

DIN EN 61094-3

ICS 17.140.50; 33.160.50

Einsprüche bis 2015-10-14
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN 61094-3:1996-05**Entwurf****Messmikrofone –****Teil 3: Primärverfahren zur Freifeld-Kalibrierung von
Laboratoriums-Normalmikrofonen nach der Reziprozitätsmethode
(IEC 29/873/CDV:2015);
Deutsche und Englische Fassung prEN 61094-3:2015**

Measurement microphones –

Part 3: Primary method for free-field calibration of laboratory standard microphones by the reciprocity technique (IEC 29/873/CDV:2015);
German and English version prEN 61094-3:2015

Microphones de mesure –

Partie 3: Méthode primaire pour l'étalonnage en champ libre des microphones étalons de laboratoire par la méthode de réciprocité (CEI 29/873/CDV:2015);
Version allemande et anglaise prEN 61094-3:2015**Anwendungswarnvermerk**

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2015-08-14 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfes besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal des DIN unter www.entwuerfe.din.de bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an nals@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/stellungnahme oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den Normenausschuss Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS) im DIN und VDI, 10772 Berlin (Hausanschrift: Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin).

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 54 Seiten

Normenausschuss Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS) im DIN und VDI
DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE

Nationales Vorwort

Dieser Norm-Entwurf enthält die Deutsche Fassung des Europäischen Norm-Entwurfs prEN 61094-3:2015. Der diesem Europäischen Entwurf zugrunde liegende internationale Norm-Entwurf IEC 29/873/CDV:2015 ist im Technischen Komitee 29 „Electroacoustics“ der IEC (Sekretariat DS, Dänemark) unter deutscher Mitarbeit erstellt worden. Für die deutsche Mitarbeit ist der Gemeinschaftsausschuss NA 001-01-03 GA (NALS/DKE A 3) „Schallmessgeräte“ unter Federführung des Normenausschusses Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS) im DIN und VDI zuständig.

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung des IEC 29/873/CDV, d. h. die Englische Fassung des Europäischen Norm-Entwurfs prEN 61094-3, entsprechend der diesbezüglich durch die IEC erteilten Erlaubnis beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfs gelten gleichermaßen auch für den englischen IEC-Text.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. Das DIN ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Für die in diesem Dokument zitierte internationale Publikation wird im Folgenden auf die entsprechende Deutsche Norm hingewiesen:

ISO/IEC Guide 98-3 siehe DIN V ENV 13005

Die Deutsche Norm ist im nationalen Anhang NA aufgeführt.

Normen mit der Bezeichnung IEC xxx entsprechen den Normen mit der Bezeichnung EN xxx, die auf Deutsch als DIN EN xxx veröffentlicht sind.

DIN EN 61094 mit dem Titel *Messmikrofone* besteht aus folgenden Teilen:

- *Teil 1: Anforderungen an Laboratoriums-Normalmikrofone*
- *Teil 2: Primärverfahren zur Druckkammer-Kalibrierung von Laboratoriums-Normalmikrofonen nach der Reziprozitätsmethode*
- *Teil 3: Primärverfahren zur Freifeld-Kalibrierung von Laboratoriums-Normalmikrofonen nach der Reziprozitätsmethode*
- *Teil 4: Anforderungen an Gebrauchs-Normalmikrofone*
- *Teil 5: Verfahren zur Druckkammer-Kalibrierung von Gebrauchs-Normalmikrofonen nach der Vergleichsmethode*
- *Teil 6: Elektrostatische Anregee Elektroden zur Ermittlung des Frequenzgangs*
- *Part 7: Values for the difference between free-field and pressure sensitivity levels of laboratory standard microphones^{*)}*
- *Teil 8: Verfahren zur Ermittlung des Freifeld-Übertragungskoeffizienten von Gebrauchs-Normalmikrofonen nach der Vergleichsmethode*

^{*)} Keine deutsche Ausgabe dieser Technischen Spezifikation.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 61094-3:1996-05 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Kalibrierung von Mikrofonen mit spannungsführender Abschirmkonfiguration ergänzt;
- b) Anwendung zeitselektiver Verfahren zur Beseitigung unerwünschter Reflexionen und akustischer Interferenzen zwischen den Mikrofonen in einem Anhang ergänzt.

Nationaler Anhang NA
(informativ)

Literaturhinweise

DIN V ENV 13005, *Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen*

Messmikrofone — Teil 3: Primärverfahren zur Freifeld-Kalibrierung von Laboratoriums-Normalmikrofonen nach der Reziprozitätsmethode (IEC 29/873/CDV:2015)

Measurement microphones — Part 3: Primary method for free-field calibration of laboratory standard microphones by the reciprocity technique (IEC 29/873/CDV:2015)

Microphones de mesure – Partie 3: Méthode primaire pour l'étalonnage en champ libre des microphones étalons de laboratoire par la méthode de réciprocité (CEI 29/873/CDV:2015)

Vorgesehen als Ersatz für
EN 61094-3:1995

Dokument-Typ: Norm
Dokument-Untertyp:
Dokumentstufe: Entwurf
Dokumentsprache: D

STD Version 2.5a

Inhalt

	Seite
1 Anwendungsbereich	3
2 Normative Verweisungen	3
3 Begriffe	3
4 Referenz-Umgebungsbedingungen	4
5 Grundlagen der Freifeld-Kalibrierung nach der Reziprozitätsmethode	4
5.1 Allgemeine Grundlagen	4
5.2 Grundgleichungen	5
5.3 Ersatzspannungsverfahren	6
5.4 Freifeld-Empfangeigenschaften eines Mikrofons	6
5.5 Freifeld-Sendeeigenschaften eines Mikrofons	7
5.6 Reziprozitätsmethode	8
5.7 Endgültige Gleichungen für den Freifeld-Übertragungskoeffizienten	8
6 Einflussgrößen des Freifeld-Übertragungskoeffizienten	9
6.1 Allgemeines	9
6.2 Polarisationsspannung	9
6.3 Abschirmkonfiguration	9
6.4 Akustische Bedingungen	10
6.5 Lage des akustischen Zentrums eines Mikrofons	10
6.6 Abhängigkeit von Umgebungsbedingungen	11
6.7 Überlegungen zum Messraum	11
7 Beiträge zur Unsicherheit der Kalibrierung	12
7.1 Allgemeines	12
7.2 Elektrische Transferimpedanz	12
7.3 Abweichungen von idealen Freifeldbedingungen	12
7.4 Dämpfung des Schalls in Luft	13
7.5 Polarisationsspannung	13
7.6 Physikalische Größen	13
7.7 Unvollkommenheit der Theorie	13
7.8 Unsicherheit des Freifeld-Übertragungsmaßes	13
Anhang A (informativ) Werte für die Lage des akustischen Zentrums von Mikrofonen	15
Anhang B (informativ) Werte für den Luftdämpfungskoeffizienten	16
Anhang C (informativ) Umgebungseinflüsse auf den Übertragungskoeffizienten von Mikrofonen	19
Anhang D (informativ) Anwendung zeitselektiver Verfahren zur Beseitigung unerwünschter Reflexionen und akustischer Interferenzen zwischen den Mikrofonen	20
Literaturhinweise	24

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil von IEC 61094

- gilt für Laboratoriums-Normalmikrofone, die die Anforderungen von IEC 61094-1 erfüllen,
- legt ein Primärverfahren zur Ermittlung des komplexen Freifeld-Übertragungskoeffizienten fest, um eine reproduzierbare und genaue Grundlage für die Messung des Schalldrucks unter Freifeldbedingungen zu schaffen,
- ist für die Anwendung in Laboratorien vorgesehen, die über hochqualifiziertes Personal und besondere Messeinrichtungen verfügen.

ANMERKUNG Das in diesem Teil von IEC 61094 beschriebene Kalibrierprinzip gilt auch für Gebrauchs-Normalmikrofone, vorzugsweise bei Verwendung ohne Schutzgitter.

Alle Größen sind in SI-Einheiten angegeben.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

IEC 61094-1:2000, *Measurement microphones — Part 1: Specifications for laboratory standard microphones*

IEC 61094-2:2009, *Measurement microphones — Part 2: Primary method for pressure reciprocity calibration of laboratory standard microphones by the reciprocity technique*

IEC/TS 61094-7:2006, *Measurement microphones — Part 7: Values for the difference between free-field and pressure sensitivity levels of laboratory standard microphones*

ISO 9613-1, *Acoustics — Attenuation of sound during propagation outdoors — Part 1: Calculation of the absorption of sound by the atmosphere*

ISO/IEC Guide 98-3, *Uncertainty of measurement — Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)*¹⁾

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach IEC 61094-1, IEC 61094-2 und dem ISO/IEC Guide 98-3 und die folgenden Begriffe.

3.1

Phasenwinkel des Freifeld-Übertragungskoeffizienten eines Mikrofons

Phasenwinkel zwischen der Leerlauf-Ausgangsspannung und dem Schalldruck, der bei Abwesenheit des Mikrofons am Ort des akustischen Zentrums des Mikrofons vorhanden sein würde, für eine sinusförmige ebene fortschreitende Welle vorgegebener Frequenz, für eine festgelegte Schalleinfallrichtung und für festgelegte Umgebungsbedingungen

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Phasenwinkel wird in Grad oder Radian (° bzw. rad) angegeben.

¹⁾ Der ISO/IEC Guide 98-3 ist mit dem 1995 veröffentlichten „Guide to the expression of Uncertainty in Measurement (GUM)“ identisch.

3.2

akustisches Zentrum eines Mikrofons

Punkt, von dem die näherungsweise kugelförmigen Wellenfronten, die in einem kleinen Bereich um den Beobachtungspunkt auftreten, bei einem schallabstrahlenden Wandler für ein sinusförmiges Signal vorgegebener Frequenz und für eine festgelegte Richtung und einen festgelegten Abstand auszugehen scheinen

Anmerkung 1 zum Begriff: Das akustische Zentrum eines reziproken Wandlers, der als Empfänger betrieben wird, stimmt mit dem akustischen Zentrum für den Betrieb als Sender überein.

Anmerkung 2 zum Begriff: Diese Definition gilt nur für die Bereiche des Schallfeldes, in denen kugelförmige oder näherungsweise kugelförmige Wellenfronten vorhanden sind.

3.3

äquivalenter Punktwandler

Wandler, der, wenn er am Ort eines akustischen Zentrums eines Mikrofons angeordnet wird, für ein sinusförmiges Signal vorgegebener Frequenz die Sende- und Empfangseigenschaften dieses Mikrofons für eine vorgegebene Richtung und für einen vorgegebenen Abstandsbereich nachbildet

3.4

Hauptachse eines Mikrofons

Linie senkrecht zu der Mikrofonmembran und durch ihr Zentrum

3.5

Freifeldbedingungen

Freifeldbedingungen liegen vor, wenn sich eine Schallwelle ohne irgendwelche Störungen frei ausbreiten kann

4 Referenz-Umgebungsbedingungen

Die Referenz-Umgebungsbedingungen sind wie folgt:

- Temperatur: 23,0 °C
- Luftdruck: 101,325 kPa
- relative Luftfeuchte: 50 %.

5 Grundlagen der Freifeld-Kalibrierung nach der Reziprozitätsmethode

5.1 Allgemeine Grundlagen

5.1.1 Allgemeines

Eine Reziprozitätskalibrierung von Mikrofonen kann mit Hilfe dreier Mikrofone durchgeführt werden, von denen zwei reziprok sein müssen, oder mittels einer Hilfsschallquelle und zweier Mikrofone, von denen eines reziprok sein muss.

ANMERKUNG 1 Wenn eines der Mikrofone nicht reziprok ist, kann es nur als Schallempfänger verwendet werden.

ANMERKUNG 2 Laboratoriums-Normalmikrofone sind reziprok, wenn sie innerhalb ihres linearen Arbeitsbereichs verwendet werden.

5.1.2 Allgemeine Grundlagen bei Verwendung von drei Mikrofonen

Zwei der Mikrofone seien akustisch unter Freifeldbedingungen miteinander gekoppelt. Bei Verwendung eines Mikrofons als Schallsender und des anderen als Schallempfänger wird die elektrische Transferimpedanz gemessen. Wenn die akustische Transferimpedanz des Systems bekannt ist, kann das Produkt der Freifeld-Übertragungskoeffizienten der beiden gekoppelten Mikrofone bestimmt werden. Indem die drei Mikrofone (1), (2) und (3) paarweise kombiniert werden, liegen drei solche voneinander unabhängigen Produkte vor, aus denen ein Ausdruck für den Freifeld-Übertragungskoeffizienten eines jeden der drei Mikrofone abgeleitet werden kann.

5.1.3 Allgemeine Grundlagen bei Verwendung von zwei Mikrofonen und einer Hilfsschallquelle

Zunächst seien die zwei Mikrofone akustisch unter Freifeldbedingungen miteinander gekoppelt und das Produkt der Freifeld-Übertragungskoeffizienten der beiden Mikrofone bestimmt worden, wie in 5.1.2 beschrieben. Sodann seien die zwei Mikrofone unter identischen Freifeldbedingungen nacheinander dem gleichen von der Hilfsschallquelle erzeugten Schalldruck ausgesetzt. Das Verhältnis der zwei Ausgangsspannungen ist dann gleich dem Verhältnis der Freifeld-Übertragungskoeffizienten der beiden Mikrofone. Damit kann aus dem Produkt und dem Verhältnis der Freifeld-Übertragungskoeffizienten der beiden Mikrofone jeweils ein Ausdruck für den Freifeld-Übertragungskoeffizienten jedes der beiden Mikrofone abgeleitet werden.

ANMERKUNG Um das Verhältnis der Freifeld-Übertragungskoeffizienten zu erhalten, kann ein direktes Vergleichsverfahren benutzt werden. Weiterhin kann als Hilfsschallquelle ein anderer Wandler oder ein drittes Mikrofon benutzt werden, deren mechanische oder akustische Eigenschaften von denjenigen der zu kalibrierenden Mikrofone abweichen.

5.2 Grundgleichungen

Laboratoriums-Normalmikrofone und ähnliche Mikrofone werden als reziprok angesehen. Folglich können ihre Vierpol-Gleichungen wie folgt aufgestellt werden:

$$\begin{aligned}\underline{z}_{11} \underline{i} + \underline{z}_{12} \underline{q} &= \underline{U} \\ \underline{z}_{21} \underline{i} + \underline{z}_{22} \underline{q} &= \underline{p}\end{aligned}\quad (1)$$

Dabei ist

$\underline{p}$	der Schalldruck an den akustischen Klemmen des Mikrofons (Pa);
$\underline{U}$	die Signalspannung an den elektrischen Klemmen des Mikrofons (V);
$\underline{q}$	der Schallfluss durch die akustischen Klemmen (Membran) des Mikrofons (m^3/s);
$\underline{i}$	der Strom durch die elektrischen Klemmen des Mikrofons (A);
$\underline{z}_{11} = \underline{Z}_e$	die elektrische Impedanz des Mikrofons bei blockierter Membran (Ω);
$\underline{z}_{22} = \underline{Z}_a$	die akustische Impedanz des Mikrofons im elektrischen Leerlauf ($\text{Pa} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-3}$);
$\underline{z}_{12} = \underline{z}_{21} = \underline{M}_p \underline{Z}_a$	die Rückwärts- und Vorwärts-Transferimpedanzen ($\text{V} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-3}$) mit $\underline{M}_p$ als dem Druck-Übertragungskoeffizienten des Mikrofons ($\text{V} \cdot \text{Pa}^{-1}$).

ANMERKUNG Unterstrichene Formelzeichen stellen komplexe Zahlen dar.

Die Gleichungen (1) können wie folgt umgeformt werden:

$$\begin{aligned}\underline{Z}_e \underline{i} + \underline{M}_p \underline{Z}_a \underline{q} &= \underline{U} \\ \underline{M}_p \underline{Z}_a \underline{i} + \underline{Z}_a \underline{q} &= \underline{p}\end{aligned}\quad (2)$$

Sie bilden die Reziprozitätsgleichungen für das Mikrofon.

Wenn der Schalldruck $\underline{p}$ über die Fläche der Membran nicht gleichmäßig ist, was dann bei hohen Frequenzen auftritt, wenn sich das Mikrofon in einer ebenen fortschreitenden Welle befindet, ist der Ort der akustischen Klemmen durch den das Mikrofon nachbildenden äquivalenten Punktwandler festgelegt. In diesem Fall gelten die Gleichungen (1) wegen der in 5.4 und 5.5 gegebenen speziellen Interpretation von $\underline{p}$ auch für das reale Mikrofon.

5.3 Ersatzspannungsverfahren

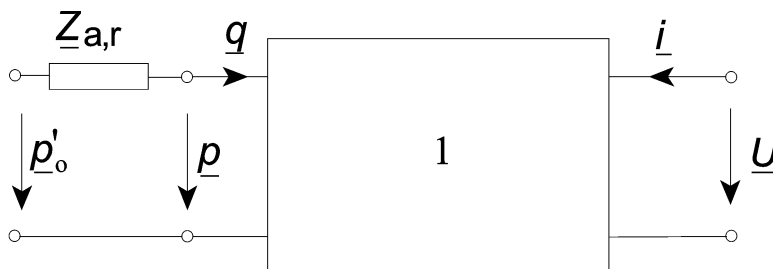
Das Ersatzspannungsverfahren wird genutzt, um die Leerlaufspannung eines elektrisch belasteten Mikrofons zu ermitteln.

Ein Mikrofon, das eine bestimmte Leerlaufspannung abgibt und eine bestimmte innere elektrische Impedanz hat, sei mit einer äußeren elektrischen Lastimpedanz verbunden. Um die Leerlaufspannung zu messen, wird eine im Vergleich zur Lastimpedanz kleine Impedanz in Reihe mit dem Mikrofon geschaltet und eine Kalibrierungsspannung an sie angelegt.

Ein Schalldruck und eine Kalibrierspannung gleicher Frequenz seien abwechselnd aufgeprägt. Wenn die Kalibrierspannung abgeglichen wird, bis sie an der Lastimpedanz den gleichen Spannungsabfall erzeugt wie der auf das Mikrofon einwirkende Schalldruck, dann ist ihre Amplitude gleich derjenigen der Leerlaufspannung.

5.4 Freifeld-Empfangeigenschaften eines Mikrofons

Ein Mikrofon befindet sich in einer fortschreitenden ebenen Welle mit dem Schalldruck p_o . Die Ersatzschaltung ist in Bild 1 gezeigt. Darin ist p'_o der Schalldruck bei blockierter Membran und p der tatsächliche Schalldruck an den akustischen Klemmen des Mikrofons. $Z_{a,r}$ ist die akustische Strahlungsimpedanz des Mikrofons.



Legende

1 Mikrofon

Bild 1 — Ersatzschaltung für ein als Empfänger betriebenes Mikrofon in einem Schallfeld

p'_o sei mit p_o durch folgende Gleichung verknüpft:

$$\frac{p'_o}{p_o} = \underline{S}(f, \theta)$$

Dabei ist der Streufaktor $\underline{S}(f, \theta)$ eine Funktion der Frequenz und des Einfallswinkels der auf die Membran des Mikrofons einfallenden Schallwelle.

$\underline{S}(f, \theta)$ hängt von der Geometrie des Mikrofons ab.

Da $p = p'_o - Z_{a,r} q$ ist, können die Vierpol-Gleichungen (2) wie folgt geschrieben werden:

$$\begin{aligned} \underline{U} &= \underline{Z}_e \underline{i} + \underline{M}_p \underline{Z}_a q \\ p'_o &= \underline{M}_p \underline{Z}_a \underline{i} + (\underline{Z}_a + \underline{Z}_{a,r}) q \end{aligned} \quad (3)$$

Nach der grundlegenden Definition ergibt sich daraus der Freifeld-Übertragungskoeffizient:

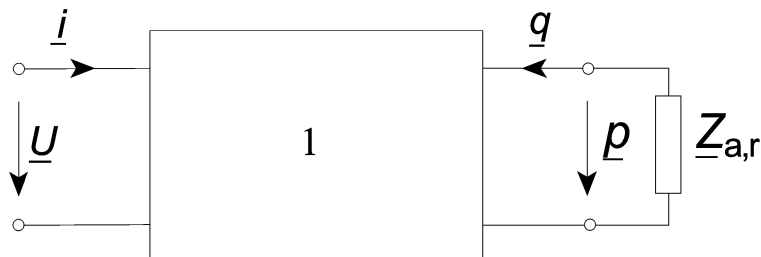
$$\underline{M}_f = \left(\frac{\underline{U}}{p_o} \right)_{i=0} = \underline{M}_p \frac{\underline{Z}_a}{\underline{Z}_a + \underline{Z}_{a,r}} \underline{S}(f, \theta) \quad (4)$$

Gleichung (4) zeigt, dass die Differenz zwischen dem Druck- und dem Freifeld-Übertragungskoeffizienten nicht nur über den Streufaktor $\underline{S}(f, \theta)$ durch die Geometrie des Mikrofons, sondern auch durch die Beziehung zwischen der akustischen Impedanz des Mikrofons und der Strahlungsimpedanz bestimmt ist.

ANMERKUNG Im dargestellten Modell ist die Auswirkung des Druckausgleichs am Mikrofon nicht berücksichtigt, der auch den Unterschied zwischen dem Druck- und dem Freifeld-Übertragungskoeffizienten bei tiefen Frequenzen beeinflusst (siehe 6.1).

5.5 Freifeld-Sendeeigenschaften eines Mikrofons

Ein Mikrofon werde unter Freifeldbedingungen als Sender betrieben. Die Ersatzschaltung des Mikrofons ist in Bild 2 dargestellt.



Legende

1 Mikrofon

Bild 2 — Ersatzschaltung für ein als Sender betriebenes Mikrofon unter Freifeldbedingungen

Da $p = -Z_{a,r} q$ ist, können die Vierpol-Gleichungen (1) des Mikrofons wie folgt geschrieben werden:

$$\begin{aligned} \underline{U} &= \underline{Z}_e \underline{i} + \underline{M}_p \underline{Z}_a \underline{q} \\ 0 &= \underline{M}_p \underline{Z}_a \underline{i} + (\underline{Z}_a + \underline{Z}_{a,r}) \underline{q} \end{aligned} \quad (5)$$

Damit gilt:

$$-\underline{q} = \frac{\underline{M}_p \underline{Z}_a}{\underline{Z}_a + \underline{Z}_{a,r}} \underline{i} = \frac{\underline{M}_f}{\underline{S}(f, \theta)} \underline{i}$$

Aus dem allgemeinen Reziprozitätsprinzip folgt, dass sich der äquivalente Punktwandler an einem Punkt im Fernfeld wie eine einfache Quelle der Stärke $-\underline{q} \underline{S}(f, \theta) = \underline{M}_f \underline{i}$ verhält. Der Schalldruck p_o im Abstand d zwischen diesem Punkt und dem äquivalenten Punktwandler ist dann:

$$p_o = j \frac{\rho f}{2d} \underline{M}_f \underline{i} e^{-\gamma d} e^{j\omega t} = j \frac{\rho f}{2d} \underline{M}_f \underline{i} e^{j(\omega t - kd)} e^{-\alpha d} \quad (6)$$

Dabei ist

$\gamma = \alpha + jk$ der komplexe Ausbreitungskoeffizient und ρ die Dichte des Gases.

ANMERKUNG Die Ableitung der oben angegebenen Gleichung (6) geht von einer Modellierung des Mikrofons durch diskrete Parameter aus, siehe Gleichung (1). Eine genauere Ableitung kann mit Integralgleichungen für das Mikrofon erhalten werden.

5.6 Reziprozitätsmethode

Die Mikrofone (1) und (2) mit den Freifeld-Übertragungskoeffizienten $\underline{M}_{f,1}$ und $\underline{M}_{f,2}$ seien in einem Freifeld mit zusammenfallenden Hauptachsen einander gegenüber angeordnet. Ein Strom $\underline{i}_1$ durch die elektrischen Klemmen von Mikrofon (1) erzeugt unter Freifeldbedingungen den durch Gleichung (6) gegebenen Schalldruck $\underline{p}_0$ im Abstand d vom akustischen Zentrum des Mikrofons. Wenn das Mikrofon (2) in das Schallfeld gebracht wird, Verluste im Medium vernachlässigt werden und angenommen wird, dass keine Wechselwirkung zwischen den beiden Mikrofonen stattfindet, ist die Leerlaufspannung des Mikrofons (2) gegeben durch:

$$\underline{U}_2 = \underline{M}_{f,2} \underline{p}_0 = j \frac{\rho f}{2 d_{12}} \underline{M}_{f,1} \underline{M}_{f,2} \underline{i}_1 e^{j(\omega t - k d_{12})}$$

d_{12} ist dabei der Abstand zwischen den akustischen Zentren der Mikrofone (1) und (2).

Bei hohen Frequenzen können die molekularen Entspannungseffekte und die viskosen Verluste in der Luft nicht vernachlässigt werden. Daher ist das Produkt der Freifeld-Übertragungskoeffizienten gegeben durch:

$$\underline{M}_{f,1} \underline{M}_{f,2} = -j \frac{2 d_{12}}{\rho f} \frac{\underline{U}_2}{\underline{i}_1} e^{j k d_{12}} e^{\alpha d_{m12}} \quad (7)$$

Dabei ist d_{m12} die tatsächlich zurückgelegte Strecke der Schallwelle, d. h. der physische Abstand zwischen den Membranen der Mikrofone (1) und (2).

5.7 Endgültige Gleichungen für den Freifeld-Übertragungskoeffizienten

5.7.1 Verfahren bei Verwendung von drei Mikrofonen

Mit Anwendung der Prinzipien aus 5.1.2 sei die elektrische Transferimpedanz $\underline{U}_2/\underline{i}_1$ mit $\underline{Z}_{e,12}$ bezeichnet. Entsprechende Ausdrücke gelten für andere Mikrofonpaare. Die endgültige Gleichung für den Betrag des Freifeld-Übertragungskoeffizienten von Mikrofon (1) lautet damit:

$$|\underline{M}_{f,1}| = \left(\frac{2}{\rho f} \frac{d_{12} d_{31}}{d_{23}} \left| \frac{\underline{Z}_{e,12} \underline{Z}_{e,31}}{\underline{Z}_{e,23}} \right| \left| e^{j k (d_{12} + d_{31} - d_{23})} e^{\alpha (d_{m12} + d_{m31} - d_{m23})} \right| \right)^{1/2} \quad (8)$$

Entsprechende Ausdrücke gelten für die Mikrofone (2) und (3).

Der Phasenwinkel des Freifeld-Übertragungskoeffizienten jedes Mikrofons wird mithilfe eines ähnlichen Verfahrens aus dem Phasenwinkel jedes Terms der obigen Gleichung ermittelt.

Bei der Angabe komplexer Werte nach Betrag und Phase sollten die Werte der Phase auf den Vollkreis, also alle vier Quadranten bezogen werden, d. h. 0 bis 2π rad oder 0 bis 360° .

5.7.2 Verfahren bei Verwendung von zwei Mikrofonen und einer Hilfsschallquelle

Wenn nur zwei Mikrofone und eine Hilfsschallquelle verwendet werden, lautet bei Anwendung der Prinzipien aus 5.1.3 der endgültige Ausdruck für den Betrag des Freifeld-Übertragungskoeffizienten:

$$|\underline{M}_{f,1}| = \left| r_{12} \frac{2 d_{12}}{\rho f} \underline{Z}_{e,12} e^{j k d_{12}} e^{\alpha d_{m12}} \right|^{1/2} \quad (9)$$

Dabei wird das Verhältnis r_{12} der Freifeld-Übertragungskoeffizienten der beiden Mikrofone durch Vergleich mit der Hilfsschallquelle gemessen (siehe 5.1.3).

6 Einflussgrößen des Freifeld-Übertragungskoeffizienten

6.1 Allgemeines

Der Freifeld-Übertragungskoeffizient eines Laboratoriums-Normalmikrofons hängt wegen des elektrostatischen Übertragungsprinzips von der Polarisationsspannung und den Umgebungsbedingungen ab.

Beim Basis-Betriebsmodus eines polarisierten elektrostatischen Mikrofons wird davon ausgegangen, dass die elektrische Ladung des Mikrofons bei allen Frequenzen konstant bleibt. Diese Bedingung kann bei sehr tiefen Frequenzen nicht aufrecht erhalten werden, und das Produkt aus Mikrofonkapazität und Polarisationswiderstand bestimmt die Zeitkonstante für das Laden des Mikrofons. Der Leerlauf-Übertragungskoeffizient des Mikrofons wird mit dem Ersatzspannungsverfahren zwar korrekt ermittelt, aber der absolute Ausgangswert eines am Mikrophon angeschlossenen Vorverstärkers nimmt bei tiefen Frequenzen entsprechend dieser Zeitkonstante ab.

Die Konstruktionsprinzipien von Laboratoriums-Normalmikrofonen implizieren, dass der statische Druck vor und hinter der Membran derselbe sein muss. Um das zu erreichen, wird der Hohlraum hinter der Membran über eine Druckausgleichskapillare mit dem umgebenden Medium verbunden. Dies führt dazu, dass sich der Freifeld-Übertragungskoeffizient bei sehr tiefen Frequenzen (unter einigen wenigen Hertz) null annähert. Das in dieser Norm beschriebene Verfahren ist für die Ermittlung des Freifeld-Übertragungskoeffizienten in diesem Frequenzbereich nicht geeignet.

Darüber hinaus setzt die Definition des Freifeld-Übertragungskoeffizienten voraus, dass bei den Messungen bestimmte Anforderungen erfüllen werden. Es ist notwendig, dass diese Bedingungen bei einer Kalibrierung ausreichend gut eingehalten werden, sodass die daraus resultierenden Beiträge zur Unsicherheit gering sind.

6.2 Polarisationsspannung

Der Übertragungskoeffizient eines Laboratoriums-Normalmikrofons ist der Polarisationsspannung nahezu proportional. Folglich muss die bei der Kalibrierung tatsächlich verwendete Polarisationsspannung angegeben werden.

Zur Übereinstimmung mit IEC 61094-1 wird eine Polarisationsspannung von 200,0 V empfohlen.

6.3 Abschirmkonfiguration

Die Leerlaufspannung (und damit der Freifeld-Übertragungskoeffizient) hängt von der Abschirmkonfiguration ab. Aus diesem Grund legt IEC 61094-1 für die Bestimmung der Leerlaufspannung eine mechanische Referenzkonfiguration für die Abschirmung fest. Die mechanische Referenzkonfiguration ist zwar wesentlich, aber die Abschirmung kann entweder mit Masse verbunden sein (geerdete Abschirmkonfiguration), oder die Ausgangsspannung des Mikrofons kann auf die Abschirmung gelegt sein (spannungsführende Abschirmkonfiguration). Es muss angegeben werden, ob bei den Messungen eine spannungsführende oder eine geerdete Abschirmkonfiguration verwendet wurde.

Bei der Kalibrierung muss sowohl beim Sende- als auch beim Empfangsmikrophon dieselbe Abschirmkonfiguration verwendet werden.

Falls eine nicht normgerechte Konfiguration verwendet wird, müssen die Ergebnisse der Kalibrierung auf die Referenz-Abschirmkonfiguration bezogen werden.

Wenn vom Hersteller eine maximale Kraft angegeben wird, mit der der elektrische Mittenkontakt des Mikrofons belastet werden darf, so darf dieser Grenzwert nicht überschritten werden.

ANMERKUNG 1 Bei einer spannungsführenden Abschirmung ist die Lastimpedanz für das Mikrophon maximal und kann daher genauer als bei einer geerdeten Abschirmkonfiguration beschrieben werden. Im Idealfall, wenn das Mikrophon ein exakt lineares und passives Bauteil ist und die Abschirmung entweder geerdet ist oder spannungsführenden mit einer Quelle der Impedanz null, gibt es keinen Unterschied zwischen der Leerlaufempfindlichkeit bei einer geerdeten oder einer spannungsführenden Abschirmung.

ANMERKUNG 2 Da bei einer spannungsführenden Abschirmkonfiguration die Ausgangsspannung des Mikrofons mit der Abschirmung verbunden wird, bedeutet das, dass der Unterschied zwischen dem an der Abschirmung und dem am Mittenkontakt des Mikrofons anliegenden Signal vernachlässigbar ist.

ANMERKUNG 3 Wenn ein Mikrofon mithilfe eines Adapters an einen Vorverstärker angeschlossen wird, wird die Leerlaufspannung des Mikrofons mit dem Ersatzspannungsverfahren bei hohen Frequenzen möglicherweise nicht korrekt bestimmt. Die Abweichungen hängen von der Lastimpedanz für das Mikrofon ab.

6.4 Akustische Bedingungen

Der Freifeld-Übertragungskoeffizient hängt von der Geometrie des Vorverstärkergehäuses ab. Deshalb müssen das Mikrofon und die Abschirmkonfiguration an einem Zylinder befestigt werden, dessen Durchmesser gleich dem Nennwert des Mikrofondurchmessers ist, siehe IEC 61094-1, Tabelle 1 und Tabelle 2. Die Länge des Zylinders muss im Verhältnis zum Mikrofondurchmesser groß sein. Es wird empfohlen, dass die Länge mindestens das Zwanzigfache des Mikrofondurchmessers beträgt und sich der Zylinder am Ende allmählich verjüngt. Diese Anordnung muss auch bei dem Sendemikrofon verwendet werden.

Die Definition des Freifeld-Übertragungskoeffizienten bezieht sich auf den Schalldruck einer ungestörten ebenen fortschreitenden Welle. Unter Freifeldbedingungen ergeben sich im Fernfeld Kugelwellen, die in einem ausreichenden Abstand von der Quelle in einem begrenzten Bereich annähernd ebene Wellen sind. Infolgedessen muss der Abstand zwischen dem Empfangs- und dem Sendemikrofon groß genug sein, um in einem geeigneten Bereich um das Empfangsmikrofon annähernd ebene Wellen sicherzustellen (siehe 7.3). Andererseits nimmt üblicherweise der Einfluss von Reflexionen an den Begrenzungsflächen eines reflexionsarmen Raums mit zunehmendem Abstand zwischen den beiden Mikrofonen zu. Auch die Funktion $S(f, \theta)$ in Gleichung (4) hängt von der Beschaffenheit des Schallfelds ab und kann nur für eine tatsächlich ebene fortschreitende Welle eindeutig definiert werden. Deshalb sollten die metrologischen Bedingungen sorgfältig ausgewählt werden, und es kann vorteilhaft sein, Kalibrierungen in verschiedenen Abständen auszuführen, um die Kalibrierunsicherheit abzuschätzen, die dem Einfluss dieser Bedingungen zuzuordnen ist.

6.5 Lage des akustischen Zentrums eines Mikrofons

Die Lage des akustischen Zentrums eines Mikrofons kann aus Messungen des Schalldrucks bestimmt werden, der von dem Mikrofon bei Betrieb als Schallquelle in einem freien Feld als Funktion des Abstands r von einem willkürlich gewählten Bezugspunkt des Mikrofons erzeugt wird. In einem begrenzten Bereich des Fernfeldes wird der hinsichtlich der Schallabsorption in Luft korrigierte Schalldruck dem $1/r$ -Gesetz folgen, wobei r auf das akustische Zentrum des Mikrofons bezogen ist. Wenn nun der Kehrwert des gemessenen Schalldrucks als Funktion des Abstands von einem willkürlich gewählten Bezugspunkt des Mikrofons aufgetragen wird (als Bezugspunkt eignet sich besonders das Zentrum der Membran), kann den aufgetragenen Messwerten eine gerade Linie (z. B. mit der Methode der kleinsten Quadrate) angepasst oder durch die aufgetragenen Werte gezeichnet werden. Der Schnittpunkt dieser geraden Linie mit der Abszisse bestimmt die Lage des akustischen Zentrums relativ zu dem Bezugspunkt. Die zur Bestimmung von d_{12} (siehe 5.7) verwendeten akustischen Zentren müssen auf die bei den Freifeld-Kalibrierungen benutzte Richtung und den benutzten Abstand bezogen sein.

Anhang A enthält für einige Mikrofon-Konfigurationen Angaben zu typischen Werte für die Lage des akustischen Zentrums.

ANMERKUNG Bei einigen sehr speziellen Anwendungen kann die Festlegung des akustischen Zentrums eines Mikrofons an einer bestimmten Position erforderlich sein, z. B. in der Mitte der Mikrofonmembran. Während das zwar beim Betrag des Übertragungskoeffizienten zu einer Abhängigkeit vom Abstand des Mikrofons zur Schallquelle führt, kann es aber eine hilfreiche Referenz für den Phasenfrequenzgang bieten. Die Berechnungen anhand eines festgelegten akustischen Zentrums sind durchaus möglich, allerdings wird empfohlen, den Übertragungskoeffizienten anhand eines akustischen Zentrums zu ermitteln, für das das inverse Abstandsgesetz gilt, und anschließend eine Korrektur des Phasenfrequenzgangs für die festgelegte Position des akustischen Zentrums vorzunehmen.

6.6 Abhängigkeit von Umgebungsbedingungen

6.6.1 Allgemeines

Die allgemeine Abhängigkeit des Druck-Übertragungskoeffizienten von den Umgebungsbedingungen ist in IEC 61094-2, 6.5, angegeben. Zusätzlich hängt der Freifeld-Übertragungskoeffizient über die in Gleichung (4) gegebene Beziehung von den Umgebungsbedingungen ab. Bei dieser Gleichung ist die Strahlungsimpedanz eine Funktion der Luftdichte und der Schallgeschwindigkeit in Luft. In ähnlicher Weise hängt die Funktion $\underline{S}(f, \theta)$ von der Wellenlänge und damit von der Schallgeschwindigkeit ab.

6.6.2 Luftdruck

Zusätzlich zu der in IEC 61094-2, 6.5 und Anhang D, angegebenen Abhängigkeit besteht eine weitere Abhängigkeit durch die Beziehung zwischen der akustischen Impedanz des Mikrofons und seiner Strahlungsimpedanz wegen der Änderung der Luftdichte mit dem Luftdruck. Der Haupteinfluss des Masseterms der Strahlungsimpedanz besteht in einer geringfügigen Verringerung der Eigenfrequenz des Mikrofons.

6.6.3 Temperatur

Zusätzlich zu der in IEC 61094-2, 6.5 und Anhang D, angegebenen Abhängigkeit besteht eine weitere Abhängigkeit durch die Beziehung zwischen der akustischen Impedanz des Mikrofons und seiner Strahlungsimpedanz wegen der Änderung der Luftdichte und der Schallgeschwindigkeit in Luft mit der Temperatur. Des Weiteren besteht nach Gleichung (4) eine Abhängigkeit über die Funktion $\underline{S}(f, \theta)$, da sich die Schallgeschwindigkeit in Luft mit der Temperatur ändert. IEC/TS 61094-7, Abschnitt 6, gibt die Temperaturabhängigkeit des Verhältnisses des Freifeld- zum Druck-Übertragungskoeffizienten an, die zur Temperaturabhängigkeit des Druck-Übertragungskoeffizienten zu addieren ist.

ANMERKUNG Wenn ein Mikrofon übermäßigen Temperaturschwankungen ausgesetzt wird, kann sich eine bleibende Änderung des Übertragungskoeffizienten ergeben.

6.6.4 Luftfeuchte

Nach Gleichung (4) kann sich neben dem Einfluss auf den Druck-Übertragungskoeffizienten wegen des Einflusses der Luftfeuchte auf die Dichte und die Schallgeschwindigkeit in Luft auch eine schwache Auswirkung auf den Freifeld-Übertragungskoeffizienten ergeben.

ANMERKUNG Bestimmte Bedingungen können die Stabilität der Polarisationsspannung und die Ladung der Gegenelektrode und damit den Übertragungskoeffizienten beeinflussen. So kann sich z. B. der Oberflächenwiderstand der Isolation zwischen der Gegenelektrode und dem Mikrofongehäuse unter übermäßig feuchten Bedingungen verschlechtern, insbesondere wenn das Material verunreinigt ist. Der Oberflächenwiderstand hat einen merklichen Einfluss auf den Übertragungskoeffizienten des Mikrofons bei tiefen Frequenzen, insbesondere auf den Phasenfrequenzgang.

6.6.5 Umrechnung auf Referenz-Umgebungsbedingungen

Bei der Angabe der Ergebnisse einer Kalibrierung sollte der Freifeld-Übertragungskoeffizient auf die Referenz-Umgebungsbedingungen umgerechnet werden, sofern verlässliche Korrekturdaten zur Verfügung stehen. Bei geringen Abweichungen von den Referenz-Umgebungsbedingungen dürfen die Korrekturen für den Druck-Übertragungskoeffizienten angewandt werden, wobei sich die Unsicherheit entsprechend erhöht.

Die bei der Kalibrierung herrschenden Bedingungen sollten angegeben werden.

ANMERKUNG Während einer Kalibrierung kann die Temperatur des Mikrofons von der Temperatur der umgebenden Luft abweichen.

6.7 Überlegungen zum Messraum

Der Messraum muss möglichst weitgehend vor Auswirkungen geschützt werden, die Instabilitäten im Schallfeld ergeben, beispielsweise zwischen den Messungen mit dem untersuchten Mikrofon und dem Referenzmikrofon. Hierzu zählen Änderungen der Umgebungsbedingungen, Luftströmungen, Temperaturgradienten und elektromagnetische Störstrahlung.

Hintergrundrauschen und Fremdschwingungen im Messraum müssen ein Niveau haben, das es ermöglicht, die Anforderungen an den Signal-Rausch-Abstand des verwendeten Messsystems einzuhalten. In der Praxis sollten Schritte unternommen werden, das Hintergrundrauschen so weit wie möglich zu verringern.

7 Beiträge zur Unsicherheit der Kalibrierung

7.1 Allgemeines

Zusätzlich zu den in Abschnitt 6 genannten Größen, die einen Einfluss auf den Freifeld-Übertragungskoeffizienten haben, tragen das Verfahren, die Ausrüstung und die Sorgfalt bei der Durchführung der Kalibrierung zur Unsicherheit bei. Größen, die die Kalibrierung auf bekannte Weise beeinflussen, müssen mit der höchstmöglichen Genauigkeit gemessen oder berechnet werden, um ihren Einfluss auf die Gesamtunsicherheit zu minimieren.

7.2 Elektrische Transferimpedanz

Für die Messung der elektrischen Transferimpedanz mit der notwendigen Genauigkeit werden verschiedene Verfahren angewandt, und keinem wird der Vorzug zugesprochen.

Der durch den Sender fließende Strom wird gewöhnlich durch die Messung der Spannung über einer kalibrierten Impedanz gemessen, die mit dem Sendemikrofon in Reihe geschaltet ist. Um die korrekte Ermittlung des Stroms sicherzustellen, muss die geerdete bzw. spannungsführende Abschirmkonfiguration am Sendemikrofon angebracht sein. Bei der Kalibrierung einer Reihenimpedanz müssen sämtliche Kabelkapazitäten sowie andere Lastimpedanzen berücksichtigt werden, die bei der Messung der Spannung über der Impedanz vorhanden sind. Das ermöglicht die Bestimmung der elektrischen Transferimpedanz aus einem Spannungsverhältnis und der kalibrierten Reihenimpedanz.

Die Spannung zur Anregung des Sendemikrofons muss so bemessen werden, dass der Einfluss von Verzerrungen, entweder von der Spannungsquelle oder durch das Mikrofon erzeugt, auf die Unsicherheit der Ermittlung des Freifeld-Übertragungskoeffizienten klein im Vergleich zum zufälligen Fehler ist.

Rauschen oder andere Störungen, wie etwa Übersprechen, sowohl akustischen als auch anderen Ursprungs dürfen die Ermittlung des Freifeld-Übertragungskoeffizienten nicht unangemessen beeinflussen.

Das Vorhandensein von elektrischem Übersprechen führt zu scheinbaren Abweichungen vom $1/r$ -Gesetz mit einer Periodizität von einer Wellenlänge.

ANMERKUNG 1 Zur Verbesserung des Signal-Rausch-Abstands können frequenzselektive Verfahren verwendet werden.

ANMERKUNG 2 Mithilfe zeitselektiver Verfahren können die Auswirkungen von Übersprechen sowie Reflexionen aus der Umgebung und von den Halterungen des Kalibrieraufbaus minimiert werden.

ANMERKUNG 3 Übersprechen kann durch Austausch des Empfangsmikrofons durch ein Blindmikrofon gemessen werden, das dieselbe Kapazität und äußere Geometrie wie das Empfangsmikrofon hat, und dann die Differenz der elektrischen Transferimpedanz ermittelt wird. Die Mikrofone sollten dabei genauso positioniert werden wie bei einer Kalibrierung. Alternativ kann Übersprechen dadurch ermittelt werden, dass bei der Kalibrierung die Polarisationsspannung auf null eingestellt wird. Bei beiden Vorgehensweisen werden frequenzselektive Verfahren empfohlen.

7.3 Abweichungen von idealen Freifeldbedingungen

Bei einer Kalibrierung müssen bestimmte akustische Anforderungen erfüllt sein (siehe 6.4). Die Kalibrierung muss in einem Freifeld ausgeführt werden. Diese Bedingung lässt sich am praktischsten in einem reflexionsarmen Raum erfüllen, wo es keinen Wind gibt und der Störschall sehr gering ist. Da sich das Absorptionsmaterial der Wandverkleidung nicht ideal verhält und der Raum eine endliche Größe hat, werden einige frequenzabhängige Reflexionen an den Wänden auftreten und für den Betrag des Schalldrucks zu Abweichungen vom $1/r$ -Gesetz führen. Die Größe dieser Abweichungen wird vom Abstand von und der Richtung zu der Schallquelle abhängen. Bei gegebener Frequenz werden die Abweichungen als Funktion des Abstands eine Periodizität zwischen einer halben und einer vollen Wellenlänge haben, was einer reflektierten Welle parallel oder senkrecht zur direkten Welle entspricht. Üblicherweise ergeben sich die kleinsten Abweichungen in einem Bereich um die Raummitte herum und für eine Richtung, die zu keiner der Wände des Raums parallel oder senkrecht verläuft. Störungen des Schallfelds ergeben sich aber auch durch das Vorhandensein von Klemmen, Rosten, Kabeln, Tragkonstruktionen verschiedener Art usw.

Der Einfluss dieser störenden Reflexionen lässt sich nur dann auf ein akzeptables Maß verringern, wenn auf den Messaufbau für die Kalibrierung und ihre Durchführung größte Sorgfalt verwendet wird.

Weiterhin wird empfohlen, dass der Abstand zwischen den beiden Mikrofonen bei der Kalibrierung größer als das Zehnfache des Nenn-Durchmessers der Mikrofone sein sollte, um in einem geeigneten Bereich um das Empfangsmikrofon angemessene Bedingungen für ebene Wellen sicherzustellen.

7.4 Dämpfung des Schalls in Luft

Unter praktischen Bedingungen werden Schallwellen bei der Ausbreitung in einem Freifeld durch molekulare Relaxationseffekte und thermisch-viskose Verluste gedämpft.

Diese Dämpfung hängt von der Frequenz des Schalls, dem Wasserdampfgehalt und der Temperatur der Luft ab. Sie wird durch den Luftdämpfungskoeffizienten, d. h. den Realteil α des komplexen Ausbreitungskoeffizienten γ in Gleichung (6) bestimmt.

Die Werte für den Luftdämpfungskoeffizienten werden in Neper je Meter angegeben und sind aus den in Anhang B angegebenen Gleichungen zu berechnen.

7.5 Polarisationsspannung

Um die Polarisationsspannung zu bestimmen, kann Vorsorge getroffen werden, diese Spannung direkt an den Klemmen des Mikrofons zu messen. Das ist aufgrund des endlichen Isolationswiderstands des Mikrofons wesentlich, wenn die Polarisationsspannung von einer Spannungsquelle mit einem hohen Innenwiderstand geliefert wird. Eine andere Möglichkeit besteht darin, den Isolationswiderstand des Mikrofons zu messen und zu prüfen, ob er groß genug ist, damit eine Messung der Polarisationsspannungsversorgung bei entferntem Mikrofon oder eine Messung an einem niederohmigen Ausgang der Polarisationsspannungsversorgung gültige Ergebnisse liefert.

7.6 Physikalische Größen

Einige physikalische Größen, die die Eigenschaften von Luft beschreiben, gehen in die Gleichungen für die Berechnung der Übertragungskoeffizienten der Mikrofone ein oder beeinflussen die Abhängigkeit des Übertragungskoeffizienten von den Umgebungsbedingungen. Diese Größen hängen von Umgebungsbedingungen, wie z. B. dem Luftdruck, der Temperatur und der Luftfeuchte, ab. Werte dieser Größen und ihre Abhängigkeit von Umgebungsbedingungen sind in Anhang B und IEC 61094-2, Anhang F, angegeben.

7.7 Unvollkommenheit der Theorie

Bei der praktischen Umsetzung der Reziprozitätsmethode und der Ableitung der akustischen Transferimpedanz wird von einigen idealisierten Annahmen über die Mikrofone und die Bewegung der Mikrofonmembran ausgegangen. Es gibt allerdings Beispiele, in denen diese Annahmen nicht unbedingt vollständig zutreffen:

- Geringfügige Unvollkommenheiten der Mikrofone können zu unterschiedlichen Bewegungsmustern der Membranen einzelner Exemplare desselben Mikrofonmodells führen, was in unterschiedlichen Positionen des akustischen Zentrums resultiert, insbesondere bei hohen Frequenzen.
- Die Mikrofone sind unter Umständen nicht reziprok. Dieser Effekt kann gering gehalten werden, wenn nur Mikrofone desselben Modells miteinander kombiniert werden.

7.8 Unsicherheit des Freifeld-Übertragungsmaßes

Die Unsicherheit des Freifeld-Übertragungsmaßes sollte nach dem ISO/IEC Guide 98-3 ermittelt werden. Bei der Angabe der Ergebnisse einer Kalibrierung muss die Unsicherheit als Funktion der Frequenz als *erweiterte Messunsicherheit* mit einem *Erweiterungsfaktor* k angegeben werden, der einem Vertrauensintervall von 95 % entspricht.