

Werk

Jahr: 1933

Kollektion: fid.geo

Signatur: 8 GEOGR PHYS 203:9

Digitalisiert: Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen

Werk Id: PPN101433392X_0009

PURL: http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X_0009

LOG Id: LOG_0054

LOG Titel: Studie über das luftelektrische Potentialgefälle und dessen Unruhe unter besonderer Berücksichtigung des Einflusses einer Großstadt

LOG Typ: article

Übergeordnetes Werk

Werk Id: PPN101433392X

PURL: <http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X>

OPAC: <http://opac.sub.uni-goettingen.de/DB=1/PPN?PPN=101433392X>

Terms and Conditions

The Goettingen State and University Library provides access to digitized documents strictly for noncommercial educational, research and private purposes and makes no warranty with regard to their use for other purposes. Some of our collections are protected by copyright. Publication and/or broadcast in any form (including electronic) requires prior written permission from the Goettingen State- and University Library.

Each copy of any part of this document must contain these Terms and Conditions. With the usage of the library's online system to access or download a digitized document you accept the Terms and Conditions.

Reproductions of material on the web site may not be made for or donated to other repositories, nor may be further reproduced without written permission from the Goettingen State- and University Library.

For reproduction requests and permissions, please contact us. If citing materials, please give proper attribution of the source.

Contact

Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen
Georg-August-Universität Göttingen
Platz der Göttinger Sieben 1
37073 Göttingen
Germany
Email: gdz@sub.uni-goettingen.de

Studie über das luftelektrische Potentialgefälle und dessen Unruhe unter besonderer Berücksichtigung des Einflusses einer Großstadt

Von **Heinrich Kuhn**, Frankfurt a. M. — (Mit 14 Abbildungen)

1. Einleitung. — 2. Beschreibung der Meßstellen. a) Meteorologisch-Geophysikalisches Institut. b) Flugwetterwarte. c) Taunusobservatorium. — 3. Perioden des Potentialgefälles. a) Jährlicher Gang in der Stadt und auf dem Flugplatz. b) Täglicher Gang in der Stadt, auf dem Flugplatz und auf dem Taunusobservatorium. c) Erklärung für den jährlichen und für den täglichen Gang. — 4. Potentialgefälle und Windrichtung in der Stadt und auf dem Flugplatz. — 5. Potentialgefälle und Luftkörper in der Stadt und auf dem Flugplatz. — 6. Definition der Unruhe.

Einleitung. Das luftelektrische Potentialgefälle ist ein Element, das von der Reinheit der Luft in starkem Maße abhängig ist. Man hat schon vermutet, daß es durch den Staub und Rauch der Stadt viel größere Werte annimmt als in stadtfürneren Gegenden. Es ist wünschenswert, wenn der Einfluß der Stadtluft auf das Potentialgefälle einmal untersucht wird. Ähnliche Versuche wurden schon einmal in Dresden-Wahnsdorf¹⁾ und Potsdam²⁾ gemacht. Bei beiden Meßorten wurde ein deutlicher Einfluß der Stadtluft auf das Potentialgefälle festgestellt. Günstiger für eine derartige Untersuchung ist die Anordnung zweier Meßstellen, eine innerhalb und eine außerhalb einer Stadt. Ein solcher Versuch wurde während des Jahres 1931 in Frankfurt a. Main ausgeführt. Es wurde gleichzeitig das Potentialgefälle im Meteorologisch-Geophysikalischen Institut (das innerhalb der Stadt liegt) und auf der Flugwetterwarte (die ganz außerhalb der Stadt liegt) (Fig. 1) registriert. Es zeigen sich dabei erhebliche Unterschiede in den einzelnen Werten, wie die vorliegende Arbeit zeigen wird.

Ebenso charakteristisch wie das Potentialgefälle selbst ist seine Veränderlichkeit, die periodisch und unperiodisch sein kann. Man kennt schon lange die jährliche und die tägliche Schwankung des Gefälles. Es gibt aber noch kurze periodische und unperiodische Schwankungen des Gefälles. Innerhalb einer Stunde, ja in Bruchteilen einer Sekunde können Schwankungen auftreten. Es erscheint zweckmäßig, eine Maßzahl für die kurzen unperiodischen Veränderlichkeiten nach einer Größe zu suchen, die diese „Unruhe“ angibt. Auch ist es nicht ausgeschlossen, daß man auf diesem Wege etwas tiefer in den Mechanismus des luftelektrischen Potentialgefälles eindringen kann. Vom bioklimatischen Standpunkt aus dürfte die Unruhe auch von Interesse sein. In jüngster Zeit wurde auf die mögliche bioklimatische Bedeutung der Ionen hingewiesen³⁾. Auch dem Potentialgefälle hat man häufig eine gewisse bioklimatische Beeinflussung des Organismus zugeschrieben. Unter anderem wies schon A. von Humboldt⁴⁾ darauf hin. C. Dorno⁵⁾ hat wohl als einer der ersten das luftelektrische Potentialgefälle bei der Betrachtung des Klimas von Davos berücksichtigt. Ob diesen Spannungen

in der Luft wirklich eine solche Bedeutung zukommt, ist sehr fraglich. Wenn überhaupt, dann liegt es näher anzunehmen, daß die schnellen Schwankungen eine gewisse Rolle spielen können.

Beschreibung der Meßstellen. Die Lage des Meteorologisch-Geophysikalischen Instituts ist aus der Lageskizze (Fig. 1) ersichtlich. Wie man hieraus ersieht, liegt das Institut am Nordrande des zusammenhängenden Stadtgebietes. Die Flugwetterwarte liegt außerhalb der Stadt und zwar in WSW-Richtung vom Institut aus. Die Entfernung der beiden Stationen beträgt 4.1 km. In der Skizze sind auch die hauptsächlichsten Fabriken und sonstige Anlagen eingezeichnet, deren Rauch besondere Störungsquellen für das Potentialgefälle sind.

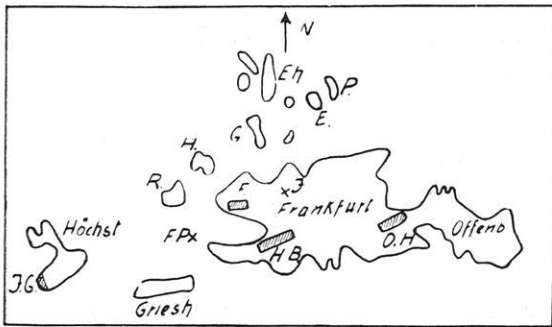


Fig. 1. Skizze von Frankfurt a. M. und Umgebung und Lage der Fabrikschornsteine

- | | | |
|-----------------------|------------------------------|--------------------|
| I. G. = I. G. Farben; | H. B. = Hauptbahnhof; | O. H. = Osthafen; |
| F. P. = Flugplatz; | I. = Met.-Geophys. Institut; | Eh. = Eschersheim; |
| P. = Preungesheim; | G. = Ginnheim; | H. = Hausen; |
| | F. = Fabriken in Bockenheim; | |
| | E. = Eckenheim; | |
| | R. = Rödelheim | |

Zur Registrierung wurde das von H. Benndorf⁶⁾ mechanisch registrierende Elektrometer benutzt. Als Kollektoren wurden solche mit Radio-Thorbelegung gewählt. Die Registrierdauer betrug im Meteorologisch-Geophysikalischen Institut $3\frac{1}{2}$ Jahre (vom 14. Juni 1928 bis 31. Dezember 1931); kurze Unterbrechungen wegen baulicher Veränderungen an dem Gebäude fanden in den Jahren 1929 und 1931 statt. Die Vergleichsmessungen auf der Flugwetterwarte wurden während des ganzen Jahres 1931 durchgeführt. In den Monaten September, Oktober und November 1931 wurde auch in dem Taunusobservatorium auf dem kleinen Feldberg das Potentialgefälle registriert. Der Beobachtungspunkt liegt 808 m über dem Meeresspiegel. Es wurde ein Quadrantelektrometer benutzt, das in neuester Zeit von der Hartmann & Braun A.-G. in Frankfurt a. Main konstruiert und gebaut wurde⁷⁾. Von dieser Firma wurde das Instrument leihweise zur Verfügung gestellt, wofür ich ihr an dieser Stelle meinen Dank aussprechen möchte.

Das Reduktionsverfahren war das allgemein übliche. Es ergaben sich folgende Reduktionsfaktoren:

- a) In der Stadt:
 - Vor dem ersten Umbau des Instituts: 2.43
 - Nach dem ersten Umbau des Instituts: 2.12
 - Nach dem zweiten Umbau des Instituts: 1.57
- b) Auf dem Flugplatz: 0.48

Schwierigkeiten bereitet nur die Reduktion der Werte vom Taunusobservatorium. Es ist in der nächsten Umgebung keine Ebene, auf die man die Werte beziehen könnte. Auch ein lang ausgedehntes Hochplateau oder ein in dies langgestrecktes Tal ist nicht zu finden, für die H. Benndorf⁸⁾ die Störungsbeträge angegeben hat. C. Dorno⁹⁾ konnte auf Grund dieser Korrekturen die Werte von Davos in absolute umrechnen. Auf dem Taunusobservatorium wurden die Werte auf die flache Kuppe des kleinen Feldberges, die frei von Bäumen, fast frei von Sträuchern und sonstigen Bodenerhebungen ist, bezogen. Es ist dabei nicht außer acht zu lassen, daß auf Bergspitzen wegen der konvexen Fläche größere Flächendichte vorhanden ist. Infolgedessen werden auch die Werte etwas zu hoch sein. Das dürfte aber für die etwa 200 m entfernte und kaum 20 m tiefer liegende Registrierstelle kein großer Unterschied sein.

Perioden des Potentialgefälles. Bei der Auswertung der Registrierungen wurden ungestörte Tage besonders berücksichtigt. In der vorliegenden Arbeit wurden solche Tage als ungestört betrachtet, bei denen

1. kein Niederschlag fiel¹⁰⁾,
2. der tägliche Gang deutlich ausgeprägt war.

Eine gewisse Willkür liegt natürlich darin, doch kann man bei einiger Erfahrung bald eine Entscheidung darüber treffen, ob ein Tag als „ungestört“ gelten kann oder nicht. Der Fehler, den man durch diese willkürliche Auswahl machen kann, wird um so kleiner, je mehr Tage zur Verfügung stehen.

Bei den übrigen Tagen wurden auch die Niederschlagsstunden weggelassen. Als Mittelwert aus diesen Gesamttagen ergab sich für die $3\frac{1}{2}$ Jahre in der Stadtstation 122.4 Volt/m (berechnet aus 23481 Stundenwerten). Für die ungestörten Tage erhielt man einen Wert von 126 Volt/m (berechnet aus 2730 Stundenwerten).

Auch in Frankfurt a. Main zeigt sich, wie an fast allen Stationen, von denen Registrierungen des Potentialgefälles veröffentlicht sind, der charakteristische jährliche Gang mit einem Maximum in den Wintermonaten und einem Minimum im Sommer (Fig. 2). Dies ist ersichtlich aus den Werten der ungestörten Tage und der Gesamttage, nur liegen die Maximalwerte im Winter bei den letzteren etwas tiefer (ungestörte Tage = ausgezogene Kurve, Gesamttage = gestrichelte Kurve).

Im übrigen ist aber der Gang der beiden ein fast paralleler zu nennen, was bei einer Ausgleichung der Monatswerte untereinander noch besser hervortreten würde.

Bei den Parallelregistrierungen zwischen Stadt und Flugplatz während des Jahres 1931 zeigte sich, daß die Werte in der Stadt im allgemeinen viel höher sind als die vom Flugplatz. Schon die Mittelwerte bestätigten dies.

Stadt	{ Mittel aus allen Werten	165 Volt/m (5205)
	{ Mittel aus den Werten der ungestörten Tage	146 „ (588)
Flugplatz	{ Mittel aus allen Werten	96 „ (5768)
	{ Mittel aus den Werten der ungestörten Tage	96 „ (463)

Die Zahlen in den Klammern geben die Anzahl der Einzelwerte an.

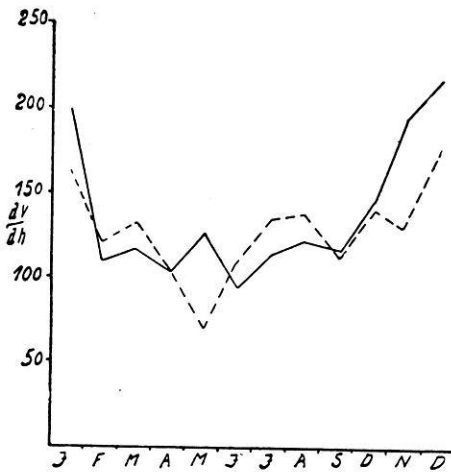


Fig. 2. Jährlicher Gang des Potentialgefälles in der Stadt. Mittel aus 3 $\frac{1}{2}$ Jahren
 ————— ungestörte Tage - - - - - Gesamttag

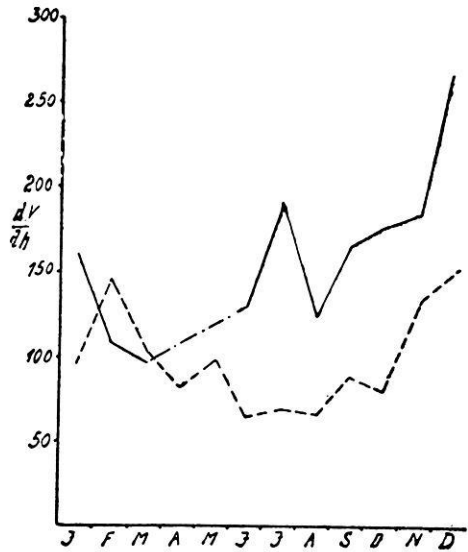


Fig. 3. Jährlicher Gang des Potentialgefälles in der Stadt und auf dem Flugplatz während des Jahres 1931
 ————— Stadt - - - - - Flugplatz

Der bekannte jährliche Gang kommt auch 1931 an beiden Stationen gut zum Vorschein. Nur im Januar zeigen sich verhältnismäßig niedrigere Werte. Vielleicht ist es möglich, den Grund im folgenden zu suchen. Im Januar 1931 herrschte durchschnittlich zyklonales Wetter. Die Luft war aus diesem Grunde etwas mehr bewegt, und die Großionen, die einen fast parallelen Gang mit dem Potentialgefälle zeigen (darauf soll später noch eingegangen werden), wurden stark vertikal durchmischt, so daß sich unten niedrigere Gefällwerte ausbilden konnten. Die geringeren Werte auf dem Flugplatz, die sich bei fast allen Vergleichen zwischen Flugplatz und Stadt zeigen (Fig. 3, ausgezogene Kurve = Stadt, gestrichelte Kurve = Flugplatz, strichpunktiert = interpoliert), rühren zweifellos von der größeren Reinheit der Luft her.

Der tägliche Gang in den einzelnen Monaten ist aus Fig. 4 ersichtlich (ausgezogene Kurve = ungestörte Tage, gestrichelte Kurve = Gesamttag). Es sind dies Mittelwerte aus den Monaten der Zeit vom Juni 1928 bis Dezember 1931. In den Wintermonaten zeigt sich deutlich die einfache Periode. Nur im Dezember macht sich bei den ungestörten Tagen ein zweites Minimum und Maximum deutlich bemerkbar. Dies rührt wohl von der stärkeren Konvektion an den heiteren Tagen her. Von März bis Oktober einschließlich tritt die doppelte Periode stark hervor,

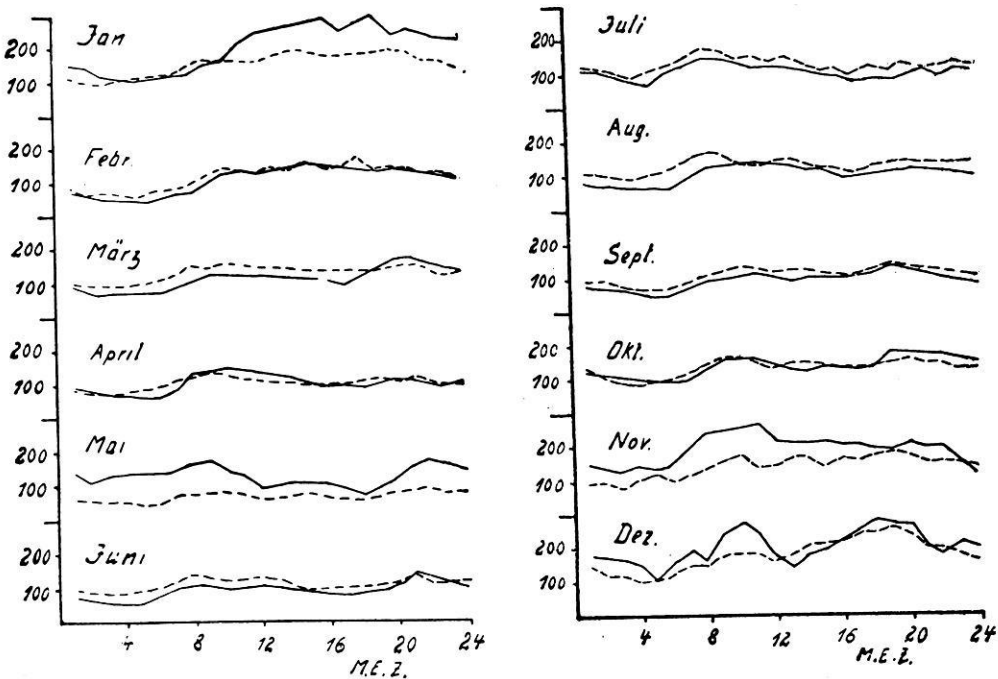


Fig. 4. Täglicher Gang des Potentialgefälles in den einzelnen Monaten für die Zeit von Juni 1928 bis Dezember 1931

———— ungestörte Tage - - - - - Gesamttag

wie dies ja an fast allen anderen Stationen, die in der Nähe bewohnter Gebiete liegen, auch der Fall ist, Zwischen den Werten der ungestörten und der Gesamttag besteht kein allzu großer Unterschied. Dies wird besonders bestätigt durch die Werte, die den durchschnittlichen täglichen Gang für die gesamte Meßzeit von 1928 bis 1931 angeben (siehe Fig. 5, ausgezogene Kurve = ungestörte Tage, gestrichelte Kurve = Gesamttag). Wie aus Fig. 5 hervorgeht, liegt das Minimum des täglichen Ganges für die Gesamttag etwas früher. Auch ist das zweite Minimum nicht so stark ausgeprägt, die Werte um die Mittagszeit schwanken stärker als die ungestörten.

In Fig. 6 sind die Ergebnisse der gleichzeitigen Registrierungen (1931) des täglichen Ganges für die Stadt und Flugplatz aufgetragen (ausgezogene Kurve = ungestörte Tage in der Stadt, gestrichelte Kurve = ungestörte Tage auf dem Flugplatz, strichpunktierte Kurve = Gesamttage in der Stadt, punktierte Kurve = Gesamttage auf dem Flugplatz). Die Stadtkurve von 1931 weicht nicht erheblich von dem Mittel (vgl. Fig. 5) der $3\frac{1}{2}$ Jahre ab. An beiden Stationen tritt die bekannte Doppelperiode hervor. Es zeigt sich auch hier, daß die Werte außerhalb der Stadt viel geringer sind als in der Stadt selbst.

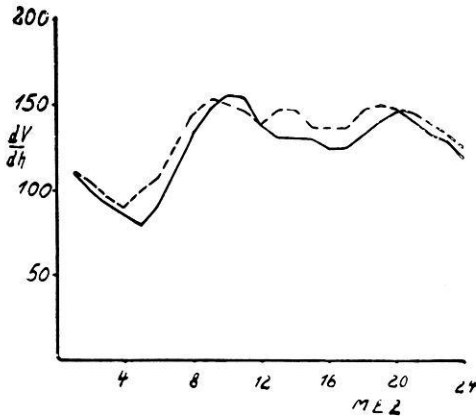


Fig. 5. Durchschnittlicher täglicher Gang in Frankfurt a. M. Mittel aus $3\frac{1}{2}$ Jahren
 ————— ungestörte Tage - - - - - Gesamttage

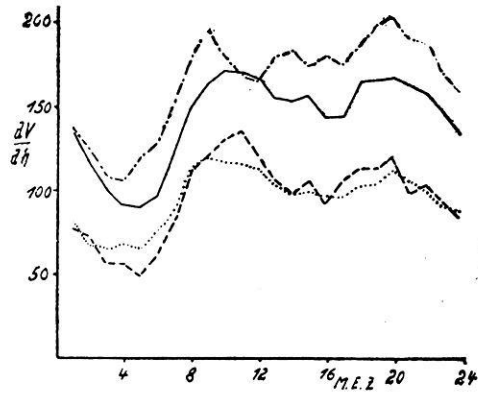


Fig. 6. Täglicher Gang des Potentialgefälles in der Stadt und auf dem Flugplatz während des Jahres 1931
 ————— Stadt, ungestörte Tage
 - - - - - Stadt, Gesamttage
 Flugplatz, ungestörte Tage
 - · - · - · - Flugplatz, Gesamttage

Auf dem Taunus-Observatorium ergaben sich für die drei Monate September, Oktober und November 1931 folgende Mittelwerte:

Ungestörte Tage	176 Volt/m (207)
Gesamttage	147 „ (1162)

In diesen Höhen zeigt sich, daß beim täglichen Gang die einfache Periode vorherrscht. Nur an ganz wenigen Tagen, an denen der Dunst aus der Rhein-Main-Ebene bis zur Höhe des Observatoriums nachmittags aufsteigt, macht sich noch ein schwaches Minimum bemerkbar, das aber im Mittel ganz wegfällt. Fig. 7 (ausgezogene Kurve = ungestörte Tage, gestrichelte Kurve = Gesamttage) gibt den täglichen Gang für die einzelnen Monate und Fig. 8 für die ganze Meßzeit wieder. Im Mai 1910¹¹⁾ wurde während des Vorüberganges des Haleyschen Kometen auf dem großen Feldberg 12 Tage lang das Potentialgefälle registriert. Dabei wurden im Mittel für den täglichen Gang Werte gefunden (Fig. 9, ausgezogene Kurve = Mai 1910, gestrichelte Kurve = September, Oktober und

November 1931), die mit den jetzt bestimmten leidlich gut übereinstimmen. Ein Unterschied zeigt sich zwischen beiden nur darin, daß der tägliche Gang von 1910 nachmittags ein Minimum aufweist.

Zur Erklärung des jährlichen Ganges muß man die Beobachtungen heranziehen, die F. Linke¹²⁾ bei Ballonfahrten machte. Er hat besonders auf die Abhängigkeit des Potentialgefälles vom Dunst hingewiesen. Bei Ballonfahrten fand er, daß die Abnahme des Potentialgefälles mit der Höhe nicht gleichmäßig

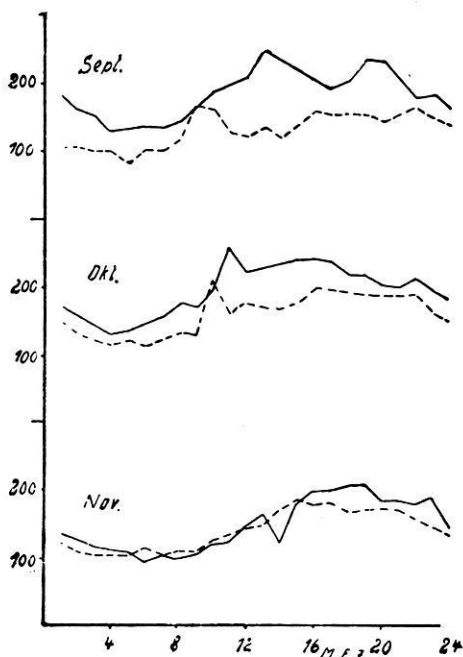


Fig. 7. Täglicher Gang des Potentialgefälles auf dem Taunus-Observatorium für drei Monate

— ungestörte Tage - - - - Gesamtstage

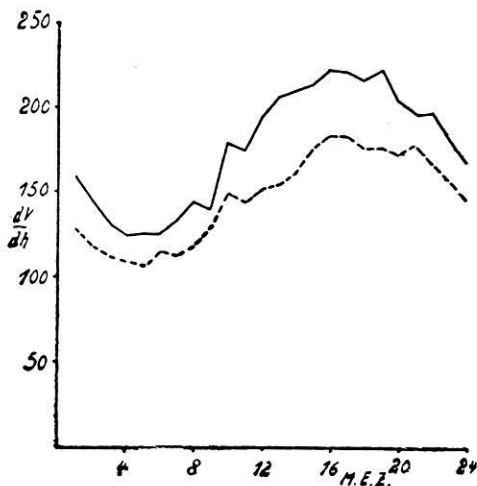


Fig. 8. Durchschnittlicher täglicher Gang des Potentialgefälles auf dem Taunus-Observatorium

— ungestörte Tage - - - - Gesamtstage

erfolgt. Die Ursachen dieses wechselnden Potentialgefälles sind die Dunstschichten, die bei Hochdruckwetterlagen bis zu etwa 2000 m Höhe reichen. In den ersten 100 m ist gewöhnlich eine Abnahme des Potentialgefälles vorhanden, dann aber steigt es in der Dunstschicht rasch wieder an. Über dieser ist die Abnahme des Potentialgefälles gleichmäßiger. Zweifellos sind in diesen Dunstschichten viele Grobionen enthalten, die eine Verminderung der Leitfähigkeit und damit eine Erhöhung des Potentialgefälles hervorrufen. Der Einfluß der Dunstschicht ist folgendermaßen zu erklären:

Durch Einfluß des elektrischen Feldes wandern die positiven Ionen von oben nach unten und treffen auf die obere Grenzfläche (der Erde abgewandten) der Dunstschicht. Sie werden sich an die Massenteilchen dieser anlagern und so eine Anreicherung von positiven Ionen an der oberen Grenzfläche des Dunstes hervorrufen. Die Folge wird sein, daß an der unteren Grenzfläche negative Ionen sich ansammeln werden, jedoch in geringerer Menge, da sie ja aus einer Luftschicht kommen, die von geringerer Mächtigkeit ist, und in welcher auch die Ionisierungsstärke und die Beweglichkeit nicht so groß sind. Geht man in eine solche Dunstschicht von unten aus hinein, so wird das Gefälle steigen, um allmählich einen konstanten hohen Wert zu erreichen, den es auch beibehält, solange man im Innern der Dunstschicht sich befindet. Kommt man aber der oberen Dunstschicht näher, so wird das Potentialgefälle wieder abnehmen. Oberhalb der Dunstschicht nimmt es kleine Werte an. Oft wird es nun so sein, daß die stark dunsthaltigen Schichten bis zum Erdboden herabreichen; die untere negative Grenzfläche kann dann nicht zustandekommen. Die aus der Höhe herabkommenden positiven Ionen, die in der Dunstschicht zu positiven Großionen wurden, werden ein hohes Gefälle hervorrufen. Diese Beziehung zwischen Großionen und Potentialgefälle haben J. J. Nolan¹³⁾ und Mc Laughlin¹⁴⁾ auch tatsächlich nachgewiesen. Auch H. Israë¹⁵⁾ bestätigte diese Beziehung.

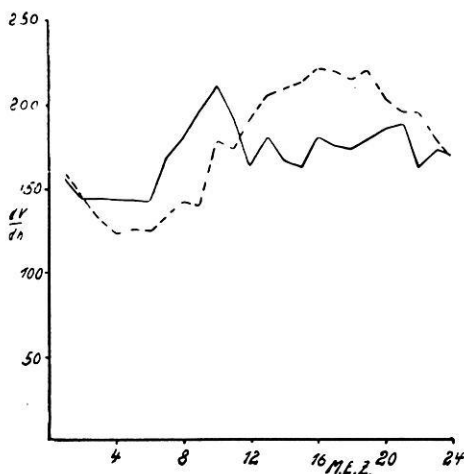


Fig. 9. Das Potentialgefälle auf dem großen Feldberg im Mai 1910
 ————— Mai 1910 - - - - - Meßzeit 1931

Man kann demnach für das Zustandekommen der jährlichen Periode dieselben Ursachen anführen, wie sie H. Israë¹⁶⁾ schon für die Großionen angegeben hat. Im Winter ist bekanntlich die Schichtung der Luftmassen viel stabiler wie im Sommer, die Konvektion ist im Winter also viel geringer als im Sommer. Die Folge davon ist, daß in den untersten Luftschichten der Rauch und Dunst und damit auch die Großionen sich ansammeln werden. Dies macht sich, wie im vorigen Abschnitt gezeigt wurde, in einer Erhöhung des Potentialgefälles bemerkbar. Im Sommer dagegen ist die vertikale Konvektion viel größer, der Austausch zwischen den oberen und unteren Luftschichten viel lebhafter. Das hat zur Folge, daß sich die Großionen mit der Höhe mehr verteilen und ihr Einfluß auf das Potentialgefälle nicht so groß ist.

Die Ursachen des täglichen Ganges sind noch etwas umstritten. Es soll im folgenden eine Erklärungsmöglichkeit wiedergegeben werden, wie sie Herr Prof.

Dr. F. Linke in seiner Vorlesung „Atmosphärische Elektrizität“ vortrug. Es ist bekannt, daß am frühen Morgen zu den Zeiten des Minimums des Potentialgefälles ein Maximum der elektrischen Leitfähigkeit der Luft eintritt. Man weiß aber, daß die Leitfähigkeit um so schlechter wird, je größer die Anzahl der Großionen in der Luft ist. Wenn also das Leitvermögen in der Frühe seine höchsten Werte aufweist, so müssen die Großionen zum größten Teil aus der Luft herausgefallen sein. Es muß ein Ausgleich der positiven Massen in der Luft mit der Erde stattgefunden haben. Das Minimum des Potentialgefälles am Morgen wäre damit geklärt. Mit Beginn des Tages werden wieder neue Großionen geschaffen. Es wird das Potentialgefälle aus schon bekannten Gründen wieder steigen. Im Winter tritt dann um 14 Uhr ein Maximum ein. Um diese Tageszeit erreicht auch die Anzahl der Großionen in der Atmosphäre ihre größten Werte. Im Sommer dagegen stellt sich schon um 11 Uhr ein Maximum und gegen 5 Uhr ein zweites Minimum des Gefälles ein. Durch die stärkere Konvektion werden die Dunstschichten gehoben und dadurch verteilen sich die Großionen mit der Höhe viel mehr, es muß eine Verringerung des Potentialgefälles eintreten. Dazu kommt noch, daß durch die stärkere Windbewegung am Nachmittag negative Teilchen von der Erde losgerissen und in die Höhe getragen werden. Gegen Abend kühlen sich die dunsthaltigen Luftmassen in den Höhen durch Ausstrahlung ab und sinken herab. Sie bringen damit eine große Anzahl Großionen mit, die wieder eine Erhöhung des Potentialgefälles hervorrufen.

Eine Bestätigung für diese Vermutungen geben die Registrierungen auf dem Taunusobservatorium. Wie aus den Fig. 7 und 9 hervorgeht, zeigt das Potentialgefälle im September 1931 und besonders im Mai 1910 eine doppelte Periode. In diesen Monaten wurde durch die mittägliche Konvektion die Dunstschicht aus der Rhein-Main-Ebene bis zur Höhe des Observatoriums und noch weit darüber hinaus gehoben, so daß, wie schon oben erwähnt, die Großionen sich mit der Höhe mehr verteilen konnten. In den Monaten Oktober und November war die Konvektion schon nicht mehr so stark. Es tritt in diesen Monaten die einfache Periode hervor. Da das Potentialgefälle über den Ozeanen eine Weltzeitperiode¹⁷⁾ aufweist, kommen außer den angeführten Ursachen noch andere hinzu, die man aber bis jetzt noch nicht kennt.

Potentialgefälle und Windrichtung. Bei der Abhängigkeit des Potentialgefälles von der Windrichtung kommt man im wesentlichen zu den Ergebnissen, wie sie H. Israë¹⁸⁾ schon für die Großionen gefunden hat. In Fig. 10 sind die Werte des Potentialgefälles nach den einzelnen Windrichtungen aufgetragen. Auch die Abhängigkeit der Großionen von der Windrichtung sind in dieser Figur angegeben (Potentialgefälle = ausgezogene Kurve, Großionen = gestrichelte Kurve). Man sieht, daß in der Richtung des Hauptbahnhofes (SSW) deutlich ein Maximum des Gefälles hervortritt. Auch nach den westlichen Richtungen zeichnet sich das Gefälle durch hohe Werte aus. Es ist dies die ungefähre Lage der Fabriken Bockenheims, deren Rauch einen erheblichen Einfluß, trotz des

verhältnismäßig weiten Weges, auf das Potentialgefälle ausübt. Auch im NNW und N zeigen sich hohe Werte. In dieser Richtung liegt ein meist in Betrieb befindlicher Fabrikschornstein, jedoch kann er allein kaum solch hohe Werte hervorrufen. Wahrscheinlich spielt auch die Lage der Registrierstelle, die an der Südwand des Hauses sich befand, auch eine Rolle. Dadurch war es leicht möglich, daß der Rauch der Schornsteine des Instituts selbst noch einen Einfluß ausübte. Eine Abhängigkeit ergibt sich sicher auch für die Windstärke. Doch wurde die Zusammenstellung des Potentialgefälles nach den einzelnen Windstärken noch nicht durchgeführt. Für Windstille ergeben sich im allgemeinen hohe Werte.

Noch deutlichere Abhängigkeiten von der Windrichtung ergeben die Werte von der Flugwetterwarte. Aus Fig. 11 ersieht man, daß in der Richtung der Stadt

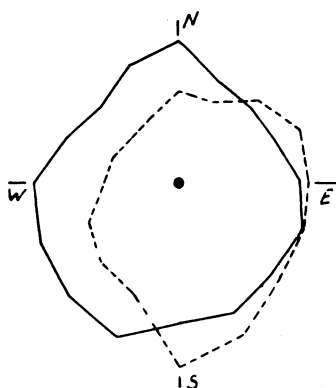


Fig. 10. Abhängigkeit des Potentialgefälles und der Grobionen von der Windrichtung

————— Potentialgefälle - - - - - Grobionen
● bedeutet die Meßstelle

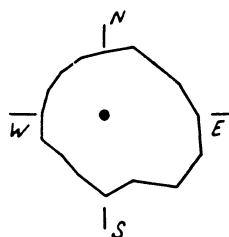


Fig. 11. Abhängigkeit des Potentialgefälles von der Windrichtung auf dem Flugplatz

————— Potentialgefälle

und der Hauptbahnhofanlagen (SE bis NNE) ein Maximum hervortritt. Auch nach Süden macht sich ein kleines Maximum bemerkbar. Dieses rührt von dem Rauch und Staub des in dieser Richtung gelegenen Statteiles Griesheim und seiner großen chemischen Fabriken her. Der Rauch der Fabrikanlagen I. G. Farben, Höchst a. Main macht sich in WSW bemerkbar. Von W bis N liegen die kleinsten Werte. Hier sind auch in nächster Umgebung keine Fabrikschornsteine oder sonstige Störungsquellen. Aber gleich nach N wächst das Gefälle wieder an. Es liegt in dieser Richtung der Stadtteil Rödelheim. Je weiter man nach E geht, um so stärker wird das Gefälle. Die Ursache hierfür dürften die Fabriken Bockenhems und die ganze Stadt sein. Ähnliche Abhängigkeiten wurden auch in Potsdam und in Dresden-Wahnsdorf gefunden.

Wie aus dem vorigen Abschnitt hervorgeht, erhält man auf dem Flugplatz die geringsten Werte zwischen WNW und NNW. Fig. 11 zeigt, daß in diesen Richtungen keine Fabriken oder sonstige Störungsquellen liegen. Man kann

diese Werte deshalb als reine Landwerte bezeichnen und alle anderen auf diese beziehen. Bildet man das Verhältnis aus dem Wert einer beliebigen Richtung und diesem Landwert, so hat man damit den Störungsfaktor für diese betreffende Windrichtung.

Vergleicht man die Werte des Potentialgefälles der einzelnen Windrichtungen mit den entsprechenden Stadtbreiten (unter Stadtbreite versteht man den Abstand des äußersten Punktes in einer Windrichtung von der jeweiligen Meßstelle), so kommt man zu folgenden Ergebnissen: Bei geringer Stadtbreite erhält man niedrigere Werte des Potentialgefälles, bei hohen Stadtbreiten große Werte. Eine kleine Abweichung machen die im SSW liegenden Werte der Stadt. Man muß aber bedenken, daß der Rauch des nur 1.8 km entfernten Hauptbahnhofes die größte Störungsquelle sein dürfte und infolgedessen auch die größten Werte des Potentialgefälles hervorruft. Auf dem Flugplatz fallen bis auf kleine Unterschiede die Minima und Maxima des Gefälles mit den kleinsten bzw. größten Stadtbreiten zusammen.

Potentialgefälle und Luftkörper. Als nächstes ist das Potentialgefälle nach den Luftkörpern geordnet. Die Luftkörper sind nach der von F. Linke¹⁹⁾ und E. Dinies vorgeschlagenen Skale unterteilt. Die Fig. 12 und 13 geben die

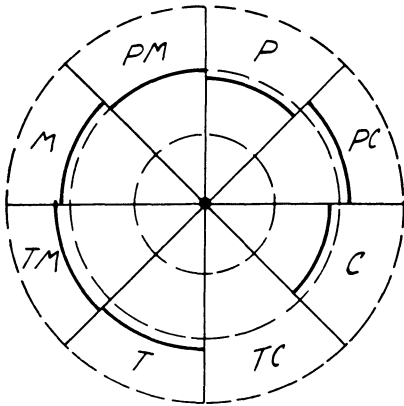


Fig. 12. Potentialgefälle und Luftkörper in der Stadt. Die ausgezogenen Teilkreise stellen das Potentialgefälle für den betreffenden Luftkörper dar. Die gestrichelten Kreise dienen nur zum Vergleich. Äußerster gestrichelter Kreis = 300 Volt

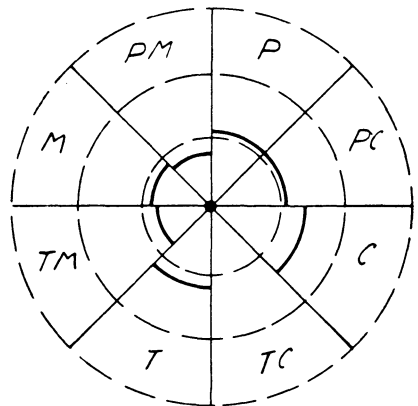


Fig. 13. Potentialgefälle und Luftkörper auf dem Flugplatz

Werte für die einzelnen Luftkörper wieder und zwar für Stadt und Flugplatz. Es fehlen dabei die Werte für Mischluft und indifferente Luft. Wie man aus Fig. 12 sieht, sind Unterschiede der Werte für die einzelnen Luftkörper kaum zu erkennen. Der Einfluß der Fabrikanlagen und der Stadt selbst verwischt den Einfluß des

Luftkörpers. Es läßt sich infolgedessen aus Stadtbeobachtungen nicht aussagen, ob ein Einfluß des Luftkörpers auf luftelektrische Elemente, speziell das Potentialgefälle besteht. Ganz das Gleiche fand H. Israëli²⁰⁾ für die Großionen.

Ein ähnliches Bild wie in der Stadt findet sich auch auf dem Flugplatz wieder (Fig. 13). Auch hier wird durch den Einfluß der Windrichtung der Einfluß des Luftkörpers verwischt. Um eine eventuelle Abhängigkeit des Potentialgefälles von den einzelnen Luftkörpern finden zu können, müßte man Werte von wenig besiedelten oder hochgelegenen Meßorten besitzen. Dort wäre vielleicht eine deutlichere Abhängigkeit zu erkennen.

Definition und Unruhe. Im folgenden Abschnitt soll der Versuch gemacht werden, die in der Einleitung bereits erwähnte Unruhe des luftelektrischen Potentialgefälles zu definieren. Wir folgen hier dem Vorgehen der Erdmagnetiker²¹⁾. Für jede Minute sind die augenblicklichen Werte des Potentialgefälles gegeben. Den aufeinanderfolgenden Zeiten

$$t_1 \quad t_2 \quad t_3 \quad t_4 \dots$$

entsprechen die Werte der veränderlichen Größe

$$V_1 \quad V_2 \quad V_3 \quad V_4 \dots$$

Es wird nun nicht auf die zeitliche Reihenfolge dieser V_i eingegangen, sondern auf die Veränderlichkeiten dieser V_i und für die Verschiedenheit dieser soll ein Maß gefunden werden.

Nach den Gesetzen der Elektrostatik ist allgemein die potentielle Energie A eines elektrischen Feldes F pro Volumeneinheit

$$A = \frac{\mathfrak{E}^2}{8\pi},$$

falls die Dielektrizitätskonstante $\varepsilon = 1$ gesetzt werden kann, was für die atmosphärische Luft erlaubt ist.

Auf das Potentialgefälle in der Luft kann man dies nun folgendermaßen anwenden. Aus den oben definierten Werten V_t innerhalb eines Zeitraumes T ergibt sich, wenn wir uns den Definitionen von Bidlingmeier²¹⁾ anschließen, für die Unruhe der Betrag

$$U = \frac{1}{8\pi T} \int_0^T V_t^2 dt.$$

Die rechte Seite ist nichts anderes als die räumliche Energiedichte des elektrischen Feldes, ermittelt aus einer Reihe von Einzelwerten V_t , die sich über einen gewissen Zeitraum T verteilen.

Obiges Integral kann man zur praktischen Bestimmung der Unruhe noch folgendermaßen zerlegen. Wenn \bar{V} der Mittelwert des Potentialgefälles über ein

bestimmtes Zeitintervall (z. B. 1 Stunde) ist, so kann man das Quadrat V_t^2 auch so schreiben:

$$V_t^2 = (V_t - \bar{V} + \bar{V})^2.$$

Da

$$\int (V_t - \bar{V}) dt = 0$$

ist, erhält man den Ausdruck

$$\frac{1}{8\pi T} \int_0^T V_t^2 dt = \frac{1}{8\pi T} \int_0^T (V_t - \bar{V})^2 dt + \frac{1}{8\pi} \bar{V}^2 \dots \dots \dots (1)$$

d. h. also die Unruhe des Potentialgefälles für 1 Stunde setzt sich zusammen:

1. Aus einem unendlich gliedrigen Bestandteil, welcher die Schwankungen der einzelnen Werte innerhalb 1 Stunde, bezogen auf den jeweiligen Stundenmittelwert \bar{V} , darstellt. Dieses Glied für sich gibt die in der Unruhe bzw. die zu ihrer Erzeugung notwendige Energie an, unabhängig von der Absoluthöhe des Potentialgefälles.

2. Aus einem endlichen Bestandteil, welcher von der jeweiligen Höhe des Mittelwertes \bar{V} abhängt. Wenn das Gefälle konstant wäre, d. h. das erste Glied gleich 0, so gäbe dieses zweite Glied die in der Absoluthöhe V liegende potentielle Energie an.

Für einen längeren Zeitraum wie 1 Stunde (z. B. 1 Tag) wird man noch ein drittes Glied zur rechten Seite der Gl. (1) hinzufügen müssen. Man wird \bar{V} nicht mehr auf die Nulllinie beziehen, sondern auf das Tagesmittel M . Das zweite Glied wird dann lauten:

$$\frac{1}{24 \cdot 8 \cdot \pi} \sum (\bar{V} - M)^2.$$

Zu diesem kommt noch das dritte Glied

$$\frac{1}{8\pi} M^2.$$

Zusammen lautet die Unruhe für 1 Tag

$$U = \frac{1}{24 \cdot 8 \cdot \pi \cdot T} \int_0^T (V_t - \bar{V})^2 dt + \frac{1}{24 \cdot 8 \cdot \pi} \sum (\bar{V} - M)^2 + \frac{1}{8\pi} M^2.$$

Für n Tage ergibt sich die Unruhe zu

$$U = \frac{1}{24 \cdot 8 \cdot \pi \cdot n \cdot T} \sum \int_0^T (V_t - V)^2 dt + \frac{1}{24 \cdot 8 \cdot \pi \cdot n} \sum \sum (\bar{V} - M)^2 + \frac{1}{8 \cdot \pi \cdot n} \sum M^2.$$

Es zeigte sich nun, daß die stündliche Amplitude $\frac{1}{2}(V_{\max} - V_{\min})$ in einfachem linearen Zusammenhang mit der Wurzel aus dem Integral

$$\frac{1}{8\pi T} \int_0^T (V_t - \bar{V})^2 dt$$

steht, nämlich:

$$\frac{1}{2}(V_{\max} - V_{\min}) = K \sqrt{\frac{1}{8\pi T} \int_0^T (V_t - \bar{V})^2 dt}.$$

K ist ein Proportionalitätsfaktor. Das wurde auf folgende Weise gefunden: Ich suchte für eine Anzahl von Stunden die gleichen Amplituden $\frac{1}{2}(V_{\max} - V_{\min})$

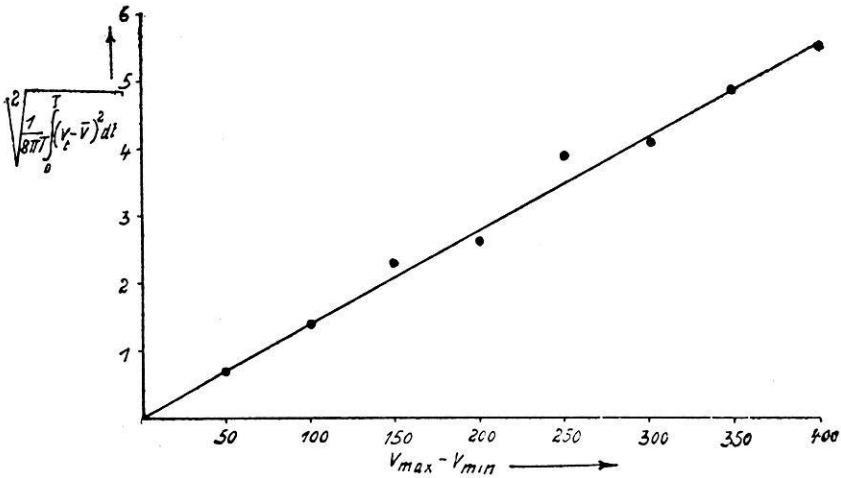


Fig. 14. Beziehung zwischen $V_{\max} - V_{\min}$ und $\sqrt{\frac{1}{8\pi T} \int_0^T (V_t - \bar{V})^2 dt}$.

aus und las für jede dieser Stunden alle 6 Minuten den jeweiligen Stand V_t ab (es werden also in der Stunde zehn Stände abgelesen). Daraus bildete ich $\frac{1}{10} \sum V_t$ und $(V_t - \bar{V})^2$. Zum Schluß ermittelte ich die Summe

$$\frac{1}{10} \sum (V_t - \bar{V})^2 \cdot \frac{1}{8\pi}.$$

Das ist das gesuchte Integral. Die Genauigkeit eines jeden Integrals wird natürlich um so größer, je mehr Stunden man für jede Amplitude verwendet und je öfter man den Stand des Potentialgefälles in einer Stunde abliest. Fig. 14 gibt den

Verlauf der Beziehung wieder. Auf der Abszisse sind die Amplituden und auf der Ordinate die entsprechenden Integrale aufgetragen.

Die tägliche Periode der Unruhe zeigt einen ähnlichen Verlauf wie die des Potentialgefälles. Auch bei den Abhängigkeiten der Unruhe von der Windrichtung kommt man im wesentlichen zu den Ergebnissen wie bei dem Potentialgefälle.

Es obliegt mir nun noch die angenehme Aufgabe, meinem verehrten Lehrer, Herrn Prof. Dr. F. Linke, der die Anregung zu vorliegender Arbeit gab, für seine Unterstützung und seinen Rat meinen herzlichsten Dank auszusprechen.

Literatur

- 1) H. Goldschmitt: Festschrift anlässlich der 16. Tagung der deutschen meteorologischen Gesellschaft zu Dresden im Jahre 1929.
- 2) H. Markgraf: Meteorol. Zeitschr. 1924, S. 165.
- 3) F. Dessauer und H. Israël: 10 Jahre Forschung auf physikalisch-medizinischem Grenzgebiet. Leipzig 1930. Gerl. Beitr. z. Geophys. **34** (Köppenband), S. 164.
- 4) A. v. Humboldt: „Kosmos“ 1.
- 5) C. Dorno: Studie über Luft und Licht des Hochgebirges. S. 73. Braunschweig 1911.
- 6) H. Benndorf: Wien. Ber. **11**, 487, 1902.
- 7) H. Kuhn: Zeitschr. f. Instrkde. **52**, 460, 1932.
- 8) H. Benndorf: Wien. Ber. **109**, 923, 1900.
- 9) C. Dorno: Studie über Luft und Licht des Hochgebirges. S. 71.
- 10) G. Angenheister: Nachr. d. Ges. d. Wiss. Göttingen 1924. S. 105.
- 11) F. Linke: Geophys. Beobachtungen auf dem großen Feldberg gelegentlich des Vorüberganges des Halleyschen Kometen. Jahresbericht des Phys. Vereins zu Frankfurt a. M. 1910.
- 12) F. Linke: Luftelektrische Messungen bei 12 Ballonfahrten. Berlin 1904.
- 13) I. I. Nolan: Proc. Roy. Irish Acad. **36**, 1923; **37**, 1925.
- 14) McLaughlin: C. R. **184**, 1927.
- 15) H. Israël: Gerl. Beitr. z. Geophys. **23**, 161, 1929.
- 16) Derselbe: ebenda **26**, 302, 1930.
- 17) K. Hoffmann, L. A. Bauer und S. J. Mauchly: Physik der freien Atmosphäre **11**, 1, 1924; Terr. Magnetism. 1921, S. 36; 1922, S. 28; 1923, S. 61.
- 18) H. Israël: Gerl. Beitr. z. Geophys. **26**, 291, 1930.
- 19) F. Linke und E. Dinies: „Wetter“ **47**, 1, 1930.
- 20) H. Israël: Gerl. Beitr. z. Geophys. **26**, 296, 1930.
- 21) Bidlingmaier: Veröffentl. d. Kaiserl. Obs. in Wilhelmshaven. 2. Halbjahr 1911. Berlin 1913.