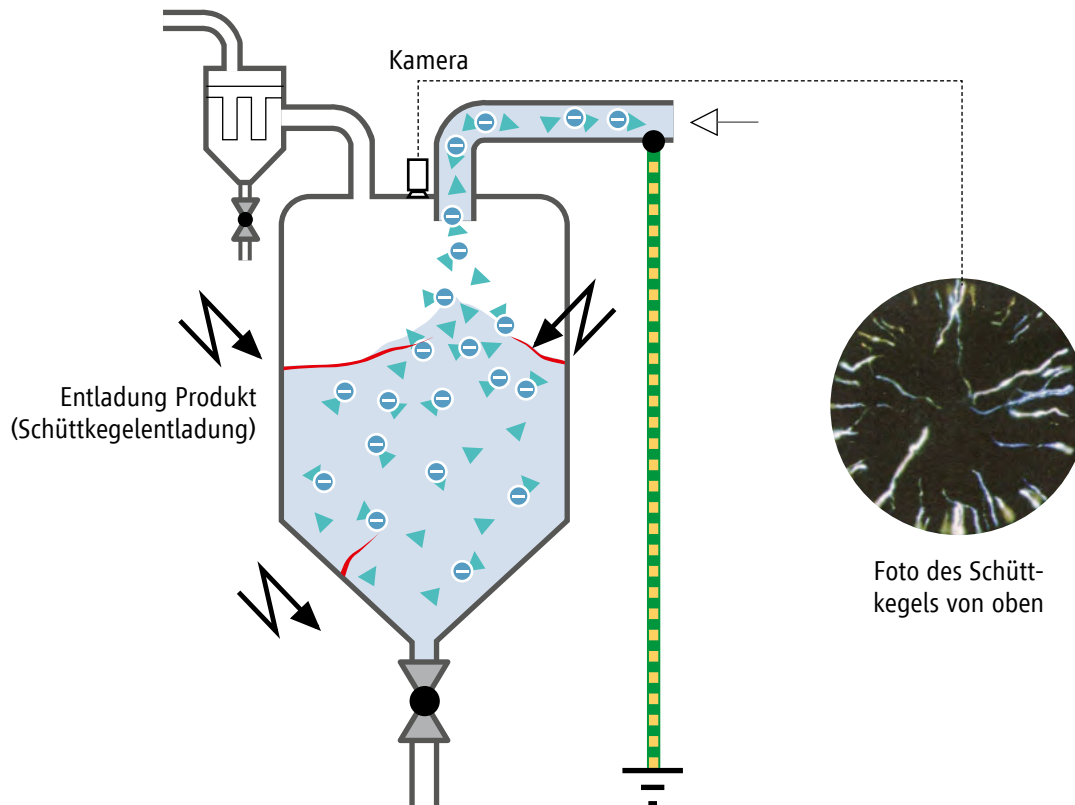
Gleitstielbüschelentladungen können durch das Verwenden von leitfähigen Werkstoffen oder Werkstoffen mit niedriger dielektrischer Festigkeit vermieden werden. Isolatorschichten (als Beschichtung einer

Metalloberfläche oder als freitragende Wand) mit einer Durchschlagspannung von weniger als 4 kV können toleriert werden. An derartigen Schichten können keine Gleitstielbüschelentladungen auftreten.

## Was ist eine Schüttkegelentladung?

Beim Befüllen von großen Silos und Behältern mit isolierenden Schüttgütern (z. B. pneumatischer Eintrag von Polymeren) werden Entladungen an der Schüttgutoberfläche, sogenannte Schüttkegelentladungen (SKE), beobachtet. SKE sind auch zündwirksam für brennbare Stäube; man kann die Äquivalentenergie einer SKE rechnerisch abschätzen, wenn der

Silodurchmesser und der Medianwert des Schüttgutes bekannt sind. Liegt der spezifische Widerstand des Schüttguts  $\rho$  unter  $10^{10} \Omega\text{m}$ , sind SKE in leitfähigen geerdeten Behältern nicht zu erwarten. Für das Beurteilen der Entstehung und die Zündwirksamkeit dieser Entladungen ist spezielles Fachwissen notwendig (vgl. auch TRGS 727, IEC 60079-32-1).



**Abb. 29: Schüttkegelentladungen in einem Silo**

Durch Transport aufgeladenes Schüttgut bildet im Silo in der Regel einen Schüttkegel, an dessen Oberfläche das neu eintretende Schüttgut herabrutscht. Das Herabrutschen führt zur Akkumulation von Ladungen und Spitzen in der Feldstärke. Dadurch treten insbesondere an der Oberfläche des Schüttkegels sehr hohe Ladungsdichten auf und die Durchbruchfeldstärke der Luft kann überschritten werden. Es resultieren Schüttkegelentladungen, die von der Wand des Silos ausgehen und radial in Richtung der Behälterachse verlaufen (vgl. Foto).

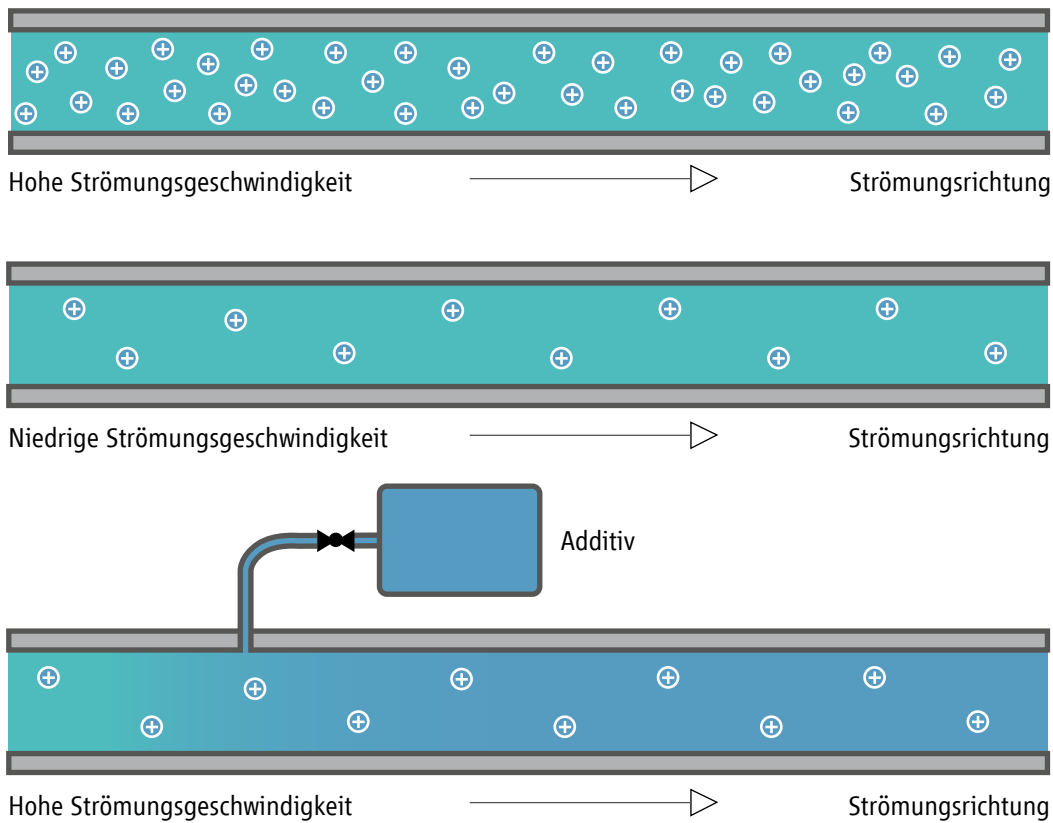
# 5 Maßnahmen gegen Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen

In Übereinstimmung mit dem grundsätzlich immer gleichen Ablaufschema von der Aufladung bis zur Entzündung können unterschiedliche Maßnahmen-

kategorien betrachtet werden (siehe Kapitel 1, Abbildungen 5 bis 7, S. 14ff.).

Ziel	Maßnahmen
Vermeiden hoher Aufladungen (Abbildung 30.1)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aufladung niedrig halten durch Begrenzen sämtlicher Trenn- und Fördergeschwindigkeiten.</li> <li>• Gefahrlose Ladungsableitung begünstigen durch Verwenden leitfähiger Materialien und durch Erden</li> </ul>
Vermeiden hoher Aufladungen (Abbildung 30.2)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ladungen neutralisieren durch Verwenden aktiver und passiver Ionisatoren</li> </ul>
Vermeiden zündwirksamer Entladungen (Abbildung 31.1 + 31.2)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Beurteilen der Zündwirksamkeit der möglichen Entladungen und der Zündempfindlichkeit der möglichen explosionsfähigen Gemische</li> <li>• Abhängig von den Bedingungen des Einzelfalls Voraussetzungen schaffen, die das Auftreten von zündwirksamen Entladungen verhindern/verringern, z. B. ableitfähige Beschichtungen oder Beschichtungen mit geringer Durchschlagspannung, um Gleitstielbüschelentladungen zu vermeiden.</li> </ul>
Vermeiden explosionsfähiger Atmosphäre (Abbildung 32.1 + 32.2)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vermeiden explosionsfähiger Brennstoffkonzentration, Vermindern des Sauerstoffgehaltes (Inertisieren).</li> </ul>
Begrenzen der Explosionswirkungen auf ein tolerierbares Maß (Abbildungen 32.3+ 32.4)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Konstruktiver Explosionsschutz, z. B. explosionsfeste Bauweise, Explosionsdruckentlastung, Explosionsunterdrückung sowie Entkopplung</li> </ul>

**Tabelle 3: Schutzmaßnahmen**

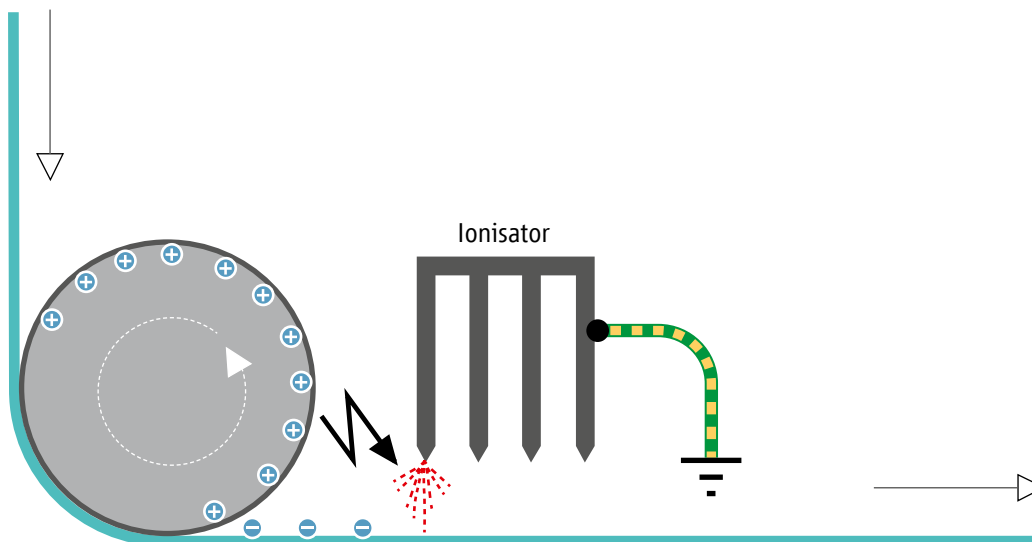


**Abb. 30.1: Maßnahmen zur Vermeidung hoher Aufladungen – Flüssigkeiten**

*Oben: Hohe Strömungsgeschwindigkeit führt zu hoher Aufladung*

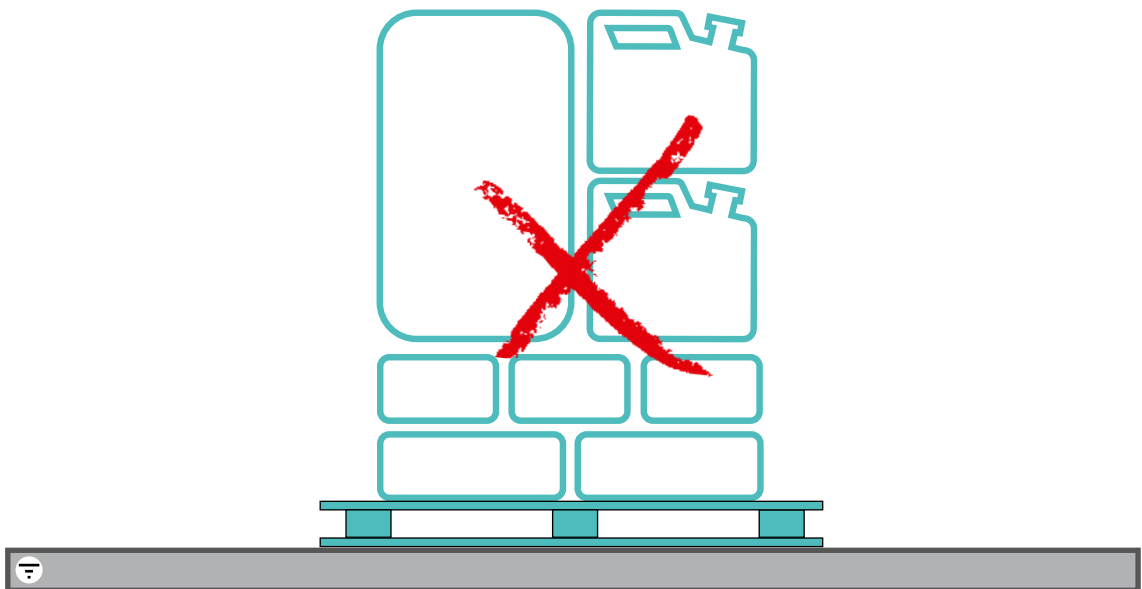
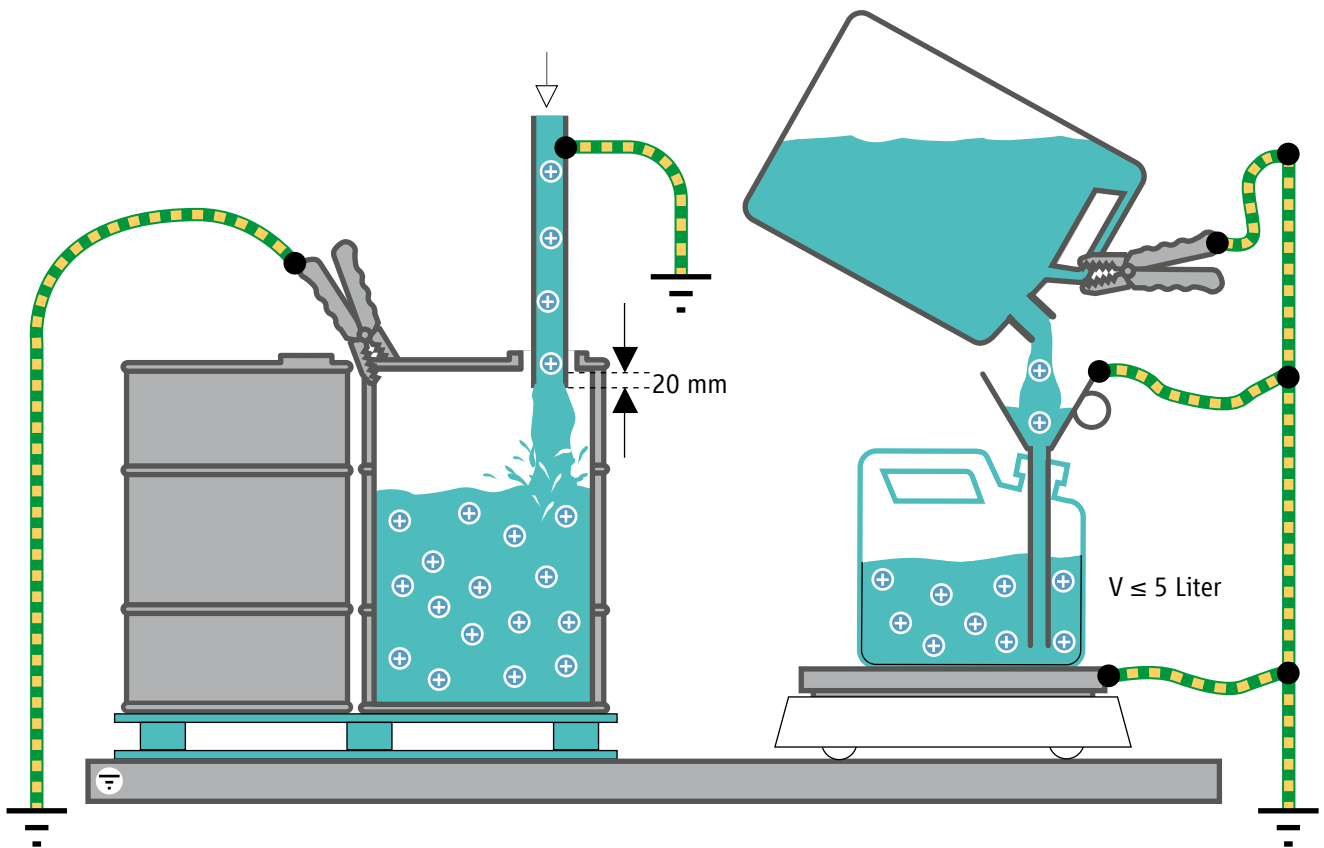
*Mitte: Reduzierte Strömungsgeschwindigkeit führt zur Reduzierung der Aufladung*

*Unten: Erhöhen der Leitfähigkeit der Flüssigkeit (Zugabe von leitfähigen Additiven) führt zu einer Reduzierung der Aufladung der Flüssigkeit.*



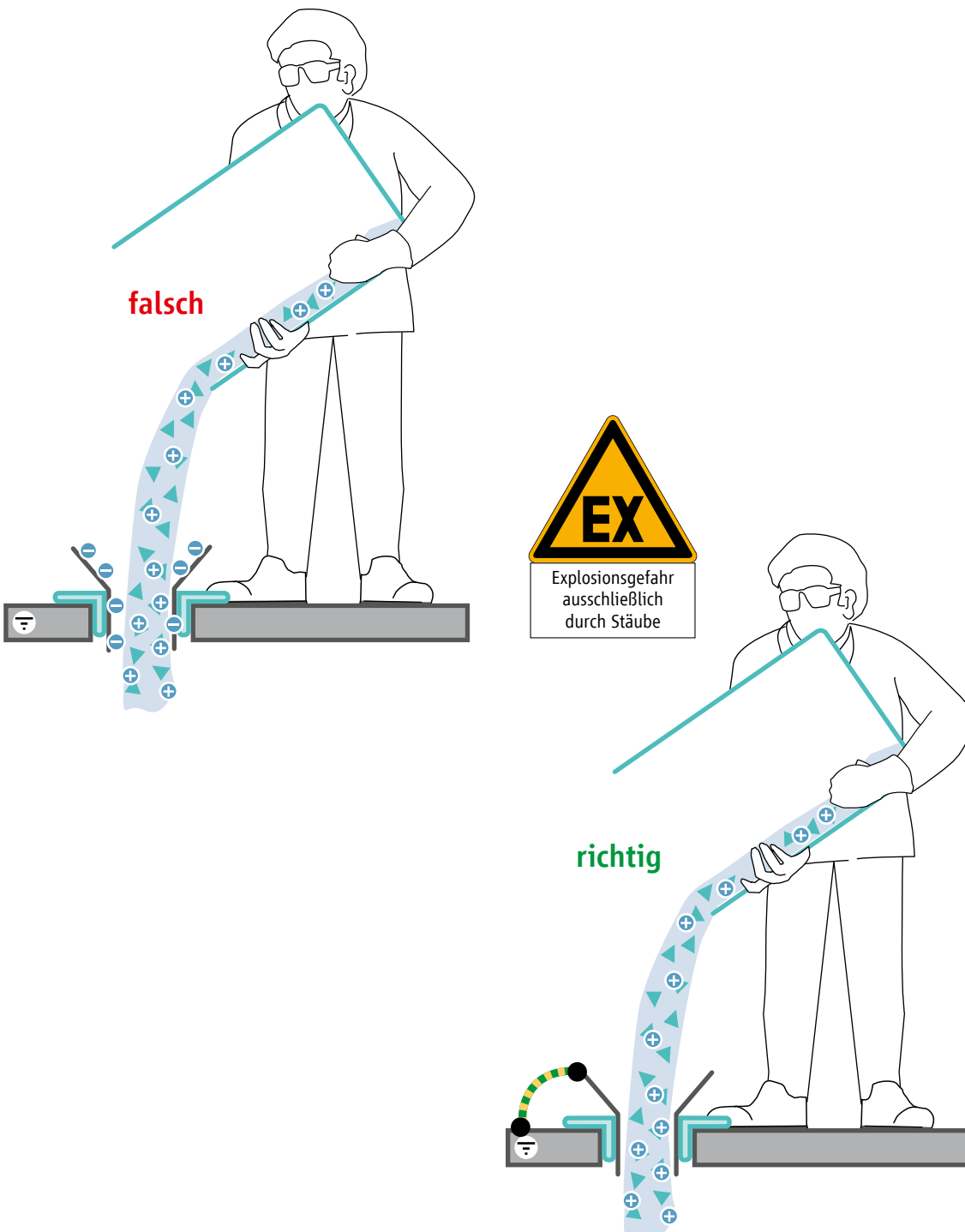
**Abb. 30.2: Maßnahmen zur Vermeidung hoher Aufladungen – Isolierende Oberflächen**

*Reduzierung der Aufladung isolierender Oberflächen (Kunststoff-/Papierbahnen) durch metallische Spitzen (Ionisatoren), an denen durch Coronaentladung Ladungen freigesetzt werden, entweder passiv oder aktiv (gestützt durch Hochspannung). Diese Ladungen kompensieren die auf der aufgeladenen Oberfläche befindlichen.*



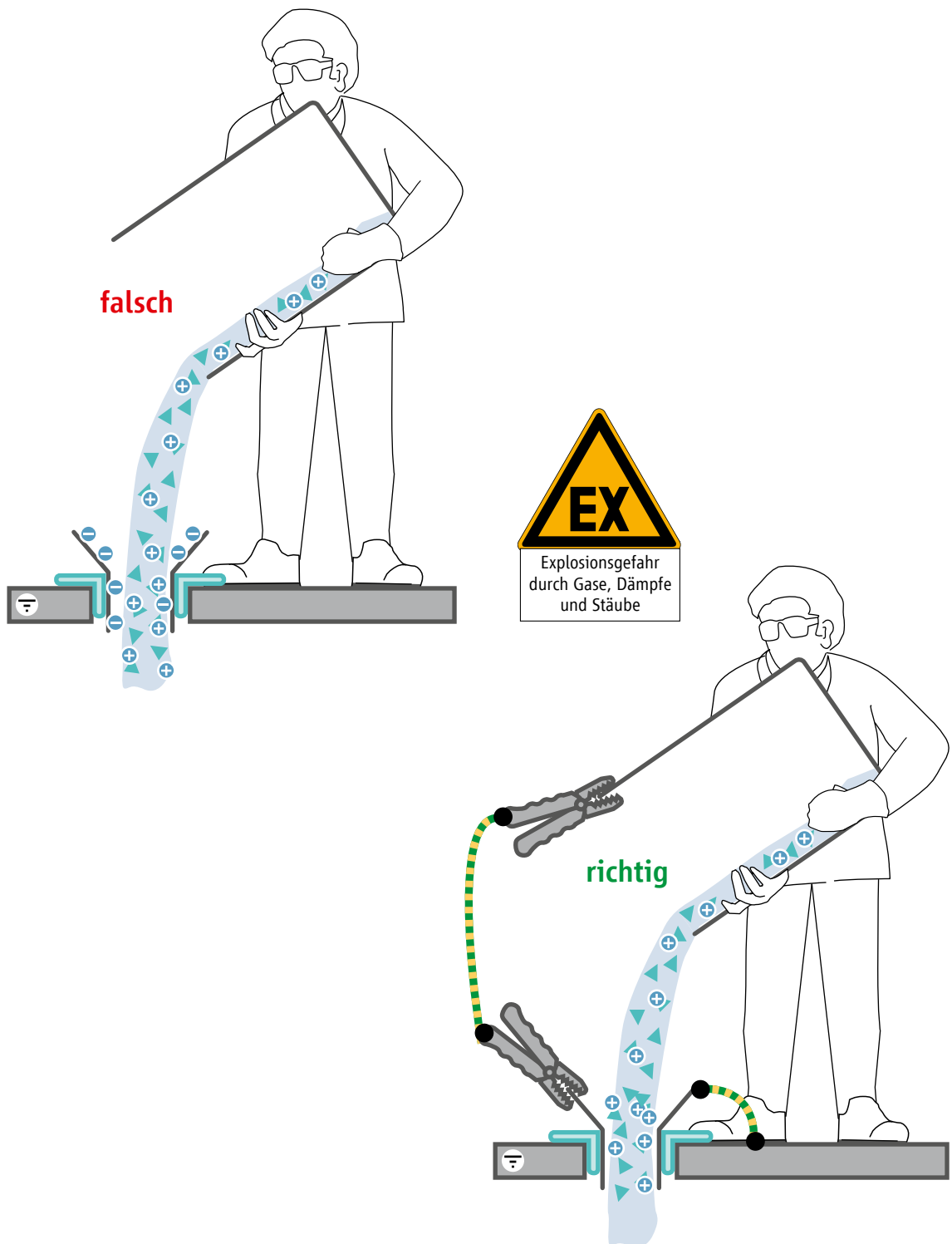
**Abb. 31.1: Maßnahmen beim Umfüllen von brennbaren Flüssigkeiten**

*Isolierende Gebinde sind nur zulässig, wenn ihr Volumen 5 Liter nicht überschreitet. Alle leitfähigen Gegenstände und Einrichtungen müssen während der Befüllung und Entleerung geerdet, ableitfähige mit Erde verbunden werden. Bei Obenbefüllung darf das geerdete Füllrohr maximal 20 mm in das Gebinde hineinragen, damit keine Büschelentladungen von der Flüssigkeitsoberfläche auftreten. Gebinde aus isolierenden Materialien dürfen bei Explosionsgefahr durch Gase/Dämpfe nicht verwendet werden, da durch Erdung/Erkontakt die Ladungsakkumulation auf dem Gebinde nicht verhindert werden kann.*



**Abb. 31.2: Maßnahmen beim Eintrag von brennbaren Stäuben**

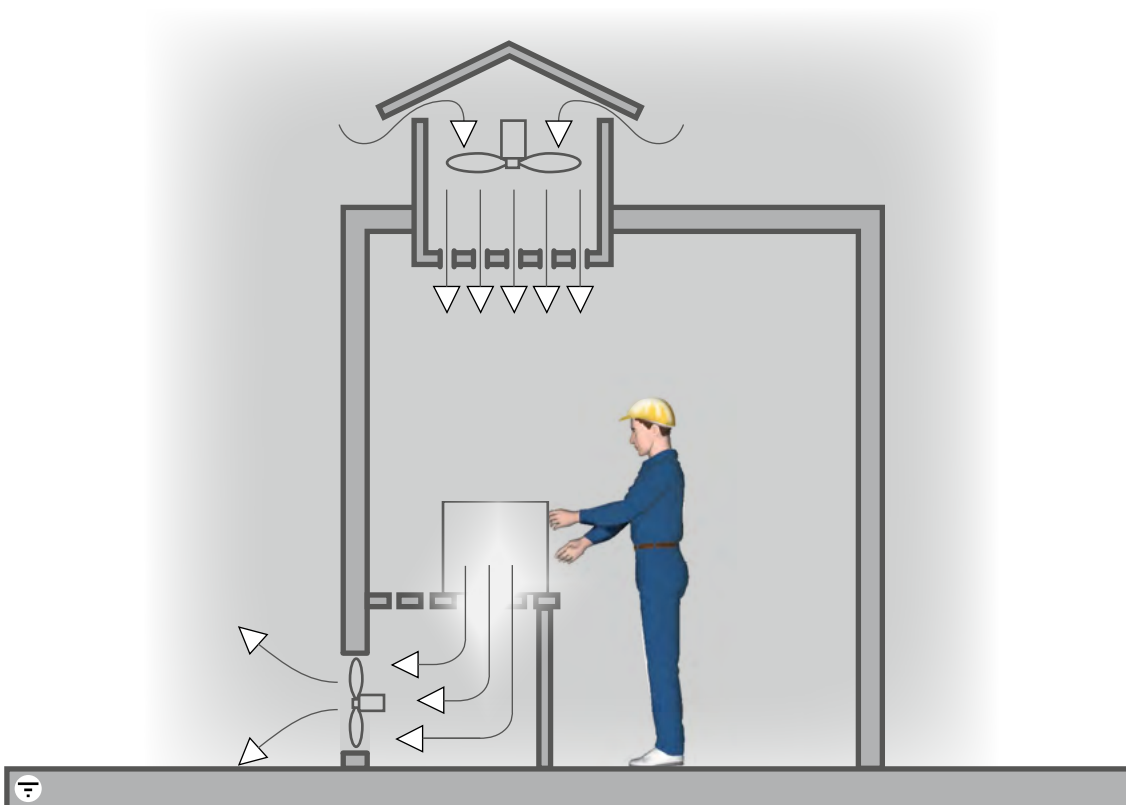
*Besteht Explosionsgefahr durch Stäube in Abwesenheit von Gasen/Dämpfen, dann sind isolierende Schüttgutgebilde tolerierbar, leitfähige Einrichtungen und Gegenstände müssen geerdet werden, ableitfähige mit Erdkontakt versehen werden.*



**Abb. 31.3: Maßnahmen beim Eintrag von brennbaren Stäuben in Lösemittel**

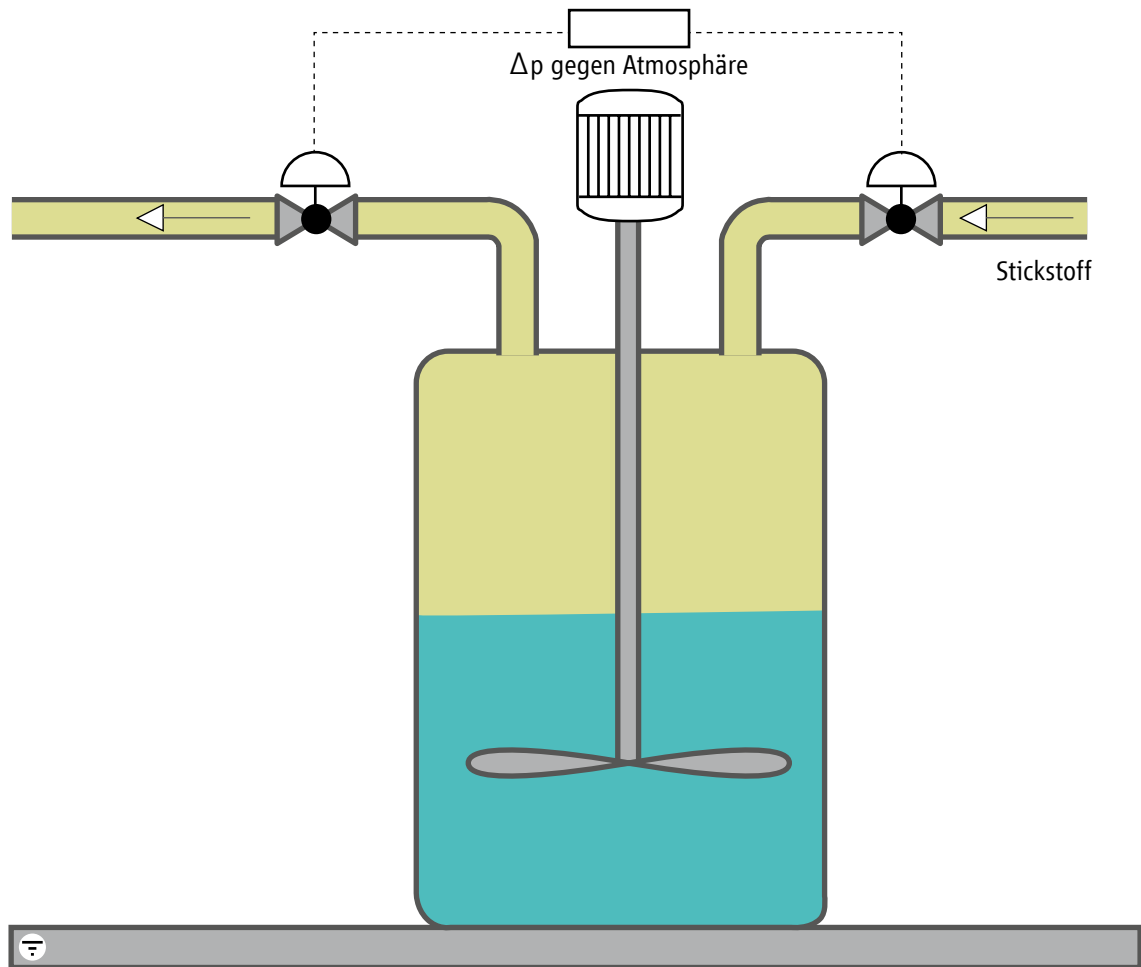
Besteht Explosionsgefahr auch durch Gase/Dämpfe, so müssen leitfähige oder ableitfähige Gebinde verwendet werden. Leitfähige müssen geerdet, ableitfähige mit Erdkontakt versehen werden. Büschelentladungen ausgehend vom Schüttgut können nicht vermieden werden. Bei rein manueller Zugabe von geringen Mengen im freien Fall sind zündwirksame Entladungen nur selten zu erwarten (siehe auch Kapitel 8 und 9, S.81 ff.).





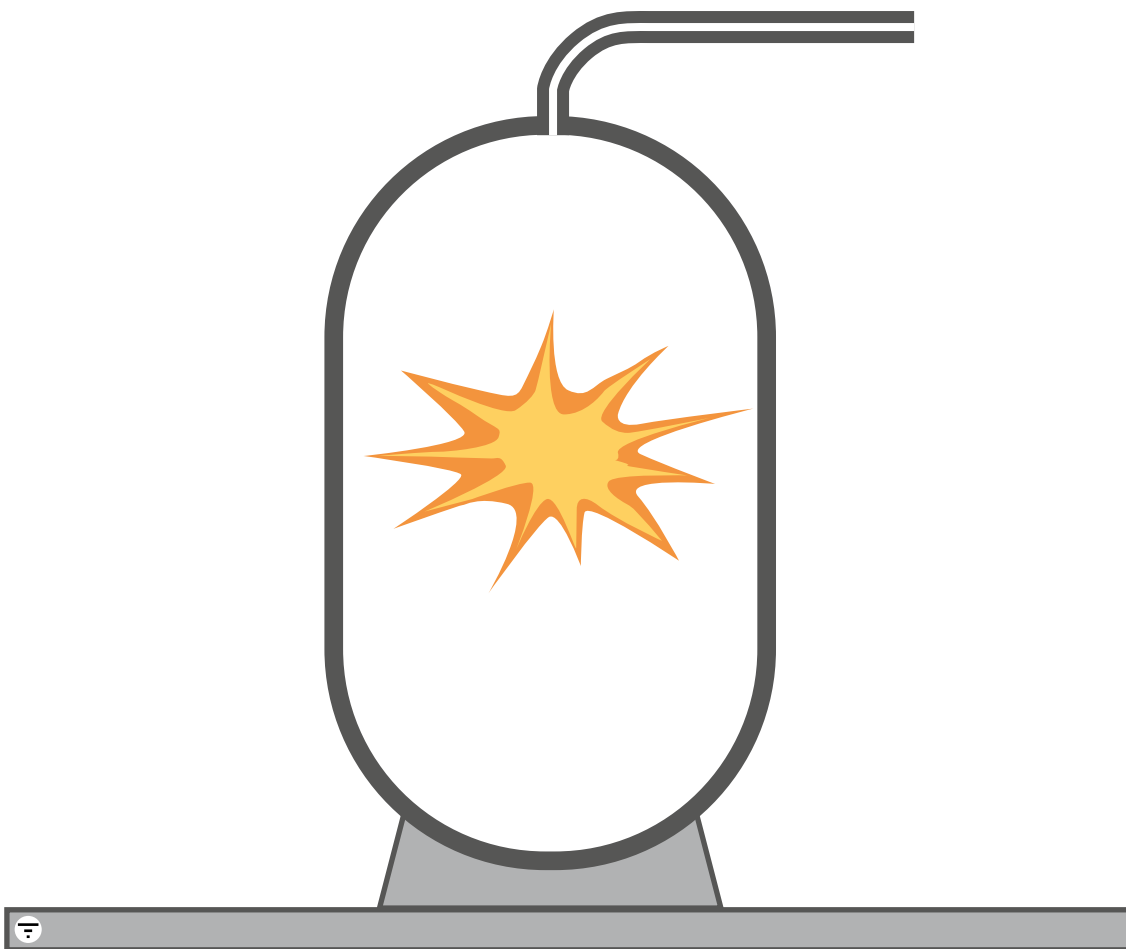
**Abb. 32.1: Maßnahme zur Vermeidung explosionsfähiger Gemische – Lüftung**

*Gezielte Absaugung freigesetzter brennbarer Stäube/Gase/Dämpfe zur Vermeidung des Auftretens explosionsfähiger Gemische.*



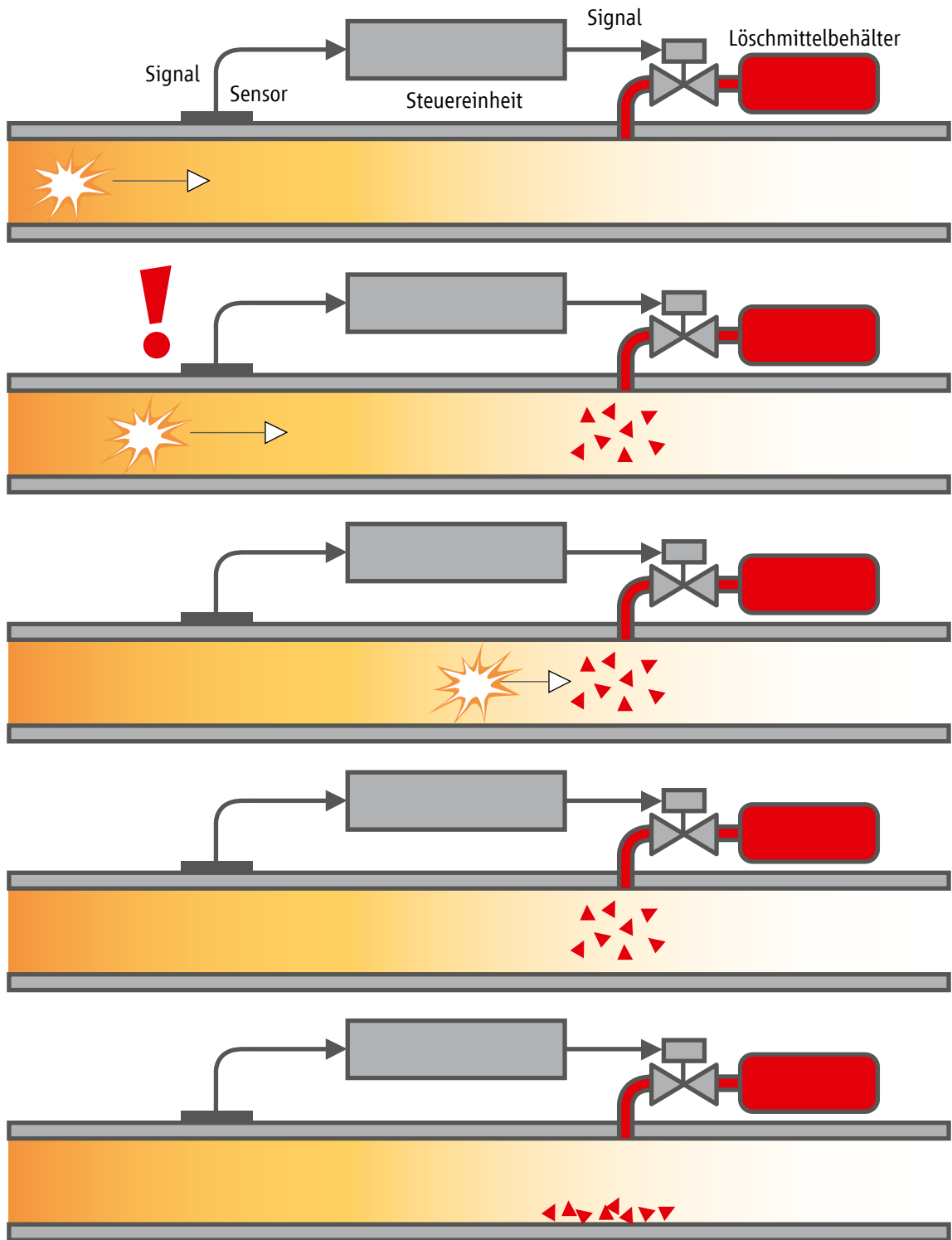
**Abb. 32.2: Maßnahme zur Vermeidung explosionsfähiger Gemische**

*Vermeidung des Auftretens explosionsfähiger Gemische durch Inertisierung der Anlage, womit der Sauerstoffgehalt in der Anlage unter der Sauerstoffgrenzkonzentration (SGK) gehalten wird. Das Innere des Behälters wird unter einem Stickstoffüberdruck gegen Atmosphäre gehalten, damit ein Eindringen von Luft verhindert wird.*



**Abb. 32.3: Maßnahme zur Vermeidung der Auswirkungen einer Explosion – explosionsfeste Bauweise**

*Durch explosionsfeste Behälter wird verhindert, dass bei einer Explosion der Behälter birst (konstruktive Schutzmaßnahme). Dadurch werden Auswirkungen der Explosion auf die Umgebung der Anlage verhindert.*



**Abb. 32.4: Maßnahme zur Vermeidung der Auswirkungen einer Explosion – Entkopplung**

Schematische Darstellung des zeitlichen Ablaufs von oben nach unten: Bei einer Schutz-einrichtung zur Entkopplung erkennt ein Sensor eine heranlaufende Explosion in einer Rohrleitung, gibt ein Signal an eine Steuereinheit, die ihrerseits veranlasst, dass ein Löschmittel im weiteren Verlauf der Rohrleitung freigesetzt wird. Die Einrichtung muss so angeordnet sein, dass das Löschmittel die Explosion löscht und eine weitere Ausbreitung in der Rohrleitung verhindert wird (konstruktive Schutzmaßnahme).

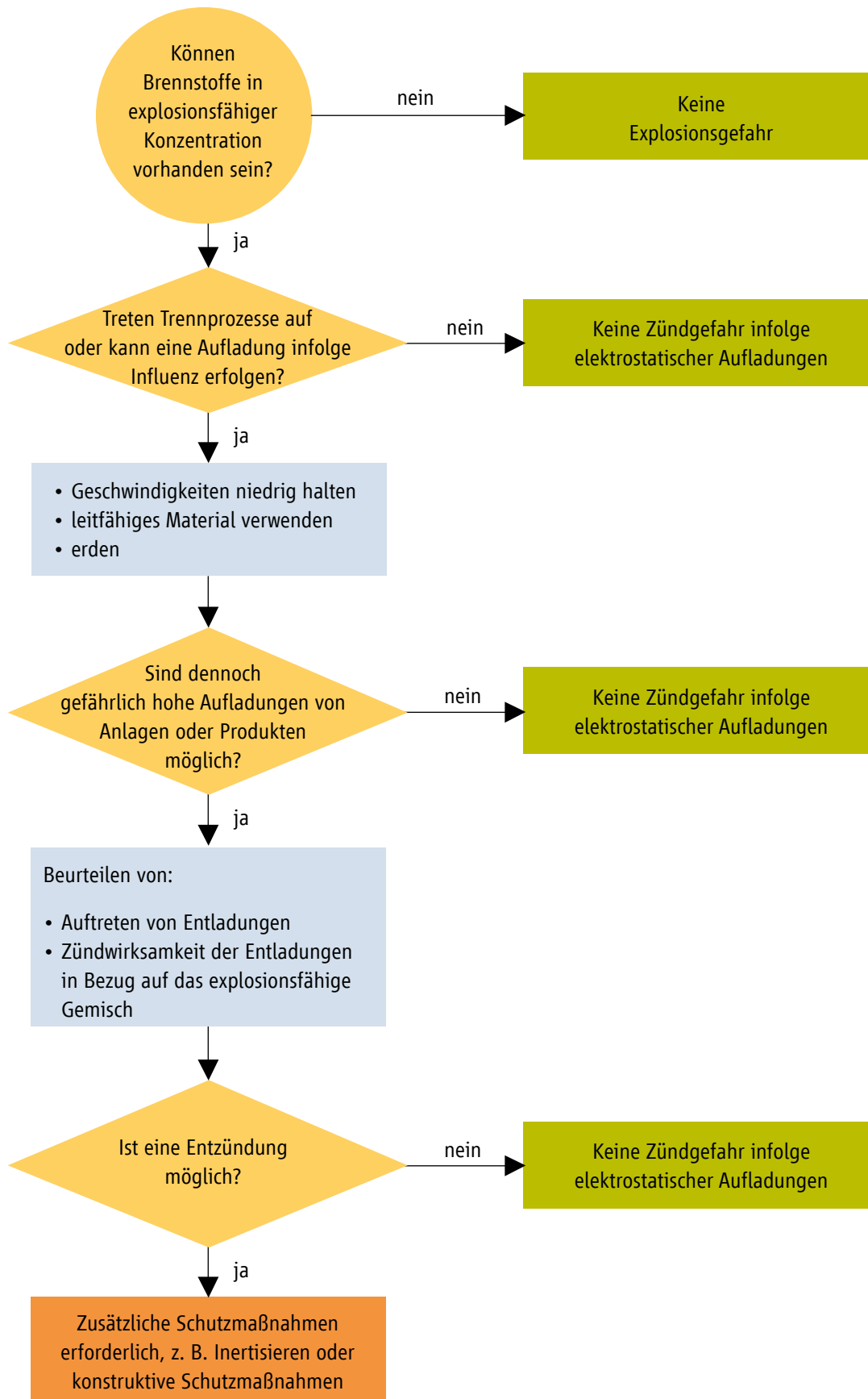


Abb. 33: Entscheidungsbaum für das Beurteilen von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen

# 6 Umgang mit brennbaren Flüssigkeiten und Gasen

Für das genaue Beurteilen der bei brennbaren Flüssigkeiten und Gasen bestehenden Gefahren und der zu treffenden Maßnahmen müssen die Stoffeigenschaften wie Leitfähigkeit und Flammpunkt (bei den Flüssigkeiten) sowie die Mindestzündenergie bekannt sein.

Die im folgenden ausgeführten Empfehlungen sollen als Beispiele dienen, wie in der Praxis den Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen begegnet werden kann. Neben den aufgezeigten Schutzmaßnahmen können in der Praxis je nach

spezieller Situation auch andere Schutzmaßnahmen hinreichend oder zusätzlich erforderlich sein. Auf die Angabe von Grenzwerten wurde absichtlich verzichtet, da diese je nach Land unterschiedlich festgelegt sein können.

**Beim Umgang mit brennbaren Flüssigkeiten in Gegenwart von Luft muss immer mit explosionsfähiger Atmosphäre gerechnet werden, sofern die Arbeitstemperatur oberhalb des Flammpunktes der Flüssigkeit liegt.**

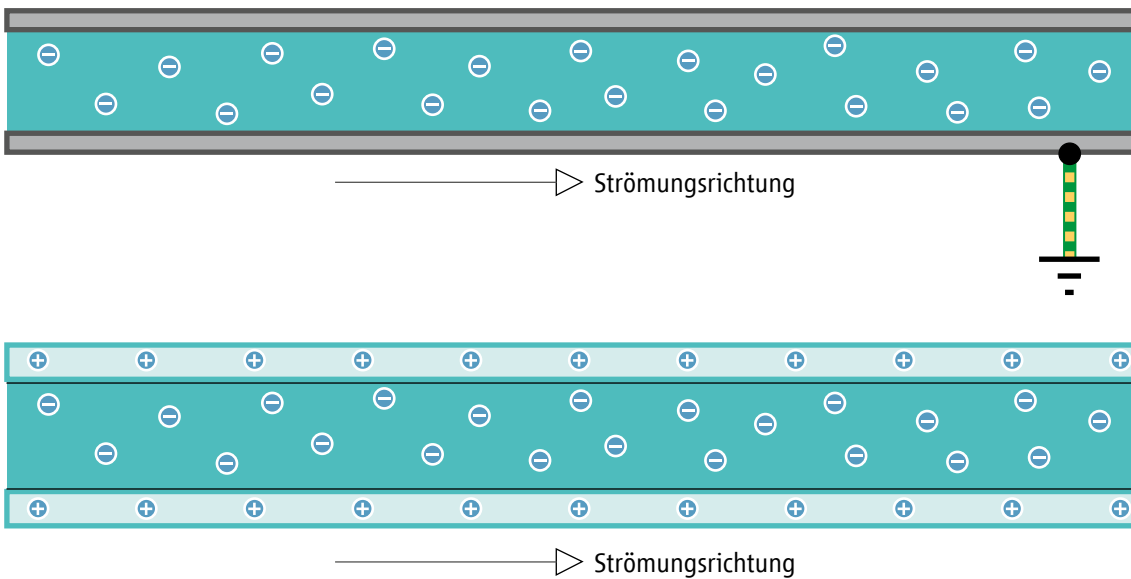
## Wann und wodurch besteht Gefahr?

- Brennbare Flüssigkeiten können explosionsfähige Dampf/Luft-Gemische bilden, sofern die Temperatur nicht hinreichend tief unter dem Flammpunkt liegt (siehe IVSS-Broschüre „Gasexplosionen – Schutz vor Explosionen durch brennbare Gase, Dämpfe oder Nebel im Gemisch mit Luft“).
- Brennbare Flüssigkeiten können durch Versprühen (Tröpfchennebel) auch bei Temperaturen unterhalb ihres Flammpunktes zu einer explosionsfähigen Atmosphäre führen.
- Brennbare Gase können explosionsfähige Gas/Luft-Gemische bilden (siehe Abbildung 2).
- Flüssigkeiten können z. B. beim Strömen, Umfüllen, Rühren oder Versprühen zu gefährlich hohen Aufladungen von sich selbst oder von Anlagenteilen, Gebinden usw. führen (siehe Abbildung 34.1, 34.2, 34.3 und 34.4).

Schon durch Beimischen geringer Mengen nicht löslicher Feststoffe (Suspensionen) oder nicht mischbarer Flüssigkeiten (Emulsionen) kann die Flüssigkeitsaufladung außerordentlich hoch werden (siehe Abbildung 35.1 und 35.2).

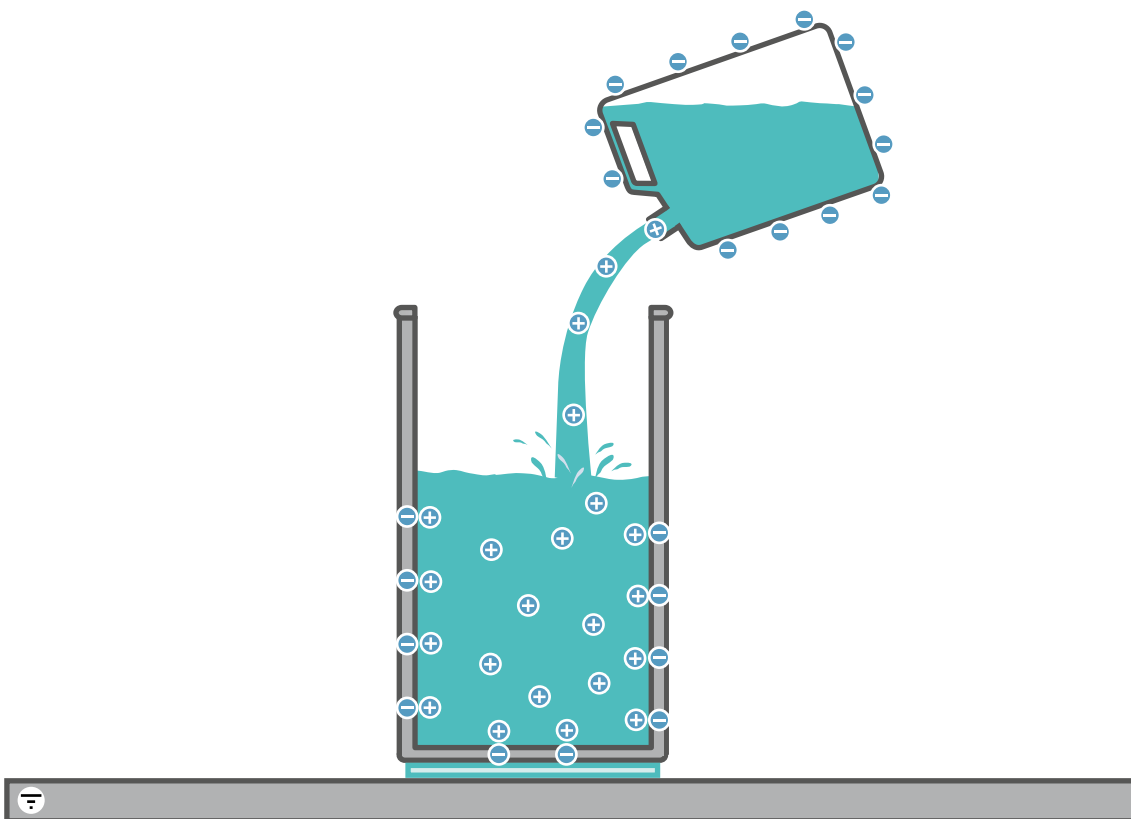
Reine Gase laden sich beim Strömen nicht auf. In der betrieblichen Praxis sind Gase aber oft durch Partikel oder Tröpfchen verunreinigt, die sich aufladen können (z. B. kann normale Pressluft winzige Öltröpfchen enthalten, die sich bei der Anwendung sehr hoch aufladen können) (siehe Abbildung 36.1 und 36.2).

Durch sekundäre Prozesse (z. B. Gehen des Menschen, Abreiben einer Isolatoroberfläche, Bewegen eines Förderbandes, Abziehen von Folien/Etiketten) können hohe Aufladungen herbeigeführt werden (siehe Abbildungen 8.3, 8.4 und 37).



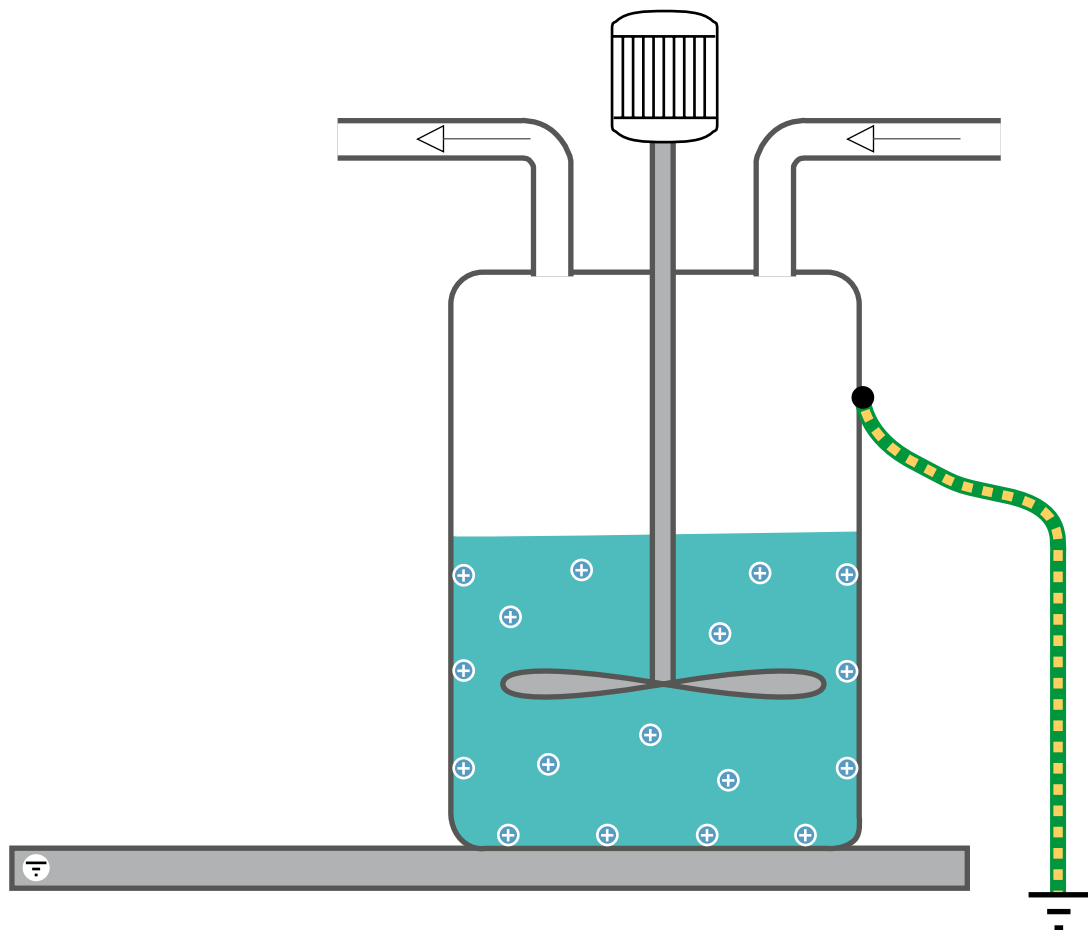
**Abb. 34.1: Strömen einer isolierenden Flüssigkeit durch eine Rohrleitung (Metall, Glas, Kunststoff)**

Beim Strömen von isolierenden Flüssigkeiten können diese – unabhängig vom Material der Leitung (oben: leitfähig, geerdet, unten: isolierend, z. B. Glas, Kunststoff) – hoch aufgeladen werden.



**Abb. 34.2: Umfüllen einer isolierenden Flüssigkeit**

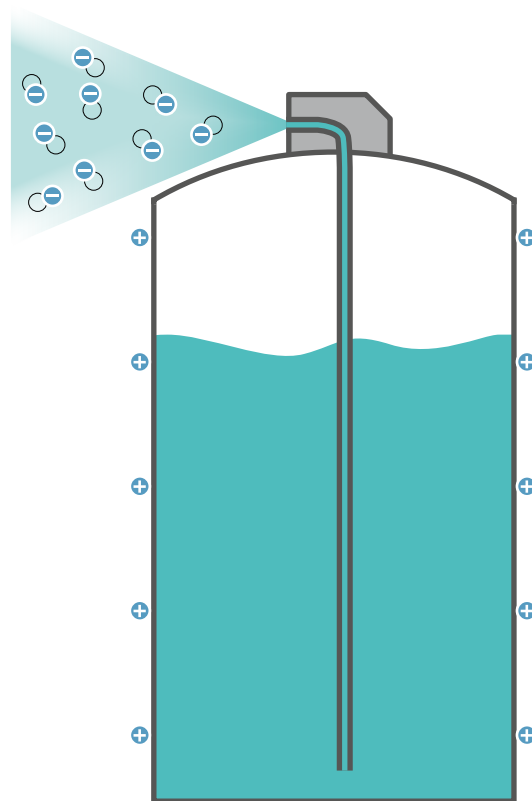
Beim Umfüllen werden isolierende Flüssigkeiten hoch aufgeladen und laden nachfolgend ein leitfähiges Zielgebilde, das nicht geerdet ist, durch Influenz auf.



**Abb. 34.3: Rühren einer isolierenden Flüssigkeit**

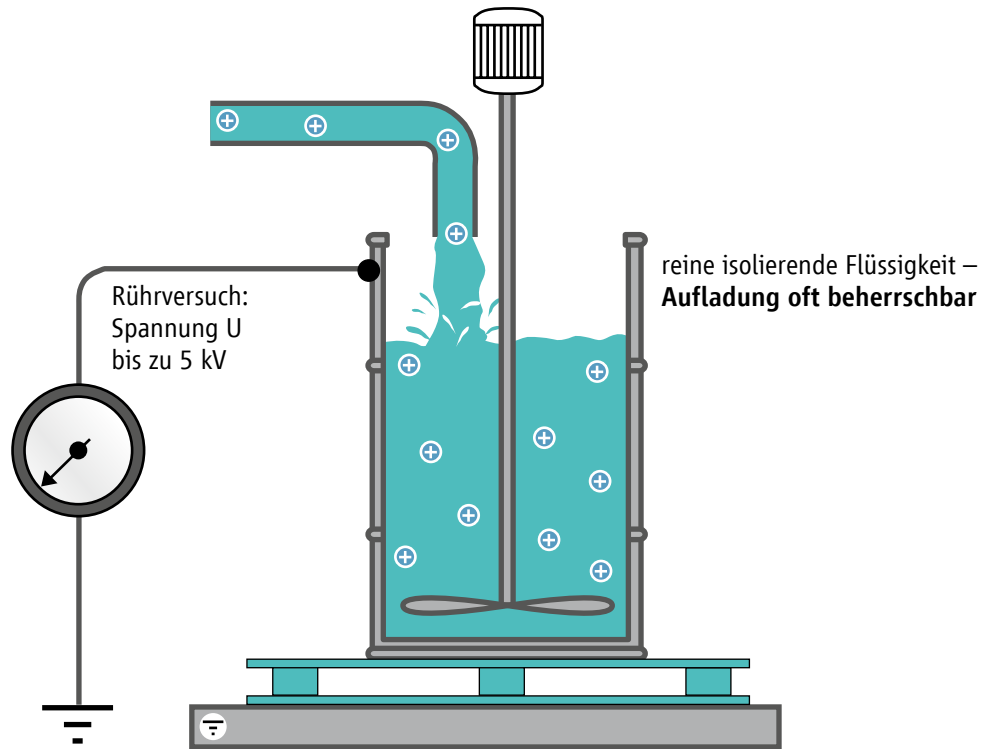
*Beim Rühren können insbesondere isolierende Flüssigkeiten sehr hoch aufgeladen werden.*





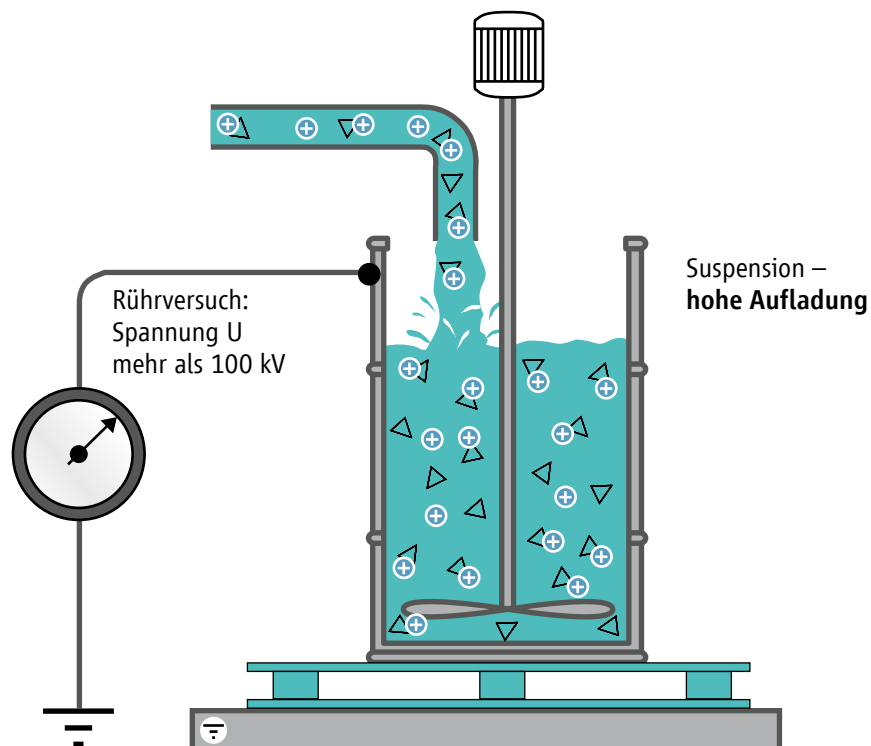
**Abb. 34.4: Verdüsen einer isolierenden Flüssigkeit**

*Beim Verdüsen/Zerstäuben einer Flüssigkeit sind die entstehenden Tröpfchen (Sprühnebel oder Aerosol) aufgrund der effektiven Trennprozesse (vgl. Abb. 8.5) hoch aufgeladen. Dies gilt unabhängig von der Leitfähigkeit der Flüssigkeit, da die Ladungstrennung sehr schnell erfolgt.*



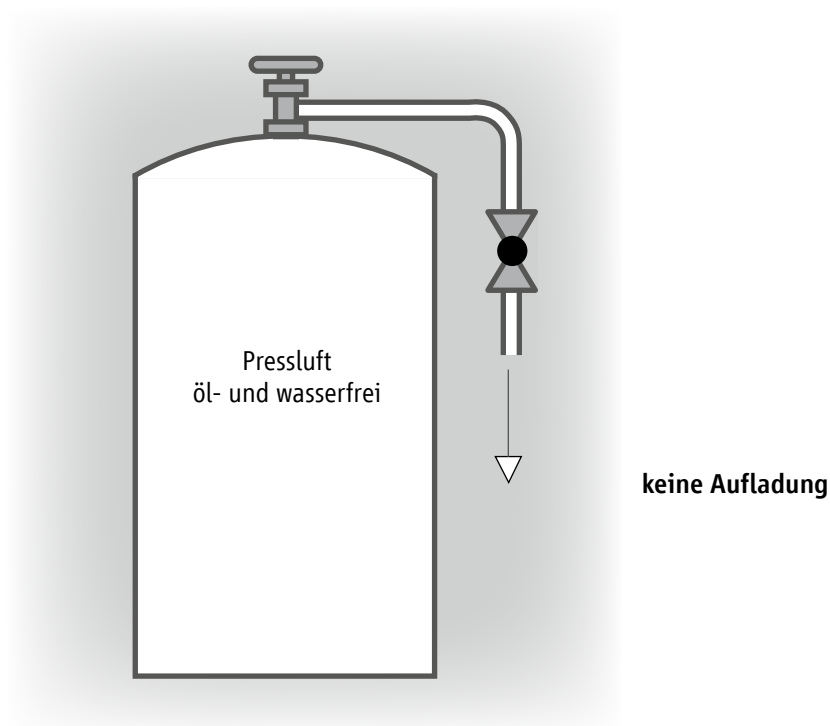
**Abb. 35.1: Aufladung einer isolierenden Flüssigkeit ohne Zugabe von nicht löslichen Feststoffen oder Flüssigkeiten**

*Reine, isolierende Flüssigkeiten können beim Rühren hoch aufgeladen werden. Ohne Zugabe von nicht löslichen Feststoffen oder Flüssigkeiten ist diese Aufladung in vielen Fällen jedoch noch beherrschbar.*



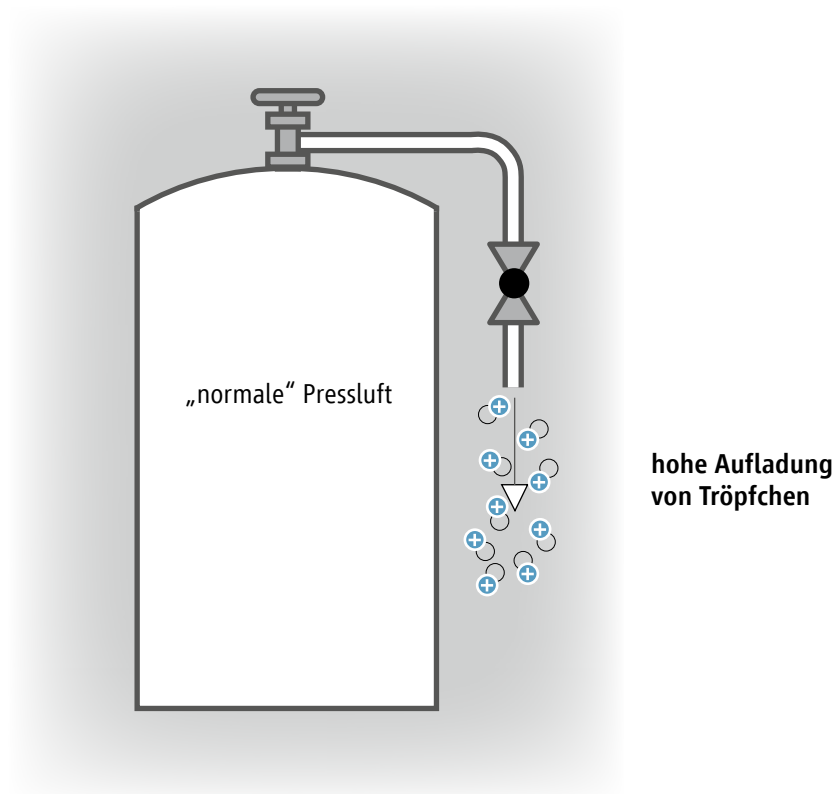
**Abb. 35.2: Erhöhung der Aufladung einer isolierenden Flüssigkeit durch Zugabe von nicht löslichen Feststoffen oder Flüssigkeiten**

*Enthält eine isolierende Flüssigkeit nicht lösliche Feststoffe oder Flüssigkeiten, so wird diese Suspension bzw. Emulsion beim Strömen und Rühren so hoch auf aufgeladen, dass zusätzliche Maßnahmen zu ergreifen sind (z. B. Inertisierung).*



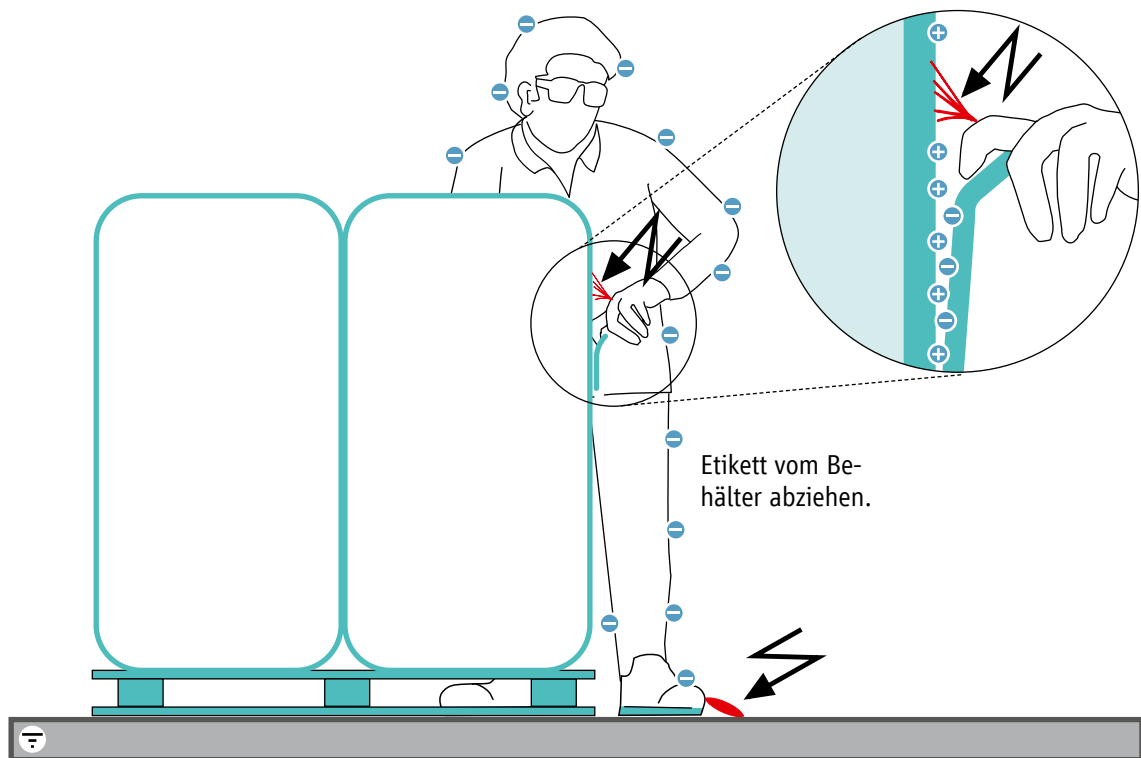
**Abb. 36.1: Strömen reiner Luft**

*Reine Gase oder Gasgemische werden beim Strömen oder Verdüsen nicht aufgeladen, solange keine Phasenübergänge stattfinden.*



**Abb. 36.2: Strömen verunreinigter Luft**

*Beim Strömen oder Verdüsen von Gasen, die Partikel – z. B. Flüssigkeitströpfchen oder Rostteilchen enthalten – werden diese hoch aufgeladen. „Normale“ Pressluft enthält in der Regel noch Öl aus der Herstellung, das zerstäubt werden kann.*



**Abb. 37: Entstehen von hohen Aufladungen beim Entfernen von selbstklebenden Etiketten**

Beim Abziehen isolierender Etiketten von Oberflächen (z. B. von Behältern für Flüssigkeiten) können Büschelentladungen u. a. zur Person auftreten. Trägt eine Person isolierendes Schuhwerk, können von der Person Funkenentladungen zu leitfähigen Einrichtungen und Gegenständen auftreten.

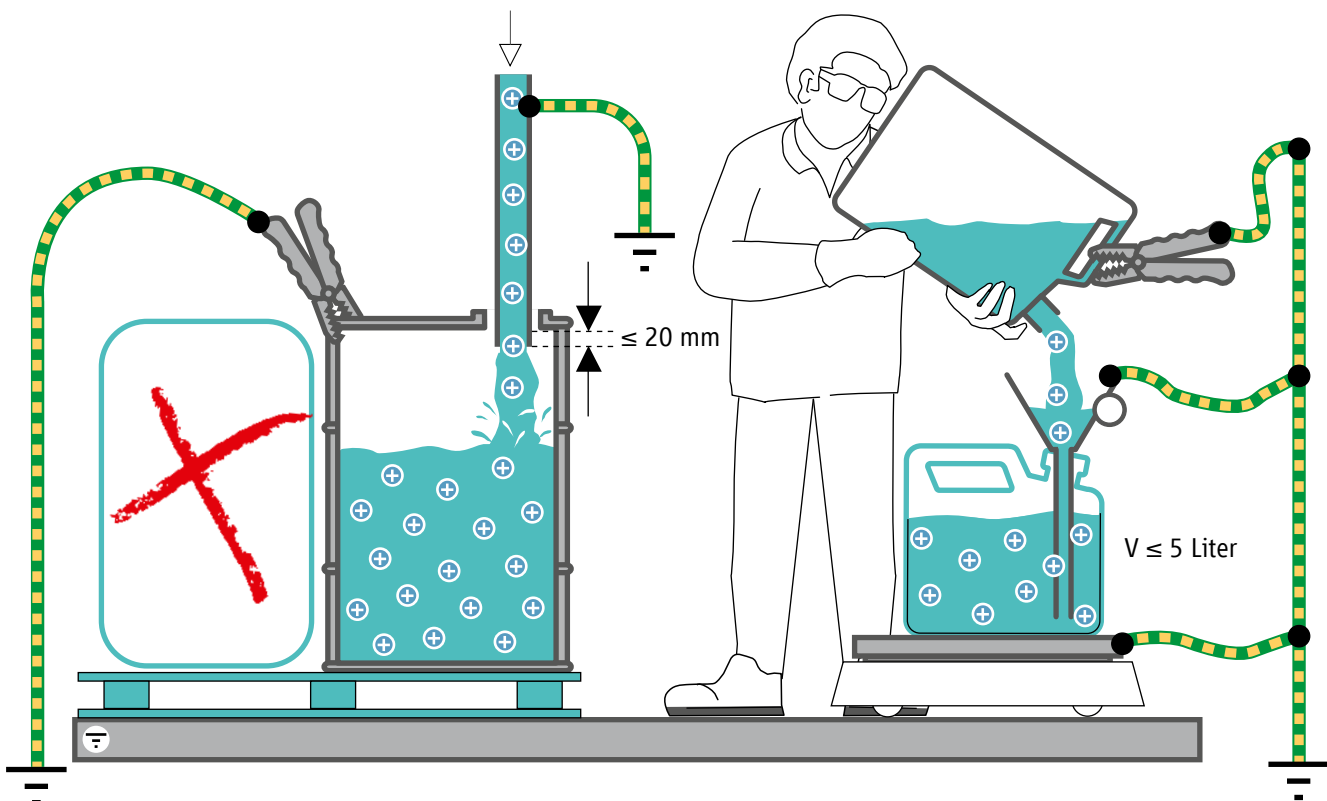
## Welche Entladungsarten müssen vermieden werden?

- Funkenentladung
- Büschelentladung
- Gleitstielbüschelentladung

Coronaentladungen müssen nur in Gegenwart von extrem zündempfindlichen Gasen wie Wasserstoff, Acetylen, Schwefelkohlenstoff oder bei gegenüber Luft erhöhtem Sauerstoffgehalt vermieden werden.

## Welche Maßnahmen haben sich in der Praxis bewährt?

- Nur leitfähige Rohre, Schläuche, Behälter usw. verwenden und erden. (Isolierende Werkstoffe sind nur für kleine Nennweiten bzw. Volumina zulässig.)
- Beim Verwenden isolierender Innenbeschichtungen, z. B. in Rohren, Schläuchen und Behältern sind spezielle Anforderungen (abhängig von Schichtdicke, Leitfähigkeit der Flüssigkeit usw.) zu beachten.
- Leitfähige Anlagenteile in Rohrleitungen (Ventile, Klappen usw.) und in Behältern (Schwimmer, Füllrohre, Rührer usw.) erden.
- Metallflansche an Glasleitungen erden.
- Füllrohre bis zum Behälterboden führen.
- Strömungsgeschwindigkeit begrenzen.
- Versprühen von Flüssigkeiten durch geeignetes Gestalten der Füllrohrmündung vermeiden.
- Beim Verdüsen von Flüssigkeiten (z. B. zu Reinigungszwecken) sind unter Umständen spezielle Maßnahmen erforderlich.
- Personen durch ableitfähige Schuhe und Fußböden erden.

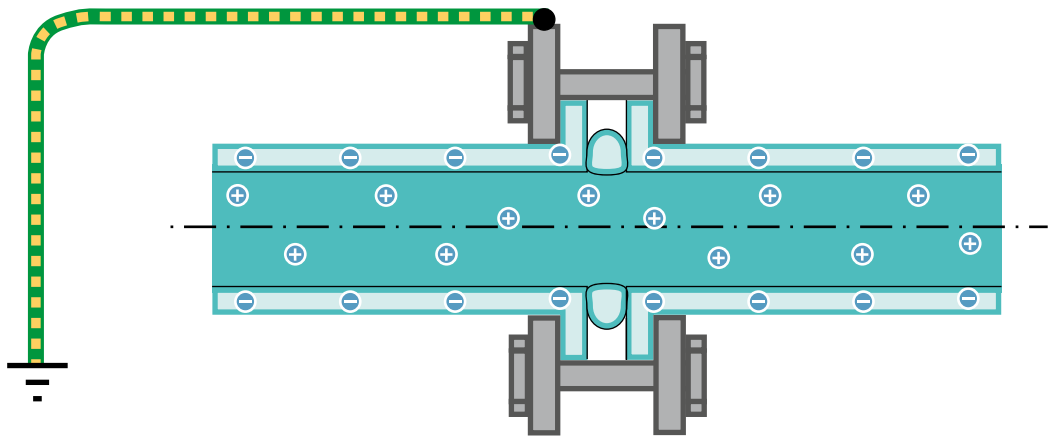


**Abb. 38: Beispiele für Maßnahmen beim Umgang mit brennbaren Flüssigkeiten in der Praxis:**

*Beim Befüllen und Entleeren brennbarer Flüssigkeiten sind leitfähige Gebinde zu verwenden und sie sowie alle leitfähigen Gegenstände (z. B. Trichter) und Einrichtungen (z. B. Befüllrohr) sind zu erden, ableitfähige sind mit Erde zu verbinden. Bei Obenbefüllung darf das Füllrohr maximal 20 mm in das zu befüllende Gebinde hineinragen, zur Vermeidung von Büschelentladungen, die von der Flüssigkeitsoberfläche ausgehen können.*

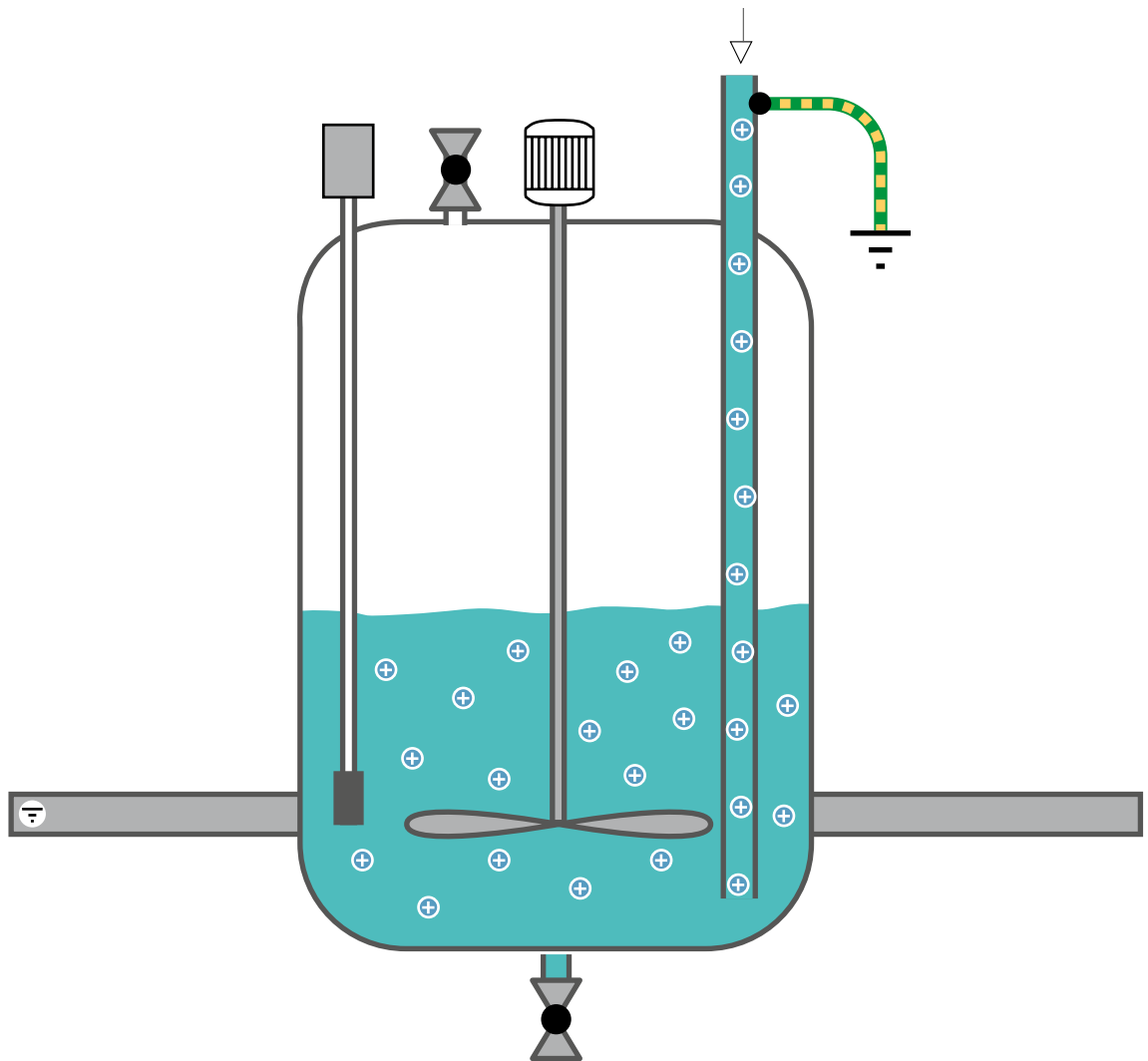
- Offenes Eintragen von Feststoffen in vorgelegtes brennbares Lösemittel vermeiden, weil hier eine Inertisierung nicht mehr gewährleistet werden kann. Andernfalls nur aus leitfähigen, geerdeten Gebinden eintragen und Personenerdung sowie Erden von Hilfsmitteln (Trichter, Abwurfrohre usw. immer leitfähig) beachten.
- Bei örtlich begrenzt vorkommenden hohen Aufladungen (z. B. an Papier- oder Folienbahnen) Ladungen durch passive oder aktive Ionisatoren neutralisieren. Ionisatoren sollten nur von fachkundigem Personal installiert und nicht in Gegenwart von extrem zündempfindlichen Gasen oder Dämpfen wie Wasserstoff, Acetylen oder Schwefelkohlenstoff betrieben werden.

**Erden der Personen sowie aller leitfähigen Anlagenteile, Produkte, Packmittel usw. ist eine der wichtigsten Maßnahmen zum Vermeiden gefährlich hoher Aufladungen.**



**Abb. 39.1: Erdung von Metallflanschen an Glas- und Kunststoffleitungen**

Zur Vermeidung gefährlicher Aufladung müssen Metallflansche an isolierenden Leitungen (z. B. Glas, Kunststoff) geerdet werden.



**Abb. 39.2: Befüllung großer Tanks oder Behälter mit Tauchrohr**

Durch den Transport aufgeladene Flüssigkeiten werden mit Tauchrohr unter Spiegel in einen großen Behälter eingebracht. Dadurch wird eine zusätzliche Aufladung infolge Versprühens oder Verspritzens verhindert.



# 7 Umgang mit Suspensionen und Emulsionen brennbarer Flüssigkeiten

Für das genaue Beurteilen der bei Suspensionen und Emulsionen brennbarer Flüssigkeiten bestehenden Gefahren und der zu treffenden Maßnahmen müssen die Stoffeigenschaften wie Leitfähig-

keit und Flammpunkt sowie die Mindestzündenergie des betreffenden Dampf/Luft-Gemisches bekannt sein.

## Wann und wodurch besteht Gefahr?

- Die elektrostatische Aufladung von Suspensionen und Emulsionen ist im Allgemeinen um ein Vielfaches höher als die Aufladung der reinen Flüssigkeiten.
- Gefährlich hohe Aufladungen können bei der Handhabung von isolierenden Suspensionen und Emulsionen selbst beim Verwenden von leitfähigen und geerdeten Anlagen praktisch nicht

vermieden werden. Es sind keine sicheren Grenzwerte für Förder- und Rührgeschwindigkeiten usw. bekannt.

- Im Übrigen sind die Gefahren bei Suspensionen und Emulsionen brennbarer Flüssigkeiten grundsätzlich dieselben, wie bei den reinen brennbaren Flüssigkeiten.

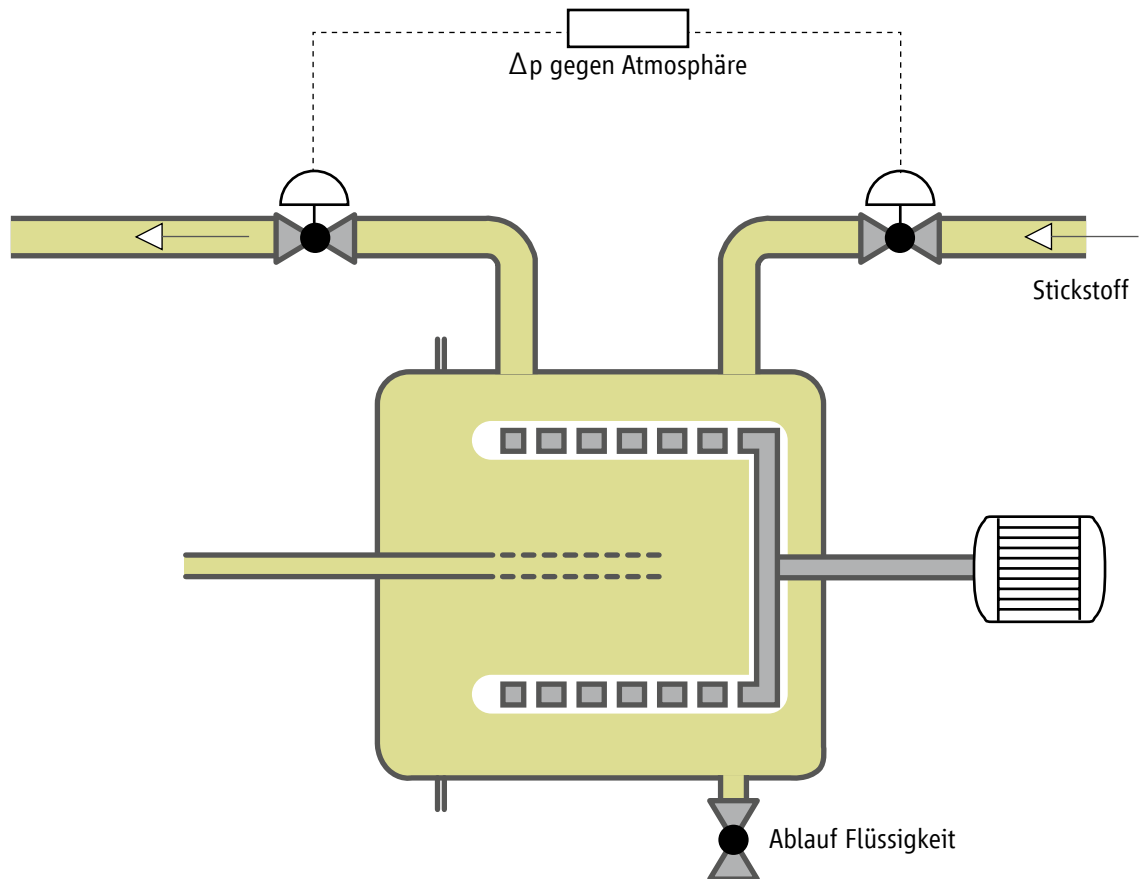
## Welche Entladungsarten müssen vermieden werden?

Es müssen dieselben Entladungsarten vermieden werden wie beim Umgang mit reinen brennbaren Flüssigkeiten und Gasen. Es ist jedoch zu beachten, dass unabhängig von der Bauart der Anlage bei Suspensionen und Emulsionen aus isolierenden

Flüssigkeiten Büschelentladungen, verursacht durch das aufgeladene Produkt, kaum vermieden werden können und deshalb besondere Maßnahmen getroffen werden sollten.

## Welche Maßnahmen haben sich in der Praxis bewährt?

- Beim Handhaben (z. B. Zentrifugieren, Filtrieren, Fördern) von brennbaren, **isolierenden** Suspensionen und Emulsionen sollten Maßnahmen zum Vermeiden explosionsfähiger Atmosphären getroffen werden, z. B: Inertisierung, Arbeiten unterhalb des Flammpunktes.
- Beim Handhaben von brennbaren, **leitfähigen** Suspensionen und Emulsionen sind die bei reinen brennbaren Flüssigkeiten üblichen Maßnahmen zu treffen.



**Abb. 40: Inertisierung einer Zentrifuge**

Zur Vermeidung von explosionsfähigem Gemisch im Inneren wird die Zentrifuge inertisiert betrieben (hier: mit Stickstoff). Das Innere der Zentrifuge wird dazu unter einem Stickstoffüberdruck gegen Atmosphäre gehalten, der überwacht wird, um ein Eindringen von Luft zu verhindern.

**Suspensionen und Emulsionen brennbarer, isolierender Flüssigkeiten dürfen nur unter inerten Bedingungen gehandhabt werden.**





# 8 Umgang mit brennbaren Schüttgütern

Für das genaue Beurteilen der bei brennbaren Schüttgütern bestehenden Gefahren und der zu treffenden Maßnahmen müssen die Stoffeigen-

schaften wie spezifischer Schüttgutwiderstand und Mindestzündenergie des betreffenden Staubes bekannt sein.

## Wann und wodurch besteht Gefahr?

- Beim Umgang mit brennbaren Schüttgütern (staubförmige Produkte mit einer Teilchengröße  $< 0,5$  mm oder grobkörnige Produkte mit Feinstaub) können explosionsfähige Staub/Luft-Gemische gebildet werden.
- Schüttgüter können z. B. beim Fördern, Umfüllen, Mahlen, Mischen, Abscheiden oder Sieben zu gefährlich hohen Aufladungen von sich selbst oder von Anlagenteilen, Gebinden usw. führen.
- Durch sekundäre Prozesse (z. B. Gehen des Menschen, Bewegen eines Förderbandes) können gefährlich hohe Aufladungen herbeigeführt werden.

Wenn brennbarer Staub in Gegenwart von brennbaren Gasen oder Dämpfen (in Luft) gehandhabt wird, kann sich die Zündempfindlichkeit des entstehenden sogenannten „hybriden Gemisches“ deutlich erhöhen. Dies gilt z. B. auch beim Eintrag eines trockenen (d. h. nicht lösemittelhaltigen) brennbaren Staubes in ein vorgelegtes brennbares Lösemittel mit niedrigem Flammpunkt (vgl. Abb. 31.3 und Abb. 43 sowie Abschnitt 9, Seite 87f.). Die Zünd-

empfindlichkeit wird bereits merklich erhöht, wenn die Konzentration des brennbaren Gases oder Dampfes etwa 10–20 % seiner UEG überschreitet, d. h. noch weit unterhalb seiner UEG liegt.

Deshalb ist für die Beurteilung der Zündwirksamkeit von auftretenden Entladungen gegenüber hybriden Gemischen und insbesondere für die Festlegung geeigneter Maßnahmen spezielles Fachwissen notwendig.

Die Maßnahmen im Abschnitt 8 beziehen sich nur auf den Umgang mit brennbaren Schüttgütern in Abwesenheit von brennbaren Gasen und Dämpfen.

**Viele Staub/Luft-Gemische können durch Entladungen statischer Elektrizität entzündet werden.**

## Welche Entladungsarten müssen vermieden werden?

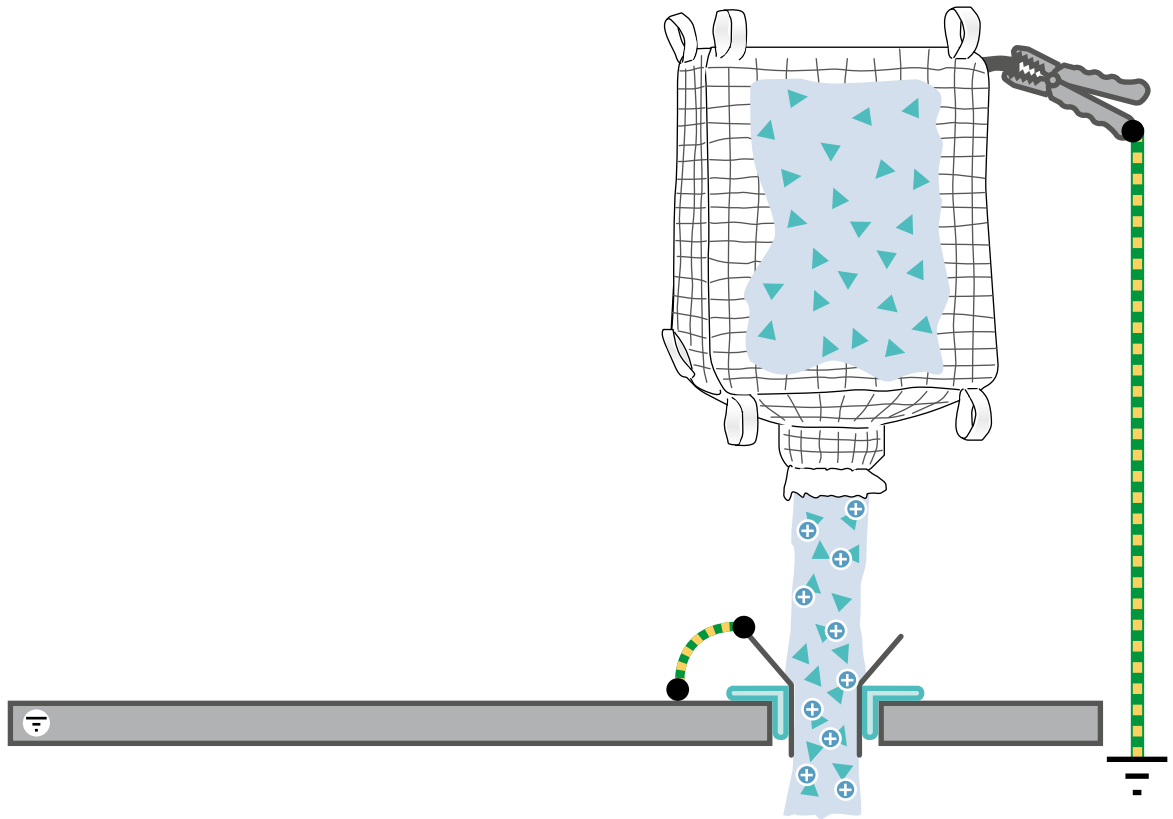
- Funkenentladungen
- Gleitstielbüschelentladungen
- Schüttkegelentladungen

Büschelentladungen können toleriert werden, wenn keine brennbaren Gase oder Dämpfe vorliegen.

Coronaentladungen können toleriert werden.

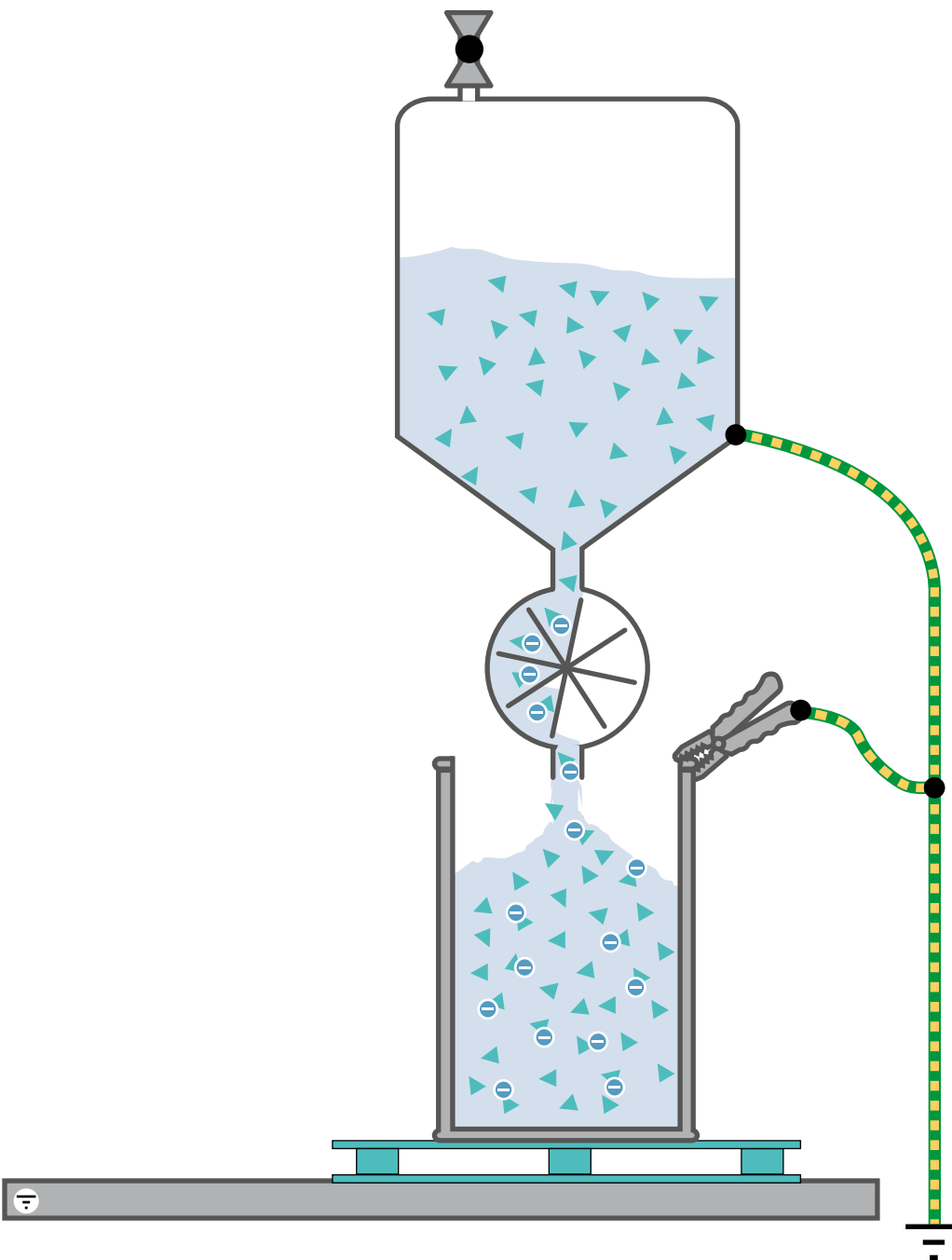
## Welche Maßnahmen haben sich in der Praxis bewährt?

- Leitfähige Behälter, Apparate, Anlagenteile usw. erden.
- Zum großtechnischen Handhaben von isolierenden, brennbaren Schüttgütern (Schüttvolumina  $> 0,25 \text{ m}^3$ ) nur leitfähige und geerdete Behälter, Apparate, Anlagenteile usw. verwenden und erden. Keine isolierenden Innenbeschichtungen anbringen.
- Pneumatische Förderleitungen aus leitfähigem Material fertigen und erden. Keine isolierenden Innenbeschichtungen oder nur solche mit geringer elektrischer Durchschlagfestigkeit (Durchschlagspannung  $U_0 < 4 \text{ kV}$ ) verwenden.
- Beim Umgang mit Schüttgütern mit einer Mindestzündenergie kleiner als  $10 \text{ mJ}$ , Personen erden (ableitfähige Schuhe und Fußböden).
- Beim Befüllen von großen Silos und Behältern mit isolierenden, brennbaren Schüttgütern können Schüttkegelentladungen auftreten. Es sind unter Umständen (je nach Mindestzündenergie, Partikelgrößenverteilung usw.) weitere, über die Maßnahme „Vermeiden wirksamer Zündquellen“ hinausgehende Explosionsschutzmaßnahmen notwendig.



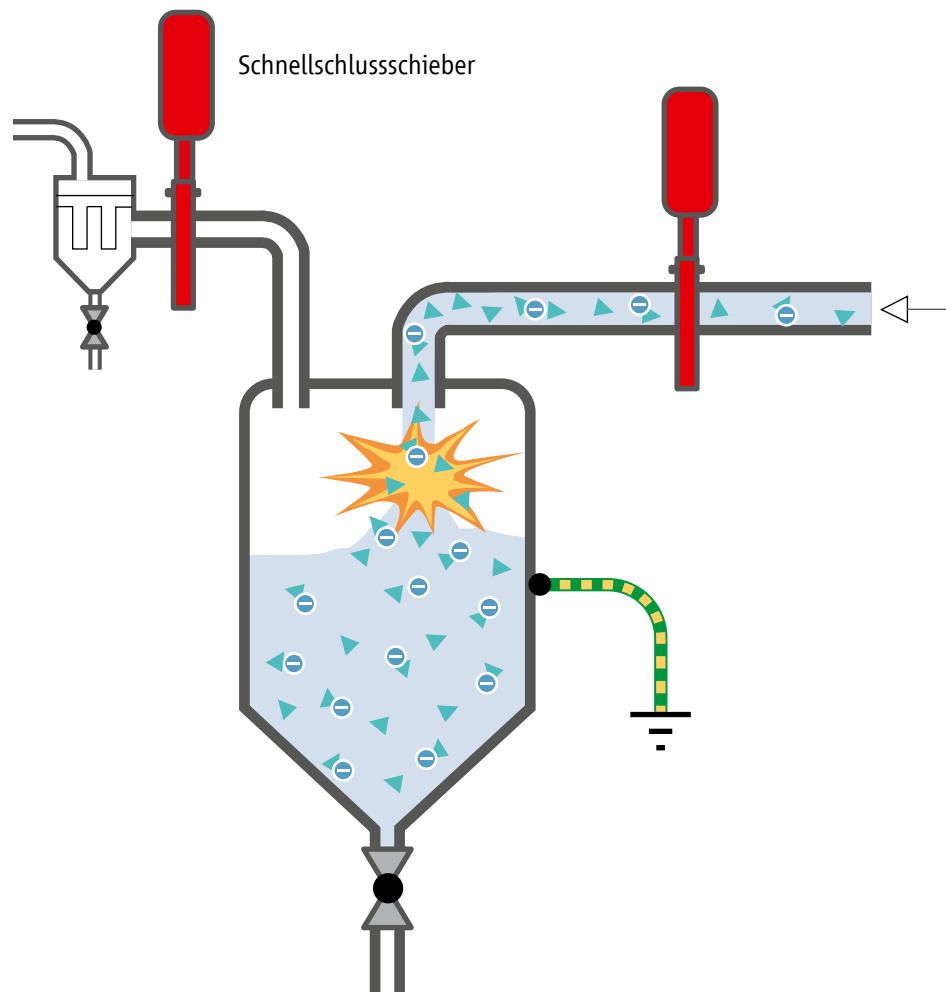
**Abb. 41.1: Erden aller leitfähigen Gebinde und Packmittel beim Umfüllen**

Das Schüttgut wird aus einem leitfähig ausgerüsteten, geerdeten flexiblen Schüttgutbehälter (FIBC Typ C) über einen leitfähigen, geerdeten Trichter entnommen. Der FIBC ist an den dafür vorgesehenen Erdungslaschen geerdet. Da der Trichter isoliert im ableitfähigen Fußboden eingebaut ist, ist eine zusätzliche Erdung erforderlich.



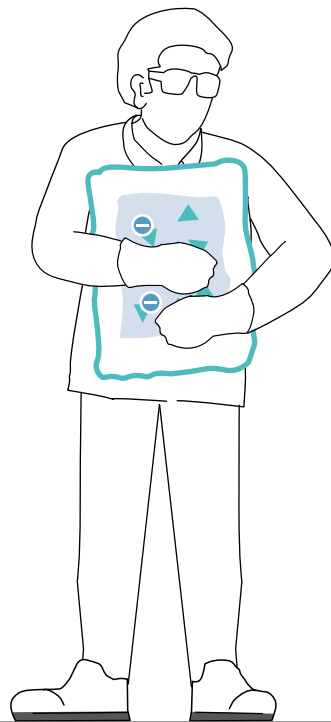
**Abb. 41.2: Erden aller leitfähigen Anlagenteile**

*Der Vorlagebehälter mit Zellenradschleuse, aus dem die Befüllung des Fasses erfolgt, sowie das zu befüllende Fass sind aus leitfähigem Material und geerdet.*



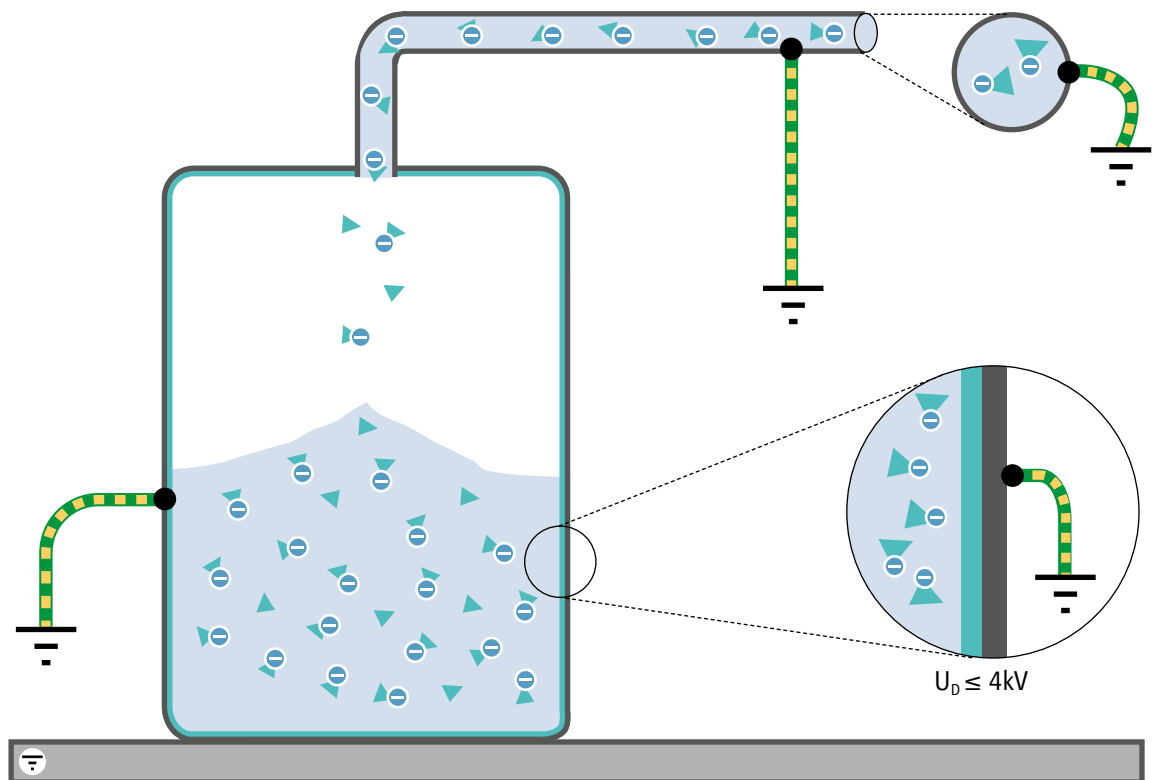
**Abb. 41.3: Anwendung konstruktiver Explosionsschutzmaßnahmen  
(z. B. explosionsdruckfeste Bauweise)**

*Der Schüttgutbehälter und die verbundenen Rohrleitungen sind druckfest ausgelegt, so dass im Falle einer Explosion im Behälter die Umgebung vor den Auswirkungen der Explosion geschützt ist. Benachbarte, nicht explosionsfest ausgelegte Aggregate (hier: eingehende Rohrleitung, Abscheider) sind vor Explosionsausbreitung geschützt, indem sie durch Schnellschlussschieber entkoppelt werden, die bei einer auftretenden Explosion im Behälter die Leitungen verschließen (Sensorik und Regeltechnik sind in der Abbildung nicht dargestellt).*



**Abb. 41.4: Personenerdung beim Umgang mit zündempfindlichen Schüttgütern**

*Bei Tätigkeiten mit zündempfindlichen Schüttgütern (Mindestzündenergie  $\leq 10$  mJ) ist ein ableitfähiger Fußboden erforderlich, Personen müssen ableitfähiges Schuhwerk tragen.*



**Abb. 42: Maßnahmen beim pneumatischen Transport**

Zur Vermeidung von Gleitstielbüschelentladungen werden innen unbeschichtete, leitfähige Rohrleitungen verwendet. Die isolierende Innenbeschichtung des Behälters besitzt eine Durchschlagspannung  $U_D$  von weniger als 4 kV.

**Isolierende, lösemittelhaltige Schüttgüter dürfen nur unter inertem Bedingungen gehandhabt werden.**



# 9 Umgang mit Schüttgütern, die brennbare Lösemittel enthalten

## Wann und wodurch besteht Gefahr?

- Nach konservativer Herangehensweise ist ein Schüttgut als lösemittelhaltig zu betrachten, wenn der Gehalt an brennbarem Lösemittel mehr als etwa 0,1 Gewichtsprozent beträgt.
- Sofern das lösemittelhaltige Schüttgut isolierend ist, besteht infolge des Zusammentreffens der hohen Aufladung des Schüttgutes (isolierende Schüttgüter laden sich um ein Vielfaches höher auf als isolierende Flüssigkeiten) und des explosionsfähigen Lösemitteldampf/Luft-Gemisches hohe Zündgefahr.
- Gefährlich hohe Aufladungen können beim Handhaben von isolierenden, lösemittelhaltigen Schüttgütern selbst beim Verwenden von leitfähigen und geerdeten Anlagen praktisch nicht vermieden werden.
- Im Übrigen sind die Gefahren bei Schüttgütern, die brennbare Lösemittel enthalten, grundsätzlich dieselben wie bei den reinen brennbaren Flüssigkeiten.

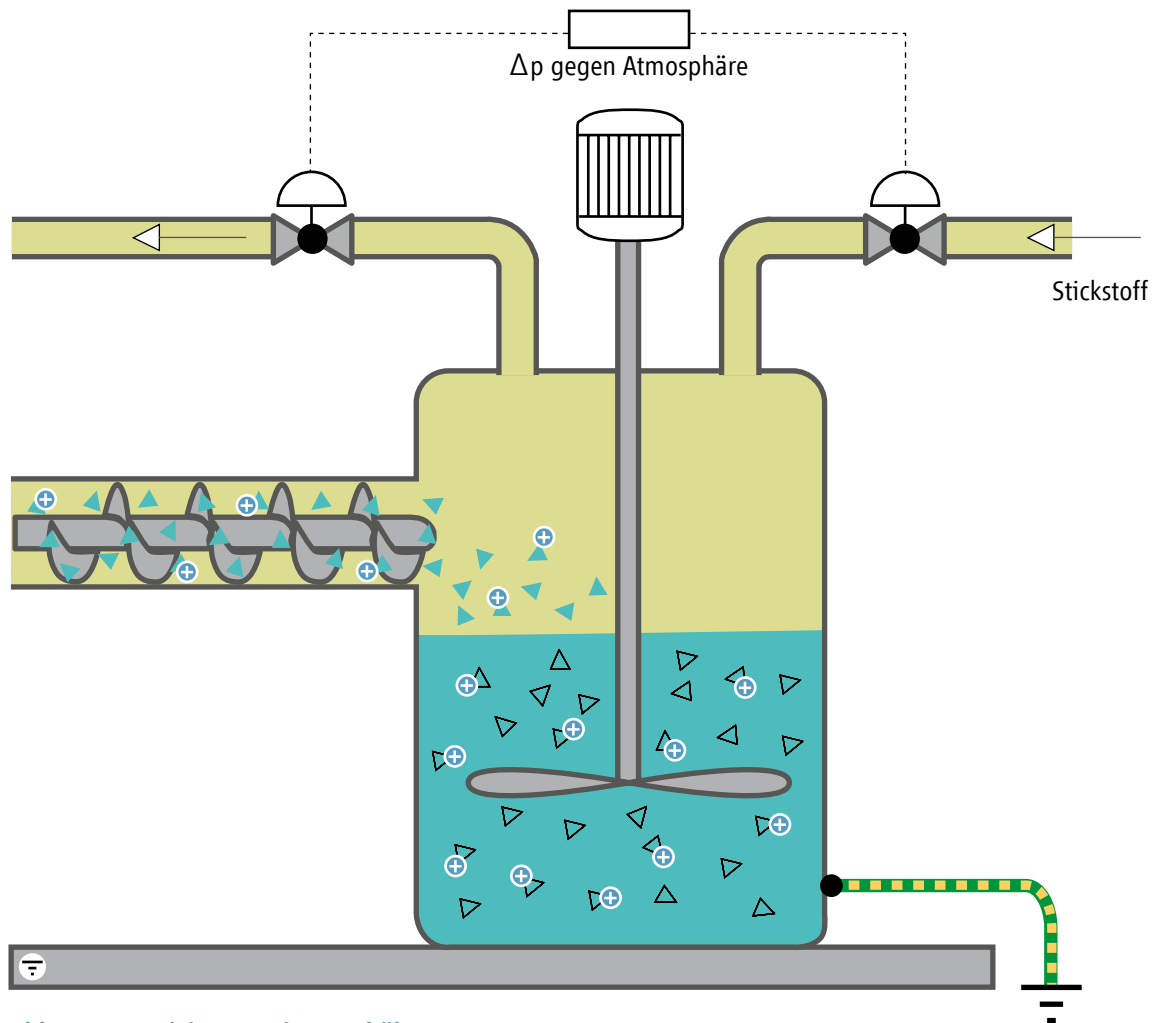
## Welche Entladungsarten müssen vermieden werden?

Es müssen dieselben Entladungsarten vermieden werden wie beim Umgang mit reinen brennbaren Flüssigkeiten und Gasen. Es ist jedoch zu beachten, dass unabhängig von der Bauart der Anlage bei isolierenden, lösemittelhaltigen Schüttgütern

Büschelentladungen, verursacht durch das aufgeladene Produkt, kaum vermieden werden können und deshalb besondere Maßnahmen getroffen werden müssen.

## Welche Maßnahmen müssen getroffen werden?

- Beim Handhaben von isolierenden Schüttgütern, die brennbare Lösemittel enthalten, sollten Maßnahmen zum Vermeiden explosionsfähiger Atmosphären (z. B. Inertisieren, Arbeiten unterhalb des Flammpunktes) getroffen werden.
- Beim Handhaben von leitfähigen Schüttgütern, die brennbare Lösemittel enthalten, sind die bei reinen brennbaren Flüssigkeiten üblichen Maßnahmen zu treffen.



**Abb. 43: Inertisierung eines Behälters**

Beim Eintrag von Schüttgütern in Flüssigkeiten oberhalb des Flammpunktes werden explosionsfähige Gemische vermieden, indem die Anlage inertisiert (hier: mit Stickstoff) betrieben wird. Das Innere der Anlage wird dazu unter einem Stickstoffüberdruck gegen Atmosphäre gehalten, damit ein Eindringen von Luft verhindert wird.





# 10 Stichwortverzeichnis

## A

Ableitfähig | 6, 19, 23, 24, **29**, 45, 48, 53, 60, 62, 63, 64, 76, 77, 82, 85  
Ableitwiderstand | 28, 30  
Abrollen | 18, 19  
Abscheiden | 81  
Abscheider | 20, 55, 84, 93  
Acetylen | 39, 40, 76, 77  
Additiv | 61  
Äquivalentenergie | 32, 52, 58  
Atmosphäre, explosionsfähige (siehe auch Gemisch, explosionsfähiges) | 16, 38, 60, 66, 70, 80, 88  
Aufladung | 2, 7, 9, 12, 13, **18**, 19, 21, 22, 23, 24, 25, 33, 34, 35, 36, 38, 44, 59, 60, 61, 69, 74, 75, 78, 79, 87  
Ausschütteln | 48  
Ausschütten | 18, 54

## B

Befüllen | 54  
Befüllen (siehe auch Umfüllen) | 54, 58, 77, 82  
Behälter | 18, 22, 26, 36, 48, 51, 67, 76, 78, 82, 84  
Benzin | 6, 21  
Beschichtung, Innenbeschichtung | 54, 58  
Boden | 23, 24, 42  
Brennstoffkonzentration | 38, 60  
Brennstoff (siehe auch Gas, Flüssigkeit, Staub, Schüttgut) | 39, 60  
Büschelentladung | 6, 33, 36, 40, **48**, 49, 50, 76

## C

Coronaentladung, Spitzenentladung | 40, **53**, 61

## D

Dampf | 6, 10, 39, 44, 52, 70, 79  
Dampf/Luft-Gemisch | 70  
Durchbruchfeldstärke | 14, **32**, 33, 41, 42, 59  
Durchgangswiderstand | 28, 29, 30  
Durchschlag | 54, 55, 56, 57  
Durchschlagfestigkeit (siehe Festigkeit, dielektrische)  
Durchschlagspannung | 35, 56, 58, 60, 82, 86

## E

Eintragen | 48, 77  
Eintragen, offenes | 77  
Elektrode | 33, 48, 49, 53  
Elmsfeuer | 48  
Emulsion | 70, 74  
Energie | 11, 32, 34, 38, 39, 44, 52, 56, 58  
Entkopplung | 60, 68  
Entladung (s. a. Büschelentladung, Coronaentladung, Funkenentladung, Gleitstielbüschelentladung, Schüttkegelentladung) | 6, 11, 13, 14, 18, **32–40**  
Entladung, gewitterblitzartige | 40  
Entladungsart | 32, 53  
Entladungsenergie | 44  
Entladungskanal | 48  
Entleeren | 48, 77  
Entleervorgänge | 53  
Entzünden, Entzündung | 60  
Erdableitwiderstand | 6, 28, 29, 30, 31  
Erden | 30, 45, 60, 77, 82, 83  
Erdung | 2, 6, 12, 15, 23, **30**, 31, 45, 46, 47, 53, 62, 78, 82  
Erdverbindung | 14  
Explosion | 2, 10, 14, 16, 17, 67, 68, 84  
Explosionsdruckentlastung | 60  
Explosionsgefahr | 7, 9, 62, 63, 64, 69  
Explosionsunterdrückung | 60

## F

Fahnenstange | 48  
Feld, elektrisches, Feldstärke | 22, 32, 33, 41, 48, 53  
Festigkeit, dielektrische, Durchschlagfestigkeit | 54, 58  
Feuer | 11  
Filterschlauch | 48  
Filtertuch | 23  
Filtrieren | 18, 80  
Flamme | 11  
Flammpunkt | 11  
Flansch | 25, 44, 55  
Flansch (siehe auch Metallflansch) | 25, 44, 55  
Flüssigkeit | 6, 12, 18, 20, 23, 24, 25, 28, 34, 35, 43, 44, 48, 50, 61, 70, 71, 72, 73, 74, 76, 80

Flüssigkeitströpfchen (siehe auch Tröpfchen) | 75  
 Folienbahn | 48, 77  
 Förderband | 48, 57, 77  
 Fördergeschwindigkeit | 60  
 Förderleitung, pneumatische | 82  
 Fördern, pneumatisches | 18, 48, 54, 80, 81  
 Füllrohr (siehe Rohr) | 34, 62, 76, 77  
 Funken, elektrisch erzeugter | 11  
 Funkenentladung | 6, 13, 16, 17, 18, 34, 40, **41**,  
 42, 43, 44, 76  
 Funken, mechanisch erzeugter | 11  
 Funkenstrecke | 42  
 Fußboden (siehe Boden) | 6, 18, 19, 24, **29**, 30, 43,  
 45, 76, 82, 85

## G

Gas | 10, 39, 44, 52, 58, 70, 95  
 Gas/Luft-Gemisch | 70  
 Gebinde (siehe Behälter) | 23, 26, 42, 45, 47, 48,  
 53, 62, 64, 77, 82  
 Gehen | 18, 19, 24, 43, 70, 81  
 Gemisch, explosionsfähiges | 9, **10**, 14, 20, 38, 39,  
 55, 69, 70, 80, 93  
 Gewitter | 40, 48  
 Glasleitung | 23, 25, 76  
 Gleitstielbüschelentladung | 6, 25, 40, **54**, 55, 56,  
 57, 58, 76, 81  
 Glut | 11

## H

Heptan | 21  
 Hexan | 21

## I

isolierend | 6, 19, **21**, 54, 55, 71, 73, 87

## K

Kapazität | 44  
 Klappe | 23, 30  
 Kohlenwasserstoffe | 21  
 Kondensator | 38  
 Koronaentladung s. Coronaentladung  
 Körper, menschlicher (siehe Person) | 23  
 Krümmungsradius | 48, 53  
 Kunststoffbehälter | 21, 53  
 Kunststoffgebinde | 48  
 Kunststoffleitung | 23, 48  
 Kunststoffsock | 48, 54

## L

Ladungsableitung | 7, 14, 15, **23**, 27, 28, 30, 53,  
 60  
 Ladungsanhäufung | 7, 12, 13, 14, 15, **23**, 32, 33  
 Ladungsdichte | 25, 32  
 Ladungstrennung | 2, 7, 14, 15, **18**, 19, 20, 22, 25,  
 42, 44, 59, 73  
 Leitfähig, Leitfähigkeit | 6, 61  
 Lösemittel | 7, 39, 64, 77, 81, 86, 87  
 Lösemitteldampf | 9, 39, 58, 87

## M

Mahlen | 81  
 Mensch (siehe auch Person) | 81  
 Metallfass | 6, 22, 23, 42, 43, 44, 48  
 Metallflansch (siehe auch Flansch) | 23, 25, 78  
 Metallrohr (siehe auch Rohr) | 23  
 Mindestzündenergie | 36, **38**, 39, 70, 79, 81, 82, 85  
 Mischen | 81

## N

Nebel (siehe auch Tröpfchen) | 9, 10, 70, 93  
 nichtleitfähig | 21  
 Niveausonde | 48

## O

Oberfläche | 11, 23, 28, 29, 33, 48, 49, 53, 54, 59  
 Oberfläche, heiße | 11  
 Oberflächenladungsdichte | 33  
 Oberflächenwiderstand | 28, 30  
 Offenes Eintragen | 77



## P

Packmittel | 53, 77, 82  
Partikel (Siehe auch Staub) | 6, 70, 75  
Person | 13, 19, 22, 24, 30, **31**, 33, 42, 43, 44, 45, 76, 82  
Plattenkondensator | 58  
Polyethylen (PE) | 21  
Polymer | 58  
Polypropylen (PP) | 21  
Polytetrafluorethylen (PTFE) | 21  
Polyvinylchlorid (PVC) | 21  
Probenentnahme | 48

## R

Rohr | 6, 24, 76  
Rohrleitung | 18, 23, 24, 25, 54, 55, 68, 71, 84  
Rühren | 70, 72, 74  
Rührer | 76

## S

Sack | 18  
Sauerstoff | 10  
Schuhe | 24, 29, 30, 76, 82  
Schuhwerk | 19, 23, **29**, 45, 76, 85  
Schüttgut | 6, 18, 25, 26, 27, 36, 42, 51, 55, 59, 64, **81**, 82, 86, 87  
Schüttgutbehälter | 48, 49, 56, 82, 84  
Schüttgut, lösemittelhaltiges | **87**  
Schüttkegelentladung | 16, 17, 36, 40, **58**, 59  
Schutzmaßnahmen, konstruktive | 60, 66, 67, 68, 69, 80, 84, 88,  
Schwefelkohlenstoff | 39, 76, 77  
Schwimmer | 76  
Sieben | 81  
Silo | 16, 59  
Spitzenentladung (siehe Coronaentladung) | 40, 53, 61  
Staub | 9, 10, 20, 26, 39, 44, 52, 54, 55, 58, 81  
Staubabscheider | 54  
Staub/Luft-Gemisch | 44  
Staubschüttung | 28, 48  
Staubwolke | 39, 40, 48, 51  
Strömen | 18, 25, 70, 71, 74, 75  
Strömungsgeschwindigkeit | 61, 76  
Suspension | 18, 74, 79

## T

Tauchrohr | 78  
Toluol | 21  
Transport, pneumatischer (siehe Fördern, pneumatisches) | 27, 36, 55, 59, 78, **86**  
Trennprozess | **18**, 34, 36  
Tröpfchen | 6, 20, 23, 70, 73, 75  
Tröpfchennebel (siehe auch Nebel) | 48, 70

## U

Umfüllen | **18**, 62, 70, 71, 81, 82, 89, 90

## V

Ventil | 76  
Verdüsen | **18**, 20, 73, 75, 76  
Versprühen | **18**, 20, 70, 76

## W

Wasserstoff | 39, 40, 76, 77  
Widerstand | 28, 29, 30, 31, 58

## X

Xylol | 21

## Z

Zentrifugieren | 80  
zündempfindlich | 11, 38  
Zündempfindlichkeit | 38, 39, 60, 81  
Zündfähigkeit, zündfähig (siehe auch Zündwirksamkeit, zündwirksam) | 2, 32  
Zündgefahr | 11, 12, 13, 14, 69, 87  
Zündquelle | 10, 11, 39, 40, 53  
zündwirksam | 11, 14, 34, 36, 39, **40**, 44, 52, 53, 58  
Zündwirksamkeit (siehe auch Zündfähigkeit, zündfähig) | 7, 32, 34, 36, 39, **40**, 58, 60, 69, 81

# 11 Literatur

Technische Regeln für Gefahrstoffe TRGS 727 „Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen“, Deutschland,  
Ausgabe Januar 2016: GMBL 2016 S. 256-314 [Nr. 12-17] (vom 26.04.2016),  
berichtigt: GMBL 2016 S. 623 [Nr. 31] (vom 29.07.2016)

T 051 „Elektrostatik – Antworten auf häufig gestellte Fragen, Ausgabe 08/2024  
(BG RCI – Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie)

IEC 60079-32-1 „Technical Specification EXPLOSIVE ATMOSPHERES – Part 32-1:  
Electrostatic hazards, Guidance, Edition 1.0, 2013-08

IEC 60079-32-2 “EXPLOSIVE ATMOSPHERES – Part 32-2: Electrostatic hazards – Tests,  
Edition 1.0, 2015-02

NFPA 77 “Recommended Practice on Static Electricity”, Edition 2014.

# 12 Impressum

## **Arbeitsgruppe Explosionsschutz**

Dr. A. Arnold, Mannheim (D)  
Prof. U. Barth, Dortmund (D)  
M. Bloch, Alfortville (F)  
Dr. S. Causemann, Sankt Augustin (D)  
Dr. M. Glor, Allschwil (CH)  
Dr. M. Gschwind, Luzern (CH)  
A. Harmanny, Kontich (B)  
K. Kopia, Wien (A)  
Dr. Z. Kramar, Ljubljana (SI)  
Dr. A. Leksin, Sankt Augustin (D)  
Dr. O. Losert, Heidelberg (D)  
F. Marc, Paris (F)  
A. Mardirossian, Paris (F)  
M. Mayer, Osterburken (D)  
Dr. R. Ott, Meggen (CH)  
J. Parra, Münchwilen (CH)  
F. Pera, Roma (I)

## **Arbeitsgruppe Explosionsschutz (Fortsetzung)**

B. Poga, Heidelberg (D)  
Prof. Dr. S. Radandt, Brühl-Rohrhof (D)  
B. Sallé, Paris, (F)  
Dr. M. Scheid, Frick (CH)  
R. Siwek, Kaiseraugst (CH)  
G. Van Laar, Hamm (D)  
M. von Arx, Luzern (CH)  
A. Weimar, Mannheim (D)

## **Gestaltung und Grafik**

Jedermann-Verlag GmbH, P. Nardo  
C.-D. Walther  
O. Losert

## **Realisierung**

Jedermann-Verlag GmbH



# 13 Schriftenreihe der IVSS

## Schriftenreihe der IVSS

### IVSS Sektion für Maschinen- und Systemsicherheit

- Staubexplosionen – Schutz vor Explosionen durch brennbare Stäube, ISSA-32 IVSS Sektion Chemie, Stand 2002, 2. Auflage (PDF in deutscher, englischer und italienischer Sprache)
- Staubexplosionsereignisse, ISSA-43 IVSS Sektion Chemie, Stand 2005, 1. Auflage (PDF in deutscher und englischer Sprache)
- Ermittlung und Bewertung von Gefährdungen, Festlegen von Maßnahmen Teil 7 Gefährdungen durch Explosionen, ISSA-42 IVSS Sektionen Chemie und Maschinen- und Systemsicherheit, Stand 2021, 2. Auflage (PDF in deutscher Sprache), ISBN 978-92-843-0156-0
- Gasexplosionen – Schutz vor Explosionen durch brennbare Gase, Dämpfe oder Nebel im Gemisch mit Luft, ISSA-34 IVSS-Sektion Chemie, Stand 1999 (in Überarbeitung)
- Vermeiden wirksamer Zündquellen in explosionsgefährdeten Bereichen, ISSA-40 IVSS Sektionen Chemie und Maschinen- und Systemsicherheit, Stand 2013 (in Überarbeitung), 1. Auflage (PDF in deutscher und französischer Sprache), ISBN 978-92-843-7184-6
- Beispielsammlung „Staubexplosionsschutz an Maschinen und Apparaten“, Teil 1: Mühlen, Brecher, Mischer, Abscheider, Siebmaschinen, ISSA 38 IVSS Sektionen Maschinen- und Systemsicherheit und Chemie, Stand 2021 (PDF in deutscher Sprache), ISBN 978-92-843-2182-7
- Beispielsammlung „Staubexplosionsschutz an Maschinen und Apparaten“, Teil 2: Stetigförderer, Übergabestellen und Empfangsbehälter, ISSA 39 IVSS Sektionen Maschinen- und Systemsicherheit und Chemie, Stand 2014 (in Überarbeitung, PDF in deutscher und englischer Sprache), ISBN 978-92-843-7182-2
- Das PAAG-/HAZOP-Verfahren und weitere praxisbewährte Methoden, Risikobeurteilung in der Anlagensicherheit, ISSA-01 IVSS Sektion Chemie, Stand 03/2020, 5. Auflage (PDF in deutscher Sprache), ISBN 92-843-7037-X

# 14 Die IVSS

## Soziale Sicherheit schaffen

Die IVSS, die Internationale Vereinigung für Soziale Sicherheit, ist die weltweit führende Dachorganisation für Institutionen, Regierungsstellen und Behörden, die sich mit dem Thema soziale Sicherheit befassen.

Soziale Sicherheit bedeutet im engeren Sinne Schutz vor den Folgen „sozialer Risiken“. Dazu zählen neben der Erwerbsminderung durch Arbeitsunfall, Berufskrankheit und Berufsunfähigkeit auch Krankheit, Arbeitslosigkeit, Übernahme von Familienlasten, Altern und Tod von Erwerbstätigen. Im weiteren Sinne umfasst soziale Sicherheit auch eine aktive Arbeitsmarktpolitik, ein öffentliches Bildungswesen sowie eine ausgleichende Steuerpolitik.

Die IVSS wurde 1927 von 17 europäischen Nichtregierungsorganisationen als „Internationale Zentralstelle der Sozialversicherungsträger“ gegründet. Heute zählt die IVSS rund 350 Institutionen, Regierungsstellen und Behörden in über 150 Ländern auf allen Kontinenten und ist bei der Internationalen Arbeitsorganisation ILO der Vereinten Nationen in Genf angesiedelt. Die inhaltliche Arbeit erfolgt in 13 Fachausschüssen, unter anderem zu den Schwerpunktthemen Arbeitsunfälle und Berufskrankheiten, Gesundheitsleistungen und Krankenversicherung, Beschäftigungspolitik und Arbeitslosenversicherung sowie Familienleistungen und Hinterbliebenenversicherung.

## Arbeitsrisiken vorbeugen

Eine wichtige Rolle innerhalb der IVSS spielt der „Besondere Ausschuss für Prävention“. Dieser besteht aus 14 internationalen Sektionen und befasst sich mit arbeitsbedingten Risiken in verschiedenen Branchen wie chemische Industrie, Bergbau, Elektrizität und Transportwirtschaft, aber auch mit Querschnittsthemen wie Maschinen- und Systemsicherheit, Information und Präventionskultur. Der Besondere Ausschuss koordiniert die gemeinsamen Tätigkeiten der internationalen Sektionen für Prävention im Bereich Risiken sowie weitere Präventionstätigkeiten der IVSS.

Als eine der ersten Sektionen des Besonderen Ausschusses wurde im Juni 1970 in Frankfurt am Main die Internationale Sektion für Prävention in der chemischen Industrie gegründet. Sie engagiert sich für die Verhütung von Arbeitsunfällen und Berufskrankheiten in der chemischen und verwandten Industrie, insbesondere in den Bereichen Kunststoffe und Gummi, Lacke und Farben, Pharmazie und Kosmetik sowie Spezialchemikalien und Mineralölverarbeitung. Vorsitz und Sekretariat liegen bei der Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie in Heidelberg.

1975 wurde die Internationale Sektion der IVSS für Maschinen- und Systemsicherheit gegründet. Sie hat die Zielsetzung, auf dem Gebiet der Maschinen- und Systemsicherheit weltweit Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Arbeit zu erhöhen. Vorsitz und Sekretariat liegen bei der Berufsgenossenschaft Nahrungsmittel und Gastgewerbe in Mannheim.



Chemische Industrie



Maschinen- und Systemsicherheit



Transportwesen



Bauwirtschaft



Information



Bergbau



Landwirtschaft

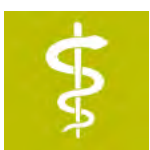


## Fachwissen kommunizieren

Ein besonderer thematischer Schwerpunkt in vielen Industriezweigen, z. B. chemische Industrie, Nahrungsmittelindustrie, ist der Umgang mit Explosionsrisiken. 1978 wurden daher bei der Sektion Chemie die Arbeitsgruppen „Gefährliche Stoffe“ und „Explosionsschutz“ gebildet. Um Synergieeffekte auszuschöpfen und die Effizienz zu erhöhen, fusionierte die Arbeitsgruppe „Explosionsschutz“ im Jahre 2008 mit dem entsprechenden Arbeitskreis der Sektion Maschinen- und Systemsicherheit.

In den Arbeitsgruppen werden intensive informelle Diskussionen geführt, darüber hinaus werden Broschüren und Unterweisungsmedien erarbeitet sowie Workshops organisiert, um den internationalen Erfahrungsaustausch unter Fachleuten zu fördern und für bestimmte Probleme zielführende Lösungen zu erarbeiten.

Die Sektionen Chemie und Maschinen- und Systemsicherheit wollen auf diesem Weg einen Beitrag zu einem hohen und unter Industrieländern vergleichbaren Stand der Technik leisten und ihr Wissen auch den industriell noch weniger entwickelten Ländern weitergeben.



Arbeitsschutz  
im Gesundheitswesen



Elektrizität,  
Gas, Wasser



Forschung



Eisen-  
und Metall-  
industrie



Präventions-  
kultur



Erziehung  
und Ausbil-  
dung



Handel



**issa** | INTERNATIONALE VEREINIGUNG FÜR SOZIALE SICHERHEIT | **IVSS**

*Sektion für Prävention in der chemischen Industrie  
Sektion für Maschinen- und Systemsicherheit*

## Zündgefahren und Schutzmaßnahmen

# Statische Elektrizität

In der modernen Industrie stellt statische Elektrizität ein erhebliches Zündrisiko dar. In Umgebungen, in denen brennbare Gase, Dämpfe oder Stäube vorhanden sind, kann bereits ein kleiner elektrostatischer Funke ausreichen, um eine verheerende Explosion auszulösen.

Diese Broschüre bietet eine Übersicht über die Explosionsgefahren und die Mechanismen der elektrostatischen Aufladungen und Entladungen. Die Entstehung elektrostatischer Aufladungen durch Ladungstrennung, die Ansammlung von Ladungen und deren Ableitung sind zentrale Themen, die detailliert behandelt werden. Verschiedene Entladungsarten und ihre Zündwirksamkeit werden vorgestellt, um ein Verständnis für die potenziellen Gefahren zu vermitteln.

Der Umgang mit brennbaren Flüssigkeiten, Gasen, Dämpfen und Schüttgütern erfordert spezielle Sicherheitsvorkehrungen. Diese Broschüre stellt bewährte Verfahren und präventive Maßnahmen vor, um die Sicherheit im Betrieb zu gewährleisten und Zündgefahren durch statische Elektrizität effektiv zu minimieren. Die aufgeführten Beispiele sind eine Auswahl betriebsüblicher Verfahrensweisen, bei denen Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladung auftreten können. Für die dargestellten Fälle sind praktische Maßnahmen zur Vermeidung von Zündgefahren beschrieben. Dazu gehören als grundlegende Maßnahmen die Erdung und der Potenzialausgleich sowie die Verwendung ableitfähiger Materialien. In jedem Abschnitt der Beispielsammlung sind zunächst die Gefahren und spezifischen Schutzmaßnahmen resp. Sicherheitsanforderungen in Kurzform aufgeführt.

Ziel ist es, durch diese kompakte und klare Darstellung für die Implementierung von Sicherheitsmaßnahmen zu sensibilisieren und somit einen Beitrag zur Sicherheit in Ihrem Betrieb zu leisten.

ISBN 978-92-843-5137-4