H. ISRAËL

ATMOSPHÄRISCHE ELEKTRIZITÄT

TEIL I

ATMOSPHÄRISCHE ELEKTRIZITÄT

TEIL I

GRUNDLAGEN, LEITFÄHIGKEIT, IONEN

VON

H. ISRAËL

Leiter des Meteorologischen Observatoriums Aachen
des Deutschen Wetterdienstes und Professor
an der Technischen Hochschule Aachen

MIT 124 ABBILDUNGEN

LEIPZIG 1957
AKADEMISCHE VERLAGSGESELLSCHAFT
GEEST & PORTIG K.-G.

Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung, vorbehalten
Copyright 1957 by Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Portig K.-G., Leipzig
Printed in Germany Lizenz-Nr. 105/80/57
Satz und Druck: Druckerei „Magnus Poser" Jena - V/10/1

VORWORT

Mit dem vorliegenden Band wird der erste Teil einer umfassenden Neubearbeitung der atmosphärisch-elektrischen Erscheinungen der Öffentlichkeit übergeben. Die Entwicklung der letzten Jahrzehnte drängte zu einer solchen ausführlichen Neubearbeitung, da seit der letzten monographischen Bearbeitung größeren Umfanges vor etwa 20 Jahren erhebliche Fortschritte auf diesem Gebiet erzielt worden sind.

Diese Entwicklung ist vor allem gekennzeichnet durch die Lösung des sogenannten „atmosphärisch-elektrischen Grundproblemes" und durch die eng damit verknüpfte Erkenntnis, daß die Welt der atmosphärisch-elektrischen Erscheinungen nur im Rahmen der Meteorologie verstanden werden kann. Der Weg der Luftelektrizität aus ihrer etwa um die Jahrhundertwende entstandenen isolationistischen Vereinsamung zu ihrem heutigen Aspekt einer eng mit der Meteorologie verzahnten Erscheinungswelt hat naturgemäß stark befruchtend gewirkt und das Interesse an diesen Dingen wie die ihnen gewidmete Tätigkeit gleicherweise stark ansteigen lassen.

Die Darstellung erfolgt — dem Wesen des Stoffes entsprechend — in zwei in sich abgeschlossenen Teilen. Im vorliegenden ersten Teil

Grundlagen, Leitfähigkeit, Ionen

wird in umfassender Weise die Physik der Gasionen und submikroskopischen Suspensionen nach den Erfahrungen aus Laboratorium und Atmosphäre behandelt. Der zweite Teil bringt dann auf dieser Grundlage unter dem Titel

Felder, Ladungen, Ströme

eine ausführliche Behandlung des atmosphärisch-elektrischen Geschehens in seinen einzelnen Erscheinungsformen und seinen Verknüpfungen mit globalen und lokalen Vorgängen und gipfelt in einer zusammenfassenden geschlossenen Darstellung des Ganzen in der heute dafür möglichen Form der luftelektrischen Klimatologie und Synopsis.

Beide Bände enthalten einen Anhang mit der möglichst vollständig aufgeführten Literatur sowie einer Darstellung der Meß- und Arbeitsmethodik

des betreffenden Bereiches. Die Abschnitte über Meßtechnik[1]) wurden mit freundlicher Genehmigung des Herausgebers aus „Linkes Meteorologischem Taschenbuch", Bd. III mit einigen Kürzungen übernommen. Herrn Prof. Fr. Baur sei auch an dieser Stelle für seine freundliche Genehmigung dazu bestens gedankt!

Das Erscheinen des Werkes trifft zeitlich zusammen mit den Vorbereitungen für das Internationale Geophysikalische Jahr 1957/1958. Dieses bietet mit seinen weltweiten Arbeitsplanungen auch der Forschung auf atmosphärisch-elektrischem Gebiet besondere Möglichkeiten zur kritischen Überprüfung und Erweiterung der Grundanschauungen durch weltweit-synoptische Zusammenarbeit.

Wenn die mit dem vorliegenden Band begonnene Neudarstellung zur Vorbereitung und Durchführung solcher Arbeiten beizutragen vermag, so wäre dies dem Verfasser eine besondere Freude! — Der zweite Teil ist in Vorbereitung und soll nach Möglichkeit ebenfalls noch zum Geophysikalischen Jahr erscheinen.

Die Darstellung wurde bis zur Umbruchkorrektur durch Nachträge ergänzt. Weitere Fortschritte auf den im vorliegenden I. Teil behandelten Teilgebieten, wie sie z. B. auf dem Gebiet der Radioaktivität inzwischen schon vorliegen, werden in einem Nachtrag in Teil II besprochen werden.

Das alphabetische Sachregister am Schluß wird später mit dem zu Teil II gehörigen Sachverzeichnis zusammengefaßt und zu einem Verzeichnis der Fachausdrücke in Deutsch, Englisch und Französisch umgestaltet werden.

Den Herausgebern der Reihe und der Akademischen Verlagsgesellschaft in Leipzig darf ich für ihr entgegenkommendes Verständnis allen meinen Wünschen und Vorschlägen gegenüber auch an dieser Stelle meinen besten Dank aussprechen!

Ebenso danke ich Herrn Dipl.-Phys. Hans Dolezalek, Aachen, der das Kapitel über selbständige Entladungen verfaßt und an den Abschnitten über die Meßmethodik mitgewirkt hat, für seine Mithilfe und seine Unterstützung beim Lesen der Korrekturen.

Aachen, August 1956.

H. Israël

[1]) von H. Dolezalek und mir.

此为试读，需要完整PDF请访问

INHALT

Erster Abschnitt: Geschichtlicher Überblick

§ 1. Allgemeine Vorbemerkungen 1
§ 2. Die ersten Entdeckungen 2
§ 3. Die elektrostatische Entwicklungsperiode 5
§ 4. Die moderne Phase der Luftelektrizität 10

Zweiter Abschnitt: Grundlagen

§ 5. Vorbemerkungen 16

A. Die unselbständige Entladung 16

§ 6. Übersicht 16
§ 7. Die Entstehung eines Ions 19
a) Der normale Ionisierungsprozeß 19
b) Sonstige Entstehungsprozesse 22
c) Die Ladung der Ionen 22

§ 8. Die Beweglichkeit der Ionen 23
a) Allgemeines 23
b) Ionenbeweglichkeit und Ionengröße 25

§ 9. Die Adsorption der Ionen 27
§ 10. Die Diffusion der Ionen 28
§ 11. Die Wiedervereinigung der Ionen 29
§ 12. Ionen im elektrischen Feld. Die Strom-Spannungs-Charakteristik 34
§ 13. Die Charakteristik im ionenhaltigen Gas bei Volumionisierung . 36
1. Annäherung 36
2. Annäherung 39
3. Annäherung 41

§ 14. Der Elektrodeneffekt 42
§ 15. Die Charakteristik im ionenhaltigen Gas bei unipolarer Ionisierung 46
§ 16. Ströme in bewegten ionisierten Gasen 49
a) Geladene Kugel in bewegter Luft 49
b) Feld- und Strömungsrichtung parallel bzw. senkrecht zueinander 51

§ 17. Die unselbständige Entladung bei vermindertem Druck 51
§ 18. Änderungen der Trägereigenschaften bei zunehmender Feldstärke 53
§ 19. Leuchterscheinungen 54

B. Die selbständige Entladung 55

§ 20. Allgemeines 55
§ 21. Ladungsträger 58
a) Trägerentstehung 58
b) Trägerbewegung und Strom 60
c) Trägervernichtung 62
§ 22. Entladungsformen 62
a) Dunkel-, Glimm- und Bogenentladung 62
b) Der Einfluß der Elektrodenkonfiguration 65
c) Die Rolle der Zeit bei selbständigen Entladungen 66
d) Andere Entladungsparameter 68
e) Ähnlichkeitsgesetze 69
§ 23. Zündung 71
a) Lawinenspielzündung 71
b) Kanalzündung 73
c) Gleitzündung 76
d) Andere Zündungsarten 79

C. Ionisatoren 80

§ 24. Ionisationsprozesse 80
§ 25. Ionisatoren 82
§ 26. Radioaktivität 87

Dritter Abschnitt: Das atmosphärisch-elektrische Geschehen (Übersicht)

§ 27. Die Existenz luftelektrischer Erscheinungen 90
§ 28. Zur Variabilität luftelektrischer Erscheinungen 97
§ 29. Probleme und Stoffgruppierung 100

Vierter Abschnitt; Die Leitfähigkeit der Atmosphäre und ihre Ursachen

A. Leitfähigkeit, Ionen, Kerne 106

§ 30. Definition und Meßprinzipien 106
§ 31. Die Leitfähigkeit der Atmosphäre in Bodennähe 115
§ 32. Der Elektrodeneffekt in der Atmosphäre 121
a) Die Watson-Whipplesche Lösung 124
b) Die Chalmerssche Lösung 127
§ 33. Die Leitfähigkeit in der freien Atmosphäre 128
§ 33a. In welcher Höhe erfolgt der weltweite luftelektrische Ausgleich? . 137
§ 34. Stationäre und nichtstationäre Verhältnisse in der Luftelektrizität 139
§ 35. Die Leitfähigkeit der freien Atmosphäre in ihrer Abhängigkeit von meteorologischen Einflüssen 143
§ 36. Die Ionen in der Atmosphäre. Übersicht 154
§ 37. Bemerkungen zur Ionen-Meßtechnik 157
a) Randstörungen 157
b) Knickstelle oder Krümmung? 162

§ 38. Die atmosphärischen Ionen, Meßergebnisse (Zahlen und Beweglichkeitsspektren) 168
a) Kleinionen (Primärionen) 168
b) Mittel- und Großionen (Sekundärionen) 171

B. Ionenbilanz der Atmosphäre 184

§ 39. Die Variationen im atmosphärischen Aerosol 184
§ 40. Die Wiedervereinigungsgesetze 185
§ 41. Die Wiedervereinigungskoeffizienten 191
§ 42. Die Schwierigkeiten des Wiedervereinigungsproblems 195
§ 43. Die Ionisierungsstärke q 205
§ 44. Zur Theorie der Wiedervereinigungsvorgänge 212
§ 45. Die radioaktiven Ionisatoren 220
§ 46. Natürliche atmosphärische Radioaktivität; Maßeinheiten und Meßmethoden 221
§ 47. Natürliche atmosphärische Radioaktivität; Ergebnisse 223
a) Mittelwerte 223
b) Variationen des atmosphärischen Rn-Gehaltes 227
c) Die Höhenverteilung der natürlichen radioaktiven Substanzen . 228
§ 48. Natürliche Radioaktivität; die Ionisierung durch γ-Strahlung . . 231
§ 49. Die Ionisation durch die kosmische Strahlung 234
§ 50. Die Ionisierungsbilanz in der Atmosphäre 235
§ 51. Künstliche Radioaktivität in der Atmosphäre 237

Anhang: Meßtechnik, Hilfstabellen, Verzeichnis der Formelzeichen

I. Meßtechnik 240
Teil 1: Meßtechnik 240
A. Vorbemerkungen 240
B. Maß-System, Einheiten und Bezeichnungen 241
C. Isolation 246
D. Einige elektrostatische Schutzmaßnahmen 249
E. Hilfsmittel (Spannungsquellen, Widerstände, Kapazitäten) . . 250
F. Elektrostatische Meßgeräte (Elektrometer, Röhrenelektrometer, elektrostatisches Voltmeter) 257
G. Registriergeräte 266

Teil 2: Leitfähigkeit, Ionen, Suspensionen, Radioaktivität 267
A. Leitfähigkeit 267
B. Ionenmessungen 275
C. Schwebeteilchen („Kondensationskerne", „Staub") 291
D. Radioaktivität, Strahlungen 294

II. Hilfstabellen 314

III. Verzeichnis der meistbenutzten Formelzeichen 326

Literaturverzeichnis 327
Sachregister 367

ERSTER ABSCHNITT

GESCHICHTLICHER ÜBERBLICK

§ 1. Allgemeine Vorbemerkungen

Es ist üblich, zusammenfassenden Darstellungen eines Forschungszweiges einen Überblick über seine geschichtliche Entwicklung voranzustellen. Dies hat einen tiefen Sinn, verbindet sich doch dabei mit der dankbaren Anerkennung und Würdigung der Leistungen unserer Vorgänger zugleich die Darstellung des natürlichen induktiven Weges zum Eindringen in das Wesen der Dinge und die daraus abgeleiteten Anschauungen.

Man wird einen solchen Entwicklungsgang mit besonderem Interesse verfolgen, wenn sich — wie es beim Gebiet der atmosphärisch-elektrischen Erscheinungen der Fall ist — am Ende einer 200jährigen Forschungsperiode ihr Ausgangspunkt — das Gewittergeschehen — zugleich als der Schlüssel zum Verständnis des Ganzen erweist.

Die elektrischen Vorgänge gehören allgemein zu den Naturerscheinungen, die unserer Vorstellung am schwersten zugänglich sind — weil hier kein Sinnesorgan zwischen uns und der objektiven Welt vermittelt.

Aus diesem Grunde konnte der nach ordnender Erkenntnis strebende, forschende Mensch auf diesem Gebiet nur verhältnismäßig langsam vordringen. Der stürmischen Entwicklung unserer Zeit auf den Gebieten der Elektrophysik und Elektrotechnik geht eine um ein Vielfaches längere Zeit vorsichtig tastender Annäherung voraus[1]).

Noch zögernder erfolgt der erkenntnismäßige Fortschritt auf dem Gebiet der atmosphärisch-elektrischen Erscheinungen. Das Forschungsgebiet der

[1]) D. Berthelot findet im Hinblick auf die Entwicklung der Forschung auf luftelektrischem Gebiet dafür das anschauliche Bild:

„Bien des siècles ont été nécessaires pour faire descendre la foudre du ciel sur la terre et pour transformer un modeste physicien dans son laboratoire en un zeus au petit pied".

(Aus dem Geleitwort zu E. Mathias: Traité d'électricité atmosphérique et tellurique. Paris 1924.)

Luftelektrizität — in seinen Anfängen ein Kind des 18. Jahrhunderts — empfängt seine entscheidenden Impulse erst zu Beginn unseres Jahrhunderts. Eines der wichtigsten Probleme dieses Gebietes, sein Grund- und Existenzproblem schlechthin, hat erst in jüngst vergangener Zeit eine befriedigende Aufklärung erfahren.

Wenn man für diesen im Vergleich mit der sonstigen physikalischen Entwicklung des vergangenen Säkulums langsamen Ausbau der Kenntnisse vom atmosphärisch-elektrischen Geschehen eine Begründung sucht, so kann man diese zunächst darin sehen, daß diese Erscheinungen, die man naturgemäß ursprünglich von der Erkenntnisebene der Elektrostatik aus zu verstehen suchte, in Wirklichkeit weder dieser noch der Elektrodynamik angehören, sondern typische Erscheinungen des Zwischengebietes der „Ionenphysik" darstellen. Dazu kommt die im Vergleich zur Laboratoriumsarbeit allgemein mit der Geophysik verknüpfte Schwierigkeit, nicht im eigentlichen Sinne experimentieren zu können, sondern durchweg vorgegebene und unbeeinflußbare Experimente der Natur deuten zu müssen.

Wir wollen im folgenden den Entwicklungsgang der Luftelektrizität in Gedanken kurz an uns vorbeiziehen lassen und denken uns dazu in die erste Hälfte des 18. Jahrhunderts zurückversetzt. Die Entwicklung läßt sich in drei Zeitabschnitte trennen: eine Periode der Erstentdeckungen, die den Zeitraum von 1750 bis 1785 umfaßt, eine „elektrostatische Entwicklungsperiode", die etwa bis 1885 reicht, und eine moderne Entwicklungsperiode, die — kurz vor der Wende des 20. Jahrhunderts beginnend — heute einen gewissen Teilabschluß erreicht hat.

§ 2. Die ersten Entdeckungen

Die Zeit, in die wir bei unserer Rückschau zuerst blicken, ist die Zeit der elektrostatischen Experimente. Noch liegen die grundlegenden Entdeckungen und Erfahrungen über die statische Elektrizität nicht lange zurück, als der Gedanke auftaucht, daß die grandiose Naturerscheinung des Blitzes eine Manifestation solcher statischer Elektrizität darstellt. Die erste klar formulierte Vermutung findet sich 1708 bei W. Wall [787]. Er schreibt von dem beim Reiben von Bernstein beobachteten knisternden Fünkchen:

„...it seems to be of the same nature with that of thunder lightning".

Sein Gedanke findet Anklang und wird in gleicher und ähnlicher Form von anderen übernommen. Vor allem ist es Benjamin Franklin in Philadelphia, der ihm zum Durchbruch verhilft. Seine Versuche über Reibungselektrizität und Spitzenentladung führen ihn folgerichtig zu den Gewitter-

erscheinungen hin, die er experimentell als elektrische Erscheinungen zu beweisen sucht [163]. In einem an seinen Freund P. Collinson in London gerichteten Brief vom 29. Juli 1750 berichtet er diesem über seine Versuche in Philadelphia und schlägt folgenden Versuch vor:

> „To determine the question whether the clouds that contain lightning are electrified or not J would propose an experiment to be tried where it may be done conveniently. On top of some high tower or steeple place a kind of sentry box... big enough to contain a man and a electric stand. From the middle of the stand let an iron rod rise and pass bending out of the door, and to upright twenty or thirty feet, pointed very sharp at the end. If the electric stand be kept clean and dry, a man standing on it when such clouds are passing low might be electrified and afford sparks, the rod drawing the fire to him from a cloud. If any danger to the man should be apprehended (though J think there would be none) let him stand on the floor of his box and now and than bring near to the loop of a wire that has one end fastened to the leads, he holding it by a wax handle; so the sparks, if the rod is electrified, will strike from the rod to the wire and not affect him."

Es ist ein eigenartiger Zufall, daß die erste erfolgreiche Durchführung dieses — wie es heute allgemein genannt wird — „Philadelphia-Experimentes" nicht Franklin selbst gelingt. Der erste positive Versuch und damit der von Franklin klar vorausgesehene Beweis für die physikalische Identität von Blitz und Funke geschieht am 10. Mai 1952 in Marly bei Versailles. T. F. Dalibart (1703—1799) berichtet darüber am 13. Mai 1752 in der Académie des Sciences in Paris [101]. B. Franklin selbst findet — noch vor Kenntnis des Dalibartschen Ergebnisses — im Juni des gleichen Jahres in Philadelphia das gleiche.

In gleicher Richtung liegen Versuche und Ergebnisse von J. de Romas (1713—1776) in Nérac [597], der aus einem Drachen bei Gewitter einen Funkenüberschlag von 3 m Länge mit „pistolenschußartigem" Geräusch zur Erde überschlagen sieht.

Tragisch ist das Geschick von Richmann in St. Petersburg, der ebenfalls das Franklinsche Experiment bestätigt, dabei aber von dem in seinen „Conduktor" einschlagenden Blitz getötet wird.

Mit diesen Experimenten ist der erste grundlegende Entdeckerschritt getan. Mit der Erkenntnis, daß der Blitz ein elektrisches Phänomen darstellt, wird ein Naturereignis dem Verständnis nähergebracht und zugleich der erste Schritt in ein bis dahin unbekanntes Neuland getan.

Ein zweiter Entdeckerschritt von gleicher, ja vielleicht noch größerer Tragweite verknüpft sich mit dem Namen L.-G. Lemonnier (1717 bis 1799) [407]. Zur Wiederholung und Verfeinerung der Dalibart-Franklinschen Versuche trifft er in St. Germain folgende Anordnung: Eine 10 m

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

hohe Holzstange trägt an ihrem oberen Ende glasisoliert einen zugespitzten Eisenstab, von dem ein langer Draht ohne Berührung mit anderen Gegenständen in ein Gebäude führt und hier mittels Seilen verspannt ist. Am Drahtende werden die üblichen Gewitterversuche (Funkenbildung und Elektrisierung verschiedener Körper) wiederholt. Zum Nachweis schwächerer Elektrisierung nähert er dem Drahtende Staub und beobachtet dessen Anziehung. Dabei beobachtet nun Lemonnier, daß auch an einem vollkommen klaren und wolkenlosen Junitag des Jahres 1752 eindeutig eine anziehende Wirkung seines Drahtendes auf den Staub stattfand.

Mit großer Sorgfalt untersucht er die überraschende Erscheinung und kommt bald zu dem Schluß, daß elektrische Erscheinungen *nicht* an das Vorhandensein von Wolken geknüpft, sondern nahezu ständige Eigenschaft der atmosphärischen Luft sind. Weiteres Verfolgen der Erscheinung bei Tag und Nacht vermittelt erste qualitative Kunde der tagesperiodischen Veränderlichkeit dieses Zustandes.

Die dritte grundlegende Erkenntnis dieser Erstlingszeit knüpft sich an den Namen des Italieners G. B. Beccaria (1716—1781) [33], der in Turin die Versuche B. Franklins fortsetzt und in 20jähriger Arbeit mit einer für das primitive Instrumentarium der damaligen Zeit erstaunlichen Beobachtungsgabe sowohl die tägliche periodische Variation des atmosphärisch-elektrischen Zustandes wie auch das Vorhandensein verschiedener Vorzeichen der Elektrizität seines „Spitzenkollektors" erkennt. Danach überwiegt bei klarem Himmel die „Glaselektrizität", bei gewitterigem die „Harzelektrizität".

In fast die gleiche Zeit fällt eine vierte Erkenntnis von entscheidender Bedeutung: Der französische Physiker C. A. Coulomb — durch das zuerst von ihm erkannte und nach ihm benannte Coulombsche Gesetz der elektrostatischen Kraftwirkungen bekannt — beobachtet, daß ein der Luft ausgesetzter hochwertig isolierter Leiter langsam seine Ladung einbüßt, und zieht daraus den Schluß, daß die Luft ein gewisses Leitvermögen haben muß [97]. Seine Beobachtung findet jedoch kein Verständnis und gerät wieder völlig in Vergessenheit, um erst rund 100 Jahre später „mit Erfolg" neu entdeckt zu werden.

Überschaut man diese Periode der Entdeckungen, so kann man die Beobachtungskunst dieser ersten Pioniere nicht hoch genug einschätzen, sind doch mit ihren Erkenntnissen alle grundsätzlichen Erscheinungen des Gebietes schon stichprobenartig angeschnitten.

Dem Dalibartschen Experiment, das die vorausgesagte Verifizierung einer Hypothese über das Gewitter darstellt, folgt die Entdeckung Lemonniers, der den neuen Weg erschließt und zusammen mit Beccaria

bereits ein gutes Stück verfolgt. Fast wird der entscheidende Schritt der zukünftigen Entwicklung schon von Coulomb vorweggenommen, kann aber in der Denkweise der damaligen Zeit noch kein Verständnis finden.

Man kann es heute, rückwärts schauend, vielleicht sogar als Vorzug bezeichnen, daß die Coulombsche Erfahrung keinen Eingang fand und die weitere Arbeit nicht mit etwas belastete, das zunächst unverstanden bleiben mußte. Nur so konnte die luftelektrische Tätigkeit ihren zunächst rein auf elektrostatischen Anschauungen aufbauenden Weg gehen und damit die breite Grundlage erwerben, die dann rund ein Jahrhundert später im Zuge der physikalischen Entwicklung folgerichtig in die Ionenphysik einmünden mußte. Wir können demgemäß die folgende rund 100jährige Periode als die elektrostatische Periode der Luftelektrizität bezeichnen.

§ 3. Die elektrostatische Entwicklungsperiode

Auf die fast sich überstürzende Entwicklung der Entdeckerzeit folgt eine Periode der Erweiterung der Erfahrungsgrundlagen in Breite und Tiefe, gepaart mit grundlegenden Verbesserungen der Beobachtungstechnik und ersten Versuchen zur kausalen Erklärung des atmosphärisch-elektrischen Zustandes.

Der Genfer Physiker H. B. de Saussure (1740—1799) [621] ist der erste, der auf diesem Gebiet zu quantitativ vergleichbaren Ergebnissen kommt. Sein Meßgerät — zwei an dünnen Drähten nebeneinander hängende Holundermarkkügelchen, deren Spreizung er beobachtet — ist der Vorläufer des modernen Elektrometers, seine Meßweise die Erstanwendung der sogenannten „influenz-elektrischen Methode" mittels bewegten Leiters.

Sein Holundermark-Elektrometer ist nach oben von einem Metallstab überragt. Hebt er im Freien das Ganze, nachdem es auf dem Boden stehend mit diesem verbunden war, isoliert hoch, so beobachtet er ein Auseinandergehen der Kügelchen, das um so stärker wird, je höher er das System hebt. Senkt er es wieder, so geht der Ausschlag zurück; erdet er vorübergehend in erhobenem Zustand und senkt das Instrument, so erhält er am Boden gleiche Spreizung, die jedoch von der „entgegengesetzten" Elektrizität herrührt.

Der Begriff des elektrischen Feldes existiert zu seiner Zeit noch nicht. Daß er aber in seinen Versuchen etwas grundsätzlich anderes über den atmosphärisch-elektrischen Zustand auszusagen vermag als Lemonnier usw., erkennt er sehr wohl, wie seine fast modern anmutende Interpretation beweist: Er faßt den beobachteten Vorgang als Influenzwirkung positiver Ladungen in höheren Luftschichten auf sein Meßsystem auf und knüpft daran den weit vorausschauenden Vorschlag

„d'une expérience à faire par les physiciens qui auront l'occasion de s'élever dans une machine aérostatique."

Auf diese Weise untersucht er das neue Phänomen in Genf und auf dem Col du Géant (3400 m) und findet die grundlegenden Züge der periodischen Veränderlichkeiten: den Jahresgang mit Höchstwerten im Winter und kleinsten Werten im Sommer; ferner einen Tagesgang, der in Genf zwei Maxima einige Stunden nach Sonnenauf- und Sonnenuntergang und zwei Minima vor diesen Terminen zeigt, während er im Gebirge von einem kleinsten Wert gegen 4 Uhr morgens zu einem größten am frühen Nachmittag ansteigt und dann wieder zur Nacht hin abfällt. Außerdem findet er in Bestätigung der Ergebnisse Beccarias die Elektrizität der Luft bei Abwesenheit von Wolken ausnahmslos positiv.

Weiter verdient es besondere Erwähnung, daß bei de Saussure zuerst der Gedanke auftaucht, ob denn diesem elektrischen Zustand der Luft nicht auch eine Bedeutung für die Erhaltung der Gesundheit zukommen könne.

Der nächste Fortschritt knüpft sich an den Namen A. Volta (1747 bis 1825) [770], der die Beobachtung macht, daß die Flamme einer Kerze, mit einem isolierten Leiter verbunden, diesen im Freien rasch elektrisch auflädt. Das Ausbleiben der Aufladung im geschlossenen Raum läßt ihn die Erscheinung mit der Elektrizität der Atmosphäre in Verbindung bringen und gibt ihm damit ein Mittel in die Hand, das in gleicher und abgewandelter Form bis in unsere Zeit hinein für luftelektrische Untersuchungen Anwendung findet.

Zugleich ist A. Volta der erste, der eine Erklärung des neuartigen Phänomens der Elektrizität der Luft versucht. De Saussure war durch seine Versuche zu der Ansicht gekommen, daß die Luft eine positive Ladung enthalten müsse, die mit der Höhe an Stärke zunimmt. Dies konnte sowohl die Aufladung von Drähten und Spitzen als Folge der Berührung mit diesen Luftladungen wie auch die Influenzerscheinungen erklären. Wir erkennen hierin übrigens schon den Begriff der Raumladung angedeutet, wenn er auch zu dieser Zeit noch nicht in präziser Form gefaßt wird. Volta versucht nun, das Zustandekommen dieser Luftladungen zu erklären und macht sich folgendes Bild: Der Begriff des Wasserkreislaufes in der Atmosphäre ist ihm geläufig. Mit diesem scheint ihm ein Elektrizitätstransport verknüpft zu sein, der dadurch entsteht, daß zum Verdunsten von Wasser außer Wärme auch Elektrizität erforderlich ist. Diese, und zwar positive Elektrizität verläßt mit dem Wasserdampf die Erdoberfläche, tritt also als positive Ladung in der Luft in Erscheinung, während die Erdoberfläche negativ geladen zurückbleibt.

Seine Auffassung ist nicht zutreffend. Aber das Interessante an ihr ist das, daß das elektrische Verhalten der Luft nicht als fester Zustand, sondern als Folge eines dauernden Prozesses — hier des Wasserkreislaufes — angesehen wird. Wir werden im weiteren sehen, daß sich dieser Gedanke eines Kreislaufes (sogar in Verbindung mit Phasenumwandlungen des Wassers) letzten Endes als der entscheidende Faktor des ganzen Geschehens erweist. Ferner ist an dem Voltaschen Deutungsversuch von besonderem Interesse die erste Andeutung einer negativen Erdladung, die in der Folgezeit eine große Rolle spielt, bis sie erst in jüngster Vergangenheit endgültig aufgegeben wird.

Andere Deutungsversuche gehen auf P. Erman (1764—1851) [149] und A. Peltier (1785—1845) [555] zurück. Erman beobachtet, daß sich Influenzwirkungen im de Saussureschen Sinne nicht nur bei vertikaler Bewegung des Meßgerätes, sondern auch bei horizontaler Bewegung desselben an ein Gebäude, einen Baum hin zeigen und zieht die bisherigen Schlüsse in Zweifel. Es scheint ihm unmöglich, seine Beobachtungen als Influenzwirkungen durch positive elektrische Massen in der Luft zu verstehen. Für richtiger hält er die Vorstellung einer „Erdelektrizität", d. h. einer negativ geladenen Erde als Urheber der ganzen Erscheinungen.

Die ersten Jahrzehnte des 19. Jahrhunderts bringen fast überhaupt keinen weiteren Beitrag auf luftelektrischem Gebiet. Als einziger verdient Schübler [648] in Tübingen Erwähnung, der zwischen 1810 und 1830 die Voltaschen Messungen der Tagesvariationen wiederholt und verfeinert, die jährliche Periode untersucht und Beziehungen zum Wetter festlegt. Er bestätigt auch eine schon 1786 von Tralles in Bern gemachte Entdeckung, nämlich die Erzeugung negativer Elektrizität in der Nähe von Wasserfällen, die uns heute unter dem Namen „*Lenard*-Effekt" geläufig ist.

Erst mit A. Peltier kommt die Arbeit wieder in Fluß. Er knüpft an die seit mehr als 30 Jahren vergessenen Bedenken Ermans an und führt sie konsequent zum Ziele einer neuen Hypothese.

Er schließt aus seinen Experimenten mit dem de Saussureschen Elektroskop, das er etwas umgestaltet, daß er nur Unterschiede zwischen den elektrischen Zuständen der beweglichen Teile des Instrumentes und seinem Gehäuse zu messen vermag, daß aber keine Aussage darüber möglich ist, ob der elektrische Zustand der Luft, der sein Instrument aus dem Gleichgewicht bringt, durch positive Ladungen in der Atmosphäre oder durch eine negative Ladung der Erde hervorgerufen wird.

Peltier erkennt also die Relativität influenz-elektrischer Messungen in einem elektrischen Feld bzw. die Unmöglichkeit absoluter Potential-

messungen. Auf dieser Grundlage entwickelt er folgendes Bild des atmosphärisch-elektrischen Zustandes:

Die Erde ist negativ geladen. Die Luft ist „weniger negativ", erscheint also, da nur Differenzen des elektrischen Zustandes gemessen werden können, positiv. Das verdampfende Wasser nimmt negative Ladung von der Erde mit in die Luft, erzeugt so die beobachteten Variationen des atmosphärisch-elektrischen Zustandes und gibt die Erklärung für die Elektrifizierung von Wolken, Nebel, Gewitter usw.

Man kann der Peltierschen Theorie in ihrer Geschlossenheit und Spannweite die Anerkennung nicht versagen. Sie steht für ihre Zeit auf einer erstaunlichen Höhe klarer und kritischer Formulierung und eröffnet die Möglichkeit zur theoretisch-mathematischen Behandlung des Problems, die mit der Arbeit von W. Thomson (1824—1908; später Lord Kelvin) eine neue Ära des luftelektrischen Gebietes einleitet.

Ehe wir dazu übergehen, sind noch zwei Namen zu nennen: Pouillet [573] glaubt aus Versuchen über die Verdampfung von Lösungen schließen zu können, daß sich bei alkalischen Lösungen der Dampf negativ, die Flüssigkeit positiv auflädt, während bei Salzlösungen das Umgekehrte der Fall ist, und sieht von dieser — allerdings bald als falsch erkannten — Grundlage aus in der Verdampfung des Meerwassers eine Möglichkeit zur Erklärung einer negativen Erd- und positiven Luftladung.

Der Gedanke verdient deshalb Erwähnung, weil man in ihm zuerst eine ahnende Andeutung weltweiter luftelektrischer Zusammenhänge erblicken kann.

In meßtechnischer Hinsicht bringt die Arbeit von F. Dellmann [106] einen großen Fortschritt, der im de Saussureschen Meßverfahren Influenzierungskörper und Elektrometer trennt und die Messungen soweit verfeinert, daß W. Thomson seine 15jährigen Messungen als die besten vor Einführung der modernen Meßverfahren bezeichnen kann.

Mit W. Thomson [750] schließen sich die bisherigen Einzelbausteine zu einem ersten geschlossenen Gesamtbild ineinander. Thomson erkennt als erster den atmosphärisch-elektrischen Zustand als *elektrisches Feld* und führt die Begriffe des Potentials und der Kraftlinien in die Luftelektrizität ein. Kraftlinien beginnen und endigen auf elektrischen Ladungen. Die Existenz des Feldes ist gleichbedeutend mit einer Oberflächenladung der Erde; an ihr beginnen also Kraftlinien. Ob diese auf Ladungen entgegengesetzten Vorzeichens in der Luft endigen oder sich ins Unendliche verlieren, ob also die Erde samt Atmosphäre als Ganzes ungeladen ist oder eine wahre Ladung trägt, darüber läßt die bodennahe Messung keine Entscheidung zu; umgekehrt ist dies für das bodennahe Feld bedeutungslos.

In meßtechnischer Hinsicht klärt Thomson die Wirkungsweise des Peltierschen Influenzverfahrens und des Voltaschen Flammenkollektors im einzelnen auf und schlägt neue und bessere Wege ein.

Zur Vermeidung der starken Feldstörungen, die durch das Vorhandensein des Influenzierungskörpers bei den älteren Meßverfahren auftreten, verwendet er eine große Metallplatte, die sich an einer vollständig ebenen Stelle der Erdoberfläche befindet. Durch die Konstruktion seiner berühmten Meßinstrumente, der Elektrometer (absolutes Elektrometer; Quadrant-Elektrometer, um 1860), schafft er die ersten wirklichen Präzisionsinstrumente für elektrostatistische und speziell luftelektrische Untersuchungen. An Stelle der alten Flammen- und Spitzenkollektoren bedient er sich zuerst der sogenannten „Lunten" (glimmende Dochte) und entwickelt den Wassertropfkollektor [750]. 1861 richtet er in Kew bei London die erste Dauerregistrierung des luftelektrischen Potentialgefälles ein; die Station arbeitet seit dieser Zeit ohne Unterbrechung. Das Observatorium Kew ist somit die älteste luftelektrische Station. Genauere Beschreibung bei J. D. Everett [152].

Mit W. Thomson beginnt eine wesentlich erweiterte Meß- und Registriertätigkeit auf luftelektrischem Gebiet. E. Mascart [438] in Paris entwickelt ein photographisch arbeitendes Registriergerät, das in verschiedenen Stellen Frankreichs zum Einsatz kommt. In Italien arbeiten Roiti in Florenz, Tacchini in Rom, Palmieri in Neapel.

Auf dem internationalen Elektrikerkongreß 1881 schlägt Rowland [606] internationale Zusammenarbeit auf diesem Gebiet zur Aufklärung der im Nordlicht und im Gewitter sichtbar werdenden Energiequellen vor, findet jedoch keinen Widerhall. Indes beginnt sich die Internationale Polarkommission für diese Fragen zu interessieren und regt zu luftelektrischem Arbeiten in den Polargebieten an mit dem Erfolg, daß bald erste Feldmessungen von Kap Hoorn, Sodankylä/Finnland und Kap Thordsen bekannt werden.

Einen neuen großen Fortschritt bringt Franz Exner [154] in Wien, der — angeregt durch die Thomsonschen Arbeiten — ein bequem transportables Reiseinstrumentarium zur Messung des Erdfeldes konstruiert und mit seinen Schülern zahlreiche systematische Untersuchungen (auch auf See und in den Tropen) durchführt. Er betont auch zuerst die Notwendigkeit, absolute, d. h. „auf die freie Ebene reduzierte" Messungen vorzunehmen, um vergleichbare Ergebnisse und damit deutbare Gesetzmäßigkeiten auffinden zu können. Die zahlreichen von ihm angeregten Untersuchungen, die in der Folgezeit unter dem Übertitel „Beiträge zur Kenntnis der atmosphärischen Elektrizität" in den Wiener Akademieberichten er-

此为试读，需要完整PDF