

Einführung in die Elektrostatik

Introduction into static electricity

Was ist statische Elektrizität?

Das Phänomen „Statische Elektrizität“

- entzieht sich direkter Beobachtbarkeit
- ist spürbar nur über Auswirkungen

Beispiele aus dem Alltag:

- Knisternde Erscheinungen beim An- oder Ausziehen von Textilien
- abgewickelte Folie „klebt“ unkontrolliert aneinander
- Blitze bei Gewittern
- Staubpartikel, die sich an einem Bildschirm ablagern

All diese Erscheinungen beruhen auf Elektrostatik, einem Ungleichgewicht von „ruhenden“ elektrischen Ladungen in oder auf verschiedenen Objekten und deren Kraft- bzw. Entladungswirkung.

Zum Verständnis ist die nähere Betrachtung des mikroskopischen Aufbaus von Objekten und Materialien notwendig.

Jeder Körper, jedes Objekt, aber auch jede Flüssigkeit und jedes Gas bestehen aus Atomen und daraus zusammengesetzten Molekülen.

What does static electricity mean?

The phenomenon „static electricity“

- is not observable directly
- can be noticed only due to its effects

Everyday life examples:

- Crackling effects during someone is dressing or undressing
- Foil is sticking after winding up
- Lightnings during thunderstorms
- Dust particles attracted by a computer monitor

All these effects are based on static electricity which is an imbalance of static electric charges in or on different objects. The imbalance causes force and discharge actions.

To understand these things it is helpful to familiarize with the microscopic structure of objects and materials.

All bodies and objects as well as fluids and gases consist of atoms and molecules.



Die Atome ihrerseits bestehen unter anderem aus positiv geladenen Protonen und negativ geladenen Elektronen. Wichtig in der Elektrostatik ist das nach außen „sichtbare“ Verhältnis bzw. der zahlenmäßige Unterschied zwischen diesen Ladungen:

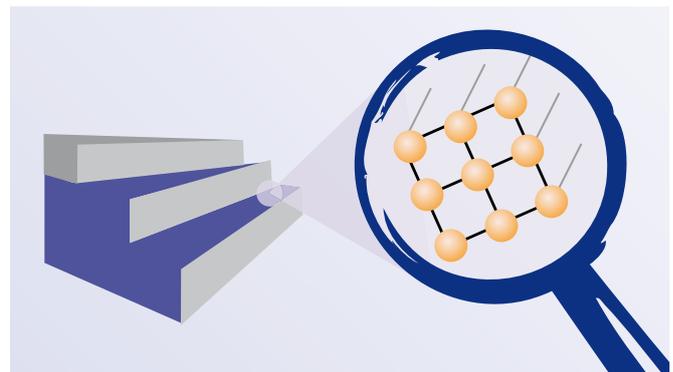
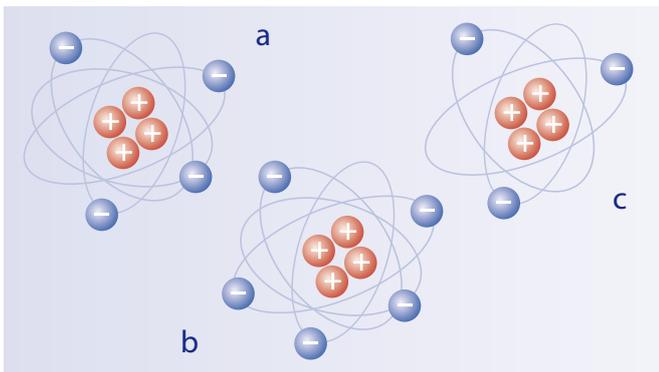
- a) Anzahl Elektronen = Anzahl Protonen → Atom elektrisch neutral
- b) Anzahl Elektronen > Anzahl Protonen → Ion elektrisch negativ
- c) Anzahl Elektronen < Anzahl Protonen → Ion elektrisch positiv

Die gleiche Betrachtung gilt für Moleküle und Objekte oder Materialien, die aus diesen Atomen bestehen: überwiegen die negativen Ladungsträger, dann ist der Gegenstand negativ aufgeladen und umgekehrt.

Each atom consists of positively charged protons and negatively charged electrons amongst others. Important for static electricity is the ratio of charges:

- a) Number of electrons = number of protons → atom neutral
- b) Number of electrons > number of protons → ion negatively charged
- c) Number of electrons < number of protons → ion positively charged

In a similar manner the ratio of carriers results in the charge of objects and materials consisting of atoms. If negative carriers prevail, then the object is negatively charged and vice versa.



Alle Objekte oder Materialien bestehen aus Atomen
All objects or materials consist of atoms

Entstehung elektrostatischer Ladungen

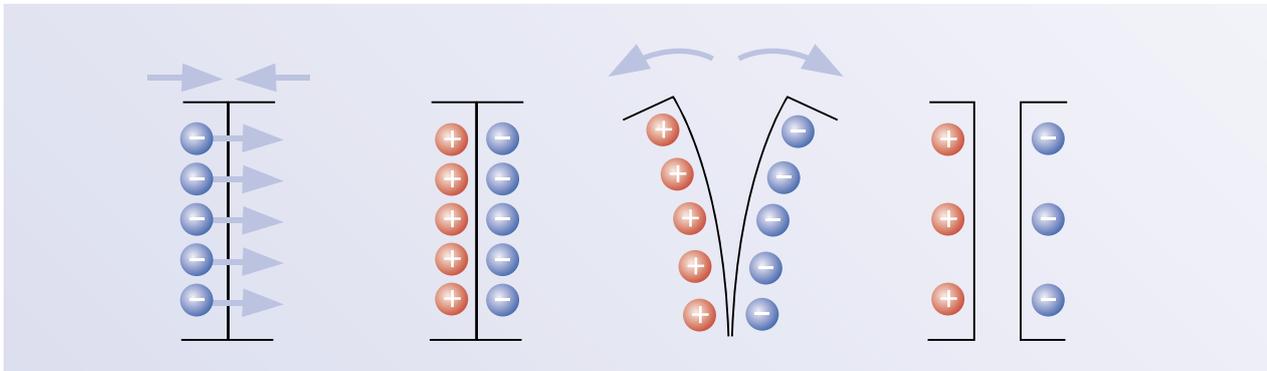
Bei der Entstehung elektrostatischer Ladungen handelt es sich um ein Kontaktphänomen.

- 1) Bringt man zwei Materialien in engen Kontakt (wenige Nanometer), so verschieben sich die Ladungsträger (Elektronen) im Kontaktbereich über die Oberflächengrenzen hinweg entsprechend den physikalischen Eigenschaften der Materialien. (Übertritt von Elektronen)
- 2) Werden die Materialien nun wieder voneinander getrennt, so verbleiben die Ladungsträger teilweise an ihrer „verschobenen Position“. Das führt bei dem einen Material zu einem Elektronenüberschuss (negative Aufladung) und bei dem anderen Material zu einem Elektronenmangel (positive Aufladung). Diese Vorgänge betreffen sowohl elektrisch leitende Materialien als auch Isolatoren.

Origin of static charges

The origin of static charges is a contact phenomenon.

- 1) As two materials are in contact the surface atoms on each material come into very close proximity with each other (few nanometers). The electrons of the surface atoms can be moved from one material to the other. The direction and the strength of the movement depends on the physical properties of the materials. (Transfer of electrons)
- 2) If the two materials are separated, then the moved electrons remain partially. This leads to an excess of electrons within the one material (negatively charged) and to a deficiency of electrons within the other (positively charged). These processes occur in conductive as well as insulating materials.



Die beschriebenen Effekte betreffen nicht nur feste Gegenstände und Materialien, sondern auch solche in flüssigem oder gasförmigem Zustand.

These effects described above appear in solid materials as well as fluids and gases.

Weitere Ursachen elektrostatischer Aufladungen:

- hohe elektrische Gleichspannungsfelder (Influenz)
- Verformung und/oder Abkühlung von Gegenständen
- Reibung u. a.

Other causes for static charges of objects:

- Strong electric fields (induction)
- Deformation and/or cooling down of materials
- Friction among other things

Beeinflussende Faktoren bei der Entstehung elektrostatischer Ladungen

Höhe und Polarität der Aufladung werden beeinflusst durch:

- Art des Materials
- Umgebungsbedingungen (Temperatur, Luftfeuchte)
- Oberflächeneigenschaften (Rauigkeit)
- Sich wiederholende Vorgänge von Kontakt und Trennung der gleichen Körper können zur Erhöhung der Aufladung führen.
- Die Gesamtstärke einer elektrostatischen Aufladung kann durch das Zusammenbringen vieler aufgeladener Gegenstände beträchtliche Ausmaße annehmen.
- Auch die Geschwindigkeit z.B. beim Trennen der Gegenstände spielt eine Rolle – je höher die Geschwindigkeit, desto höher ist i. A. auch die Aufladung der beteiligten Oberflächen.

Factors affecting static electricity

Magnitude and polarity of a static charge are affected by:

- Type of material
- Environmental conditions (humidity, temperature)
- Surface characteristics (roughness)
- Repetition: repeated processes of contact and separation can increase the charge of materials.
- The combination of many charged items can lead to extremely high charges.
- Separation rate e.g. the faster the separation of the materials, the higher charge generated.

Messung elektrostatischer Aufladungen

Elektrostatische Aufladungen führen zu elektrischen Feldern, deren Feldlinien von der negativeren zur positiveren Fläche verlaufen. Alle geladenen Objekte, die sich in einem solchen Feld befinden, oder in ein solches Feld eindringen erfahren eine Kraft, die durch das Feld auf sie wirkt. So kann man beispielsweise auch die „zu Berge stehenden Haare“ erklären, die beim Kämmen frisch gewaschener Haare beobachtbar sind.

Diese Kraft wirkt auch auf Elektronen in elektrischen Leitern und somit kann die verursachende elektrostatische Aufladung über ihre Wirkung durch spezielle Messgeräte quantifizierbar gemacht werden. Solche Messinstrumente werden als Feldstärkemessgeräte oder Elektrofeldmeter bezeichnet.

Die elektrostatische Aufladung wird gewöhnlich in Volt/Meter, also der Einheit der elektrischen Feldstärke gemessen.

Measurement of static charges

Static charges lead to electric fields, whose electric flux lines run from the more negative to the more positive surface. All charged objects, located within or enter such a field, experience a force acting on it. Thus „the hair stand on end“ can be explained, which occur after washing and combing.

This force acts on electrons within conductors too and thus it is possible to measure the static charge by special meters. Such instruments are called static meter, static monitor or electrostatic fieldmeter.

Static electricity is usually measured in volts/meter, the unit of electric field.



Ein bekanntes Phänomen – die „zu Berge stehenden Haare“
A well known phenomenon – the „hair stand on end“

Entladung und Eliminierung elektrostatischer Aufladungen

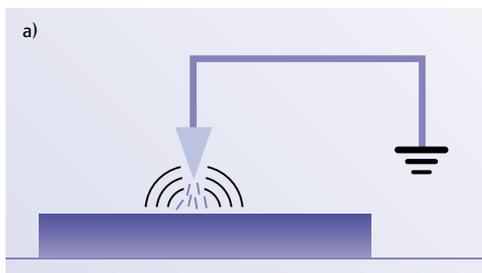
Getrennte Ladungen haben das Bestreben sich auszugleichen:

- Bei leitfähigen, aufgeladenen Materialien wie Metallen fließen überschüssige negative Ladungsträger ab oder fehlende Elektronen zu geladenen Flächen hin, wenn diese mit Masse/Erde kontaktiert werden.
- Geladene Flüssigkeits- oder Luftmoleküle, die mit der Oberfläche in Kontakt treten, liefern fehlende Ladungsträger oder nehmen überschüssige Ladungen auf und führen so zu einer Neutralisierung. (z.B. Erhöhung der Luftfeuchte)
- Ladungsausgleich kann auch innerhalb des Gegenstandes selbst stattfinden, wenn es Bereiche unterschiedlicher Ladungen gibt und der Gegenstand einen endlichen elektrischen Widerstand aufweist.

Achtung: Auch metallische Gegenstände können elektrostatisch aufgeladen werden, solange sie isoliert sind!

Die gezielte Elimination unerwünschter Aufladungen kann durch verschiedene Methoden erfolgen:

- a) Passive Ionisation: ein mit Erdpotential verbundener elektrischer Leiter, der sehr nahe an dem aufgeladenen Objekt positioniert wird, kann bei entsprechend gewählter Geometrie zur Ionisation von Luftmolekülen führen, die dann beim Kontakt mit der Oberfläche zur Entladung führen. Die Ionisation erfolgt dabei durch ein elektrisches Feld, was sich durch die aufgeladene Oberfläche in Richtung des Ionisators bildet. Passive Ionisatoren können sehr hohe Aufladungen stark reduzieren, jedoch niemals gänzlich eliminieren.
- b) Radioaktive Ionisation: die Erzeugung ionisierter Luftmoleküle wird durch radioaktive Quellen erreicht. Aufgrund der Schwierigkeiten und möglichen Gefahren beim Umgang mit radioaktiven Stoffen wird diese Variante nur in sehr speziellen Fällen angewandt.
- c) Aktive Ionisation: Mit einer Hochspannung verbundene Spitzenelektroden sind Ausgangspunkt starker elektrischer Felder, die die umgebende Luft ionisieren. Die erzeugten Luftionen können bei Kontakt mit der aufgeladenen Oberfläche wechselwirken und diese dabei entladen. Da die Erzeugung der Luftionen beim aktiven Ionisator unabhängig vom aufgeladenen Objekt stattfindet, kann dieses bei entsprechender Einstellung im Gegensatz zur passiven Ionisation vollständig entladen werden. Man unterscheidet Wechselstromsysteme (AC), Gleichstromsysteme (DC) mit unterschiedlich pulsierenden Varianten und Hochfrequenzsysteme (HF-HV).
- d) Antistatika: Überschüssige Ladungen können durch Benetzung mit speziellen flüssigen Medien, sogenannten Antistatika abgeleitet werden. Diese Variante bleibt auf Anwendungen beschränkt, bei denen die Benetzung keine unerwünschten Nebeneffekte für das Objekt hat.



Discharging and elimination of static charges

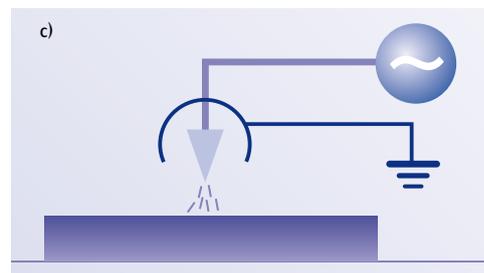
Separated charges tend to balance:

- In conductive, charged materials like metals the negative charges flow to the missing electrodes on the charged areas if these areas are contacted with ground.
- Charged molecules from fluid or air, which contact the charged surface, deliver the lack of charges or absorb charges. This leads to neutralization of surface.
- Neutralization of charges can occur within the material itself, if there are domains of different charge strength and the material has a finite resistance.

Pay attention: Metallic objects can be statically charged too, if they are isolated!

There are different methods to eliminate unwanted static charges:

- a) Passive ionization: a grounded conductor prepared with distinct geometry and located in proximity of the charged objects is able to ionize the surrounding air molecules. This air ions lead to discharge in case of contact with the surface. Ionization is caused by electric field between the charged surface and the ionizer. This type of ionizer can reduce the charge very efficiently but never completely neutralize.
- b) Radioactive ionization: radioactive sources lead to the ionization of surrounding air. Due to the difficulties and dangers in connection with radioactive materials this method is limited to very specific applications.
- c) Active ionization: Sharp pins connected to a high voltage power supply act as source of strong electrical fields. These fields lead to ionization of air molecules, which can interact with the charged surface and discharge it. The formation of ionized air molecules by the active ionizer does not depend on the charged object. Thus this system is able to neutralize the charged surface completely contrary to the passive system. A distinction is drawn between alternating current (AC) systems, direct current (DC) with different DC pulsed variants and high-frequency high voltage systems (HF-HV).
- d) Static inhibitors: Excessive charges are drained off in consequence of the wetting with special fluids called static inhibitors. This alternative is limited to applications which are non-sensitive to these fluids.



Applikationen

Probleme durch störende Aufladung und deren Eliminierung

Ausprägungen störender elektrostatischer Aufladungen in industriellen Prozessen:

- a) **Elektrostatische Verschmutzung:** Aufgeladene Staubpartikel oder Partikel die im Produktionsprozess entstehen, werden durch andersartig geladene oder auch neutrale Oberflächen angezogen und verunreinigen diese. Das stellt eine wesentliche Beeinträchtigung für die Weiterverarbeitung dar, verzögert den Fertigungsprozess oder führt sogar zu Produktionsstillständen und Ausschuss. So müssen beispielsweise Oberflächen vor dem Lackieren absolut staubfrei sein, um eine einwandfreie Beschichtung zu erhalten.
- b) **Elektrostatische Anziehung:** Probleme können aufgeladene Gegenstände auch durch die unerwünschte Anziehung untereinander oder mit Maschinenteilen machen.
Beispiel: Materialtransportstörungen
- c) **Elektrostatische Entladungen:**
Entladung über den menschlichen Körper:
Meistens kein direkter körperlicher Schaden, aber physisches Unbehagen, Schreckhandlungen resultierend in Unfällen und Verletzungen.
Entladung in explosionsgefährdeten Bereichen:
Verheerende Folgen fordern unbedingte Vermeidung. Z.B. Arbeitsbereiche mit Lösungsmitteln oder explosiven Stäuben.
Entladungen in der Elektronik-/Mikroelektronikindustrie:
Bereits schwache Entladungen führen zur Zerstörung elektronischer Bauelemente.

Gewünschte Aufladung und deren Erzeugung

Gezielte Aufladung von Oberflächen

- Erzeugung unterschiedlicher Ladungen
- temporäre Verbindung unterschiedlich geladener Flächen

Beispiele:

- Fixierung verschiedener Folien aufeinander
- gezieltes Positionieren und Festhalten eines Gegenstandes



Applications

Problems caused by charging and its elimination

Different forms of unwanted static charges within industrial processes:

- a) **Static caused contamination:** charged dust particles or particles generated during the production process are attracted by oppositely charged or neutral surfaces and thus result in contamination. This is an impairment of material for the following production process and leads to delay and production stop and scrap rate.
For example surfaces which has to be varnished, must be absolutely dust free.
- b) **Static attraction:** charged objects can cause problems due to attraction among each other or to machine parts.
Example: Errors in the transportation of material
- c) **Static discharges:**
Discharge through human body:
Mostly discharge of charged objects does not lead to bodily injury, but to physical discomfort, shock driven actions resulting in accidents and injuries.
Discharge in hazardous areas:
Such discharges can result in disastrous effects and therefore have to be absolutely avoided. E. g. areas of operations with solvents or explosive dust.
Discharges in electronics or microelectronics (ESD): Already weak discharges leads to destruction of electronic devices.

Wanted charges and generation

Targeted charging of surfaces

- Generating of different charges
- Temporary connection of different charged surfaces

Examples:

- Face to face contact of foils
- Positioning and adherence of objects

Staubpartikel auf einer aufgeladenen Kunststoffoberfläche
Dust particles on a charged plastic sheet