

## Beitrag zum Bahnlaufseminar 2011

26.- 27. September 2011

Technische Universität Chemnitz

Institut für Print- und Medientechnik



### Electrostatic Monitoring

#### Qualitätssicherung durch In-line Messung elektrostatischer Felder

Autor: Wolfgang Schubert, Dipl.-Ing. Polygraphie,  
Sachverständigen-Gutachten für Hoch-, Flach- und Hybriddruckverfahren,  
Vertrieb:

- Eltex Elektrostatik
- Schmalbahn-Etikettendruckmaschinen (OMET, Codimag, SMAG, DURST)
- Corona/Plasma-Systeme (Plasmawerk)

Die Elektrostatik, als ältester Zweig der Elektrizitätslehre, war schon viel früher bekannt als die Elektrodynamik. Durch die Vielfalt der Möglichkeiten der Elektrodynamik wurde die Elektrostatik als unbedeutend eingestuft und war bei vielen Ingenieuren und Technikern fast in Vergessenheit geraten. 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 Zylinderelektrifiziermaschine aus den Jahren um 1760. (Abb.1)

Erst im 20. Jahrhundert, als sich mit der Entwicklung makromolekularer Verbindungen bzw. niedermolekularer Substanzen die so genannten Kunststoffe weltweit durchgesetzt haben (nicht zu vergessen die Entwicklungen der Halbleitertechnologien), wurde man mit einer, wenn auch einer sehr alten Erscheinung, neu konfrontiert.

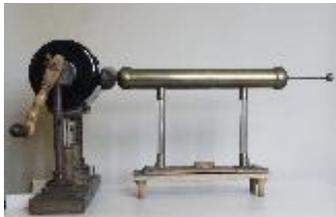


Abb. 1 Zylinderelektrifiziermaschine aus dem Physikalischen Kabinett in Görlitz.

### 1. Grundlagen

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

Elektrostatische Ladungen entstehen immer an den Kontaktflächen zweier Stoffe.

In Abb. 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.

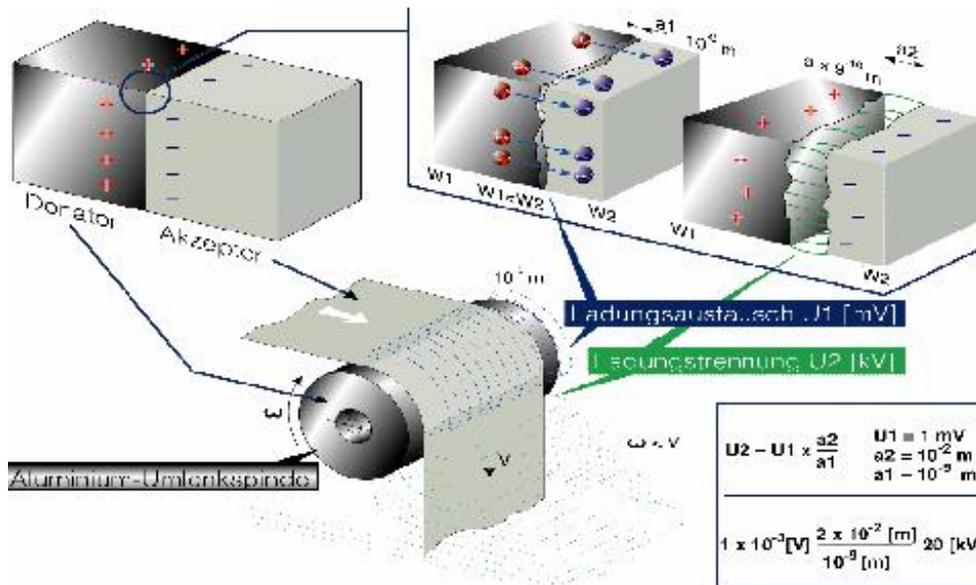


Abb. 2 Doppelschicht – Modell nach H. v. Helmholtz (1821-1894)

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 gehen wir davon aus, dass Stoff 1 - die Folien- bzw. Papierbahn den Akzeptor und Stoff 2 - die Oberfläche der Umlenkspindel, den Donator darstellen.

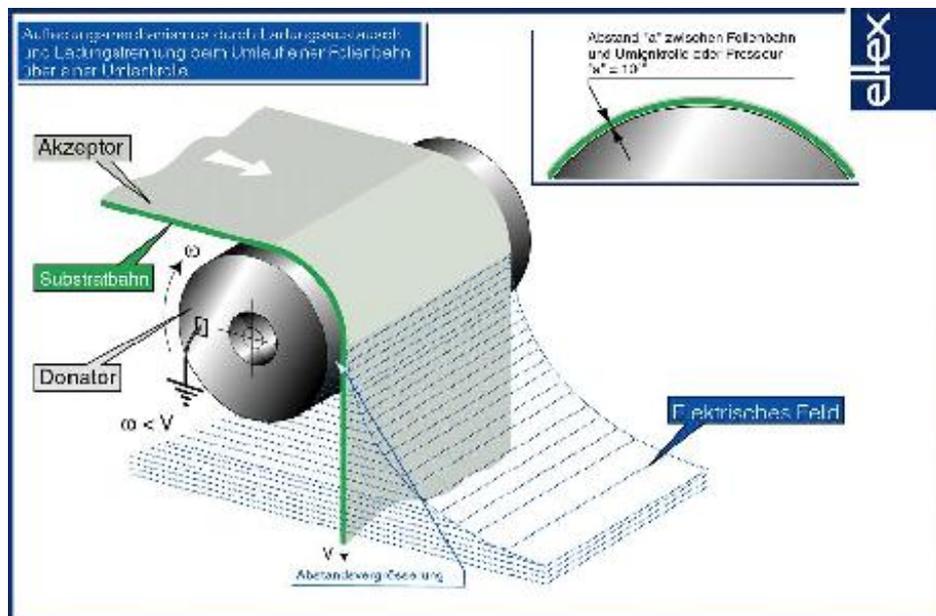


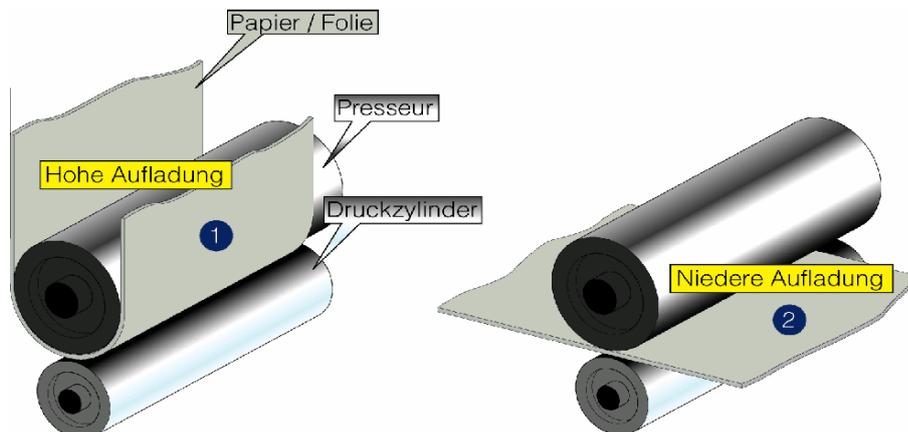
Abb.3 Entstehung elektrostatischer Aufladung durch Kontakt und Trennung

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 „ω“ 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 Abb. 3 ist der Umschlingungswinkel  $90^\circ$ . Bei einem Umschlingungswinkel von z. B.  $180^\circ$  wie in Abb. 4 ist die elektrostatische Aufladung wegen der hohen Zahl der Kontaktstellen wesentlich höher und bei kleinerer Umschlingung wesentlich geringer.

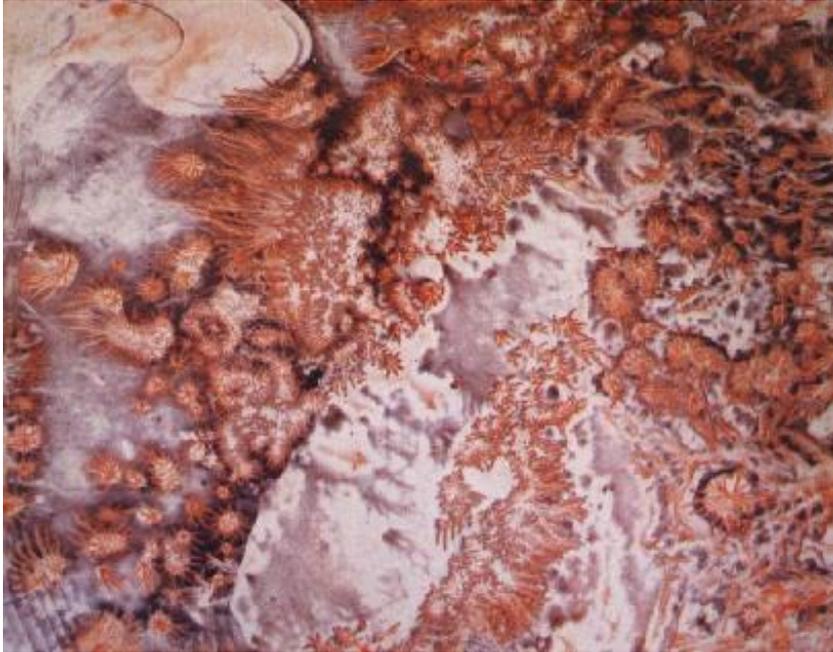


**Abb. 4 Einfluss der Umschlingung**

Betrachten wir nun eine Metall- Umlenk- oder Leitwalze an der Oberfläche im Nanometerbereich zwischen 1 und 10 nm.

Bei Stillstand werden sich an der nicht belegten Oberfläche mehrere Schichten molekulares Wasser und auch Staub ansammeln. Beim Kontakt der Bahn mit der Walze werden sich im Dickenbereich von 10 bis 50 nm kleinste Partikel von der Materialbahn (Wasser, Farbe, Staub u. a.) anlagern und wieder mitgerissen. 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 (Verschmutzung) 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 (Abb. 5). Ein jeder hat schon erlebt, wenn aufgeladene, isolierende Materialien längere Zeit gelagert werden und dann 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, Polarisierung) in den Teilchen. Aufgrund der wirkenden Coulombschen Kräfte werden diese von dem Material angezogen und lagern sich auf dessen Oberfläche ab.



**Abb. 5 Ladungsprofile durch Kontakt und Trennung (Reiben) sichtbar gemacht (Lichtenbergsche Figur)**

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 Staubteilchen bis z.B. in Filter hinein. Die Partikel, werden sich durch Kontakt und Trennung aufladen. Den gleichen Vorgang treffen wir an beim Übergang vom Papier- oder Folienstapel zur Schuppe, oder Abwickeln einer Rolle.

Das gilt auch für Flüssigkeiten – deshalb sind bei brennbaren Flüssigkeiten die Erdungsmaßnahmen zum Ableiten des entstehenden Ladungspotentiales „überlebenswichtig“.

An dieser Stelle sei auf **die TRBS 2153 „Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladung“** hingewiesen.

Alfred Coehn (Göttingen) 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.

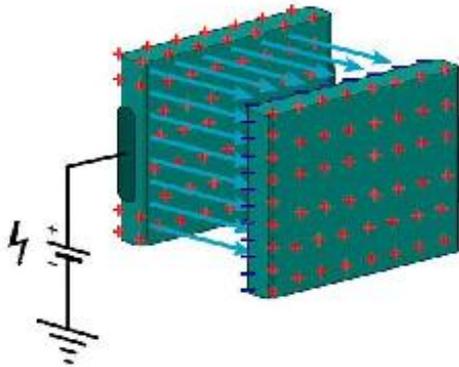
Würde diese theoretische Vorstellung der Praxis entsprechen, so müsste man, nur um die statischen Aufladungen von schnell bewegten Kunststoffbahnen niedrig zu halten, den gegenständigen Kunststoff aus der Coehnschen Reihe für die Umlenkspindeln aussuchen und die elektrostatischen Aufladungen würden sich gegenseitig eliminieren.

Dies ist leider nur theoretisch möglich, denn wegen der stets veränderlichen Kontaminierung der Oberflächen gibt es keine stabilen Verhältnisse an den Grenzschichten.

**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.

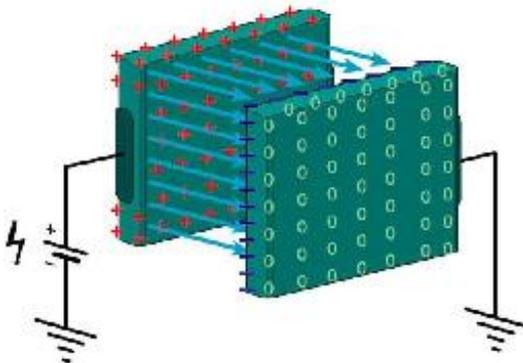
## 2. Influenzaufladung

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 (Abb. 6).



**Abb. 6 Ladungstrennung durch Influenz**

Diese Trennung ist auch dann vorhanden, wenn der leitfähige Körper geerdet ist. Die Seite, die dem elektrischen Feld zugewandt ist, kann nicht geerdet werden (Abb. 7).



**Abb. 7 Ladungstrennung durch Influenz und Erhaltung**

Dieser Mechanismus gilt auch für den Menschen, der bekanntermaßen zu 75% aus Wasser besteht und wie ein Kondensator Ladung aufnehmen und 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 (Abb. 8). 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-Gasgemisches stattfinden, so dass ein Brand nicht auszuschließen ist (Ex-Schutz).

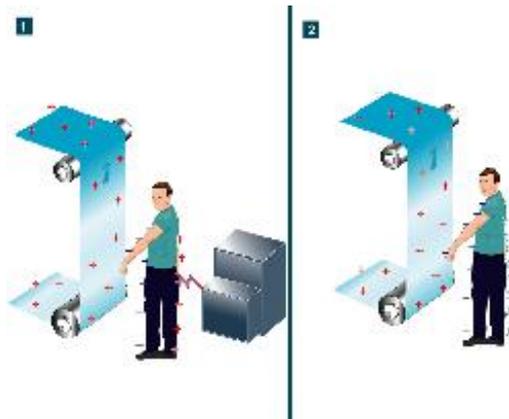


Abb. 8 Ladungstrennung bei Personen

### 3. Messtechnische Erfassung

Elektrostatische Aufladungen verursachen bei den unterschiedlichsten Verarbeitungen von Kunststoffen, wie Papier, Verbundstoffen in der Regel produktionshemmende Störungen. Diese Störungen können sehr stark qualitätsmindernd sein, aber auch der Auslöser für Personen- und Sachschäden sein. Unter den verschiedensten Bedingungen können Ladungen von weit über 10kV entstehen. Ladungen ab ca. 3kV können Funken bilden und Ladungen von 100 V können elektrische Bauteile beschädigen.

Deshalb ist es dringend geboten, insbesondere bei der Verarbeitung bahnförmiger Materialien, eine In-Line Messung zur Qualitätssicherung durchzuführen.

Mit der Integration der Messtechnik für elektrostatische Felder in Rollenverarbeitungsmaschinen ist erstmalig die Möglichkeit vorhanden, die Größenordnung der von der Oberfläche der Bahn ausgehenden Feldstärke In-Line zu messen.

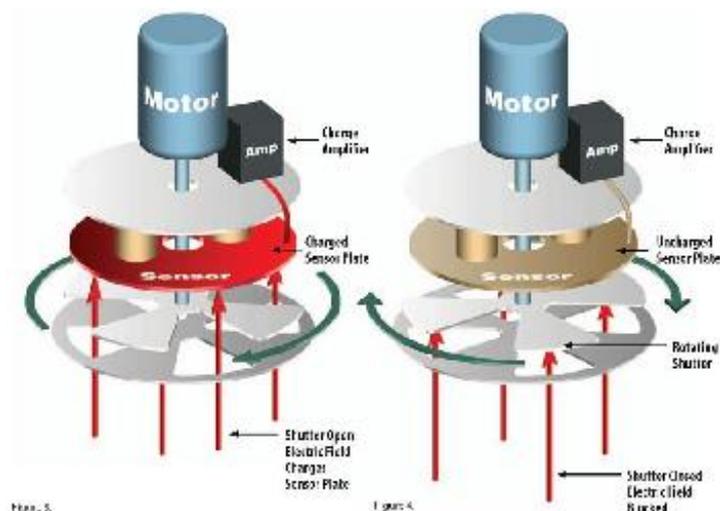


Abb.9 Funktionsprinzip Elektrofelfeldmeter

Herzstück ist ein Elektrofelfeldmeter. Bei diesem wird ein Prinzip angewendet, das schon seit 1930 in vielen Varianten bekannt ist. Genutzt wird der Effekt einer Ladungsverschiebung infolge Influenz im Inneren eines isolierten, leitfähigen Körpers. Entsprechend Abb. 9 befindet sich hinter einem rotierenden, geerdeten und in der Regel vergoldeten Abschirmflügel eine Influenz-Elektrode, die mit einem Verstärkereingang verbunden ist.

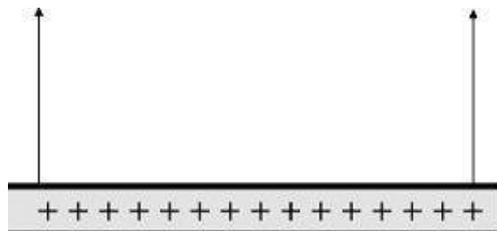
Die Feldlinien des zu messenden elektrischen Feldes enden je nach Stellung des rotierenden Flügels entweder auf diesem selbst oder auf der Influenzelektrode. Das verursacht am Verstärkereingang einen der Feldstärke proportionalen Wechselstrom, der nach Gleichrichtung eine Anzeige der

Feldstärke (Betrag) ermöglicht. Das Vorzeichen der Aufladung (Feldstärkerichtung) wird durch einen phasensynchronen Unterbrecher (Lichtschranke) mit nachfolgendem phasenempfindlichem Verstärker bestimmt. Die nach diesem Prinzip arbeitenden Feldstärkemessgeräte funktionieren bis etwa 100 V/m (minimaler Messwert) und können andererseits bis zur Durchschlagfeldstärke (3 MV/m) eingesetzt werden.

Dieser speziell für den In-Line-Einsatz konfigurierte Sensor erfasst also die am Substrat vorhandenen Kräfte zur Ladungsverschiebung, ohne dass dem elektrischen Feld Energie entzogen wird. Nach entsprechender Umsetzung im Messgerät können die Feldstärke-Werte inkl. ihrer Ausrichtung aufgezeichnet werden. Bei dem Gerät der Fa. Eltex Elektrostatik können dabei bis zu drei Sensoren an jeder beliebigen Stelle über der Bahn positioniert werden. Die Aufzeichnung der Daten erfolgt auf gängigen CompactFlash<sup>®</sup> Karten, die eine problemlose Auswertung am PC gewährleisten. Eigens dafür wurde das Auswerteprogramm PCA 3000 geschrieben.

### 3.1. Messung elektrostatischer Felder

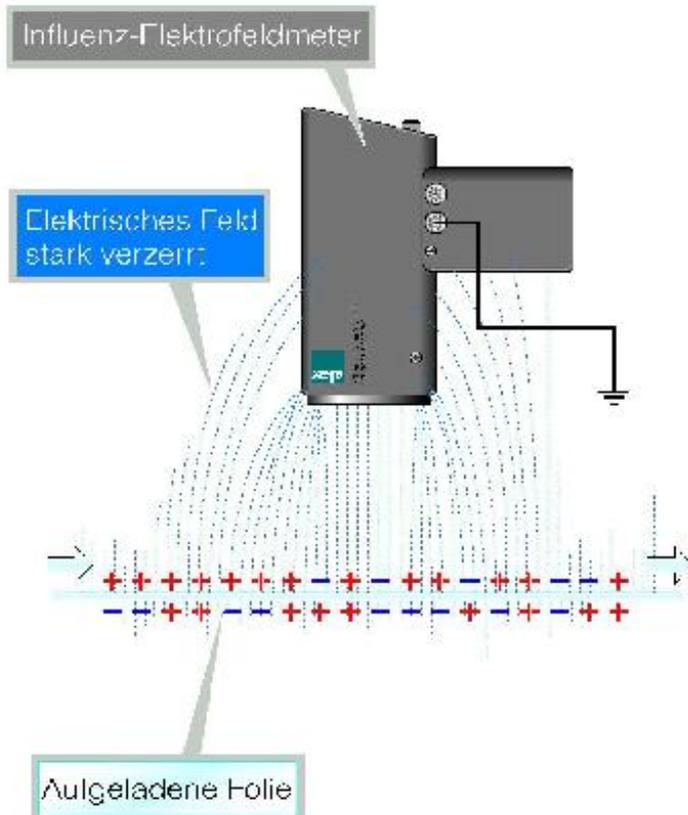
Reproduzierbare Feldstärkemessungen sind grundsätzlich nur im homogenen elektrischen Feld möglich. Ein geerdetes Messgerät führt immer zu Feldverzerrungen, da sich Feldlinien zum Messgerät hin ausbilden. Als Folge stellen sich zu hohe Messwerte ein. Unterschiedliche Methoden müssen angewendet werden, um ein Messergebnis ohne Einwirkung des Messgerätes zu erhalten, was sich am besten an einer aufgeladenen Folienbahn erläutern lässt.



**Abb. 10 Ausschnitt einer aufgeladenen Folie**

In Abb. 10 ist ein Ausschnitt des von einer aufgeladenen Folie ausgehenden elektrischen Feldes dargestellt. Zur Vereinfachung ist die Folie gleichmäßig positiv aufgeladen; im Ausschnitt sind keine Feldverzerrungen und Raumbegrenzungen vorhanden. Die Feldlinien im Ausschnitt beginnen auf der Folie und enden im unendlichen Raum. Das Feld wird als homogen bezeichnet.

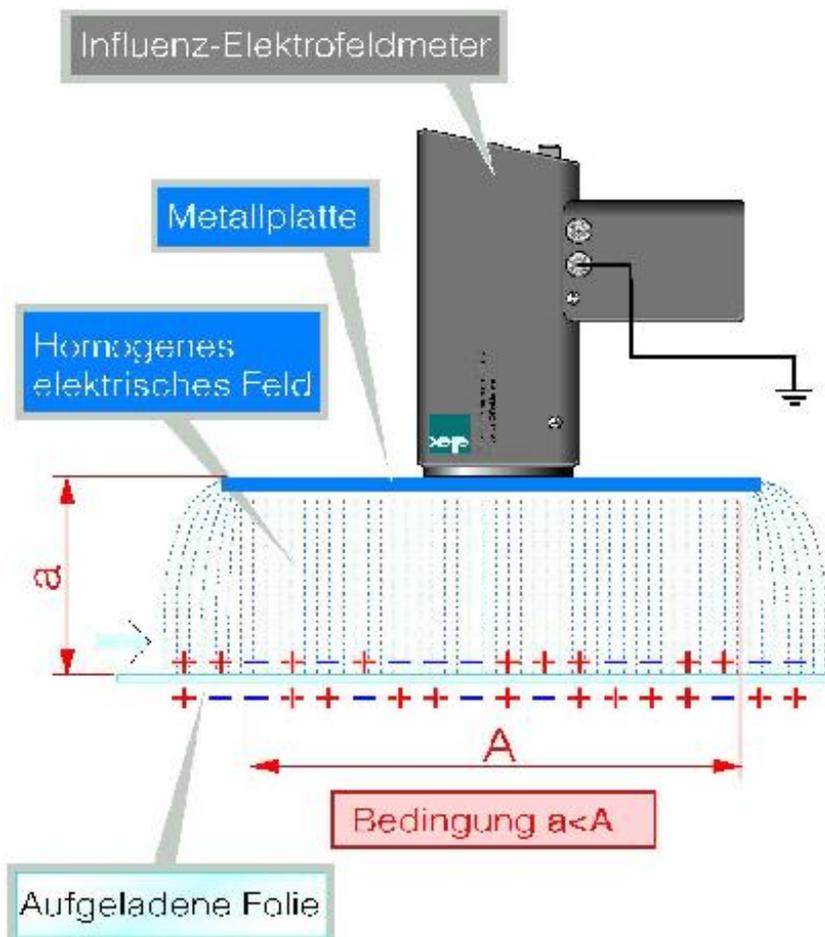
Ungenauere Elektrofeldmessung wegen  
Feldverzerrung.



**Abb. 11:** Feldveränderung bei Annäherung eines Messgerätes

Die Veränderung des elektrischen Feldes bei Annäherung eines Messgerätes an die Folie zeigt Abb. 11. Die Feldverdichtung am Messkopf bewirkt dort eine erhebliche Vergrößerung der Feldstärke.

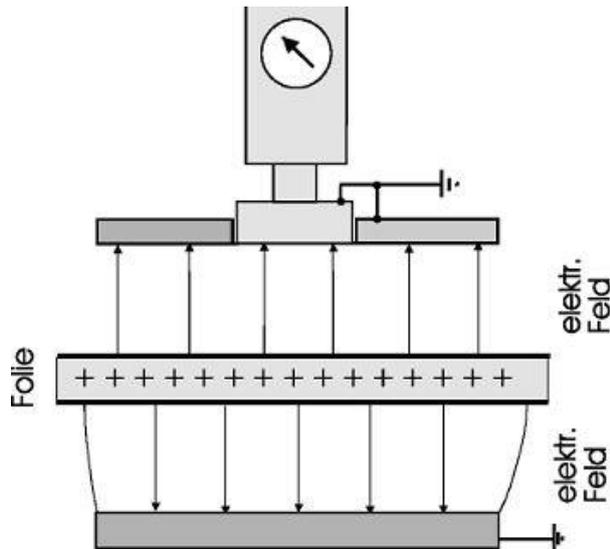
Angezeigt wird der Mittelwert der positiven und negativen Ladung von der oberen sowie unteren Seite.



**Abb. 12: Einseitige Homogenisierung des elektrischen Feldes**

Die Folge einer Homogenisierung des elektrischen Feldes zeigt Bild 12. Doch auch in diesem Fall ist die Feldstärke am Messkopf noch höher als im ungestörten homogenen Feld (Abb. 10), da auch die von der Folienrückseite ausgehenden Feldlinien zum Messkopf umgelenkt werden. Das Feld ist zwar auch homogen, die Feldstärke jedoch etwa um den Faktor 2 zu hoch.

Erst wenn zwei geerdete Platten parallel zueinander angeordnet werden und sich die Folie in der Mitte befindet (Abb. 13), ist zu erwarten, dass die Feldstärke des ursprünglichen Feldes richtig erfasst wird.



**Abb. 13: Beidseitige Homogenisierung des elektrischen Feldes**

Die Feldveränderungen entstehen, weil sich das elektrische Feld durch das Einbringen des geerdeten Gerätes an die Potenzialfläche (von 0 Volt) anpassen muss. Zwar stellt sich die korrekte Messung elektrischer Felder mit dem E-Feldmeter zunächst als kompliziert dar. Doch beachtet man diese Eigenheiten, so lassen sich reproduzierbare Messungen durchführen.

Allerdings gilt es zu beachten, dass bei der Inline-Messung an Materialbahnen sich niemals identische Werte bei gleichem Material messen lassen. Das ist insbesondere dadurch begründet, dass unter Produktionsbedingungen in der Regel keine identischen bzw. konstanten Umgebungsbedingungen herrschen. (Staub, Wassermoleküle, Kontamination der Walzen-Oberflächen u.v.a.). Zum Beispiel werden die in der Raumluft befindlichen Partikel, die sowohl aus leitfähigen als auch isolierenden Stoffen bestehen, durch die von einem geladenen Material ausgehenden Coulomb-Kräfte angezogen und lagern sich auf dessen Oberfläche ab. Werden hoch aufgeladene, isolierende Materialien längere Zeit gelagert können so genannte Staubfiguren auftreten. Sie stellen latente Ladungsbilder dar, die durch den aus der Umgebung angezogenen Staub entstehen. (vgl. Abb.5)

Es werden sich demzufolge immer nur bestimmte Wertebereiche reproduzieren lassen.

Bei dem vorgestellten Eltex - Messgerät Static Multi Monitoring werden die Messwerte der Analogeingänge kontinuierlich mit einem Abtastzyklus von 250 ms erfasst. Auf Basis dieser Messwerte wird auch eine Grenzwertkontrolle durchgeführt. Abhängig vom konfigurierbaren Speicherzyklus und Speicherwert (Mittel-, Momentan-, Minimal-, Maximal- oder Spitzenwert) werden die Messwerte in den Arbeitsspeicher des Gerätes übernommen.

Das integrierte Lifecycle -Datenmanagement stellt die schnelle Rückverfolgung von Prozessdaten anlagenbezogen sicher.

Die Vorteile des Static Multi Monitoring sind:

- großes Farbdisplay mit integrierten Bedientasten
- Messbereich bis 200 kV/m
- frei wählbare Aufzeichnungsintervalle
- Anschluss von bis zu 3 Sensoren für zuverlässige Überwachung größerer Bahnbreiten
- hohe Messgenauigkeit durch zusätzliche Feldhomogenisierungsplatte
- frei einstellbare Grenzwerte mit Alarmierung

Vor der Messstelle sollten zur Sicherstellung definierter Qualitätsanforderungen entsprechende Einrichtungen zur Eliminierung der elektrostatischen Felder mittels Corona-Entladung angeordnet sein, die im Folgenden beschrieben werden

#### 4. 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.

##### 4.1 Entladung von aufgeladenen Oberflächen

Die durch Kontakt und Trennung entstandenen elektrischen Aufladungen können durch Corona-Entladungsgeräte effizient abgebaut werden. Die allgemein Entladeelektroden genannten Geräte arbeiten nach dem Prinzip der Gasentladung. Die Funktionsweise ist einfach, wenn wir uns einen Plattenkondensator (Abb. 14) vorstellen und diesen an eine Spannung von 4 kV anschließen.

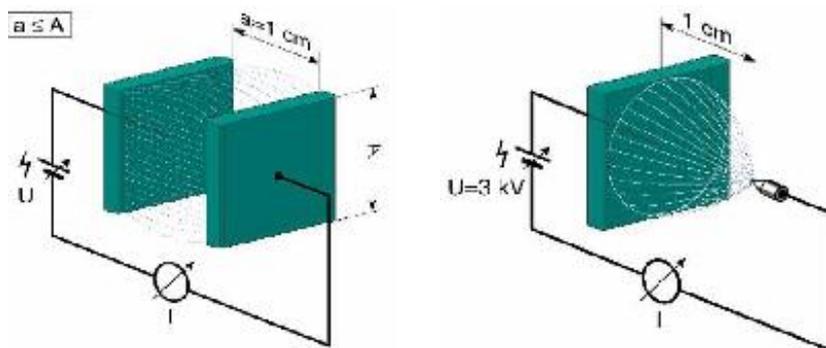
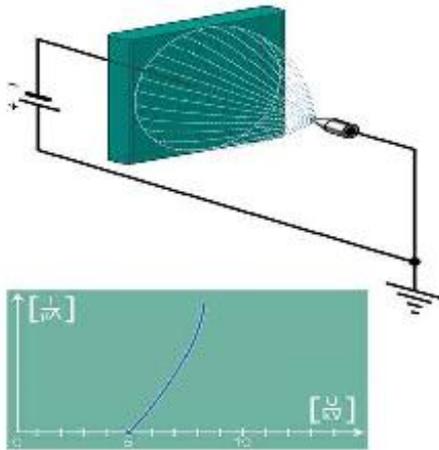


Abb. 14 Modell Plattenkondensator und Corona-Spitze

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 (Abb. 14).

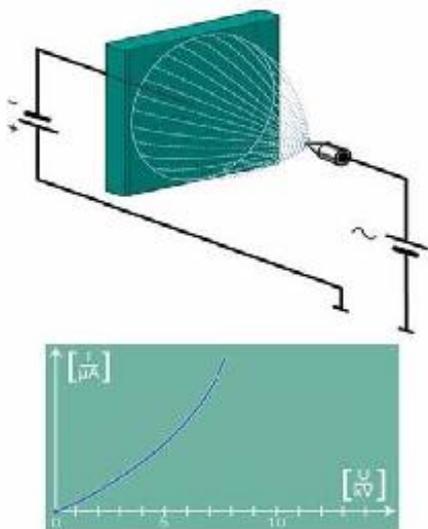
Beim Anlegen von 4 kV ist die Dichte der Feldlinien an der Nadelspitzenfläche so hoch, dass für weitere Feldlinien kein Platz mehr vorhanden ist. Die maximale Ladungsdichte  $[\sigma]$  ist überschritten, so dass Ladungsteilchen die Nadelspitze verlassen müssen - es wird Ladung emittiert. Die Luft wird 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. Das 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. 3 MV/m.

Liegt nur die Platte an Hochspannung und die Nadel (Nadeln) sind geerdet, so spricht man von einer passiven Entladung (Abb. 15). 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 i. d. R. eine Vielzahl von Spitzen angeboten und die E-Feldstärke muss sehr hoch sein, damit pro Bürstenfaserspitze eine Gasentladung stattfinden kann.



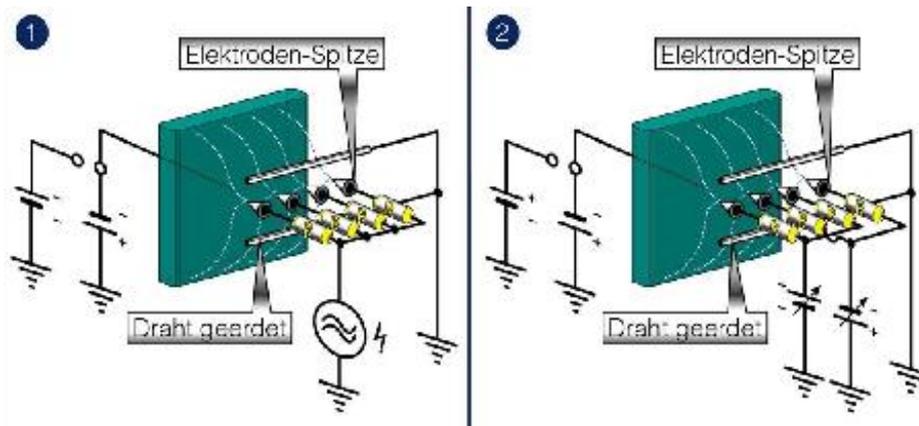
**Abb. 15** passive Entladung

Liegen die Nadeln zusätzlich an Hochspannung, so spricht man von einer aktiven Entladung (Abb. 16). Eine Entladung wird dann möglich, da von den Spitzen sowohl positive als auch negative Teilchen den unterschiedlichen Ladungsinseln auf der gegenüberliegenden Oberfläche zur Neutralisation angeboten werden.



**Abb. 16** aktive Entladung

Da sich die Oberflächenpotenziale in Amplitude und Vorzeichen stets ändern, muss ein entsprechendes Gegenpotential angeboten werden. Dazu werden die Emissionsnadeln an Wechselspannung angeschlossen (Abb. 17) oder aber die Nadeln werden mit positiver und negativer Polarität beaufschlagt.



**Abb. 17. Aktive Entladeelektroden**

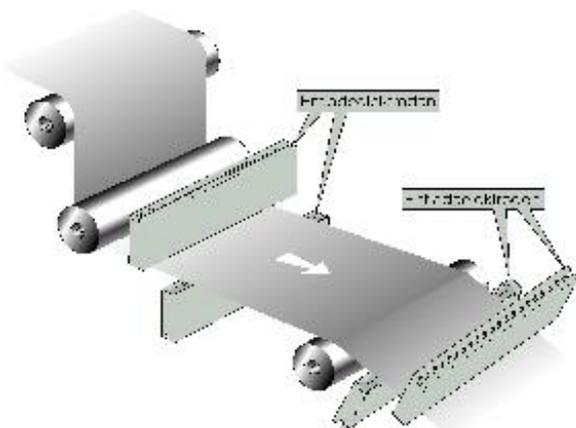
Die Entladewirkung in Funktion des Abstandes der Entladeelektroden ist begrenzt, da eine Rekombination von positiven und negativen Teilchen immer vorhanden ist. Die von den Entladeelektroden abgegebenen positiven/negativen Ladungsteilchen, werden vom Gegenpotenzial der Oberfläche angezogen und können dadurch die Ladung eliminieren.

Die von *Eltex* entwickelte, patentierte *Entladeelektrode R50/R51* (Abb. 18) erfüllt diese Anforderungen und findet ihren erfolgreichen Einsatz bei Bahn-Geschwindigkeiten bis 30 m/sec. Standardmäßig gibt es diese Elektroden in aktiven Längen bis rd. 4m. Ein wichtiger Aspekt bei Entladeelektroden sei hier noch genannt: Diese R50/R51 ist absolut berührungssicher, d.h. man kann beim versehentlichen Berühren der Spitzen, an denen 5 kV anliegen keinen elektrischen Schlag bekommen.



**Abb. 18 Eltex – Entladeelektrode R50/R51**

Die Anordnung der Entladeelektroden innerhalb des Bahnverlaufs in einer Maschine ist von ausschlaggebender Bedeutung. In Abb. 19 ist gezeigt, wie die Platzierung vorgenommen werden sollte.



**Abb. 19 Optimale Platzierung von Entladeelektroden.**

Die Entladung, insbesondere von Folienbahnen sollte immer beidseitig vorgenommen, 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 Corona-Vorbehandlung eine aktive Entladung der Bahnoberfläche vorgenommen wird. Diese aktive Entladung hat keinen Einfluss auf die durch die Corona erzeugten Haftungseigenschaften für das Bedrucken. Aber 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.

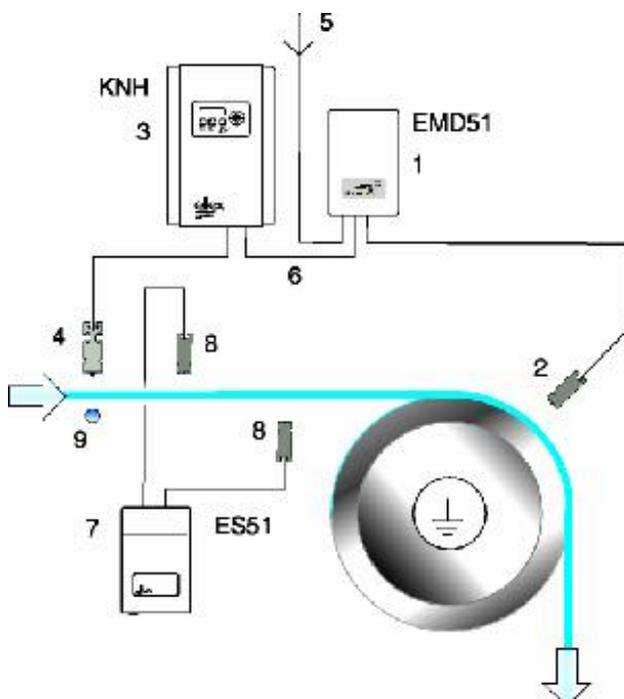
#### 4.2. Ladungsdoppelschichten

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 Folienkanten gehen starke Funken aus, Folienoberflächen werden durch Entladungen beschädigt und die Weiterverarbeitung 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 Corona-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.



**Abb. 20** Konfiguration EMD51 (1- 6, 9) und zusätzliche Entladung (7+8)

#### Legende Abb. 20

- 1 Mess- und Regeleinheit EMD51
- 2 Entladeelektrode R50 (Messelektrode)
- 3 Aufladegenerator
- 4 Aufladeelektrode R130 (Kompensationselektrode)

- 5 Freigabeleitung
- 6 Steuerleitung
- 7 Entladenezgerät ES51
- 8 Entladeelektrode R50
- 9 Gegenelektrode

Das *EMD51* 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 ...150 mm. Größere Abstände werden i. d. R. 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 (Abb. 21a, Abb. 21b). Durch diese patentierte Lösung können Düsen auch auf sehr individuelle Bedingungen angepasst werden.



**Abb. 21a Blasdüse R36/F**



**Abb. 21b Blasdüse R36/R**

Eine weitere Möglichkeit der Entladung ist durch den Einsatz einer Hochleistungsentladeelektrode RX3 IONSTAR gegeben. Diese 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 in die Elektrode integriert und geeignet auch hohe Aufladungen in kürzester Zeit zu kompensieren. Bis zu 50 kV Ausgangsspannung (jeweils positive und negative Ladung) ermöglichen bisher noch nicht gekannte Entladereichweiten – auch ohne zusätzliche Luftunterstützung. Diese Elektrode ist ebenso berührungssicher. Es besteht auch bei eingeschalteter Elektrode keine elektrische Personengefährdung!

Ob bei der Auf- und Abwicklung von Folienbahnen, im Rollenschneider, bei Beutemaschinen oder vielen anderen anspruchsvollen Anwendungen, die RX3 sichert optimale Produktionsabläufe.



**Abb. 22 Entladeelektrode RX3**

#### 4. Personengefährdung

In der BG-Vorschrift BGV B11 (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... 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 < 0,2...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 <  $10^{-2}$  s ist.

#### Berechnung

Mensch:  $C = 100 \text{ pF} = 10^{-10} \text{ As/V}$ ;

Schuhwerk:  $R = \max. 10^8 \Omega [(V/A), (R= U/I)]$

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 TRBS 2153 zu finden.

#### Literatur

1. Hermann Künzig, Weil a. Rh., div. Vorträge und Schulungsmaterialien
2. Konstanze Hermann, Das Physikalische Kabinett in Görlitz, Vlg. G. Oettel, Görlitz
3. Günter Lüttgens u.a.; Statische Elektrizität, Expert Verlag Renningen
4. Eltex Elektrostatik GmbH Weil a. Rh.; Schulungsunterlagen
5. Expert Praxislexikon Statische Elektrizität, Expert Verlag Renningen
6. BG Chemie, T033/TRBS 2153 „Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladung“, 04/2009
7. BG-Vorschrift BGV B11, UVV Elektromagnetische Felder Juni 2001
8. W. Schubert, Etiketten&Label, Heft 2/2008

Dipl.-Ing. Wolfgang Schubert -  
 Weidenweg 15 - 04425 Taucha  
 Fon 034298 67323  
 ws@schubert-gmd.de  
 www.schubert-gmd.de