

# Sitzungsberichte

der

mathematisch-physikalischen Klasse

der

**K. B. Akademie der Wissenschaften**

zu München.

---

Band XXXVI. Jahrgang 1906.

---

**München**

Verlag der K. B. Akademie der Wissenschaften

1907.

In Kommission des G. Franz'schen Verlags (J. Roth).

## Über einen neuen Flammenkollektor und dessen Prüfung im elektrischen Felde.

Von Dr. C. W. Lutz.

(Eingelaufen 8. November.)

(Mit Tafel V und VI.)

Durch die Munifizienz der K. B. Akademie der Wissenschaften zu München wurde dem hiesigen Erdmagnetischen Observatorium die Anschaffung eines Benndorfschen selbstregistrierenden Elektrometers zur Aufzeichnung des luftelektrischen Potentialgefälles<sup>1)</sup> ermöglicht.

Bekanntlich liefert dieser Apparat nur relative Werte des elektrischen Spannungsgefälles, welche durch eine gleichzeitige Messung im freien flachen Terrain auf die Ebene zu reduzieren sind. Diese Bestimmung des „Reduktionsfaktors“ geschieht gewöhnlich mit Hilfe eines Wasser- oder Flammenkollektors, der auf einem Hartgummistabe wohl isoliert aufgestellt und durch einen mehrere Meter langen dünnen Leitungsdraht mit einem Aluminiumblattelektroskop verbunden wird. Da der Meßbereich eines solchen transportablen Elektroskopes ein eng begrenzter ist (von ca. 50 bis 250 Volt), so wird der Abstand des Kollektors vom Erdboden, also die Länge der Hartgummistütze entsprechend dem eben herrschenden Potentialgefälle gewählt, so daß ein gut ablesbarer Ausschlag der Elektroskopblättchen entsteht. Eine solche Messungsanordnung ist nur dann einwandfrei, wenn der Verlauf des Potentialgradienten in der Nähe der Erdoberfläche ein linearer ist, und das scheint

<sup>1)</sup> H. Benndorf, Wiener Akademieberichte 111, IIa, 487, 1902.

auch nach den Messungen von F. Exner<sup>1)</sup> bis hinauf zu ca. 50 m der Fall zu sein. Dieser einfache Zusammenhang zwischen Potential und Abstand von der Erdoberfläche zeigt sich nach Exner<sup>2)</sup> besonders deutlich an klaren Tagen des Januars bei Temperaturen unter  $0^{\circ}$  und fest gefrorener Schneedecke. Bei anderen Wetterlagen scheint aber doch eine Änderung des Potentialgefälles mit der Höhe vorhanden zu sein. So fand z. B. A. Gockel<sup>3)</sup> wiederholt eine starke Abnahme des Potentialgradienten mit der Höhe. Auch ich fand in der wärmeren Jahreszeit gelegentlich der Bestimmung des oben erwähnten Reduktionsfaktors verschiedene Zahlen je nach dem Abstand des Kollektors über dem Erdboden; und zwar ergaben sich stets bei größeren Abständen kleinere Werte des Potentialgefälles (in Volt/m), also eine nicht zu verkennende Abnahme des Gradienten mit zunehmender Höhe. Hier sei gleich bemerkt, daß bei diesen Messungen der noch näher zu erörternde Umstand berücksichtigt wurde, daß der Ausgleichsort der Spannungen bei Flammenkollektoren immer höher liegt als der obere Rand des Schutzzyinders.

Stellt man sich auf den Boden der Ebertschen Theorie,<sup>4)</sup> so ist dieses verschiedene Verhalten des Potentialgefälles im Winter und Sommer wohl verständlich. Nach Ebert kommt das elektrische Erdfeld durch das Herausdringen der im Erdboden enthaltenen, stark ionisierten Luft zustande. Auf dem Wege durch die Erdkapillaren gibt die ionenreiche Bodenluft vorwiegend — Ladungen ab, tritt also mit einem Überschusse von + Ionen aus dem Erdboden heraus. Die freie + Ladung der unteren Luftschichten bedingt das positive, nach oben hin abnehmende Potentialgefälle. Eine Unterbrechung des Transpirationsprozesses durch Zufrieren der Erdkapillaren im Winter muß das von Exner beobachtete Verhalten des Potentialgradienten zur Folge haben.

1) F. Exner, Wiener Akademieberichte 93, IIa, 258, 1886.

2) Ebenda, S. 260.

3) A. Gockel, Meteorologische Zeitschrift 23, 54, 1906.

4) H. Ebert, Physikalische Zeitschrift 5, 135, 1904.

Daß das Potentialgefälle  $\frac{dV}{dh}$  nicht konstant ist, bringt allerdings in die erwähnte Reduktionsmessung eine Schwierigkeit hinein; aber an sich ist dieses Verhalten des Gradienten von großem Interesse, da es eine Hindeutung auf die in der Luft enthaltene freie Elektrizitätsmenge enthält. Dies genauer zu studieren, sind Messungen im Gange, über welche später berichtet wird; hier soll zuerst die Kollektorfrage behandelt werden. Da bei allen luftelektrischen Stationen eine solche „Reduktion auf die Ebene“ wiederholt durchgeführt werden muß, so ist die Wahl eines geeigneten Kollektors für die Feldbeobachtungen auch bei den fortlaufend registrierenden Instrumenten von großer Bedeutung. Unter allen Kollektortypen am brauchbarsten für diesen Zweck dürfte der Flammenkollektor sein. Infolge seiner leichten Transportfähigkeit, des geringen Gewichtes, der raschen Einstellung und Brauchbarkeit bei jeder Temperatur und Tageszeit eignet sich gerade dieser Kollektor am besten für Reise- und Feldbeobachtungen (Radiokollektoren sind zu vermeiden, wenn noch anderweitige luftelektrische Bestimmungen, wie Leitfähigkeit und Ionendichte gemacht werden sollen). Leider stehen diesen Vorzügen zwei ganz erhebliche Nachteile gegenüber. Die Angaben eines Flammenkollektors werden nämlich vom Winde beeinflusst, und der Hauptnachteil der üblichen Konstruktionen ist der, daß sie schon bei geringen Windgeschwindigkeiten verlöschen. Der letztere Übelstand machte Beobachtungen auf dem weiten, allseits dem Winde ausgesetzten ebenen Terrain im Osten des Observatoriums, das sich für luftelektrische Messungen sonst vorzüglich eignet, schon bei einer Windstärke 2 (der 10 teiligen Skala) unmöglich.

Gelänge es, den Flammenkollektor von den erwähnten Mängeln frei zu machen, so wäre er sicher für die so wichtigen Feldbeobachtungen der brauchbarste Apparat.

Diese Erwägungen veranlaßten mich, den Flammenkollektor so umzuändern, daß er sicher im Winde brennt, leicht transportabel, reinlich und sparsam im Betrieb, also mehrere Stunden

ununterbrochen zu gebrauchen ist. Durch eine Prüfung<sup>1)</sup> im künstlichen elektrischen Felde wurde dann die Lage des Ausgleichspunktes, der Einfluß der Luftbewegung auf denselben, sowie die Ladezeit des neuen Kollektors untersucht, um ihm auch in dieser Hinsicht die beste Form zu geben.

Nach mehreren Fehlversuchen gelang es mir, eine Konstruktion zu finden, die allen erwähnten Anforderungen genügt. Der Apparat ist in Figur 1 im Längsschnitt dargestellt. Im Innern eines Messingrohres  $R$  steckt eine kurze dicke Kerze  $K$ , die durch eine Feder  $F$  beständig nach oben gedrückt wird, am Hinausgeschobenwerden aber durch den schmalen Rand  $r$  verhindert wird. In dem Maße nun, in dem die Kerze oben abbrennt, wird sie durch die Feder nachgedrückt, so daß die Flamme stets an der gleichen Stelle brennt. Unten ist das Rohr  $R$  durch die Platte  $P$  verschlossen (Bajonettverschluß), welche zum Einführen einer neuen Kerze abgenommen werden kann. Das Auswechseln der Kerze nimmt nur wenig Zeit in Anspruch. Mittels des Halses  $H$  kann der ganze Apparat auf einen isolierenden Stab aufgesteckt werden. Die Mutter  $m$  dient zum Einklemmen des nach dem Elektroskope führenden Verbindungsdrahtes.

Soweit würde der Apparat bereits einen vollständigen Flammenkollektor darstellen, dessen freibrennende Kerzenflamme aber bei geringstem Winde ausgelöscht werden würde. Um das zu verhindern, ist folgende Einrichtung getroffen:

-----  
<sup>1)</sup> Untersuchungen über verschiedene Kollektoren wurden bisher ausgeführt von:

H. Pellat, Comptes Rendus 100, 735, 1886.

K. v. Wesendonk, Naturwissenschaftliche Rundschau 15, 233, 1900.

F. Henning, Annalen der Physik, 4. Folge 7, 893, 1902.

V. Conrad, Wiener Akademieberichte 111, IIa, 333, 1902.

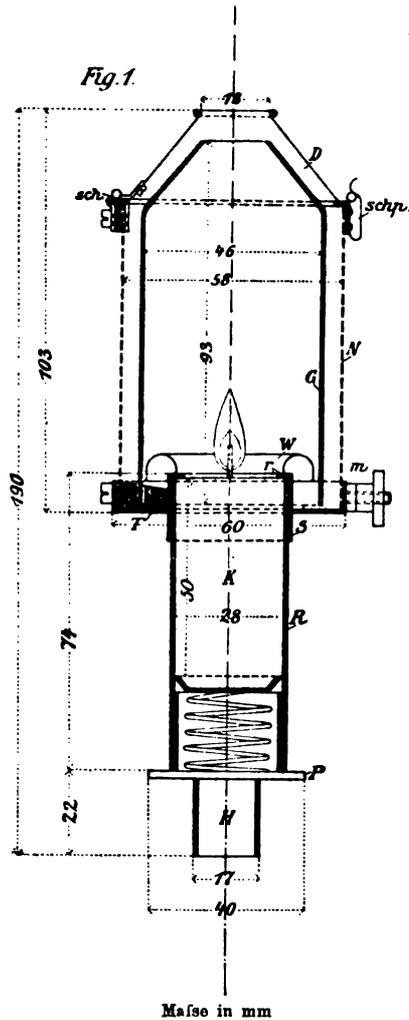
F. Linke, Physikalische Zeitschrift 4, 661, 1903.

H. Benndorf und V. Conrad, Boltzmann-Festschrift, Leipzig 1904, 691.

H. Benndorf, Wiener Akademieberichte 115, IIa, 425, 1906.

Auf die Ergebnisse dieser Untersuchungen, soweit sie auf die vorliegende Arbeit Bezug haben, komme ich noch an geeigneter Stelle zurück.

Längs des Rohres  $R$  ist mit leichter Reibung das kurze Rohrstück  $S$  und der damit festverbundene Teller mit Rand  $T$  verschiebbar. Auf diesem steht in drei eingedrehten Füßchen  $f_1, f_2, f_3$  aus Vulkanit (Wärmeschutzmittel) der oben konische Glaszylinder  $G$ , der seinerseits von einem zylindrischen Metallnetz  $N$  umgeben ist. Oben trägt dieses Netz einen um das Scharnier  $sch$  aufklappbaren konischen Deckel  $D$  aus dünnem Metallblech. Ein kleiner Schnäpper  $schp$  hält den Deckel  $D$  zu. Der Glaszylinder  $G$  sitzt nicht dicht auf dem Teller  $T$  auf, sondern wird durch die drei Füßchen  $f$  etwas darüber gehalten, so daß zwischen beiden ein schmaler ringförmiger Spalt offen bleibt, durch den die Frischluft zuströmen kann. Der wulstförmige, unten offene Ring  $W$  schützt die Flamme vor zu heftigen, durch den Spalt eindringenden Windstößen. Beim Transporte wird der Teller  $T$  und mit ihm der darauf befestigte ganze obere Teil des Kollektors (Glaszylinder und Netzgehäuse) bis zum Aufsitzen auf die Platte  $P$  herabgeschoben. In derselben Stellung wird die Kerze nach Aufklappen des Deckels  $D$  angezündet.



Durch die beschriebene Einrichtung des Kollektors ist erreicht, daß ein horizontal ankommender Windstoß mehrmals seine Richtung ändern muß, um senkrecht auf die Flamme zu treffen. Dem dürfte es wohl in erster Linie zuzuschreiben sein, daß die Kerze selbst durch stürmische Winde nicht verlöscht wird, wovon ich mich wiederholt überzeugte. Die obere Einziehung des Glaszylinders und die entsprechende Form des Deckels begünstigt den raschen Abzug der ionisierten Verbrennungsgase, was die Wirksamkeit des Kollektors erhöht<sup>1)</sup> (vergleiche Tab. 5). Der Glaszylinder, das Metallnetz, sowie die Vulkanitflächen verhindern eine stärkere Erwärmung des Metallrohres, in welchem die Kerze steckt. Dadurch wird erreicht, daß die Kerze, selbst im geheizten Zimmer, ununterbrochen bis zu Ende brennt. Bei den von mir verwendeten Kerzen, die ich eigens zu diesem Zwecke anfertigen ließ, beträgt die Brenndauer (im Kollektor) ca. 6 Stunden.

Bei Verwendung von einfachen Metallzylindern, wie dies bei meinen ersten Versuchen geschah, erhitze sich das Rohr *R*, trotz eines zwischengeschalteten Vulkanitringes nach einiger Zeit so stark, daß die Kerze herauschmolz. Auch eine völlige Ausfütterung der Metallzylinder mit Asbest half nicht.

Den oben beschriebenen Kollektor unterzog ich nun einer eingehenden Prüfung im künstlichen elektrischen Felde, in welchem ich zur Vergleichung auch einige andere Kollektortypen untersuchte.

#### **Prüfung des Flammenkollektors im künstlichen elektrischen Felde.**

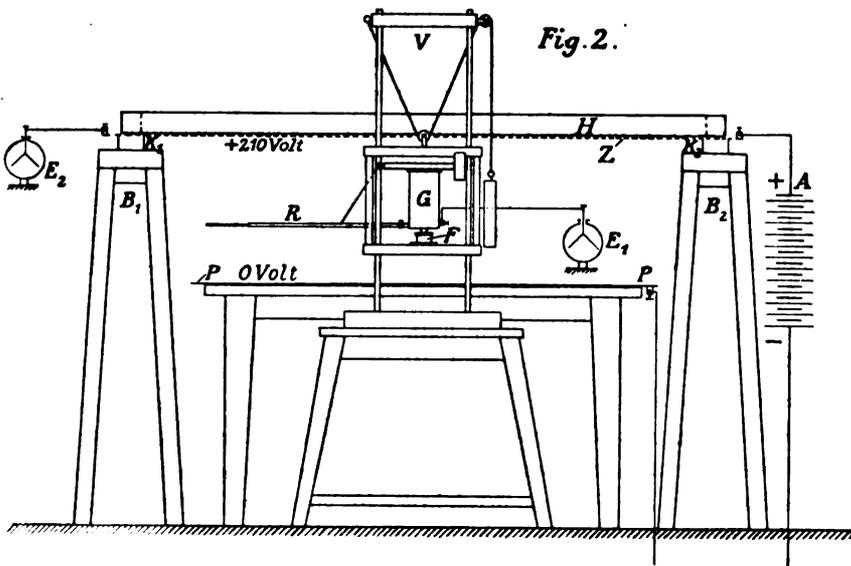
Zunächst mußte festgestellt werden, in welcher Weise der Kollektor selbst die Niveauflächen eines homogenen elektrischen Feldes deformiert und wo jene besondere Niveaufläche (Ausgleichsniveaufläche, Bezugsniveaufläche) liegt, deren Potential der Kollektor schließlich annimmt. Gewöhnlich wird nämlich bei Messungen des atmosphärischen Potentialgefälles die Stö-

<sup>1)</sup> F. Linke, l. c., S. 663 und S. 664.

rung des Erdfeldes durch den Kollektor selbst völlig vernachlässigt, d. h. man nimmt an, daß ein Flammenkollektor das Potential der Niveaufläche annimmt, die durch seinen oberen Zylinderrand hindurchgeht und daß die Lage dieser Niveaufläche auch im ungestörten Felde, also bei Abwesenheit des Kollektors, dieselbe bleibt.

Ferner wurde die Zeit (Ladezeit) bestimmt, die der neue Flammenkollektor zu seiner völligen Aufladung benötigt und endlich wurde der Einfluß der Luftbewegung auf seine Wirkungsweise untersucht.

Das künstliche elektrische Feld<sup>1)</sup> wurde in folgender Weise hergestellt (Fig. 2):



Ein Zinkdrahtnetz (200 cm lang und 100 cm breit)  $Z$  von 1 cm Maschenweite wurde über einen festen Holzrahmen  $H$  eben ausgespannt, der mit den beiden Schmalseiten auf zwei Holz-

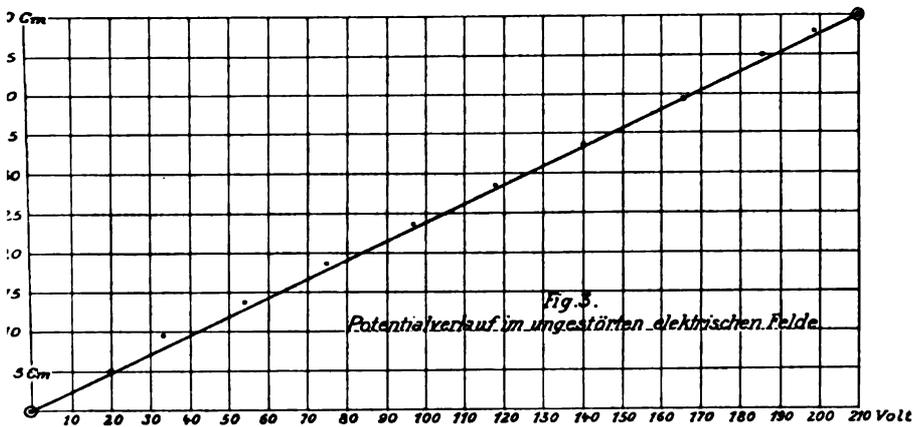
<sup>1)</sup> Eine Einrichtung ganz ähnlicher Art hat F. Henning (l. c., S. 898) getroffen.

böcken  $B_1, B_2$  horizontal auflag, von diesen durch je ein Paar Paraffinklötze  $K_1 \dots K_4$  isoliert. Das ganze Netz wurde mit Hilfe einer Hochspannungsbatterie  $A$ , deren negativer Pol geerdet war, auf die stets gleiche Spannung von  $+ 210$  Volt aufgeladen. Diese Spannung wurde durch ein Elektroskop  $E$ , unter fortwährender Kontrolle gehalten. 50 cm unter dem Netze  $Z$  lag auf einem Tische eine ebene Zinkblechplatte  $P$ , die dauernd geerdet wurde. Zwischen dem  $+$  geladenen Netz und der hierzu parallelen geerdeten Blechplatte bestand demnach ein elektrisches Feld, dessen Niveauflächen, wie Messungen mit einem Wasser- und einem Flammenkollektor in übereinstimmender Weise zeigten, bis nahe an die Ränder heran horizontal verliefen. Nur in der Nähe der beiden Holzblöcke  $B_1, B_2$ , an den Schmalseiten des Feldes, ergaben sich zu kleine Potentialwerte, was von vornherein zu erwarten war, denn hier werden ja die Niveauflächen auf- und um die Böcke herumgebogen.

Der Verlauf des Potentials in vertikaler Richtung wurde mit Hilfe eines Wassertropfkollektors  $G, R$  (Fig. 2) untersucht. Das Gefäß des Kollektors war, um Störungen des elektrischen Feldes möglichst zu vermeiden, außerhalb des Feldes angeordnet. Vom Wassergefäß  $G$  aus führte eine 175 cm lange horizontal gehaltene Metallröhre  $R$  in das Feld hinein. (In der Figur ist der Kollektor halb zur Seite gedreht gezeichnet.) Das vordere Ende des Rohres war ausziehbar eingerichtet, außerdem ließ sich der ganze Kollektor um seinen isolierenden Hartgummifuß  $F$  drehen und mit der aus der Figur 2 leicht erkennbaren Aufzugvorrichtung  $V$  in vertikaler Richtung verschieben. Damit war erreicht, daß sich die Auflösungsstelle des Wasserstrahles an jede beliebige Stelle des Feldes verlegen ließ, wodurch ein Abtasten der Niveauflächen ermöglicht wurde.

Zunächst wurde festgestellt, daß der Verlauf des Potentials in vertikaler Richtung beim ungestörten künstlichen Felde ein linearer ist. Die Messung wurde in der Weise ausgeführt, daß nacheinander die Auflösungsstelle des Wasserstrahles an verschiedene in ungefähr gleichen Abständen aufeinanderfolgende Punkte ein und derselben Vertikalen (Mittel-

linie des Feldes) gebracht und für jeden dieser Punkte das Potential und der Abstand vom Grundbleche gemessen wurde. Ersteres geschah mit Hilfe eines mit dem Kollektor leitend verbundenen Elektroskopes  $E_1$  (Fig. 2), letztere Messung durch einen vertikal auf einer Fußplatte stehenden Maßstab, der nur zum Zwecke dieser Abmessung für kurze Zeit ins Feld gebracht wurde. Die so erhaltenen Werte (Tabelle 1) wurden zur Zeichnung der Figur 3 verwendet. Zur Messung der niederen



Potentialwerte 20, 33 und 54 Volt verwendete ich ein empfindliches kleines Aluminiumblattelektroskop, das zwar bei diesen Spannungen deutliche Ausschläge zeigte, doch dürften trotzdem diese Werte etwas unsicherer als die übrigen sein.

Tabelle I.  
(Zu Figur 3.)

Abstand vom geerdeten Bleche in cm (Ordinaten)	5,0	9,6	13,9	18,8	23,6	28,5	33,8	39,7	45,0	48,0	50,0
Spannung in Volt (Abszissen)	20	33	54	75	97	118	140	166	186	199	210

Auf Grund dieser Messungen darf das künstliche elektrische Feld bis auf die Randpartien als homogen angesehen werden.

In dieses homogene Feld wurde der oben beschriebene Flammenkollektor gestellt und der nunmehrige Verlauf der zehn Niveauflächen vom Potentiale 20, 33, 54 etc. Volt bestimmt. Der brennende Kollektor stand bei diesen Messungen in der Mitte des Feldes auf einer kurzen Hartgummisäule, die in eine kleine Holzplatte eingelassen war (Tafel V). Zuerst wurde das Potential bestimmt, das der Kollektor bei dieser Aufstellung im Felde annahm. Das hierzu verwendete Aluminiumblattelektroskop war 1,5 m außerhalb des Feldes aufgestellt und durch einen dünnen horizontal geführten Leitungsdraht mit dem Kollektor verbunden. Dem Verlaufe der Niveaufläche vom Potential des Kollektors wurde in der folgenden Untersuchung besondere Aufmerksamkeit geschenkt.

Die Lage der deformierten Niveauflächen wurde in folgender Weise ermittelt. Zunächst wurden für eine in der Längsmittlebene des Feldes gelegene Vertikale im Abstände von 40 cm von der Feldmitte der Reihe nach die Lagen der Punkte vom Potential 20, 33, 54 etc. Volt bestimmt. Es geschah dies mit Hilfe des S. 514 beschriebenen Wasserkollektors, dessen Ausflußöffnung entsprechend orientiert und der nun allmählich so lange aufwärts bewegt wurde, bis das mit dem Tropfgefäß verbundene Elektroskop ( $E$ , Fig. 2) den verlangten Potentialwert anzeigte. Die einzelnen Potentialwerte konnten auf diese Weise mit genügender Genauigkeit festgelegt werden, da schon eine Vertikalverschiebung des Wasserkollektors von nur 2 mm eine wahrnehmbare Änderung des Elektroskopausschlages hervorrief. Zu jedem Potentialwerte wurde mit dem oben erwähnten Maßstab der zugehörige Abstand vom Grundblech auf Millimeter genau abgemessen.

In der gleichen Weise wurden für weitere vier Vertikalen derselben Mittelebene die zu den Potentialen von 20, 33 etc. Volt gehörigen Abstände bestimmt. Die so ermittelten Punkte gehören alle den Schnittlinien der deformierten Niveauflächen mit der vertikalen Längssymmetrieebene des Feldes an, und es kann nun leicht ein Längsschnitt durch das deformierte Feld gezeichnet werden (Tafel V).

Da ich mich durch Messungen an verschiedenen Seiten des Kollektors überzeugte, daß der Verlauf der Niveauflächen zum Flammenkollektor, wie vorauszusehen, völlig symmetrisch ist, so beschränkte ich mich in der Folge auf die Bestimmung von Punkten in der linken Hälfte der senkrechten Mittelebene des Feldes.

Der obenerwähnte horizontale Zuleitungsdraht vom Flammenkollektor zum Hilfselektroskop, der stets senkrecht zu den Längsseiten aus dem Felde herausgeführt wurde, wird zwar das Feld in seiner Umgebung etwas deformieren, doch reicht diese Deformation nicht bis zu unserer Schnittebene, wovon ich mich durch direkte Messungen mit und ohne Verbindungsdraht vergewisserte. Späterhin habe ich das Potential des Flammenkollektors nur zu Beginn und am Ende einer jeden Messung bestimmt und den Zuleitungsdraht während des Versuches ganz fortgelassen, da das Kollektorpotential sich nie merklich änderte, so lange die Flamme nicht ruhte.

Tafel VI stellt den Verlauf der Niveauflächen dar einmal, wenn der Kollektor brennt (blaue Kurven) und einmal, wenn er nicht brennt (rote Kurven). Bei beiden Messungen stand der Flammenkollektor auf einem in ein Metallrohr eingebauten Hartgummistab, der mit Natrium getrocknet werden konnte. Letztere Vorrichtung war notwendig, weil bei nichtbrennendem Kollektor nur dann ein richtiger Verlauf der Niveauflächen erhalten wird, wenn die Stütze vorzüglich isoliert. Natürlich wird durch diese, quer zu den Niveauflächen langgestreckte metallische Hülle eine sehr starke Felddeformation herbeigeführt, welche man bei den Messungen im Terrain und bei brennendem Kollektor unbedingt vermeiden würde. Auch muß bei diesem Versuche der Kollektor vor jeder Messungsreihe sorgfältig geerdet werden, unter gleichzeitiger Ableitung des Zinkdrahtnetzes *Z* Fig. 2. Von einer Umladung des stets auf + 210 Volt geladenen Netzes wurde abgesehen, da frühere Untersuchungen<sup>1)</sup> zeigten, daß auch bei umgekehrtem Rich-

<sup>1)</sup> K. v. Wesendonk, l. c., S. 234. F. Henning, l. c., S. 901.

tungssinn der Kraftlinien des elektrischen Feldes der Ausgleichsort stets über dem Kollektorrand liegt. Die zu den Tafeln V und VI gehörigen, durch direkte Messung gewonnenen Werte sind in nachstehenden Tabellen 2 bis 4 zusammengestellt.

**Tabelle 2.**  
(Zu Tafel 1.)

Volt	Ordinaten (cm)				
	0	5	10	25	40
20	—	4,3	4,1	4,7	5,0
33	—	6,5	6,6	8,5	9,6
54	—	8,5	9,4	12,4	13,9
75	—	10,6	13,1	17,2	18,8
97	—	12,5	16,9	22,1	23,6
118	—	14,6	21,6	26,9	28,5
140	—	20,2	28,8	32,2	33,8
168	31,9	36,0	37,8	39,3	40,0
186	43,3	43,5	43,8	44,5	45,0
199	47,2	47,3	47,4	47,9	48,0
Abszisse (cm)	0	5	10	25	40

**Tabelle 3.**  
(Zu Tafel 2, blaue Kurven.)

Volt	Ordinaten (cm)				
	0	5	10	25	40
20	—	2,6	3,2	4,6	4,6
33	—	3,6	5,4	8,8	9,2
54	—	4,6	7,2	12,0	13,8
75	—	5,9	10,3	16,7	18,6
97	—	7,1	14,3	21,4	23,4
118	—	9,4	19,1	26,4	28,4
140	—	14,2	25,7	32,2	33,8
165	—	24,2	34,7	38,6	39,0
186	37,6	41,3	42,9	44,5	44,7
199	46,0	46,6	47,0	47,7	47,9
Abszisse (cm)	0	5	10	25	40

**Tabelle 4.**  
(Zu Tafel 2, rote Kurven.)

Volt	Ordinaten (cm)				
	0	5	10	25	40
20	—	3,9	4,6	5,6	5,7
33	—	5,9	8,3	9,6	10,1
54	—	9,6	13,3	13,9	14,2
75	—	20,4	19,9	19,3	19,2
97	37,3	32,6	26,2	24,5	24,4
118	38,4	35,9	32,0	29,4	29,2
140	40,2	38,6	36,5	34,5	34,3
165	43,0	42,3	41,4	39,8	39,6
186	46,6	46,3	45,6	45,3	45,2
199	48,7	48,5	48,4	48,4	48,1
Abszisse (cm)	0	5	10	25	40

Die Tafeln V und VI geben ein anschauliches Bild davon, in welcher Weise die Niveauflächen des homogenen Feldes (punktiert eingezeichnet) durch den Kollektor deformiert werden.

Bei nicht brennendem Kollektor (Tafel VI rote Kurven) findet eine Verteilung der Elektrizität durch Influenz statt. Dementsprechend ergeben sich zwei Partien von Niveauflächen, die beide durch eine horizontale, nicht deformierte Niveaufläche, der auch die Oberfläche des Kollektors angehört, voneinander geschieden sind. Die Lage dieser nicht deformierten Niveaufläche (neutralen Fläche) wurde durch graphische Interpolation bestimmt.

Ganz anders dagegen wird das Bild bei brennendem Flammenkollektor (Tafel V und VI blaue Kurven).

Nach eingetretenem Spannungsausgleich hat der Kollektor das Potential einer Niveaufläche angenommen, die im ungestörten Felde ca. 9 cm über seinem oberen Rande liegt. Diese „Ausgleichsniveaufläche“ wird am Orte des Kollektors herabgebogen und umschließt ihn in einer sackförmigen Ausbiegung, wobei der untere Teil von der leitenden Oberfläche des Kollektors selbst gebildet wird. Die darunter liegenden Niveauflächen werden herabgedrängt und gehen unter dem Kollektor durch die isolierende Stütze hindurch, doch erstreckt sich diese Deformation nicht sehr weit. Schon in einer Tiefe unter dem Kollektor, die ungefähr der halben Längserstreckung gleichkommt, werden die Niveauflächen wieder eben. Das gleiche gilt für die Niveauflächen oberhalb des Kollektors. Seitwärts vom Kollektor sind die Niveauflächen bis zu einer Entfernung hin deformiert, die ungefähr der doppelten Länge desselben entspricht (Tafel V). Je länger der Kollektor, desto weiter reicht die Störung, wie eine Vergleichung der beiden Tafeln V und VI lehrt. Hieraus dürfte sich die Forderung ergeben, den Kollektor möglichst klein zu bauen und die isolierende Hartgummistütze blank, also ohne Schutzhülse, zu verwenden.

Zum Vergleiche wurden noch einige andere Arten von Flammenkollektoren unter den gleichen Bedingungen im selben

elektrischen Felde geprüft. Die Kollektoren waren dabei in der Mitte des Feldes auf dem in Tafel V gezeichneten einfachen Hartgummistab aufgestellt. Da durch die vorhergehenden Messungen ein übersichtliches Bild der Feldstörung durch einen Flammenkollektor gewonnen wurde, so konnten die folgenden Untersuchungen wesentlich vereinfacht werden. Ich bestimmte lediglich das konstante Potential, auf welches sich der jeweilige Flammenkollektor auflud nach der S. 516 angegebenen Weise. Mit Hilfe dieses Wertes kann leicht angegeben werden (aus Fig. 3), wie hoch über dem Kollektorrand (und der Flammenspitze) die „Ausgleichsniveaufläche“ im ungestörten Felde liegt. Diese Werte sind für verschiedene Kollektortypen in Tabelle 5 zusammengestellt.

Anschließend an diese Messung wurde für jeden Kollektor die Ladezeit bestimmt. Theoretisch<sup>1)</sup> braucht ein Kollektor unendlich lange Zeit, um sich völlig aufzuladen, praktisch ist dies aber geschehen, wenn das zu diesen Messungen fast ausnahmslos verwendete Aluminiumblattelektroskop eine konstante Einstellung erreicht hat. Ich bestimmte die Ladezeit in folgender Weise. Der Kollektor wurde innerhalb des künstlichen Feldes in Betrieb gesetzt und nun gewartet, bis sich das Elektroskop auf einen konstanten Wert eingestellt hatte, hierauf geerdet und mit Hilfe einer Stoppuhr die kürzeste Zeit gemessen, die zur Wiederaufladung des Elektroskopes auf den gleichen Wert nötig war. Auch die Ladezeiten in sec. sind in nachstehender Tabelle 5 für verschiedene Flammenkollektoren angegeben.

Zu diesen Zahlen möchte ich noch bemerken, daß das Potential der freibrennenden Flammen beständig schwankt. Selbst wenn die Flamme auch ganz ruhig zu brennen scheint, ändern sich doch fortwährend die Angaben des Elektroskopes. Besonders bei der leicht flackernden Gasflamme ist eine sichere Einstellung des Elektroskopes gar nicht zu erzielen.<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> F. Linke, Physikalische Zeitschrift 4, 662, 1903.

<sup>2)</sup> Dieser Übelstand veranlaßte z. B. K. v. Wesendonk (l. c.) seine Messungen nicht fortzusetzen.

Tabelle 5.

Bezeichnung des Kollektors	Abstand der Ausgleichs- niveaufläche vom Kollektor- torrand cm	Abstand der Ausgleichs- niveaufläche von der Flam- menspitze cm	Ladezeit sec.
Flammenkollektor mit Netz- gehäuse (Mittel aller Messungen)	8,6	15,6	27
Elster-Geitel-Flammenkollektor: <sup>1)</sup>			
a) bei kleiner Flamme	7,2	12,6	38
b) bei rußender „	7,3	—	28
Kerzenflammenkollektor nach Exner:			
a) Metallzylinder 10 cm hoch	8,2	15,2	36
b) „ 15,5 „ „	6,7	19,2	55
Freibrennende Flammen:			
a) Kerzenflamme 3 cm hoch	—	15,8	38
b) Petroleumflamme 2,5 „ „	—	16,2	35
c) Gasflamme 7,5 „ „	—	12,4	5
d) „ 3,1 „ „	—	3,0	7

In Übereinstimmung mit allen früheren Messungen<sup>2)</sup> ergibt sich aus der Tabelle 5, daß die Flammenkollektoren ausnahmslos zu hohe Potentialwerte angeben, d. h. sie nehmen keineswegs das Potential einer durch die Flammenspitze oder den Kollektorrand gehenden Niveaufläche an, sondern das einer

<sup>1)</sup> Von der Firma Günther und Tegetmeyer in Braunschweig.

<sup>2)</sup> K. v. Wesendonk, l. c., S. 235. F. Henning, l. c., S. 898, 899 und S. 903. F. Linke, l. c., S. 663 und 664.

Besonders möchte ich auf die Arbeit des Herrn H. Benndorf hinweisen, der auf rechnerischem Wege zu genau denselben Resultaten kommt (l. c., S. 459). Diese Arbeit kam mir erst nach Abschluß der vorstehenden Untersuchungen zur Hand.

mehrere Zentimeter höher gelegenen Fläche. Nimmt man bei Potentialmessungen im Freien als Ort des beobachteten Potentialwertes den oberen Kollektorrand, so fällt die zugehörige Höhe zu klein aus, die Werte des Potentialgefälles (in Volt/m) werden infolgedessen zu groß. Bei einem Abstand des Kollektorrandes von 1 m bzw. 0,5 m vom Erdboden erhält man dadurch Fehler von ca. 10% bzw. 20%.

Die Ladezeit ist für Kollektoren mit rasch aufsteigenden Verbrennungsgasen (Kollektor mit Netzgehäuse und rußender Elster-Geitelscher Kollektor) am kürzesten (Tabelle 5). Jede Behinderung des freien Abzuges der Verbrennungsgase, sei es durch lange Zylinder, sei es durch aufgesetzte Kamine, oder gar durch kleine über der Kollektoröffnung angebrachte Dächer, vergrößert die Ladezeit ganz erheblich, wovon ich mich durch mehrfache Versuche überzeugte. Ferner ergibt sich aus der Tabelle 5, daß bei freibrennender Flamme die Ausgleichsniveaufläche etwas höher über der Flammenspitze liegt, als bei Anwendung von Zylindern. Nur durch Zylinder, die die Flammenspitze beträchtlich überragen, wird dieselbe gehoben. Der gleiche Fall tritt ein, wenn auf den Kollektor (mit Netzgehäuse) noch ein mehrere Zentimeter hoher Kamin aufgesetzt wird. Umgekehrt läßt sich durch Aufsetzen eines Daches über der Kollektoröffnung die Ausgleichsniveaufläche bis zum Kollektorrande herabdrücken, was aber, wie die folgenden Untersuchungen zeigen, ohne praktische Bedeutung ist.

Durch diese Untersuchungen sollte nämlich festgestellt werden, inwieweit die Luftbewegung die Angaben eines Flammenkollektors beeinflusst. Zu diesem Zwecke wurde außerhalb des Feldes ein elektrischer Ventilator aufgestellt, durch den ein kräftiger Luftstrom quer durch das Feld getrieben werden konnte. Die Geschwindigkeit des Ventilatorflügels konnte in Stufen verändert werden und so Windgeschwindigkeiten von im Mittel 1, 2 und 4 m/sec. erzeugt werden (gemessen durch ein Anemometer, das in verschiedener Höhe in der Mittellinie des Feldes aufgestellt wurde). Eine Deformation des Feldes durch den etwa 50 cm von einer Längsseite aufge-

stellten Ventilator trat nicht ein, wovon ich mich mit Hilfe des Wasserkollektors überzeugte. Der Einfluß des Windes (4 m/sec.) auf die Angaben dieses Kollektors war unmerklich, trotzdem der Wasserstrahl durch den kräftigen Luftstrom stark aus seiner ursprünglichen Richtung herausgedrängt wurde.

Die Ergebnisse der Messung sind in folgender Tabelle 6 zusammen mit den Werten ohne Ventilation (aus der Tabelle 5) dargestellt und zwar führe ich hier der Kürze halber nur die Mittelwerte aus vielen Einzelmessungen an.

Tabelle 6.  
Einfluß des Windes auf Flammenkollektoren.

Name des Kollektors	Windgeschwindigkeit in m/sec.	Abstand des Kollektorrandes vom Bodenbleche in cm	Höhe der Ausgleichsniveaufäche über dem Kollektorrand in cm	Ausgleichsniveaufäche gesunken um cm	Ladezeit in sec.
Flammenkollektor mit Netzgehäuse	0	30,6	8,6	—	27
	1	30,1	5,5	3,1	39
	4	30,1	— 0,8	9,4	86
Flammenkollektor Elster-Geitel	0	27,9	7,2	—	38
	1	27,5	5,5	1,7	56
	2	24,9	4,1	3,1	60
Flammenkollektor mit 10 cm hohem Zylinder	0	30,9	8,2	—	36
	4	30,9	4,4	3,8	67
Flammenkollektor mit 15,5cm hohem Zylinder	0	36,3	6,7	—	55
	4	36,3	1,5	5,2	217

Bei allen Flammenkollektoren zeigt sich zunächst, daß schon ganz schwacher Wind (1 m/sec.) die Ausgleichsniveaufäche um einige Zentimeter herabdrückt. Der Kollektor nimmt

dementsprechend ein kleineres Potential an. Bei größer werdender Windgeschwindigkeit rückt auch die Ausgleichsniveaufläche tiefer und erreicht schließlich bei ca. 4 m/sec. den Kollektorrand. Eine weitere Steigerung der Windgeschwindigkeit ist praktisch bedeutungslos, da schon bei 4 m/sec. die Blättchen des Elektroskopes zu flattern beginnen.

Der Elster-Geitelsche Kollektor fängt schon bei einer Windgeschwindigkeit von 1 m/sec. stark zu ruhen und zu flackern an; eine Steigerung derselben auf 2 m/sec. führt nach kurzer Zeit das Erlöschen des Flämmchens herbei, so daß bei dieser Geschwindigkeit nur mit Mühe Ablesungen erhalten werden können. Bei noch größerer Windstärke erlischt die Flamme sofort.

Ferner zeigt sich (Tabelle 6), daß sich bei Wind jeder Flammenkollektor langsamer aufladet und zwar um so langsamer, je größer die Windgeschwindigkeit ist. Bei dem Kerzenkollektor mit 15,5 cm langem Metallzylinder wächst die Ladezeit auf mehrere Minuten an. Auch aus diesem Grunde wäre ein solcher Flammenkollektor nicht zu empfehlen.

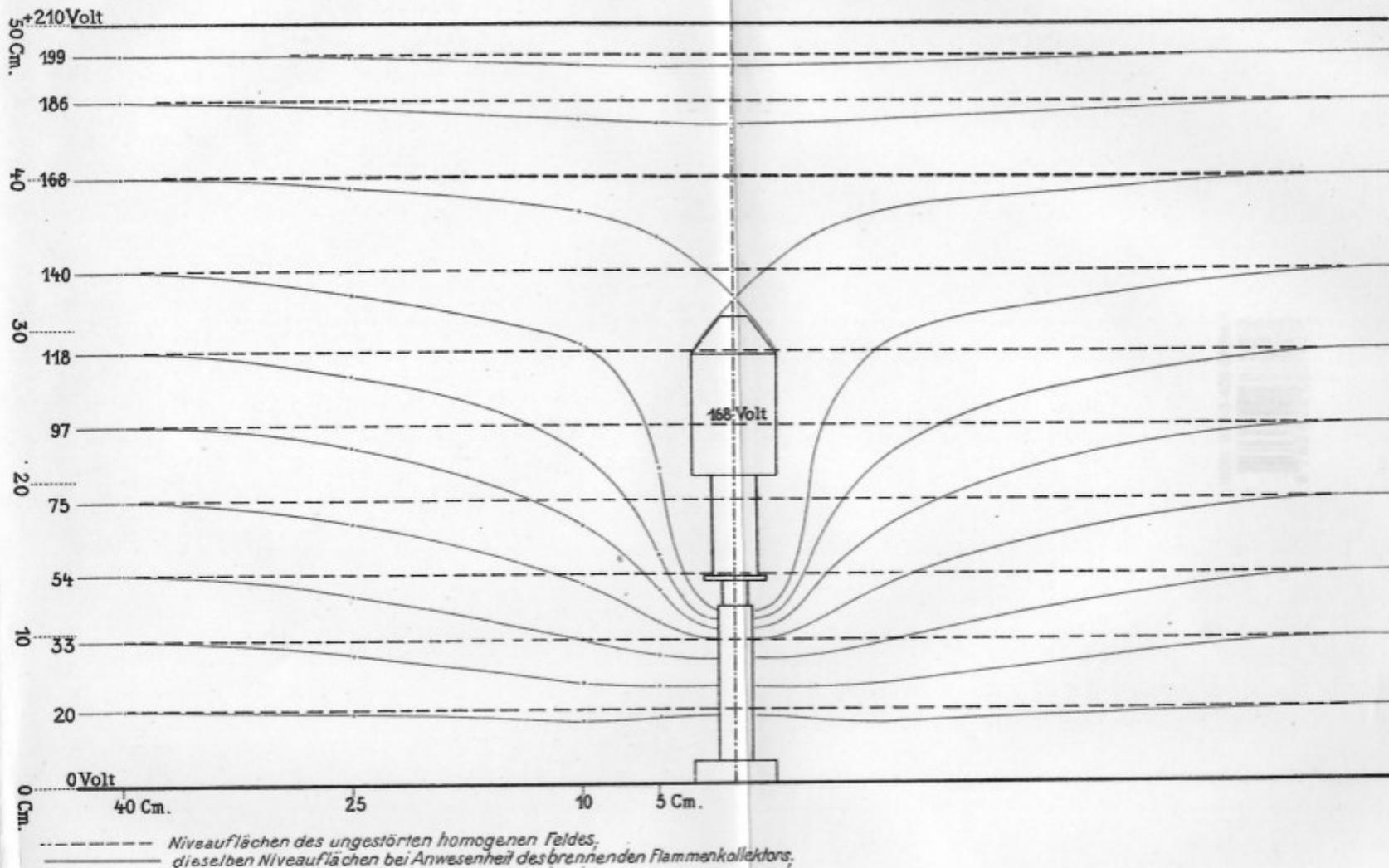
Durch besondere, am Kollektor angebrachte Armierungen, wie Kamine, kleine Dächer, Platten über der Öffnung, Windschirme etc. suchte ich den erwähnten Einfluß des Windes zu beseitigen. Abgesehen davon, daß jede Behinderung des freien Abzuges der Verbrennungsgase die Ladezeit eines Flammenkollektors bedeutend vergrößert, drückt der Wind, trotz der besonderen Vorrichtungen, die Ausgleichsniveaufläche herab, oft noch weit in den Zylinder des Kollektors hinein.

Die ungleichmäßige innere Struktur des im Freien wehenden Windes muß, unseren Untersuchungen zufolge, die Ausgleichsniveaufläche eines Flammenkollektors bei Messungen in der freien Atmosphäre in beständigem Schwanken erhalten. Demzufolge werden bald größere bald kleinere nicht reelle Schwankungen des Potentialgefälles zu beobachten sein, wovon man sich bei Potentialmessungen im Freien leicht überzeugen kann.

Eine Vermeidung dieser Fehlerquelle dürfte allein durch die gleichzeitige Verwendung zweier, völlig übereinstimmend gebauter Flammenkollektoren möglich sein. Ein Kollektor wird dann in geringer Entfernung über dem Erdboden aufgestellt und mit dem nunmehr zu isolierenden Gehäuse des Elektroskopes verbunden, der andere 1 m darüber, mit dem Blättchenträger in leitender Verbindung. Eine Anordnung dieser Art ist auch deshalb zu empfehlen, weil wohl nur in wenigen Fällen der Beobachtungsplatz vollkommen eben, und so der Abstand des Ausgleichsortes von der Erdoberfläche genau angebar ist.

Die vorstehenden Untersuchungen wurden zum größten Teile im Physikalischen Institut der Technischen Hochschule ausgeführt. Herr Professor Dr. H. Ebert hat mir in freundlichster Weise die hiezu nötigen Apparate zur Verfügung gestellt und meine Arbeit durch manchen wertvollen Rat gefördert. Hiefür, sowie für die wirksame Unterstützung, die Herr Professor Ebert überhaupt den luftelektrischen Beobachtungen am Erdmagnetischen Observatorium seit ihrer Einführung zuteil werden läßt, möchte ich auch an dieser Stelle meinen verbindlichsten Dank aussprechen.

Deformation des elektrischen Feldes durch den Flammenkollektor.



Deformation des elektrischen Feldes durch den Flammenkollektor.

