

Elektrostatische Aufladung verstehen und sicher messen



KLEINWÄCHTER

Forschungs-, Entwicklungs-, Produktions- u. Vertriebsges.m.b.H.

Allgemein

Jedes Material enthält positive und negative elektrische Ladungen, die sich normalerweise ausgleichen. Das Material ist elektrisch neutral. Bei intensivem Kontakt und anschließender Trennung oder bei Reibung werden Teile der negativen Ladungen aus einem Reibpartner herausgerissen und vom anderen aufgenommen. Durch dieses Ungleichgewicht entstehen elektrostatische Aufladungen. Einer der Reibpartner ist positiv, der andere negativ geladen.

„Statische“ Aufladung

Statisch aus dem einfachen Grund: Die Ladung verbleibt auf der Oberfläche des Körpers und erzeugt ein elektrisches Gleichspannungsfeld. Dies wird auch als „ruhende Ladung“ bezeichnet. Ein statisches elektrisches Feld ist ein Kraftfeld um eine ruhende elektrische Ladung. Es bewirkt, dass gleichnamige Ladungen abgestoßen, ungleichnamige Ladungen angezogen werden. Dieses Feld kann mit unseren Elektrofeldmetern gemessen werden. Die Feldstärke (E) wird in V/m (Volt / Meter) gemessen. Die statische Spannung (V) auf der Oberfläche des Objektes kann somit über den Abstand (A) des Messgerätes zum aufgeladenen Objekt berechnet werden. Daraus ergibt sich zur Berechnung der Spannung: $V = E \cdot A$

Ruhende (statische) Ladung stellt in den meisten Fällen kein Problem dar. Die Auswirkungen zeigen sich erst wenn sich die Ladung ausgleicht und durch hohe Entladeströme entsprechend negative Auswirkungen auf empfindliche Bauelemente oder den Menschen hat. Nur in sehr wenigen Fällen hat bereits das elektrische Gleichspannungsfeld eine ungewollte negative Auswirkung.

Wie kann elektrostatische Aufladung entstehen

Durch Reibung und Trennung ungleicher Stoffe wird die so genannte *Tribo-Elektrizität* (vom griechischen *tribeia = reiben*) erzeugt. Für das Entstehen Elektrostatischer Ladung ist mechanische Arbeit notwendig. Es findet dabei ein Elektronentransfer von einem Stoff zum anderen statt. Da Elektronen eine negative Ladung haben, wird Elektronenüberschuss als negativ, Elektronenmangel als positive Ladung bezeichnet. Statisch ungleich geladene Teile ziehen sich an, gleich geladene Teile stoßen sich ab. Die Polarität der Aufladung ist abhängig von Permittivitätszahl. Die Regel besagt, dass sich Materialien, die eine hohe Permittivität (z.B. PA, Wolle Zellulose) aufweisen, vorwiegend positiv aufladen, während eine geringere Permittivität (z.B. PE, PTFE, PS) entsprechen negative Ladung erwerben lässt. Bei Isolatoren gilt allgemein: Bei Berührung lädt sich der Stoff mit der größeren Dielektrizitätskonstante positiv auf. Die Temperatur, die Luftfeuchtigkeit und die Geschwindigkeit der Trennung zweier Stoffe ist für die Höhe der entstehenden Ladung entscheidend. Bei niedriger Luftfeuchte erhöht sich der Oberflächenwiderstand und die Ladung kann schlechter abfließen. Bei schneller Trennung zweier Stoffe entstehen höhere Ladungen da keine oder nur sehr kleine Rückströme fließen können.

Es gibt verschiedene Möglichkeiten elektrostatische Ladung zu verhindern oder abzuleiten. Um aber eine sinn- und wirkungsvolle Lösung zu finden, muss zuerst die Entstehung dieser Aufladung geortet und die Höhe und Polarität der Ladung gemessen werden. Dazu, wie auch zur Kontrolle der ergriffenen Maßnahmen gegen elektrostatische Aufladungen, sowie zur Überwachung gewünschter Elektrostatik, sind unsere Elektrofeldmeter bestens geeignet.

Typische Ursachen elektrostatischer Ladung

- Trennen zweier Folien
(Auch schon z.B. beim Abziehen eines Klebestreifens !!!)
- Laufen auf einem Kunststoffteppich
- Reibung verschiedener Materialien aufeinander
(Auch beim Umfüllen von Schüttgütern und Flüssigkeiten !!!)
- Schneiden oder Zerspanen von Nichtleitern
- Influenzwirkung auf im Gleichspannungsfeld befindliche isolierte Leiter.

Influenz

Ein elektrisches Feld hat die Fähigkeit, Ladungen in ihm befindliche leitfähige Gegenstände zu bewegen (Coulombsche Kraftwirkung). Ein solcher, durch äußere Beeinflussung verursachter Vorgang, bewirkt eine Ladungsverschiebung auf der Oberfläche des leitfähigen, ursprünglich elektrisch neutralen Gegenstandes. Eine Aufladung durch äußere Einflüsse von elektrischen Feldern wird als Influenz bezeichnet.

Besonders stark aufladbare Materialien

- Glas
- Styropor
- Polyacrylnitril (PAN)
- Polyethylen (PE)
- Polypropylen (PP)
- Polytetrafluorethylen (PTFE)
- Polyvinylchlorid (PVC)

Auswirkung elektrostatischer Aufladung im häuslichen Bereich

Im häuslichen Bereich sind elektrostatische Entladungen mehr lästig als gefährlich.

Im Haushalt kann sich der menschliche Körper elektrostatisch aufladen (z. B. durch Gehen mit Kunststoffsohlen auf synthetischen Teppichen). Dabei kann der Mensch Potentialdifferenzen gegen Erde von mehr als 20 000 V (20 kV) annehmen. Wie hoch die Energie dieser statischen Ladung ist, hängt von sehr vielen Faktoren ab. z.B. Luftfeuchtigkeit, Kleidung, Schuhe, Geschwindigkeit etc.

Eine Entladung des statisch aufgeladenen Menschen ist jedoch relativ ungefährlich, da die gesamte übertragene Ladung gering ist. Lediglich bei Menschen mit einem Herzschrittmacher oder Überempfindlichkeit kann eine Elektrostatische Entladung ein entsprechendes Risiko sein. Ein Mensch hat eine Eigenkapazität (Speicherfähigkeit) von 150 Pico Farad ($1 \text{ pF} = 0,000\ 000\ 000\ 001 \text{ As/V}$). Wenn der Mensch auf 20 000 V aufgeladen ist, enthält er eine elektrische Ladung von 0,000 003 As. In einer 25 W-Glühbirne (220 V) fließt zum Vergleich während einer Sekunde eine elektrische Ladung von 0,114 As.

Abstehende Haare beim Kämmen oder überstreifen eines Synthetik oder Wollpullovers.

Die Haare werden mit gleicher Polarität geladen und stoßen sich gegenseitig ab.

- Durch einen Metallkamm und Kleidung aus Baumwolle kann die Aufladung minimiert werden.

Statische Ladung zieht Partikel (z.B. Staub) an.

Dies ist besonders durch starke Verschmutzungen am Glaskolben einer Fernsehbirne oder eines Computermonitors erkennbar. Statisch aufgeladene Teile ziehen ständig Staub an und lassen sich dadurch auch schlecht reinigen. Antistatische oder antistatisch beschichtete (nicht aufladbare) Teile verschmutzen nicht so leicht.

- Durch entsprechende Reinigungsmittel die einen antistatischen Schutzfilm bilden kann die Verschmutzung minimiert bzw. zumindest verzögert werden.

Knacken beim Auflegen des Tonarms auf eine Schallplatte.

Die Schallplatte bzw. die Plattentellerauflage wird beim Abheben der Schallplatte statisch aufgeladen

- Durch die Verwendung einer leitfähigen Plattentellerauflage und durch das „Abfegen“ der Schallplattenoberfläche mit einer geerdeten Karbon – Bürste kann die Ladung abgeleitet werden.

Nach dem Aussteigen aus einem Auto springt beim Berühren der Türe ein Funke über.

Durch das Aufstehen vom Sitz entsteht Trennladung die dann schlagartig über die Karosserie ausgeglichen wird. Ebenso kann sich das Fahrzeug durch seine Bewegung statisch aufladen. Die Ladung wird dann von der Karosserie über den Menschen abgeleitet.

- Durch eine antistatische Sitzauflage, das Tragen entsprechender Kleidung und Schuhen kann die Aufladung minimiert werden.

In Computerdruckern und Kopierern mit Lasertechnologie wird die Farbe (Toner) mit statisch Ladung gebunden und auf das Papier gebracht.

Auswirkung elektrostatischer Aufladung in Produktionsbetrieben

Allgemeine Probleme

Statische Ladung zieht Partikel (z.B. Staub) an.

Dies kann, wie in Lackieranlagen, erwünscht sein um die Farbpartikel an die zu lackierenden Teile zu binden. Dieser Effekt wird auch in Filteranlagen zur Reinigung von Abgasen verwendet.

Bei der Foto / Filmherstellung allerdings machen Staubeile die empfindlichen Folien unbrauchbar.

- Durch Luftionisatoren kann die Ladung an bewegten Teilen neutralisiert werden.

Durch schnelle elektrostatische Entladungen entstehen Störimpulse die Sensor und Steuerleitungen stören. Computer- und Steuerungsanlagen können dadurch sogar außer Betrieb gesetzt oder zerstört werden.

- Durch entsprechende Ableitwiderstände können eventuell auftretende Entladeströme „sanft“ abgeleitet werden.

Die Auswirkungen elektrostatischer Entladung bzw. des Ausgleichsstromes ist von der Ladungsmenge (Spannung und Kapazität) des aufgeladenen Teils abhängig.

ESD - geschützte Bereiche

In der Elektronik – Fertigung können statische Entladungen oder Ausgleichsströme unbemerkt Bauteile und Komponenten beschädigen oder zerstören. Bereits bei Aufladungen von ca. 100V können Schäden auftreten. Besonders empfindliche Bauteile können schon durch hohe Feldstärken oder Feldstärkeänderungen bei Entladung statischer Elektrizität in ihrer Funktion beeinflusst oder beschädigt werden. Die betroffenen Teile können momentan noch funktionieren, nach einem Bruchteil der normalen Lebensdauer aber ausfallen. Als Mindestpotential für einen vom Menschen spürbaren Stromschlag wird von ca. 3000 V ausgegangen. Es muss also kein für den Menschen spürbarer Strom (Ladungsausgleich) fließen um Schäden an empfindlichen Bauteilen zu verursachen.

Aufgrund der hohen ESD - Gefährdung der zum Einsatz kommenden Bauelemente besteht deshalb in der Fertigungstechnologie eine absolute Notwendigkeit, ausschließlich Materialien einzusetzen, die durch ihre Beschaffenheit eine elektrostatische Gefährdung der Bauelemente ausschließen (siehe DIN EN 100015-1). Ein ESD – sicherer Arbeitsplatz (EPA = Elektrostatische Protected Area) zeichnet sich nicht nur durch geeignete Erdungsmaßnahmen zur Vermeidung und Ableitung statischer Ladung aus.

Die Verwendung sich aufladender Materialien als Arbeitsmaterial oder auch nur als Verpackung ist nicht zulässig. Das verwendete antistatische Verpackungsmaterial muss das empfindliche Bauteil komplett umhüllen und damit komplett abschirmen.

Außerdem muss in ESD - Bereichen beim Ableiten von statischer Ladung ein Mindestwiderstandswert eingehalten werden um zu hohe Ausgleichsströme oder sogar Funkenbildung zu vermeiden.

Explosionsgefährdete Bereiche

Explosive Gemische aus brennbaren Gasen und Stäuben können durch Funkenbildung bei elektrostatischen Entladungen leicht entzündet werden. Deshalb sind in explosionsgefährdeten Bereichen Fußböden mit einem definierten Ableitwiderstand erforderlich.

Allgemeine Grundlagen zur Messung elektrostatischer Aufladungen

- Bei Messungen mit einem Elektrofeldmeter ist darauf zu achten, dass das Messgerät oder zumindest die das Messgerät haltende Person geerdet ist. Wenn die das Messgerät haltende Person nicht geerdet und aufgeladen ist wird lediglich die Ladungsdifferenz zwischen der Person und dem Messobjekt angezeigt.
- Der Messabstand ist so nah wie möglich und so weit wie notwendig zu wählen. Funkenüberschläge können das Messgerät beschädigen und sind unbedingt zu vermeiden. Als Richtwert für den Mindestabstand kann 1 kV / mm angenommen werden.
- Die statische Aufladung und die Ladungsverteilung auf der Oberfläche eines Objektes ist sehr stark von der Temperatur und der Luftfeuchtigkeit abhängig.
- Bei Messungen auf Kunststoffoberflächen können z.T. sehr große Abweichungen durch so genannte Ladungsnester entstehen, da sich die Ladung nicht homogen aufbauen und auf der isolierenden Oberfläche auch nicht ausgleichen kann.
- Bei Messungen am gleichen Objekt nach einer bestimmten Zeit können starke Schwankungen auftreten da sich die Aufladung durch z.B. mechanische Bewegung oder durch Ableitung an Kontaktpunkten / Entladung durch die Luft (abhängig von der Luftfeuchte) verändern kann.
- Störfelder (Felder anderer in der Nähe befindlicher, aufgeladener Objekte) hohe elektrische Spannungen oder Objekte, die zwischen dem zu messenden Ladungsträger und dem Messgerät liegen, können die Messung durch Feldlinienverzerrungen beeinflussen. Auch durch die ein Messgerät haltende Person können Feldlinienverzerrungen auftreten.
- Elektrische Ladung ordnet sich mit Vorliebe an Kanten und Spitzen an. Bei Messungen an Kanten aufgeladener Körper treten starke Feldlinienbeugungen und damit wesentlich höhere Feldstärken als auf geraden Flächen auf.

Grundlagen zur Vermeidung / Neutralisierung elektrostatischer Aufladungen

- Elektrostatische Aufladung kann durch Verwendung entsprechender antistatischer Materialien vermieden werden. Antistatische Materialien zeichnen sich dadurch aus, dass sich durch Reibung keine statische Aufladung feststellen lässt.
- Entstandene Aufladung kann durch entsprechend leitfähige Materialien in Verbindung mit geeigneten Erdungsmaßnahmen abgeleitet werden. Ein Stoff wird als leitfähig bezeichnet wenn der elektrische Widerstand unter 10^4 Ohm beträgt.
- Die maximal zulässigen Ableitwiderstände sind zu beachten um die Ladung effektiv ableiten zu können.
- Die Erdungswiderstände müssen, bei Verwendung in ESD- (Elektrostatisch sensiblen) oder EX- (Explosionengeschützten) Bereichen, einen Mindestwert aufweisen um zu hohe Ausgleichsströme oder sogar Funkenüberschläge zu vermeiden.
- Durch Erzeugung einer Gegenladung, z.B. mit Ionisierungsstäben, können Elektrostatische Ladungen neutralisiert werden. An einer Reihe hoher Spannung (meist Wechselspannung) führenden Nadeln wird Luft vorbeigeleitet. Dadurch entsteht ein Luftschleier aus positiv bzw. negativ geladenen Luftionen, welche die Ladungen auf der Oberfläche des aufgeladenen Körpers ausgleichen.

Die Luftionisation und die Wirksamkeit der Ionisierungsmaßnahmen kann über die Entladezeit einer Plattenelektrode gemessen werden. (siehe IEC 61340-5-1/Ed1)

Unser Charge – Plate Monitor CPM-374 erfüllt mit seinen Abmessungen, der Kapazität der Plattenelektrode und den Timereinstellungen die gültigen Normen.

Informationen über Entladesysteme mit Ionisierungsstäben finden Sie im Internet unter Elcowa.de

Begriffe und Definitionen

Gering aufladbar (antistatisch)	=> Die Eigenschaft die Ladungsgenerierung zu minimieren
Elektrostatisch leitfähig (C = conductive)	=> Oberflächenwiderstand = $1 \times 10^2 \text{ ?}$ und $< 1 \times 10^5 \text{ ?}$
Elektrostatisch ableitend (D = dissipative)	=> = $1 \times 10^5 \text{ ?}$ und $< 1 \times 10^{11} \text{ ?}$
Abschirmend (S = shielding)	=> Schirmwirkung gegen elektrostatische Ladung
Isolierend Oberflächenwiderstand	=> Oberflächenwiderstand = $1 \times 10^{11} \text{ ?}$

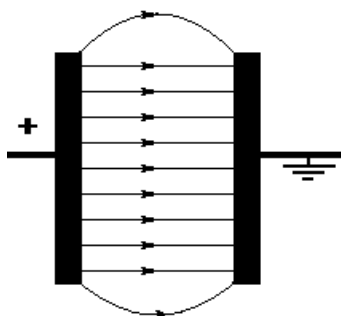
Normen

Elektrostatik, Allgemeine Anforderungen	: DIN IEC 61340-5-1
Elektrostatik, Benutzerhandbuch	: IEC 61340-5-2
Ableitwiderstand, Erdableitwiderstand	: DIN IEC 61340-4-1
Elektrostatik, Bodenbeläge und verlegte Fußböden (ECF = Elektrostatisch leitend / DIF = ableitfähig / ASF = antistatisch)	: DIN IEC 61340-4-1
Elektrostatik, Prüfverfahren für Schuhe	: DIN IEC 61340-4-3
Spezifischer Durchgangswiderstand	: DIN IEC 60093
Spezifischer Oberflächenwiderstand	: DIN IEC 60093

Eine Auflistung aller entsprechenden Normen, Grenzwerte und Anwendungsbereiche würde den Rahmen dieser Anleitung sprengen und können in den Unterlagen der Normungskommission oder entsprechender Fachliteratur nachgelesen werden.

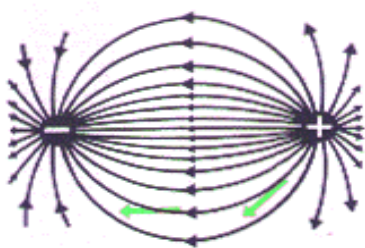
Feldlinien und Feldlinienverläufe

Das elektrostatische Feld wird zur besseren Veranschaulichung mit „Feldlinien“ dargestellt. Die gezeigten Beispiele sind stark vereinfacht. In der Praxis ergeben sich, durch im E-Feld befindliche Fremdkörper, Störfelder oder inhomogene Ladungsverteilung, entsprechend komplexe Feldlinienverläufe.



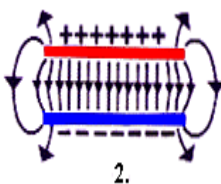
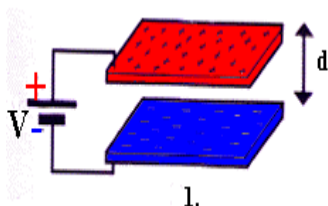
Feldlinienverlauf zwischen zwei parallelen Platten

Der Abstand der Platten ist auf der gesamten Fläche gleich. Die Feldstärke zwischen den Platten ist im gesamten Bereich homogen.



Feldlinienverlauf zwischen zwei Kugeln oder Spitzen

Der Abstand der Oberfläche der Kugeln ist durch den Radius nicht konstant. Die Feldstärke zwischen der direkt gegenüberliegenden Punkte ist am stärksten. Je kleiner der Radius der gegenüberliegenden Körper (der Spitzen) ist, je größer ist die Feldstärke. ($E = U / d$)



Das äußere Feld

Auch außerhalb der zugewandten Flächen verlaufen Feldlinien.

Messprinzip eines Elektrofeldmeter (Feldmühlenprinzip)

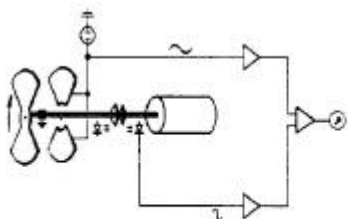


Bild 3.6: Schema eines elektromechanischen Feldstärkemessgerätes

Bereits 1930 hat Prof. Schwenkhagen das Prinzip eines mechanisch - parametrischen Influenzgenerators zur Messung der Gleichspannungsfeldstärke angegeben. Daraus wurde dann von Prof. Kleinwächter die „offene“ Feldmühle entwickelt. Genutzt wurde die Ladungsverschiebung durch Influenz im Inneren eines isolierten leitfähigen Körpers. Entsprechend Bild 3.6 befindet sich hinter einem rotierenden, geerdeten Abschirmflügel eine Influenz-Elektrode, die mit einem hochohmigen Verstärkereingang

verbunden ist. Die Feldlinien des zu messenden elektrischen Feldes enden je nach Stellung des rotierenden Flügels entweder auf diesem selbst oder auf der Influenz-Elektrode. Dies verursacht am Verstärkungseingang einen der Feldstärke proportionalen Wechselstrom. Das Vorzeichen der Aufladung wird durch ein phasensynchrones Signal mit nachfolgendem phasenempfindlichen Verstärker bestimmt.

Literaturhinweise

Statische Elektrizität von G. Lüttgens + 5 Mitautoren; Expert Verlag, ISBN 3 - 8169-1836-0

Elektrostatik von Hartmut Berndt, VDE Verlag, ISBN 3-8007-2173-2

Elektrofeldmeter aus dem Hause Kleinwächter (nach dem Feldmühle – Influenzprinzip)

EFM 022



EFM 120



EFM 2xx



Je nach Modell und Ausstattung verfügen die Geräte über ein analoges Ausgangssignal zur Messwertaufzeichnung bzw. über eine serielle PC – Schnittstellen und Analog- LED–Bargraph- bzw. Digitalanzeige. Für verschiedene Geräte sind Spannungsmessköpfe zur hochohmigen Messung von bis zu 40 kV verfügbar. Als Zubehör sind Gerätekoffer zum Transport des Zubehörs mit verschiedenen Messleitungen und Erdungskabeln lieferbar.

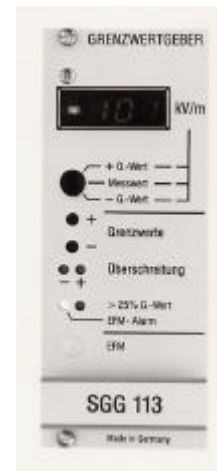
HMK 40



EFM 113B / 125



SGG 113



Hochspannungsmesskopf für EFM 2xx.
Hochohmige Spannungsmessung bis 40 kV.

Zur permanenten Überwachung in Produktionsanlagen.
Externer Messkopf mit Grenzwertgeber.

Detaillierte Beschreibungen entnehmen Sie Bitte unserem aktuellen Gerätecatalog.

Fordern Sie ausführliche Unterlagen an!

KLEINWÄCHTER
FORSCHUNG- ENTWICKLUNG- PRODUKTION- U. VERTRIEBSGESELLSCHAFT MBH.

Forschungs-, Entwicklungs-, Produktions- und Vertriebsgesellschaft mbH
D-79688 Hausen · Krummattstr. 9 · Tel. + 49 (0) 7622 / 6863 -- 0 · FAX – 40 www.kleinwaechtergmbh.de