Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 13 (1922)
Heft: 8

Artikel: Ueber ein Differenzial-Ionometer und seine Anwendung zur elektrischen Messung des Staubgehaltes der Luft

Autor: Greinacher, H.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1058307

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 22.08.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Ueber ein Differenzial-Ionometer und seine Anwendung zur elektrischen Messung des Staubgehaltes der Luft.

Von Prof. Dr. *H. Greinacher, Zürich*, Physikalisches Institut der Universität.

Der Verfasser beschreibt einen von ihm erdachten Apparat, mit welchem die Ionisierung der Luft mit Radium- oder Röntgenstrahlen gemessen werden kann und leitet Formeln für die Empfindlichkeit und Einstellgeschwindigkeit des Apparates ab. Als technisch wichtiges Anwendungsgebiet behandelt er sodann die elektrische Messung des Staubgehaltes der Luft, welche darauf basiert, dass Staub und Rauch in der Luft die Ionenströme beeinflusst.

L'auteur décrit un appareil de son invention qui permet de déterminer la ionisation de l'air obtenue au moyen de rayons Röntgen ou de rayons émis par les sels de radium. Il donne les formules pour calculer la sensibilité de son appareil. Comme la poussière et la fumée exercent une influence sur la ionisation de l'air, l'appareil permet, selon l'auteur, de déterminer d'une manière précise la quantité de poussière contenue dans l'air.

Seinerzeit habe ich einen Apparat beschrieben [1]) der die Ionisierung mit Radium- oder Röntgenstrahlen bestrahlter Luft, direkt abzulesen erlaubt. Das bei diesem Ionometer verwendete Prinzip ist das für Laboratoriumszwecke gebräuchliche, nach Bronson [2]) benannte Verfahren. Jedoch ist die Aenderung so getroffen, dass man statt des für die Praxis nicht verwendbaren Quadrantelektrometers ein gewöhnliches Elektroskop verwenden kann, dessen Blättcheneinstellung den Ionisierungsstrom bequem ablesen lässt. Waren nun auch damit gewisse Vorteile erreicht (leichte Transportfähigkeit, Kompendiosität, leichte Aufstellbarkeit und einfache Handhabung) so mussten doch auch in der weiter vervollkommneten Ausführung [3]) gewisse Nachteile gegenüber der ursprünglichen Bronsonmethode mit in Kauf genommen werden. Die Ausschläge sind nicht mehr der Ionisierung proportional, die Empfindlichkeit der Apparatur ist geringer, auch lässt sich nicht mit Sättigungsstrom arbeiten.

Einrichtung des Differential-Ionometers. Wie im folgenden gezeigt wird, ist es nun gelungen, einen Apparat auf etwas anderer Grundlage zu konstruieren, der die Nachteile des ursprünglichen Ionometers in weitgehendem Masse beseitigt. Der prinzipielle Unterschied liegt hier darin, dass *zwei* Ionisierungskammern verwendet werden, die zum vorneherein beide gleich ionisiert sind. Die zu messende Ionisierung wird der einen Kammer zugesetzt, und man beobachtet die Ionisierungsdifferenz zwischen den Kammern. Dementsprechend verwendet man auch am besten ein Differential--Elektrometer. Die wesentlichen Teile des Apparates gibt Fig. 1 schematisch wieder.

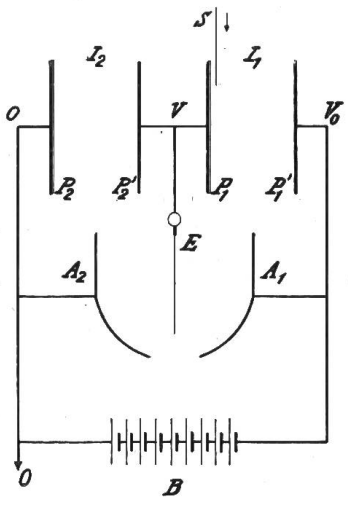

Fig. 1

I_1 und I_2 seien zwei Ionisierungskammern, in denen sich z. B. je zwei Platten P_1 P_1' und P_2 P_2' gegenüberstehen. P_1 und P_2 seien etwa in gleicher Weise mit einer radioaktiven Substanz bedeckt. An die hintereinandergeschalteten Kammern wird die Batteriespannung V_0 Volt angelegt. Sind die Kammern genau gleich, so wird die Verbindungsstelle derselben ein Potential V annehmen das $\frac{V_0}{2}$ Volt beträgt. Verwendet man also ein Elektroskop nach dem Hankelschen Prinzip, bei dem die Seitenplatten ebenfalls die Potentialdifferenz V_0 aufweisen mögen, so steht das Elektroskopblättchen genau in der Mitte ein. Eine bei der Herstellung unvermeidbare kleine Unsymmetrie in den Verhältnissen lässt sich durch passende Einstellung einer die radioaktive Strahlung der einen Ionisierungskammer abdeckenden Blende S leicht kompensieren. Damit

[1]) Phys. Zeitschr. Bd. 15, S. 410, 1914. Bulletin des Schweiz. Elektrotechnischen Vereins, No. 6, S. 265, 1914.

[2]) H. L. Bronson, Phil. Mag. Bd. (6) 11, S. 143, 1906.

[3]) Mitteilungen der Physikal. Ges. Zürich, Heft 19, 1919.

das Blättchen in stabiler Lage bleibt, d. h. auch im Gleichgewicht oder bei der geringsten Potentialänderung von V nicht an eine der Seitenplatten A_1 A_2 gezogen wird, sind diese letzteren in passender Weise nch unten zusammengebogen. Man erreicht es durch entsprechende Form leicht, dass die Ausschläge des Blättchens ungefähr proportional mit der Spannungsänderung gehen und dass sich das Blättchen in einem grossen Bereich zwischen den Platten A_1 A_2 bewegen kann, ohne an diese anzuschlagen. Man kann so ein für kleine Ausschläge empfindliches Ablesemikroskop vermeiden und etwa eine einfache Ablese- vorrichtung nach Elster und Geitel [1]) verwenden. Für grosse Elektrometerempfindlichkeit wäre eine umständlich grosse Batterie B nötig. Dem kann aber in einfacher Weise durch Verwendung eines der neuen Gleichrichter [2]) abgeholfen werden. Bei Anschluss des Apparates an 100 Volt Wechselstrom genügt z. B. eine Schaltung mit Vervierfachung der Spannung. Ein Transformator wird nicht benötigt.

Wirkungsweise. Die Wirkungsweise des Apparates ist nun leicht zu übersehen. Nachdem der Apparat an das Wechselstromnetz angeschaltet ist, stellt sich der stationäre Zustand ein. E nimmt das Potential $\frac{V_0}{2}$ an, d. h. es stellt sich auf den mittleren Teilstrich ein. Vermehrt man nun die Ionisierung in I_2 etwa durch Heranbringen von Radium, d. h. vermindert man den Leitungswiderstand der Luft in I_2, so wächst der Strom i_2 in I_1 um einen gewissen Betrag und es tritt ein neuer stationärer Zustand ein, bei dem zwar die Ströme in den beiden hintereinandergeschalteten Kammern I_1 und I_2 wiederum gleich sind, aber das Potential V um einen gewissen Betrag ΔV abgenommen hat. Würden die Ionisierungsströme dem ohmschen Gesetze folgen, so wären die Aenderungen quantitativ folgende:

	am Anfang		bei der Messung	
	I_1	I_2	I_1	I_2
Widerstand	R	R	R	$R-\Delta R$
Strom	J	J	$J+\Delta J$	$J+\Delta J$
Spannung	$\frac{V_0}{2}$	$\frac{V_0}{2}$	$\frac{V_0}{2}+\Delta V$	$\frac{V_0}{2}-\Delta V$

Nach den Regeln für zwei hintereinandergeschaltete Widerstände, an denen eine konstante Spannung V_0 anliegt, hätte man dann

$$JR = \frac{V_0}{2}$$

$$(J+\Delta J)\,R = \frac{V_0}{2}+\Delta V$$

$$(J+\Delta J)\,(R-\Delta R) = \frac{V_0}{2}-\Delta V$$

Durch Subtraktion folgt

$$(J+\Delta J)\,\Delta R = 2\,\Delta V$$

Man ersieht, dass ΔV dasselbe Vorzeichen hat wie ΔR, also negativ ist, d. h. dass die Spannnng in I_1 wirklich zugenommen und an I_2 dementsprechend abgenommen hat.

In Wirklichkeit sind die quantitativen Verhältnisse doch nicht so einfach, indem die Ionisierungsströme ganz andere Gesetze befolgen. Hier wächst der Strom nicht mit der Spannung proportional (ohmsches Gesetz), sondern wächst immer lang-

[1]) Elster und Geitel, Phys. Zeitschr. Bd. 4, S. 137, 1903.

[2]) Zeitschr. für Physik, No. 4, S. 195, 1921. Bulletin des Schweiz. Elektrotechn. Vereins, No. 3, S. 59, 1920.

samer an und erreicht sogar, wenigstens theoretisch, eine Sättigung. Falls die Spannung so hoch ist, dass vollständige Stromsättigung vorhanden ist, wird der Strom unabhängig von der Spannung. Das ganze Messverfahren würde damit illusorisch. Es könnte das Elektroskopblättchen im stationären Zustand jede beliebige Stellung einnehmen, wenigstens innerhalb der Grenzen, bei denen V und $V_0 - V$ nicht unterhalb der Sättigungsspannung liegen. Durch Heranbringen eines Radiumpräparates (Stromvermehrung) würde sich die Blättcheneinstellung gar nicht ändern.

Tatsächlich hat man es aber nie mit vollkommener Sättigung zu tun. Der Strom steigt, namentlich wenn man, wie gewöhnlich, die α-Strahlen zur Ionisierung benützt, (radioaktive Belegungen der Platten P_1 P_2), noch weit über 1000 Volt merkbar an. Die Ueberlegungen unter Voraussetzung des ohmschen Gesetzes bleiben also qualitativ bestehen. Der Unterschied besteht im wesentlichen nur darin, dass schon kleinen Stromänderungen im Ionisierungsgefäss, nun bereits grosse Potentialänderungen am Elektroskop entsprechen. D. h. der Apparat erreicht, wie gewünscht, eine grosse Empfindlichkeit, die übrigens dadurch noch gegenüber dem ursprünglichen Ionometer wesentlich gesteigert erscheint, dass das hier verwendete Differentialelektrometer nach dem Hankelschen Typus viel empfindlicher als ein gewöhnliches Elektroskop ist. Es soll im folgenden versucht werden, die quantitativen Verhältnisse etwas genauer zu verfolgen.

Einleitendes zur Theorie des Apparates. Die Vorgänge im Differential-Ionometer wollen wir zunächst durch Fig. 2 veranschaulichen. *I* und *II* seien die Stromspannungscharakteristiken für die Ionisierungsgefässe I_1 und I_2. Der Strom wächst zwar mit der Spannung, die am Ionisierungsgefäss liegt, jedoch immer langsamer und erreicht bei sehr hoher Spannung für I_1 den Sättigungswert J für I_2 den um ΔJ höheren Wert $J + \Delta J$. ΔJ bezeichnet den durch die zu messende Ionisierung bedingten Zuwachs des Sättigungsstromes. Für kleine i haben wir annähernd Proportionalität zwischen Strom und Spannung. Man kann in diesem Teil von einem ohmschen Widerstand r sprechen. Die Tangente an den

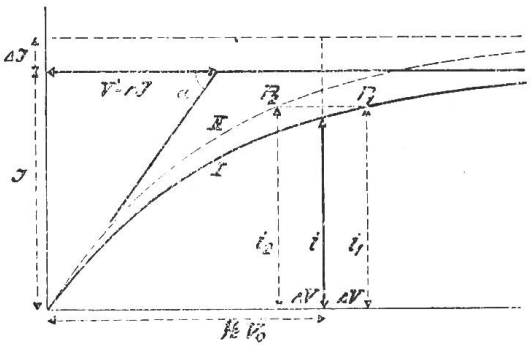

Fig. 2

Ursprung gibt $tg\,\alpha = \frac{i}{V} = \frac{1}{r}$. Der Schnitt mit der Horizontalen $J =$ konstant gibt die ausgezeichnete Spannung V', die nach vorigem gleich ist $J\,r$. Wollen wir den Strom finden, der im Nullzustand des Instruments durch I_1 und I_2 fliesst, so haben wir die Ordinate über der Abszisse $\frac{V_0}{2}$, d. h. der an beiden Gefässen wirksamen Spannungsdifferenz aufzutragen und erhalten die Strecke i. Wenn nun zu I_2 die Zusatzionisierung kommt, so werden die Ströme in I_1 und I_2 einen anderen Wert annehmen. Beide sind aber wiederum gleich gross $i_1 = i_2$. An I_1 steigt die Spannung um ΔV an, an I_2 nimmt sie um denselben Betrag ΔV ab. Wir finden also den neuen Strom und ΔV dadurch, dass wir eine Horizontale in einer solchen Höhe legen, dass die Schnittpunkte P_1 und P_2 mit den Charakteristiken *I* und *II* gleich weit von der Vertikalen $\frac{V_0}{2}$ = konstant entfernt liegen. Die Stromzunahme ist $i_1 - i$ (bezw. $i_2 - i$). Man erkennt, dass, so gross auch ΔJ sein möge, der Strom niemals über den Wert J wachsen kann. Je höher die Spannung $\frac{V_0}{2}$ ist, um so grösser fällt ΔV aus, die Empfindlichkeit nimmt zu.

Es interessieren nun vor allem zwei Dinge. 1. Wie hängt die Empfindlichkeit von den bestimmenden Faktoren ab? 2. Welches ist die Geschwindigkeit, mit der sich der Apparat bei einer Messung einstellt?

Formel für die Empfindlichkeit. Eine exakte Durchrechnung ist nicht möglich; selbst für den einfachsten Fall, in welchem man eine gleichförmige Ionisierung in den Plattenkondensatoren I_1 und I_2 annimmt und man von der Ionendiffusion absieht.[1]) Man kann aber, wie ich gezeigt habe,[2]) mit grosser Annäherung die rechnerisch bequeme Formel verwenden

$$i_1 = J\left(1 - e^{-\frac{V_0 - V}{rJ}}\right) \tag{1}$$

$V_0 - V$ ist die Spannungsdifferenz an I_1, r und J haben die bereits erwähnte Bedeutung. Für sie gelten die Ausdrücke

$$r = \frac{a\sqrt{\alpha}}{u e \sqrt{q}} \tag{2}$$

$$J = q a e \tag{3}$$

und

$$rJ = \frac{a^2 \sqrt{q\alpha}}{u} \tag{4}$$

wobei a = Plattenabstand,
α = Wiedervereinigungskoeffizient der Jonen,
u = Summe der Ionenbeweglichkeiten (+ und −),
e = Ionenladung (Elementarladung),
q = Anzahl der im cm^3 pro Sekunde gebildeten Ionenpaare.

Wir schreiben noch die bei den späteren Ausrechnungen benützten Differentialquotienten an

$$\begin{array}{lll} \frac{\partial J}{\partial q} = \frac{J}{q} & \frac{\partial r}{\partial q} = -\frac{1}{2}\frac{r}{q} & \frac{\partial rJ}{\partial q} = \frac{rJ}{2q} \\ \frac{\partial J}{\partial a} = \frac{J}{a} & \frac{\partial r}{\partial a} = \frac{r}{a} & \frac{\partial rJ}{\partial a} = \frac{2rJ}{a} \\ \frac{\partial J}{\partial \alpha} = 0 & \frac{\partial r}{\partial \alpha} = \frac{r}{2\alpha} & \frac{\partial rJ}{\partial \alpha} = \frac{rJ}{2\alpha} \end{array} \tag{5}$$

Zur Vereinfachung der Rechnung nehmen wir an, die Spannungsänderung ΔV sei klein, desgleichen die Aenderung der Ionisierung Δq, so dass man die Differentiale bilden darf, d. h. nur Glieder erster Ordnung berücksichtigen muss. Andererseits seien aber alle Grössen Δ wiederum gross im Vergleich mit wirklichen Differentialen.

Es ist nun im allgemeinen

$$i_1 = J_1\left(1 - e^{-\frac{V_0 - V}{r_1 J_1}}\right) \qquad i_2 = J_2\left(1 - e^{-\frac{V_0 - V}{r_2 J_2}}\right)$$

r_2 und J_2 gehen aus r_1 und J_1 durch Vergrösserung der Ionisierung um Δq hervor. Da $i_1 = i_2$, so folgt (nun ohne Indizes)

$$J\left(1 - e^{-\frac{V_0 - V}{rJ}}\right) = J\left(1 - e^{-\frac{V}{rJ}}\right) + \frac{\partial}{\partial q} J\left(1 - e^{-\frac{V}{rJ}}\right) \cdot \Delta q$$

oder, da

$$V_0 - V = \frac{V_0}{2} - \Delta V \quad \text{und} \quad V = \frac{V_0}{2} + \Delta V$$

[1]) G. Mie Ann. d. Phys., Bd. 13, S. 857, 1904; R. Seeliger, ib. Bd. 33, S. 319, 1910.
[2]) Ann. d. Phys., Bd. 37, S. 561, 1912.

$$J e^{-\frac{V_0}{2rJ}}\left(e^{-\frac{\Delta V}{rJ}} - e^{+\frac{\Delta V}{rJ}}\right) = \frac{\partial}{\partial q} \cdot J\left(1 - e^{-\frac{V}{rJ}}\right) \cdot \Delta q$$

Beim Ausdruck links kann man sich auf Glieder der ersten Potenz von ΔV beschränken. Beim Ausdruck rechts darf man nach der Differentiation für V den um ΔV abweichenden Anfangswert $\frac{V_0}{2}$ setzen, und man erhält nach Ausrechnung

$$-\Delta V = \frac{rJ}{2q}\left(e^{+\frac{V_0}{2rJ}} - 1 - \frac{V_0}{4rJ}\right)\Delta q \qquad (6)$$

Man hat, wie zu erwarten, eine Spannungs*abnahme* $-\Delta V$. Diese ist proportional der zu messenden Ionisierung Δq. Unter der Voraussetzung, dass die Elektrometerausschläge der Spannungsänderung ΔV proportional gehen, geben jene also direkt ein Mass für die Ionisierung und zwar unabhängig davon, ob in I_1 und I_2 mit angenähert gesättigten Strömen gearbeitet wird.

Besonders einfach wird der Fall dann, wenn $\frac{V_0}{2}$ gross gegen rJ ist. Dann reduziert sich Formel (6) auf

$$-\Delta V = \frac{rJ}{2q} \cdot e^{\frac{V_0}{2rJ}} \cdot \Delta q \qquad (7)$$

Die Empfindlichkeit. Wir wenden uns nun der Frage zu, wie ändert sich die Empfindlichkeit $-\frac{\Delta V}{\Delta q}$ mit den einzelnen Faktoren q, V_0, a? Wie muss man diese Grössen wählen, um eine möglichst hohe Empfindlichkeit zu erhalten? Zur Bestimmung der Abhängigkeit von der Grundionisierung q, bilden wir den Differentialquotienten $\frac{\partial}{\partial q}\left(-\frac{\Delta V}{\Delta q}\right)$. Die Ausrechnung ergibt:

$$\frac{\partial}{\partial q}\left(-\frac{\Delta V}{\Delta q}\right) = \frac{rJ}{4q^2}\left(1 + \frac{V_0}{2rJ}\right)\left(1 - e^{+\frac{V_0}{2rJ}}\right) \qquad (8)$$

Der letzte Faktor ist dauernd kleiner als 0. Der Differentialquotient ist somit stets negativ, nur für $q = 0$ ist er auch $= 0$. Die Empfindlichkeit $-\frac{\Delta V}{\Delta q}$ nimmt also, wenn q von 0 an wächst, fortwährend ab. Ein Optimum bei einem bestimmten Wert existiert nicht. Am grössten (d. h. unendlich gross) wäre sie ohne Grundionisierung. Um eine gute Einstellungsgeschwindigkeit zu erhalten (siehe unten), wird man aber keine zu schwache Ionisierung verwenden. Die Abhängigkeit der Quotienten $-\frac{\Delta V}{\Delta q}$ von der verwendeten Spannung V_0 ergibt die Differentiation

$$\frac{\partial}{\partial V_0}\left(-\frac{\Delta V}{\Delta q}\right) = \frac{1}{2q}\left(e^{\frac{V_0}{2rJ}} - \frac{1}{2}\right) \qquad (9)$$

Der Differentialquotient ist stets grösser als 0, auch für $V_0 = 0$. Je höher die Spannung V_0, um so grösser ist also die Empfindlichkeit.

Schliesslich erhalten wir noch die Abhängigkeit der Empfindlichkeit vom Plattenabstand durch Berechnung von $\frac{\partial}{\partial a}\left(-\frac{\Delta V}{\Delta q}\right)$. Es ergibt sich

$$\frac{\partial}{\partial a}\left(-\frac{\Delta V}{\Delta q}\right) = \frac{rJ}{aq}\left[e^{\frac{V_0}{2rJ}}\left(1 - \frac{V_0}{2rJ}\right) - 1\right] \qquad (10)$$

Es lässt sich zeigen, dass der Klammerausdruck stets negativ ist. Für $\frac{V_0}{2rJ} \geqq 1$ ist dies ohne weiteres ersichtlich, für $\frac{V_0}{2rJ} < 1$ folgt dies aus der Reihenentwicklung von $\frac{1}{1 - \frac{V_0}{2rJ}} > e^{\frac{V_0}{2rJ}}$.

Die Empfindlichkeit $-\frac{\Delta V}{\Delta q}$ nimmt daher mit steigendem Plattenabstand a fortwährend ab.

Man kann etwa noch nach dem Einfluss des Plattenquerschnittes fragen. Es lässt sich unschwer zeigen, dass rJ den Querschnitt nicht enthält. Da aber in (6) nur das Produkt rJ erscheint, so hängt die Empfindlichkeit überhaupt nicht vom Querschnitt ab.

Man hat also für eine hohe Empfindlichkeit des Apparates die Bedingungen q und a klein, V_0 gross, Querschnitt beliebig.

Die Einstellgeschwindigkeit. Ist der Apparat im Nullzustand, und fügt man eine Ionisierung Δq hinzu, so vergeht eine gewisse Zeit, bis die Potentialänderung sich einstellt. Da es sich um einen asymptotischen Vorgang handelt, so wird die Einstelldauer theoretisch unendlich, praktisch aber endlich sein. Unter Einstellgeschwindigkeit wollen wir $\frac{dV}{dt}$ im Moment, wo die Zusatzionisierung Δq angelegt wird, verstehen, also $\left(\frac{dV}{dt}\right)_{t=0}$, unter relativer Einstellgeschwindigkeit den Ausdruck $\frac{dV}{\Delta V dt}$ für $t = 0$. Die Einstelldauer wird um so grösser sein, je kleiner die relative Einstellgeschwindigkeit. Wir können uns also darauf beschränken, die letztere einer eingehenden Prüfung zu unterziehen.

Es lässt sich $\frac{dV}{\Delta V dt}$ auf folgende Weise berechnen. Man hat nach Zubringen der Ionisierung für die Ladungsänderung des Elektrometersystems

$$de = C\,dV = (i_1 - i_2)\,dt \tag{11}$$

wo jetzt bis zur Einstellung des neuen Gleichgewichtszustandes $i_1 \neq i_2$ ist. C ist die Kapazität des Elektrometersystems unter den angenommenen Versuchsbedingungen. Sofern die Kapazität vornehmlich durch die gegenseitige Influenzierung zwischen dem Elektroskopblättchen und den beiden Seitenelektroden zustande kommt, hätte man

$$e = -\,c_{12}\,(V_0 - V) + c_{23}\,V$$

wo c_{12} und c_{23} die Influenzierungskoeffizienten der linken und rechten Elektrode bedeuten. Darnach wäre $C = c_{12} + c_{23}$.

Unter Berücksichtigung, dass $i_2 = i_1 + \frac{\partial i_1}{\partial q}\Delta q$ und dass $V = \frac{V_0}{2}$ für $t = 0$ ist, wird Gleichung (11)

$$C\,dV = -\frac{\partial}{\partial q} J \left(1 - e^{-\frac{V_0}{2rJ}}\right) \Delta q \cdot dt \text{ für } t = 0 \tag{12}$$

Die Ausführung der Differentiation ergibt

$$C\,\frac{dV}{dt} = -\frac{J}{9}\, e^{-\frac{V_0}{2rJ}} \left(e^{+\frac{V_0}{2rJ}} - 1 - \frac{V_0}{4rJ}\right) \Delta q \tag{13}$$

Die relative Einstellgeschwindigkeit erhält man durch Division mit ΔV, das aus (6) zu entnehmen ist, zu

$$\frac{dV}{\Delta V dt} = \frac{2}{Cr} \cdot e^{-\frac{V_0}{2rJ}} \tag{14}$$

Diese einfache Beziehung erlaubt eine anschauliche Deutung. Denkt man sich nämlich die beiden Jonisationskammern I_1 und I_2 durch zwei gleich grosse ohmsche Widerstände von der Grösse r ersetzt und frägt jetzt nach der Einstellgeschwindigkeit bei einer einseitigen Aenderung von Δr, so erhält man nach einer einfachen Rechnung

$$\frac{dV}{\Delta V dt} = \frac{2}{Cr} \tag{15}$$

d. h. im Falle der Verwendung von Luftionisierung verkleinert sich die Einstellgeschwindigkeit im Verhältnis $1 : e^{-\frac{V_0}{2rJ}}$. Man kann es leicht einrichten, dass dieses Verhältnis keinen zu grossen Wert annimmt.

Diskussion der Einstellgeschwindigkeit. Wir fragen nun wieder nach der Abhängigkeit der Einstellgeschwindigkeit von q, V_0, a. Es ist, wenn wir zur Abkürzung $\frac{dV}{\Delta V dt} = v$ setzen

$$\frac{\partial v}{\partial q} = \frac{1}{2qr} \cdot e^{-\frac{V_0}{2rJ}} \left(1 + \frac{V_0}{2rJ}\right) \tag{16}$$

Diese Grösse ist immer positiv, d. h. die Einstellgeschwindigkeit wächst fortwährend mit zunehmender Grundionisierung.

Dass v mit V_0 abnimmt, ist ohne weiteres ersichtlich.

Schliesslich interessiert uns noch $\frac{\partial v}{\partial a}$. Man erhält

$$\frac{\partial v}{\partial a} = \frac{2}{arC} \cdot e^{-\frac{V_0}{2rJ}} \left(\frac{V_0}{rJ} - 1\right) \tag{17}$$

$\frac{\partial v}{\partial a}$ wird 0 für $V_0 = rJ$. Wie leicht zu zeigen ist, entspricht dies einem Maximum von v. Der Maximalwert ist

$$v = \frac{2}{Cr} e^{-\frac{1}{2}} \tag{18}$$

In diesem Falle ist also die Einstellgeschwindigkeit nur im Verhältnis $1 : e^{-\frac{1}{2}} = 1^1/_2$ mal kleiner als im Falle eines ohmschen Widerstandes.

Da v nicht nur rJ, sondern auch noch r enthält, so hängt es auch vom Querschnitt ab. Man wird in Gleichung (14) r klein machen, d. h. den Querschnitt gross. Immerhin muss dabei bedacht werden, dass man damit gleichzeitig auch C vergrössert! Wir haben also als Resultat: Die Einstellgeschwindigkeit ist gross: 1. wenn q gross, 2. wenn der Querschnitt bei möglichst kleiner Kapazität gross, 3. wenn V_0 klein und 4. wenn a so gewählt wird, dass $V_0 = rJ$.

Aus dieser Betrachtung geht hervor, dass die Empfindlichkeit des Apparates nicht beliebig gesteigert werden kann, da gewisse Faktoren, die eine grosse Empfindlichkeit begünstigen, andererseits die Einstelldauer schliesslich so vergrössern, dass die Benützung des Apparates unbequem und zeitraubend würde. Wie man bei Beurteilung einer Wage nicht nur die Empfindlichkeit, sondern auch die Schwingungs-

dauer berücksichtigen muss, so hier Empfindlichkeit und Einstellgeschwindigkeit. Die theoretische Betrachtung wäre also in der Weise weiterzuführen, dass man ansetzt

$$\Delta V = f(q, V_0, a) \quad \text{und} \quad v = \varphi(q, V_0, a)$$

Indem man nun eine Variable, z. B. V_0 als gegeben ansieht, und festsetzt, dass v einen bestimmten Wert habe v = konstant, lässt sich berechnen, welches die günstigsten Werte von q und a für ein möglichst grosses ΔV sind.

Elektrische Messung des Staubgehaltes der Luft. Es ist eine bekannte Tatsache, dass Staub und Rauch in der Luft die Stromspannungscharakteristik beeinflussen. Es schien mir daher die Möglichkeit vorzuliegen, die staubartigen Verunreinigungen der Luft durch die Veränderungen der Ionenströme nicht nur nachzuweisen, sondern auch in irgend einer Weise messend zu verfolgen. Ein Apparat dieser Art würde offenbar gewisse Vorzüge vor den bisher bekannten Methoden (Wägung abgelagerten Staubes, optische Trübung der Luft) haben. Erst durch einen einfachen, direkt zeigenden Apparat wird sich die für viele Zwecke sehr erwünschte Staubkontrolle einbürgern können. Ich erinnere an die Bedürfnisse der gewerblichen, öffentlichen und medizinischen Hygiene.

Das Differentialionometer ist nun ohne weiteres geeignet, den Staubgehalt anzuzeigen. Hält man das eine Ionisierungsgefäss staubdicht verschlossen und lässt das andere durch Oeffnungen mit der Luft kommunizieren, so ist die Potentialänderung ΔV, die dadurch entsteht, in irgend einer Weise ein Mass für die Lufttrübung. Schliesst man beide Ionisierungsgefässe ab, so stellt sich der Apparat auf den Nullpunkt ein.

Empfindlichkeit. Das Problem ist leicht rechnerisch zu verfolgen. Die Ionisierung q ist mit und ohne Luftstaub stets konstant, also bleibt auch J gleich. Was sich ändert, das ist der Wiedervereinigungskoeffizient der Ionen, a und damit der Anfangswiderstand r. Nehmen wir an, der analytische Ausdruck der Stromkurve sei in verstaubter Luft derselbe, so haben wir

$$i_1 = J\left(1 - e^{-\frac{V_0 - V}{rJ}}\right) \quad \text{und} \quad i_2 = J\left(1 - e^{-\frac{V}{(r+\Delta r)J}}\right) \tag{19}$$

Im stationären Zustand ist wieder $i_1 = i_2$, d. h. wie sofort ersichtlich

$$\frac{V_0 - V}{rJ} = \frac{V}{(r+\Delta r)J}$$

Indem wir wieder $V = \frac{V_0}{2} + \Delta V$ einführen, bekommen wir

$$\Delta V = \frac{V_0}{2}\,\frac{\Delta r}{2r} \tag{20}$$

und da $\Delta r = \frac{\partial r}{\partial a}\,\Delta a$, so folgt

$$\frac{\Delta V}{\frac{V_0}{2}} = \frac{\Delta a}{4a} \tag{21}$$

Die relative Spannungsänderung an I_1 bezw. I_2 ist also gleich $^1/_4$ der relativen Aenderung des Wiedervereinigungskoeffizienten a.

Man hat also hier eine einfache Methode, um $\frac{\Delta a}{a}$ quantitativ zu bestimmen. Benützt man nun diese relative Aenderung von a als Mass für die Lufttrübung, so gibt der Elektrometerausschlag (ΔV) ohne weiteres den Grad der Verstaubung an. Es ist bemerkenswert, dass ΔV, wenigstens unter den gemachten theoretischen Vor-

aussetzungen, ganz unabhängig ist von q, a usw. Man wird also diese Grössen ohne weiteres so wählen, dass man eine kurze Einstelldauer hat, also rasch ablesen kann.

Die Einstellgeschwindigkeit erhält man auf analoge Weise wie oben. Es ist:

$$C\,dV = (i_1 - i_2)\,dt \quad \text{und} \quad i_1 = J\left(1 - e^{-\frac{V_0}{2rJ}}\right) \text{ für } t = 0$$

wo aber nun $$i_2 = i_1 + \frac{\partial i_1}{\partial a}\,\Delta a$$

d. h., es ist $$C\frac{dV}{dt} = J\frac{\partial}{\partial a}\,e^{-\frac{V_0}{2rJ}} \cdot \Delta a \qquad (22)$$

Durch Ausrechnen folgt in Verbindung mit (21)

$$\frac{dV}{\Delta V dt} = \frac{2}{rC}\,e^{-\frac{V_0}{2rJ}} \qquad (23)$$

also genau derselbe Ausdruck wie bereits unter (14) erhalten.

Es sind also dieselben Faktoren massgebend, wie für den Fall einer Zusatzionisierung. Dabei ist nicht gesagt, dass der zeitliche Verlauf der Einstellung ΔV in beiden Fällen derselbe und damit die Einstelldauer die gleiche sei. Es ist nur der Differentialquotient zu Beginn der Aenderung Δq bezw. Δa gleich gross.

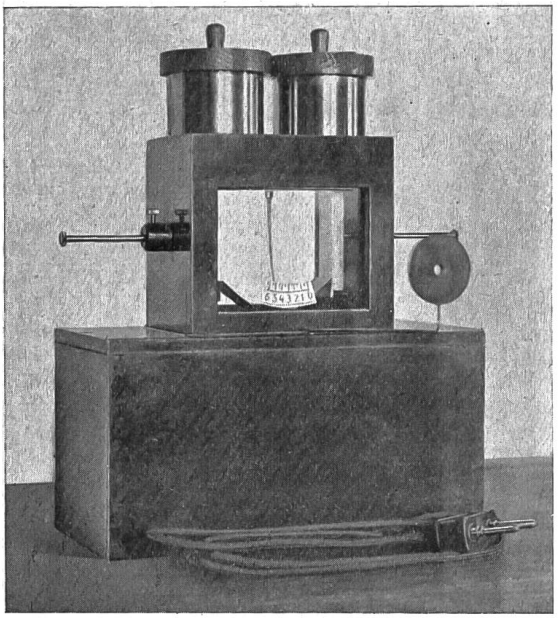

Fig. 3

In Wirklichkeit kommt es gar nicht so sehr darauf an, wie rasch der Apparat die neue Einstellung annimmt, wenn a sich um Δa ändert, als vielmehr darauf, wie rasch die Ablesung möglich ist, nachdem an den Apparat in einer gegebenen Atmosphäre die Spannung angeschaltet ist. Aber auch für diesen Fall werden die diskutierten Faktoren in derselben Weise massgebend sein.

Ausführung eines Modells. Fig. 3 gibt die Ansicht eines einfachen Modells. Oben befinden sich zwei zylindrische Ionisierungskammern (Durchmesser 5 cm). Diese besitzen einen metallenen Deckel, der zwecks bequemer Abhebung an einen Holzteller geschraubt ist. Platte und Holzdeckel besitzen in der Mitte ein durchgehendes, mit einem Stopfen verschliessbares Loch. Durch dieses kann die Kammer beliebig bestrahlt und mit der Aussenluft in Verbindung gesetzt werden. Die Deckelplatten sind auf der Unterseite mit Radiumlösung bestrichen. Ueber diese ist mittels eines Bindemittels Aluminiumfolie geklebt, um einerseits die Abgabe von Radiumemanation zu verhindern, andererseits für metallische Oberfläche zu sorgen. Diesen ionisierenden Radiumbelegen stehen als zweite Elektroden je eine horizontale Platte gegenüber, die durch auf Hochglanz poliertes Ebonit von den zylindrischen Gefässen isoliert sind. Der Stiel der Platten geht in den Elektroskopraum hinab. An der horizontalen Verbindungsschiene dieser Stiele ist in der Mitte das feine Elektroskopblättchen befestigt. Im Sockel befindet sich der Gleichrichter, der bei Anschluss an das Lichtnetz von 105 Volt (siehe Stecker vorn) eine Gleichspannung von ca. 500 Volt liefert. Die Pole sind einesteils mit den beiden Metallzylindern, andernteils mit den Seitenplättchen links und rechts vom

Elektrometerblättchen verbunden. Man erkennt noch die metallischen, unten zusammenführenden Ansätze der Seitenplättchen. Die Ablesung geschieht in primitiver Weise mittels einer auf die vordere Glasplatte aufgeklebten Skala und einer davor angebrachten kleinen Kreisblende, durch die visiert wird. Von der etwas stärkeren Radiumbelegung des Ionisierungsgefässes rechts kann ein beliebiger Teil abgedeckt werden. Hierzu ist ein Metallsektor unterhalb der Belegung angebracht, der durch Drehen des Knopfes oben betätigt wird. Um den ganzen Messbereich auszunützen, wird die Nullstellung des Blättchens nicht in der Mitte der Skala gewählt, sondern für Ionisierungsmessungen z. B. am linken Ende. Man dreht den Regulierknopf oben, der die Radiumbelegung abdecken lässt, so, bis das Elektroskopblättchen auf den gewünschten Teilstrich einsteht. Mittels eines am Regulierknopf befestigten Zeigers und einer Teilung darunter lässt sich die Stellung ein für allemal notieren. Wenn nun an das Ionisierungsgefäss links ein radioaktives Präparat herangebracht wird, schlägt das Elektroskop nach rechts aus. Will man den Apparat als Staubmesser verwenden, so stellt man das Blättchen im Anfang auf das rechte Ende der Skala ein. Nimmt man nun den Stopfen heraus, so geht das Blättchen mehr oder weniger nach links. Der Staubeffekt lässt sich momentan demonstrieren, wenn man etwas Tabakrauch oder Magnesiumpulver in das Gefäss hineinbläst. In diesem Fall geht der Ausschlag des Elektroskops über die ganze Skala.

Es sei zum Schluss bemerkt, dass das hier beschriebene erste Modell noch nicht den Anspruch auf die günstigste Dimensionierung machen kann, zumal es bereits vor Durchführung der theoretischen Behandlung des Apparates hergestellt worden ist.

Backofenheizung zum wahlweisen Betrieb mit elektrischer Energie, oder mit Brennstoffeuerung.

Von *F. Graf*, Baden.

Der Autor beschreibt verschiedene Anordnungen zum Einbau einer elektrischen Heizung in bestehende Backöfen, wodurch der wahlweise Betrieb eines Ofens mit elektrischer Energie oder Brennstoffheizung ermöglicht wird. Durch diese Anordnung kann der Bäcker die elektrische Energie dann benützen, wenn sie am billigsten ist. Ausserdem kann der Umbau rascher und billiger vorgenommen werden, als bei Erstellung neuer nur für den elektrischen Betrieb bestimmter Backöfen.

Zum Schluss werden an Hand von Betriebsresultaten Angaben über Anschlusswert und Energieverbrauch solcher Backöfen gemacht.

L'auteur décrit différentes manières pour disposer les corps de chauffe électriques dans les fours de boulanger ordinaires permettant l'exploitation avec combustible ou à l'électricité. Ce genre de four a l'avantage que le boulanger peut tout en n'ayant qu'un seul four, n'avoir recours à l'électricité qu'aux moments où il l'obtient à des prix avantageux. La première installation est en outre sensiblement plus réduite et n'exige que très peu de temps.

Enfin l'auteur donne quelques chiffres sur les kWh absorbés en exploitation courante.

Der Gedanke, die für Backzwecke nötige Wärme an Stelle der teuren Kohle durch Elektrizität zu erzeugen, ist so alt, wie die Verwendung der Elektrizität im allgemeinen für alle möglichen industriellen Zwecke.

Es sind denn auch im Laufe der Zeit zahlreiche Systeme von elektrisch beheizten Backöfen bekannt geworden, welche die Bäckerei von der Heizung mit besonderen Brennstoffen unabhängig machen. Um aber genügend billige elektrische Energie erhalten und so mit den stark gefallenen Brennstoffpreisen konkurrieren zu können, ist es notwendig, dass der Backofen sowohl mit elektrischer Energie, wie auch mit gewöhnlichen Brennstoffen beheizt werden kann, um so im Falle von Energieknappheit den Elektrizitätswerken den Unterbruch der Stromlieferung zu gestatten. In diesem Falle aber werden die meisten Elektrizitätswerke bereit sein, ihre Energie zu sehr billigem Preise abzugeben.