

Werk

Jahr: 1970

Kollektion: fid.geo

Signatur: 8 Z NAT 2148:36

Digitalisiert: Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen

Werk Id: PPN101433392X_0036

PURL: http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X_0036

LOG Id: LOG_0165

LOG Titel: Ionenbahnen in einem platten- und zylinderförmigen Aspirationskondensator bei ebenem bzw. parabolischem Luftgeschwindigkeitsprofil

LOG Typ: article

Übergeordnetes Werk

Werk Id: PPN101433392X

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

Terms and Conditions

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

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

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

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

Contact

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

Ionenbahnen in einem platten- und zylinderförmigen Aspirationskondensator bei ebenem bzw. parabolischem Luftgeschwindigkeitsprofil

Ion Paths in Plane and Cylindrical Aspiration Condensers with Plane or Parabolic Air Stream Velocity Profile

Von J. EICHMEIER, München¹⁾

Eingegangen am 6. Juni 1970

Zusammenfassung: Bei der Strömung ionenhaltiger Luft durch einen an Spannung liegenden Aspirationskondensator wird das am Kondensatoreingang ebene Luftströmungsprofil in Strömungsrichtung parabolisch verformt. Für die beiden Grenzfälle des genau ebenen und parabolischen Strömungsprofils werden unter der Annahme laminarer Strömung die Ionenbahnen berechnet und der Bahnverlauf aufgezeichnet. Im Fall des ebenen Strömungsprofils ergeben sich beim Plattenkondensator als Ionenbahnen geneigte Geraden und beim Zylinderkondensator parabelähnliche Bahnkurven. Im Fall des parabolischen Strömungsprofils erhält man für beide Kondensatortypen zum Teil s-förmig verlaufende Bahnkurven. Durch eine passend gewählte Normierung der Rechenergebnisse wird die zeichnerische Darstellung der Ionenbahnen von Kondensatorspannung, Ionenbeweglichkeit, Strömungsdruckabfall und Luftreibungskoeffizienten unabhängig.

Summary: The velocity profile of an air stream flowing through a charged aspiration condenser varies downstream from an exactly plane to an exactly parabolic shape. For these two cases the ion paths are calculated and plotted assuming laminar flow. For a plane velocity profile the ion paths are inclined straight lines in the plate condenser and similar to parabolas in the cylindrical condenser. For a parabolic velocity profile partly s-shaped ion paths are obtained in both condensers. If the equations resulting from the calculations are suitably standardized, the drawings of the ion paths become independent from condenser voltage, ion mobility, drop of air pressure and viscosity of the air.

Einleitung

Zur Messung von Beweglichkeit und Konzentration der in atmosphärischer Luft durch die natürlichen Ionisatoren gebildeten Ladungsträger (atmosphärische Ionen genannt) sowie zur Messung der Luftleitfähigkeit dient die Aspirationsmethode [EBERT 1901, GERDIEN 1903, ISRAËL 1957]. Sie besteht darin, daß die ionenhaltige

¹⁾ Priv.-Doz. Dr.-Ing. JOSEPH EICHMEIER, Institut für Technische Elektronik, Technische Universität München, 8 München 2, Arcisstr. 21.

atmosphärische Luft laminar und mit konstanter Geschwindigkeit durch einen platten- oder zylinderförmigen „Aspirationskondensator“ gesaugt und im elektrischen Kondensatorfeld teilweise entionisiert wird. Die theoretischen Grundlagen solcher Aspirationskondensatoren wurden bereits in zwei früheren Arbeiten [EICHMEIER 1968, 1969] ausführlich diskutiert, ohne daß dabei auf den Verlauf der Ionenbahnen im Kondensator näher eingegangen wurde. Dieser Bahnverlauf wird im folgenden für einen Platten- und Zylinderkondensator unter der Annahme laminarer Luftströmung mit ebenem bzw. parabolischem Geschwindigkeitsprofil berechnet und graphisch dargestellt.

2. Allgemeine Ionenbahngleichung

Die atmosphärischen Ladungsträger, die mit dem Luftstrom in den Aspirationskondensator gelangen, beschreiben zwischen der Eintrittsstelle und der Meßelektrode Bahnen, die durch zwei Geschwindigkeitskomponenten bestimmt werden (vgl. Abb. 1): eine y -Komponente $v_y(z)$ bzw. eine radiale Komponente $v_r(r)$, die vom elektrischen Kondensatorfeld herrühren, und eine axiale $v_z(y)$ bzw. $v_z(r)$, die der Luftstrom hervorruft. Sind diese beiden Geschwindigkeitskomponenten

$$v_y(z) = \frac{\partial y}{\partial t} \quad \text{und} \quad v_z(y) = \frac{\partial z}{\partial t} \quad (1 \text{ a})$$

bzw.

$$v_r(r) = \frac{\partial r}{\partial t} \quad \text{und} \quad v_z(r) = \frac{\partial z}{\partial t} \quad (1 \text{ b})$$

jeweils bekannt, so erhält man die Gleichung der Ionenbahnen aus den Beziehungen:

$$\frac{\partial z / \partial t}{\partial y / \partial t} = \frac{dz}{dy} = \frac{v_z(y)}{v_y(z)} \quad (2 \text{ a})$$

bzw.

$$\frac{\partial z / \partial t}{\partial r / \partial t} = \frac{dz}{dr} = \frac{v_z(r)}{v_r(r)} \quad (2 \text{ b})$$

durch Integration:

$$z = \int dz = \int \frac{v_z(y)}{v_y(z)} dy \quad (3 \text{ a})$$

bzw.

$$z = \int dz = \int \frac{v_z(r)}{v_r(r)} dr. \quad (3 \text{ b})$$

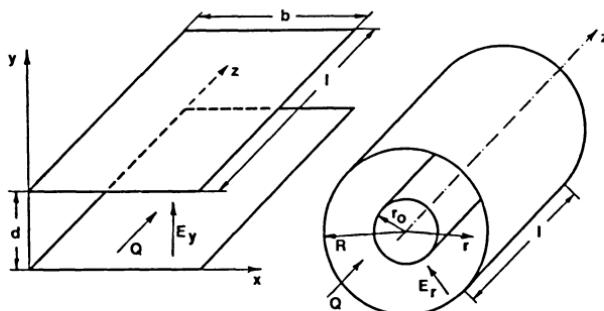


Abb. 1: Elektrodenanordnung eines platten- bzw. zylinderförmigen Aspirationskondensators für atmosphärische Ionen.

Q = Luftstromrichtung, E_y , E_r = elektrische Feldstärke.

Electrodes of a plane and cylindrical aspiration condenser for atmospheric ions.

Q = air stream, E_y , E_r = electrical field strength.

Die Geschwindigkeitskomponente $v_y(z)$ bzw. $v_r(r)$ ist die Driftgeschwindigkeit der Ionen im elektrischen Feld des Aspirationskondensators. Sie ergibt sich aus dem Produkt der Ionengeschwindigkeit k und der elektrischen Feldstärke E :

$$v_y(z) = kE_y = k \frac{U}{d} \quad (4a)$$

bzw.

$$v_r(r) = -kE_r = -\frac{kU}{r \ln \frac{R}{r_0}}. \quad (4b)$$

(U = Kondensatorspannung, d = Plattenabstand; R , r_0 = Elektrodenradien des Zylinderkondensators, r = Abstand von der Achse des Zylinderkondensators; das Minuszeichen in Gl. (4b) röhrt davon her, daß hier die Geschwindigkeitskomponente $v_r(r)$ und der Radiusvektor r entgegengesetzte Richtung haben).

Die Geschwindigkeitskomponente $v_z(y)$ bzw. $v_z(r)$ hängt von der Art und vom Geschwindigkeitsprofil der axialen Luftströmung im Aspirationskondensator ab. Bei laminarer Luftströmung (mit achsenparallelen Stromfäden) ist die Strömungsgeschwindigkeit am Kondensatoreingang über die ganze Eintrittsöffnung konstant (ebenes Strömungsprofil). Beim Weiterwandern mit der Strömung wird das ebene Strömungsprofil infolge der Reibung der einzelnen Luftsichten aneinander und an den Rohrwänden zu einem Paraboloid verformt (vgl. Abb. 2). Bis zur vollständigen Ausbildung dieses parabolischen Strömungsprofils muß die Strömung eine bestimmte „Anlauf-

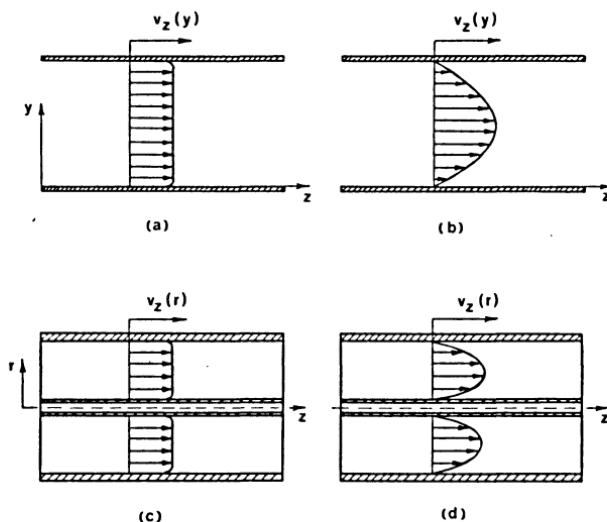


Abb. 2: Ebenes und parabolisches Geschwindigkeitsprofil der laminaren Luftströmung in einem Aspirationskondensator mit Platten- (a, b) bzw. Zylinderelektroden (c, d).

Plane and parabolic velocity profile of the laminar air stream in an aspiration condenser with plane (a, b) and cylindrical electrodes (c, d).

länge“ l_a zurücklegen, die im Falle eines Rohrs mit dem Radius R nach Messungen von NIKURADSE (vgl. SCHLICHTING [1958] und SCHMEER [1966]):

$$l_a \approx 0,12 \cdot R_e \cdot R \quad (5)$$

beträgt¹⁾). Diese Gleichung gilt auch für Zylinderkondensatoren mit großem Verhältnis R/r_0 . R_e bedeutet darin die REYNOLDSche Zahl, die nach SCHLICHTING [1958] und SCHMEER [1966] aus der Beziehung

$$R_e = \frac{2 v_m (R - r_0)}{\nu} = \frac{2 Q}{\pi (R + r_0) \nu} \quad (6)$$

berechnet werden kann¹⁾. (v_m = mittlere Strömungsgeschwindigkeit [in cm/sec], Q = Luftfördermenge [in cm³/sec], ν = kinematische Zähigkeit = 0,15 cm²/sec für Luft von 20°C und 760 Torr).

¹⁾ Nach HÜTTE [1955] (vgl. auch HOEGL [1963]) ist dagegen $l_a = 0,058 \cdot R_e \cdot R$, wobei

$$R_e = \frac{v_m (R - r_0)}{2 \nu} = \frac{Q}{2 \pi (R + r_0) \nu}$$

beträgt.

Bei den üblichen Aspirationskondensatoren mit Zylinderelektroden und einem Außenradius $R = 5$ cm beträgt die REYNOLDSSCHE Zahl für eine Luftfördermenge von $1\dots20 \text{ m}^3/\text{h}$ nach Gl. (6) größtenteils $R_e = 170\dots3500$. Mit $R = 5$ cm wird daher die erforderliche Anlaufstrecke nach Gl. (5) je nach Luftfördermenge $l_a \approx 1\dots20 \text{ m}$. Daraus folgt, daß die Luftströmung nur in relativ kurzen (Kondensatorlänge $l \ll l_a$) und weiten ($R \gtrsim 5 \text{ cm}$) Aspirationskondensatoren ihr ebenes Strömungsprofil beibehält. In allen anderen Fällen, wo l etwa die gleiche Größenordnung wie l_a hat, wird das Strömungsprofil vom Kondensatoreingang bis zum Ausgang stetig verformt, bis es im Grenzfall parabolisch verläuft. Eine genaue Berechnung der Ionenbahnen ist in diesen Fällen auch unter der Annahme laminarer Strömung nicht möglich. Um trotzdem eine Vorstellung vom Verlauf der Ionenbahnen in einem platten- und zylinderförmigen Aspirationskondensator zu erhalten, sollen die Ionenbahnen jeweils für die beiden Grenzfälle, nämlich für eine laminare Luftströmung mit ebenem bzw. parabolischem Geschwindigkeitsprofil berechnet und aufgezeichnet werden.

3. Ionenbahnen in einem Plattenkondensator bei laminarer Luftströmung

a) Ebenes Geschwindigkeitsprofil

In diesem Fall (vgl. Abb. 2 a) ist in Gl. (3a) $v_z(y) = \text{const} = v$. Mit Gl. (4a) erhält man dann aus Gl. (3a) durch Integration die Bahngleichung $z(y)$ der Ionen [ISRAËL 1957]:

$$z = \frac{vd}{kU}(y - y_0) \quad (7)$$

(v = Luftgeschwindigkeit, k = Ionenbeweglichkeit, U , d = Spannung bzw. Abstand zwischen den Kondensatorplatten, y_0 = Ioneneintrittsstelle).

Nach Gl. (7) sind die Bahnen für Ionen einer bestimmten Beweglichkeit k parallele, zu den Kondensatorplatten geneigte Geraden. Setzt man in Gl. (7) $z/v = Z$ (Z ist dabei eine normierte Größe) und stellt die Funktion $y = f(kUZ)$ für den gegebenen Kondensator graphisch dar, so erhält man für verschiedene Eintrittsstellen y_0 die Ionenbahnen der Abb. 3a. Diese Darstellung gilt für beliebige Luftgeschwindigkeiten, Ionenbeweglichkeiten und Kondensatorspannungen. Eine Änderung der Ionenbeweglichkeit oder der Kondensatorspannung hat lediglich eine Änderung des Abszissenmaßstabs zur Folge.

b) Parabolisches Geschwindigkeitsprofil

Am Ende der Anlaufstrecke nimmt die laminare Strömung in einem Plattenkondensator ein Geschwindigkeitsprofil nach Abb. 2b entsprechend folgender Gleichung an [BERKER 1963, SZABO 1963]:

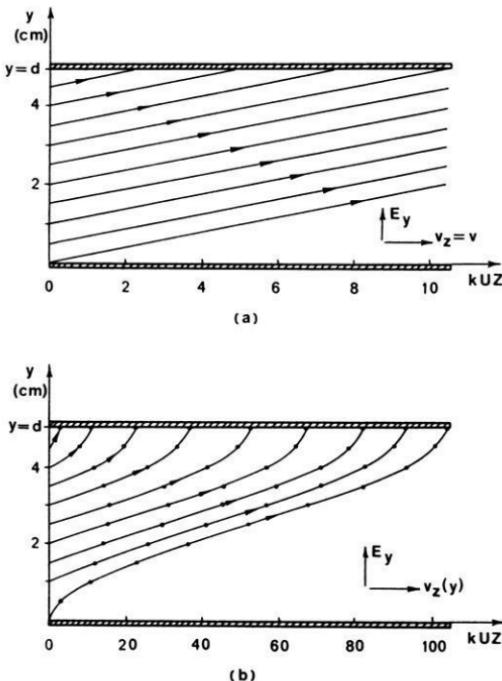


Abb. 3: Verlauf der Ionenbahnen in einem plattenförmigen Aspirationskondensator für verschiedene Eintrittsstellen y_0

- a) bei laminarer Luftströmung mit ebenem Geschwindigkeitsprofil,
- b) bei laminarer Luftströmung mit parabolischem Geschwindigkeitsprofil.

Ion paths in a plane aspiration condenser for different points of entrance, y_0 , and

- a) laminar air stream with plane velocity profile,
- b) laminar air stream with parabolic velocity profile.

$$v_z(y) = \frac{1}{2\eta} \frac{dp}{dz} (yd - y^2) \quad (8)$$

(η = Koeffizient der inneren Luftreibung, dp/dz = konstanter axialer Druckabfall im Kondensator).

Setzt man die Gl. (8) und (4a) in Gl. (3a) ein und integriert, so ergibt sich mit der Randbedingung $y = y_0$ für $z = 0$ die Gleichung der Ionenbahnen für eine laminare Luftströmung mit parabolischem Geschwindigkeitsprofil:

$$z = \frac{1}{2\eta} \frac{dp}{dz} \frac{d}{kU} \left[\frac{d}{2} (y^2 - y_0^2) - \frac{1}{3} (y^3 - y_0^3) \right]. \quad (9)$$

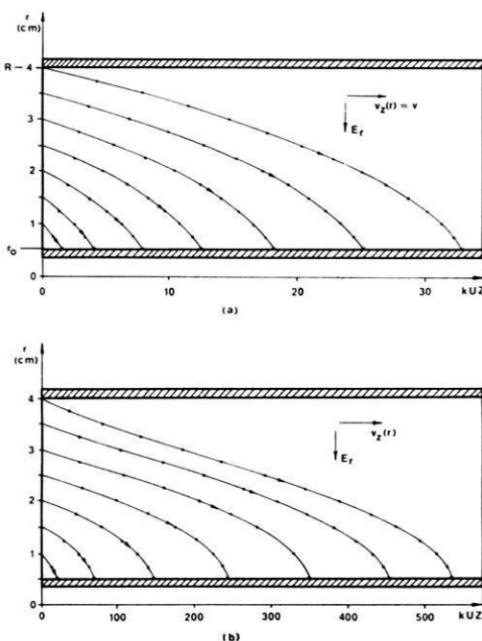


Abb. 4: Verlauf der Ionenbahnen in einem zylinderförmigen Aspirationskondensator für verschiedene Eintrittsradien r_e

- a) bei laminarer Luftströmung mit ebenem Geschwindigkeitsprofil,
- b) bei laminarer Luftströmung mit parabolischem Geschwindigkeitsprofil.

Ion paths in a cylindrical aspiration condenser for different radii of entrance, r_e , and

- a) laminar air stream with plane velocity profile,
- b) laminar air stream with parabolic velocity profile.

Ersetzt man in Gl. (9) die z-Koordinate durch die normierte Größe $Z = 2 \eta z / (dp/dz)$ und stellt die Funktion $y = f(kUZ)$ für den gegebenen Kondensator graphisch dar, so erhält man für verschiedene Ioneneintrittsstellen y_0 die Ionenbahnen der Abb. 3b. Diese Darstellung gilt ähnlich wie Abb. 3a für beliebige Luftreibungskoeffizienten, Druckabfälle, Kondensatorspannungen und Ionenbeweglichkeiten. Eine Änderung der Ionenbeweglichkeit oder der Kondensatorspannung hat wie in Abb. 3a nur eine entsprechende Änderung des Abszissenmaßstabs zur Folge.

4. Ionenbahnen in einem Zylinderkondensator bei laminarer Luftströmung

a) Ebenes Geschwindigkeitsprofil

Für diesen Fall (vgl. Abb. 2c) ist in Gl. (3b) $v_z(r) = \text{const} = v$ zu setzen. Mit Gl. (4b) ergibt sich dann aus Gl. (3b) durch Integration die Bahngleichung $z(r)$ der

Ionen (vgl. SIKSNA [1952]):

$$z = \frac{v}{2kU} (r_e^2 - r^2) \ln \frac{R}{r_0} \quad (10)$$

($v = Q/\pi (R^2 - r_0^2)$ = Luftströmungsgeschwindigkeit, k = Ionenbeweglichkeit, U = Kondensatorspannung, R, r_0 = Radius der Außen- bzw. Innenelektrode, r_e = Abstand der Ioneneintrittsstelle von der Kondensatorachse).

Auch hier kann man ähnlich wie beim Plattenkondensator $2z/v = Z$ setzen. Stellt man die Funktion $y = f(kUZ)$ für einen bestimmten Kondensator graphisch dar, so erhält man für verschiedene Eintrittsradien r_e die Ionenbahnen der Abb. 4a.

b) Parabolisches Geschwindigkeitsprofil

Für das Geschwindigkeitsprofil, das sich am Ende der Anlaufstrecke in einem Zylinderkondensator einstellt (vgl. Abb. 2d) gilt die Gleichung [BERKER 1963]:

$$v_z(r) = \frac{1}{4\eta} \frac{dp}{dz} \left[r_0^2 - r^2 + (R^2 - r_0^2) \frac{\ln(r_0/r)}{\ln(r_0/R)} \right] \quad (11)$$

(η = Koeffizient der inneren Luftreibung, dp/dz = axieller Druckabfall im Kondensator).

Gl. (11) und Gl. (4b) in Gl. (3b) eingesetzt, ergibt nach Integration mit der Randbedingung $r = r_e$ für $z = 0$ die Gleichung der Ionenbahnen für verschiedene Eintrittsradien r_e :

$$z = \frac{1}{16\eta} \frac{dp \ln(R/r_0)}{dz} \left[(r^2 - r_e^2)(r^2 + r_e^2 - 2R^2) + \frac{2(R^2 - r_0^2)}{\ln(R/r_0)} \left(r^2 \ln \frac{R}{r} - r_e^2 \ln \frac{R}{r_e} \right) \right] \dots \quad (12)$$

(R, r_0 = Radius des Außen- bzw. Innenzylinders, r_e = Abstand der Ioneneintrittsstelle von der Kondensatorachse).

Führt man in Gl. (12) die normierte Größe $Z = 16\eta z/(dp/dz)$ ein, so ergibt die Darstellung der Funktion $r = f(kUZ)$ für verschiedene Eintrittsradien r_e die Ionenbahnen der Abb. 4b. Auch diese und die Bahnen der Abb. 4a gelten für beliebige Luftreibungskoeffizienten, Druckabfälle, Kondensatorspannungen und Ionenbeweglichkeiten. Änderungen dieser Größen haben nur eine entsprechende Änderung des Abszissenmaßstabes zur Folge.

Wie ein Vergleich der Abb. 3a und 3b bzw. 4a und 4b zeigt, treten die durch das Strömungsprofil verursachten Änderungen der Ionenbahnen besonders in Elektroden-nähe in Erscheinung. Bei parabolischem Geschwindigkeitsprofil ergibt sich im Platten-

und Zylinderkondensator für einen Teil der Ionenbahnen ein s-förmiger Verlauf. Da sich das Geschwindigkeitsprofil längs der Kondensatorachse innerhalb der betrachteten Grenzen im allgemeinen stetig ändert, weichen die wirklichen Ionenbahnen etwas von den berechneten ab. Für die Anwendung von Aspirationskondensatoren bei Beweglichkeits- und Konzentrationsmessungen atmosphärischer Ionen sind diese Abweichungen aber unwesentlich, da die das Meßergebnis beeinflussende Grenzbeweglichkeit eines Aspirationskondensators vom Strömungsprofil und damit auch vom Verlauf der Ionenbahnen unabhängig ist (vgl. ISRAËL [1957], HOEGL [1962]).

5. Dimensionierungsformeln für platten- bzw. zylinderförmige Aspirationskondensatoren

In Tab. 1 sind die wichtigsten Formeln zusammengestellt, die für die Dimensionierung eines platten- bzw. zylinderförmigen Aspirationskondensators wesentlich sind.

Tabelle 1 siehe nächste Seite !

Literatur

- BERKER, R.: Intégration des équations du mouvement d'un fluide visqueux incompressible. In: Handb. d. Physik, Bd. VIII/2 (Strömungsmechanik II). Hrsg. v. S. Flügge, Berlin/Göttingen/Heidelberg: Springer 1963, S. 1—384
- EBERT, H.: Aspirationsapparat zur Bestimmung des Ionengehalts der Atmosphäre. Phys. Zeitschr. 2, 662—664, 1901
- EICHMEIER, J.: Die theoretischen Grundlagen und das Auflösungsvermögen von Aspirations-Beweglichkeitsspektrographen für atmosphärische Ionen. Z. Geophys. 34, 69—86, 1968
- EICHMEIER, J.: Grenzbeweglichkeiten und Auflösungsvermögen eines Ionbeweglichkeits-spektrometers mit plattenförmigem Aspirationskondensator. Z. Geophys. 35, 413—417, 1969
- GERDIEN, H.: Die absolute Messung der elektrischen Leitfähigkeit und der spezifischen Ionen-geschwindigkeit in der Atmosphäre. Phys. Zeitschr. 4, 632—635, 1903
- HOEGL, A.: Messung von Konzentration und Beweglichkeit atmosphärischer Ionen. Z. angew. Phys. 16, 252—258, 1963
- : Zur integralen und differentiellen Konzentrationsbestimmung atmosphärischer Ionen. Dissertation, TH München 1962
- HÜTTE, I.: 28. Aufl. Abschnitt 5, 1955
- ISRAËL, H.: Atmosphärische Elektrizität, Teil I. Leipzig: Akad. Verlagsges. 1957, S. 106ff.
- SCHLICHTING, H.: Grenzschicht-Theorie. 3. Aufl., Karlsruhe 1958
- SCHMEER, H.: Untersuchung über die Meßbarkeit der elektrischen Leitfähigkeit und der Dichte der Kleinionen in der Atmosphäre. Arch. Tech. Mess. V 656—6, 31—36 u. 55—56, 1966
- SIKSNA, R.: Mobility spectra of ions formed in a room by negative corona discharge. Arkiv f. Fysik 5, 545—564, 1952.
- SZABO, I.: Einführung in die Technische Mechanik, 6. Aufl., Berlin/Göttingen/Heidelberg: Springer 1963

Tabelle 1: Formeln für die Dimensionierung von platten- bzw. zylinderförmigen Aspirationskondensatoren zur Messung der atmosphärischen Ionenkonzentration.

	Plattenkondensator	Zylinderkondensator
Feldstärke	$E_y = \frac{U}{d} = \text{const}$	$E_r(r) = \frac{U}{r \ln \frac{R}{r_0}} = \frac{r_0}{r} E_{\max}$
Geschwindigkeitsprofil	$v_z(y) = \frac{1}{2\eta} \frac{dp}{dz} \cdot (yd - y^2)$	$v_z(r) = \frac{1}{4\eta} \frac{dp}{dz}$ $\left[r_0^2 - r^2 + (R^2 - r_0^2) \frac{\ln \frac{r_0}{r}}{\ln \frac{r_0}{R}} \right]$
Luftfördermenge	$Q = b \int_0^d v_z(y) dy \\ = \frac{1}{12\eta} \frac{dp}{dz} bd^3$	$Q = 2\pi \int_{r_0}^R v_z(r) r dr = \frac{\pi}{4\eta} \frac{dp}{dz}$ $\left[R^4 - r_0^4 + (R^2 - r_0^2) \left(1 + \frac{1}{2 \ln \frac{R}{r_0}} \right) \right]$
Reynoldszahl	$R_e = \frac{Q}{2bv}$	$R_e = \frac{2Q}{\pi(R+r_0)v}$
Ionenbahn	$z = \frac{1}{kE_y} \int v_z(y) dy$	$z = \frac{1}{r_0 k E_{\max}} \int v_z(r) r dr$
Grenzbeweglichkeit	$k_g = \frac{Q}{E_y lb} = \frac{Q}{E_0 F_0}$	$k_g = \frac{Q}{E_{\max} \cdot 2\pi r_0 l} = \frac{Q}{E_0 F_0}$
Ionenstrom ($k > k_g$)	$I_0 = enQ$	$I_0 = enQ$
Ionenkonzentration ($k > k_g$)	$n = \frac{U_m}{eQR_m}$	$n = \frac{U_m}{eQR_m}$

Bezeichnungen: U [V] = Kondensatorspannung, d, b, l, R, r_0 [cm] = Kondensatorabmessungen, η [g/sec cm] = Koeffizient der inneren Luftreibung, dp/dz [dyn/cm³] = axialer Druckabfall im Kondensator, Q [cm³/sec] = Luftfördermenge, v [cm²/sec] = kinematische Zähigkeit der durchströmenden Luft, k [cm²/Vsec] = Ionbeweglichkeit, E_0 [V/cm] = Feldstärke an der Meßelektrode, F_0 [cm²] = Oberfläche der Meßelektrode, e [As] = Elementarladung, n [1/cm³] = Ionenkonzentration, U_m [V] = Spannungsabfall am Meßwiderstand R_m .