

Beim Umgang mit brennbaren Flüssigkeiten: Zündgefahren durch Elektrostatik im Labor?!

Autor: Kurt Moritz

Kurt Moritz ist Fachverantwortlicher für Elektrostatik und mechanischen Explosionsschutz bei der technischen Anlagensicherheit der **Merck KGaA, Darmstadt**.

Elektrostatik – oft auch Reibungselektrizität genannt – entsteht entgegen der landläufigen Meinung nicht durch Reiben, sondern durch das Trennen von Oberflächen, die vorher miteinander in intensivem Kontakt standen. Intensiv bedeutet in diesem Zusammenhang, dass eine Kontaktfläche, eine (wenn auch kurze) Verweilzeit und ein Abstand zwischen den Oberflächen von max. 10 nm vorhanden sein muss.

Je nach Leitfähigkeit bzw. Position in der triboelektrischen Reihe neigen Materialien dazu, an der Oberfläche Ladungsteilchen aufzunehmen oder an die benachbarte Oberfläche abzugeben. Leitfähige Materialien dienen hierbei als Elektronenlieferanten (Donator), isolierende Materialien nehmen Ladungsteilchen auf (Akzeptor).

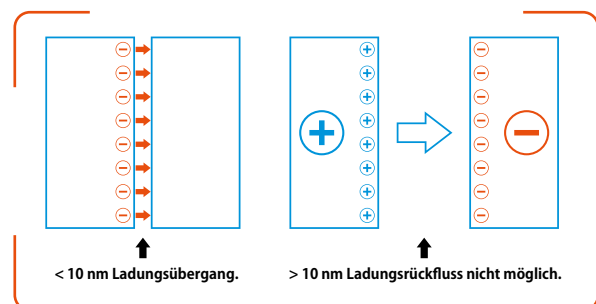
Triboelektrische Reihe

PA					←	→	Donator
Wolle					←	→	
Seide					←	→	
Zellulose					←	→	
PMMA				←	→		
ABS			←	→			
PS		←	→				
PE		←	→				
PP		←	→				
PTFE	←	→					Akzeptor

Dielektrische Leitfähigkeit (Permittivitätszahl) 2 3 4 5 6

Materialien mit höherer Permittivitätszahl dienen als Elektronenlieferant (Donator). Solche mit geringerer Permittivitätszahl tendieren zur Aufnahme von Ladungsteilchen (Akzeptor).

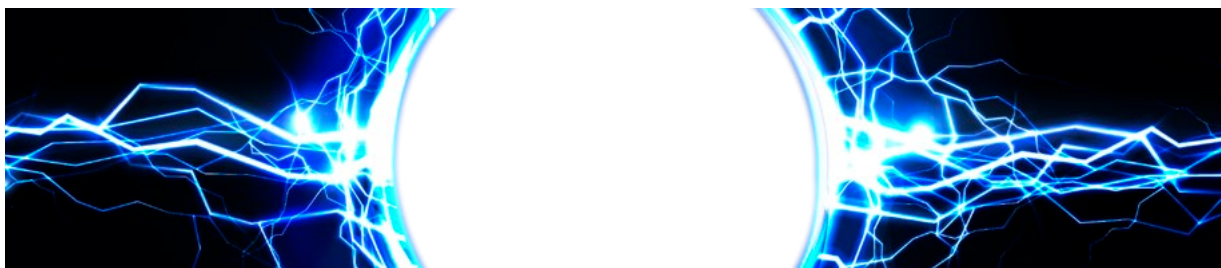
Wenn nach solch einem Ladungsübergang die Oberflächen schnell getrennt werden, und wenigstens eines dieser Materialien ein schlechter elektrischer Leiter ist, kann die übertragene Ladung nicht mehr zum Ursprungsort zurück fließen. Auf der einen Oberfläche verbleiben diese nicht mehr zurückgeführten Ladungsteilchen und bilden einen Ladungsüberschuss, auf der anderen Oberfläche fehlen sie, was dort zu einem Ladungsmangel führt. Beim Trennen wird eine Spannung erzeugt, die schnell im kV- Bereich liegen kann.



Ladungsübergang bei Kontakt, Ladungstrennung durch Oberflächentrennung.

Die Elektrostatik ist also immer ein Oberflächeneffekt und findet dort auf molekularer bzw. atomarer Ebene statt.

Bei Feststoffen ist es leicht, Trennvorgänge zu erkennen, die zu Aufladungen führen können. Es sind in der Regel immer sichtbare Bewegungen vorhanden. Das Abziehen von Folien, das Ausschütten von Produkt aus einem Gebinde, das Ausziehen von Synthetik-Kleidungsstücken (Fleece, Polyester), die vom Körper getrennt werden, all das führt zu spürbaren und teilweise auch sichtbaren Auf- und Entladungen.



Voraussetzung für die Ladungstrennung ist wie bereits erläutert jedoch, dass wenigstens eines der beteiligten Materialien ein schlechter elektrischer Leiter sein muss. Zu der Kategorie der schlechten Leiter (oder auch „Isolierstoffe“) zählen die meisten Kunststoffe wie PE, PVC, PVDF, PTFE, etc. Bei Feststoffen spricht man jedoch nicht von Leitfähigkeit (Einheit: S/m) sondern vom Widerstand (Einheit: Ω m). Siemens/meter ist der Kehrwert von Ohmmeter, sodass die Zahlenwerte direkt vergleichbar sind. Eine geringe Leitfähigkeit entspricht also einem hohen Widerstand.

Auch Flüssigkeiten sind aus elektrostatischer Sicht zu unterscheiden und auch dort gibt es Substanzen mit einem hohen Widerstand, sprich, einer schlechten elektrischen Leitfähigkeit.

Hierzu zählen z.B. aliphatische / aromatische Kohlenwasserstoffe wie Ether, sowie weit verbreitete Lösemittel wie Toluol, n-Heptan, n-Hexan, Xylole, etc.

Eine besondere Rolle spielen manche Nitrile (zum Beispiel Acetonitril) und einige Ester, die trotz einer relativ guten Leitfähigkeit zu unerwartet hohen Aufladungen führen. Ein bisher kaum bekannter und untersuchter Effekt. Somit sind auch bei solchen Substanzen elektrostatische Schutzmaßnahmen von besonderer Bedeutung.

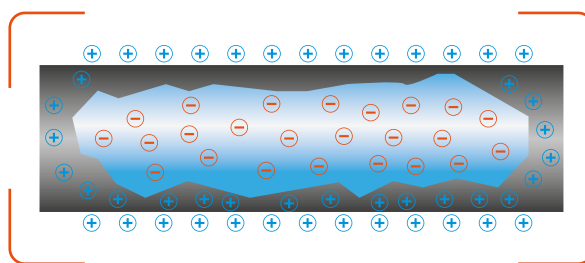
Nun ist im Gegensatz zu den Feststoffen ein Oberflächentrennvorgang bei Flüssigkeiten nicht immer als solcher erkennbar.

Die mit Flüssigkeit gefüllte Glasrohrleitung oder der semitransparente HPLC-Schlauch mit ruhendem Medium ist optisch kaum von dem mit fließendem Medium zu unterscheiden.

Und selbst wenn: Die Flüssigkeitssäule bleibt doch vollständig mit der inneren Wandung des Schlauches / des Rohres in Kontakt. **Dabei werden doch keine Oberflächen getrennt, oder?**

Ein weitverbreiteter Irrglaube, denn im Gegensatz zu Feststoffen bildet sich an der Behälter- oder Rohrleitungswand in der Flüssigkeit eine sogenannte elektrochemische Doppelschicht (auch Helmholtz-Doppelschicht genannt) aus, mit elektrisch getrennten geladenen Schichten. Beim Strömen der Flüssigkeit wird die mehr in der Flüssigkeit liegende Ladungsschicht mitgerissen.

Durch Oberflächenrauheit, strömungshemmende Einbauten und Querschnittsveränderungen werden diese Effekte zusätzlich begünstigt und somit auch die Aufladung des Systems erhöht.



Ladungstrennung auf molekularer Basis beim Fördern.

Natürlich sind gewisse Mengen und (Trenn-) Geschwindigkeiten erforderlich, um einen Aufladungsvorgang zu generieren.

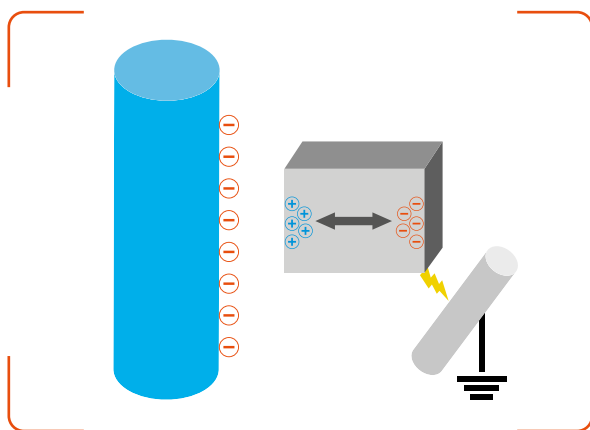
Beim Fördern in geschlossenen Systemen wird beispielsweise eine Geschwindigkeit von <1 m/s als unkritisch bezeichnet, da sich bis zu diesem Wert ein Gleichgewicht zwischen Ladungsübergang und Ladungsrückfluss einstellt. Dieser Grenzwert ist jedoch nicht beim freien Ausgießen anwendbar, da hier andere Volumen- zu Oberflächenverhältnisse herrschen und durch den Flüssigkeitsabriss ein Ladungsrückfluss ausgeschlossen ist.

Das Füllen eines Reagenzglases aus einer Labor-Spritzflasche erfüllt somit sicherlich nicht die Kriterien,

die zu kritischen elektrostatischen Aufladungen führen. Obgleich die Spritzflasche auch aus Isolierstoff (in der Regel LDPE, HDPE) gefertigt ist.

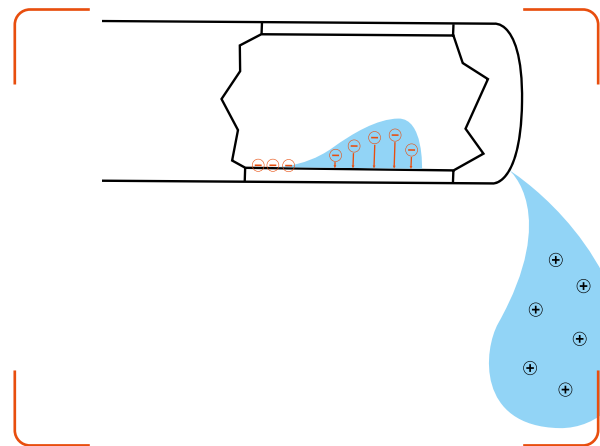
Wird jedoch eine größere Menge mit höherer Geschwindigkeit gefördert, können Aufladungen entstehen. **Eine Situation, die beispielsweise in Kapillaren und Schläuchen von HPLC-Anlagen denkbar ist**, gerade wenn mehrere dieser Schläuche zusammengefasst werden und damit der Abfalllösemittelstrom gebündelt und erhöht wird. Die damit verbundenen Trenn- bzw. Aufladungsvorgänge können so stark sein, dass sich um die Förderschläuche herum ein elektrostatisches Feld bildet. Wenn nun im Wirkungsbereich dieses Feldes leitfähige, nicht geerdete Bauteile (zum Beispiel Metallteile) vorhanden sind, unterliegen diese einer Ladungspolarisation. Das heißt zum Feld hin reichert sich die Polarität des entgegengesetzten Charakters an, die dem Feld gleichgesinnte Polarität wird abgestoßen. Dieser Polarisierungseffekt von Ladungsteilchen in den nicht geerdeten leitfähigen Bauteilen kann so stark werden, dass ein Abführen des Ladungsüberschusses oder – je nach Polarität – ein Ausgleichen des Ladungsmangels zur nächsten „Erde“ hin erfolgt. Beides findet in der Regel in Form von Funken statt.

Ein klassisches Beispiel für Aufladungen über Influenz sind metallische Komponenten wie Verschraubungen oder Halterungen an flüssigkeitsfördernden Schläuchen aus isolierendem Werkstoff.



Polarisierung leitfähiger, nicht geerdeter Teile durch „Influenz“. Es kann zum Ladungsausgleich per Funkenentladung kommen.

Auch beim Ausgießen von Flüssigkeiten, die über Flächen rinnen und sich anschließend in Behältern sammeln (z.B. bei Abfall-Lösemitteln, die über einen Trichter in einen Sammelbehälter gegossen werden) sind Aufladungen möglich. Hierbei kann sich durch den Trennvorgang zwischen Flüssigkeit und Trichter zunächst der Trichter in einer Polarität aufladen. Die entgegengesetzt geladene Flüssigkeit sammelt sich im Behälter und überträgt ihre Ladung auf den Behälter. Wenn Trichter und Behälter nun nicht elektrisch/elektrostatisch miteinander verbunden sind, entsteht auf beiden Bauteilen ein unterschiedliches elektrisches Potential, also eine Spannung, die sich per Funken entladen kann. Die Zündgefahr ist geschaffen.



Ladungstrennung beim Ausgießen einer Flüssigkeit mit hoher Leitfähigkeit (zum Beispiel Methanol, THF, Acetonitril) und einem Körper aus Isolierstoff (zum Beispiel PE / PTFE / etc.). Auch bei umgekehrter Anordnung (leitfähiger Körper und isolierende Flüssigkeit) sind Aufladungen möglich.

Schadensereignisse durch elektrostatische Auf- und Entladungen beim Umfüllen von Flüssigkeiten und Lösemittelabfällen sind bekannt und nachgewiesen.

Wie kann man beim Lösemittelhandling in Laboratorien elektrostatische Zündgefahren vermeiden?

Es gibt drei verschiedene elektrostatische Entladungsarten, die in Laboratorien relevant sind. Eine Gefährdungsbeurteilung, die diese drei Entladungsarten berücksichtigt, bewertet und Schutzmaßnahmen festschreibt, schützt vor elektrostatischen Gefährdungen.

Die häufigste Entladungsart ist die

Funkenentladung, die immer auftritt wenn leitfähige Materialien durch Trennvorgänge mit Isolierstoffen an deren Oberfläche oder durch „Influenz“ aufgeladen werden.

Diese aufgeladenen, leitfähigen Objekte können

- └ **Packmittel wie Kanister, Leichtmetallflaschen, Metallbehälter**
- └ **Personen**
- └ **Hilfsmittel wie Trichter, Rohrleitungs-komponenten, Siebe und Filter**
- └ **aber auch brennbare Lösemittel mit hoher Leitfähigkeit (Alkohole, Ketone) sein, wenn deren Ladung nicht abfließen kann.**

Die Ladung reichert sich wie in einem Kondensator an. Wenn das Potential hoch genug ist, findet der Ladungsausgleich zu einem anderen leitfähigen Objekt anderen Potentials (in der Regel zur „Erde“) statt.

Die Verwendung leitfähiger oder ableitfähiger geerdeter Materialien verhindert Funkenentladungen.

Der Ladungsausgleich erfolgt über die Erdverbindung, eine mögliche Aufladung fließt ungefährlich ab. Gleichzeitig sind leitfähige, geerdete Gebinde in der Lage, leitfähige Flüssigkeiten im Inneren zu erden.



Die sichere Erdung leitfähiger Komponenten verhindert Funkenentladungen. Auch ableitfähige Materialien müssen mit Erde verbunden sein.

Die zweite relevante Entladungsart ist die Büschelentladung.

Diese tritt auf Isolierstoffoberflächen auf, die durch Trennvorgänge wie Reiben, Wischen, abziehen von Schutzfolien, etc., oder durch Ansprühen aufgeladen worden sind.

Isolierende Feststoffoberflächen können nur durch derartige Oberflächenvorgänge aufgeladen werden. Eine Aufladung über Influenz findet bei Isolierstoffen nicht statt, da es aufgrund der schlechten Leitfähigkeit nicht zum Verschieben / zum Polarisieren von Ladungsteilchen in dem Material kommt.

Wird einer aufgeladenen Isolierstoffoberfläche zum Beispiel durch Annäherung eines Metallobjektes oder eines Menschen ein Erdableiter angeboten, bündelt sich das elektrostatische Feld zu dieser Erde und ein sich zur Oberfläche hin verästelnder Funke – die Büschelentladung – entsteht.

Büschelentladungen sind energieärmer als Funkenentladungen und können brennbare Staub-Luft-Gemische mit einer Mindestzündenergie von > 1 mJ nicht zünden. Die Energie der Büschelentladung reicht jedoch zum Entzünden brennbarer Lösemitteldämpfe oder brennbarer Gase aus.

Je nach brennbarem Stoff (zum Beispiel der Explosionsgruppe IIC) und nach der Wahrscheinlichkeit des Auftretens zündfähiger Lösemitteldampf- Luft-Gemische (zum Beispiel „gelegentlich“ / Zone1) kann schon eine Isolierstoffoberfläche >20 cm² als kritisch bewertet werden.

Gebinde wie Kanister, Flaschen, etc. oder Hilfsmittel aus isolierenden Werkstoffen besitzen unter Umständen zwar eine Herstellerfreigabe zur Verwendung für brennbare Lösemittel, jedoch muss sich der Betreiber dieser Gefahr bewusst sein und unbedingt die Vorgaben und Nutzungsbedingungen des Herstellers (zum Beispiel „Verbot des trockenen Abwischens“, „... nur bestimmungsgemäß verwenden“, etc.) einhalten.

Um sich vor Büschelentladungen zu schützen, dürfen Isolierstoffoberflächen bei gleichzeitiger Anwesenheit brennbarer Dämpfe nicht durch Reiben, Wischen, oder vergleichbare Vorgänge aufgeladen werden.

Alternativ empfiehlt sich die Verwendung von leitfähigen oder ableitfähigen Materialien, da diese bei angeschlossener Erdung ihre Aufladung unkritisch abführen können. Somit ist die Voraussetzung für Büschelentladungen, die aufgeladene Isolierstoffoberfläche, nicht gegeben.



Durch Verwendung leitfähiger oder ableitfähiger geerdeter Materialien werden Isolierstoffoberflächen vermieden. Somit fehlt die Voraussetzung für Büschelentladungen.

Die dritte in Laboren beobachtete Entladungsart ist die Gleitstielbüschelentladung.

Sie tritt hauptsächlich im Inneren von Anlagen und auf Isolierstoffoberflächen auf, wenn gleichzeitig sogenannte „stark ladungserzeugende Prozesse“ stattfinden. Diese Voraussetzungen sind zum Beispiel in isolierenden Schläuchen erfüllt, durch die mit hoher Geschwindigkeit Aerosole oder Feststoffpartikel gefördert werden.

Ein derartig betroffener Schlauch, in dem eine Gleitstielbüschelentladungen stattgefunden hat, weist in der Regel eine mehrere Zentimeter lange dunkel gefärbte Spur mit einer mittigen Konzentration auf, an der aufgrund des Durchschlags der Entladung eine Perforation der Wandung stattgefunden hat. Eine Gleitstielbüschelentladung ist energiereich genug, Brennstoff-Luft-Gemische jeder Art zu zünden. Da mehrere Voraussetzungen für die Entstehung dieser Entladungsart erforderlich sind, ist die Eintrittswahrscheinlichkeit jedoch relativ gering. Im Zweifelsfall empfiehlt sich, eine Expertenmeinung einzuholen.

Da Gleitstielbüschelentladungen nur auf Isolierstoffoberflächen auftreten, ist auch hier die Verwendung von leitfähigen oder ableitfähigen Transport- oder Fördersystemen eine adäquate Schutzmaßnahme.

Die Elektrostatik und deren Zündgefahren ist ein sehr komplexes Thema. Gut geregelt sind die Anforderungen an Bauteile und Komponenten in sogenannten Ex-Bereichen, also Zonen, die als Ex-relevant definiert wurden, weil dort zündfähige Atmosphären häufiger und in größerer Ausdehnung auftreten.

Aber auch in Bereichen mit hohem Luftwechsel und geringeren Lösungsmittelmengen, die nicht als Ex-Zone definiert sind, muss dafür Sorge getragen werden, dass im Bereich der Emissionsstellen oder im Bereich des offenen Umgangs mit Lösungsmitteln keine elektrostatische Zündquelle auftritt. Eine in diesem Bereich auftretende elektrostatische Entladung hätte zwangsläufig eine Zündung des Gemisches und im schlimmsten Fall die Explosion des Behälters zur Folge.

Diese Emission sollte zunächst vermieden werden, zum Beispiel durch Verwendung geeigneter Filtersysteme. Ist dies nicht möglich, muss dafür Sorge getragen werden, dass im Bereich der

Lösemittlemissionsstellen oder im Bereich des offenen Umgangs mit diesen Stoffen (zum Beispiel Abfalllösemittel-Sammelstellen) keine elektrostatische Gefahr entstehen kann.

Hierzu sind nicht nur die in diesem Artikel beschriebenen Schutzmaßnahmen für Lösemittelsysteme, sondern auch weitergehenden Maßnahmen wie z.B. die Erdung der Personen über ableitfähige Fußböden und geeignetes Schuhwerk sicher zu stellen. Elektrostatische Anforderungen an diese oben genannten Ex-Bereiche sind national unterschiedlich geregelt.

In Deutschland beschreibt die „Technischen Regel für Gefahrstoffe“, kurz TRGS 727 (vormals TRBS 2153) mit dem Titel „Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladung“ elektrostatische Anforderungen in Ex-Bereichen.

Auf europäischer Ebene wird die CENELEC (EUROPEAN COMMITTEE FOR ELECTROTECHNICAL STANDARDIZATION) CLC/TR 50404:2003 superseded by CLC/TR 60079-32-1:2015 Electrostatics - Code of practice for the avoidance of hazards due to static electricity angewandt.

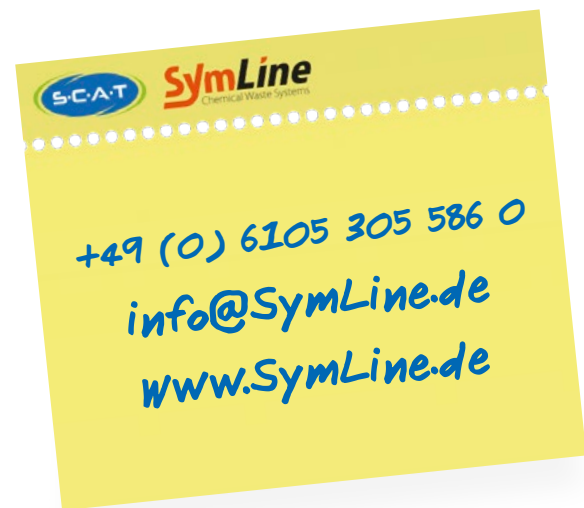
Diese Regelwerke beschreiben Gefahren und geben Schutzmaßnahmen vor. Daher sind deren Inhalte als Erkenntnisquelle auch hier nützlich und können bei Fragen zurate gezogen werden.

Kurt Moritz

Kurt Moritz ist Fachverantwortlicher für Elektrostatik und mechanischen Explosionsschutz bei der technischen Anlagensicherheit der **Merck KGaA, Darmstadt.**

**Weitere Fragen?
Wir helfen gerne!**

Sprechen Sie Ihren Labormöbelhersteller, Laborplaner oder unser SymLine- Planungsteam an.



Konfigurationshilfen

Stellen Sie die Bauteile für Ihr Projekt selbst zusammen! Unser Konfigurator hilft Ihnen dabei. Hier ausprobieren:



www.scat-europe.com/symline/downloads/konfigurationshilfen/