

# **Universitäts- und Landesbibliothek Tirol**

## **Die Luftelektrizität**

**Gockel, Albert**

**Leipzig, 1908**

Zweites Kapitel. Das elektrische Feld der Erde

## Zweites Kapitel.

## Das elektrische Feld der Erde.

**1. Allgemeines.** Indem D'Alibard, Franklin, Le Monnier u. a. eine isolierte Spitze mit den Blättchen eines Elektroskopes verbanden, dessen Gehäuse in leitender Verbindung mit der Erde stand, zeigten sie zunächst, daß eine Potentialdifferenz zwischen der Atmosphäre und der Erde besteht. Wird der Versuch bei heiterem Himmel ausgeführt, so werden in der Regel bei der An-

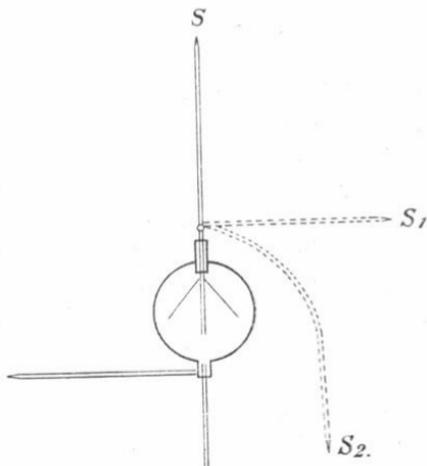


Fig. 11.

näherung einer geriebenen Siegellackstange oder eines Ebonitstäbchens, die Blättchen des Elektroskopes zusammenfallen, dagegen sich weiter ausspreizen bei Annäherung einer geriebenen Glasstange. Daraus folgt, daß im allgemeinen die Atmosphäre positiv ist gegenüber der Erde. Der Umstand, daß man ausging von der Untersuchung der Ladung der Gewitterwolken, hat es wohl mit sich gebracht, daß man alle einschlägigen Untersuchungen in der Lehre von der Luftelektrizität zusammen-

menfaßte, obwohl, wie Chwolson bemerkt, es nach der Analogie des Wortes Erdmagnetismus richtiger wäre, von der Erdelektrizität zu sprechen. Die Wahl dieser Bezeichnungsweise hätte in früherer Zeit um so näher gelegen, als man ja mit Erman und Peltier bei der Erklärung der Erscheinung von der einmal gegebenen negativen Ladung des Erdkörpers ausging.

Der oben erwähnte Versuch mit Elektroskop und Spitze kann in folgender Weise abgeändert werden. Das Elektroskop (Fig. 11) wird bei heiterem Himmel auf einer ebenen Fläche etwa auf einer Wiese, möglichst weit von Bäumen und Gebäuden entfernt isoliert aufgestellt und sein Gehäuse ebenfalls mit einer Spitze verbunden. Befindet sich die mit den Blättchen verbundene Spitze oberhalb

des Elektroskopes am Orte  $S$ , so werden die Blättchen in der Regel positive Elektrizität anzeigen, negative, wenn die Spitze unterhalb des Elektroskopes sich in  $S_2$  befindet, dagegen findet gar keine Aufladung statt, wenn die Spitze in  $S_1$ , also derselben Horizontalen mit dem Elektroskop liegt. Wie bekannt, ladet sich die Spitze auf das Potential desjenigen Punktes im Raume auf, in dem sie sich befindet. Der Versuch beweist also, daß auch innerhalb der Atmosphäre das Potential veränderlich ist, und zwar im allgemeinen von unten nach oben zunimmt. Wiederholen wir den Versuch an verschiedenen benachbarten Punkten, so zeigt sich, daß in weitem Umkreis in derselben Horizontalebene, wenigstens solange keine Niederschläge fallen, die Potentialdifferenz zwischen Luft und Erde dieselbe bleibt.

Bezeichnen wir mit  $dV$  die Potentialdifferenz zweier in derselben Vertikalen gelegener Punkte, mit  $dh$  ihre Höhendifferenz, so gibt uns  $F = -\frac{dV}{dh}$  die Intensität der in der Richtung der Vertikalen wirkenden Kraft, d. h. wenn wir die in anderer Richtung wirkenden Kräfte vernachlässigen können, die Stärke des elektrischen Feldes in dem betreffenden Orte an.

Das Poissonsche Gesetz ergibt dann weiter  $F = -\frac{dV}{dh} = 4\pi\sigma$  u.  $\frac{d^2V}{dh^2} = -4\pi\rho$ , wo  $\sigma$  die Ladungsdichte der Flächeneinheit u.  $\rho$  die Ladungsdichte der Raumeinheit bezeichnet. Als absolutes Potentialgefälle bezeichnet man nach F. Exner die in Volt ausgedrückte Potentialdifferenz zweier über einer ausgedehnten ebenen Fläche gelegener Punkte dividiert durch ihren vertikalen Abstand, ausgedrückt in Metern. Da ein Volt  $= \frac{1}{300}$  E. S. E., so sind zur Verwandlung in absolutes Maß (sec. g, cm) die in Volt/Meter ausgedrückten Zahlen durch  $300 \times 100 = 30000$  zu teilen. Beispielsweise erhalten wir für ein Potentialgefälle von 100 Volt/Meter, wie es in unseren Gegenden im Mittel beobachtet wird,  $\sigma = -\frac{100}{4\pi \times 30000} = -0,000265$  E. S. E.

Die Ladung der Erde  $E$  ist  $4\pi r^2\sigma$ , wo  $r$  den Erdradius bezeichnet. Setzt man in diesen Ausdruck die obigen Zahlen und für  $r$   $6370 \times 10^5$  cm ein, so ergibt sich  $E$  zu  $-1,35 \times 10^{15}$  E. S. E. oder da 1 Coulomb  $= 3 \times 10^9$  E. S. E., zu  $= -0,45 \times 10^6$ , also rund

$\frac{1}{2}$  Million Coulomb. Das absolute Potential der Erde  $\frac{E}{r}$  ist gleich  $-2,12 \times 10^6$  elektrostatische Einheiten  $= -6,36 \times 10^8$  Volt.

**2. Verlauf der Niveauflächen.** Die Gestalt des elektrischen Erdfeldes hat Exner eingehend untersucht. Über einer ausgedehnten Ebene verlaufen nach ihm die Niveauflächen, d. h. die Flächen gleichen Potentials parallel und in gleicher Entfernung voneinander, d. h.  $dV/dh$  ist wenigstens bei klarem Wetter und für nicht allzu große Höhendifferenzen — Exner hat mit Hilfe kleiner Fesselballons die Messungen bis zur Höhe von 150 m ausgedehnt — konstant. Die Niveauflächen schmiegen sich an Umrissen von

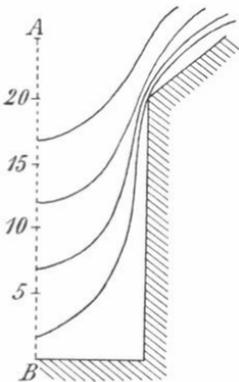


Fig. 12.

Gegenständen, die in die Atmosphäre hineinragen, wie Häuser, Bäume und dergl. im allgemeinen an, drängen sich aber besonders über spitzen Objekten näher zusammen. Diesem Umstande muß man Rechnung tragen, wenn man das Potentialgefälle in der Nähe eines Hauses mißt. Durch Simultanbeobachtungen, die über freiem Felde angestellt werden, kann ein so gemessenes Gefälle auf absolutes Maß reduziert werden. Der Reduktionsfaktor ist aber, wie die Erfahrung lehrt, starken zeitlichen Schwankungen unterworfen. Die Ursache davon wird S. 109 besprochen werden. Für die Auswertung fortlaufender, in der Nähe von Gebäuden oder auf mit Bäumen und Sträuchern bepflanzttem Terrain vorgenommenen Beobachtungen, z. B. der Registrierbeobachtungen der Observatorien ist es nötig, den Reduktionskoeffizienten sehr häufig und zwar bei möglichst verschiedener Wetterlage zu bestimmen. Fig. 12 gibt den Verlauf der Niveauflächen wieder, wie Exner<sup>1)</sup> ihn in einem rechteckigen, zur Mittelebene,  $AB$  symmetrischen, 15 m breiten, 40 m langen und 25 m hohen Hof inmitten von Wien ermittelte. Eine interessante Beobachtung machte Exner an einer Felswand, die ungefähr 200 m hoch und breit, ganz senkrecht in den Spiegel des St. Wolfgangsees (Salzburg) abfällt. Das Potentialgefälle nahm dort

1) F. Exner, Wien. Ber. **113**, 1886, und Repertorium der Physik **22**, 412 u. 451, 1886.

mit der Höhe ab, da die Niveauflächen sich der Vertikalen näherten.

Theoretisch hat Benndorf<sup>1)</sup> die Abhängigkeit des Verlaufes der Niveauflächen von der Gestaltung des Terrains untersucht, speziell ist er der praktisch wichtigen Frage näher getreten, welche geometrische Gestaltung (z. B. Verhältnis von Höhe zum Durchmesser), muß eine Hochebene haben, um annehmen zu können, daß das Potentialgefälle in der Mitte derselben sich um nicht mehr als einen bestimmten Prozentsatz von dem in der Ebene unterscheidet. Er kommt zu folgenden Resultaten: „Eine Bodenerhebung (Senkung), die im Verhältnisse zu ihrer Höhe (Tiefe) sich nach zwei Richtungen hin (Hochplateau, unendlich weites Tal) sehr weit erstreckt, stört das normale Potentialgefälle in der Ebene um 1 Proz., respektive 5 Proz. für Punkte, die um das 30 fache, respektive 7 fache der Höhe von dem Fuße der Bodenerhebung entfernt sind. Geringer wird die Störung, wenn sich der Hügel (Tal) nur nach einer Seite hin sehr weit ausdehnt; sie beträgt 1 Proz., respektive 5 Proz. in einer Entfernung gleich dem 17 —, respektive 5 fachen der Höhe, wenn sich die Höhe zur Breite zur Länge ungefähr wie 1:20:∞ verhält. Noch geringer ist die Störung, wenn alle drei Dimensionen von gleicher Größenordnung sind. Verhält sich Höhe: Breite: Länge wie 1:10:10 (kreisförmiges Plateau, Talkessel), so ist schon in einer Entfernung gleich dem 25 fachen der Höhe die Störung nur noch 0,1 Proz.“

In umgekehrter Reihenfolge ändert sich der Einfluß auf die Bodenerhebungen (in den Tälern). Ein kreisförmiges Plateau (Talkessel) muß 200 mal, resp. 40 mal breiter als hoch (tief) sein, damit die Abweichung des wirklich in der Mitte der Erhebung (des Tales) vorhandenen Potentialgefälles, von dem in der allseitig ausgedehnten Ebene nicht mehr als 1 Proz., resp. 5 Proz. beträgt, während auf dem einseitig unendlich ausgedehnten Plateau dazu schon eine Entfernung vom Fuße genügt, die das 33-, resp. 6 fache der Höhe beträgt.“

Den Einfluß einzelner Unebenheiten, wie Häuser, Bäume, Stangen auf das elektrische Erdfeld, hat Benndorf<sup>2)</sup> ebenfalls

1) H. Benndorf, Über die Störungen des normalen atmosphärischen Potentialgefälles durch Bodenerhebungen. Wien. Ber. 109, 2a, 923, 1900.

2) H. Benndorf, Über gewisse Störungen des Erdfeldes mit Rücksicht auf die Praxis luftelektrischer Messungen. Wien. Ber. 115, 2a, 425, 1906.

untersucht. Aus seiner Arbeit, die auch Tabellen zur leichten Berechnung des Störungskoeffizienten (Betrag der Störung dividiert durch die Stärke des Erdfeldes) enthält, führe ich hier nur einige praktisch wichtige Resultate an. Die Störung im Umkreis eines stangenartigen Gebildes (Träger des Elektroskopes, Beobachter) beträgt 5 Proz. in einer Entfernung gleich der einfachen, 1 Proz. in einer solchen gleich der doppelten Höhe des störenden Körpers. Eine Stange von 1 m Höhe, wie sie oft als Kollektorträger verwendet wird, bringt 20 cm über dem Stangenende eine Erniedrigung der Niveauflächen von 13 cm, 40 cm über dem Stangenende eine solche von 6 cm hervor. Ein Kollektor bringt eine Erniedrigung der Niveaufläche des Erdfeldes hervor, deren Betrag von der Größenordnung der Dimensionen des Kollektors selbst ist.

Wenn, wie Exner angenommen hat, die Niveauflächen des Potentials parallel und in gleichen Abständen voneinander verlaufen,  $dV/dh$  also für Höhenunterschiede, die einige hundert Meter nicht überschreiten, konstant ist, so muß  $d^2V/dh^2$  und damit nach den oben angeführten Gleichungen  $\rho$ , die räumliche Ladungsdichte = Null sein. Diese Folgerung widerspricht aber den neueren Messungen, nach denen sich im allgemeinen auch in der Nähe des Erdbodens ein Überschuß von positiven Ladungen findet. Daunderer<sup>1)</sup> hat daher auf Veranlassung Eberts die obigen Beziehungen näher untersucht und gefunden, daß in der Regel  $dV/dh$  nicht konstant und  $\rho$  bald positiv, bald negativ, aber fast stets von Null verschieden ist. Bevor ich auf diese und andere Untersuchungen, die sich mit dem elektrischen Felde der Erde beschäftigen, näher eingehe, möchte ich die Methode der Messungen des Potentialgefälles besprechen. Bemerkt sei hier nur, daß sich die Unterschiede in den Resultaten Daunderers und Exners wohl durch den Umstand erklären, daß Exner sich als Kollektoren der unzuverlässigen Luntten bediente und nur bei solchen Wetterlagen arbeitete, bei denen auch nach Daunderers Untersuchungen  $\rho$  fast Null ist.

**3. Kollektoren.** Schon 1788 kam Volta auf die Idee, die seit Franklins Versuche zur Ableitung der Luftelektrizität nach den Meßinstrumenten verwendeten Spitzen durch brennende oder glimmende Körper wie Kerzen oder Schwefelfäden zu ersetzen. Er zeigte auch bereits, daß die Flamme nicht selbst, wie von vornherein zu befürchten war, meßbare Elektrizitätsmengen erzeugt. Die Un-

1) A. Daunderer, Phys. Zt. 8, 281, 1907.

bequemlichkeiten, die mit dem Gebrauch von Flammenkollektoren verbunden sind, zumal die Unmöglichkeit, sie bei stärkerem Wind und während des Fallens von Niederschlägen brennen zu lassen, wozu in der damaligen Zeit auch noch die Umständlichkeit des Anzündens kam, veranlaßte W. Thomson 1859<sup>1)</sup> die Flammen oder Luntten durch den Wassertropfkollektor zu ersetzen. Derselbe besteht aus einem isoliert aufgestellten Flüssigkeitsbehälter, dessen Inhalt aus einer feinen Spitze abtropfen kann; die Flüssigkeit wird mit dem Elektrometer leitend verbunden. Soweit nicht niedere Temperaturen zur Anwendung anderer Flüssigkeiten wie Alkohol oder Salzlösung nötigen, wird man das Gefäß stets mit Wasser füllen. Die Wirksamkeit beider Arten von Kollektoren läßt sich leicht demonstrieren. Für einen einfachen Schulversuch kann man nach einem Vorschlag Dvoráks eine Siegelackstange mit einer Nadel versehen, auf welche eine Kerze aufgespießt wird. Die Nadel wird mit dem Knopf des Elektroskopes verbunden, das bei genügender Erhebung der Flamme im Freien bei klarem Wetter stets einen Ausschlag geben wird. Die Wirkung eines Wasserstrahlkollektors läßt sich auch im Zimmer zeigen, wenn man die Luft in demselben elektrisiert hat. Dies kann in einfacher Weise dadurch geschehen, daß man eine Weingeistflamme, die isoliert möglichst weit von einer Influenzmaschine aufgestellt wird, mit dem einen Pole derselben verbindet, während man den andern Pol zur Erde ableitet. Nachdem die Maschine eine Minute lang gearbeitet hat, enthält die Luft hinreichend Ionen. Läßt man dann aus einem isoliert aufgestellten Wassergefäß, etwa mit Hilfe eines in eine Spitze ausgezogenen Hebers Wasser abtropfen, so gibt ein mit der Flüssigkeit verbundenes Elektroskop einen Ausschlag. Flammen- und Wassertropfkollektoren sind auch heute noch fast ausschließlich in Gebrauch. Die Unbequemlichkeiten, die auch mit der Verwendung des letzteren verbunden sind, die Notwendigkeit des häufigen Nachfüllens und der Erhaltung der Temperatur an den Austropfstellen über dem Gefrierpunkt der Flüssigkeit, veranlaßte F. Exner Radioelektroden als Kollektoren vorzuschlagen. Es sind dies Scheiben, die mit einer radioaktiven Substanz bestrichen sind; diese erhält durch die von ihr ausgehende Strahlung die Luft in der Umgebung der Elektrode leitend und bewirkt so einen raschen Elektrizitätsausgleich mit der Umgebung. Besser als solche alle

1) W. Thomson, Phil. Mag. (4), 17, 312 u. 18, 542, 1859.

Gegenstände in der Nachbarschaft aktivierenden Scheiben sind in Glasröhren eingeschmolzene Radiumsalze, die von der Firma R. Stahmer in Hamburg in den Handel gebrachten Poloniumstäbchen oder elektrolytisch mit Polonium bedeckte Platinelektroden. Der Nachteil aller Radioelektroden liegt darin, daß sie in weiterem Umkreis, als für den Ausgleich der Elektrizität zwischen Kollektor und Atmosphäre nötig ist, die Luft ionisieren, dadurch das zu messende Potentialgefälle ändern und Leitfähigkeitsmessungen in der Nähe des Beobachtungsortes unmöglich machen. Instrumente, die nur mit einer Spur radioaktiver Substanz in Berührung gekommen sind, können für elektrische Messungen dauernd unbrauchbar werden, da sie die Luft in ihrer Umgebung ionisieren. Ebert<sup>1)</sup> ist daher speziell für die Anwendung im Ballon, auf einen Vorschlag zurückgekommen, den schon 1889 Elster und Geitel<sup>2)</sup> machten. Die beiden Forscher zeigten nämlich, daß frisch abgeschmirgelte und amalgamierte Zinkflächen unter dem Einfluß des Sonnenlichtes eine negative Ladung rasch verlieren, und, auch wenn sie vorher ungeladen waren, eine positive Ladung annehmen. Die Genannten schlugen daher vor, auf den Knopf des Exnerschen Elektroskopes einen 20 cm langen Draht aus blank geschmirgeltem Aluminium, Magnesium oder Zink zu schrauben und einen andern ebensolchen an dem auf einem isolierenden Stativ aufgestellten Gehäuse des Elektroskopes so zu befestigen, daß sich der letztere Draht eine gemessene Anzahl Zentimeter (etwa 10) unter dem ersten befindet. Es werden dann die Blättchen des Elektroskopes auf das Potential der Niveaufläche, in welcher der obere Draht, das Gehäuse auf dasjenige der Fläche, in welcher der untere Draht liegt, geladen. Da Aluminium- und auch Magnesiumdraht zu rasch ermüdet, schlägt Ebert vor, als Kollektoren Scheiben aus frisch abgeschmirgeltem und gut amalgamiertem Zink von etwa 14 cm Durchmesser zu verwenden. Dieselben ermöglichen in reiner Höhenluft auch bei Abwesenheit von direktem Sonnenlicht einen Elektrizitätsausgleich innerhalb weniger Sekunden. In Niederungen sind sie dagegen nur im direkten Sonnenschein, bei trübem Wetter und bei herannahender oder eingebrochener Dunkelheit natürlich auch in der Höhe nicht zu verwenden.

1) H. Ebert, Über elektrische Messungen im Luftballon. Gerlands Beiträge zur Geophysik, 6, 66, 1903.

2) Elster und Geitel, Über einige Ziele usw. S. 26. Wied. Ann. 38, 40 u. 497, 1889.

Eine Theorie der Kollektoren hat zuerst Thomson<sup>1)</sup> gegeben, seinem Gedankengang folgt im wesentlichen Mascart<sup>2)</sup>. In eingehender und dabei elementarer Weise behandelt denselben Gegenstand Dvorák<sup>3)</sup>. Eine von Dellmann, Palmieri u. a. angewandte Methode der Bestimmung des Potentialgefälles besteht darin, eine leitende Kugel vermittels einer isolierenden Handhabe in die Luft zu erheben, sie dort für einen Augenblick zur Erde abzuleiten und dann ihren elektrischen Zustand am Elektroskop zu prüfen. Wenn die Kugel vermittels eines dünnen Drahtes von sehr geringer Kapazität mit dem Erdboden in leitende Verbindung gebracht wird, so muß, damit ihr Potential Null wird, ihre Oberfläche sich mit einer Elektrizitätsmenge bedecken, welche imstande ist, auf der Kugel ein Potential hervorzurufen, gleich und entgegengesetzt dem, welches das elektrische Erdfeld auf ihr erzeugt. Bezeichnet  $V$  das Potential des Erdfeldes an der Stelle des Mittelpunktes der Kugel,  $R$  den Radius derselben, und  $M$  die Elektrizitätsmenge, mit der sich bei dem angegebenen Versuch die Oberfläche bedeckt, so muß  $V - \frac{M}{R} = 0$  oder  $M = VR$  sein. Bringt man also die Kugel nach Unterbrechung der Verbindung mit der Erde in Verbindung mit einem Elektroskop, so erhält man auf demselben eine Elektrizitätsmenge, welche proportional ist dem Potential  $V$  der Stelle des Erdfeldes, an welcher sich der Kugelmittelpunkt während der Ableitung zur Erde befand.

In ganz ähnlicher Weise vollzieht sich der Elektrizitätsaustausch, wenn wir die Kugel statt sie zur Erde abzuleiten, mit einer feinen und im Verhältnis zu ihrem Durchmesser langen Spitze versehen. Im Feld soll wieder ein konstantes Gefälle herrschen, d. h. die Niveauflächen sollen parallel und in gleichem Abstand voneinander verlaufen. Die Spitze soll auf den Niveauflächen senkrecht stehen. Wenn dann, wie es in dem elektrischen Erdfeld in der Regel der Fall ist, die Potentialwerte von oben nach unten abnehmen, so wird infolge der zwischen der Spitze und ihrer Umgebung bestehenden Potentialdifferenz negative Elektrizität aus der Spitze ausströmen, der mit ihr verbundene Konduktor also ein positives Potential annehmen. Der Vorgang dauert so lange an, bis das Potential

1) Reprint of pap. § 266.

2) E. Mascart, Handbuch der statischen Elektrizität, übersetzt von Wallentin. 2. Band, S. 667.

3) V. Dvorák, Zeitschr. f. phys. u. chem. Unter. 7, 166, 1894.

des Konduktors gleich dem des Feldes an der Stelle der Spitze geworden ist. Noch besser als Spitzen müssen Flammen wirken, da hier die in unserm Fall negative Elektrizität rasch in Form von Ionen entweichen kann. Zu bemerken ist dabei, und das gilt auch für alle andern Kollektoren, daß der in das Feld gebrachte Konduktor stets eine Deformation desselben hervorbringt, da ja die Niveauflächen ihn nicht durchsetzen, sondern um ihn herumbiegen müssen. Der Elektrizitätsaustausch zwischen Spitze und der Umgebung wird um so langsamer erfolgen, je geringer die Potentialdifferenz zwischen beiden ist, d. h. die Potentialdifferenz kann sich durch die entladene Wirkung der Spitze oder Flamme nur asymptotisch der Null nähern. Dasselbe Resultat hat Linke<sup>1)</sup> für den Wassertropfkollektor abgeleitet. Auf dem wieder kugelförmig gedachten Kollektor herrsche das Potential  $A$ , er wird in dem homogenen elektrischen Feld an eine Stelle gebracht, deren Potential  $B$  ist; dann muß auf ihm eine Ladung entstehen  $= C(A-B)$ , wo  $C$  die Kapazität des ganzen Kollektors bedeutet. Wenn sich von diesem letzteren kleine Teile, jedoch von endlicher Kapazität ablösen, ohne daß sich die Gesamtkapazität ändert (eine Bedingung, die beim Wassertropfkollektor stets erfüllt ist, da ja die Kapazität des Gefäßes nur von der Oberfläche und nicht vom Inhalt abhängt), so muß sich auch das Potential des Kollektors ändern, da die kleinen Teile stets einen Teil seiner Ladung mitnehmen. Dadurch daß diese Ladung allmählich abnimmt, wird  $A-B=0$ , also  $A=B$ . Ist dieser Zustand eingetreten, so können die kleinen Teilchen keine Ladung mehr mitnehmen, das Potential des Kollektors bleibt von da an, solange keine Änderung in der Umgebung eintritt, ungeändert. Wenn die kleinen sich loslösenden Teilchen stets dieselbe Kapazität haben, so ist die von jedem von ihnen mitgenommene Ladung  $e$  proportional der jeweiligen Ladung  $E$  des Kollektors. Es ist also  $\frac{e}{E} = \frac{e}{C}$  oder  $e = \frac{e}{C} E$ . Diese Elektrizitätsmenge wird also von der ursprünglich vorhandenen hinweggenommen, von der übrig bleibenden Ladung  $E'$ , fließt durch das nächste Teilchen wiederum

1) F. Linke, Über Messungen elektrischer Potentialdifferenz vermittels Kollektoren im Ballon und auf der Erde. Inaugural-Dissertation. Potsdam 1901. Die meisten Lehrbücher der Physik, auch größere, gehen über die Theorie des Wassertropfkollektors merkwürdigerweise mit Stillschweigen hinweg. Eine anschauliche Schilderung seiner Wirkungsweise gibt nur Riecke, 2. Auflage, II. Band, § 422.

der Bruchteil  $\frac{c}{C} E'$  ab usw., bis  $E - \frac{c}{C} E - \frac{c}{C} E' - \frac{c}{C} E'' - \dots = 0$  geworden. Setzt man für  $E', E'', E'''$ .  $E - \frac{c}{C} E$  u. s. w., so erhält man für  $A-B$  eine unendliche gegen Null konvergierende Reihe.

Einfacher führt zu demselben Resultat folgende später auch von Linke angewandte Rechnung. Es ist:  $dV/dt = -\frac{c}{C} V$ , wo  $V = A - B$ . Die Integration dieser Gleichung gibt:

$$V_t = V_0 e^{-\frac{c}{C}(t-t_0)}$$

wo  $V_0$  die zur Zeit 0,  $V_t$  die zur Zeit  $t$  zwischen dem Kollektor und seiner Umgebung bestehende Potentialdifferenz bezeichnet. Da nur für  $t = \infty$ ,  $V_t = 0$  werden kann, so folgt, daß der Prozeß der Elektrizitätssammlung durch Kollektoren theoretisch genommen ein unendlicher ist. Nun ist das elektrische Feld der Erde raschen Schwankungen unterworfen, und wir verlangen von dem Elektrometer, daß seine Angaben diesen Schwankungen folgen. Außerdem ist weder die Isolation des Kollektors noch die der mit ihm verbundenen Elektrometerteile eine vollkommene. Wird die infolge dieser mangelhaften Isolation abfließende Elektrizitätsmenge nicht rasch ersetzt, so kann sich das System überhaupt nicht auf das Potential der Umgebung laden. Die Brauchbarkeit eines Kollektors hängt also von der Geschwindigkeit ab, mit der er sich aufladet, d. h. von der Zeit, die notwendig ist, damit die Potentialdifferenz zwischen Kollektor und Umgebung  $A-B$  auf einen Wert herabsinkt, der klein genug ist, um bei der Messung vernachlässigt zu werden. Die Zeit, die nötig ist, damit  $V$  auf einen bestimmten Bruchteil seines anfänglichen Wertes herabsinkt, läßt sich aus der obigen Formel leicht berechnen. Als praktische Ladungszeit  $T$  bezeichnet Linke die Zeit, die nötig ist um die Potentialdifferenz zwischen Kollektor und Umgebung auf 1 Proz. ihres Anfangswertes herabzusetzen. Die Formel liefert  $T = \frac{2C}{0,4343c}$ .  $c$ , der „Ladungskoeffizient“ gibt die Kapazität des Trägers, der in der Zeiteinheit fortgeschafften Elektrizitätsmenge an. Ein Kollektor wird im allgemeinen um so brauchbarer sein, je größer  $c$  und je kleiner  $C$  ist.

Für den Wassertropfkollektor ist noch folgendes zu beachten. Für kugelförmige Tropfen ist die Kapazität gleich dem Radius, der Kubikinhalt aber proportional der 3. Potenz des Radius. Bei

derselben Menge des abfließenden Wassers wird die Kapazität und damit die mitgeführte Elektrizitätsmenge um so größer, je kleiner die Tropfen werden. Um mit wenig Wasser möglichst schnelle Wirkung zu erzielen, muß man das Wasser in möglichst kleinen Tropfen abfließen lassen.

Bei Flammen und Luntten wirken die ionisierten Gasteilchen und die unverbrannten Kohleteilchen ebenso wie die Tropfen des Wasserkollektors, doch ist eine rechnerische Verfolgung des Vorganges hier nicht möglich. Es ist sogar gar nicht möglich von vornherein anzugeben, welches der Punkt des Feldes ist, auf dessen Potential sich der Kollektor ladet. Das Gleiche gilt für Radioelektroden, wo die ionisierten Gasteilchen der Umgebung die Rolle der sich loslösenden Teilchen übernehmen. Von vornherein wird man nur sagen können, daß die Lage der Niveaufläche, auf deren Potential sich Flammen und Radiumkollektoren laden, mit dem Winde sich ändert. Es ist Sache des Experiments festzustellen, wie sich die Verhältnisse für die verschiedenen Formen der im Gebrauch befindlichen Kollektoren gestalten. Allgemein steht nur fest, daß die Flammen stets das Potential eines Punktes angeben, der einige Zentimeter über der Flammenspitze liegt. Von einem praktisch brauchbaren Kollektor wird verlangt, daß er nicht nur raschen Elektrizitätsaustausch bewirkt, sondern auch das elektrische Feld durch seine Anwesenheit möglichst wenig deformiert und vor allem nicht, wie es bei manchen Luntten der Fall ist, auch in einem gegen elektrische Kräfte geschützten Raum, eine eigene Ladung annimmt.

Experimentelle Untersuchungen über die Wirksamkeit verschiedener Kollektoren liegen in größerer Anzahl vor<sup>1)</sup>. Ausgeführt sind dieselben in der Regel in der Weise, daß man die Kollektoren in ein möglichst homogenes Feld von bekannter Stärke brachte. Man kann sich ein solches Feld herstellen, wenn man eine Metallplatte (mit Stanniol überzogene Kartonplatte) oder ein Drahtnetz von mehreren Quadratmetern Größe auf isolierende Träger setzt und mit dem einen Pol einer vielpaarigen Säule verbindet, deren

1) M. H. Pellat, *Études des moyens employés pour prendre le potentiel de l'air*. C. R. 1885, 1, 735; D. Smirnow, *Phys. Zt.* 5, 597, 1904; F. Linke, *I. c. u. Phys. Zt.* 4, 661, 1903; F. Henning, *Ann. d. Phys.* 7, 893, 1902; V. Conrad, *Über die entladende Wirkung verschiedener Elektroden*. *Wien. Ber.* 111, 2a, 333, 1902; H. Benndorf u. V. Conrad, *Boltzmann-Festschrift*, 691, 1904; K. v. Wesendonck, *Naturw. Rundschau*, 15, 233, 1900.

anderer Pol zu dem ebenfalls aus einem Leiter bestehenden Boden abgeleitet ist. Ist die Grundfläche des so hergestellten Raumes groß gegenüber der Höhe, so kann man wenigstens in der Mitte das Feld als homogen annehmen, und seine Stärke in jedem Punkt aus dem Abstand der beiden leitenden Flächen und ihrer Potentialdifferenz berechnen.

In der zweiten der zitierten Arbeiten gibt Linke folgende Tabelle:

Art des Kollektors	Ladungskoeffizient $c$ in cm	Praktische Ladungsdauer $T$ für $C=100$ cm in Sekunden	Bemerkungen
1. Tropfkollektor . . .	6,9	67	} Wasser- verbrauch p. Min. 80—100 ccm 500 ccm 45 ccm
2. Spritzkollektor 1 . .	50	9	
3. Spritzkollektor 2 . .	33	14	
4. Flammenkollektor . .	2,3—2,6	200—176	Bei ruhiger Luft
5. Wismut-Polonium- stäbchen . . . . .	3—4	154—115	Bei geringerer Wind- geschwindigkeit
6. Radiumpräparate (frei)	4,7—5,0	98—92	} Bei ruhiger Luft.
7. Radiumpräparate in Bleihüllen . . . . .	1,0	460	

Der Spritzkollektor 1 ist ein Wasserzerstäubungsapparat, der von der Firma Mosdorf & Hochhäusler in Berlin unter dem Namen „Kühlebörn“ in den Handel gebracht ist; es wurden in ihm 2 l Wasser durch eine Luftpumpe unter hohem Druck gesetzt, die dann in 4 Minuten durch viele feine Öffnungen ausspritzen (also 500 ccm pro Minute). Der „Kühlebörn“ ist eine Hohlkugel von 18 cm Durchmesser, die oben eine 8 cm lange Spritze hat.

Spritzkollektor 2 ist derselbe Apparat mit der Abänderung, daß in jeder Minute nur 45 ccm aus drei feinen Öffnungen ausstrudelten.

Der Flammenkollektor ist die von Elster und Geitel empfohlene Petroleumlampe.

Die wirksamsten Kollektoren sind demnach die Spritzkollektoren. Die Wirkung der Radiumkollektoren ist in hohem Maße von der Richtung und Stärke der Luftbewegung abhängig. An gegen den Wind geschützten Orten sind sie wegen der Ansamm-

lung der erzeugten Ionen gar nicht zu gebrauchen, an andern nach Benndorf und Conrad nur dann, wenn man sich mit einer Genauigkeit der Messung von 10—15 Proz. zufrieden gibt.

Flammenkollektoren besitzen zwar einen Ladungskoeffizienten, der sogar noch geringer ist als der der gewöhnlichen Wasserkollektoren, dieser Übelstand wird aber durch ihre im allgemeinen geringe Kapazität kompensiert. Die praktische Ladungszeit, die nach der obigen Tabelle für  $C=100$  cm gegen 3 Minuten beträgt, ist, weil wenigstens bei Messungen mit dem am häufigsten verwendeten Exnerschen Elektrometer die Kapazität des Systems Kollektor + Elektrometer kaum 20 cm erreicht, auf etwa  $\frac{1}{2}$  Minute vermindert. Während man für stationäre Anlagen Wassertropfkollektoren bevorzugt, werden bei Messungen auf freiem Felde, wegen der Einfachheit der Handhabung und der leichteren Transportfähigkeit fast ausschließlich Flammenkollektoren gebraucht.

Für absolute Messungen ist zu berücksichtigen, daß, wie schon oben bemerkt, diese das Potential eines Ortes angeben, der einige Zentimeter über der Flammenspitze liegt.

Exner verwendet als Kollektor eine Stearinkerze. Die Flamme brennt innerhalb eines metallenen Schornsteines, der auf eine isolierende Stütze gesetzt und durch einen Draht mit dem Elektrometer verbunden werden kann. Um die Flamme legt sich eine mit dem Schornstein verbundene Schlinge aus Platindraht. Als Träger der Lampe verwendet man am besten Hartgummistäbe, die aber gut poliert und mit Schellackfirnis überzogen sein müssen, da sie sonst in feuchter Luft ihr Isolationsvermögen leicht verlieren. Für Beobachtungen auf freiem Felde bringt die Firma Günther & Tegetmeyer ein Stockstativ in den Handel. Der untere Teil desselben bildet einen Spazierstock, in dessen Hohlraum die Ebonitstäbe eingelassen werden können. Für absolute Messungen ist ein ganz aus isolierendem Material bestehendes Stativ vorzuziehen, da auch das halbleitende Holz, wie oben bemerkt, das elektrische Feld deformiert. Zur Vermeidung der Erzeugung von Reibungselektrizität muß der oberste Teil des Ebonitstabes, auf den die Lampe aufgesetzt wird, mit einer Metallfassung (eventuell Stanniolpapier) versehen sein. Eine Berührung des Ebonites ist sorgfältig zu vermeiden, da derselbe sonst sehr leicht eine negative Ladung annimmt, welche die Potentialgefällmessung natürlich unmöglich macht. Hat der Ebonit indessen doch durch irgend einen Zufall eine solche Ladung an-

genommen, so kann man dieselbe leicht beseitigen, wenn man den Stab einige Male rasch durch eine Flamme zieht. Für lang andauernde Messungen empfehlen sich Kerzen nicht, weil sie häufig erneuert werden müssen und durch Abtropfen das Stativ beschmutzen. Elster und Geitel empfehlen deshalb eine ebenfalls von der oben genannten Firma in den Handel gebrachte Petroleumlampe. Man reguliert nach dem Vorschlag der genannten Forscher die Flamme so, daß ihre Spitze in die Höhe des oberen Randes des Metallzylinders kommt. Aber auch, wenn die Flamme niedriger brennt, liegt der Ausgleichsort des Luft- und Flammenspotentials etwa 7 cm höher als dieser Rand. Die mit dem Gebrauch der Kerzen verbundenen Übelstände hat H. Benndorf<sup>1)</sup> zum Teil durch Konstruktion eines praktischen Kerzenhalters vermieden. Derselbe gestattet das Einsetzen längerer Kerzen, und außerdem ist der metallene Schutzzyylinder, welcher die Kerze durch Reflexion der Wärmestrahlen leicht zum Schmelzen bringt, ersetzt durch einen solchen von Asbest. Wenn man nur das Anzünden der Lampe an windgeschützten Orten vornimmt, so kann man die Benndorfsche Kerzen- und noch besser die Elster- und Geitelsche Petroleumlampe auch bei Windstärke 4—5 der 12 teiligen Skala brennend erhalten. Ein Übelstand macht sich dagegen bei beiden Arten von Kollektoren auch schon bei mäßigem Wind fühlbar. Die Lage der Flammenspitze und damit der Ort, auf dessen Potential sich der Kollektor ladet, verändert sich bei jedem Windstoß. Außerdem kann bei lebhaftem Flackern und Rußen der Flamme diese eine Eigenladung annehmen. Man bemerkt z. B. häufig ein plötzliches Ansteigen des Elektrometerausschlages, wenn die Flamme der Elster- und Geitelschen Lampe infolge von Windstößen nach unten herausschlägt. Le Cadet hat bei seinen Messungen auf Bergobservatorien sich einer kleinen Acetylenlampe bedient, wie sie von Radfahrern gebraucht wird. Die Lampe ist schwerer als die eben erwähnten, erfordert deshalb auch ein stärkeres Stativ, das leicht Anlaß zu Deformationen des Feldes gibt. Auch ist die Ladezeit der Lampen eine verhältnismäßig lange. Eine Kerzenlampe, die ruhiger brennt, als die bis jetzt erwähnten Lampen, und selbst bei stürmischem Wind nicht verlöscht, dabei reinlich und sparsam im Betriebe ist, hat Lutz<sup>2)</sup> konstruiert.

1) H. Benndorf, Wien. Ber. 108, 2a, 351, 1899.

2) C. W. Lutz, Neuer Flammenkollektor und dessen Prüfung im elektrischen Felde. Münch. Sitzber. 36, Heft 3, 507, 1906.

Die Ladezeit derselben ist noch etwas kleiner als die der Petroleumlampe. Der Übelstand, daß die Ausgleichsfläche des Potentials bei jeder Änderung der Windstärke ihre Lage ändert, ist auch bei diesem Flammenkollektor trotz besonderer Vorrichtungen nicht ganz beseitigt. Lutz schlägt deshalb vor, 2 möglichst übereinstimmend gebaute Flammenkollektoren zu verwenden, von denen der eine mit den Blättchen, der andere mit dem Gehäuse des nun isoliert aufgestellten Elektrometers verbunden wird. Wenn die untere Flamme nicht gerade unmittelbar am Erdboden aufgestellt ist, so kann man annehmen, daß der Wind die Ausgleichsflächen beider Kollektoren in derselben Weise beeinflusst, daß also deren Höhendifferenz konstant bleibt. Das am Elektrometer abgelesene Potential ist dann gleich der Differenz der Potentiale zweier Niveauflächen, deren vertikaler Abstand gleich ist der Höhendifferenz der beiden Kollektoren. Die von Lutz vorgeschlagene Anordnung empfiehlt sich auch aus dem Grunde, weil der Beobachtungsplatz selten so eben ist, daß sich die Höhendifferenz zwischen Flammenspitze oder Kollektorrand und Erdboden genau angeben läßt, sie macht auch besondere Untersuchungen über die Lage der Ausgleichsfläche zu der Flammenspitze (bei der Lutzschen Lampe liegt diese bei Windstille 8,6 cm über dem Kollektorrand) überflüssig. Isolierende Doppellampenträger bringt die Firma Günther & Tegetmeyer in den Handel.

Speziell für den Gebrauch im Ballon, wo die Anwendung von Flammen sich von selbst verbietet, hat man Luntten empfohlen. Solche können hergestellt werden aus Filtrierpapier, das mit einer Lösung von Bleinitrat getränkt wird. Das wieder getrocknete Papier wird in Streifen zerschnitten und in kleine Rollen gewickelt, um sie noch besser leitend zu machen, kann man einen Kupferdraht in die Rolle einführen, und dieselbe auch noch außerdem mit diesem Draht umgeben. So hergestellte Luntten brennen recht stetig, lassen sich, wenn sie durch Zufall erloschen sind, mit einem glühenden Kohlenstäbchen in Brand setzen und verbrennen langsam unter starker Rauchentwicklung, aber ohne Funken und Flammen, so daß sie Wasserstoff und Leuchtgas nicht entzünden. Ihre Ladezeit ist aber ungefähr 5 mal größer als die der Kerzenflammen, und hängt ferner von der anhaftenden Aschenmenge ab; außerdem nehmen die Luntten infolge des Verbrennungsprozesses eine eigene Ladung an.

Viel unabhängiger vom Wind als die Flammen sind diejenigen

Tropfkollektoren, bei denen das Wasser unter starkem Druck austritt. Solche Spritzkollektoren besitzen außerdem auch, wie die Untersuchungen Linkes zeigen, einen bedeutend größeren Ladungskoeffizienten als die Flammen. Den Nachteil des starken Wasserverbrauchs, der den von Linke untersuchten Modellen anhaftet, haben D. Smirnow und V. Conrad<sup>1)</sup> in glücklicher Weise beseitigt. Bei dem von letzterem konstruierten Kollektor tritt das Wasser durch eine sehr feine Öffnung aus. Der nötige Druck wird durch ein einfaches Gummigebläse erzeugt, der Wasserverbrauch ist klein, 3—4 ccm in der Minute. Die Kleinheit der Tropfen bewirkt, daß trotzdem die praktische Ladezeit bei einer Kapazität von etwa 70 cm nur 13 bis 20 Sekunden beträgt. Der Apparat ist bei jeder Witterung brauchbar, leicht transportabel und so gebaut, daß er das elektrische Erdfeld nur wenig deformiert. Verfasser hat mit ihm im Gebirge gute Erfahrungen gemacht. Für Beobachtungen im Observatorium wird man den nötigen Druck nicht wie hier mit der Hand, sondern in einem kleinen Gasometer erzeugen.

In der Regel bestehen die Wassertropfkollektoren der Observatorien aus einem einige Liter Wasser haltenden Blechgefäß, das auf isolierenden Füßen aus Ebonit, Schwefel oder Glas (Mascartschen Stativen) ruht. Das Wasser fließt durch eine horizontale Röhre, welche die Wand des Gebäudes isoliert durchsetzt und in einem der Empfindlichkeit des Elektrometers angepaßten Abstand von derselben in eine Spitze endigt. Da der Ort, an dem der Wasserstrahl sich in Tropfen auflöst, abhängt von dem Druck, unter dem das Wasser steht, so hält man das Niveau im Gefäß mittels einer Mariotteschen Flasche konstant. Eine zweckmäßige Einrichtung eines Tropfkollektors beschreiben Elster und Geitel<sup>2)</sup>. Eine detaillierte Beschreibung einer komplizierten Einrichtung, die erlaubt, auch an exponierten Orten Potentialdifferenzen von sehr verschiedener Größe zu registrieren, gibt A. B. Chauveau<sup>3)</sup>.

Schon aus rein konstruktiven Gründen, aber auch aus Rücksicht auf die mit der Oberfläche des Gefäßes wachsende elektrische Kapazität wird man nicht gern Gefäße wählen, deren Inhalt einige

1) D. Smirnow, Phys. Zt. 5, 597, 1904; V. Conrad, Phys. Zt. 8, 672, 1907.

2) I. Elster und H. Geitel, Terr. Magn. 11, 14, 1906.

3) A. B. Chauveau, Recherches sur l'électricité atmosphérique. II. Mémoire. Paris 1902.

Liter überschreitet. Da andererseits die Aufladegeschwindigkeit und damit die Wasserabflußmenge in der Zeiteinheit auch nicht unter eine gewisse Grenze sinken darf, so sieht man sich genötigt, wenn man nicht über eine Wasser sparende Einrichtung, wie sie Conrad vorschlägt, verfügt, die Kollektoren zum mindesten etwa alle 6 Stunden neu zu füllen. Diese Füllung kann automatisch und kontinuierlich geschehen, wenn man nach einem Vorschlag von W. Schmidt<sup>1)</sup> die Wasserzufuhr in einzelnen Tropfen vor sich gehen läßt und dafür sorgt, daß jeder Tropfen ohne Ladung ist. Zu diesem Zweck wird die eine Tropfstelle, die mit der Wasserleitung in direkte Verbindung gesetzt werden kann, mit einem weiten Metallrohr umgeben, welches gleich wie das metallene Zuleitungsrohr zur Erde abgeleitet ist. Die Tropfen fallen in einen metallenen Trichter, von dem aus die Rohrleitung zur eigentlichen Kollektortropfstelle führt. Eine etwas kompliziertere Einrichtung beschreibt Sprung<sup>2)</sup>: Wenn das Wasser im Kollektorgefäß auf ein bestimmtes Niveau gesunken ist, schließt sich ein elektrischer Strom, der vermittels eines Elektromagneten für eine gewisse Zeit einen Hahn der Zuleitung öffnet. Die Zeit, während welcher das Wasser einfließt, der Kollektor also auf dem Potential Null ist, registriert sich automatisch.

Bei Beobachtungen im Ballon kann man leicht Druckwasserkollektoren dadurch erhalten, daß man das Wasser aus langen Schläuchen austreten läßt. Man braucht immer zwei Kollektoren, von denen der eine mit dem Gehäuse, der andere mit den Blättchen eines vom Ballon isolierten Elektrometers in leitender Verbindung steht. Die vertikalen Abstände der Ausflußöffnungen werden so reguliert, daß das Elektrometer einen passenden Ausschlag gibt.

**4. Elektrometer.** Als solche kann man sich aller der oben (S. 9 u. ff.), beschriebenen Instrumente, außerdem für stationäre Anlagen auch der Quadrantelektrometer bedienen. Mit Vorteil kann man auch die alte Form der Exnerschen Elektrometer verwenden, da bei diesen die Blättchen gegen Beschädigung durch Insekten und dergleichen besser geschützt sind, als bei dem zu Zerstreuungsmessungen dienenden Elster- und Geitelschen Instrumente. Außerdem fällt auch das lästige Zerren am Blättchen-

---

1) W. Schmidt, Phys. Zt. 9, 217, 1908.

2) A. Sprung, Terr. Magn. 12, 91, 1907.

träger durch den zum Kollektor führenden Draht weg. Dasselbe kann man übrigens auch beim Elster- und Geitel'schen Elektrometer dadurch erreichen, daß man in den Hals einen nach Bedürfnis abnehmbaren Ebonitstopfen einsetzt, durch den ein Stift führt, der die Verbindung zwischen Blättchenträger und Leitung zum Kollektor herstellt. Bei trockenem Wetter sind Störungen durch mangelhafte Isolation, wenn der Stopfen gut gefirnißt ist, nicht zu befürchten.

Schon mit Rücksicht darauf, daß der Boden des Beobachtungsortes niemals vollständig eben ist, die Messung geringer Höhendifferenzen also ungenau wird, empfiehlt es sich, den Kollektor so anzubringen, daß die Fläche, auf deren Potential derselbe sich ladet, wenigstens  $1\frac{1}{2}$  m über dem Erdboden liegt. Auch bei Messungen, die vom Observatorium aus gemacht werden, ist es nicht ratsam, mit der Austropfspitze des Wasserkollektors, oder der Flamme allzu nahe an die Hauswand heranzugehen. Es wird aber, wenn man eine solche Annäherung vermeiden will, im Winter besonders, aber auch im Sommer bei Gewittern häufig der Fall eintreten, daß die zu messende Potentialdifferenz den Meßbereich des Exnerschen Elektrometers überschreitet, man muß dieses dann durch ein anderes Instrument ersetzen, das die Messung höherer Potentiale gestattet.

Gerdien <sup>1)</sup> hat speziell für Messungen im Ballon ein Elektroskop mit 2 verschiedenen Meßbereichen konstruiert, indem er in einem und demselben Elektroskopgehäuse an einem Blättchenträger 2 verschieden dicke Blättchenpaare übereinander anbrachte. Die Länge der oberen kürzeren Blättchen ist so bemessen, daß sie auch bei horizontaler Lage die Schutzbacken nicht berühren (Fig. 13). Das Instrument bietet den Vorteil, daß rasch verlaufende Schwankungen des Potentialgefälles ohne Unterbrechung der Messung verfolgt werden können. Der Genauigkeit der Ablesung dürfte die, bei der dickeren Aluminiumfolie besonders ausgeprägte *Cri-Cri*-Erscheinung hinderlich sein. Man wird daher in vielen Fällen Saiten- oder Quadrantelektrometer vorziehen, welche sich durch Änderung der Hilfsspannung oder der Schaltung jedem gewünschten Meßbereich anpassen lassen, oder man wird

1) H. Gerdien, Gött. Nachr. 1904, 286.

Der Apparat wird von der Firma Spindler & Hoyer in Göttingen gefertigt.

zu dem von Braun<sup>1)</sup> konstruierten Hochspannungselektrometer (Fig. 14) greifen.

Der wesentlichste Teil dieses Instrumentes ist ein aus stärkerer Folie gearbeitetes Aluminiumblatt, das sich um eine, durch seinen Schwerpunkt gehende Achse drehen kann. Die Abstoßung des geladenen Aluminiumstreifens durch den Träger wird an einer Skala abgelesen. Dieselbe wird gewöhnlich direkt in Volt geeicht, doch muß diese Eichung von Zeit zu Zeit kontrolliert werden. Die Braunschen Elektrometer werden für verschiedene Meßbereiche in verschiedenen Ausführungen geliefert<sup>2)</sup>.

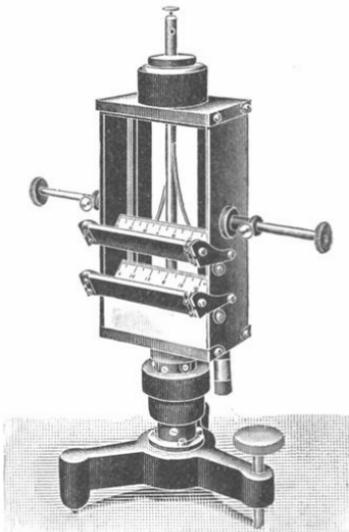


Fig. 13.

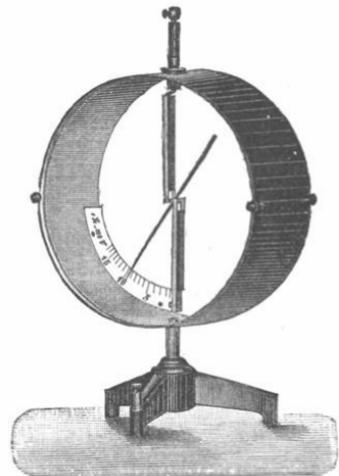


Fig. 14.

Die photographische Registrierung von Potentialdifferenzen hat zuerst Mascart in die Praxis der lufterlektrischen Messungen eingeführt. Die von ihm angewandte Methode ist die allgemein bekannte, auch jetzt noch übliche. Von einer Lampe fällt durch einen schmalen Spalt ein Strahl auf den Spiegel eines Quadrantenelektrometers, das Mascart eigens für diesen Zweck konstruierte. Es ist einfacher im Gebrauch und weniger empfindlich als das Thomsonsche. Der vom Spiegel reflektierte Lichtstrahl fällt auf

1) F. Braun, Wied. Ann. 44, 771, 1891.

2) Von Mechaniker E. Albrecht in Tübingen und Günther & Tegetmeyer, Braunschweig.

einen schmalen horizontalen Spalt, hinter dem durch ein Uhrwerk ein Streifen lichtempfindliches Papier vorbeigezogen wird. Der ganze Registrierapparat muß natürlich in einem Dunkelzimmer aufgestellt werden.

Eine Einrichtung, die das Dunkelzimmer entbehrlich macht, und die wegen ihrer kompensiösen Form sich auch für nicht stationäre Anlagen eignet, haben die Herren Elster und Geitel<sup>1)</sup> konstruiert. Quadrantelektrometer, die zur Nadelladung nötige Hilfsbatterie und die mit photographischem Papier bekleidete Walze nebst der Spaltvorrichtung sind in einem lichtdicht schließenden würfelförmigem Kasten von nur zirka 50 cm Kantenlänge untergebracht. Das Licht wird geliefert von einer mit dem Kasten fest verbundenen Petroleum- oder Azetylenlampe. Ein in einem besonderen Raum des Kastens angebrachtes Exnersches Elektroskop, das mit dem Quadrantelektrometer in leitender Verbindung steht, erlaubt jederzeit die Okularablesung der photographisch registrierten Potentiale und gestattet damit eine Kontrolle der Isolation des Apparates. Eine synchron mit der Walze laufende Uhr erlaubt die Ablesung der Zeit. Durch automatisch alle Stunden entzündete Glühlämpchen werden auf dem Registrierstreifen Zeitmarken angebracht. Um die bei der Auswechslung des Papiers entstehende Unterbrechung auf ein Minimum zu verringern, sind dem Apparat 2 Walzen beigegeben. Kann der Apparat nicht in einem Dunkelzimmer aufgestellt werden, so muß die Auswechslung nachts erfolgen. Die Umdrehungszeit der Walze von 24 Stunden läßt sich durch einen einfachen Griff auf 2 Stunden reduzieren. Bei der ersten Schaltung entspricht jeder Stunde auf dem Streifen eine Strecke von 16 mm, bei der zweiten also jeder Minute eine solche von etwa 3 mm. Der Apparat läßt sich an jedem gegen Erschütterungen geschützten Ort rasch aufstellen, nur die erste Einstellung der Elektrometernadel erfordert längere Zeit und Mühe.

Frei von diesem allen Quadrantelektrometern anhaftenden Nachteil und deshalb auch bei improvisierten Anlagen verwendbar sind die Saitenelektrometer. Da sich hier die Bewegung der Saiten direkt ohne Spiegelung auf das photographische Papier projizieren läßt, so wird bei ihrer Anwendung die ganze Einrichtung einfacher. Einen kompensiösen Apparat, bei dem das Wulfsche Elektrometer

1) I. Elster und H. Geitel, Phys. Zt. 7, 493, 1906.

mit der Registriervorrichtung fest verbunden ist, und der auch gleichzeitig die Okularablesung der Elektrometerrausschläge erlaubt, bringt die Firma Günther & Tegetmeyer in den Handel<sup>1)</sup>. Le Cadet<sup>2)</sup> hat auch das Exnersche Elektrometer mit einer photographischen Registrierung versehen und diese Einrichtung auf dem

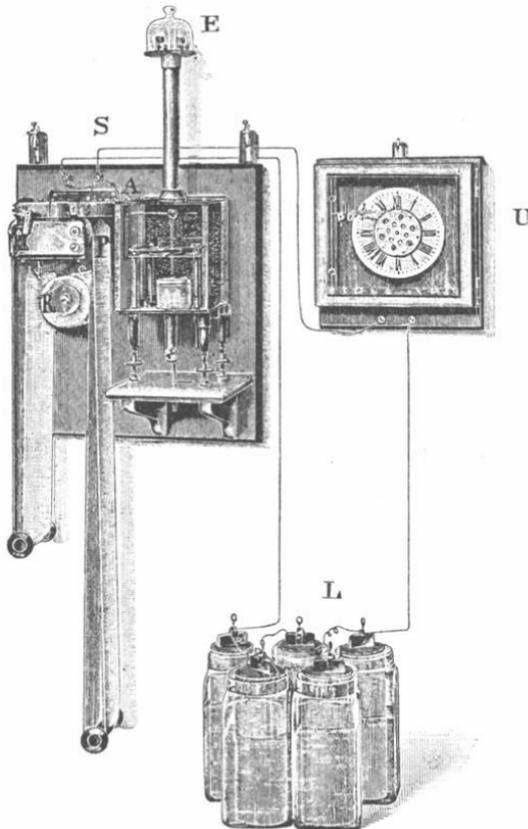


Fig. 15.

Janssen-Observatorium auf dem Montblanc zeitweilig in Betrieb gesetzt.

Im Gebrauch bedeutend billiger, vielfach auch bequemer, da die Unterhaltung einer Lampe und die mit dem Entwickeln der

1) Th. Wulf, Radium 5, 170, 1908.

2) Le Cadet, C. R. 1902, 1, S. 745.

Registrierstreifen verbundene Arbeit wegfällt, das Papier auch weniger häufig ausgewechselt werden muß, ist die mechanische Registrierung. Einen bereits auf einer Reihe von Observatorien, besonders österreichischen, im Gebrauch befindlichen Apparat, hat H. Benndorf<sup>1)</sup> konstruiert (Fig. 15). Mit der Nadel eines Quadrantelektrometers starr verbunden, schwingt ein Zeiger aus Aluminiumdraht über einem 12 cm breiten Papierstreifen, der durch ein Uhrwerk in der Stunde zirka 4 cm weiter gebracht wird. In bestimmten Zeitintervallen (gewöhnlich alle 1 oder 2 Minuten) wird der Zeiger automatisch auf das Papier niedergedrückt und erzeugt dort an einer seinem augenblicklichen Ausschlag entsprechenden Stelle einen blauen Punkt. Das Niederdrücken geschieht durch einen Elektromagneten, dessen Strom durch ein mit Kontakten versehenes Uhrwerk geschlossen wird. Zum Betrieb des Elektromagneten genügen 2—3 Leclanché-Elemente. Der Apparat, welcher von dem Mechaniker des physiologischen Instituts der Universität Wien, Ludwig Castagna hergestellt wird, kann auch bei nicht stationären Anlagen verwendet werden.

Damit das Instrument auch zur Registrierung der bei Nebel oder bei Gewittern eintretenden außergewöhnlich hohen Potentialdifferenzen verwendet werden kann, haben A. Sprung und Lüdeling<sup>2)</sup> eine Vorrichtung zur automatischen Umschaltung für einen andern Meßbereich konstruiert<sup>3)</sup>.

**5. Die Änderung des Potentialgefälles mit der Höhe.** Die Änderungen in den tieferen Schichten. Es ist bereits erwähnt worden, daß Exner auf Grund einiger bei schönem Wetter ausgeführter Messungen das Potentialgefälle in der Nähe des Erdbodens als konstant angenommen hat. Spätere Beobachtungen haben ergeben, daß diese Voraussetzung im allgemeinen nicht zutrifft. Der Verfasser fand, daß besonders bei dunstigem Wetter, bei strenger Kälte und bei beginnender Taubildung in der Nachbarschaft des Bodens die Differenzen des Potentials zweier vertikal übereinander gelegener Punkte nicht proportional den Höhendifferenzen sind. Entgegen der üblichen Methode, die Höhe der Ausgleichfläche von Kollektor und Luftpotential so zu wählen, daß das Elektrometer einen passenden Ausschlag gibt, ziehe ich es

1) H. Benndorf, Phys. Zt. 7, 98, 1906; Wien. Ber. 111, 1, 1902.

2) A. Sprung, Phys. Zt. 5, 326, 1904.

3) Eine auf anderen Grundsätzen beruhende, von Wilson angegebene Methode der Potentialgefällebestimmung wird S. 124 beschrieben.

daher vor, diese Höhe immer konstant zu lassen (zirka 1,5 m) und für die Messungen Elektrometer verschiedener Empfindlichkeit zu wählen. Da die sprunghaften Änderungen des Potentialgefälles am stärksten in der unmittelbaren Nachbarschaft des Erdbodens sind, so wäre wohl die Verwendung zweier in verschiedener Höhe angebrachter Kollektoren, von denen der eine mit dem Gehäuse des isolierten Elektrometers, der andere mit dem beweglichen System desselben in Verbindung steht, mehr zu empfehlen. Hjuler<sup>1)</sup> fand bei Messungen auf dem Pamirplateau eine stetige Abnahme des Potentialgefälles mit der Höhe, Daunderer bei seinen schon erwähnten Messungen, die sich nur bis zur Höhe von 2 Metern über dem Boden erstreckten, die Änderung des Gefälles mit der Höhe bald positiv, bald negativ. Da Ebonitstäbe sich unter dem Einfluß der Sonnenstrahlung stark verbiegen, so wird man mit ihrer Hilfe die Kollektoren kaum in größerer Höhe über dem Erdboden anbringen können. Man wird daher für Messungen des Ganges des Potentialgefälles bis zu einigen Hundert Metern Höhe über dem Boden wieder zu dem von Exner angewendeten Mittel der Fesselballone greifen müssen. Solche Messungen, die zur Zeit in München in Vorbereitung sind, sind auch an anderen Orten dringend erwünscht, da sie frei sind von den Störungen, welche die am Boden vor sich gehenden Kondensationsvorgänge und die Staubeentwicklung mit sich bringen. Eine Schwierigkeit der Messungen liegt darin, daß der Ballon oder Drachen, besonders bei wechselnder Windstärke, schwer in konstanter Höhe zu halten ist, daß ferner diese Apparate selbst in Verbindung mit den Halteschnüren und den zum Instrument herabführenden Leitungsdrähten das Feld deformieren.

Chauveau fand, daß auch der tägliche und jährliche Gang des Potentialgefälles auf dem Eiffelturm ein anderer ist, als in dem inmitten des Pariser Häusermeeres gelegenen Observatorium. Ich werde später (S. 99) auf seine Messungen ausführlicher zurückkommen.

Das Potentialgefälle in größerer Höhe der Atmosphäre. Eine große Zahl der im Freiballon vorgenommenen Messungen ist leider kaum zu verwerten, weil der Einfluß der eigenen und der durch Influenz erzeugten Ladung des Ballons von den Beobachtern nicht genügend berücksichtigt wurde. Wenn der Ballon

---

1) Hjuler, Beibl. 28, 581, 1904.

nicht stundenlang der intensivsten Sonnenstrahlung ausgesetzt war, muß er nach den Untersuchungen von Ebert<sup>1)</sup> als ein Leiter betrachtet werden. Er bringt also eine Deformation des Feldes hervor, und zwar werden sich die Niveauflächen wegen der birnförmigen Gestalt des Ganzen unterhalb der Gondel, also gerade da, wo die Messungen vorgenommen werden, am stärksten zusammendrängen. Die dort gemessenen, auf 1 m umgerechneten Potentialdifferenzen, werden also Werte liefern, die größer sind als diejenigen, die in dem nicht beeinflussten Felde herrschen. Der an den Messungen anzubringende Korrektionsfaktor kann experimentell bestimmt werden, wenn man den Verlauf der Niveauflächen um ein in ein konstantes Feld gebrachtes Modell des Ballons untersucht. Rechnerisch hat dasselbe Problem Linke<sup>2)</sup> zu lösen gesucht, verbessert wurden die Formeln Linkes durch Benndorf<sup>3)</sup>. Der Ballon steht ferner vor der Abfahrt mit der Erdoberfläche in leitender Verbindung, er nimmt also eine Ladung mit, deren Größe von der im Moment der Abfahrt auf der Erdoberfläche herrschenden Flächendichte abhängt. Diese Ladung wird sich aber schon infolge der natürlichen Leitfähigkeit der Luft nach Antritt der Fahrt zerstreuen. Auch die in den höheren atmosphärischen Schichten bei klarem Wetter nicht unbeträchtliche ultraviolette Strahlung wird zur Zerstreung der vom Ballon mitgenommenen negativen Ladung beitragen.

Eine weitaus beträchtlichere, leider erst sehr spät erkannte Fehlerquelle der Messungen liegt darin, daß, wie Ebert nachwies, der als Ballast verwendete Sand beim Auswerfen infolge reibungselektrischer Vorgänge sich selbst negativ, den Ballon also positiv ladet. Wie bedeutend der hieraus sich ergebende Fehler werden kann, zeigt eine Beobachtung Gerdiens. Derselbe bemerkte, daß das nach ausschließlichem Gebrauch von Wasserballast beobachtete Potentialgefälle von 8 Volt/Meter nach Auswerfung von wenigen Kilogramm Sand in ein solches von 45 Volt/Meter übergang. Man wird sich daher bei künftigen, zu luftelektrischen Messungen dienenden Ballonfahrten ausschließlich auf Flüssigkeitsballast (warmes

1) H. Ebert, Über elektrische Messungen im Luftballon. Gerlands Beitr. z. Geophysik, 6, 66, 1903; H. Ebert u. C. W. Lutz, Beiträge z. Phys. d. fr. Atmosph. 2, 183, 1908.

2) F. Linke, Luftelektrische Messungen bei 12 Ballonfahrten. Abhandl. d. K. Ges. d. Wiss. zu Göttingen, 3, 5, 1904.

3) H. Benndorf, Wien. Ber. 115, 427, 1906.

Wasser oder Alkohol) beschränken müssen. Man kann indessen auch, wie Linke und Benndorf gezeigt haben, eine durch Sandauswerfen oder auf irgend eine andere Art entstandene Eigenladung des Ballons dadurch unschädlich machen, daß man mit Hilfe eines Spritzkollektors auf der unteren Hälfte des Ballons, und zwar an einer Stelle, deren Lage von den Dimensionen des Ballons abhängt, eine neutrale Zone herstellt. Wenn auch die Resultate der verschiedenen Ballonfahrten im einzelnen stark voneinander abweichen<sup>1)</sup>, so läßt sich doch das Gesamtergebnis dahin aussprechen, daß das normale Potentialgefälle nach oben hin positiv ist und mit der Höhe abnimmt. Linke konnte z. B. jedesmal, wenn ein negatives Gefälle oder eine Zunahme des Gefälles nach oben hin beobachtet wurde, nachweisen, daß an Wolken oder Dunst gebundene elektrische Massen in der Luft vorhanden waren. Die Abnahme der Größe des Gefälles mit der Höhe durch eine Kurve auszudrücken, d. h.  $dV/dh$  als Funktion von  $h$  darzustellen, wäre, wie Linke richtig bemerkt, auch dann nicht möglich, wenn die Zahl der zuverlässigen Messungen eine größere wäre, als sie in der Tat ist. Ebenso wenig wie Temperatur, Dichte, Wassergehalt dies tun, nimmt das Potentialgefälle in der Atmosphäre stetig mit der Höhe ab. Die stärkste Abnahme und auch die größten Unregelmäßigkeiten zeigen sich in den untersten 1500 m. Von etwa 100 Volt/Meter am Erdboden sinkt bei den Fahrten Linkes das Potentialgefälle auf 25 in 1500 m Höhe und nimmt dann langsam auf ungefähr 10 Volt/Meter in 3—4000 m Höhe ab. Den kleinsten Wert beobachtete Gerdien mit 3 Volt/Meter zwischen 5000 und 5700 m Höhe. Die Unstetigkeiten, welche das Potentialgefälle aufweist, fallen jeweils zusammen mit Unstetigkeiten der andern meteorologischen Elemente. Daß solche Unstetigkeiten gerade in den tieferen Lagen der Atmosphäre beobachtet werden, ist leicht zu erklären; denn gerade in diesen findet eine Mischung der Luftschichten infolge der täglichen Periode der Erwärmung und Abkühlung des Erdbodens statt. Im Hochsommer, wo die Wirkung der Erwärmung des Erdbodens sich höher hinauf erstreckt, ist auch die Abnahme des Potentialgefälles eine langsamere. Gerdien fand z. B. am 30. VIII. 1905 noch in 1700 m

1) Literatur siehe die S. 3 genannten Zusammenstellungen und Börnstein, Resultate der Berliner wissenschaftlichen Luftfahrten. Sep.-Abdr. aus Wissenschaftliche Luftfahrten, herausgegeben von R. Aßmann u. A. Berson; ferner Linke l. c.; H. Gerdien, Götting. Nachr. 1904, Heft 4, S. 277; 1905, Heft 3, S. 258; 1905, Heft 5.

ein Potentialgefälle von 40 Volt/Meter; über der Grenze der Alto-cumuli war die Abnahme eine ziemlich rasche, in der klaren Luft zwischen 4500 und 6000 m sank das Gefälle dagegen nur noch von 11 auf 8 Volt/Meter.

Sprungschichten müssen sich hauptsächlich bilden an der oberen Grenze von Wolken. Der Auftrieb der unteren warmen Luft hat hier infolge der adiabatischen Abkühlung sein Ende erreicht, die über den Wolken liegende Luft wird durch die Sonnenstrahlung stark erwärmt und ist gleichzeitig trocken, da nur noch geringe Mengen des von der oberen Wolkenfläche verdampfenden Wassers in diese Schichten vordringen. Eine zweite Sprungschicht, in der Höhe von nur einigen hundert Metern, schafft die nächtliche Abkühlung. Die Erklärung für die Sprünge des Potentialgefälles an der Grenze von Dunst- und Wolkenschichten ergibt sich leicht aus dem, was früher über die Absorption der Ionen durch Nebel und Staub gesagt wurde. Hohes Potentialgefälle stellt sich z. B. ein oberhalb der winterlichen Stratusschichten, da hier nach dem früher Gesagten stets eine Anhäufung positiver Ionen stattfindet. Negativ wird das Potentialgefälle dagegen innerhalb aufsteigender Cumulus-Wolken. Starke räumliche Ladungen hat Linke auch an den unteren Grenzen von Wolken oder Dunstschichten bemerkt. Wahrscheinlich kommt an solchen Orten die von unten nach oben gehende Wanderung der negativen Ionen, die unter der Wirkung des elektrischen Erdfeldes oder derjenigen von Konvektionsströmen erfolgen kann, ins Stocken.

Da zwischen 4000 und 6000 m Höhe das Potentialgefälle nur noch sehr langsam abnimmt, also  $d^2V/dh^2$  wenig von Null verschieden ist, so muß nach der Gleichung  $d^2V/dh^2 = -4\pi q$  auch  $q$  in diesen Schichten sehr klein sein; daraus folgt: die räumlichen positiven Ladungen der Atmosphäre, d. h. die Überschüsse der positiven über die negativen Ladungen sind in den unteren 3 oder 4 Kilometern der Atmosphäre zusammengedrängt, d. h. in den Schichten, die noch der Beeinflussung von seiten des Erdbodens unterworfen sind. In diesen Schichten schon endigt der größte Teil der von dem Erdboden ausgehenden Kraftlinien. Absteigende Luftbewegung muß, wie aus dem Gesagten folgt, und wie Gerdien auch tatsächlich nachweisen konnte, eine Verringerung des Potentialgefälles, aufsteigende eine Erhöhung desselben verursachen.

Vollständig unbekannt sind uns die elektrischen Verhältnisse der Atmosphäre in Höhen über 6000 m. Vielleicht treten in der

großen Inversionsschicht in der Höhe von über 10 km wieder Verhältnisse auf, die ganz verschieden sind von den zwischen 4000 und 6000 m beobachteten.

Theoretisch hat Homma<sup>1)</sup> die Änderung des Potentialgefälles mit der Höhe untersucht. Er geht von der Annahme aus, daß die Erde ein kugelförmiger Leiter mit einer gleichmäßig über die Oberfläche verteilten negativen Ladung sei. Die zugehörige positive Ladung soll in der Atmosphäre in konzentrischen Schichten so verteilt sein, daß in einem bestimmten Abstand vom Erdmittelpunkt das Potential Null herrscht. Die Rechnung führt dann zu folgenden Schlüssen:

Ist die elektrische Dichte innerhalb der Atmosphäre konstant, dann muß die Kurve, welche die Abhängigkeit des Potentialgefälles von der Höhe darstellt, eine gerade Linie sein.

Ist die elektrische Dichte in den höheren Schichten der Atmosphäre größer als in den unteren, so muß diese Kurve ihre Konkavseite nach ihrem Ursprung zu wenden, umgekehrt, wenn die elektrische Dichte in den unteren Schichten größer ist.

Nach den Beobachtungen scheint in der Regel die Kurve nach unten konvex, die elektrische Dichte also in den unteren Schichten größer zu sein.

Das absolute Potential der Erde berechnet Homma aus der Abnahme mit der Höhe zu  $-10^{-6}$  Volt, während Exner  $-10^{-10}$  annahm.

Aus den schon erwähnten Beobachtungen Hjulers scheint zu folgen, daß auch auf Hochebenen das Potentialgefälle kleiner ist als in der Tiefebene. Die Messungen Exners, der auf Ceylon sowohl am Meere als in der Höhe von 2000 m beobachtete, lassen einen solchen Unterschied nicht erkennen. Die auf Bergspitzen vorgenommenen Messungen sind wegen der Deformation des Feldes zur Bestimmung des absoluten Wertes des Potentialgefälles nicht zu gebrauchen. Für den später zu besprechenden täglichen und jährlichen Gang des Potentialgefälles in den Höhen ist man ausschließlich auf die Beobachtungen der Bergstationen angewiesen.

**6. Die Änderung des Potentialgefälles mit der geographischen Lage.** Unsere Kenntnisse über diesen Punkt sind noch recht

1) Y. Homma, Terr. Magn. **12**, 49, 1907.

unvollkommen. In größerer Anzahl liegen Beobachtungen nur aus mittleren Breiten vor, viele Messungen aus anderen Gegenden, z. B. die sonst so wertvollen der schwedischen<sup>1)</sup> und finnländischen<sup>2)</sup> Polarexpeditionen von 1884 sind, weil nicht auf die Ebene reduziert, für unseren Zweck nicht verwendbar. Die an verschiedenen Orten gewonnenen Zahlen sind auch deshalb nicht immer unter sich vergleichbar, weil einzelne Beobachter die Mittelwerte aus sämtlichen Beobachtungen berechneten, andere die „gestörten“ Tage aussonderten. Da obendrein auch der Begriff des gestörten Tages nicht mit Bestimmtheit zu definieren ist (im Winter gibt es in kalten Gegenden gar keine ungestörten, d. h. von Niederschlägen und Nebel freien Tage), ferner einzelne Beobachter die Messungen in den Nachtstunden unterließen, da ferner an Plätzen, an denen vom Observatorium aus beobachtet wird, die Bestimmung des Reduktionsfaktors auf der Ebene Schwierigkeiten macht, so sind Abweichungen der Werte auch an Orten, die nicht allzu weit voneinander entfernt sind, unvermeidlich. Fördernd hat die Hypothese Exners gewirkt, daß der Wasserdampf negative Elektrizität vom Erdboden in die Höhe nähme. Aus dieser Annahme folgt, daß das Potentialgefälle mit wachsendem Dampfdruck in der Atmosphäre abnehmen muß. Zur Prüfung dieser Folgerung hat Exner selbst Messungen in Wien, in den Alpen, in dem durch hohen Dampfdruck ausgezeichneten Sommerklima Indiens und in Ägypten unternommen und solche im trockenen Winterklima von Sibirien veranlaßt. Der Verfasser hat ebenfalls zur Prüfung der von Exner für die Abhängigkeit des Potentialgefälles vom Dampfdruck gegebenen Formel Messungen des Potentialgefälles in der Oase Biscra vorgenommen. Doch erstrecken sich diese in Tropen und Wüstengegenden vorgenommenen Beobachtungen, ebenso wie die in Sibirien immer nur auf einige Wochen. Wenn sich nun mittlerweile auch die Exnersche Hypothese als irrtümlich herausgestellt hat, so bleibt doch das Resultat bestehen, daß in kalten und trockenen Gebieten das Potentialgefälle im allgemeinen höher ist als in den Gegenden, wo hoher Dampfdruck herrscht. In dem Lappendorf

1) S. A. Andrée, Die Beobachtungen der Lufterlektrizität an der schwedischen Polarstation zu Kap Thorsden, Spitzbergen. 1882/83. Bd. II, 2. Stockholm 1887. Meteor. Zt. 7, 29, 1889.

2) S. Lemström et E. Biese, Exploration internationale des régions polaires. Expédition polaire finlandaise. T. III. Electricité atmosphérique. Helsingfors 1898.

Karasjok unter  $69^{\circ} 17'$  n. B. fand G. C. Simpson<sup>1)</sup> das Jahresmittel des Potentialgefälles zu 140 Volt/Meter, das Februarmittel war 209, während Benndorf<sup>2)</sup> in Tomsk (Sibirien) als Mittel der über 12 Februartage sich verteilenden Beobachtungen 145 erhielt. In der Antarktis, Grahamland  $65^{\circ} 4'$  s. B. beobachtete im November und Dezember die französische Expedition unter Leitung von Dr. Charcot<sup>3)</sup> ein absolutes Potentialgefälle von 69 Volt/Meter unter Berücksichtigung aller Tage (10000 Einzelmessungen) und 62 Volt/Meter bei Ausschluß der trüben Tage. Auf Spitzbergen beobachtete Elster<sup>4)</sup> während einiger Augusttage Werte des Potentialgefälles, die innerhalb derselben Grenzen lagen wie in unsern Breiten zu derselben Jahreszeit.

Häufig wird auf den nordischen Stationen, auch an niederschlagsfreien Tagen, negatives Potentialgefälle beobachtet. Andererseits lud sich nach Andrée am Kap Thorsen (Spitzbergen) der in 2 m Abstand von der Hauswand und 3 m über dem Boden angebrachte Kollektor an manchen Tagen so stark positiv auf, daß Funken aus ihm gezogen werden konnten. Das niedrige Mittel ist auf Rechnung der vielen trüben Tage zu setzen. Aus sechs-jährigen Registrierungen in Kew (London)<sup>5)</sup> ergab sich als Jahresmittel bei Ausschluß der gestörten Tage 159 Volt/Meter. In unsern Breiten erhielten bei ausschließlicher Berücksichtigung der ungestörten Tage als Jahresmittel W. Braun<sup>6)</sup> in Bamberg 247 Volt/Meter, Elster und Geitel<sup>7)</sup> in Wolfenbüttel 221, Gockel<sup>8)</sup> in Ladenburg a. Neckar 160, Kircher<sup>9)</sup> in Mei-

1) G. C. Simpson, Phil. Transact. of the R. Soc. of London. Ser. A. **205**, 61, 1905. Phys. Zt. **6**, 270, 1905.

2) H. Benndorf, Messungen des Potentialgefälles in Sibirien. Wien. Ber. **108**, 2a, 341, 1899.

3) M. I. Rey, C. R. **141**, 850, 1905 u. Met. Zt. **23**, 458, 1906.

4) Elster, Terr. Magn. **7**, 9, 1902.

5) C. Chree, Phil. Trans. (A) **206**, 299, 1906; Proc. Soc. (A) **77**, 385, 1906; Met. Zt. **23**, 467, 1906.

6) W. Braun, Messungen des Potentialgefälles der Lufterlektrizität in Bamberg. Sep.-Abdr. aus d. 17. Jahresbericht der Naturforschenden Gesellschaft in Bamberg 1896.

7) Elster und Geitel, Wied. Ann. **48**, 338, 1893 u. Wien. Ber. **98**, 2a, 909, 1889.

8) A. Gockel, Meteor. Zt. **14**, 281, 1897.

9) E. Kircher, Messungen des normalen Potentialgefälles der atmosphärischen Elektrizität. Beilage zum Programm des Realgymnasiums Saalfeld 1895.

ningen 213, P. Zölss<sup>1)</sup> in Kremsmünster (Oberösterreich) dagegen nur 98.

Der große Unterschied zwischen der letzteren Zahl und den vorhergehenden ist dadurch bedingt, daß Zölss als höchstes Monatsmittel (Januar) nur 143 fand, während die Beobachter in Deutschland für die Wintermonate Mittelwerte erhielten, die zwischen 300 und 600 Volt/Meter lagen. Läßt man die Monate Nov., Dez., Jan., Febr. und März unberücksichtigt, so ergibt sich als Mittel

Bamberg . . . . .	162
Kremsmünster . . . . .	81
Ladenburg . . . . .	66
Meiningen . . . . .	141
Wolfenbüttel . . . . .	129.

In Oberägypten wurde im Mittel von Mache<sup>2)</sup> 132 im Niltal, 122 auf der dasselbe begrenzenden Hochebene gefunden, denselben Wert (128) beobachtete Exner im März in Luxor. Bedeutend niedrigere Werte fand dagegen Gockel<sup>3)</sup> in Biscra, nämlich 91 im März und nur 20 im August. In Delhi fand Mache 127 als Mittel der dortigen Sommermonate, Exner<sup>4)</sup> in Bombay und Ceylon ebenfalls im Sommer (Dezember-Februar) 54. Hervorgehoben muß werden, daß an allen den angeführten Orten das Potentialgefälle, solange nicht in der Nachbarschaft des Beobachtungsortes Niederschläge fielen, oder Schnee- oder Sandtreiben Störungen hervorrief, positiv gefunden wurde. Die abnorm niedrigen Werte in Biscra sind das Mittel von nur positiven Einzelwerten.

An allen Orten ist demnach das Potentialgefälle an ungestörten Tagen positiv. Negative Werte werden um so häufiger sein, je häufiger Störungen eintreten. Am Kap Thorsden finden sich unter 1000 Beobachtungsstunden 200 mit negativen Werten des Potentialgefälles.

Zölss fand in Kremsmünster, daß an 56 Proz. aller Tage für kurze Zeit negatives Gefälle herrschte, nur ein einziger Tag

1) P. B. Zölss, Wien. Ber. **112**, IIa, 1407, 1903.

2) H. Mache, Beobachtungen in Indien und Oberägypten. Wien. Ber. **109**, 2a, 656, 1900.

3) A. Gockel, Met. Zt. **16**, 481, 1899; Phys. Zt. **3**, 208, 1902 u. Luftelektrische Untersuchungen. Collectanea Friburgensia. Neue Folge. Fasc. 4. Freiburg (Schweiz) 1900.

4) F. Exner, Wien. Ber. **98**, 2a, 1004, 1889 u. **99**, 601, 1890.

(17. Januar) zeigte durchweg negatives Gefälle. Im ganzen ist dort das Gefälle während  $\frac{1}{10}$  der gesamten Zeit ein negatives. In Kew waren dagegen unter 15170 Beobachtungen nur 655, welche ein negatives Potentialgefälle ergaben, und Denza hat in Moncarlieri im Lauf von 12 Jahren bei täglich sechsmaliger Beobachtung bei wolkenfreiem Himmel niemals negatives Potentialgefälle beobachtet.

Als Ursache des negativen Potentialgefälles kommen neben den Niederschlägen die mit Sandstürmen und Schneetreiben verbundenen reibungselektrischen Vorgänge in Betracht. So können scharfe Winde im Winter auch bei heiterem Himmel ein negatives Potentialgefälle erzeugen, wenn sie Schneestaub über eine vereiste Schneedecke treiben. Wie stark die negative Ladung der Atmosphäre durch Sandstürme werden kann, hat Siemens<sup>1)</sup> in ergötzlicher Weise auf der Spitze der Cheopspyramide gezeigt. Eine Champagnerflasche ließ sich dort durch Umhüllen mit feuchtem Papier in eine Leydener Flasche verwandeln, die sich, wenn sie hoch über dem Kopf gehalten wurde, so stark auflud, daß aus ihr Funken von 1 cm Schlagweite gezogen werden konnten. Die so geladene Flasche erwies sich als ein gutes Verteidigungsmittel gegen zudringliche Araber.

In geringerer Stärke auftretend, werden dieselben Ursachen, welche das positive Potentialgefälle in ein negatives verwandeln, zu einer bloßen Verminderung des positiven führen. So beobachtete der Verfasser in Biscra zwar nur ausnahmsweise und jeweils nur für kurze Zeit negatives Potentialgefälle, trotzdem ist anzunehmen, daß die gefundenen außerordentlich niederen Werte, zum Teil wenigstens, auf die Beladung der Luft mit negativ elektrisierten Staubmassen zurückzuführen sind.

Während in Paris am Bureau central und besonders auch am Collège de France bei heiterem Himmel wiederholt negatives Potentialgefälle beobachtet wurde, trat auf dem Eiffelturm diese Erscheinung im Verlauf von 7 Jahren nur einmal ein. Daß sie am Collège de France doppelt so häufig ist als am Bureau central und an ersterem Orte sogar eintreten konnte, ohne daß an der benachbarten Station irgend eine Störung des normalen Ganges des Potentialgefälles konstatiert wurde, zeigt, daß wir es hier mit

1) W. Siemens, Lebenserinnerungen, Berlin 1892, S. 142 u. Pog. Ann. 109, 355, 1858.

einer ganz lokalen Erscheinung zu tun haben. Eine besondere Veranlassung zur Staubeentwicklung lag während des Auftretens des negativen Potentialgefälles nicht vor, und die Ursache der negativen Elektrisierung muß wohl in irgend einem andern Umstand gesucht werden.

**7. Das elektrische Feld über dem Meere.** Messungen des Potentialgefälles auf offener See liegen bis jetzt nur in geringer Anzahl vor, und außerdem sind die wenigen vorhandenen nicht frei von Störungen. Auf Dampfern stört neben der Deformation des Feldes durch das Schiff selbst der Rauch und das Spritzwasser; auf Segelschiffen sind bis jetzt keine Beobachtungen angestellt worden. Stören würde dort in erster Linie die mit jeder Bewegung der Segel verbundene Verlagerung der Niveauflächen. Die Messungen, die auf Hafendämmen gemacht wurden, können kaum mit solchen auf offenem Meer verglichen werden, unterliegen außerdem auch dem Einfluß der Störungen durch Spritzwasser. Zur Vornahme weiterer Messungen, die bei der größeren Konstanz von Temperatur und Wind über dem Meere, in erster Linie Aufschluß geben könnten über die Ursache der täglichen Schwankungen des Potentialgefälles, würden sich am ersten kleine flache Inseln oder Sandbänke<sup>1)</sup>, bei ruhigem Wetter vielleicht auch Feuerschiffe empfehlen; bei bewegter See werden dagegen die Schwankungen des Schiffes auch abgesehen von den Erschwerungen der Ablesung am Elektrometer und den sonstigen Unbequemlichkeiten, die sie dem Beobachter bereiten, das Festhalten einer bestimmten Niveaufläche für die Messung kaum gestatten.

Die ersten und fast einzigen Beobachtungen auf hoher See sind von Exner<sup>2)</sup> im Indischen Ocean ausgeführt worden. Ein Wassertropfkollektor wurde an der vorderen Bugwand des Schiffes isoliert aufgehängt, wo er gegen Einfluß des Rauches der Maschine geschützt war. Der Reduktionsfaktor des gemessenen Potentialgefälles auf eine ebene Fläche wurde im Hafen von Bombay dadurch bestimmt, daß gleichzeitig Beobachtungen an Bord des Schiffes und vermittels Flammenkollektors in einem kleinen Kahn vorgenommen wurden. Die im Dezember so erhaltenen Werte des absoluten Gefälles sind nur wenig geringer als die bald darauf in Bombay

---

1) Vgl. die während des Druckes dieses Werkes erschienenen Beobachtungen von G. Lüdeling am Rotesand-Leuchtturm. Berlin 1908.

2) F. Exner, Wien. Ber. 98, 2a, 1004, 1889.

am Lande erhaltenen Zahlen. Auch die tägliche Periode scheint, soweit man aus den sich nur auf 6 Tage erstreckenden Beobachtungen einen Schluß ziehen kann, dieselbe zu sein.

I. Elster, Müller u. Loewy und Lüdeling<sup>1)</sup> beobachteten auf Helgoland und den Nordseeinseln Sylt und Juist in den Monaten Juli-September tagelang ein Potentialgefälle, das zwischen 300—900 Volt/Meter schwankte, oft auch stundenlang auf einem konstanten hohen Werte verharrte, also Werte, wie sie im mitteleuropäischen Binnenlande nur an klaren Frosttagen jeweils für einige Stunden gemessen werden. An der Ostsee fand Lüdeling im September dagegen niedrigere Werte, die nur wenig oder gar nicht höher waren als die gleichzeitig in Potsdam beobachteten. Diese Beobachtungen, ebenso das auf Spitzbergen gemessene verhältnismäßig niedrige Potentialgefälle stehen in gutem Einklang mit den von denselben Autoren gleichzeitig gemessenen Werten der Ionisation. Wo dieselbe niedrig und gleichzeitig stark unipolar ist, werden auch hohe Werte des Potentialgefälles beobachtet; dem hohen Wert des Leitvermögens auf Spitzbergen entspricht ein relativ niederes Potentialgefälle, und die Ostseeküste nimmt hinsichtlich des Potentialgefälles dieselbe Mittelstellung zwischen den Nordseeinseln und dem Binnenlande ein wie hinsichtlich des Leitvermögens.

Ein Einfluß der Brandung ließ sich nicht nachweisen, die Angaben des Apparates waren dieselben, wenn der Kollektor im Bereich des Spritzwassers und wenn er 100 m von der Küste entfernt aufgestellt wurde. Auch der Verfasser fand an einem flachen Strand in der Nähe von Tunis, daß das Potentialgefälle mit der Annäherung an das Meer keine Veränderung erleidet.

**8. Der jährliche Gang des Potentialgefälles.** Schon aus dem oben Mitgeteilten ist ersichtlich, daß das Potentialgefälle eine sehr stark ausgeprägte jährliche Periode besitzt. Dank der schon seit mehreren Jahrzehnten eingeführten Registrierung besitzen wir zur Feststellung derselben ein ziemlich umfangreiches Material. Da für die Feststellung des Ganges des Potentialgefälles eine Reduktion auf die Ebene nicht erforderlich ist, so sind für unsern Zweck die Beobachtungen einer Reihe von Stationen verwendet worden, die für die Bestimmung des absoluten Potentialgefälles

---

1) Siehe Zitate S. 35 u. 36.

nicht verwendbar waren. Allerdings sind in vielen Publikationen gestörte und ungestörte Tage nicht getrennt, während in anderen dieses der Fall ist. Ferner beziehen sich einige nur auf 1—2, andere dagegen auf eine längere Reihe von Jahren, so daß auch hier die Beobachtungen nicht ohne weiteres vergleichbar sind. Die Kurven der Fig. 16 geben den jährlichen Verlauf des Potentialgefälles für einige Orte, wobei gestörte Tage ausgeschlossen wurden.

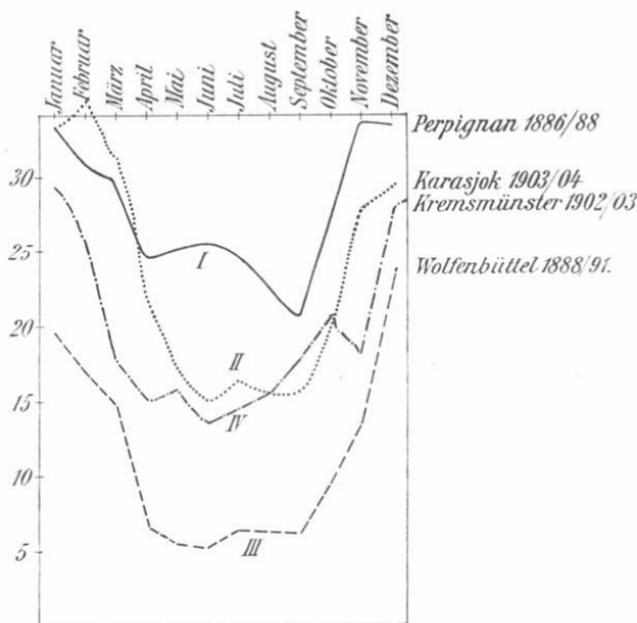


Fig. 16.

Fig. 17 enthält neben der in gleicher Weise abgeleiteten Kurve für Kew die Registrierungen von Florenz und Kap Thordsen, bei denen alle Tage berücksichtigt wurden<sup>1)</sup>. Die Ordinaten geben mit Ausnahme der Kurve für Kew nur die relative Masse

1) Das Zahlenmaterial für die Kurven ist folgenden Abhandlungen entnommen:

Fig. 16. I. A. Fines, Met. Zt. 8, 113, 1891.

II. G. C. Simpson l. c.

III. J. Elster u. H. Geitel, Wied. Ann. 48, 338, 1893.

IV. P. B. Zölss, Wien. Ber. 112, 2a, 1407, 1903.

des Gefälles, z. B. ist das Gefälle in Wolfenbüttel höher als in Karasjok.

Übereinstimmend zeigen sämtliche Beobachtungen, daß das Potentialgefälle seine höchsten Werte in den Wintermonaten erreicht. In dieser Jahreszeit finden gleichzeitig die stärksten Schwankungen, sowohl innerhalb eines Tages, als auch von einem Tag zum andern statt. So berechnet Simpson aus seinen nur ein Jahr

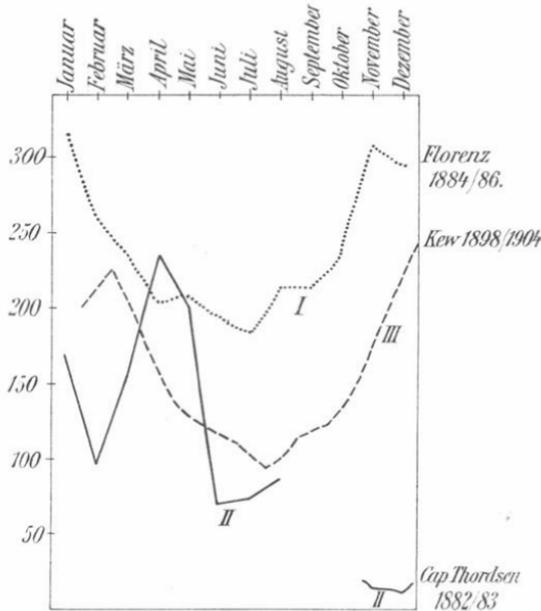


Fig. 17.

dauernden Beobachtungen das Januarmittel für Karasjok zu 200 Volt/Meter, die einzelnen Wochenmittel aber schwanken in diesem Monat zwischen 100 und 240 Volt/Meter. Ein Ausschluß der gestörten Tage war im Winter in Karasjok allerdings gar nicht durchzuführen. Im Juli und August weichen dagegen die Wochenmittel nur um je 5 Volt nach oben und unten vom Monatsmittel ab. Diese ungewöhnliche Konstanz ist durch den Umstand bedingt,

Fig. 17. I. Magrini, *Met. Zt.* **8**, 357, 1891.

II. Hann, *Met. Zt.* **7**, 29, 1890.

III. C. Chree, *Philos. Trans. of the Roy. Soc. Serie A*, **206**, 299, 1906.

daß die Sonne in Karasjok vom 20. Mai bis 22. Juli gar nicht, für den Rest des Sommers nur jeweils kurze Zeit unter den Horizont tritt. Auch in unseren Gegenden tritt die Konstanz des Potentialgefälles in den Sommermonaten, wenn auch nicht in dem hohen Grade, wie dieses in den Polargegenden der Fall ist, deutlich hervor. Die Ursache der hohen und schwankenden Winterwerte liegt zum großen Teil in Störungen durch Nebel und Dunstbildung am Boden, die gar nicht ausgeschlossen werden können, da es „normale“ Tage im Winter gar nicht gibt.

Auch von Jahr zu Jahr sind die Mittel besonders der Wintermonate starken Änderungen unterworfen. In Kew schwankten z. B. bei ausschließlicher Berücksichtigung der ungestörten Tage im Laufe von 7 Jahren die Januarmittel zwischen 162 und 238, die Julimittel dagegen zwischen 86 und 117. Die Amplitude betrug also im ersten Fall 62 Proz., im letzten 32 Proz. des Mittelwertes. Die Amplitude der Schwankungen der Jahresmittel beträgt dagegen nur noch 24 Proz. Das Jahresmaximum fällt in der Regel in den Dezember, nur einmal im Laufe von 7 Jahren in den November und einmal in den Februar. Das Minimum kann dagegen, wie dieses auch das Maximum der Zerstreuung tut, auf jeden der 5 Monate Mai—September fallen.

Der Oktober zeigt schon an allen Orten, deren Jahreskurven in den beiden Figuren dargestellt sind, das Verhältnis der Wintermonate. Der Mai kann überall, der April an den meisten Orten zu den Sommermonaten gezählt werden<sup>1)</sup>.

Wie die Kurve für das allerdings durch mildes Klima ausgezeichnete Florenz zeigt, bringt auch die Berücksichtigung der gestörten Tage keine wesentliche Änderung in dem jährlichen Gang des Potentialgefälles hervor. Dasselbe ist im allgemeinen dem der Zerstreuung entgegengesetzt, ohne daß sich jedoch diese Beziehung auch in allen Einzelheiten ausspricht.

Ganz unregelmäßig ist unter den dargestellten nur die Kurve von Kap Thorsden. Das Maximum des Potentialgefälles fällt dort in den April. Angesichts des Umstandes, daß dasselbe der Fall ist in Sodankylä (Finnland 68° n. B.)<sup>2)</sup> könnte man zunächst hierin eine Eigentümlichkeit nordischer Gegenden sehen. Wenn man aber weiter bemerkt, daß in einem der beiden Jahre, in denen an dem

1) Vgl. A. Gockel, Met. Zt. 14, 231, 1897.

2) Lemström et Biése, Exploration internationale des régions polaires. Expédition Polaire Finlandaise Tome 3. Helsingfors 1898.

letzteren Orte beobachtet wurde, das Aprilmittel 100,9 und im andern 42,5, das Augustmittel aber in dem einen Jahre 50,3 in dem andern 1,0 war, so sieht man, daß in diesem Klima, besonders wenn, wie es in den beiden Orten der Fall war, die gestörten Tage nicht ausgeschlossen werden, die Schwankungen von Jahr zu Jahr außerordentlich groß sind, und daß sich aus den kurzen Versuchsreihen nur der Schluß ziehen läßt, daß im allgemeinen die Werte des Potentialgefälles in der warmen Jahreszeit niedriger sind als in der kalten. In Batavia, wo die Sonne zweimal im Jahre senkrecht steht, können die Maxima bald in den Herbst, bald in das Frühjahr fallen. Weil infolgedessen bei der Mittelbildung Kurven entstehen, die den reellen Gang nicht wiedergeben, habe ich die Kurve in den Fig. 16 und 17 nicht angeführt.

Die Amplitude der Jahresschwankungen selbst läßt sich, da von den meisten Orten nur kurze Beobachtungsreihen vorliegen, nicht mit genügender Sicherheit bestimmen. Bemerkenswert aber ist, daß sie überall ungefähr von derselben Größenordnung ist.

Kap Thordsen . . . . .	200	Proz. (gestörte Tage).
Karasjok . . . . .	80	„
Kew . . . . .	91	„
Wolfenbüttel . . . . .	166	„
Kremsmünster . . . . .	82	„
Perpignan . . . . .	47	„
Florenz . . . . .	57	„
Melbourne . . . . .	52	„
Batavia . . . . .	47	„

Man sieht die Schwankungen nehmen von den Polen nach den Tropen zu ab, erreichen aber auch in dem so konstanten Klima von Batavia noch den Betrag von zirka 50 Proz. Die bedeutenden Unterschiede zwischen Wolfenbüttel einerseits, Kew und Kremsmünster andererseits mögen in den strengeren Wintern Wolfenbüttels und der ungleichen Auffassung des Begriffes gestörte Tage begründet sein.

**9. Der tägliche Gang des Potentialgefälles.** Wie schon Exner feststellen konnte, trägt die tägliche Periode des Potentialgefälles einen ausgesprochen lokalen Charakter. An windstillen wolkenfreien Tagen stimmen zwar, wie schon früher Elster und Geitel in Wolfenbüttel und Chree in Kew nachgewiesen haben, die Schwankungen des Potentialgefälles an frei gelegenen Stationen, die

nicht mehr als 100 m voneinander entfernt sind, gut überein. Dagegen ist eine solche Übereinstimmung für weiter voneinander entfernte Orte nicht mehr vorhanden. Das Verhältnis, der an ungestörten heiteren Tagen (normale nach Exner) zu Meiningen und dem 70 km entfernten Bamberg gleichzeitig erhaltenen Werte schwankt selbst in den Mittagsstunden, wo die später zu besprechenden lokalen Störungen durch Taubildung ausgeschlossen sind, zwischen 1,1 und 3,8. An den beiden, ungefähr 100 km voneinander entfernten Stationen der finnischen Polarexpedition, Kultala und Sodankylä, zeigte das Potentialgefälle einen übereinstimmenden Gang an solchen Tagen, an denen es an keinem der beiden Stationen starke Schwankungen aufwies. Traten solche ein, so konnte der Gang auf der einen gerade entgegengesetzt dem auf der anderen werden. Das Vorzeichen war aber in der Regel auf beiden Stationen dasselbe. Selbst Stationen, die nur  $1\frac{1}{2}$  km voneinander entfernt sind, zeigen, wie aus den Potsdamer Registrierungen<sup>1)</sup> hervorgeht, auch an niederschlagsfreien Tagen, in Einzelheiten Unterschiede, wenn sie auch im allgemeinen einen ähnlichen Gang aufweisen.

Schon diese Verschiedenheit des Ganges an nahe gelegenen Orten läßt erkennen, daß die tägliche Periode des Potentialgefälles bedingt sein muß durch Vorgänge, die sich in der unmittelbaren Nachbarschaft des Bodens abspielen. Den strengen Beweis für die Richtigkeit dieser Auffassung hat Chauveau<sup>2)</sup> erbracht, indem er zeigte, daß der tägliche Gang des Potentialgefälles auf dem Eiffelturm ein einfacherer ist, als auf dem Pariser Observatorium. Auf Bergspitzen ist die Amplitude der täglichen Schwankungen nur noch sehr gering.

Aus früher Gesagtem ergibt sich, daß der tägliche Gang des Potentialgefälles im Winter ein anderer ist als im Sommer, und zwar tragen trotz der großen unregelmäßigen Schwankungen im Winter die periodischen Veränderungen in dieser Jahreszeit einen einfacheren Charakter.

In den in Fig. 18 wiedergegebenen Kurven für Kew können wir deutlich den Winter- und Sommertypus unterscheiden. Der erstere ist der einfachere, der letztere ist gekennzeichnet durch die tiefere Einsenkung der Kurven über Mittag. Es entsteht so

1) K. Kähler, Meteor. Zt. 25, 155 u. 289, 1908.

2) A. B. Chauveau, Recherches etc. 2 Mémoire.

aus der einfachen täglichen Welle mit einem Maximum gegen 9 a und einem Minimum 4 a eine Doppelwelle, welche noch ein sekundäres Minimum gegen 2 p und ein sekundäres Maximum gegen 7 p besitzt. Die gesondert wiedergegebene Dezemberkurve (Fig. 19), zeigt schon fast vollständig die einfache Welle. Die Beobachtungen an anderen Orten, z. B. Kremsmünster führen zu demselben Resultat. Zerlegt man die Kurven mit Hilfe der harmonischen Analyse, wie dieses Chree sowohl als Zölss ausgeführt haben, so ergibt sich folgendes: Im Winter überwiegt, wie dieses schon der Anblick der Kurven lehrt, bedeutend die Amplitude der einfachen Welle, im Sommer kommen sich dagegen die Amplituden der beiden Wellen fast gleich, und zwar deshalb, weil die Amplitude der einfachen Welle entsprechend der allgemeinen Erniedrigung des Potentialgefälles im Sommer kleiner wird, während die der doppelten Welle während des ganzen Jahres ihrem absoluten Werte nach ziemlich konstant bleibt, relativ also im Sommer zunimmt.

Noch vollständiger als in unseren Breiten im Winter verschwindet das mittägige Minimum selbst im Sommer in den nördlichen Gegenden, wie die Kurve der Stundenmittel von Kap Thorsden für die Monate Juni—August zeigt (Fig. 20). Ebenso verhält sich die Kurve von Sodankylä. In Biscra dagegen, wo Verfasser im April aber bei Mittagstemperaturen von 25—30° Messungen vornahm, tritt die erwartete Depression der Mittagswerte nicht ein; nach einem starken Ansteigen des Potentialgefälles zur Zeit des Sonnenaufganges (Fig. 19) blieb dasselbe während des ganzen Tages ziemlich konstant, um erst gegen 5 p auf ein Minimum herunter zu sinken und sich dann sofort wieder zu höheren Werten zu erheben. Die Ursache liegt offenbar in den unter Tags wehenden starken Winden, die aus noch nicht aufgeklärter Ursache, wie der Augenschein zeigte, eine Erhöhung des Potentialgefälles mit sich brachten. Umgekehrt ist in Batavia auch im Jahresmittel (Ausschluß der Regentage) die mittägige Depression stark ausgeprägt (Fig. 20). In Paris zeigte sich im Bureau central innerhalb der Stadt die mittägige Depression im Sommer deutlich, im Winter nur noch schwach ausgeprägt. Auf dem Eiffelturm dagegen (Fig. 22) erhalten wir auch im Sommer eine Kurve von winterlichem Typus, d. h. eine einfache Welle. Die mittägige Depression stellte sich aber auch auf dem Turm wieder deutlich ein, wenn die Röhre des Wasserstrahlkollektors so weit verkürzt wurde, daß der Auflösungspunkt des Strahles nicht wie bei Kurve *a*

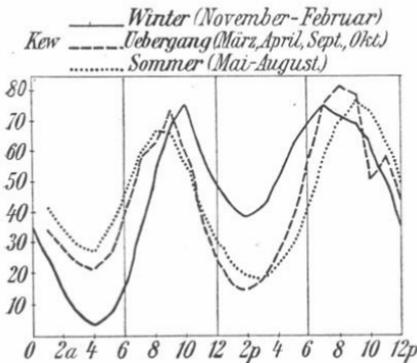


Fig. 18.

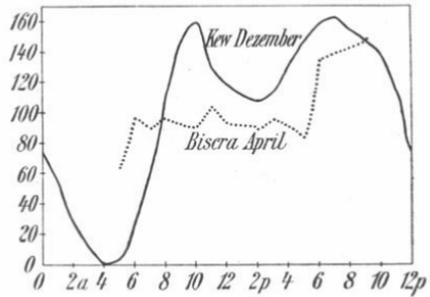


Fig. 19.

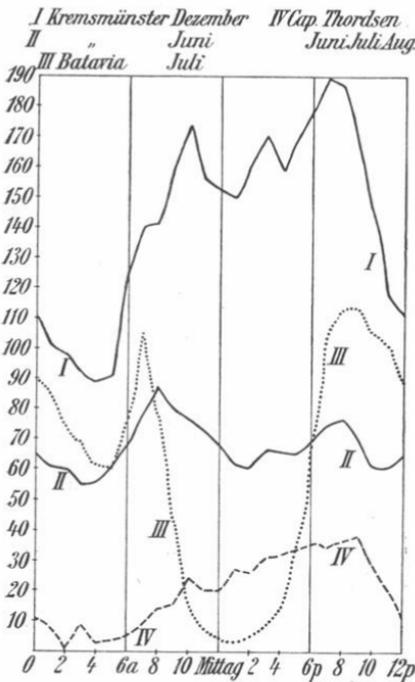


Fig. 20.

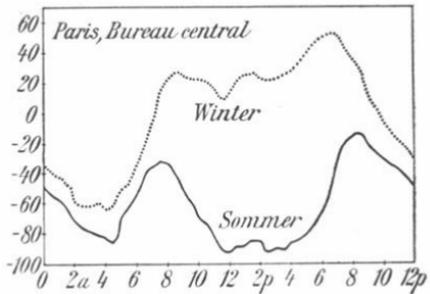


Fig. 21.

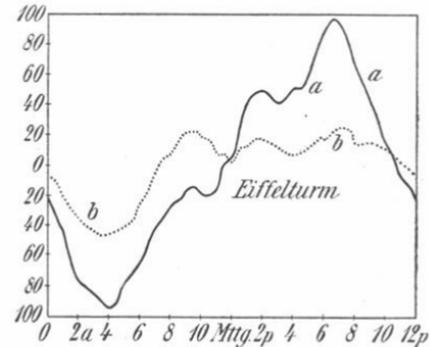


Fig. 22.

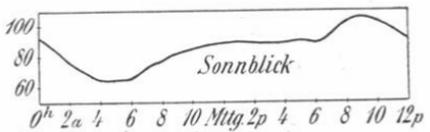


Fig. 23.

170 cm, sondern nur noch 35 cm von der Wand des Turmes entfernt war. (Fig. 22 Kurve b.) Der Vergleich der beiden Kurven vom Eiffelturm unter sich und mit denen vom Bureau central zeigt deutlich, daß die mittägige Verringerung des Potentialgefälles die Wirkung einer von der Oberfläche ausgehenden Störung ist. Sie fällt weg in der kalten Jahreszeit und in kalten Ländern, bleibt dagegen in den Tropen (Batavia) während des ganzen Jahres bestehen. Die Höhen, innerhalb welcher die vom Boden ausgehende Störung sich geltend macht, ist sogar eine sehr geringfügige. Schon auf einem 20 m hohen Pfeiler des Observatoriums von Trappes zeigt nach Chauveau die tägliche Schwankung des Potentialgefälles eine viel größere Ähnlichkeit mit der auf dem Eiffelturm als mit der im Bureau central erhaltenen. Die mittägige Depression kann auch im Sommer in der nächsten Nähe des Bodens dort verschwinden, wo üppige Vegetation die Staubentwicklung unmöglich macht. Sie ist in Colombo fast Null, dagegen noch sehr beträchtlich in dem klimatisch ähnlich gelegenen Batavia, auch in dem in der Nähe von Wäldern gelegenen Kremsmünster kleiner als in dem im offenen Land gelegenen Wolfenbüttel.

In Rocca di Papa (700 m) hat Cancani nur die einfache Kurve beobachtet, während in dem nahe gelegenen Rom selbst im Winter die Schwankung eine doppelte ist. In Ägypten fand Exner<sup>1)</sup> in der Wüste (Luxor) die mittägige Depression stark ausgeprägt, während 150 m höher am Rande der das Niltal begrenzenden Gebirge Mache<sup>2)</sup> in derselben Jahreszeit die doppelte Welle schon außerordentlich abgeflacht fand. Während unten die Extreme zwischen 50 und 300 Volt/Meter schwankten, war oben die Grenze 110 und 160. Einen Überblick über das im vorstehenden Gesagte gibt die nachstehende, größtenteils nach den Berechnungen Chauveaus zusammengestellte Tabelle. Sie gibt die Amplitude der täglichen und nächtlichen Schwankungen, in Prozenten des betreffenden Mittelwertes an. Es ist dabei die tägliche Schwankung berechnet als Differenz zwischen dem Abendmaximum und dem Minimum des Mittages, die nächtliche Schwankung als Differenz zwischen dem Abendmaximum und Minimum des frühen Morgens.

1) Fr. Exner, Wien. Ber. 108, 371, 1899.

2) H. Mache, Wien. Ber. 109, 655, 1900.

Ort	Periode	Tages-Amplitude		Nacht-Amplitude	
		Winter	Sommer	Winter	Sommer
Lissabon . . . .	1884/87	28	41	87	69
Perpignan . . . .	1885/95	39	38	67	46
Paris B. c. . . .	1894/99	21	57	56	50
„ Eifelturm . . .	1893	—	—	—	48
Kew . . . . .	1898—1904	18	52	36	44
Batavia . . . . .	1895/96	Jahr	113	—	54
Kremsmünster . .	1902/03	34	45	150	84

Die Ursache der in der Nähe des Bodens, vorzüglich aber in warmen und trockenen Gegenden auftretenden mittägigen Depression des Potentialgefälles, sucht Exner <sup>1)</sup> in der Bildung einer die ultravioletten Sonnenstrahlen und die Ionen absorbierenden Staubschicht, deren Existenz er durch Strahlungsmessung nachweisen konnte. Wo die mittägige Depression der Strahlung fehlt, ist auch die Periode des Potentialgefälles nur eine einfache. Aus dem Umstande, daß auch an warmen, aber feuchten und vegetationsreichen Orten, wie Colombo auf Ceylon und St. Gilgen am Wolfgangsee (Salzburg), die Depression der Strahlung sowohl als die des Potentialgefälles ausbleiben, zieht Exner den Schluß, daß die Ursache der gleichzeitigen Verminderung der Strahlung und des Potentialgefälles sehr feiner Staub ist, der vom trockenen Erdboden durch den um die Mittagszeit entstehenden warmen Luftstrom aufwärts geführt wird. Dieser Staub könnte die Erzeugung positiver Ionen vermindern oder die Absorption und Molisierung derselben vermehren. In Wirklichkeit werden wir uns den Vorgang wohl etwas anders zu denken haben. Die Ionisation als Ganzes nimmt gegen Mittag in der Regel gar nicht ab, sondern zu. Die Zahl der positiven Ionen vermindert sich nur relativ gegenüber der der negativen. Wir sind also zu der Annahme gezwungen, daß sich über unseren Apparaten infolge der Staubentwicklung eine Absorptionsschicht bildet, an deren unterem Rande die von der Erde wegwandernden negativen Ionen stecken bleiben. So erklärt sich einfach das Überwiegen negativer Ionen um die Mittagszeit.

Der tägliche Gang des Potentialgefälles würde sich also

1) Fr. Exner, Wien. Ber. **110**, 371, 1901.

folgendermaßen erklären: während der Nacht findet eine Einwanderung positiver Ionen nach dem Erdboden hin und damit eine Erniedrigung des Potentialgefälles statt. Dasselbe erreicht sein Minimum gegen 4 a gleichzeitig mit dem Luft- und Dampfdruck. Etwa von der Zeit des Sonnenaufgangs ab entweichen die am Boden angesammelten positiven Ionen ebenso wie der Wasserdampf in die Höhe. Auch die sich meistens nach Sonnenaufgang, besonders im Herbst, in der Nähe des Erdbodens bildende Absorptionsschicht bewirkt, daß sich über unseren Apparaten positive Ionen in größerer Menge ansammeln. So haben wir dann gegen 9 Uhr ein Maximum des Potentialgefälles. Mit dem Einsetzen des aufsteigenden Luftstromes zerstreut sich die Absorptionsschicht, und das Potentialgefälle sinkt etwas, dieses Sinken kann verstärkt werden durch die Bildung einer Absorptionsschicht oberhalb des Kollektors. Bildet sich eine solche Schicht nicht, oder löst sich dieselbe wieder auf, so steigt das Potentialgefälle weiter, bis am Abend der Konvektionsstrom, welcher positive Ionen in die Höhe führt, erlischt. Von da an überwiegt der Leitungsstrom und soweit nicht die Bildung von Dunstschichten am Boden Änderungen herbeiführt, sinkt das Potentialgefälle.

Smirnow <sup>1)</sup> glaubt das Minimum des Potentialgefälles in der Morgenfrühe durch die Ansammlung positiver Ionen unmittelbar am Boden, also unterhalb des Kollektors erklären zu können. Mir scheint diese Erklärung mit der Tatsache in Widerspruch zu stehen, daß, wie die Messungen mit den Aspirationsapparaten zeigen, gleichzeitig in der Umgebung des Kollektors sich ein Überschuß negativer Ionen bildet.

Die im vorstehenden in großen Zügen dargelegte tägliche Schwankung des Potentialgefälles kann im einzelnen manche Abweichung erleiden. Selten stimmen auch an heiteren Sommertagen die Kurven zweier Tage vollständig überein.

An heiteren Herbst- und Frühlingstagen bemerkt man häufig bei Messungen auf freiem Felde, daß am Morgen in dem Augenblick, in dem die ersten Sonnenstrahlen den Beobachtungsplatz erreichen, das Potentialgefälle plötzlich ansteigt, um seine Höhe für die nächste Stunde beizubehalten. Die Ursache der Erscheinung ist das, schon oben S. 39 besprochene Ausfällen negativer Ionen durch eine sich bildende Dunstschicht. Ähnliches tritt auch

---

1) D. Smirnow, Phys. Zt. 9, 337, 1908.

am Abend auf und zwar manchmal gerade im Moment, in dem die Sonne für den Beobachter verschwindet. Kircher hat in Meinungen einigemal auch ein plötzliches Zurückgehen der Elektroskopblättchen im Augenblicke des Sonnenunterganges bemerkt. Ob hier eine stärkere Absorption positiver Ionen eingetreten ist, ist schwer zu sagen. In der Regel wird wenigstens nach Sonnenuntergang infolge der Absorption negativer Ionen ein Ansteigen des Potentialgefälles bemerkt. Stark ausgebildet fand Exner <sup>1)</sup> die beiden mit dem Sonnenauf- und -Untergang verknüpften rasch verlaufenden Maxima (Sprungmaxima) des Potentialgefälles, in St. Gilgen am Wolfgangsee. Die Enge des Tales, in dem der See liegt, mag hier die Bildung stagnierender Absorptionsschichten begünstigen.

Daß auf Berggipfeln die tägliche Periode des Potentialgefälles eine einfachere wird, hatten schon die ersten Messungen gezeigt, die Exner (l. c.) auf dem Schafberg (Salzburg) anstellte. Auf Veranlassung Elsters und Geitels <sup>2)</sup> unternahm dann der Beobachter auf dem Sonnblick eine längere Messungsreihe. Wenn dieselbe nun auch von einer in elektrischen Messungen nicht besonders bewanderten Persönlichkeit ausgeführt wurde, läßt sich aus ihr doch das Resultat ableiten, daß nicht nur die tägliche, sondern auch die jährliche Periode bei heiterem Himmel in der Höhe von 3000 m weit geringer ist als im Tieflande. Einige Messungen auf dem Dodabetta <sup>3)</sup> (in den Neilgherries in Indien) bestätigten die Beobachtungen vom Sonnblick. Aus dem Umstand, daß die täglichen und jährlichen Wellen des Potentialgefälles in der Höhe nicht nur eine einfache Form, sondern auch eine weitaus geringere Amplitude erhalten, ließ sich der wichtige Schluß ziehen, daß die elektrischen Massen, deren Veränderlichkeit die periodischen Schwankungen des Potentialgefälles im Tiefland hervorrufen, unterhalb des Niveaus von 3000 m liegen. Dieser Schluß ist durch die S. 86 besprochenen Resultate der Ballonfahrten bestätigt worden. Aus dem Satze, daß die Massen, welche die regelmäßigen Schwankungen des Potentialgefälles hervorbringen, in den tieferen Schichten der Atmosphäre liegen, folgt dann von selbst, daß die Ursache dieser Schwankungen nicht kosmischer Natur sein kann.

1) Fr. Exner, Wien. Ber. **97**, 277, 1889.

2) Elster und Geitel, Wien. Ber. **102**, 1295, 1893 u. **104**, 37, 1895.

3) M. Smith, Trans. of the Roy. Soc. of Edinburgh, **32**, 583; Met. Zt. **5**, 451, 1888.

Über längere Zeit sich erstreckende Registrierungen des Potentialgefälles auf dem Sonnblickgipfel haben Conrad und Exner <sup>1)</sup> im Sommer 1902 unternommen. Die Kurve, welche den mittleren Gang für 19 schöne Tage wiedergibt, ist in Fig. 23 (S. 101) dargestellt. Mit Hilfe der harmonischen Analyse haben die genannten Forscher dieselbe in eine gantztägige und eine halbtägige zerlegt. Die einfache Welle hat danach ihr Maximum 6<sup>h</sup> 30 p, ihr Minimum 6<sup>h</sup> 30 a, die doppelte ihre Maxima 10<sup>h</sup> 30 a und 10<sup>h</sup> 30 p, ihre Minima 4<sup>h</sup> 30 a und 4<sup>h</sup> 30 p; die Amplituden der beiden Kurven sollen sich verhalten wie 14:9. Die Amplitude der doppelten Welle soll also im Gegensatz zu dem bisher Gesagten von relativ recht beträchtlicher Größe sein. Es scheint indessen, daß die Zerlegung nur einen rechnerischen Wert hat, und daß den beiden berechneten Wellen keine reelle Existenz zukommt. Schon der Umstand, daß, wenn man die Periode von 19 Tagen, während welcher beobachtet wurde, in 2 Abschnitte von 10 resp. 9 Tage zerlegt, 2 voneinander ziemlich verschiedene Kurven resultieren, läßt erkennen, daß für die Darstellung der wahren Schwankungen die 19 Beobachtungstage noch nicht genügen, und mahnt deshalb zur Vorsicht. Es wäre möglich, daß fortgesetzte Beobachtungen einen glatteren Verlauf der Kurve ergeben. Andererseits fand aber auch der Verfasser am Schwarzsee oberhalb Zermatt in 2600 m Höhe einen Verlauf des Potentialgefälles ähnlich dem in Fig. 20, Kurve II, dargestellten. Die Amplituden der täglichen Schwankungen sind in Kremsmünster und Sonnblick gleich, nämlich 48 resp. 50 Proz.; dagegen ist die der jährlichen Schwankungen, wie bemerkt, auf dem Berg bedeutend geringer als in der Ebene. Le Cadet <sup>2)</sup> kommt auf Grund von Registrierungen und direkten Messungen, die sich allerdings nur über 2 schöne Septembertage erstrecken, zu dem Resultat, daß die tägliche Schwankung des elektrischen Feldes auf dem Gipfel des Montblanc nur eine einfache Welle ist mit einem Minimum zwischen 3 und 4 a und einem Maximum zwischen 3 und 4 p. Das Maximum korrespondiert mit einem Ansteigen sowohl des Zerstreungskoeffizienten  $\alpha$  als auch des Verhältnisses  $q$ , d. h. einer absoluten und relativen Vermehrung der Zahl der positiven Ionen. Die starke Amplitude der täglichen Schwankungen an diesen Tagen (140 Proz.) sowie den in Anbetracht der Flachheit

1) V. Conrad u. M. F. Exner, Wien. Ber. 112, 413, 1903.

2) In der S. 55 zitierten Arbeit.

des Gipfels sehr hohen Wert des Potentialgefälles (im Mittel 500 Volt/Meter) setzt Le Cadet auf Rechnung des Umstandes, daß an jenen Tagen die allgemeine Wetterlage aufsteigende Luftströme begünstigte. Solche mußten positiv elektrische Massen aus den tieferen Schichten der Atmosphäre heraufbringen. Der Montblanc läge demnach schon über dem Niveau, in dem die Hauptmasse der positiven Ionen sich befindet. Während in der Tiefe absteigende Luftströme den Überschuß positiver Ionen vermehren, vermindern sie ihn schon in der Höhe von 5000 m und umgekehrt. Es ist bemerkenswert, daß die Vermehrung der positiven Ionen auf dem Montblanc eintritt, wenige Stunden nachdem  $Q$  in der Tiefe sein Maximum erreicht hat.

**10. Potentialgefälle und Ionisation.** Die vorstehenden Betrachtungen zeigen, daß zwischen dem Potentialgefälle und der Ionisation, speziell dem Wert von  $Q$ , wie auch von vornherein zu erwarten war, ein inniger Zusammenhang besteht. Im großen und ganzen ist der Gang des Potentialgefälles der entgegengesetzte von dem der Leitfähigkeit. Dieses Verhältnis kommt besonders in dem jährlichen Gang der beiden Faktoren zum Ausdruck, zeigt sich aber auch in den örtlichen Verschiedenheiten. Im einzelnen allerdings ist das Verhältnis der beiden Faktoren durchaus nicht immer das nach der angegebenen Regel erwartete. Vor allem ist die tägliche Schwankung des Potentialgefälles derjenigen der Leitfähigkeit eher parallel als entgegengesetzt, dagegen zeigt sich der Zusammenhang des Potentialgefälles mit  $Q$  auch in der täglichen Periode, die beiden Kurven laufen fast parallel<sup>1)</sup>. Entsprechend dem oben über den Gang des Potentialgefälles auf Bergen Gesagten ist auch die Schwankung der Werte  $q$  und  $Q$  auf Bergen eine einfachere. Auf dem Briener Rothorn beobachtete der Verfasser niedere Werte in der Morgenfrühe und dann ein flaches über den größten Teil des Tages sich erstreckendes Maximum. Der Zusammenhang zwischen  $Q$  und dem Potentialgefälle tritt besonders auffällig hervor, wenn  $Q$  infolge des Ausfällens negativer Ionen durch sich bildenden Tau oder Nebel plötzlich wächst. Man beobachtet dann in demselben Moment auch ein Anwachsen des Potentialgefälles. Ebenso deutlich ergibt sich dieser Zusammenhang im Gebirge und bei Ballonfahrten an

1) A. Gockel, Phys. Zt. 4, 871, 1903 u. P. B. Zölss, Wien. Ber. 114, 197, 1905.

der oberen und unteren Grenze von Kondensationsschichten. Ferner ist eine Übereinstimmung zwischen beiden Größen auch stets insofern vorhanden, als dem Überwiegen negativer Ionen innerhalb oder in der Umgebung eines Regengebietes ein negatives Potentialgefälle entspricht. Im einzelnen müssen indessen Abweichungen vorhanden sein. Das Potentialgefälle ist nicht ausschließlich durch die Verteilung der elektrischen Massen am Orte der Beobachtung bedingt, und zweitens mißt  $Q$  auch nicht das Verhältnis der überhaupt vorhandenen Massen, sondern nur das der kleinen Ionen, drittens ist für das Potentialgefälle überhaupt nicht das Verhältnis der positiven und negativen Massen, sondern der Überschuß der einen über die andern, d. h. die freien räumlichen Ladungen maßgebend. Es wird sich daher empfehlen, bei Ionenmessungen nicht  $Q$  das Verhältnis von  $I_+/I_-$  sondern die Differenz  $I_+ - I_-$ , eine Größe, welche wir nach dem Vorschlag von Ebert mit  $E$  bezeichnen wollen, zu berechnen. Dieses  $E$  sollte nicht nur für die kleinen, sondern auch für die schweren Ionen bestimmt werden. Dieser Weg ist aber umständlich und zeitraubend. Rascher könnte man in jedem Augenblick die in der Volumeneinheit vorhandenen freien räumlichen Ladungen bestimmen, wenn man nach einem Vorschlag von Mascart <sup>1)</sup> das Potential innerhalb eines zur Erde abgeleiteten Gitters mißt. Chauveau und Mache haben, wie erwähnt, diesen Weg beschritten (siehe S. 46), um wenigstens bei Gewittern die freien räumlichen Ladungen zu bestimmen. Bei normaler Witterung aber sind, wenn man nicht auf exponierten Punkten (Eiffelturm, Bergspitzen) mißt, die beobachteten Potentiale zu klein, um sie bequem messend verfolgen zu können.

Einen anderen Weg zum Nachweis der freien räumlichen Ladungen hat, wie S. 66 angegeben, Dauderer beschritten. Nach der Poissonschen Gleichung ist die räumliche Ladung

$$\rho = -\frac{1}{4\pi} \times \frac{d^2V}{dh^2},$$

wo  $d^2V/dh^2$  die Abnahme des Potentialfalles mit der Höhe bedeutet. Indem Dauderer die Potentialdifferenz zwischen dem Boden und einem 1 m und möglichst gleichzeitig auch dieselbe Differenz zwischen Boden und einem 2 m senkrecht darüber gelegenen Punkte maß, erhielt er für die untersten Schichten  $d^2V/dh^2$  und damit auch  $\rho$ .

1) E. Mascart, C. R. 95, 917, 1882.

Wegen der früher erwähnten Schwierigkeit, die Lage der Niveaufläche, auf deren Potential sich die Kollektoren laden, genau zu bestimmen, erforderte die Messung besondere Vorsichtsmaßregeln, wegen deren auf die Originalabhandlung verwiesen wird. Die Werte von  $\rho$ , die sich aus diesen Messungen ergaben, waren unerwartet groß. Während  $E$ , der Überschub kleiner Ionen einer Art, selten höher als  $\pm 0,2$  gefunden wird, ist auf der bayrischen Hochebene  $\rho$  im Sommer und Herbst im Mittel aus 486 Einzelmessungen gleich  $0,630$  E. S. E. Fast derselbe Wert,  $0,616$ , ergab sich für die Zeit von Mitte März bis Ende Juni. In den Wintermonaten war  $\rho$  im Mittel negativ; für die Zeit von Anfang Januar bis Mitte März wurde als Mittelwert  $-0,577$  gefunden. Unter den 768 Einzelmessungen, aus denen dieser Wert berechnet wurde, fanden sich 651, welche ein negatives  $\rho$  ergaben, während in der späteren Jahreszeit negative Werte fast gar nicht beobachtet wurden. Daß die Werte von  $\rho$  viel größer sind als die Werte von  $E$ , beweist wieder, daß ein sehr beträchtlicher Teil der vorkommenden Ladungen an die schweren Ionen gebunden ist. Eine Abhängigkeit des Wertes  $d^2V/dh^2$  von  $dV/dh$  ergibt sich nur insofern, als hohe Werte des Gefälles meistens mit niedrigem oder stark negativem Werte von  $\rho$  verbunden sind und umgekehrt. Im allgemeinen steigt  $\rho$  mit der Temperatur.

Solche Messungen gleichzeitig in verschiedenen Höhen ausgeführt, würden unsere Kenntnisse über die Art des Transportes der elektrischen Massen in der Atmosphäre wesentlich bereichern. Empfehlen würde es sich, dabei die Potentialdifferenzen durch ein für Differentialschaltung verwendbares Saitenelektrometer zu messen.

Die Messungen Dauderers verdienen auch Beachtung für die Praxis der Potentialgefällmessungen. Schon früher hatte Verfasser darauf hingewiesen, daß das übliche Verfahren die Höhe des Kollektors so zu wählen, daß ein passender Ausschlag im Elektrometer resultiert, und dann das Gefälle pro Meter aus der wirklich angewandten Höhendifferenz zu berechnen, unter der Annahme, daß Höhe und Potential proportional sind, zu unrichtigen Werten führt, da häufig das Gefälle in den dem Boden unmittelbar anliegenden Schichten ein ganz anderes sei als in 1 oder 2 m Höhe. Er empfahl, um vergleichbare Werte zu erhalten, den Kollektor stets in derselben Höhe anzubringen. Dauderers Versuche haben gezeigt, daß faktisch die Proportionalität zwischen Höhen- und Potentialdifferenz nur ausnahmsweise vorhanden ist. Sie zeigen ferner,

daß ein konstanter Faktor für die Reduktion von Messungen die in der Nähe der Wand eines Gebäudes gemacht wurden, auf das freie Feld nicht existieren kann. Wegen der Veränderlichkeit von  $d^2 V/dh^2$  muß der Reduktionsfaktor zum mindesten für jede Wetterlage eigens bestimmt werden. Eine Unsicherheit haftet den Reduktionen auch dann noch an. Zölss fand einmal für eine Anzahl von Vergleichen den Reduktionsfaktor doppelt so groß, als er im Durchschnitt von 300 Messungen war, er folgerte daraus ganz richtig, daß damals eine Störung in der unmittelbaren Nähe des Erdbodens sich stark bemerkbar machte.

**11. Zusammenhang zwischen Potentialgefälle und meteorologischen Faktoren.** Exner hatte, wie früher bemerkt, seiner Zeit eine Theorie entwickelt, nach welcher das Potentialgefälle mit wachsendem Dampfdruck abnehmen sollte. Er glaubte das Potentialgefälle aus der Formel berechnen zu können  $dV/dh = -\frac{A}{1+Kp}$ , wo  $p$  den Dampfdruck,  $A$  und  $K$  Konstanten bedeuten. Aus etwa 1100 Einzelmessungen berechnete Exner  $A$  zu 1410 Volt/Meter,  $K$  zu 1,15. Wenn sich auch anfänglich das an verschiedenen Orten (Wien, St. Gilgen, Luxor, Bombay) gesammelte Material der Formel gut einfügte, so war das nicht mehr der Fall bei späteren Messungen. Die Abweichungen der beobachteten Potentialgefällwerte von den nach der Exnerschen Formel berechneten liegen hauptsächlich darin, daß den kleinen Dampfdrucken, wie sie in Sibirien und im Winter auch in unseren Breiten vorkommen, Potentialgefälle entsprechen, die viel niedriger sind als die berechneten. Braun (l. c.) hat zuerst die Vermutung ausgesprochen, daß sich hinter der Abhängigkeit des Potentialgefälles vom Dampfdruck eine solche von der Temperatur verberge, da ja der erstere meistens mit der letzteren wächst. Indem er das bei gleichem Dampfdruck gewonnene Material in Temperaturgruppen und umgekehrt das bei derselben Temperatur gewonnene in Dampfdruckgruppen schied, fand er wirklich, daß bei demselben Dampfdruck höheren Werten der Temperatur niedere Werte des Potentialgefälles und umgekehrt entsprechen, während bei derselben Temperatur sich keine Abhängigkeit vom Dampfdruck erkennen ließ. Auch die neueren Beobachtungen lassen erkennen, daß die Temperatur derjenige Faktor ist, der von allen den größten Einfluß auf das Potentialgefälle hat. Bei der Vergleichung von ausgewählt schönen Tagen kommt Chree in Kew zu dem Resultat, daß innerhalb jedes Monats mit Ausnahme des

heißesten, des Juli, mit den tiefsten Temperaturen die höchsten Werte des Potentials und auch gleichzeitig die größten täglichen Amplituden zusammenfallen. Eine eingehende Vergleichung von Temperatur und Potentialgefälle hat Zölss durchgeführt. Um den Einfluß der täglichen Periode auszuschalten, wurden die in der Nacht und bei Tage beobachteten Werte des Potentialgefälles gesondert mit den gleichzeitig gemessenen Temperaturen verglichen. Es ergab sich eine ganz regelmäßige Abnahme des Potentialgefälles mit steigender Temperatur. Den extremsten Temperaturen, die um nahezu  $50^{\circ}$  differieren, entsprechen Werte des Potentialgefälles, die sich wie 3:1 verhalten.

Auch mit wachsender Dauer und Intensität des Sonnenscheines nimmt das Potentialgefälle in der Regel ab. Im einzelnen widersprechen sich aber die Resultate, und es scheint nach den Beobachtungen von Kew, daß der Einfluß des Sonnenscheines nur ein scheinbarer ist, und sich auf den der Temperatur zurückführen läßt. Voraussichtlich ist auch der Einfluß der Temperatur auf das Potentialgefälle nur ein indirekter, bedingt durch die Zunahme der Leitfähigkeit mit wachsender Temperatur.

Von der Bewölkung erweist sich das Potentialgefälle insofern abhängig, als dichte Bewölkung, besonders niedere Stratus- und Nimbuswolken, selbst dann, wenn es am Beobachtungsort nicht zum Regnen kommt, das Potentialgefälle herabdrücken. Exner bemerkt, daß einem raschen Sinken des Potentialgefälles bei anscheinend normalem Wetter noch im Laufe der nächsten 12 Stunden Regen folgt. Verfasser hat diese Beobachtung vielfach bestätigt gefunden. Umkehrbar ist die Regel in keinem Falle. Weder eine heranziehende Wolkenbank noch ein heranziehender Regen bewirken unter allen Umständen ein Sinken des Potentialgefälles. Es kann ferner an Tagen mit Gewitterneigung und starker Entwicklung von Cumulonimbus das Potentialgefälle negativ werden, ohne daß am Beobachtungsort oder in einem Umkreis von mehr als 20 km Niederschläge fallen. Über das Verhalten des Potentialgefälles beim Eintreten der letzteren wird im nächsten Kapitel gesprochen werden. Unter Stratusdecken werden häufig Werte des Potentialgefälles beobachtet, die über dem Mittel der betreffenden Stunde liegen. Einzelne Cumuli und vor allem Cirren können das Potentialgefälle beeinflussen, meistens erhöhen, im Momente, in dem sie den Zenith passieren. Auf das Tagesmittel des Potentialgefälles scheinen Schönwettercumuli und Cirren keinen

Einfluß zu haben, ebenso wenig auf die täglichen Schwankungen des Potentialgefälles. Dagegen drückt eine Cumulusschicht das Potentialgefälle bis zu 40 Proz. des Normalwertes herunter und verwandelt gleichzeitig die doppelte tägliche Welle in eine einfache. Einzelne Nimbus, die am Beobachtungsorte selbst keine Niederschläge erzeugen, ändern an dem täglichen Gang des Potentialgefälles kaum etwas, drücken aber den absoluten Wert herunter, offenbar infolge der negativen Ladung, welche die Niederschläge in der Nachbarschaft des Beobachtungsortes erzeugen. Wenn der Himmel sich rasch mit Ci bedeckt, die nach und nach sich zu einer Ci-S-Decke ausbreiten, so erfolgt Erniedrigung des Potentialgefälles, entsprechend dem oben über die Wahrnehmung Exners Gesagten, und wenn dann diese Cirrostratus durch Alto-Stratus, Cumulo-Stratus allmählich in eine Nimbusdecke übergehen, ist der Verlauf des Potentialgefälles sehr unregelmäßig, hohe positive Werte wechseln mit negativen.

Im Nebel, und auch nach Auflösung einer Nebelschicht werden gewöhnlich sehr hohe Werte des Potentialgefälles beobachtet, die höchsten Werte scheinen sich dann einzustellen, wenn über der Ebene ein feiner Dunst liegt. Ein Einfluß der feinen Dunststreifen, die in manchen Gegenden an schönen Sommermorgen am Gebirge hinziehen, läßt sich in den meisten Fällen nicht nachweisen, wohl aber ist das Potentialgefälle stets hoch, wenn entferntes Gebirge den ganzen Tag über in Dunst eingehüllt bleibt. Es ergibt sich auch aus dem, was über die Leitfähigkeit gesagt wurde, daß mit wachsender Fernsicht das Potentialgefälle abnehmen muß. Braun hat zuerst die Abhängigkeit des Potentialgefälles von der Fernsicht durch Beobachtungen festgestellt. Im Gegensatz zu den dichten Winternebeln, welche durchweg das Potentialgefälle beträchtlich erhöhen, bringen nach Zölss die niedrigen Bodennebel im Spätsommer und Herbst ein ungewöhnlich niedriges Potentialgefälle hervor. Hierbei scheint die Lage des Beobachtungsortes von Einfluß zu sein. Verfasser hat solche niedrige Werte nur bei aufsteigenden Nebeln beobachtet, oder dann, wenn der Nebel in einen feinen Niederschlag (Nebelrieseln) überging.

Ein Einfluß der Windrichtung auf das Potentialgefälle läßt sich im allgemeinen nicht feststellen. Wo derselbe existiert, scheint er rein lokaler Natur zu sein. Auch eine Abhängigkeit des Potentialgefälles von der Windstärke ist nicht sicher gestellt. Wo eine solche zutage tritt, ist sie in den meisten Fällen eine indirekte, verursacht durch das Herannahen einer Cyklone oder Böe oder

das Aufwirbeln von Staub durch den Wind. Direkt scheint dagegen die Wirkung des Föhns zu sein, der wie jede absteigende Luftbewegung positive Ionen herunterbringt und nach des Verfassers Beobachtungen in Freiburg (Schweiz) damit das Potentialgefälle stark erhöht. Im Zusammenhang damit ist auch eine Bemerkung Exners von Interesse, daß an verschiedenen Orten im österreichischen Alpen- resp. Voralpengebiet das Potentialgefälle sich über den normalen Wert erhebt, wenn bei klarem Himmel Südwind weht. Ebenso übt der in der Westschweiz als Bise bekannte NE-Wind nach den Beobachtungen Dufours<sup>1)</sup> eine eigentümliche Wirkung aus. Die stets vorhandenen Schwankungen des Potentialgefälles, die auch bei schönem Wetter 5—10 Proz. des Mittelwertes in wenigen Minuten erreichen können und lokaler Natur zu sein scheinen<sup>2)</sup>, ändern zwar ihre Amplitude nicht, werden aber außerordentlich brüsk. Es scheint, daß jeder Windstoß andere Ionenmassen in die Nähe des

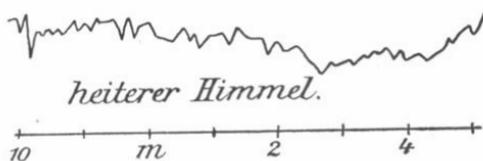


Fig. 24a.

Kollektors bringt. Mazelle hat ähnliche Erscheinungen während des Wehens der Bora in Triest bemerkt. Die Schwankungen, die sich bei dem Herannahen einer Cyklone vollziehen, haben größere Amplituden als die eben besprochenen, sie vollziehen sich aber bedeutend langsamer. In Fig. 24a, b u. c sind einige der von Dufour erhaltenen Kurven wiedergegeben. Da die Spitze einer Flamme auch bei windstillem Wetter niemals vollständig ruhig bleibt, so könnte man versucht sein, die Schwankungen auf Rechnung der Verlagerung der Niveaufläche, auf deren Potential sich der Kollektor ladet, zu setzen. Faktisch treten auch Störungen auf, wenn die Flamme nicht ruhig brennt. Die Registrierungen sind aber durchweg mit Hilfe von Wassertropfkollektoren ausgeführt, und die Stelle, an der sich der Strahl derselben in Tropfen auflöst, ändert sich nur wenig mit der Luftbewegung. Man kann sich auch leicht

1) H. Dufour, Contribution à l'étude de l'électricité atmosphérique. Lausanne 1892.

2) Y. Homma, Beibl. 28, 216, 1904.

überzeugen, daß man dieselben Schwankungen des Potentialgefälles erhält, wenn man einen Druckkollektor, z. B. den von Conrad kon-

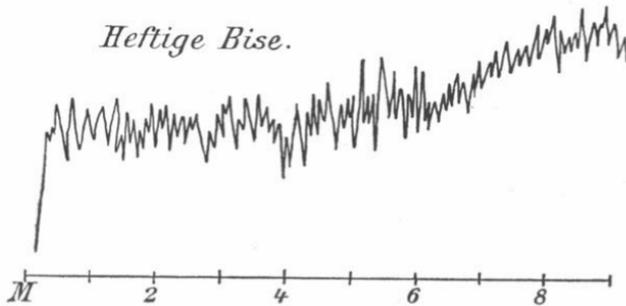


Fig. 24b.

struierten anwendet, bei dem die Auflösungsstelle des Wasserstrahls stets in demselben Niveau bleibt.

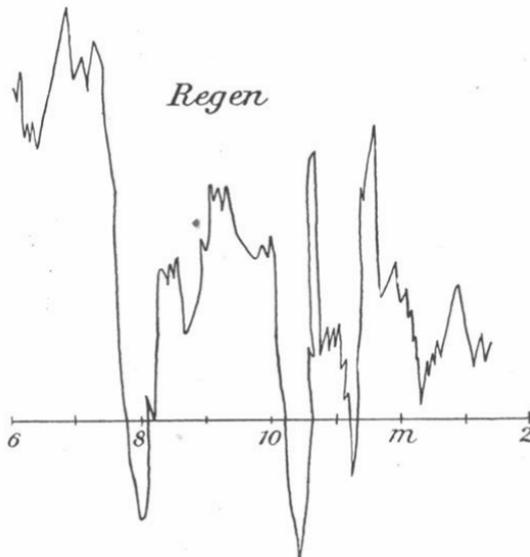


Fig. 24c.

Die Ähnlichkeit der täglichen Welle des Potentialgefälles mit der des Luftdruckes, auf die Hann<sup>1)</sup> zuerst hinwies, hat Veran-

1) I. Hann, Met. Zt. 6, 95, 1889.

lassung gegeben, nach einem Zusammenhang des Potentialgefälles mit dem Luftdruck überhaupt zu suchen. Die bezüglichen Untersuchungen haben aber zu dem Resultate geführt, daß im allgemeinen ein solcher Zusammenhang ebenso wenig wie bei der Leitfähigkeit existiert. Anticyklonales Wetter begünstigt im Winter die Bildung von Dunstschichten in der Nähe des Bodens und damit die Erhöhung des Potentialgefälles, im Sommer befördert es die Strahlung während des Tages und setzt damit das Potentialgefälle herunter. Während des Vorüberganges einer Cyklone ist der Gang des Potentialgefälles ein sehr unregelmäßiger. Eine Abhängigkeit vom Barometergang hat sich, von der täglichen Welle abgesehen, auch nicht nachweisen lassen, wenn auch größere absteigende Luftströme eine Erhöhung des Potentialgefälles begünstigen. Gegen eine Abhängigkeit des Potentialgefälles vom Luftdruck spricht der Umstand, daß der Gang des Potentialgefälles an benachbarten Orten oft beträchtliche Abweichungen aufweist; das beweist, daß zum mindesten die etwaigen Einflüsse des Luftdruckes durch andere Faktoren verdeckt werden.

Ein Vergleich der täglichen Schwankungen des Potentialgefälles und des Luftdruckes führt zu folgenden Resultaten: die doppelten täglichen Wellen der beiden Elemente stimmten gut miteinander überein. Am Vormittag ist der Gang der beiden vollständig parallel, am Nachmittag bleibt das Potentialgefälle etwa um eine Stunde hinter dem Luftdruck in der Bewegung zurück. Eine Abweichung ist in Kew<sup>1)</sup> insofern vorhanden, als in der Kurve des Potentialgefälles das nachmittägige Maximum und das Morgenminimum die Hauptwendepunkte sind, während in der Luftdruckkurve das Nachmittagsminimum und das morgendliche Maximum die Extreme darstellen. Die 12 stündige Welle des Potentialgefälles ist diejenige, deren Wendepunkte sich fast an allen Orten zu derselben Ortszeit einstellen, die Wendepunkte der 24 stündigen Welle wechseln dagegen die Zeit ihres Eintretens von Ort zu Ort. Dasselbe ist auch der Fall mit der Luftdruckwelle. Bekanntlich tritt auch hier die 12 stündige Welle mit großer Regelmäßigkeit ein, die 24 stündige ändert Phase und Amplitude mit Ort und Witterung. Daß zwischen den beiden 24 stündigen Wellen des Potentialgefälles und der des Luftdruckes kaum eine Abhängigkeit existiert, geht auch daraus hervor, daß die ersteren die größte

---

1) Vgl. die eingehende Diskussion von Chree l. c.

Amplitude im Winter, die des Luftdruckes ihre größte Amplitude aber im Sommer besitzt<sup>1)</sup>.

Die Erklärung der doppelten Welle des Potentialgefälles bietet nach dem Gesagten keine Schwierigkeiten. Sie ist eine Folge der auf- und absteigenden Luftströme in den unteren Schichten der Atmosphäre. Anders liegt die Sache mit der gantztägigen Periode. Diese verläuft parallel dem Gang der Temperatur und der Leitfähigkeit. Dieser Zusammenhang kann aber kein direkter sein, denn im allgemeinen nimmt das Potentialgefälle mit zunehmender Temperatur und zunehmender Leitfähigkeit ab. Wir müssen also nach einer Ursache suchen, welche die drei Größen gleichzeitig erhöht. Zunächst kann an eine Wirkung der Erwärmung des Bodens gedacht werden, dagegen spricht der Umstand, daß die gantztägige Welle ihre größte Amplitude im Winter besitzt, wo schon wegen der Schneedecke die Temperatur der oberen Bodenschicht im Laufe des Tages nur geringfügige Änderungen erleidet, es dürfte also als einzige Erklärung der Umstand bleiben, daß mit der Temperatur auch der Konvektionsstrom, welcher das Potentialgefälle verstärkt, wächst (s. S. 121).

**12. Der Einfluß der Gestirne auf das Potentialgefälle.**  
Ekholm und Arrhenius<sup>2)</sup> haben ausgehend von der Erman-Peltierschen Ansicht, daß den Himmelskörpern eine negative Ladung zukomme, aus den kosmogonischen Theorien, die den Mond durch Abtrennung von der Erde entstehen lassen, die Folgerung gezogen, daß auch dem Monde eine negative Ladung zukomme. Eine solche Mondladung muß sich dadurch auf der Erde bemerkbar machen, daß mit der Annäherung des Mondes an den Zenith das Potentialgefälle auf der Erde kleiner wird. Die, jeweils nur auf ungefähr 1 Jahr sich erstreckenden Beobachtungen, vom Kap Thordsen, der französischen Expedition am Kap Horn 1882/83, der finnländischen Expedition 1882/1884 in Sodankylä und solche von Helsingfors von 1890/91 lassen nun allerdings einen solchen Zusammenhang an ungestörten Tagen erkennen, und die genannten Autoren berechneten auf Grund der erhaltenen Zahlen die Mondladung, die sie 1200 mal größer fanden als die der Erde. Indessen sieht Arrhenius die beobachteten Schwankungen des Potentialgefälles zwischen der

1) Dagegen F. H. Bigelow, Studies on the meteorological effects in the United States of the solar and terrestrial physical processes. Washington, Weather Bureau 1903.

2) N. Ekholm u. Arrhenius, Met. Zt. 11, (58), 1894.

unteren und oberen Kulmination des Mondes doch selbst für zu unbedeutend (3—9 Proz.) und unsicher an, dagegen hält er einen Einfluß der Stellung des Mondes zur Erde, wie sie im tropischen Monat zum Ausdruck kommt, für erwiesen. Die Schwankungen sollen an den Polarstationen Kap Horn und Kap Thordsen 80 Proz., in Helsingfors und Pawlosk 20 Proz. und in Perpignan noch 12 Proz. betragen, das Maximum des Potentialgefälles in die Nähe des nördlichen, das Minimum in die des südlichen Lunistitiums fallen.

Braun fand dagegen umgekehrt auf Grund seiner Bamberger Beobachtungen wohl die von Arrhenius behauptete Abhängigkeit des Potentialgefälles von der Zenithdistanz des Mondes, und zwar soll die Schwankung ungefähr 15 Proz. des Potentialgefälles betragen, aber nicht die nach Arrhenius viel größere Abhängigkeit vom Mondstand. Ebenso wenig vermochte er eine Periode des Potentialgefälles während eines anomalistischen Monats zu erkennen. Dagegen ergab sich wieder ein Einfluß der Mondphasen. Das Gefälle hatte ein Maximum zur Zeit des Vollmondes, ein Minimum zu der des Neumondes. Aus dieser Beobachtung würde folgern, daß wenn der Mond eine negative Ladung hat, eine solche auch der Sonne zukommen muß, sie beweist aber nichts für die Mondladung, da die Beeinflussung der Wirkung der allenfallsigen negativen Sonnenladung auch beim Fehlen einer eigenen Mondladung zustande kommen muß.

Zölss, der ebenso wie Braun, aber im Gegensatz zu Arrhenius und Ekholm, nur die ungestörten Tage berücksichtigte, fand auf Grund der umfangreichen Kremsmünsterer Beobachtungen — es wurden 3035 Stundenmittel gegenüber 1058 vom Kap Thordsen und 2200 von Helsingfors verwendet — einen sehr schwachen Einfluß der Zenithdistanz des Mondes, er ist aber der Ansicht, daß derselbe nur durch die Unvollständigkeit der Eliminierung der Jahresperiode vorgetäuscht wurde. Noch weniger erkennbar ist der Einfluß der Monddeklinatión. Wollte man aus den Zölsschen Zahlen überhaupt ein positives Resultat ziehen, so würde dasselbe ganz im Gegensatz zu dem, was aus der Arrheniusschen Theorie folgt, ergeben, daß das Potentialgefälle ein Maximum in der Nähe des nördlichen Lunistitiums hat. Auch der von Braun behauptete Einfluß der Mondphasen ist in den Zölsschen Registrierungen nicht erkennbar.

Angesichts des Umstandes, daß in unseren Gegenden der Einfluß des Mondes auf das Potentialgefälle sich nicht mit Sicherheit

feststellen läßt und auch nach Arrhenius nur auf den polaren Stationen einen beträchtlichen Wert erreicht, glaubt P. Zölss, daß die von Arrhenius konstatierte tropisch-monatliche Periode des Potentialgefälles nicht auf einen direkten Einfluß des Mondes, sondern auf irgend welche andere, den arktischen Gegenden charakteristische Erscheinungen von mehr lokaler Natur, etwa auf das periodische Auftreten der Polarlichter, das nach Arrhenius<sup>1)</sup> ebenfalls vom Mondstand abhängig ist, zurückgeführt werden muß. Es hat aber Simpson im Gegensatz zu vielen anderen Forschern, die offenbar gelegentliche Beobachtungen verallgemeinerten, nicht den geringsten Zusammenhang zwischen Polarlichterscheinungen und den elektrischen Zuständen der Atmosphäre entdecken können, ebenso wenig konnte ich eine solche in den in extenso veröffentlichten Beobachtungen der finnischen Polarexpedition auffinden; ferner ist die Mondperiode der Polarlichter selbst noch nicht über allen Zweifel sicher gestellt, und der so oft behauptete Einfluß des Mondes auf andere meteorologische Faktoren läßt sich auch nicht nachweisen, ist sogar im höchsten Grade unwahrscheinlich. Es wäre also meiner Meinung nach erst noch zu untersuchen, ob die von Arrhenius konstatierte 27 $\frac{1}{2}$  tägige Periode des Potentialgefälles nicht auf irgend welchen anderen Einfluß, z. B. Sonnenflecken, zurückgeführt werden kann. Conrad<sup>2)</sup> glaubt auf Grund der Wiener Beobachtungen der Zerstreung die Existenz einer Periode derselben von 26,2 Tagen, also der Dauer der Sonnenrotation behaupten zu können. Da eine derartige Periode für die erdmagnetischen Elemente existiert, so ist von vornherein nicht unwahrscheinlich, daß eine solche auch in dem elektrischen Zustand der Atmosphäre zum Ausdruck kommt. Da aber gerade die Stärke der Zerstreung fast vorwiegend von rein lokalen Umständen abhängt, so müssen vor Fällung eines abschließenden Urteils erst weitere Untersuchungen, die sich über längere und von verschiedenen Orten herrührende Beobachtungsreihen erstrecken, abgewartet werden. Eine größere Wahrscheinlichkeit hat die Annahme für sich, daß eine erhöhte Sonnenfleckentätigkeit auch eine Erhöhung der Ionisation der obersten Luftschichten zur Folge hat. Eine Beeinflussung der Leitfähigkeit dieser Schichten durch die Sonnenstrahlung, die ja mit der Fleckentätigkeit eng zusammenhängt,

---

1) Ekholm u. Arrhenius, *Met. Zt.* **16**, 360, 1899.

2) V. Conrad, *Wien. Anz.* Nr. 19, 350, 1906.

würde auch wie Schuster<sup>1)</sup> gezeigt hat, die täglichen Schwankungen der erdmagnetischen Elemente erklären können. Auf die Existenz eines solchen Zusammenhanges zwischen Fleckentätigkeit und Störung der magnetischen Elemente, der Erdströme, und des Potentialgefälles deuten Beobachtungen im Observatorium von Tortosa<sup>2)</sup> hin. Doch haben Störungen der Erdströme nicht immer auch solche des Potentialgefälles zur Folge (siehe S. 148).

Der Einfluß der Sonnenfinsternisse auf Potentialgefälle und Ionisierung ist in letzter Zeit nach dem Vorgang von Elster und Geitel vielfach<sup>3)</sup> untersucht worden. Als Resultat der Beobachtungen kann ausgesprochen werden, daß ein direkter Einfluß der Verfinsterung der Sonne weder auf das Potentialgefälle noch auf die Ionisation, wenigstens der unteren Luftschichten existiert. Wohl aber ist ein indirekter Einfluß festzustellen, hervorgerufen durch die mit der Verfinsterung verbundene Temperaturerniedrigung. Die Abkühlung hat eine Erhöhung der relativen Feuchtigkeit und damit ein teilweises Ausfällen der negativen Ionen zur Folge, ein Vorgang, der seinerseits das Potentialgefälle erhöhen muß. Da aber die Temperaturerniedrigung auch Luftströmungen erzeugt, welche die Verteilung der Ionen beeinflussen, ferner die Intensität der Abkühlung und die Erhöhung der relativen Feuchtigkeit von den herrschenden Wetterumständen abhängen, so kann im einzelnen der Verlauf des Potentialgefälles sowohl als derjenige der Ionisation während einer Sonnenfinsternis an verschiedenen Orten ein ganz verschiedener sein.

Nodon<sup>4)</sup> glaubt, auf Grund von Beobachtungen, die er auf dem Pic du Midi angestellt hat, gefunden zu haben, daß die Sonne und auch der Vollmond positive elektrische Ladungen indu-

1) A. Schuster, Journ. de phys. 6, 937, 1907, u. Bull. de la Soc. franç. de phys. 1907, 271.

2) P. Cirera et Balcells, C. R. 144, 959, 1907.

3) Elster und Geitel, Met. Zt. 5, 87, 1888; R. Ludwig, Wien. Ber. 108, 2a, 436, 1899; I. Elster, Phys. Zt. 2, 66, 1900 u. 5, 804, 1904; S. Figeé, Phys. Zt. 5, 803, 1904; W. v. Bemmelen, Phys. Zt. 6, 235, 1905; A. Gockel, Phys. Zt. 6, 617, 1905; Elster und Geitel, Phys. Zt. 7, 496, 1906 u. Terr. Magn. 11, 1, 1906; G. Le Cadet, C. R. 141, 925, 1905 u. Met. Zt. 23, 306, 1906; Ch. Nordmann, C. R. 142, 40, 1906 u. Met. Zt. 23, 306, 1906; H. Ebert, Phys. Zt. 6, 641, 1905, Terr. Magn. 10, 165, 1905; E. R. v. Schweidler, Wien. Ber. 114, 2a, 1705, 1906; A. Schweitzer, Mitteilungen der Phys. Ges. Zürich, Nr. 11, 17, 1907; J. E. Burbank, Terr. Magn. 12, 97, 1907.

4) A. Nodon, C. R. 145, 521, 1907.

zieren, und daß diese um so höher sind, je trockener die durchstrahlten Schichten der Atmosphäre sind. Eine Wolke oder auch nur feuchte Luftschichten sollen die Wirksamkeit der Sonne vollständig aufheben. Ein vor das Elektrometer gestellter paraffinierter Schirm aus schwarzem Karton beeinträchtigt die Wirkung nicht, wohl aber ein solcher aus Metall. Die Wirkung könne innerhalb einer Minute im Verhältnis von 1:6 schwanken. Angesichts des Umstandes, daß die Sonne auf Bergen neben der stets vorhandenen indirekten Wirkung (durch Temperaturerhöhung) auch direkt durch die ultraviolette Strahlung die Ionisation erhöht, und der vor das Instrument gestellte Metallschirm das elektrische Feld und damit die Ionenverteilung beeinflusst, scheinen mir die Nodonschen Versuche kein Beweis dafür zu sein, daß die Sonne auf der Erde eine Ladung induziert.

---

### Drittes Kapitel.

#### Elektrische Strömungen in der Atmosphäre.

**1. Der normale Vertikalstrom.** Wie wir gesehen haben, herrscht ständig eine Potentialdifferenz zwischen der Erde und den sie umgebenden Schichten der Atmosphäre. Da nun die Luft infolge ihrer Ionisierung ein verhältnismäßig guter Leiter der Elektrizität ist, so muß die erwähnte Potentialdifferenz die Ursache eines elektrischen Stromes werden, und zwar werden im allgemeinen positive Elektronen von der Atmosphäre in die Erdkruste eintreten. Dieser Vertikalstrom Luft-Erde würde in kurzer Zeit einen Ausgleich der Potentialdifferenz zwischen Erde und Luft herbeiführen, wenn nicht andere Prozesse existierten, welche die Potentialdifferenz immer wieder herstellten. Und das Grundproblem der Lehre von der Lufterlektrizität ist eben die Lösung der Frage nach der Ursache der ständigen Aufrechterhaltung der genannten Potentialdifferenz. Es ist klar, daß zur Lösung dieser Frage in erster Linie nötig ist die Kenntnis des Erde-Luftstromes nach Stärke und Richtung und zwar in den verschiedensten Gebieten der Erde; denn nur auf diese Weise kann festgestellt werden, ob die negativen Ladungen, welche an Orten mit negativem Potentialgefälle oder durch Niederschläge zur Erde herab-