

Ruhende Elektrizität

Grundlagen der Elektrostatik – in der Praxis elektrostatische Ladungen erkennen und wirkungsvoll beseitigen

Dipl.-Ing. WOLFGANG SCHUBERT

Im vorliegenden Artikel sollen Praktiker einige grundlegende Informationen zur Entstehung elektrostatischer Aufladungen und deren Eliminierung erhalten.

Beim Küssen kann der Funke der elektrostatischen Entladung sehr schmerzhaft und störend sein – manch einer hat es bestimmt schon erlebt – doch wenn der Funke überspringt, dann macht es richtig Spaß. Die Elektrostatik ist also in jeder Hinsicht eine hochspannungsgeladene Sache und mit dieser beschäftigten sich schon unsere Altvordenen. Der Naturphilosoph THALES VON MILET (ca. 624 v. Chr.) prägte den Begriff Elektrostatik – ruhende Elektrizität. Nächste bemerkenswerte Experimente zur Elektrostatik veranstaltete OTTO VON GUERICKE (1602–1686) mit einem Mechanismus zum Erzeugen von statischer Elektrizität. Eines der wohl ältesten erhaltenen Geräte ist eine Zylinderelektroskopmaschine um 1760 (*Abbildung 1*).

Grundlagen der Elektrostatik

Statische Elektrizität ist ein Oberflächenphänomen. Es ist unsichtbar, immer gegenwärtig und allen Einflüssen aus der Umgebung ausgesetzt. Kommen bestimmte Bedingungen zusammen, so kann die Wirkung der Entladung störend bis katastrophal sein. Es gilt diese Be-

dingungen zu erkennen und die Wirkmechanismen zu verstehen.

In der Industrie ist die Elektrostatik meist eine unerwünschte und problematische Erscheinung, deren Wirkungen Mitarbeiter, Arbeitsprozesse, Kosten und Qualität negativ beeinflussen. Statische Elektrizität kann jedoch auch nutzbringend angewendet werden. Inzwischen ist die Nutzenanwendung ein wichtiger Bestandteil bei vielen industriellen Prozessen, die in einem weiteren Beitrag erläutert werden sollen.

Elektrostatische Ladungen entstehen immer an den Kontaktflächen zweier Stoffe. In *Abbildung 2* sind diese als Modell dargestellt. Die Stoffe unterscheiden sich in ihrer Eigenart dadurch, daß sie an ihren Oberflächen unterschiedliche Austrittsenergien gegenüber anderen Stoffen besitzen. Das gilt für alle Stoffe, ausgenommen Edelgase. Werden unterschiedliche Stoffe miteinander kontaktiert, so werden die Oberflächenberührungspunkte mit der kleineren Austrittsenergie Elektronen an die Berührungspunkte mit der größeren Austrittsenergie abgeben. Die eine Oberfläche wird positiv und die andere wird negativ.

Beträgt der Abstand zwischen

den Kontaktpartnern 10^{-8} bis 10^{-9} m, entsteht durch den Elektronenübergang ein elektrisches Potential von einigen Millivolt (mV), dessen Ladungsmenge von der Kontaktstellenzahl abhängig ist. Werden die in Kontakt stehenden Stoffe getrennt und auf einen größeren Abstand gebracht, so entsteht zwischen diesen unterschiedlichen Oberflächen ein hohes elektrisches Potential. Voraussetzung zur Ladungserhaltung ist eine ausreichende Hochohmigkeit im Sinne der Elektrostatik, so daß die entstandenen Ladungen nicht abfließen können.

Dieses Prinzip kann auf die Kombination Folien- oder Papierbahn und Umlenkwalze übertragen werden. Dabei ist davon auszugehen, daß Stoff 1 (Folien- bzw. Papierbahn) den Akzeptor und Stoff 2 (Oberfläche der Umlenkspindel) den Donator darstellen.

Die Abstände zwischen Walzenoberfläche und bewegter Bahn sind extrem gering, ca. 10 nm (10^{-9}). Die Folien- bzw. Papierbahn treibt die Umlenkspindel an (Kontakt zwischen den beiden Stoffen). Im Augenblick, wo sich die Bahn von der Umlenkspindel löst, erfolgt die Trennung. Je nach Leichtgängigkeit der Umlenkspindel besteht ein größerer oder kleinerer Unterschied zwischen Bahngeschwindigkeit »v« und Umfangsgeschwindigkeit »w« der Umlenkspindel. Durch diesen Geschwindigkeitsunterschied entsteht der Schlupf bzw. die Friktion. Je größer die Friktion, desto mehr Kontaktstellen gibt es zwischen den Partnern Bahn und Umlenkspindel, so daß wesentlich mehr Ladungsübergänge möglich sind. Daher ist auch leicht verständlich, daß eine schwergängige Umlenkspindel eine höhere Ladung erzeugt als eine leichtgängige.

In *Abbildung 2* beträgt der Umschlingungswinkel 90 Grad. Bei einem Umschlingungswinkel von beispielsweise 180 Grad wie in *Abbildung 3* ist die elektrostatische Aufladung wegen der hohen Zahl

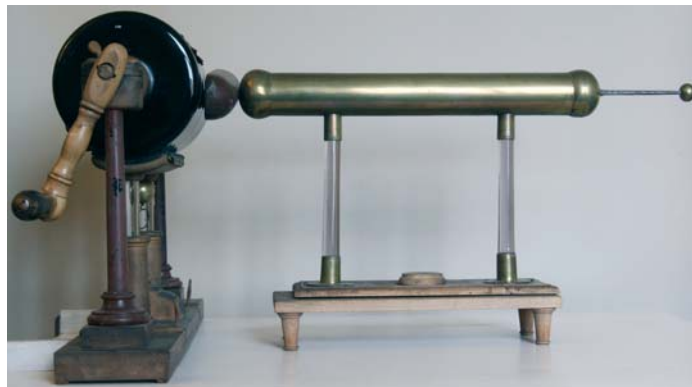
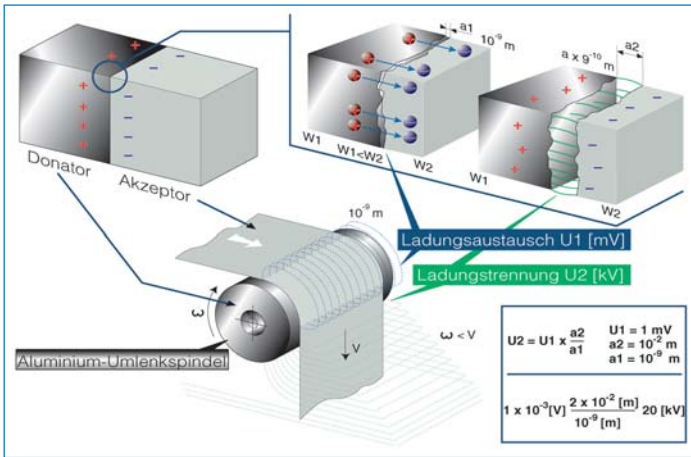


Abbildung 1:
Zylinderelektroskopmaschine
aus dem Physikalischen
Kabinett in Görlitz/D.

WOLFGANG SCHUBERT, Schubert GMD Industrieberatung (www.schubert-gmd.de), Taucha b. Leipzig/D. Berater für die Firma Eltex Elektrostatik GmbH, Weil am Rhein/D sowie Fachberater für die Chromos GmbH in Ostdeutschland.

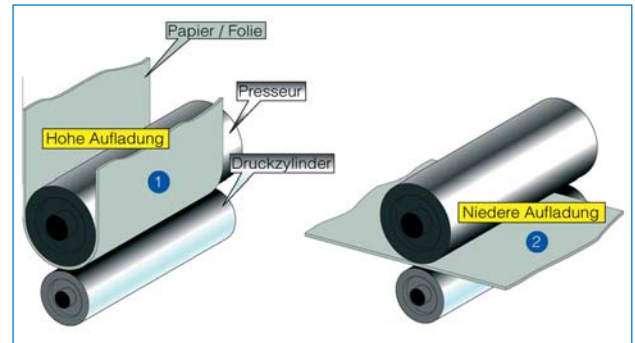


der Kontaktstellen wesentlich höher und bei kleinerer Umschlingung wesentlich geringer.

Wechselwirkungen im Nanometer-Bereich

Bei einer metallischen Umlenk- oder Leitwalze sammeln sich bei Stillstand auf der Oberfläche im Nanometerbereich zwischen 1 und 10 nm an nicht belegten Stellen mehrere Schichten molekulares Wasser und auch Staub an. Beim Kontakt

der Bahn mit der Walze werden sich im Dickenbereich von 10 bis 50 nm sehr kleine Partikel von der Materialbahn (Wasser, Farbe, Staub u.a.) anlagern, die wieder mitgerissen werden. Es wird also nie eine reine Metalloberfläche geben. Demzufolge hat die Oberfläche der Umlenkspindel kein langfristig stabiles Austrittspotential und der Elektronenübergang wird zwischen Donator und Akzeptor oft wechseln. Das bedeutet, daß durch die Veränderung der Oberfläche (Verschmut-

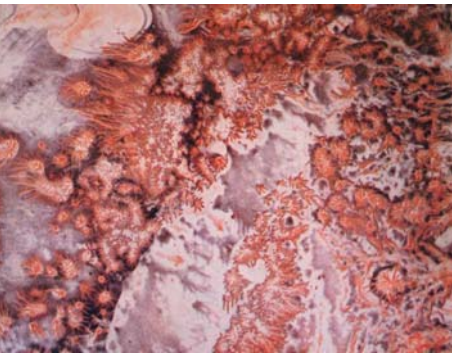


zung) das Vorzeichen des Potentials wechselt. Es wird verständlich, daß diese unterschiedlichen Verschmutzungen der Oberfläche sehr eng nebeneinander angelagert sein können und somit durch die Wechselwirkung Potentialprofile unterschiedlicher Vorzeichen in einem Abstand von nur wenigen Millimetern an der Bahnoberfläche angelagert werden.

Schon GEORG CHRISTOPH LICHTENBERG (1742–1799) hat diesen Vorgang mit seinen Staubbildern deutlich gemacht (Abbildung 4). Ein jeder hat schon erlebt, wenn aufgeladene, isolierende Materialien längere Zeit gelagert werden und da-

Abbildung 2 (links): Doppelschicht - Modell nach H.v. Helmholtz (1821–1894).

Abbildung 3 (rechts): Einfluß der Umschlingung auf die elektrostatische Aufladung.



durch so genannte Staubfiguren auftreten. Sie stellen latente Ladungsbilder dar, die durch den aus der Umgebung angezogenen Staub entstehen. Denn in der Luft befinden sich kleine Teilchen (Staub), die sowohl aus leitfähigen als auch isolierenden Stoffen bestehen. Das von einem geladenen Material ausgehende elektrostatische Feld bewirkt eine Ladungsverschiebung (Influenz, Polarisation) in den Teilchen. Aufgrund der wirkenden Coulombschen Kräfte werden diese von dem Material angezogen und lagern sich auf dessen Oberfläche ab.

Grenzschichten als Geburtsstätte der Elektrostatik

Die Elektrostatik entsteht also an den Grenzschichten im Bereich um 1 bis 10 nm. Davon ausgehend wird deutlich, daß der ursprüngliche Stoff an dieser Stelle in den meisten Fällen überhaupt nicht vorhanden ist!

Beim Manipulieren von Kunststoffgranulat liegt derselbe Ladungsmechanismus vor. Dies betrifft auch die Bewegung von

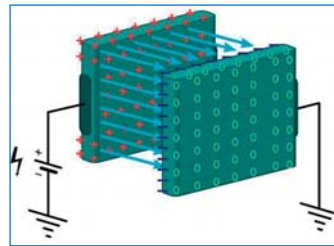
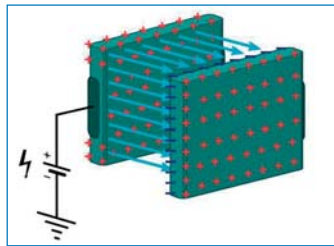


Abbildung 4 (links): Ladungsprofile durch Kontakt und Trennung (Reiben) sichtbar gemacht (Lichtenbergsche Figur).

Abbildung 5 (Mitte): Ladungstrennung durch Influenz.

Abbildung 6 (rechts): Ladungstrennung durch Influenz und Erhaltung.

Staubteilchen bis z.B. in Filter hinein. Die Partikel, werden sich durch Kontakt und Trennung aufladen. Der gleiche Vorgang ist beim Übergang vom Papier- oder Folienstapel zur Schuppe oder beim Abwickeln einer Rolle anzutreffen. Das gilt auch für Flüssigkeiten – deshalb sind bei brennbaren Flüssigkeiten die Erdungsmaßnahmen zum Ableiten des entstehenden Ladungspotentials »überlebenswichtig«. An dieser Stelle sei auf die Berufsgenossenschaftlichen Regeln für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit (BG-Regeln) – in diesem Fall BGR 132 »Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladung« – hingewiesen.

ALFRED COEHN (Göttingen/D) hatte im Jahre 1898 eine Gesetzmäßigkeit entdeckt, die besagt, daß Stoffe mit einer hohen Permittivitätszahl (früher Dielektrizitätszahl) zu einer positiven Aufladung neigen und die mit einer niedrigen zu einer negativen Aufladung. Die Differenz zwischen der Permittivitätszahl beider Kontaktpartner entscheidet zusätzlich über die Höhe der Aufladung.

Würde diese theoretische Vorstellung der Praxis entsprechen, so müsste man, nur um die statischen Aufladungen von schnell bewegten Kunststoffbahnen niedrig zu halten, den gegenständigen Kunststoff

aus der COEHNschen Reihe für die Umlenkspindeln aussuchen und die elektrostatischen Aufladungen würden sich gegenseitig eliminieren. Dies ist leider nur theoretisch möglich, denn wegen der stets veränderlichen Kontamination der Oberflächen gibt es keine stabilen Verhältnisse an den Grenzschichten.

Aus der bisherigen Beschreibung ergibt sich folgende Erkenntnis: Die Höhe der elektrostatischen Aufladung wird von der Anzahl der Berührungspunkte beider Kontaktpartner und das Vorzeichen von der Permittivitätszahl, des Donators bzw. des Akzeptors bestimmt. Statische, elektrische Ladungen entstehen durch Kontakt und Trennung unterschiedlicher Oberflächen. Reibung erhöht nur die Zahl der Kontaktstellen.

Influenzaufladung

Eine weitere Problematik besteht in der Aufladung durch Influenz. Ist zum Beispiel eine Folienbahn durch eine Rollendruckmaschine sehr hoch aufgeladen – Ladungen in der Höhe von 500 bis 1000 kV/m sind keine Seltenheit – so werden elektrisch leitfähige Körper im Bereich dieses starken elektrischen Feldes eine Ladungstrennung erfahren

(Abbildung 5). Diese Trennung ist auch dann vorhanden, wenn der leitfähige Körper geerdet ist. Die Seite, die dem elektrischen Feld zugewandt ist, kann nicht geerdet werden (Abbildung 6).

Dieser Mechanismus gilt auch für den Menschen, der bekanntermaßen zu 75% aus Wasser besteht und wie ein Kondensator Ladung aufnehmen und z.B. beim Küssen wieder abgeben kann. In der Nähe hoch aufgeladener bewegter Folien- oder Papierbahnen oder Kunststoff-Förderrohre kann demzufolge das Bedienpersonal aufgeladen werden. Durch die Berührung geerdeter Maschinenteile sind zündfähige Entladefunken nicht auszuschließen (Abbildung 7). Durch diese Berührung verliert die Person einseitig z.B. die positive Influenzladung.

Trägt diese Person keine ableitfähigen Schuhe (10^5 bis $10^8 \Omega$), so kann die aufgenommene Ladung an andere Orte gebracht werden. Zum Beispiel könnte der Rand eines offenen lösemittelhaltigen Behälters berührt werden und eine Entladung im Bereich des zündfähigen Luft-Gasgemischs stattfinden, so daß ein Brand nicht auszuschließen ist (Explosionsschutz).

Maßnahmen gegen elektrostatische Aufladungen

Durch die Einhaltung geringer Umschlingungswinkel zwischen Folienbahn und Umlenkspindel sowie durch leichtgängige Spindeln und Walzen kann die Kontaktstellenzahl beider Kontaktpartner verringert werden. Gleiches gelingt durch die Erhöhung der Oberflächenrauigkeit. Die maschinebautechnischen Maßnahmen können jedoch vom Anwender nur selten beeinflusst werden.

Entladung von aufgeladenen Oberflächen

Die durch Kontakt und Trennung entstandenen elektrischen Aufladungen können durch Korona-Entladungsgeräte effizient abgebaut werden. Die allgemein Entladeelektroden genannten Geräte arbeiten nach dem Prinzip der Gasentladung. Die Funktionsweise ist einfach, wenn man sich einen Platten-

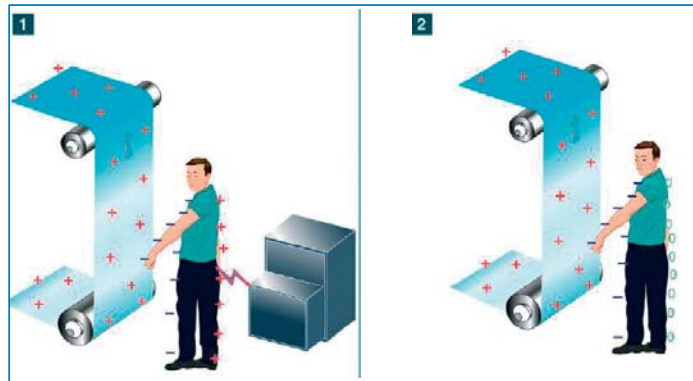


Abbildung 7:
Ladungstrennung an Personen.

kondensator (Abbildung 8) vorstellt und diesen an eine Spannung von 4 kV anschließt.

Elektrische Feldlinien stehen immer senkrecht zu den Oberflächen. Wird eine Platte so stark verringert, daß nur noch die Oberfläche einer sehr spitzen Nadel existiert, so werden die Feldlinien immer noch senkrecht zu dieser Spitze stehen (Abbildung 8).

Beim Anlegen von 4 kV ist die Dichte der Feldlinien an der Nadelspitzenfläche so hoch, daß für weitere Feldlinien kein Platz mehr vorhanden ist. Die maximale Ladungsdichte $[\delta]$ ist überschritten, so daß Ladungsteilchen die Nadelspitze verlassen müssen – es wird Ladung emittiert. Die Luft wird also ionisiert und damit leitfähig. Der Stromkreis ist dann über die Raumionisation (Gasentladung) zwischen der geerdeten Platte und der an Hochspannung liegenden Nadelspitze geschlossen. Die Durchbruchfeldstärke wurde erreicht. Es ist die Feldstärke, bei der die maximale Ladungsdichte in der Materialoberfläche erreicht wurde und die Elektronen aus der Fläche austreten. Für Luft beträgt sie bei Normaldruck etwa 3000 V/mm bzw. 1 MV/m.

Liegt nur die Platte an Hochspannung und die Nadel (Nadeln)

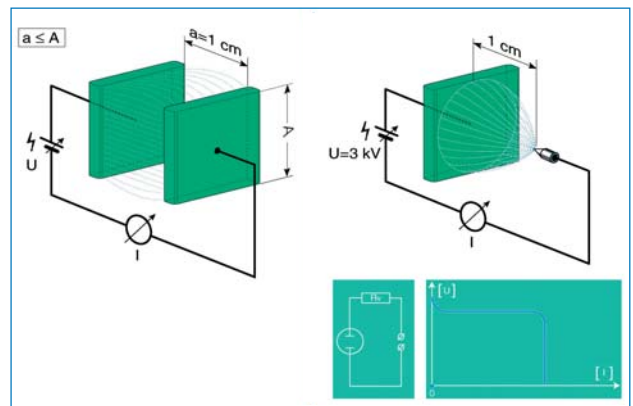


Abbildung 8:
Modell Plattenkondensator und Korona-Spitze.

sind geerdet, so spricht man von einer passiven Entladung (Abbildung 9). Das gilt zum Beispiel für den Einsatz von Antistatikbürsten. Diese können – je nach Platzierung – nur einen Teil vorhandener Ladungen eliminieren, denn es werden der geladenen Oberfläche in der Regel eine Vielzahl von Spitzen angeboten und die E-Feldstärke muß sehr hoch sein, damit pro Bürstenfaser Spitze eine Gasentladung stattfinden kann.

Liegen die Nadeln zusätzlich an Hochspannung, so spricht man von einer aktiven Entladung (Abbildung 10). Eine Entladung wird dann möglich, da von den Spitzen sowohl positive als auch negative Teilchen den unterschiedlichen Ladungsin-seln auf der gegenüberliegenden

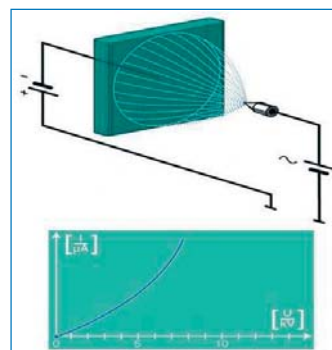
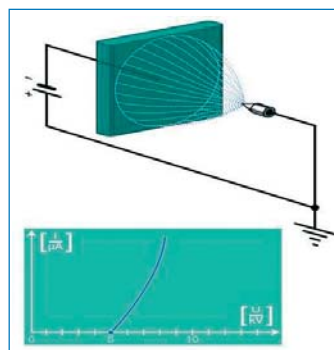


Abbildung 9 (links):
Passive Entladung.

Abbildung 10 (rechts):
Aktive Entladung.

Oberfläche zur Neutralisation angeboten werden.

Da sich die Oberflächenpotentiale in Amplitude und Vorzeichen stets ändern, muß ein entsprechendes Gegenpotential angeboten werden. Dazu werden die Emissionsnadeln an Wechselspannung angeschlossen (Abbildung 11) oder aber die Nadeln werden mit positiver und negativer Polarität beaufschlagt. Die Entladewirkung in Funktion des Abstands der Entladeelektroden ist begrenzt, da eine Rekombination von positiven und negativen Teilchen immer vorhanden ist. Die von den Entladeelektroden abgegebenen positiven/negativen Ladungsteilchen, werden vom Gegenpotential der Oberfläche angezogen und können dadurch die Ladung eliminieren.

Berührungssichere Entladeelektrode

Die von der *Eltex Elektrostatik GmbH* entwickelte, patentierte Entladeelektrode *R50/R51* (Abbildung 12) erfüllt diese Anforderungen und findet ihren erfolgreichen Einsatz bei Bahngeschwindigkeiten bis 30 m/sec. Standardmäßig gibt es diese Elektroden in aktiven Längen von 15 bis 3915 mm. Ein wichtiger Aspekt bei Entladeelektroden sei hier noch genannt: Diese *R50/R51* ist absolut berührungssicher, d.h. eine Person kann beim versehentlichen Berühren der Spitzen keinen elektrischen Schlag bekommen.

Die Anordnung der Entladeelektroden innerhalb des Bahnverlaufs in einer Maschine ist von ausschlaggebender Bedeutung. In *Abbildung 13* ist gezeigt, wie die Platzierung vorgenommen werden sollte. Die Entladung, insbesondere von Folienbahnen, sollte immer beidseitig vorgenommen werden, da nicht bekannt ist, auf welcher Seite sich die Aufladung maximal angesammelt hat. Dies kann auch nicht mit aufwendigen Messungen bestimmt werden.

Es sei darauf hingewiesen, daß unmittelbar nach der Korona-Vorbehandlung eine aktive Entladung der Bahnoberfläche vorgenommen wird. Diese aktive Entladung hat keinen Einfluß auf die durch die Korona erzeugten Haftungseigenschaften für das Bedrucken. Aber

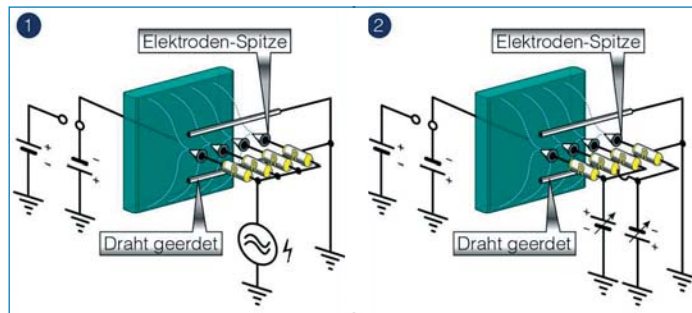


Abbildung 11:
Aktive Entladeelektroden.

durch den hohen Energieeintrag kann es zu starken Aufladungen kommen, die beim Trennen der Bahn von der mit einem Dielektrikum beschichteten Walze zu starken Entladungen führen. Ebenso können gegenständig extrem hoch aufgeladene Oberflächen von Folien entstehen, deren E-Felder nach innen in die Folie hinein gerichtet sind. Es sind Ladungsdoppelschichten entstanden.

Ladungsdoppelschichten

Bei Ladungsdoppelschichten wird man mit einem Elektro-Feldmeter keine oder nur sehr geringe Aufladung messen können, da die positiven Ladungen auf der einen Materialseite von den negativen Ladungen auf der anderen Materialseite kompensiert werden. Trotzdem sind Ladungsdoppelschichten für viele Produktionsstörungen verantwortlich: Materialien verblocken, von Folienwinkeln gehen starke Funken aus, Folienoberflächen werden durch Entladungen beschädigt und die Weiterverarbeitung von z.B. In-mould-Labels wird stark beeinträchtigt.

Ladungsdoppelschichten entstehen vor allem bei der Verarbeitung von sehr hoch isolierenden Folien wie PE oder PP (OPP, BOPP) in schnellen Maschinen, nach Korona-Vorbehandlungsanlagen und beim Bedrucken solcher Folien im Tiefdruck mit einer elektrostatischen Druckhilfe.

Die oben beschriebenen Entladesysteme – ob AC oder DC – erzeugen Ionen, die vom elektrischen Feld des zu entladenden Materials angezogen werden und so die Aufladung neutralisieren. Da von Ladungsdoppelschichten kein Feld ausgeht, versagen hier herkömmliche Entladesysteme. *Eltex* hat hierfür die patentierte Meß- und

Regeleinheit *EMD51* entwickelt. Sie erfaßt und mißt Ladungsdoppelschichten kontaktlos und berechnet die erforderliche Kompensationsladung, die von einer steuerbaren Aufladeeinheit ebenfalls kontaktlos aufgebracht wird. Damit gelingt die nahezu perfekte Kompensation und Beseitigung der Ladungsdoppelschicht. Verbleibende konventionelle Aufladungen werden nach der Kompensation mit normalen Entladeelektroden neutralisiert.

Normale Entladeelektroden wirken in Abständen zum Substrat bis 100 oder 150 mm. Größere Abstände werden in der Regel mit Ionenblasdüsen überbrückt. Die *Eltex*-Blasdüsen haben die Besonderheit, daß die Ionisationsspitze in die Düse integriert ist und damit die strömungstechnisch optimierten Blasdüsen ihre volle Leistung behalten. Eine weitere Lösung ist die *Combi-Air-Gun* mit integrierter Ionisationsspitze, die insbesondere zum Reinigen und Entladen von Oberflächen dient. Viele andere Lösungen sind verfügbar und können auf die individuellen Bedingungen angepaßt werden.

Neue Entladeelektrode präsentiert

Auf der K 2007 hat *Eltex* erstmals die Entladeelektrode *RX2* (Abbil-

Abbildung 12:
Patentierte Entladeelektrode *R50/R51* von *Eltex Elektrostatik GmbH*.



dung 14) vorgestellt. Sie kann überall dort zum Einsatz kommen, wo große oder wechselnde Abstände überbrückt und sehr hohe Aufladungen beseitigt werden müssen. Eine integrierte, intelligente Sensorik erfaßt kontinuierlich den Abstand und die vorhandene Aufladung des zu entladenden Objekts und paßt die Ausgangsleistung automatisch an die gerade vorliegenden Bedingungen an. Für eine hohe Flexibilität ist der leistungsfähige Hochspannungserzeuger integriert und geeignet auch hohe Aufladungen in sehr kurzer Zeit zu kompensieren. Bis zu 50 kV Ausgangsspannung (jeweils positive und negative Ladung) ermöglichen höhere Entladereichweiten als bisher – auch ohne zusätzliche Luftunterstützung. Auch die RX2 ist berührungssicher: Es besteht auch bei eingeschalteter Elektrode keine elektrische Personengefährdung.

Personengefährdung

In der BG-Vorschrift BGV B11

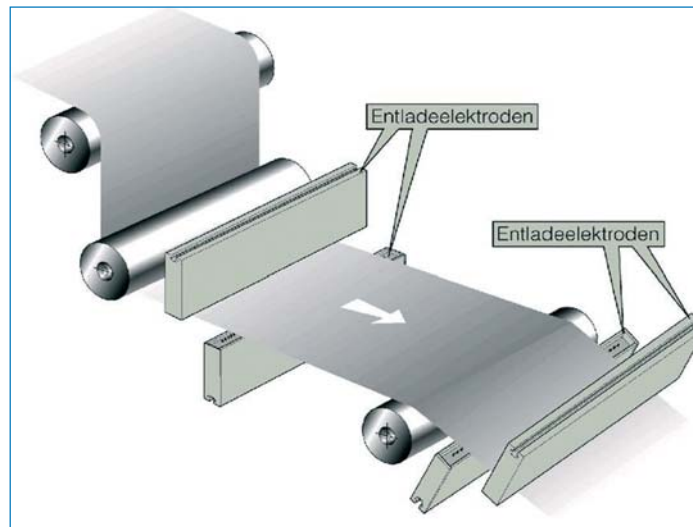


Abbildung 13:
Anordnung von Entladeelektroden.

(VBG25) heißt es u.a.: »Der Unternehmer hat dafür zu sorgen, daß in Arbeitsstätten und an Arbeitsplätzen weder unzulässige Expositionen noch unzulässige mittelbare Wirkungen durch elektrische Felder auftreten. Ein elektrostatisches Feld hat eine Frequenz von 0 Hz, kann aber durch plötzliche Entladung auf einen Mitarbeiter einwirken. Diese

als elektrischer Schlag empfundene Entladung ist im Normalfall nicht gesundheitsschädlich, doch die durch die Schreckreaktion hervorgerufene Bewegung kann erhebliche Unfälle nach sich ziehen. Demzufolge sollten insbesondere in den Bereichen der Ab- bzw. Aufrollung aktive Entladeeinrichtungen installiert werden.«

Wie bereits oben erwähnt, ist der Mensch wie ein Kondensator mit einer Kapazität von 100 pF. Die Spürbarkeit einer Entladung beginnt bei 2 bis 2,5 kV/m und die Energie einer solchen Entladung liegt in etwa bei 0,4 mJ. Aber die Mindestzündenergie von brennbaren Flüssigkeiten beginnt meist schon bei weniger als 0,2 oder 0,3 mJ. Das bedeutet, daß Personenentladungen bereits unterhalb der Spürbarkeit zu zündfähigen Entladungen führen können.

Durch das Tragen von ableitfähigem Schuhwerk in Verbindung mit ableitfähigem Fußboden kann derartigen Problemen entgegengewirkt werden, wenn die Relaxationszeit, d.h. die Ableitung von aufgenommenen Ladungen kleiner als 10^{-2} s ist. Dazu folgende Berechnung:

Mensch: $C = 100 \text{ pF} = 10^{-10} \text{ As/V}$;
 Schuhwerk: $R = \text{max. } 10^8 \Omega \text{ [(V/A), (R= U/I)]}$;
 Relaxationszeit $\tau = R \cdot C = 10^{-10} \text{ As/V} \cdot 10^8 \text{ V/A} = 10^{-2} \text{ s}$.

Mit dieser Entladezeit des Menschen ist die Sicherheit gegeben, daß die Entladung einer Person genügend schnell erfolgt. Umfangreiche Informationen hierzu sind in der schon erwähnten BGR 132 zu finden.

Elektrostatische Meßtechnik

Die bekannten Meßgeräte, wie Multimeter, Oszillograph usw. sind für die Messung elektrostatischer Größen nicht geeignet. Für das Messen elektrostatischer Felder wurde das Influenz-Elektrofeldmeter (EFM) vor ca. 70 Jahren entwickelt (Abbildung 15). Es ist das bedeutendste Meßgerät, um elektrostatische Größen zu erfassen. Generell läßt sich

mit dem Influenz-Elektrofeldmeter sowohl die Aufladbarkeit als auch die Relaxationszeit (Entladezeit) von aufgeladenen Körpern genau messen. Es mißt das von einer elektrischen Ladung ausgehende Kraftfeld in kV/m. In den meisten Fällen ist das elektrische Feld uninteressant. Wichtig ist das aktuell anstehende Oberflächenpotential. Folglich muß der vom Influenz-Elektrofeldmeter angezeigte Wert in kV/m mit dem aktuellen Meßabstand in m multipliziert werden. Hierzu ein Beispiel:

Anzeige des E-Feldmeters:

$E = 300 \text{ kV/m}$;

Meßabstand: 0,1 m;

Oberflächenpotential:

$U = \text{Feldstärke} \times \text{Meßabstand}$;

$U = 300 \text{ kV/m} \times 0,1 \text{ m} = 30 \text{ kV}$.

Das Meßprinzip beruht auf der Influenz elektrischer Ladungen auf einer sternförmigen Chopper-Elektrode durch ein elektrostatisches Feld. Diese influenzierten Ladungen erzeugen durch die definierte Rotation der Abdeckelektrode einen der Feldstärke proportionalen Wechselstrom, der verstärkt und angezeigt wird.

Beim Messen mit dem EFM wird ein Mittelwert von positiven und negativen Ladungsprofilen erfaßt. Allein durch sein Vorhandensein wird das elektrische Feld zu höheren Konzentrationen verzerrt. Diese Fehlmessung kann je nach Aufbau mehr als 50% betragen. Durch einen kleinen Kunstgriff wird das gestörte elektrische Feld homogenisiert (Abbildung 16).

Unterschiedliche Ladungsprofile sind auf den Folienoberflächen erkennbar eingezeichnet. Die Feldvektoren der einzelnen Ladungsprofile, positiv wie negativ, sind auf das geerdete Influenz-Elektrofeldmeter

gerichtet. Durch die Hochohmigkeit der Folie sind auch die Feldlinien der gegenüberliegenden Seite auf das Influenz-Elektrofeldmeter gerichtet, so daß



das EFM alle Ladungsprofile, ob positiv oder negativ, der Vorder- und Rückseite »sieht« und anzeigt. Da die Feldlinien immer den kürzesten Weg zum Gegenpotential (geerdete Gegenstände) einhalten, kann keine Feldstärke einer aufgeladenen Bahn erfaßt werden, wenn diese über einen geerdeten Gegenstand gleitet oder geführt wird, wie Platte, Holztisch oder Umlenkspindel.

Abbildung 14: Entladeelektrode RX2.

Literatur

HERMANN KÜNZIG, Weil am Rhein, diverse Vorträge und Schulungsmaterialien.

KONSTANZE HERMANN, *Das Physikalische Kabinett in Görlitz*, Verlag G. Oetzel, Görlitz.

GÜNTER LÜTTIGENS u.a.; Statische Elektrizität, *Expert Verlag*, Renningen.

Eltex Elektrostatik GmbH, Weil am Rhein; Schulungsunterlagen.

Expert Praxislexikon Statische Elektrizität, *Expert Verlag*, Renningen.

BGR 132 »Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladung«, März 2003.

BG-Vorschrift BGV B11, UVV Elektromagnetische Felder, Juni 2001. ■

Abbildung 15 (links): Elektrofeldmeter-Meßprinzip.

Abbildung 16 (rechts): Messen mit dem EFM: links – ungenaue Elektrofeldmessung wegen Feldverzerrung; rechts – angezeigt wird der Mittelwert der positiven und negativen Ladung von der oberen sowie der unteren Seite.

