

Elektrostatik und Gefahrgut

Entstehung – Gefahren – Gegenmaßnahmen

Dr. Monika Kaßmann/Wolfgang Schubert

Trotz hoher Sicherheitsstandards führen elektrostatische Aufladungen immer wieder zu Explosionen mit hohen Schäden. Häufig sind die Ursachen Mängel bei der Wahl geeigneter Verpackungen für explosionsgefährliche Stoffe oder eine mangelhafte Ableitung beim Abfüllen beziehungsweise bei Transport, Umschlag und Lagerung. Der nachfolgende Beitrag soll Entstehung und Gefahren elektrostatischer Aufladungen sowie einige Gegenmaßnahmen näher beleuchten.

Beim Küssen kann der Funke der elektrostatischen Entladung sehr schmerzhaft und störend sein – viele haben es bestimmt schon erlebt – doch wenn der Funke überspringt, dann macht es richtig Spaß. Ebenso ist es mit der Elektrostatik, die in jeder Hinsicht eine hochspannungsgeladene Sache ist und die Kreativität herausfordert. Dieses natürliche Phänomen zeigt sich leider nicht nur in der imposanten Erscheinung eines Blitzes, sondern auch bei kleinen, kaum spürbaren Entladungen, die beim Umgang mit Gefahrgut zu Katastrophen führen können.

Grundlagen der Elektrostatik

Um das Phänomen der Elektrostatik zu verstehen, sollte man sich mit einigen Grundsätzen vertraut machen:

- Alle Materialien sind aufladbar.
- Zur Ladungserhaltung müssen diese Stoffe im Sinne der Elektrostatik über eine ausreichende Hochohmigkeit verfügen, sodass die entstandenen Ladungen nicht abfließen können.
- Alle Stoffe unterscheiden sich in ihrer Eigenart dadurch, dass sie an ihren Oberflächen unter-

schiedliche Austrittsenergien gegenüber anderen Stoffen besitzen.

- Werden Stoffe miteinander kontaktiert, so werden die Oberflächenberührungspunkte mit der kleineren Austrittsenergie Elektronen an die Berührungspunkte mit der größeren Austrittsenergie abgeben.
- Werden die in Kontakt stehenden Stoffe getrennt und auf einen größeren Abstand gebracht, entsteht zwischen diesen unterschiedlichen Oberflächen ein hohes elektrisches Potenzial.

Kurz gesagt: Elektrostatik entsteht durch Kontakt und Trennung. Reibung oder Bewegung in Flüssigkeiten verstärkt dieses Phänomen.

Dabei findet der Elektronenübergang im atomaren und molekularen Bereich statt. Das ist der „Nanometer“-Bereich (10^{-9}m und kleiner). Dieses gilt sowohl für Feststoffe als auch für Flüssigkeiten.

Bei Feststoffen gibt es unter normalen Bedingungen keine „reinen“ Oberflächen, denn diese Oberflächen sind stets mit irgendwelchen „fremden“ Molekülen verunreinigt, wodurch es zum Elektronenaustausch kommt. Bei Flüssigkeiten ist deren elektrische Leitfähigkeit für eine mögliche elektrostatische Aufladung verantwortlich. Dabei kommt noch erschwerend hinzu, dass der Wert der Leitfähigkeit davon abhängt, ob die Flüssigkeit ruht oder nicht.

Gefahren infolge elektrostatischer Aufladungen

Problematisch ist, dass man Aufladungen nicht sehen und nicht spüren kann. Erst wenn es zu entsprechenden Entladungen kommt und man diese sieht oder spürt, ist es bei Gefahrstoffen meist schon zu spät.

Jeder kennt die berühmte „Entladung an der Türklinke“: Der erwachsene Mensch besteht bekanntermaßen zu ca. 65 Prozent aus Wasser und hat die Eigenschaft eines Ladungsspeichers (Kondensator) mit ca. 150 pF ($F = \text{Farad}$ ist die SI-Einheit für die elektrische Kapazität. Sie wurde nach Michael Faraday benannt), wenn er gegenüber dem Erdpotential isoliert ist. Die Spürbarkeit einer Entladung beginnt ab etwa 2.000 Volt. Aus den

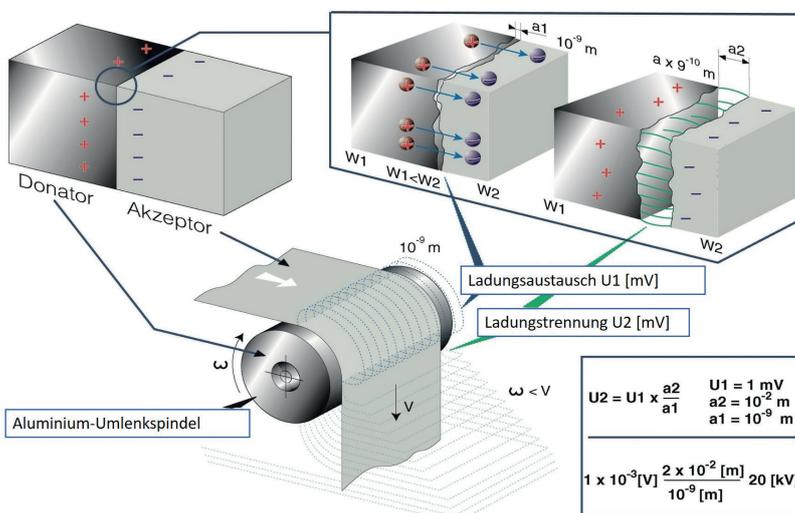


Abb. 1: Ladungsaustausch im Schüttgut

Einteilung brennbarer Gase in Explosionsgruppen und Temperaturklasse (Auszug)

Explosions-Gruppe	Temperaturklasse			
	T1 (>450 °C)	T2 (>300 °C)	T3 (>200 °C)	T4 (>135 °C)
I (Bergbau)	Methan			
II A MZE ≥ 0,2 mJ	Ammoniak Aceton Propan Benzol	Cyclohexan n-Butan n-Hexan	Benzine Kerosine Heizöle	Acetaldehyd
II B MZE < 0,2 mJ MZE > 0,02 mJ	Stadtgas Acrylnitril	Ethanol Ethylen Ethylenoxid	Ethylenglykol Schwefelwasserstoff	Ethylether
II C MZE ≤ 0,02 mJ	Wasserstoff	Acetylen	–	–

einschlägigen Formeln kann man errechnen, dass die Energie einer solchen „Türklinkenentladung“ bei etwa 0,3 mJ liegt [1].

Nun ist es wichtig zu wissen, dass die Dämpfe vieler flüssiger Gefahrstoffe bzw. deren zündwilligstes Gemisch mit Sauerstoff eine Mindestzündenergie (MZE) von etwa 0,2 mJ haben (vgl. oben stehende Tabelle).

Es wird sofort klar, dass der Mensch in diesem System eine Zündung herbeiführen kann. Weiterhin gilt: „Durch Füllen und Entleeren von Behältern mit Flüssigkeiten, durch Umpumpen, Rühren, Mischen und Versprühen von Flüssigkeiten, aber auch beim Messen und Probenehmen sowie durch Reinigungsarbeiten können sich Flüssigkeiten oder das Innere von Behältern gefährlich aufladen. Die entstehende Ladungsmenge und die Höhe der Aufladung hängen von den Eigenschaften der Flüssigkeit, ihrer Strömungsgeschwindigkeit, dem Arbeitsverfahren sowie von der Größe und Geometrie des Behälters und von den Behältermaterialien ab [3].“

Arten der Gasentladungen

Als Gasentladung wird – vereinfacht – ein durch ein Gas fließender Strom bezeichnet. Für Zündgefahren sind im Wesentlichen drei Arten der Gasentladung verantwortlich:

■ Funkenentladung

Die Funkenentladung findet zwischen zwei elektrisch leitfähigen Partnern statt. Dazu kann es z. B. zwischen einem gegen Erde isolierten Metallfass, das beim Befüllen aufgeladen wird, und einem benachbarten geerdeten Teil kommen.

■ Büschelentladung

Büschelentladungen finden zwischen einem geerdeten Leiter und einer aufgeladenen isolierenden Oberfläche statt, und sie sind auch für Gas- und Dampf/Luft-Gemische als zündfähig anzusehen. Jedoch ist eine Zündung von Staub/Luft-Gemischen durch Büschelentladungen in der Regel nicht zu befürchten.

■ Gleitbüschelentladung

Diese hat G. Christoph Lichtenberg bereits gegen Ende des 18. Jahrhunderts beschrieben. Sie zählt ne-ben

dem Gewitterblitz zu den energiereichsten und spektakulärsten elektrostatischen Ereignissen. Erst etwa 1975 wurde über elektrostatische Staubentzündungen berichtet, die sich mit Funkenentladungen nicht erklären ließen. Untersuchung der Ereignisse und weitere Forschung führten schließlich zur Definition der Gleit(stiel)büschelentladung. Sie entsteht durch Ansammlung hoher Ladungspotenziale an dünnen, isolierenden Schichten und können Stäube entzünden, Isolierstoffe perforieren und insbesondere lebensgefährlich sein.

Weitere Gasentladungsarten wie die Coronaentladung und die Schüttkegelentladung sind in [1] beschrieben.

Schutz durch Erdung ist unabdingbar

Die „Erdung“ ist ein Bestandteil des Explosionsschutzes. Grundsätzlich wird der „EX-Schutz“ in drei verschiedene Gruppen eingeteilt:

- Primäre Maßnahmen sollen das Entstehen explosionsfähiger Atmosphären von vornherein verhindern oder einschränken.
- Sekundäre Maßnahmen sollen die Entzündung explosionsfähiger Atmosphären verhindern – also potenzielle Zündquellen vermeiden.
- Tertiäre Maßnahmen haben die Aufgabe, die Auswirkungen einer Explosion auf ein unbedenkliches Maß zu beschränken.

Für den Gefahrguttransport sollen aus Sicht der Elektrostatik nur die sekundären Maßnahmen betrachtet werden. Dementsprechend ist die einzige und richtige Möglichkeit zur Ableitung elektrostatischer Aufladungen die Erdung. Grundsätzlich ist es besser, einmal zu viel zu erden als einmal zu wenig. Die dabei angelegte Erdverbindung muss sicher und dauerhaft sein und sinnvollerweise überwacht werden.

Unbedingt muss beachtet werden, dass der Mensch als im Prozess agierender Faktor in das Gesamtkonzept der Erdung einzubeziehen ist (vgl. Abb. 2). An dieser Stelle ist eine Vielzahl von Vorschriften, die in der letzten Zeit umfangreich aktualisiert wurden, vom Betreiber – und eben auch vom Spediteur – zu berücksichtigen. So trat im Juni 2015 die geänderte Be-

triebssicherheitsverordnung (BetrSichV 2015) in Kraft. Es wurden die Vorschriften zum atmosphärischen Explosionsschutz in die Gefahrstoffverordnung (GefStoffV 2017) verschoben. Darauf aufbauend wurde die Vorschriftenreihe der Technischen Regeln für Gefahrstoffe 700 ff. (TRGS) angepasst. Für die Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen wurde die TRGS 727 (01/2016) angepasst. Aus dieser und weiteren Vorschriften, wie der Vorschriftenreihe 500 (Schutzmaßnahmen bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen) ergeben sich für das Handling einige Anforderungen, die sowohl Mitarbeiter als auch Arbeitgeber betreffen.

eminent wichtig, den Mitarbeiter für diese Situation zu sensibilisieren, da er unmittelbar in Gefahr ist, dies aber mit allen zur Verfügung stehenden Sinnen nicht bemerken kann. Erst wenn es zu einer elektrostatischen Entladung kommt, ist das spürbar – doch kann es dann schon zu spät sein.

Abb. 3 soll verdeutlichen, dass ca. 7 ml Benzol mit einem Flammpunkt bei -11 °C unter normalen Umständen immer mit einer Gasphase vorhanden ist. Die untere Explosionsgrenze (UEG) liegt bei nur 1,2 Vol.-% und das zündwilligste Gemisch liegt bei 4,7 Vol.-%. Die sogenannte Mindestzündenergie (MIE) ist mit einem Wert von 0,2 mJ auch sehr niedrig.

Weiterhin muss man sich vergegenwärtigen, dass die Spürbarkeit einer elektrostatischen Entladung bei etwa 2.000 bis 2.500 V beginnt. Personenauf Ladungen können je nach Körpergröße bereits unterhalb der Spürbarkeit zu zündfähigen Entladungen führen. Eine solche Entladung hat ausreichend Energie, ein zündfähiges Gemisch auch zu zünden, denn der Mensch verhält sich wie ein Kondensator – er kann also elektrische Energie speichern. In den o. g. Vorschriften sind diese Fakten weiter erläutert.

Nun steht die Frage im Raum: Wer prüft die Ableitfähigkeit des Schuhwerks eines Tanklastwagenfahrers oder eines Lkw-Fahrers, der z. B. IBCs oder Fässer mit hochentzündlichen Lösemitteln beim Kunden anliefern und diese evtl. sogar in das Lager für brennbare Flüssigkeiten verbringt? Die ableitfähigen Schuhe sind Bestandteil der persönlichen Schutzausrüstung, für die der Arbeitgeber verantwortlich ist. Für die Überprüfung des Schuhwerks gibt es keine Regeln, sie ist deshalb je nach Bedingung individuell vom Unternehmer festzulegen.

Für den Test der Ableitfähigkeit der jeweiligen Person wurden entsprechende Prüfgeräte entwickelt (Abb. 4), die in geeigneter Weise genutzt werden müssen.

Ein weiterer wesentlicher Punkt ist die durchgängige Erdung im Sinne der Elektrostatik, sobald die Behältnisse geöffnet werden oder die Inhalte anderweitig manipuliert werden.

Entscheidend für die Qualität der Erdungskabel ist deren Widerstand, der kleiner als 10^6 Ohm sein muss. Dabei ist es nicht notwendig, möglichst „dicke“ Kabel zu verwenden. Normalerweise reichen Querschnitte von max. 2,5 mm² aus. Entscheidend ist die mögliche mechanische Belastung [3]. Für Erdungskabel hat sich in Deutschland

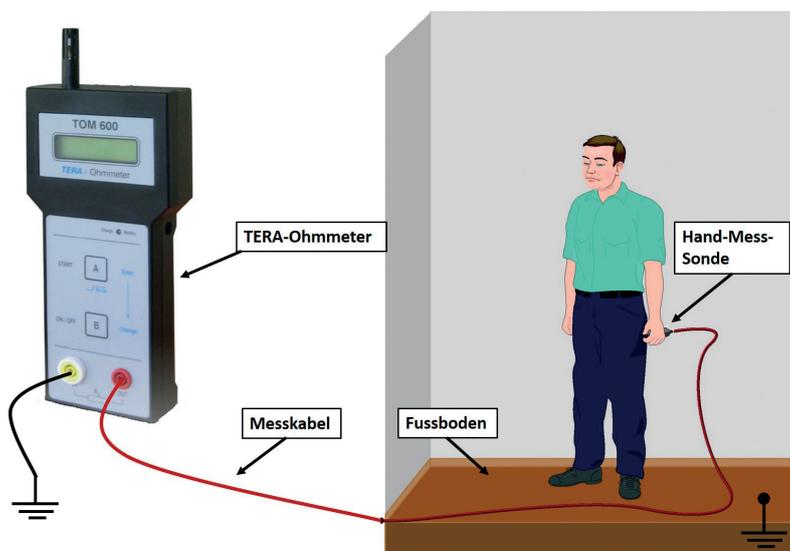


Abb. 2: Messung des Ableitwiderstandes von Hand zur Schuhsohlenaußenseite

Ausgehend von der Prinzipdarstellung einer Überprüfung des Mitarbeiters auf funktionsfähige und damit ableitfähige Schuhe liegt der Schwerpunkt auf sinnvoller und durchgängiger Erdung im Sinne der Elektrostatik. Sicherlich ist unter dem Aspekt des Transportes die Straße ableitfähig, doch was nutzt es, wenn die Arbeitsschutzschuhe nicht oder wegen Verschmutzung nicht mehr ableitfähig sind? Das heißt, wenn der vorgeschriebene Ableitwiderstand von 10^6 Ohm in den Zonen 0 und 1 überschritten wird, geht vom Menschen eine erhebliche Gefahr aus. Es ist also



Abb. 3: Verdeutlichung des Verhältnisses Flüssigkeit zum Gas-Luft-Gemisch (d: ca. 11,5 cm, Bsp. Benzol)

Bild: Fa. Kleinwächter, www.kleinwaechtergmbh.de

Bild: Fa. Warmbier, www.warmbier.de

Bild: W. Schubert

die farbliche Markierung „Grün-Gelb“ durchgesetzt, die jedoch nicht Vorschrift ist.



Abb. 5: Ungeeignete Erdungsklemmen



Abb. 6: Vorbildliche Erdung



Abb. 7: Erdungszange mit Kabelrücklaufrolle

Wie soll die notwendige Erdung erfolgen?

Leider werden in sehr vielen Veröffentlichungen und selbst in diversen Regelwerken keine eindeutigen Anforderungen an die Gerätschaften gestellt, die für eine sichere Erdung nötig sind. Es werden die unterschiedlichsten Klemmen und Zangen verwendet. Das große Problem der sogenannten Erdungsklemmen ist, dass z. B. die Lackschichten an einem pulverlackierten Fass nicht durchdrungen werden und damit nur scheinbar eine Erdung hergestellt ist. Vielfach verwendete „Batterieklammern“ sind zum Laden von Batterien geeignet – nicht jedoch zur sicheren Erdung von Behältnissen. In Abb. 5 ist zu sehen, wie es nicht sein sollte.

Aus Erfahrung kann allen, die für zuverlässige Erdung zum Ableiten möglicher elektrostatischer Potenziale sorgen müssen, nur die Verwendung von sicheren Erdungszangen empfohlen werden. Dabei reicht das verfügbare Spektrum von einfachen Erdungszangen bis hin zu elektrisch beschalteten Erdungszangen in Verbindung mit Kabelrücklaufrollen für eine aktive Überwachung.

Im nächsten Heft folgen als Abrundung des Themas Hinweise zum gegenwärtigen Angebot und zur Entwicklung von exgeschützten Verpackungen.

Folgende Literatur liegt dem Beitrag zugrunde:

- [1] Lüttgens, G.+S., Blum, Emde, Schubert, Statische Elektrizität, begreifen, beherrschen, anwenden, 7. Aufl. 2015, Reihe Kontakt und Studium, Band 44, Expert Verlag, Renningen
- [2] Schubert, W., Seminarunterlagen „Elektrostatische Aufladung bei Kunststoffen“ 2017, Süddeutsches Kunststoffzentrum, Würzburg
- [3] TRGS 727 „Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen“, Ausgabe Januar 2016

Dipl.-Ing. Wolfgang Schubert
Unabhängiger Sachverständiger für Elektrostatik
ö. b. u. v. Sachverständiger (Druckindustrie)
ws@schubert-gmd.de
www.schubert-gmd.de

Dr. Monika Kaßmann
Vorstandsmitglied WGGT e. V. Dresden
mkassmann@gmx.de
www.wggt.de

Anzeige



DOPPELWANDIGE SCHLAUCHLEITUNG DWSL

mit permanenter Lecküberwachung



Reduzierte Anforderungen an Abrüllplätze durch lückenlose Doppelwandigkeit vom Fahrzeug bis zum Lagertank

- Doppelwandige Schläuche für Öle und Chemikalien aller Wassergehaltungs- und Gefahrstoffklassen
- Nennweiten von DN 19 - 100
- Mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung

Klenk GmbH
Bodnegg | Leonberg
www.klenkgmbh.de