

Man muss kein Genie sein, um sich gegen elektrostatische Gefahren zu schützen

Jeder, der für die Sicherheit von Mitarbeitern, Kollegen, Anlagen und Sachwerten verantwortlich ist, steht bei der Schaffung einer sicheren Arbeitsumgebung vor der nicht immer leicht zu lösenden Aufgabe, bestimmen zu müssen, ob die Produktions- und Bearbeitungsprozesse einer Anlage die Gefahr einer elektrostatischen Funkenentladung in einer entzündlichen oder brennbaren Atmosphäre in sich tragen.

Die Elektrostatik ist ein detailreiches Fachgebiet, das für die meisten für uns wie eine Geheimwissenschaft wirkt, zu der nur Akademiker und erfahrene Prozesssicherheitsberater Zugang haben. Da elektrostatische Zündgefahren auf „atomarer Ebene“ auftreten, ist es naturgemäß schwierig, sich vorzustellen, wie und warum elektrostatische Ladungen in Branchen, in denen regelmäßig brennbare und entzündliche Produkte verarbeitet werden, eine Gefahr darstellen. Es gibt so viele Variablen, die bei der Elektrostatik eine Rolle spielen, dass es fast unmöglich ist, die tatsächlichen Auswirkungen dieser Parameter im Kontext der Gefahrenabwehr vorherzusagen, ohne kontrollierte Laborversuche durchzuführen, um festzustellen, ob ein bestimmter Prozess zündfähige elektrostatische Entladungen hervorrufen kann.



Wenn man bedenkt, dass durch Laufen auf einem Teppich 35.000 Volt (35 kV) an einem Menschen entstehen können, wird deutlich, wie normale, tagtäglich ablaufende Prozesse Spannungen von weit über 10.000 Volt (10 kV) erzeugen können. Bei einem kleinen Objekt wie einem Metalleimer mit einer typischen elektrischen Kapazität von 20 Picofarad beträgt die für eine Entladung bei 10 kV verfügbare Gesamtenergie 1 mJ. Dieser Wert liegt über der Mindestzündenergie der meisten entzündlichen Dämpfe. Im größeren Maßstab betrachtet liegt die Zündenergie, die bei 10 kV an einem Menschen entsteht, bei ca. 10 mJ. Im Rahmen von Produktionsschritten, bei denen Pulverstoffe transportiert werden, können an Teilen des Fördersystems leicht Spannungen in der Größenordnung von 1.000 kV entstehen. Tanklastzüge, die befüllt werden, können eine Zündenergie von bis zu 2000 mJ aufweisen.

Die Untersuchung und Bestimmung der Spannungswerte, die als Folge dieser Ladungsmechanismen entstehen können, ist zeit- und kostenaufwändig. Verkompliziert wird das Ganze durch die Tatsache, dass zündfähige elektrostatische Entladungen in unterschiedlicher Form auftreten können, von Funkenentladungen über Gleitstielbüschelentladungen und Schüttkegelentladungen bis hin zu Koronaentladungen. Die Beurteilung, Bestimmung und Kombination dieser Variablen für eine in sich geschlossene Überprüfung einer potentiellen Gefahr ist keineswegs einfach.

Nach welchen Normen sollte ich mich beim Schutz gegen elektrostatische Ladungen in zündfähigen Atmosphären richten?

Glücklicherweise gibt es mehrere international anerkannte Normen, die ein Anleitung zur Einschränkung elektrostatischer Gefahren beinhalten und die für den Arbeitsschutz verantwortlichen Personen in die Lage versetzen, das Risiko zündfähiger elektrostatischer Entladungen zu minimieren. Das Bedienpersonal in explosionsgefährdeten Bereichen, das die Einhaltung dieser Normen nachweislich praktiziert, wird bei der Schaffung einer sicheren Arbeitsumgebung und der Verhinderung der Zündung zündfähiger Atmosphären sehr gute Ergebnisse erzielen. Zu den umfassendsten Normen gehören:

NFPA 77: Recommended Practice on Static Electricity (2007). (Empfehlungen für den Umgang mit statischer Elektrizität)

Cenelec CLC/TR 50404: Code of practice for the avoidance of hazards due to static electricity (2003). (Empfehlungen zur Vermeidung von Gefahren durch elektrostatische Aufladung)

API RP 2003: Protection against Ignitions Arising out of Static, Lightning and Stray Currents (2008). (Schutz gegen Zündung durch elektrostatische Entladungen, Blitze und Streuströme)

API RP 2219: Safe Operation of Vacuum Trucks in Petroleum Service (2005). (Sichere Nutzung von Vakuumentankwagen in der Mineralölindustrie)

Diese Normen, und ganz besonders NFPA 77 und CLC/TR: 50404, beschreiben eine Reihe von Prozessen, bei denen elektrostatische Ladungen entstehen können, z.B. beim Materialfluss durch Rohrleitungen und Schläuche, beim Befüllen und Entleeren von Tanklastzügen oder Eisenbahnkesselwagen, beim Befüllen von und der Produktentnahme aus mobilen Tanks, Fässern und Behältern, beim Befüllen und Reinigen von Vorratsbehältern, beim Mischen, Verschneiden und Rühren, beim Transport von Pulvern sowie bei zahlreichen anderen Aktivitäten. Die Norm API RP 2003 befasst sich mit dem Befüllen von Tanklastzügen, Eisenbahnkesselwagen und Vorratsbehältern sowie mit allgemeinen Tätigkeiten im Zusammenhang mit Mineralölprodukten. Die Norm API RP 2219 beinhaltet eine detaillierte Anleitung für den Schutz von Vakuumentankwagen gegen elektrostatische Gefahren.

Man muss kein Genie sein, um sich gegen elektrostatische Gefahren zu schützen



Nottingham, NG4 2JX, UK
 Tel: +44 (0)115 940 7500
 Fax: +44 (0)115 940 7501
 Email: groundit@newson-gale.co.uk

In all diesen Normen werden die Faktoren genannt, die für die Einschränkung elektrostatischer Gefahren eindeutig identifiziert und kontrolliert werden können. Diese Kontrollen sind in der Regel von den folgenden Punkten abhängig:

- **Verhinderung der elektrostatischen Aufladung von Anlagenteilen, Personen und transportierten Substanzen.**
- **Kontrolle des Prozesses zur Minimierung der Erzeugung von elektrostatischen Ladungen.**

NFPA 77 (5.1.10) wird gesagt, dass der Übergang eines einzigen Elektrons in 500.000 Atomen ausreicht, um Spannungen zu erzeugen, die über genug Energie zur Zündung entzündlicher Atmosphären verfügen.

Als primäre Schutzmaßnahme gegen elektrostatische Gefahren werden in den Normen die wirksame Erdung sowie der Potentialausgleich genannt. Dies sind gleichzeitig auch die unkompliziertesten, sichersten und kostengünstigsten Maßnahmen zum Umgang mit und zur ordnungsgemäßen Kontrolle von elektrostatischen Gefahren. Wenn elektrostatische Aufladung verhindert wird, werden auch die damit assoziierten Gefahren verhindert.

Erdung und Potentialausgleich – welche Benchmark gibt es?

Die Erde hat eine unendliche Kapazität zur Aufnahme von Ladungen. Unter „Erdung“ versteht man die Verbindung eines Körpers mit einer Elektrode (oder einem anderen in die Erde eingegrabenen Objekt), die einen verifizierten Übergangswiderstand zur Erde hat. In der Regel liegt dieser Wert unter 25 Ohm. Durch die Erdung entsteht für die elektrostatischen Ladungen ein Weg, über den sie schnell zur Erde abfließen können, wodurch die Spannung des Objekts auf null reduziert wird und somit keine Zündquelle mehr vorliegt. Beim „Potentialausgleich“ werden Objekte so miteinander verbunden, dass sie das gleiche elektrische Potential aufweisen. So werden Entladungen vermieden, wenn die Objekte nah beieinander aufgestellt werden. Beim Potentialausgleich ist es wichtig, dass eines der miteinander verbundenen Objekte geerdet ist, um das Nullpotential aller Teile zu gewährleisten.

Elektrostatische Gefahr = Situation, in der die elektrostatische Aufladung schneller erfolgt als die Ladungsableitung.

In Anbetracht der Tatsache, dass Erdung die Primärmaßnahme zur Verhinderung elektrostatischer Gefahren darstellt, ist es wichtig, die Parameter zu kennen, über die ein ausreichender Schutz erreicht werden kann. Der Schlüsselfaktor beim Schutz gegen elektrostatische Ladungen besteht darin, sicherzustellen, dass der Weg vom aufgeladenen Objekt hin zur Erde so ausgelegt ist, dass die elektrostatischen Ladungen sicher und schnell abgeleitet werden können.

Die meisten Anlagenteile, bei denen die Gefahr einer elektrostatischen Aufladung besteht, sind aus Metall. Metalle

sind hervorragende Leiter, und die natürlichen ohmschen Eigenschaften von Metallen, von Kupfer bis Stahl, führen dazu, dass der elektrische Widerstand gegen den Ladungstransport vom Körper weg gering ist, sofern der Körper guten Kontakt zur Erde hat. Wenn der Metallkörper nicht geerdet ist, können sich diese positiven Eigenschaften schnell ins Gegenteil umkehren, da isolierte Metalleiter als Hauptquelle für elektrostatische Funkenzündungen gelten.

Werkstoff	Typischer spezifischer Volumenwiderstand	Widerstand gegen den Ladungstransport
Kupferr	$1.7 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$	gering
Stahl	$4.52 \times 10^{-7} \Omega \cdot m$	gering
Kohlenstoff	$10 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$	gering
Glas	$1 \times 10^{10} \Omega \cdot m$	hoch
Polymere	$10^{15} \text{ to } 10^{22} \Omega \cdot m$	hoch

Spezifischer Widerstand verschiedener Werkstoffe

Zur Veranschaulichung: Ein Stahlkabel von 10 m Länge, 2 mm Durchmesser und gutem Zustand sollte einen Gesamtwiderstand von ca. 1,44 Ohm über seine gesamte Länge aufweisen (siehe Tabelle oben rechts).

Der maximale Widerstandswert in Metallstromkreisen, in denen das Objekt enthalten ist, bei dem die Gefahr einer elektrostatischen Aufladung besteht, sollte höchstens 10 Ohm betragen und gilt als Benchmark für den Widerstand, wie er von allen vier Normen empfohlen wird. Beträgt der Widerstand 10 Ohm oder mehr, dann ist die Wahrscheinlichkeit groß, dass der Erdungsstromkreis nicht mehr intakt ist. Er sollte daher auf Anzeichen von Korrosion oder Brüchen hin untersucht werdenges.

Kabel mit 2mm Durchmesser	25 metres (82 feet)	10 metres (32 feet)	5 metres (16 feet)
Kupfer	0.13 ohms	0.05 ohms	0.027 ohm
Stahl	3.6 ohms	1.44 ohms	0.72 ohms

Widerstandswerte für verschiedene Kabellänge

	NFPA 77	API 2003	API 2219	CLCTR 50404
Metallstromkreise	10 ohms	10 ohms	10 ohms	10 or 100 ohms
FIBC des Typs C	Erdung zwingend erforderlich	Keine referenz	Keine referenz	1×10^8 ohms

Widerstandswerte, die in den Normen für Erdungs- und Potentialausgleichsstromkreise empfohlen werden

In der obigen Tabelle sind die maximalen Widerstandswerte für Stromkreise zur Ableitung elektrostatischer Ladungen aufgeführt, die in den Normen für den Schutz gegen elektrostatische Ladungen in potentiell zündfähigen Atmosphären empfohlen werden. Es muss sichergestellt werden, dass der Weg für die Ableitung der elektrostatischen Ladungen, also der Weg, über den der Ladestrom zur Erde geführt wird, einen Widerstandswert von maximal 10 Ohm nicht überschreitet und dass sich dieser Wert während des gesamten Prozesses nicht verändert.

Man muss kein Genie sein, um sich gegen elektrostatische Gefahren zu schützen

So können Sie Ihre Prozesse in Hinblick auf elektrostatische Gefahren überprüfen:

In Abbildung 6.1.2 der Norm NFPA 77 ist ein Flussdiagramm zur Entscheidungsfindung dargestellt. Mit diesem Diagramm können Sie auf einfache und effektive Art und Weise entscheiden, ob leitende Objekte geerdet werden sollten. Der erste Schritt der Überprüfung besteht darin, zu bestimmen, ob „*das Potential zur Entstehung einer zündfähigen Mischung besteht*“. Wenn dies der Fall ist, müssen im nächsten Schritt „*alle leitenden Anlagenteile einem Potentialausgleich unterzogen und geerdet werden*“. Es gibt weitere Schritte, bei denen abgefragt wird, ob „*elektrostatische Energie*“

erzeugt wird und sich ansammeln kann. Wie bereits erwähnt, kann der Prozess für die Bestimmung dieser Faktoren viel Zeit und das Fachwissen von Prozesssicherheitsexperten in Anspruch nehmen. Häufig ist es kostengünstiger, das Objekt zu erden, vor allem wenn es aus leitendem Metall besteht, wenn bereits bekannt ist, dass Werkstoffe mit unterschiedlichen Eigenschaften miteinander in Kontakt kommen werden. Um den Rahmen für eine grundlegende Überprüfung von Prozessen zu schaffen, werden in NFPA 77 (Abbildung 6.1.2) die folgenden Szenarien aufgeführt, in denen Ladung erzeugt werden kann:

Kann Ladung erzeugt werden?

Beinhaltet der Prozess:

- Materialfluss?
- Rühren oder Zerstäubung?
- Pulver oder Feststoffe?
- Interaktion mit Personen?
- Filtration?
- Absetzen?
- Blasenauftstieg?

Wenn JA, kann sich Ladung ansammeln?

Beinhaltet der Prozess:

- Isolierte Anlagenteile?
- Isolierende Materialien?
- Isolierte, leitende Anlagenteile?
- Interaktion mit Personen?
- Nichtleitende Flüssigkeiten?
- Nebel oder Wolken?

Wenn die Antwort auf diese Fragen „JA“ ist, sollte die potentielle Mindestzündenergie berechnet werden, um zu bestimmen, ob sie die Mindestzündenergie der vorhandenen Atmosphäre übersteigt. Dies ist vermutlich nur sehr schwer zu berechnen, so dass anzuraten ist, die Anlagenteile zu erden, da vielleicht keine Möglichkeit besteht, das Material während der Verarbeitung oder die Anlagenteile, durch die es gepumpt, befördert oder bearbeitet wird, auszutauschen.

Welche Empfehlungen geben die Normen für spezifische Anwendungen?

Tanklastzüge: NFPA 77, CLC TR: 50404 und API RP 2003 wird empfohlen, dass der erste Arbeitsschritt beim Produkttransfer im Zusammenhang mit Tanklastzügen die Erdung des Tanklastzugs ist, und zwar noch bevor der Fahrer irgendwelche anderen Arbeiten ausführt. Darüber hinaus sollten verriegelnde Erdungssysteme mit Erdstatusanzeigen spezifiziert werden.

Wenn der Tanklastzug aufgrund falscher Erdung nicht gegen elektrostatische Entladungen geschützt ist, wird das System den Produktfluss verhindern, wodurch elektrostatische Ladungen gar nicht erst entstehen können. Das Erdungssystem sollte den Widerstand des Erdungsstromkreises überwachen, um zu gewährleisten, dass der Widerstandswert von 10 Ohm nicht überschritten wird. In der Norm **CLC TR: 50404** werden die Werte 10 Ohm und 100 Ohm als geeignete Werte für die Überwachung genannt. Allerdings ist der Wert von 10 Ohm der vorherrschende Standard für große Unternehmen, bei denen der Schutz vor elektrostatischen Ladungen nachweislich ernst genommen wird.

In NFPA 77, CLC TR: 50404 und API RP 2003 Die Erdung von Tanklastzügen ist von größter Wichtigkeit, damit sich am Behälter (Fass) keine elektrostatischen Ladungen ansammeln können

Eisenbahnkesselwagen:

In den Normen **API RP 3002** und **NFPA 77** werde jene Teile des Eisenbahnkesselwagens genannt, die elektrisch von den Schienen isoliert werden könnten. Zwischen dem Behälter und dem Fahrgestell können nichtleitende Verschleißbeläge und Lager angebracht werden. Es wird empfohlen, den Behälter vor und während des Produkttransfers zu erden. So kann die Ansammlung elektrostatischer Ladungen am Behälter und demzufolge auch die Gefahr einer Entladung vom Behälter zum Füllrohr bzw. zu Personen oder anderen geerdeten Körpern hin verhindert werden. In NFPA 77 (**8.8.2**) heißt es:

„*Viele Tankwagen sind mit nichtleitenden Lagern und Verschleißbelägen ausgestattet, die zwischen dem Wagen selbst und dem Fahrgestell (Achsbaugruppen) angeordnet sind... Daher ist es zum Schutz gegen die Ansammlung von Ladungen wichtig, zwischen dem Tankwagen und dem Füllrohr einen Potentialausgleich herzustellen.*“

Vakuumentankwagen: In **API 2219** gibt es eine Anleitung zum Schutz von Vakuumentankwagen, wenn diese brennbare oder entzündliche Produkte aufnehmen sollen. Als Beispiele werden das Absaugen von Produkten bei der Reinigung von Vorrattanks und das Absaugen von brennbarem Pulver aus Staubabscheidern genannt. Von den zahlreichen Empfehlungen in der Norm API 2219 bezieht sich die wohl wichtigste auf die vollständige Erdung des Tankwagens, indem man diesen vor Beginn des Produkttransfers an „einen explizit dafür vorgesehenen und überprüften Erdungspunkt“ anschließt. Der „Erdungspunkt“ ist ein Objekt mit einer niederohmigen Verbindung zur Erde. In der Norm wird außerdem unterstrichen, wie wichtig es ist, zu bestätigen, dass der Anschlusswiderstand zwischen dem Tankwagen und dem Erdungspunkt einen Wert von weniger als 10 Ohm aufweist und dass dieser Widerstand mit einem Ohmmeter (oder einem anderen Messgerät) gemessen werden sollte.



Man muss kein Genie sein, um sich gegen elektrostatische Gefahren zu schützen



Nottingham, NG4 2JX, UK

Tel: +44 (0)115 940 7500

Fax: +44 (0)115 940 7501

Email: groundit@newson-gale.co.uk

Personen: Wie bereits zuvor erwähnt, können Personen durch Bewegung große Potentialdifferenzen auf ihren Körpern erzeugen. Die Ansammlung elektrostatischer Ladungen sollte minimiert werden, damit das Bedienpersonal in zündfähigen Atmosphären keine Funkenentladungen hervorruft. In den einschlägigen Normen wird geraten, dafür zu sorgen, dass die Bodenbeläge in explosionsgefährdeten Bereichen leitend sind und dass das in diesen Bereichen tätige Personal antistatische Schuhe trägt, um so die Ladungsansammlung am Körper zu verhindern. In der Norm **CLC TR: 50404 (8.1.3.3)** heißt es, dass die Schuhe vor dem Betreten der entsprechend ausgewiesenen Bereiche geprüft werden sollten:

„Das Bedienpersonal sollte über leitende Bodenbeläge und Schuhe (siehe 9.2 und 9.3) geerdet werden. An den Zugangspunkten zu Bereichen, in denen derartige Schuhwerk notwendig ist, sollten Überwachungsgeräte vorhanden sein, mit denen die Widerstandswerte des Bedienpersonals überwacht werden können.“

Mobile Behälter: Wenn mobile Metallbehälter wie IBCs und Fässer befüllt bzw. entleert werden, dann sollten gemäß allen Normen das gesamte Befüllsystem wie auch die Aufnahmebehälter einem Potentialausgleich unterzogen und geerdet werden. In **NFPA 77 (8.13.3.2)** heißt es:

„Der Potentialausgleich sollte mithilfe von Klammern mit gehärteten Stahlspitzen durchgeführt werden, die Farbe, Korrosionsschichten und Produktrückstände durch Schraub- oder hohe Federkraft sicher durchdringen.“

Auch in Bezug auf die Verwendung von Metallbehältern mit Kunststoffauskleidung finden sich in den Normen Anleitungen. In **NFPA 77** heißt es, dass ein Metallbehälter mit einer höchstens 2 mm dicken Kunststoffauskleidung wie ein Metallfass behandelt werden kann. In **CLC TR: 50404** findet sich eine Tabelle mit den maximal empfohlenen Auskleidungsdicken. In dieser Norm wird außerdem betont, wie wichtig es ist, dass es durch die Interaktion mit leitenden Objekten zu keinerlei hochenergetischer Gleitstielbüschelentladung kommen kann. Im Allgemeinen wird das Befüllen von isolierenden Kunststoffbehältern nicht empfohlen. Bei der Verarbeitung leitender Flüssigkeiten können Ladungen unter Umständen mit einem leitenden Tauchrohr abgeleitet werden, aber für den Einsatz von Tauchrohren gelten zusätzliche Vorsichtsmaßnahmen.

FIBCs: Die eindeutigste Anleitung in Bezug auf die Widerstandswerte, die beim Füllen oder Entleeren von FIBC-Säcken des Typs C eingehalten werden sollten, findet sich in der Norm **CLC TR: 50404**. In der Norm **NFPA 77** wird gesagt, dass die Säcke geerdet werden sollten, allerdings wird kein maximaler Widerstandswert angegeben. In **CLC TR: 50404 (7.2.6.8.3)** heißt es:

„Das leitende Gewebe und die leitenden Fäden oder Fasern sollen am Erdungspunkt des FIBC einen Widerstand von unter $(1 \times 10^8 \Omega)$ aufweisen.“

Säcke des Typs D sind so konzipiert, dass von ihnen Ladungen über „niederenergetische“ Koronaentladungen abgeleitet werden. Ein möglicher Nachteil besteht jedoch darin, dass die Säcke Ladungen auf umgebenden leitenden Objekten erzeugen können. In **CLC TR: 50404 (7.2.6.8.4)** heißt es:

„Leitende Objekte, die normalerweise nicht geerdet sind (z.B. Fässer auf Paletten) sollten entweder geerdet oder aus dem Bereich um einen FIBC des Typs D entfernt werden. Darüber hinaus dürfen leitende Objekte (z.B. Werkzeuge, Schrauben und Klemmen) nicht auf dem FIBC abgelegt oder dort gelagert werden.“

Zusammenfassung

Die Identifizierung und der Umgang mit elektrostatischen Gefahren ist für jene von uns, die für den Schutz unserer Kollegen, Mitarbeiter, Anlagen und Sachwerte vor Bränden und Explosionen durch elektrostatische Ladungen verantwortlich sind, eine große Herausforderung. Es gibt viele Faktoren, die für das Vorliegen derartiger Gefahren eine Rolle spielen, aber wenn die oben dargestellten Beispiele zum Thema Erdung und Potentialausgleich befolgt werden, dann kann auch die Mehrzahl der Prozesse, bei denen die Gefahr elektrostatischer Entladungen besteht, kontrolliert ablaufen. Wenn bei der Überprüfung eines Prozesses oder Verfahrens Gefahrenquellen durch elektrostatische Zündung erkannt wurden, müssen Erdungs- und Potentialausgleichssysteme spezifiziert werden, die den Vorgaben der einschlägigen Normen entsprechen. Wann immer möglich, sollten Erdungssysteme verwendet werden, die den in den Normen empfohlenen Widerstandswerten genügen. So können sich Unternehmen gegen diese immer vorhandenen und gefährlichen Zündquellen schützen..

Weitere Informationen: Wenn Sie Fragen zur normengerechten Anwendung der Erdung und des Potentialausgleichs von Anlagenteilen haben, bei denen die Gefahr des Aufbaus elektrostatischer Ladungen besteht, wenden Sie sich bitte an die folgenden Personen:

Mike O'Brien - Product Manager.
Europa / Naher Osten / Asien on +44 (0)115 940 7500
email michael.obrien@newson-gale.co.uk

Graham Tyers - President, Newson Gale Inc.,
U.S. / Kanada / Südamerika on +1 732 987 7715
e-mail graham.tyers@newson-gale.com