

	DIN EN 60076-10 (VDE 0532-76-10)	DIN
	Diese Norm ist zugleich eine VDE-Bestimmung im Sinne von VDE 0022. Sie ist nach Durchführung des vom VDE-Präsidium beschlossenen Genehmigungsverfahrens unter der oben angeführten Nummer in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der „etz Elektrotechnik + Automation“ bekannt gegeben worden.	VDE
ICS 17.140.20; 29.180 Ersatz für DIN EN 60076-10 (VDE 0532-76-10):2002-04 Siehe Anwendungsbeginn Leistungstransformatoren – Teil 10: Bestimmung der Geräuschpegel (IEC 60076-10:2016); Deutsche Fassung EN 60076-10:2016 Power transformers – Part 10: Determination of sound levels (IEC 60076-10:2016); German version EN 60076-10:2016 Transformateurs de puissance – Partie 10: Détermination des niveaux de bruit (IEC 60076-10:2016); Version allemande EN 60076-10:2016 Gesamtumfang 62 Seiten DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE		

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn für die von CENELEC am 2016-10-17 angenommene Europäische Norm als DIN-Norm ist 2017-06-01.

Für **DIN EN 60076-10 (VDE 0532-76-10):2002-04** besteht eine Übergangsfrist bis 2019-10-17.

Nationales Vorwort

Vorausgegangener Norm-Entwurf: E DIN EN 60076-10 (VDE 0532-76-10):2014-06.

Für dieses Dokument ist das nationale Arbeitsgremium K 321 „Transformatoren“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Die enthaltene IEC-Publikation wurde vom TC 14 „Power transformers“ erarbeitet.

Das IEC-Komitee hat entschieden, dass der Inhalt dieser Publikation bis zu dem Datum (stability date) unverändert bleiben soll, das auf der IEC-Website unter „<http://webstore.iec.ch>“ zu dieser Publikation angegeben ist. Zu diesem Zeitpunkt wird entsprechend der Entscheidung des Komitees die Publikation

- bestätigt,
- zurückgezogen,
- durch eine Folgeausgabe ersetzt oder
- geändert.

Das Original-Dokument enthält Bilder in Farbe, die in der Papierversion in einer Graustufen-Darstellung wiedergegeben werden. Elektronische Versionen dieses Dokuments enthalten die Bilder in der originalen Farbdarstellung.

Änderungen

Gegenüber **DIN EN 60076-10 (VDE 0532-76-10):2002-04** wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Allgemeine redaktionelle Überarbeitung zur Straffung des Textes.
- b) Verweisungen auf den überarbeiteten Leitfaden IEC 60076-10-1 wurden eingefügt, um Doppelungen zu vermeiden.
- c) Ein neuer Abschnitt „Festlegungen für die Spezifikation von Schallpegelmessung“ wurde eingefügt.
- d) Es werden nun für alle Messungen auch Terzband-Spektren verlangt, was den schärferen Anforderungen von Planungs- und Genehmigungsstellen ebenso Rechnung trägt wie den Verbesserungen der Messtechnik.
- e) Die Gleichwertigkeit von Schallintensitäts- und Schalldruckverfahren und deren Randbedingungen werden beschrieben. Als Folge wurde der zulässige Druck-Intensitätsindex ΔL von 8 dB auf 6 dB herabgesetzt.
- f) Die Korrektur für Reflexionen bei dem Schalldruckverfahren wurde verfeinert.
- g) Der Umlaufmessung wird gegenüber der Punkt-zu-Punkt-Messung, die weiterhin zulässig bleibt, der Vorzug gegeben.
- h) Der Mindest-Messabstand wurde von 0,3 m auf 1 m vergrößert, um Nahfeldeffekte praktisch auszuschließen. Es gibt Ausnahmen für bestimmte Bedingungen.
- i) Es gibt nur noch eine Gleichung für die Ermittlung des Messflächenmaßes. In Übereinstimmung mit dem Hüllflächenverfahren wird die Höhe der Messfläche immer ab dem reflektierenden Boden des Prüfkals gemessen.

Frühere Ausgaben

DIN 45635-30: 1981-04

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

DIN VDE 0532-7 Berichtigung 1 (VDE 0532-7 Berichtigung 1): 1992-10

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

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

DIN EN 60076-10 (VDE 0532-76-10): 2002-04

Nationaler Anhang NA
(informativ)**Zusammenhang mit Europäischen und Internationalen Dokumenten**

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

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

Eine Information über den Zusammenhang der zitierten Dokumente mit den entsprechenden Deutschen Dokumenten ist nachstehend wiedergegeben.

Tabelle NA.1

Europäisches Dokument	Internationales Dokument	Deutsches Dokument	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
EN 60076 (alle Teile)	IEC 60076 (alle Teile)	DIN EN 60076 (VDE 0532-76) (alle Teile)	VDE 0532-76
EN 60076-1:2011	IEC 60076-1:2011	DIN EN 60076-1 (VDE 0532-76-1):2012-03	VDE 0532-76-1
EN 60076-6	IEC 60076-6	DIN EN 60076-6 (VDE 0532-76-6)	VDE 0532-76-6
–	IEC 60076-8:1997	–	–
–	EC 60076-10-1:2016	–	–
EN 60076-11	IEC 60076-11	DIN EN 60076-11 (VDE 0532-76-11)	VDE 0532-76-11
EN 61043:1994	IEC 61043:1993	DIN EN 61043:1994-05	–
EN 61378 (alle Teile)	IEC 61378 (alle Teile)	DIN EN 61378 (VDE 0532-4X) (alle Teile)	VDE 0532-4X
EN 61672-1	IEC 61672-1	DIN EN 61672-1	–
EN 61672-2	IEC 61672-2	DIN EN 61672-2	–
EN ISO 3382-2:2008	ISO 3382-2:2008	DIN EN ISO 3382-2:2008-09	–
EN ISO 3746:2010	ISO 3746:2010	DIN EN ISO 3746:2011-03	–
EN ISO 9614-1:2009	ISO 9614-1:1993	DIN EN ISO 9614-1:2009-11	–
EN ISO 9614-2:1996	ISO 9614-2:1996	DIN EN ISO 9614-2:1996-12	–

Nationaler Anhang NB (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN 60076 (VDE 0532-76) (alle Teile), *Leistungstransformatoren*

DIN EN 60076-1 (VDE 0532-76-1):2012-03, *Leistungstransformatoren – Teil 1: Allgemeines (IEC 60076-1:2011); Deutsche Fassung EN 60076-1:2011*

DIN EN 60076-6 (VDE 0532-76-6), *Leistungstransformatoren – Teil 6: Drosselspulen (IEC 60076-6); Deutsche Fassung EN 60076-6*

DIN EN 60076-11 (VDE 0532-76-11), *Leistungstransformatoren – Teil 11: Trockentransformatoren (IEC 60076-11); Deutsche Fassung EN 60076-11*

DIN EN 61043:1994-05, *Elektroakustik – Geräte für die Messung der Schallintensität – Messung mit Paaren von Druckmikrofonen (IEC 61043:1993); Deutsche Fassung EN 61043:1994*

DIN EN 61378 (VDE 0532-4X) (alle Teile), *Stromrichtertransformatoren*

DIN EN 61672-1, *Elektroakustik – Schallpegelmesser – Teil 1: Anforderungen (IEC 61672-1); Deutsche Fassung EN 61672-1*

DIN EN 61672-2, *Elektroakustik – Schallpegelmesser – Teil 2: Baumusterprüfung (IEC 61672-2); Deutsche Fassung EN 61672-2*

DIN EN ISO 3382-2:2008-09, *Akustik – Messung von Parametern der Raumakustik – Teil 2: Nachhallzeit in gewöhnlichen Räumen (ISO 3382-2:2008); Deutsche Fassung EN ISO 3382-2:2008*

DIN EN ISO 3746:2011-03, *Akustik – Bestimmung der Schallleistungs- und Schallenergiepegel von Geräuschquellen aus Schalldruckmessungen – Hüllflächenverfahren der Genauigkeitsklasse 3 über einer reflektierenden Ebene (ISO 3746:2010); Deutsche Fassung EN ISO 3746:2010*

DIN EN ISO 9614-1:2009-11, *Akustik – Bestimmung der Schallleistungspegel von Geräuschquellen aus Schallintensitätsmessungen – Teil 1: Messungen an diskreten Punkten (ISO 9614-1:1993); Deutsche Fassung EN ISO 9614-1:2009*

DIN EN ISO 9614-2:1996-12, *Akustik – Bestimmung der Schallleistungspegel von Geräuschquellen aus Schallintensitätsmessungen – Teil 2: Messung mit kontinuierlicher Abtastung (ISO 9614-2:1996); Deutsche Fassung EN ISO 9614-2:1996*

**Leistungstransformatoren –
Teil 10: Bestimmung der Geräuschpegel**
(IEC 60076-10:2016)

Power transformers –
Part 10: Determination of sound levels
(IEC 60076-10:2016)

Transformateurs de puissance –
Partie 10: Détermination des niveaux de bruit
(IEC 60076-10:2016)

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 2016-10-17 angenommen. 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 CEN-CENELEC Management Centre 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 CEN-CENELEC Management Centre mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CENELEC-Mitglieder sind die nationalen elektrotechnischen Komitees von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, der ehemaligen jugoslawischen Republik Mazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.

CENELEC

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

CEN-CENELEC Management Centre: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel

© 2016 CENELEC – Alle Rechte der Verwertung, gleich in welcher Form und in welchem Verfahren, sind weltweit den Mitgliedern von CENELEC vorbehalten.

Ref. Nr. EN 60076-10:2016 D

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (EN 60076-10:2016) enthält den Text der IEC 60076-10:2016, die vom IEC/TC 14 „Power transformers“ erarbeitet wurde.

Nachstehende Daten wurden festgelegt:

- spätestes Datum, zu dem dieses Dokument auf nationaler Ebene durch Veröffentlichung einer identischen nationalen Norm oder durch Anerkennung übernommen werden muss (dop): 2017-10-17
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die diesem Dokument entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2019-10-17

Dieses Dokument ersetzt **EN 60076-10:2001**.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Texte dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CENELEC [und/oder CEN] sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm IEC 60076-10:2016 wurde von CENELEC ohne irgendeine Abänderung als Europäische Norm angenommen.

Inhalt

Seite

Europäisches Vorwort	2
Einleitung	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	6
4 Schalleistung bei unterschiedlichen Belastungsbedingungen	9
4.1 Allgemeines	9
4.2 Schalleistung bei Leerlauferregung	10
4.3 Schalleistung der Kühlungseinrichtung	10
4.4 Schalleistung aufgrund des Laststroms	10
5 Festlegungen für die Schallpegelmessung	12
6 Messgeräte, Kalibrierung und Genauigkeit	13
7 Bezugsfläche	14
7.1 Allgemeines	14
7.2 Transformatoren mit oder ohne Kühleinrichtung	14
7.3 Transformatoren in Gehäusen mit Kühlungseinrichtungen innerhalb ihres Gehäuses	14
7.4 Transformatoren in Gehäusen mit Kühlungseinrichtungen außerhalb ihres Gehäuses	15
7.5 Separat aufgestellte Kühlungseinrichtungen mit einem Abstand ≥ 3 m zwischen den zwei Bezugsflächen	15
7.6 Trockentransformatoren	15
7.7 Trocken-Luftdrosselspulen	15
8 Messpfad	16
9 Mikrofonpositionen	17
10 Berechnung des Flächeninhalts der Messfläche	17
10.1 Messfläche für Messabstände bis 30 m	17
10.2 Messfläche für Messabstände über 30 m	17
11 Schallmessung	18
11.1 Prüfbedingungen	18
11.2 Schalldruckverfahren	19
11.3 Schallintensitätsverfahren	24
12 Berechnung des Schalleistungspegels	26
13 Logarithmische Addition oder Subtraktion einzelner Schallpegel	27
14 Fernfeldberechnung bei Abständen größer als 30 m	28
15 Darstellung der Ergebnisse	28
Anhang A (informativ) Schmalband- und zeitsynchrone Messungen	37
A.1 Allgemeines	37
A.2 Schmalband-Messung	37
A.2.1 Allgemeines	37

A.2.2	Nachbearbeitung von Schmalband-Messungen	38
A.3	Zeitsynchrone Mittelungsverfahren	38
Anhang B (informativ)	Typischer Bericht über die Geräuschpegelbestimmung.....	39
B.1	Schalldruckverfahren.....	39
B.2	Schalldruckverfahren – Anhang für das punktweise Verfahren	47
B.3	Schallintensitätsverfahren	48
B.4	Schallintensitätsverfahren – Anhang für das punktweise Verfahren.....	56
Literaturhinweise		57
Anhang ZA (normativ)	Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen	58
Bilder		
Bild 1 – Typische Lage der Messpunkte für Geräuschmessungen an Transformatoren ohne Kühlungseinrichtung		30
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.....		31
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 Transformatorbessels aufgestellt ist		32
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		33
Bild 5 – Typische Lage der Messpunkte für Geräuschmessung an Trockentransformatoren ohne Gehäuse		34
Bild 6 – Bezugsfläche und Messpfad von Trocken-Luftdrosselspulen		35
Bild 7 – Umgebungskorrektur K		36
Tabellen		
Tabelle 1 – Annahmekriterien für die Prüfung		21
Tabelle 2 – Näherungswerte für den mittleren Schallabsorptionsgrad.....		23

Einleitung

Eine von den vielen Kenngrößen, die bei der Auslegung und Platzierung von Transformatoren, Drosselspulen und der ihnen zugeordneten Kühlungseinrichtungen zu betrachten ist, ist der Schallpegel, den das Betriebsmittel wahrscheinlich bei festgelegten Betriebsbedingungen am Aufstellungsort aussenden wird. Dieser Teil von IEC 60076 liefert die Grundlagen für die Festlegung und Prüfung der Schallpegel.

In diesem Schriftstück werden in einer logischen Abfolge die Belastungsbedingungen, wie die Schallpegel festzulegen und zu prüfen sind und natürlich auch, wie sie für das zu prüfende Betriebsmittel zu bewerten und anzugeben sind, beschrieben. Für die Festlegung der Schallpegel wurde ein neuer [Abschnitt 5](#) eingefügt.

Für die Zwecke dieser Norm wurde die Definition „Verteilungstransformator“ eingeführt. Dies spiegelt den Bedarf der Industrie wider, für diese Kategorie von Transformatoren einfachere und schnellere Schallpegelmessungen beizubehalten.

Die neue Anforderung hinsichtlich der Angabe der Terzbandspektren für alle Schallpegel (einschließlich des Fremdgeräusches) von in Schaltanlagen aufzustellenden Einheiten spiegelt die härteren Bedingungen wider, die dem Käufer von den Planungsstellen auferlegt werden, und auch die verbesserte Funktionalität der modernen Messgeräte.

Als das Schallintensitätsverfahren in dieser Norm eingeführt wurde, lagen nur begrenzte Erfahrungen vor. In den darauf folgenden Jahren der Anwendung dieser Norm hat sich der Erfahrungsstand deutlich verbessert und es wurden notwendige Änderungen offensichtlich. Innerhalb gewisser Prüfeinschränkungen wurde die Gleichwertigkeit der Druck- und Intensitätsverfahren nachgewiesen.

Bei der Einführung der neuen Validierungskriterien für das Intensitätsverfahren werden diese Einschränkungen berücksichtigt. Der zulässige Druck-Intensitäts-Index ΔL von 8 dB wurde beibehalten, jedoch wird die Differenz zwischen gemessenem Schalldruckpegel und anzugebendem Schallintensitätspegel auf 4 dB begrenzt.

Für das Druckverfahren wurde das Korrekturverfahren für Reflexionen um die Anwendung frequenzabhängiger K -Werte erweitert, die aus der Messung der Nachhallzeit des Prüfraumes abgeleitet werden. Dabei wird K aus den Absorptionskoeffizienten abgeleitet; die Tabelle für die mittleren Absorptionskoeffizienten wurde angepasst, um die Oberflächen darzustellen, die in der Arbeitsumgebung wahrscheinlich vorhanden sind.

Umlaufverfahren und punktweises Verfahren sind gleichermaßen anwendbar. Das Umlaufverfahren spiegelt die Entwicklung der Arbeitspraxis wider und lässt insbesondere bei großen Einheiten Messungen mit besserer Zeitausnutzung ohne Verlust der Genauigkeit zu. Für Verteilungstransformatoren und in besonderen Situationen (Gesundheit und Sicherheit) ist das punktweise Verfahren angebrachter.

Zur Abschwächung von Nahfeldeffekten wird der Vorzugs-Messabstand auf 1 m gesetzt mit Ausnahmen für Verteilungstransformatoren, kleine Prüfräume, Situationen mit niedrigem Signal-Rausch-Verhältnis sowie aus Gründen der Gesundheit und Sicherheit, wo der Abstand von 0,3 m beibehalten wird.

Für die Berechnung der Messoberfläche S wurde eine einzige Gleichung eingeführt, weil die frühere Komplexität nur zu Unterschieden führen konnte, die immer kleiner als 1 dB waren.

Alle Bilder die die Messoberfläche beschreiben, wurden in Übereinstimmung mit dem Hüllkurvenverfahren zur Bestimmung der Schallleistung überarbeitet. Die Höhe h wird stets ab dem Fußboden des Prüfraumes gemessen und zwar ungeachtet der Höhe der Auflagen unter dem Prüfgegenstand, außer wenn der Prüfgegenstand auf einer Auflage steht, die groß genug ist, um als reflektierende Ebene zu wirken.

Das Verfahren für die Bestimmung der Messoberfläche wird mit zusätzlichen Bildern erläutert und der Messpfad für eine Reihe von Trockendrosselspulen vorgeschrieben.

Bei der Anwendung dieser Norm wird ein häufiges Nachschlagen in der Anwendungsrichtlinie IEC 60076-10-1:2016 empfohlen, weil sie das Verständnis mit wichtigen Hintergrundinformationen und hilfreichen Einzelheiten fördert. [IEC 60076-10](#) und IEC 60076-10-1 werden vom gleichen Maintenance-Team überarbeitet, wodurch vollständig abgestimmte Dokumente entstehen.

1 Anwendungsbereich

Diese Internationale Norm definiert Schalldruck- und Schallintensitäts-Messverfahren, mit denen die Schallleistungspegel von Transformatoren, Drosselspulen und ihren zugehörigen Kühlungseinrichtungen bestimmt werden.

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, Drosselspulen und deren Kühlungseinrichtungen – entweder am oder getrennt vom Transformator angebracht –, die in den Normenreihen IEC 60076 und IEC 61378 beschrieben 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 ist diese Norm so weit wie möglich bei der Durchführung von Messungen am Aufstellungsort anzuwenden.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden 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 60076-1:2011, *Power transformers – Part 1: General*

IEC 60076-8:1997, *Power transformers – Part 8: Application Guide*

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

IEC 61672-1, *Electroacoustics – Sound level meters – Part 1: Specifications*

IEC 61672-2, *Electroacoustics – Sound level meters – Part 2: Pattern evaluation tests*

ISO 3382-2:2008, *Acoustics – Measurement of room acoustic parameters – Part 2: Reverberation time in ordinary rooms*

ISO 3746:2010, *Acoustics – Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure – Survey method using an enveloping measurement surface over a reflecting plane*

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

ISO 9614-2:1996, *Acoustics – Determination of sound power levels of noise sources using sound intensity – Part 2: Measurement by scanning*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach IEC 60076-1 und die folgenden Begriffe.

3.1 Schalldruck

p
Wechseldruck, der dem statischen Druck durch das Vorhandensein von Schall überlagert wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Er wird in Pascal, Pa, angegeben.

3.2 Schalldruckpegel

L_p
das 10-Fache des Logarithmus zur Basis 10 des Verhältnisses des Quadrats des Schalldrucks zum Quadrat des Bezugsschalldrucks ($p_0 = 20 \times 10^{-6}$ Pa)

Anmerkung 1 zum Begriff: Er wird in Dezibel, dB, angegeben.

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

3.3 Schallintensität

I
Vektorgröße, die Betrag und Richtung des Schallleistungsflusses je Flächeneinheit an einer gegebenen Position beschreibt

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Einheit ist Watt je Quadratmeter, W/m².

3.4 Normalkomponente der Schallintensität

I_n
Komponente der Schallintensität senkrecht zu einer Messfläche

Anmerkung 1 zum Begriff: Nach Vereinbarung wird die Normalkomponente der Schallintensität positiv gezählt, wenn der Energiefluss vom Prüfgegenstand weg gerichtet ist, und negativ, wenn der Energiefluss zum Prüfgegenstand hin gerichtet ist.

3.5 Pegel der Normalkomponente der Schallintensität

L_I
das 10-Fache des Logarithmus zur Basis 10 des Verhältnisses der Normalkomponente der Schallintensität zur Bezugsschallintensität ($I_0 = 1 \times 10^{-12}$ Wm⁻²)

Anmerkung 1 zum Begriff: Er wird in Dezibel, dB, angegeben.

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

Anmerkung 2 zum Begriff: Da I_n entweder positiv oder negativ sein kann, ist ein gesondertes Richtungskennzeichen F_{Dir} für L_I zur Angabe der Richtung des Energieflusses für die weitere Untersuchung beizubehalten, wie zur Berechnung der mittleren und integralen Größen.

3.6 Richtungskennzeichen

F_{Dir}
Angabe für die Richtung des Schallenergieflusses, die aufgrund der vektoriellen Eigenschaft der Schallintensität erforderlich ist

Anmerkung 1 zum Begriff: +1 für einen Schallenergiefluss, der vom Prüfgegenstand weg gerichtet ist, -1 für einen Schallenergiefluss, der zum Prüfgegenstand hin gerichtet ist.

3.7

Schallleistung

W

Rate, mit der die Luftschallenergie von einer Quelle abgestrahlt wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Sie wird in Watt, W, angegeben.

3.8

Schallleistungspegel

L_W

das 10-Fache des Logarithmus zur Basis 10 des Verhältnisses einer gegebenen Schallleistung zur Bezugsschallleistung ($W_0 = 1 \times 10^{-12} \text{ W}$)

Anmerkung 1 zum Begriff: Er wird in Dezibel, dB, angegeben.

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

3.9

Gesamtschallpegel

Schallpegel, der den gesamten betrachteten Frequenzbereich enthält

Anmerkung 1 zum Begriff: Dieser Pegel ist entweder eine direkte Ausgabe der Messeinrichtung oder wird durch logarithmisches Aufsummieren der Schallpegel aller einzelnen Frequenzbänder abgeleitet.

3.10

Bezugsfläche

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

3.11

Messfläche

S

Fläche, die den Prüfling im Messabstand von der Bezugsfläche einhüllt, auf der die Messpfade oder -punkte angeordnet sind

3.12

Flächenmaß

L_S

das 10-Fache des Logarithmus zur Basis 10 des Verhältnisses der Messfläche S zur Bezugsfläche S_0 (1 m^2)

Anmerkung 1 zum Begriff: Es wird in Dezibel, dB, angegeben.

$$L_S = 10 \times \lg \frac{S}{S_0} \quad (4)$$

3.13

Messabstand

x

horizontaler Abstand zwischen der Bezugsfläche und der Messfläche

3.14

Messpfad

horizontale(r) Pfad(e) auf der Messfläche, auf dem (denen) die Messungen erfolgen

3.15

Umlaufverfahren

Messwert des Schallpegels, der durch kontinuierliches Bewegen des Mikrofons bzw. der Mikrofone entlang des (der) Messpfade(s) mit einer konstanten Laufgeschwindigkeit gewonnen wird, wobei der zeitlich und räumlich gemittelte Schallpegel des Betriebsmittels gemessen wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Prüfeinrichtung kann während des Messvorgangs eine digitale Audiodatei aufzeichnen, die zur Bestimmung der erforderlichen Größen nachbearbeitet wird.

3.16

punktweises Verfahren

Messwerte des Schallpegels, die aus einer Anzahl einzelner Mikrofonpositionen auf dem (den) Messpfad(en) gewonnen werden, die abstandsgleich angeordnet und nicht mehr als 1 m voneinander entfernt sind

Anmerkung 1 zum Begriff: Der räumliche mittlere Schallpegel ist der Mittelwert aller Punktmessungen.

3.17

Fremdgeräuschpegel

A-bewerteter Schalldruckpegel, der entlang des Messpfades gemessen wird, wenn der Prüfling nicht in Betrieb ist

3.18

Umgebungskorrektur

K

bei Schalldruckmessungen berücksichtigter Einfluss von unerwünscht reflektiertem Schall an den Raumgrenzen und/oder reflektierenden Gegenständen im Prüfraum

3.19

P-I-Index

ΔL

Differenz zwischen nicht korrigiertem räumlich gemitteltem Schalldruckpegel und räumlich gemitteltem Schallintensitätspegel

Anmerkung 1 zum Begriff: Die verwendeten Werte müssen A-bewertet sein.

3.20

Verteilungstransformatoren

Transformatoren zur Installation mit Ausnahme von Schaltstationen mit einer Bemessungsspannung unter 5 000 kVA

Anmerkung 1 zum Begriff: Diese Definition ist für diese Norm bestimmt.

Anmerkung 2 zum Begriff: Diese Definition gilt für flüssigkeitsgetränkte und Trockentransformatoren.

4 Schalleistung bei unterschiedlichen Belastungsbedingungen

4.1 Allgemeines

Für den Gesamt-Schalleistungspegel eines Transformators sind im Betrieb drei Komponenten verantwortlich:

- Schalleistung bei Leerlauferregung;
- Schalleistung der Kühlungseinrichtung;
- Schalleistung aufgrund des Laststroms.

Die Darstellung des Schalleistungspegels eines Transformators bei einer bestimmten Betriebsbedingung erfolgt aus der logarithmischen Summe der drei Schalleistungskomponenten bei dieser Betriebsbedingung. Zu Einzelheiten siehe [Abschnitt 13](#).

4.2 Schalleistung bei Leerlauferregung

Die Schalleistung aufgrund der Leerlauferregung ist bei allen Transformatortypen zu berücksichtigen. Die Erregerspannung muss eine sinusförmige oder nahezu sinusförmige Wellenform und Bemessungsfrequenz haben. Die Spannung muss den Anforderungen in IEC 60076-1:2011, 11.5, entsprechen. Bei Drosselspulen gibt es keine Leerlaufbedingung, weil der Bemessungsstrom erst fließt, wenn die Bemessungsspannung anliegt. Zu weiteren Angaben der Schallpegelprüfung von Drosselspulen siehe IEC 60076-6.

Die übliche Bedingung für die Bestimmung des Schalleistungspegels von Transformatoren bei Leerlauferregung bezieht sich auf die Bemessungsspannung an einer Wicklung ohne Anzapfung. Im Betrieb können andere Erregungsbedingungen zu niedrigeren oder höheren Schalleistungspegeln führen und können auch die Bedingung für eine Garantie sein und müssen in diesem Fall vom Käufer festgelegt werden. Bei Transformatoren, die für den Betrieb mit veränderbarem Fluss ausgelegt sind, wird die Schalleistung stark von der Anzapfungsstufe beeinflusst. Die Anzapfungsstufe für die Geräuschmessung muss deshalb im Angebotsstadium zwischen Hersteller und Käufer vereinbart werden.

Ist ein Transformator mit einem Drossel-Laststufenschalter ausgerüstet, bei dem die Drosselspule auf bestimmten Stufenschalterstellungen dauerhaft unter Spannung stehen kann, müssen die Messungen am Transformator an einer Anzapfung durchgeführt werden, die diese Bedingung einschließt und die außerdem so nah wie möglich an der Hauptanzapfung liegt.

Die ausgewählten Prüfbedingungen sind im Prüfbericht eindeutig anzugeben.

ANMERKUNG Eine Gleichstrom-Vormagnetisierung des Kerns kann einen deutlichen Anstieg des gemessenen Schallpegels verursachen. Ihr Vorhandensein ist durch ungeradzahlige Oberschwingungen der Erregungsfrequenz im Schallspektrum zu erkennen und kann mit einer Schmalbandanalyse identifiziert werden. Der Einfluss der Gleichstrom-Vormagnetisierung auf Messungen des Leerlauf-Schallpegels kann bei der Werksprüfung durch einen Übererregungsbetrieb für einige Minuten praktisch beseitigt werden. Die Beseitigung der Gleichstrom-Vormagnetisierung des Transformators nach einem Einschaltstromereignis kann mehrere Stunden oder sogar Tage dauern.

4.3 Schalleistung der Kühlungseinrichtung

Bei der Bestimmung des Schalleistungspegels besteht die übliche Bedingung darin, dass die für den Betrieb des Transformators erforderlichen Kühlungseinrichtungen mit ihrer Bemessungsleistung laufen.

Bei einer Wasserkühlungseinrichtung braucht der Wasserstrom während der Schallpegelprüfung nicht beibehalten zu werden.

Bei Kühlungseinrichtungen mit veränderlicher Drehzahl (üblicherweise Lüfter) hat die Drehzahl bei der Schallpegelprüfung einen wesentlichen Einfluss auf den Schalleistungspegel. Die Drehzahl in der Kühlungseinrichtung, die für die Schallpegelmessung ausgewählt wird, muss die Drehzahl sein, die für den Betrieb des Transformators mit seiner Bemessungsleistung unter den ungünstigsten Bedingungen des externen Kühlmediums notwendig ist.

Die ausgewählten Prüfbedingungen sind im Prüfbericht eindeutig anzugeben.

4.4 Schalleistung aufgrund des Laststroms

Die Hauptkomponente des Schalleistungspegels aufgrund des Laststroms ist bei den meisten Transformatoren das Doppelte der Betriebsfrequenz.

Die Höhe des Laststrom-Schalleistungspegels kann mit den Gleichungen (5) und (6) grob geschätzt werden:

$$L_{WA,lr} \approx 39 + 18 \times \lg \frac{S_r}{S_p} \text{ bei 50 Hz Betriebsfrequenz} \quad (5)$$

$$L_{WA,lr} \approx 44 + 18 \times \lg \frac{S_r}{S_p} \text{ bei 60 Hz Betriebsfrequenz} \quad (6)$$

Dabei ist

$L_{WA,lr}$ der geschätzte A-bewertete Schallleistungspegel des Transformators bei Bemessungsstrom und Bemessungsfrequenz bei Kurzschlussbedingung;

S_r die Bemessungsleistung in MVA;

S_p die Bezugsleistung (1 MVA).

Bei Spartransformatoren und Dreiwicklungstransformatoren ist die äquivalente Zweiwicklungs-Bemessungsleistung anstelle von S_r zu verwenden, gemäß IEC 60076-8:1997, 3.2.

ANMERKUNG 1 Die Vorhersagen mit den Gleichungen (5) und (6) liegen üblicherweise innerhalb von ± 6 dB des gemessenen Schallleistungspegels aufgrund des Bemessungslaststroms.

Mit den Gleichungen (5) und (6) erhält man eine Schätzung des Stellenwertes der Schallleistung aufgrund des Laststroms. Wenn die berechneten Werte 10 dB oder mehr unter dem Schallleistungspegel liegen, der bei Leerlaufregung geschätzt worden ist, wird dieser Beitrag vernachlässigbar sein und braucht deshalb nicht geprüft zu werden, außer, wenn der Käufer die Prüfung festgelegt hat.

ANMERKUNG 2 Verteilungstransformatoren erfordern üblicherweise keine Berücksichtigung der Schallleistung aufgrund des Laststroms.

Wenn diese Messung erforderlich ist, muss eine Wicklung kurzgeschlossen werden, und in die andere Wicklung ist der Bemessungsstrom bei Bemessungsfrequenz einzuprägen.

Die Prüfungen müssen mit dem (gegebenenfalls vorhandenen) Stufenschalter am Hauptabgriff durchgeführt werden, sofern nicht anders festgelegt. Aufgrund von Schwankungen der Verteilungen des magnetischen Streufeldes in den Wicklungen, dem Kern und den Elementen der Kesselabschirmung kann es jedoch sein, dass bei dieser Stufenstellung nicht der maximale Schallpegel im Betrieb erhalten wird.

Die ausgewählten Prüfbedingungen sind im Prüfbericht eindeutig anzugeben.

Der Schallleistungspegel bei einem Strom, der vom Bemessungsstrom abweicht, kann mit Gleichung (7) berechnet werden:

$$L_{WA,IT} = L_{WA,lr} + 40 \times \lg \frac{I_T}{I_r} \quad (7)$$

Dabei ist

$L_{WA,lr}$ der berechnete oder gemessene A-bewertete Schallleistungspegel bei Bemessungsstrom;

$L_{WA,IT}$ der berechnete A-bewertete Schallleistungspegel beim Istwert des Stroms;

I_r der Bemessungsstrom;

I_T der Istwert des Stroms.

Diese Gleichung ist für Ströme im Bereich von 60 % bis 130 % des Bemessungsstroms gültig. Sie muss auch zur Berechnung der Schallleistungspegel angewendet werden, wenn aufgrund von Einschränkungen des Prüffeldes hinsichtlich des Bemessungslaststroms zu vereinbaren ist, dass die Prüfung bei einem niedrigeren Strom als dem Bemessungsstrom durchgeführt wird.

Im Betrieb können die Lastflussrichtung und der Leistungsfaktor einen Einfluss auf den Schallleistungspegel besitzen, dessen Ursache die Überlagerung des Flusses bei Leerlaufbedingungen und des Streuflusses ist, der teilweise in den Kern eindringt. Dieser Einfluss kann mit der Werksprüfung nicht reproduziert werden.

Sondertransformatoren, wie z. B. Industrie-, SVC- und HGÜ-Stromrichtertransformatoren, wie auch spezielle Drosseltypen werden mit Lastströmen mit hohem Oberschwingungsgehalt beansprucht und erzeugen folglich Schalloberschwingungen mit höherer Frequenz. Das Einprägen derartiger Ströme macht Sonderprüf-ausrüstungen und Prüfanordnungen erforderlich, die für die Transformatorprüfung üblicherweise nicht zur Verfügung stehen. Für Drosseln sind derartige Prüfungen gebräuchlicher, siehe [IEC 60076-6](#). Wenn keine Prüfung möglich ist, ist es notwendig, auf Berechnungen beruhende Vorhersagen des Schallleistungspegels aufgrund des Laststromes und seiner Oberschwingungen zu vereinbaren. Zu ausführlichen Angaben siehe 4.2.5 und [7.6](#) sowie IEC 60076-10-1:2016, Anhang A.

5 Festlegungen für die Schallpegelmessung

Die akustische Eigenschaften eines Transformators müssen als A-bewerteter Schallleistungspegel angegeben werden, wenn Messwerte des Schallpegels aufzuführen sind.

In Ausnahmefällen ist es zulässig, dass der Käufer für den Schalldruckpegel einen bestimmten Abstand vorgibt. Die Bestimmung dieses Druckpegels kann entweder mit einer Messung bei diesem Abstand gewonnen werden oder aus der Schallleistung abgeleitet werden, die bei einem anderen Abstand bestimmt worden ist.

Als Mindestangabe ist der Schallleistungspegel bei Leerlauferregung bei Bemessungsspannung und -frequenz an einer nicht angezapften Wicklung aufzuführen. Für Anwendungen mit veränderbarem Fluss siehe [4.2](#).

Ist der Transformator mit einer Kühlungseinrichtung ausgerüstet, in der Pumpen und/oder Lüfter zu Einsatz kommen, dann ist auch der Schallleistungspegel der Kühlungseinrichtung(en) entsprechend der Bemessungsleistung des Transformators festzulegen. Vom Käufer dürfen andere Beanspruchungen als für die Bemessungsleistung festgelegt werden.

Alternativ darf die kombinierte Summe aus dem Schallleistungspegel des Transformators bei Leerlauferregung und dem Schallleistungspegel der Kühlungseinrichtung festgelegt werden.

Wird der nach den [Gleichungen \(5\) und \(6\)](#) berechnete Laststrom-Schallleistungspegel vom Käufer als signifikant betrachtet, dann wird die Festlegung einer Messung des Schallleistungspegels beim Bemessungs-laststrom empfohlen, um damit den Schallleistungspegel des Transformators wie im Betrieb anzugeben.

ANMERKUNG 1 Bei Verteilungstransformatoren ist die Berücksichtigung der durch den Laststrom hervorgerufenen Schallleistung gewöhnlich nicht erforderlich.

Der Käufer darf auch einen Wert festlegen für die Summe der Schallleistungspegel

- bei Leerlauferregung,
- der Kühlungseinrichtung und
- aufgrund des Laststroms

bei allen vorher aufgeführten Bemessungswerten.

Für die Schallmessungen können Bedingungen vereinbart werden, die von den vorstehend aufgeführten abweichen und die die möglichen Betriebsbedingungen besser widerspiegeln.

ANMERKUNG 2 Der Käufer sollte den Hersteller über alle besonderen Betriebsbedingungen informieren, wie dem Vorhandensein von Oberschwingungen und/oder Gleichstromvorspannung im Netz, die sich auf den zu bewertenden Schallleistungspegel im Betrieb auswirken.

Bei phasengetreuen Transformatoren, die eine Drehstrombank bilden, muss die Festlegung des Schallpegels je phasengetreuer Einheit erfolgen.

Die Verfahren, die zur Bestimmung der Schallleistungspegel angewendet werden, können entweder der Schalldruck oder die Schallintensität sein und werden üblicherweise vom Käufer ausgewählt. Trifft der Käufer keine Festlegung, dann muss der Hersteller das Verfahren auswählen und im Angebot angeben.

Schallmessungen von Verteilungstransformatoren sollen nur den Gesamtschallpegel gemäß 3.9 ermitteln, außer wenn vom Käufer Abweichendes festgelegt wurde.

ANMERKUNG 3 Dies gilt auch für Drosselspulen mit einer Nennleistung von weniger als 1 MVA.

Schallmessungen an allen anderen Transformatoren sind mit Terzbandfilterung auszuführen, sofern keine andere Bandbreite (Oktavband oder Schmalband) oder nur ein Gesamtschallpegel vom Käufer festgelegt worden ist. Zu weiteren Einzelheiten bei Schmalbandmessungen siehe IEC 60076-10-1:2016, Anhang A und 5.4.

Schallmessungen an allen Transformatoren und Drosselspulen sollen mit einer Temperatur des aktiven Teils ausgeführt werden, die möglichst den Umgebungsbedingungen des Prüffeldes entspricht, sofern der Käufer keine Schallmessungen bei Bedingungen nahe der Betriebstemperatur festgelegt hat (üblicherweise am Ende der Erwärmungsprüfung durchgeführt).

Die Auswahl zwischen der Anwendung des Umlaufverfahrens oder des punktwisen Verfahrens liegt im Ermessen des Herstellers, sofern vom Käufer nicht anders festgelegt.

ANMERKUNG 4 Beruhend auf vielfachen Vergleichen ist der Unterschied der gemessenen Schallpegel in Abhängigkeit vom ausgewählten Verfahren vernachlässigbar, jedoch ist das Umlaufverfahren bei großen Einheiten weniger zeitaufwendig.

Wenn Sicherheitsüberlegungen eine Rolle spielen, dann ist das punktweise Verfahren anzuwenden.

Das punktweise Verfahren ist die logische Auswahl in Situationen, bei denen es nur eine kleine Anzahl von Messpunkten gibt. Dies gilt üblicherweise für Verteilungstransformatoren.

6 Messgeräte, Kalibrierung und Genauigkeit

Der Frequenzgang des Messgeräts muss unterhalb der Bemessungsbetriebsfrequenz beginnen und oberhalb der oberen Hörgrenze des Menschen von 20 kHz enden.

Bei Transformatoren mit einer Betriebsfrequenz unter 25 Hz und bei einer Einschränkung des Messgerätes hinsichtlich der unteren Frequenzgrenze ist das Doppelte der Betriebsfrequenz als untere Frequenzgrenze zulässig.

Bei der tatsächlichen Messung muss der obere Grenzwert entsprechend der höchsten abgestrahlten Frequenz ausgewählt werden, üblicherweise unter 10 kHz. Für Fremdgeräuschmessungen und die Messungen bei der Prüfung darf der ausgewählte Frequenzbereich nicht verändert werden.

Schalldruckmessungen müssen mit einem Schallpegelmessgerät Typ 1 durchgeführt werden, der IEC 61672-1 und IEC 61672-2 entspricht und nach ISO 3746:2010, 5.2, kalibriert ist.

Das in dieser Norm beschriebene Schalldruckmessverfahren beruht auf ISO 3746. Messungen, die nach dieser Norm durchgeführt werden, führen zu Ergebnissen der Standardabweichungen der Vergleichpräzision zwischen Bestimmungen, die in verschiedenen Laboratorien durchgeführt wurden, die kleiner oder gleich 3 dB sind.

Schallintensitätsmessungen müssen mit einem Gerät für Schallintensitätsmessungen der Klasse 1, das IEC 61043 entspricht und nach ISO 9614-1:1993, 6.2, 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 wie möglich zu halten.

Das in dieser Norm beschriebene Schallintensitätsmessverfahren beruht auf ISO 9614-1 und ISO 9614-2. Messungen, die nach dieser Norm durchgeführt werden, führen zu Ergebnissen der Standardabweichungen der Vergleichpräzision zwischen Bestimmungen, die in verschiedenen Laboratorien durchgeführt wurden, die kleiner oder gleich 3 dB sind.

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

Alle Messungen sind mit dem energetischen Mittelwert der Schallgröße (Druck oder Intensität) über die Messdauer durchzuführen. Statistisch abgeleitete Schallgrößen, z. B. Perzentile, dürfen nicht angewendet werden.

Zur Angabe und zur Vermeidung von Messfehlern aufgrund des transienten Fremdgeräuschs muss die schnell ansprechende Anzeige der Messgeräte verwendet werden.

Die Schallpegelmessung ist üblicherweise ein manueller Vorgang, und die durch unterschiedliche Abstände eingeführten Fehler mitteln sich tendenziell aus. Ihr Einfluss auf das Endergebnis ist von kleinerer Bedeutung als weitere akustische Faktoren. Dennoch sollen Maßnahmen getroffen werden, den Messabstand so konstant wie möglich zu halten.

ANMERKUNG Die Markierung des Messpfades auf dem Boden des Prüflabors oder die Benutzung eines Abstandhalters zwischen Mikrofon und Transformator können helfen, die geforderte Qualität der Messung zu erzielen.

7 Bezugsfläche

7.1 Allgemeines

Die Festlegung der Bezugsfläche hängt von der Art der angewendeten Kühlungseinrichtung und deren relativer Lage zum Transformator oder dessen Gehäuse ab.

Die Höhe der Bezugsfläche wird von der Oberkante des Prüfobjektes bis zum Fußboden des Prüflabors gemessen und schließt die Höhe jeglicher Unterbauten wie Fahrgestelle, Paletten oder Transportwagen ein. Wenn der Unterbau die akustischen Eigenschaften einer reflektierenden Ebene hat und über die Sehnen-Umrisslinie (wie in den folgenden Unterabschnitten festgelegt) um mindestens den zweifachen Messabstand übersteht, ist der Unterbau als Fußboden zu betrachten.

7.2 Transformatoren mit oder ohne Kühleinrichtung

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 (ausgenommen Überstände wie z. B. Durchführungen, Durchführungsdomen und andere oberhalb des Kesseldeckels angeordnete Zubehörteile) oder vom höchsten Punkt der Kühlungseinrichtung, je nachdem, welches der größere Wert ist, bis zum Fußboden des Prüfstandes. 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 ausschließen, die 3 m oder mehr vom Transformator-kessel entfernt angeordnet sind. Vorspringende Teile wie Durchführungen, Ölleitungen und Ölausdehnungsgefäße, Ventile, Schaltschränke und andere Nebenteile müssen ebenfalls ausgeschlossen sein, solange sie nicht die Umrisslinie störend beeinflussen (siehe [Bilder 1, 2 und 3](#)). Wenn vorspringende Teile die Umrisslinie stören, werden diese Teile in die Bezugsfläche mit einbezogen. Wenn die Höhen des Transformators und der Kühlungseinrichtung um mehr als einen Faktor von 2 voneinander abweichen, müssen die Schallpegel von Transformator und Kühlungseinrichtung getrennt voneinander gemessen werden, auch dann, wenn der Abstand zwischen den beiden Teilen kleiner als 3 m ist.

7.3 Transformatoren in Gehäusen 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 Transformatorgehäuses (ausgenommen Überstände wie z. B. Durchführungen, Durchführungsdomen und andere oberhalb des Gehäuses angeordnete Zubehörteile) bis zum Fußboden des Prüfstandes.

7.4 Transformatoren in Gehäusen mit Kühlungseinrichtungen außerhalb ihres Gehäuses

Die Bezugsfläche ergibt sich aus der senkrechten Projektion einer Sehnen-Umrisslinie, die das Gerät umschließt. Die Projektion geht vom höchsten Punkt des Transformatorgehäuses (ausgenommen Überstände wie z. B. Durchführungen, Durchführungsdome und andere oberhalb des Gehäuses angeordneter Zubehörteile) oder vom höchsten Punkt der Kühlungseinrichtung, je nachdem, welches der größere Wert ist, bis zum Fußboden des Prüfstandes. Die Bezugsfläche muss Kühlungseinrichtungen, die weniger als 3 m vom Transformatorgehäuse entfernt angeordnet sind, Zubehör Einrichtungen wie Kabelkästen, Stufenschalter usw. einschließen. Sie muss alle Kühlungseinrichtungen ausschließen, die 3 m oder mehr vom Transformatorgehäuse entfernt angeordnet sind. Vorspringende Teile wie Durchführungen, Ölleitungen und Ölausdehnungsgefäße, Ventile, Schaltschränke und andere Nebenteile müssen ebenfalls ausgeschlossen sein (siehe Bilder 1, 2, und 3). Bei einem Transformator mit Schallschutzverkleidung wird die Schallschutzverkleidung als das Gehäuse angesehen. Wenn die Höhen des Transformators und der Kühlungseinrichtung um mehr als einen Faktor von 2 voneinander abweichen, müssen die Schallpegel von Transformator und Kühlungseinrichtung getrennt voneinander gemessen werden, auch dann, wenn der Abstand zwischen den beiden Teilen kleiner als 3 m ist.

7.5 Separat aufgestellte Kühlungseinrichtungen mit einem Abstand ≥ 3 m zwischen den zwei Bezugsflächen

Die Bezugsfläche ergibt sich aus der senkrechten Projektion einer Sehnen-Umrisslinie, die das Gerät umschließt, aber Überstände, wie z. B. Ölausdehnungsgefäße, Rahmentteile, Rohrleitungen, Ventile und andere Nebenteile, ausnimmt. Die senkrechte Projektion muss vom höchsten Punkt des Kühlergestells bis zum Fußboden des Prüfstandes gehen, siehe Bild 4. Bei Kühlungseinrichtungen, die einige Meter über dem Boden angebracht sind, ist die Bezugsfläche in Analogie zu den Trocken-Luftdrosselspulen zu wählen, siehe Abschnitt 8 und Bild 6 g).

ANMERKUNG In diesem Falle liegen die Messpfade auf halber Höhe der Stützen und in der Mittelebene der Kühlanlage.

7.6 Trockentransformatoren

Für Trockentransformatoren ohne Gehäuse ergibt sich die Bezugsfläche aus der senkrechten Projektion einer Sehnen-Umrisslinie, die den Trockentransformator umschließt, wobei Überstände, wie z. B. Rahmentteile, äußere Verdrahtungen und Anschlüsse, sowie angebaute Vorrichtungen, die die Geräuschabstrahlung nicht beeinflussen, auszunehmen sind. Die senkrechte Projektion muss vom höchsten Punkt des Transformatorgestells bis zum Fußboden des Prüfstandes gehen, siehe Bild 5. Die Bezugsfläche schließt am Transformator angebrachte Kühlungseinrichtungen ein, sofern vorhanden.

Für Trockentransformatoren mit Gehäuse ergibt sich die Bezugsfläche aus der vertikalen Projektion einer Sehnen-Umrisslinie, die das Betriebsmittel umspannt. Die Projektion reicht von der Oberkante des Gehäuses, ohne vorstehende Teile wie Durchführungen, Durchführungsdome oder anderes Zubehör, bis zum Fußboden des Prüfstandes. Die Bezugsfläche schließt Kühlungseinrichtungen, Hilfseinrichtungen wie Kabelanschlusskästen, Laststufenschalterabteile usw. ein, wenn diese am Gehäuse angebracht sind.

7.7 Trocken-Luftdrosselspulen

Die Bezugsfläche ergibt sich aus der senkrechten Projektion einer Sehnen-Umrisslinie, die das Gerät umschließt, wobei Überstände, wie z. B. äußere Verdrahtungen und Anschlüsse, sowie angebaute Vorrichtungen, wie z. B. Überspannungsableiter oder Überspannungsschutzkondensatoren, die die Geräuschabstrahlung nicht beeinflussen, auszunehmen sind. Die Projektion verläuft vom obersten Teil der Drosselspule bis zum Fußboden des Prüfstandes. Die Höhe der Bezugsfläche ist daher die Summe aus der Höhe der Tragstruktur bis zum Fußboden des Prüfstandes (h_S) und die Höhe der Drosselspule (h_R). Bei einer Mehrfachdrosselspule ist der Höhe der Drosselspule (h_R) die Gesamthöhe des Drosselspulenpaketes, siehe Bild 6.

Bei Einphasen-Drosselspulen oder Drosselspulenpaketen, die nicht mit Schallschutzverkleidung ausgerüstet sind, ist die Umrisslinie der äußere Umfang der Drosselspule, siehe Bild 6 a).