

Vorkommen und Wirkungen der statischen Elektrizität

Entdeckung

Der Begriff «statische Elektrizität» wird in Betrieben und anderswo immer mehr zum Allgemeingut, sei es wegen der zunehmenden Verwendung von hochisolierendem Material zu den verschiedensten Zwecken, sei es, weil diese Erscheinung nicht mehr wie früher dem Wirken übernatürlicher Kräfte zugeschrieben wird. Die statische Elektrizität war die erste vom Menschen erzeugte, wenn auch noch nicht beherrschte Form von Elektrizität. So beschrieb Thales von Milet (um 600 v. Chr.), wie Bernstein, wenn er gerieben wird, Staubteilchen anzieht. Aus dem griechischen *ἤλεκτρον* (Bernstein) leitet sich denn auch der Name Elektrizität ab. Die auffälligste Auswirkung der statischen Elektrizität, der Blitz, muß den Menschen der Vorzeit wohlbekannt gewesen sein, auch wenn sie darüber nichts Schriftliches hinterlassen haben. Der Zusammenhang zwischen dem von Bernstein angezogenen Staub und dem Blitz blieb bis zu einer viel späteren Zeit verborgen, bis Franklin im Jahre 1752 unter Lebensgefahr nachwies, daß der Blitz eine elektrische Erscheinung sei.

Positive und negative Elektrizität

Die seit Franklin erzielten Fortschritte in der Erkenntnis elektrischer Erscheinungen lassen sich deutlich in zwei Gruppen aufteilen. Über die Frage, weshalb Ladungen durch Aneinanderreiben von Gegenständen entstehen, ist nur Weniges mit Sicherheit festgestellt worden (siehe Seite 9). Das Verhalten dieser Ladungen jedoch wurde von einer Reihe großer Physiker und Mathematiker aufgeklärt, so daß man heute behaupten kann, ziem-

lich viel darüber zu wissen. Bald entdeckte man, daß es zwei Arten von Ladungen gibt, die sich gegenseitig zu neutralisieren vermögen. Sie wurden willkürlich positiv und negativ genannt. Das Auftreten einer Ladung mit dem einen Vorzeichen auf einem gewissen Körper war immer mit dem Auftreten einer ebenso großen Ladung mit dem entgegengesetzten Vorzeichen verbunden. Körper mit gleichnamigen Ladungen stießen sich gegenseitig ab, während sich solche mit ungleichnamigen Ladungen gegenseitig anzogen. Diese Beobachtungen führten zur Annahme, daß jede ungeladene Materie positive und negative Elektrizität in gleichen Mengen enthält und daß das Entstehen von Ladungen die teilweise Trennung der beiden Arten zur Folge hat, so daß an einer Stelle ein Überschuß an positiver Elektrizität, an einer andern ein Überschuß an negativer Elektrizität vorhanden ist. Auch heute noch besteht kein Grund, von dieser Annahme abzugehen, ja man geht noch weiter mit der Feststellung, daß die Materie überhaupt aus gleichviel Partikeln positiver und negativer Elektrizität, verbunden mit etwa gleichviel neutralen Teilchen, besteht. Die negativen Ladungen sind die Elektronen, leichte Partikel, welche die äußeren Teile der Atome bilden. Einige dieser Elektronen sind in Metallen genügend beweglich, um einem Draht entlang zu wandern und um z.B. den elektrischen Strom zu bilden, der unsere Häuser erhellt und unsere Züge in Bewegung setzt. Die positiven Partikel, Protonen genannt, sind schwerer und bilden mit den neutralen Teilchen (Neutronen) den Mittelpunkt oder Kern der Atome, deren Energie unlängst mit solch zerstörender Wucht freigesetzt wurde. Protonen haben viel weniger Gelegenheit, sich zu bewegen, als Elektronen, obwohl in wäßrigen Lösungen von Säuren einzelne Protonen, in diesem Falle Wasserstoffionen genannt – die man als Wasserstoffatome betrachten kann, welche ihr einziges Elektron verloren haben – die beweglichsten von allen Atomteilchen sind. Aber auch hier schleppen sie ein oder zwei Wassermoleküle mit sich und bewegen sich um soviel langsamer.

Leiter und Isolatoren

Bald lernte man unterscheiden zwischen Substanzen, die Ladungen entweder auf

ihrer Oberfläche von einem Punkt zum andern oder durch Kontakt auf einen andern Körper fortleiten (Leiter), und solchen, die keine Bewegung von Ladungen zulassen (Isolatoren). Zuerst nahm man an, es handle sich dabei um zwei getrennte Gattungen von Substanzen, aber heute weiß man, daß zwischen guten Leitern, wie den Metallen, und fast vollkommenen Isolatoren, wie Bernstein oder Polyäthylen, alle Abstufungen vorkommen. Wer aber mit den in der Elektrotechnik gebräuchlichen Leitern und Isolatoren vertraut ist, muß seine Ansichten über die Trennungslinie zwischen den beiden Gruppen ändern, wenn er sich mit statischer Elektrizität befassen will. Obwohl es sich zwar auf beiden Gebieten um dieselbe Elektrizität handelt, sind die bei der statischen Elektrizität in Frage kommenden Ströme so gering (z.B. Tausendstel eines Millionstels-Ampères) und die Potentiale so groß (oft Tausende von Volt), daß Stoffe, die der Starkstromingenieur für ganz gute Isolatoren halten mag, vom Fachmann auf dem Gebiete der statischen Elektrizität als Leiter betrachtet werden können, wie etwa Bakelit mit Celluloseverstärkung, das für Licht- und für Starkstromanlagen viel verwendet wird. Cellulosetextilien und Papiere sind Grenzfälle, d.h. sie können als Isolatoren oder als Leiter statischer Elektrizität gelten, je nach der relativen Feuchtigkeit der Umgebung, da Feuchtigkeit eine entscheidende Wirkung auf die Leitfähigkeit solcher Stoffe hat (siehe S. 4).

Es sei hier schon darauf hingewiesen, daß die getrennten Ladungen, welche die statische Elektrizität bilden, sich fast immer auf Oberflächen befinden; so stets bei metallischen Leitern und bei den allermeisten Isolatoren. Gelegentlich kommen auch Massenladungen vor, so z.B. in isolierenden Flüssigkeiten wie Benzin, das durch Röhren geleitet worden ist, und in dünnen «Flächengebilden» oder Garnen, die Oberflächenladungen aufgenommen haben und dann aufgeschichtet oder aufgerollt worden sind.

Dauer der statischen Ladung

Die Auswirkungen der statischen Elektrizität in der Industrie beruhen in erster Linie auf dem Vorhandensein unterschiedlicher Leitfähigkeit. Wahrscheinlich tritt die Ladungstrennung, welche statische



Der amerikanische Staatsmann, Schriftsteller und Physiker Benjamin Franklin (1706–1790), der als einer der ersten eine klare Vorstellung über das Wesen elektrischer Ladungen, ihrer Leitung und der zwischen ihnen wirkenden Kräfte gewann. Auf Grund seiner Studien über die Elektrizität erfand Franklin den Blitzableiter und den elektrischen Drachen. Er begründete die unitarische Theorie (1747), wonach es nur eine Art der Elektrizität gebe und der Unterschied zwischen positiver und negativer Elektrizität rein quantitativ sei. Zeitgenössischer Stich.

THOMAS Lord SOUTHWELL.	
James	Spilman, Esq;
Thomas	Stack, M. D.
PHILIP Earl STANHOPE.	
Charles	Stanhope, Esq;
Henry Stuart	Stevens, Esq;
Charles	Stuart, M. D.
William	Stukely, M. D.
Sir Fr. Eyles	Styles, Barr.
Robert	Symmer, Esq;
John	Swinton, A. M.
Charles	Taylor, Esq;
Robert	Taylor, M.D. <i>Med. Reg. Extra.</i>
William	Tempest, Esq;
James	Theobald, Esq;
Noah	Thomas, M. D.
Sir Peter	Thompson, Knt.
JOHN Earl of TILNEY.	
Isaac	Townshend, Esq;
JOHN Lord TREVOR.	

Ausschnitt aus der Mitgliederliste der Royal Society aus dem Jahre 1754 mit dem Namen Robert Symmers. Im Jahre 1759 veröffentlichte Symmer in den Philosophical Transactions eine ausführliche Arbeit über seine elektrostatischen Beobachtungen beim Ausziehen der Seidenstrümpfe. Seine Versuche führten ihn zur dualistischen Theorie, die von der Annahme ausgeht, daß die beiden Elektrizitätsarten zwei qualitativ verschiedene Fluida darstellen, die in den Körpern, wenn sie sich im natürlichen Zustand befinden, gebunden seien, durch das Reiben aber getrennt würden. Mit freundlicher Erlaubnis der Royal Society of London. Photo R. B. Fleming & Co. Ltd., London.

Elektrizität erzeugt, dann ein, wenn zwei beliebige Oberflächen in Kontakt kommen und wieder getrennt werden, aber von der Dauer der statischen Ladung nach der Trennung der Oberflächen hängt es ab, ob sich die Ladung störend bemerkbar macht. Sofort nach ihrem Entstehen beginnen die Ladungen in die Umgebung abzufließen. Auf einem schlechten Isolator verweilen Ladungen nur Bruchteile einer Sekunde, während sie von einem guten Isolator erst nach Minuten oder sogar Stunden abfließen können. Wird die Oberfläche eines durch eine Maschine laufenden Materials durch Kontakt mit Führungswalzen aufgeladen, so hängt die in jedem einzelnen Augenblick noch aufgeladene Fläche vom Verhältnis zwischen der Geschwindigkeit, mit der die Ladung abfließt, und der Durchlaufgeschwindigkeit des Materials ab. Zwei gegensätzliche Tendenzen stehen demnach in Konkurrenz miteinander: legt das Material eine ansehnliche Strecke zurück, bevor die statische Elektrizität abfließen kann, so wird eine beträchtliche Fläche aufgeladen, und Störungen treten auf. Überwiegt hingegen das Abfließen der Ladung, so bleiben Störungen aus. Hier zwei Beispiele aus der Textilindustrie. Beim Sektionalschere von Reyon mit einer Geschwindigkeit bis zu 1,5 m/sec. kann sich die gegenseitige Abstoßung der geladenen Garne beim Aufwinden ungünstig auswirken, wenn die statische Ladung auch nur 1/10 Sekunde dauert. Im Gegensatz dazu zieht eine die Nacht über auf dem Webstuhl belassene, also ruhende Kette kaum nennenswerten

Schmutz aus der Luft an, vorausgesetzt, daß die Dauer der statischen Ladung unter 20 Minuten bleibt.

Wirkung von Feuchtigkeit

Der Hauptfaktor, der die Leitfähigkeit und folglich auch die Dauer der statischen Ladung bestimmt, ist gewöhnlich der Feuchtigkeitsgehalt des Materials. Dieser hängt normalerweise von der relativen Feuchtigkeit ab, d.h. vom Verhältnis des in der Luft vorhandenen Wasserdampfes zu dem bei der betreffenden Temperatur überhaupt möglichen Wasserdampfgehalt. Dies trifft besonders auf die in der Textil- und Papierindustrie verwendeten organischen Stoffe zu (Cellulose und ihre Derivate, Wolle, Nylon usw.), deren Leitfähigkeit um das Millionenfache zunehmen kann, wenn die relative Feuchtigkeit von 10 % auf 90 % ansteigt. Bei den gewöhnlich in der Atmosphäre vorkommenden mittleren Feuchtigkeitswerten gilt für die genannten Stoffe die Faustregel, daß bei einem Anstieg der relativen Feuchtigkeit um 10 % die Leitfähigkeit um das Siebenfache zunimmt. Deshalb ist bei niedriger relativer Feuchtigkeit ein Maximum an Störungen zu erwarten, wie z.B. in einer Spinnerei im Winter, wenn in den geheizten Räumen die Luft wärmer ist als draußen.

Natur des Stoffes

Abgesehen von der Feuchtigkeit ist der wichtigste, die Leitfähigkeit und folglich die Dauer der statischen Ladung beeinflussende Faktor die Natur des Stoffes.



Der englische Chemiker und Physiker Henry Cavendish (1731–1810), der nach 1773 als erster auf Grund einer von Joseph Priestley übernommenen Methode das später nach Coulomb benannte Gesetz nachwies, ohne freilich seine Entdeckung zu veröffentlichen. Cavendish führte auch die Vorstellung des elektrostatischen Potentials ein. Zeitgenössischer Stich.

Daß diese erst nach der Feuchtigkeit genannt ist, dürfte manchen Leser überraschen, doch möge er sich daran erinnern, daß sogar Baumwolle Anlaß zu Störungen gibt, wenn sie heißtrocken von einer Appreturmaschine kommt, und daß selbst Nylon in feuchtem Zustand keine merkliche statische Elektrizität aufweist. Die Kurven auf Seite 8 beruhen auf einer rohen Schätzung der wahrscheinlichen Dauer der statischen Ladung (d.h. die Zeit, die zur Verminderung der Ladung auf 1/10 notwendig ist) bei verschiedenen Feuchtigkeiten auf verschiedenen Textilien *ohne* antistatische Ausrüstung. Die Zeit ist in logarithmischer Skala auf der Ordinate ablesbar, die relative Feuchtigkeit in einfacher Skala auf der Abszisse. Diese Kurven geben keine genauen Werte, sondern lediglich einen Begriff der Größenordnungen.

Andere Faktoren

Hoher Druck beim Durchlaufen der Ware zwischen Walzen und Reibung an Leitstäben tragen dazu bei, die statische Ladung ohne Rücksicht auf ihre Dauer zu erhöhen. Die Art der Oberflächen und ihre Struktur sind ebenfalls wichtig, obwohl sich hier nicht viel voraussagen läßt. Gewöhnlich kommt dem Vorzeichen der Ladung keine Bedeutung zu, ja es wechselt manchmal unerwartet.

Mechanische Wirkungen der statischen Elektrizität

Elektrostatische Störungen können mechanischer Natur sein und durch Einwirkung auf den Arbeitsprozeß zu allen

möglichen Zwischenfällen, angefangen bei einer geringfügigen Störung bis zum vollständigen Stillstand der Maschine, führen. Sie lassen sich wie folgt einteilen:

1. Gegenseitige Abstoßung von Teilen des Materials mit gleichnamigen Ladungen. Beim Sektionalscheren biegen sich die Garne nach außen und lassen sich nicht gut aufwinden. Oder vom Spannrahmen kommendes Tuch läßt sich nicht abtafeln, sondern bläht sich auf, um dann zu Boden zu gleiten. Nylonstrümpfe lassen sich nicht flach legen und nur mit Mühe falten, oder Papierbogen bleiben auf dem Stapel zuoberst in Bewegung und schliddern umher wie auf glattem Eis.

2. Anziehung des geladenen Materials durch einen großen Leiter. Beim Kremplein von Stapelfasern heftet sich der Flor an das Gestell oder den Vorreiber und zerreißt, wenn man versucht, ihn in den Trichter zu bringen. Textilien und Papier bleiben an den Walzen haften und nehmen beharrlich einen falschen Weg durch die Maschine. Pulverförmige Stoffe lagern sich in einer dicken Schicht auf allen Teilen des Apparats ab, die ihnen zugänglich sind. Wachspapier oder Einwickelmaterial aus Kunststoff klemmen sich in der Maschine fest.

3. Staub und Flaum werden von dem geladenen Material angezogen und setzen sich nach dem Wegbürsten gleich wieder darauf. Eine geladene Kette zieht winzige Schmutzteilchen an, wie sie in der Luft von Industriestädten vorhanden sind. Beim Weben werden sie eingerieben und haften dann so fest, daß man sie durch

übliches Waschen nicht mehr entfernen kann. Diese in England als Nebelflecken («fog marking») bezeichnete Erscheinung geht darauf zurück, daß die Schmutzteilchen größtenteils selbst geladen sind. Aufschläge an Hemdärmeln und andere Teile von Kleidungsstücken aus synthetischen Fasern, die stetiger Reibung ausgesetzt sind, nehmen aus dem gleichen Grund rasch Schmutz auf.

Entladungen

Die statische Elektrizität kann sich nicht nur mechanisch, sondern auch durch Entladungen in die Luft auswirken, wenn das



einen benachbarten Leiter überspringen. Solche Entladungen können folgende Wirkungen haben:

1. In Gegenwart von genügend konzentrierten brennbaren Gasen oder Dämpfen kann Feuer oder eine Explosion entstehen. Hierin liegt vermutlich die Ursache so mancher Unglücksfälle. So kann Benzin, das durch eine Röhre von einem Tank in den andern fließt, eine Massenladung erhalten, so daß schon das Eintauchen eines Meßstabes einen Funken hervorrufen kann. Gewisse feste explosible Stoffe können schon zur Explosion gebracht werden durch kleine Funken, die beim Herab-

Der französische Physiker Charles Augustin de Coulomb (1736–1806), der die grundlegenden Gesetze der Elektro- und Magnetostatik entdeckte und als erster den experimentellen Beweis des nach ihm benannten Gesetzes veröffentlichte. Danach ist die Anziehung bzw. Abstoßung zweier ungleichnamiger bzw. gleichnamiger Ladungen dem Produkt der beiden Elektrizitätsmengen direkt, dem Quadrat ihrer Entfernungen umgekehrt verhältnismäßig. Porträt von Emile Lecomte im Museum von Versailles. Mit freundlicher Erlaubnis der Société des Amis de Versailles.

Nächste Seite, links: Der englische Chemiker und Physiker Michael Faraday (1791–1867), dessen Untersuchungen und Entdeckungen in der Elektrizitätslehre grundlegend wurden. Faraday trug u.a. viel dazu bei, die Vorstellungen über die elektrostatische Induktion zu klären. Zeitgenössische Photographie im Science Museum, London. British Crown Copyright.

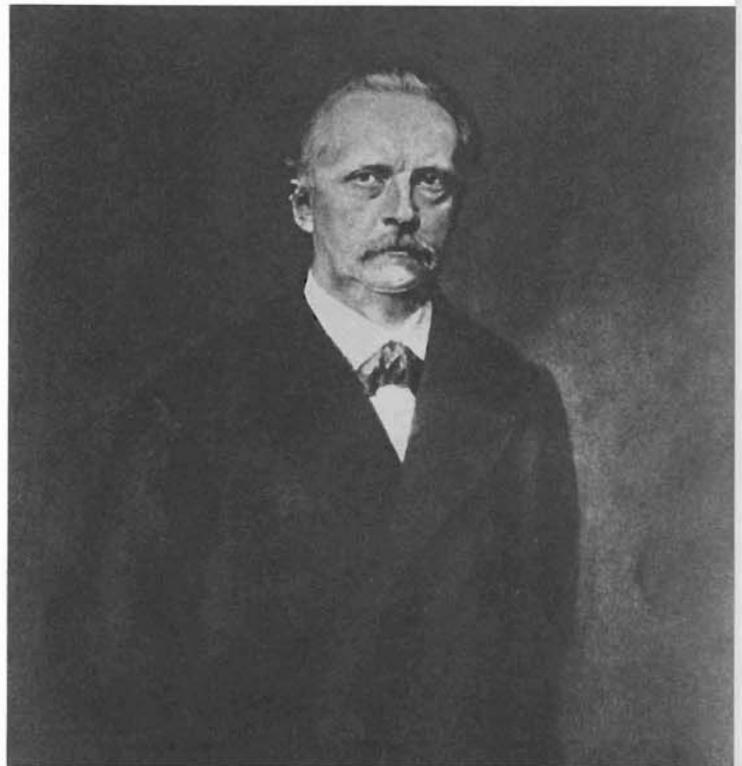
Nächste Seite, rechts: Hermann von Helmholtz (1821 bis 1894). Dieser deutsche Physiker und Physiolog stellte auf Grund seiner Untersuchungen über elektrische Erscheinungen eine umfassende Elektrizitätstheorie auf. Auf ihn geht auch die Lehre vom Kontaktpotential bei der Aufladung von Isolatoren mit Berührungselektrizität zurück. Mit freundlicher Erlaubnis der Optical Society of America.

durch Elektrizität erzeugte statische Feld einen kritischen Wert erreicht. Diese Wirkungen umfassen wiederum die ganze Stufenleiter vom geringfügigen Zwischenfall bis zur Katastrophe. Bei genügend hoher Feldstärke können kleine, manchmal auch längere Funken vom Isolator selbst angezogen werden, die gewöhnlich schwach sind, da sie ihre Ladung nur von einem kleinen Teil der Oberfläche beziehen können. Viel stärkere Funken sind aber zu erwarten, wenn ein großer, von der Erde isolierter Leiter durch Berührung oder Induktion aufgeladen wird, denn dann kann die Ladung auf dem gesamten Leiter als Funken auf die Erde oder auf

gleiten des Materials über einen metallenen Trichter entstehen. Es wurde vermutet, daß Staubexplosionen in Mahlmaschinen von Müllereien und Zuckerfabriken auf statische Ladungen zurückzuführen sind, doch ist es völlig ungewiß, ob die viel stärkeren Funken, die es zur Entzündung solcher Stäube braucht, auf diese Weise entstehen können. Trockenreinigungsanstalten waren häufig das Opfer von Feuersbrünsten infolge von Entladungen statischer Elektrizität, bevor die Verwendung von Lösungsmitteln mit hohem Flammpunkt sich allgemein eingebürgert hatte. Auf der Kautschuk-Streichmaschine sind kleine Feuerausbrüche immer noch

eine so alltägliche Erscheinung, daß die Arbeiter sie lediglich als lästig empfinden und stets darauf gefaßt sind, sie im Keim zu ersticken.

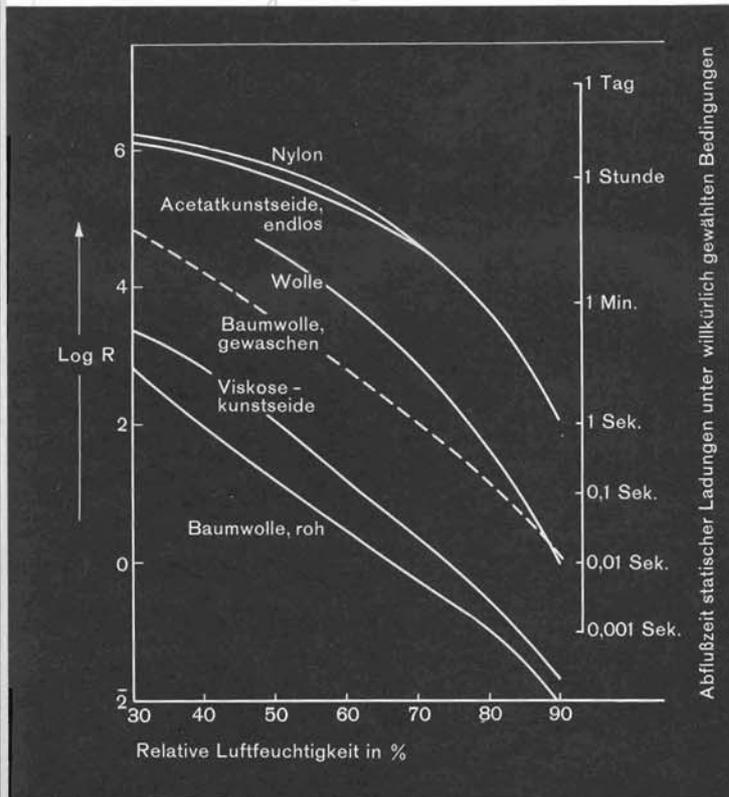
2. Springen Funken, die freilich so klein sein können, daß man sie nicht sieht, auf eine Person über, so kann diese Schläge empfinden. Diese sind aber selten gefährlich, und es ist vielleicht einer der wenigen Fälle, wo die statische Elektrizität den Zuschauern großen Spaß bereiten kann. Gelegentlich kommt es zu heftigen Schlägen, wenn ein großer isolierter Leiter, etwa das Gestell einer nicht geerdeten, mit einem Transmissionsriemen angetriebenen



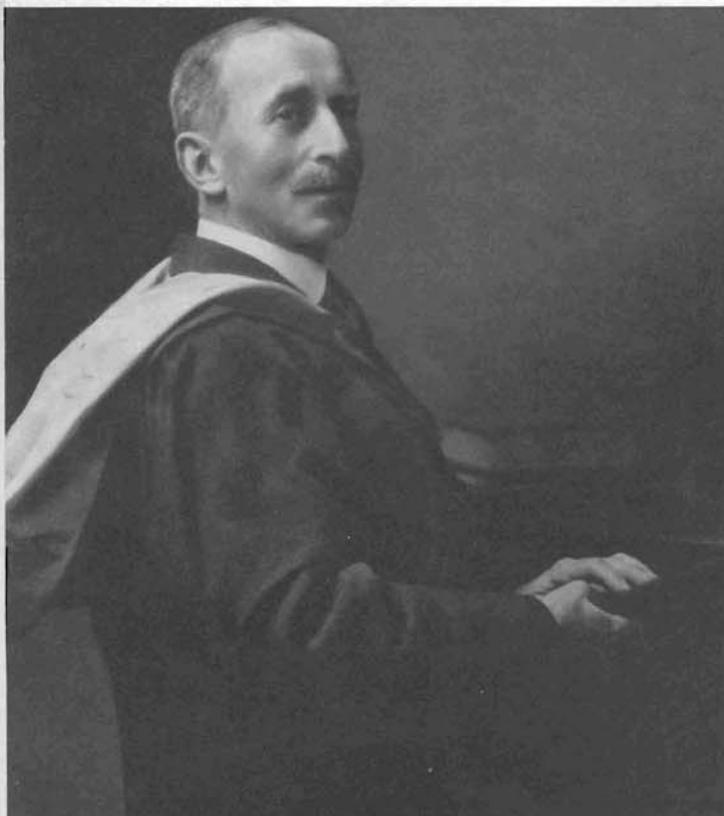
Maschine, berührt wird. Häufiger aber wird der Mensch selbst, wenn er auf Gummisohlen geht oder auf einem neugelegten Asphaltboden steht, zum isolierten Leiter. Die Schläge, die er beim Berühren einer Maschine fühlt, erklären sich dann dadurch, daß sein Körper sich dabei durch Erdung entlädt oder daß er beim Berühren der Maschine durch Induktion von einem nahen statischen Kraftfeld aufgeladen wird.

3. Wenn auf der Oberfläche photographischer Filme beim Gleiten über Rollen und Führungswalzen in trockenem Zustand kleine Entladungen erfolgen, treten später beim Entwickeln merk-

Fig 3



Abflußzeit statischer Ladungen unter willkürlich gewählten Bedingungen



würdige Flecken auf, die das Bild geradezu unbrauchbar machen können. Diese Erscheinung zeigte sich früher besonders bei Luftaufnahmen, da die Atmosphäre in höheren Luftschichten trocken ist und unter vermindertem atmosphärischem Druck leichter Entladungen eintreten.

Nutzbarmachung von statischer Elektrizität

Nach den bisherigen Ausführungen könnte es scheinen, daß statische Elektrizität nur nachteilige Wirkungen hat. Es sei aber daran erinnert, daß statische Ladungen auf Isolatoren in der Luft neulich auf verschiedenen Gebieten Verwendung gefunden haben. Die Ladungen werden hier freilich nicht durch Kontakt oder Reibung erzeugt, sondern, was zuverlässiger ist, einer Hochspannungsquelle entnommen. Es seien hier nur der Auftrag von Farbe mit der Spritzpistole, wobei die auf dem Gegenstand erzeugten Ladungen zuerst die Farbpartikelchen anziehen und nachher die überschüssige Farbe abstoßen, die Beflockung von Geweben und Papier sowie die Herstellung von dauerhaften photographischen Bildern mittels Pigmentpulvern (Xerographie) erwähnt.

P. S. H. Henry, British Cotton Industry Research Association, Manchester

Wirkung der Luftfeuchtigkeit auf den elektrischen Widerstand (R in Ohm/cm) verschiedener Textilien. Die Zeit, die eine Ladung benötigt, um abzufließen, ist proportional dem Widerstand, hängt aber noch von andern Bedingungen ab. Dennoch vermittelt die Skala rechts ein ungefähres Bild von der praktischen Dauer elektrostatischer Ladungen. Nach Angaben von J. B. O'Sullivan.

P. E. Shaw, Professor für Physik an der Universität Nottingham, einer der gründlichsten Erforscher der Reibungselektrizität. Shaw konnte die Bedeutung des physikalischen und chemischen Zustandes der Oberflächen nachweisen. Photosammlung P. S. H. Henry.