

DIN 45681**DIN**

ICS 17.140.01

Akustik –**Bestimmung der Tonhaltigkeit von Geräuschen und Ermittlung eines Tonzuschlages für die Beurteilung von Geräuschimmissionen**

Acoustics –

Determination of tonal components of noise and determination of a tone adjustment for the assessment of noise immissions

Acoustique –

Détermination des composantes tonales du bruit et recherche d'un coefficient tonal pour l'évaluation des immissions de bruit

Gesamtumfang 63 Seiten

Normenausschuss Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS) im DIN und VDI

Inhalt

	Seite
Vorwort	3
Einleitung	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen.....	5
3 Begriffe	6
4 Messdurchführung	10
4.1 Allgemeines.....	10
4.2 Messgeräte	10
5 Auswertung	10
5.1 Allgemeines.....	10
5.2 Bandbreite Δf_c der Frequenzgruppe	11
5.3 Bestimmung der Tonhaltigkeit.....	12
5.3.1 Allgemeines.....	12
5.3.2 Bestimmung des mittleren Schmalbandpegels L_s des verdeckenden Geräusches	12
5.3.3 Bestimmung des Tonpegels L_T eines Tones in einer Frequenzgruppe	13
5.3.4 Ausgeprägtheit eines Tones	13
5.3.5 Bestimmung des Frequenzgruppenpegels L_G des verdeckenden Geräusches	14
5.3.6 Verdeckungsmaß.....	14
5.3.7 Bestimmung der Differenz ΔL	15
5.3.8 Bestimmung der maßgeblichen Differenz ΔL_j eines Schmalbandspektrums	15
5.3.9 Bestimmung der mittleren Differenz ΔL mehrerer Spektren	17
6 Tonzuschlag K_T	17
Anhang A (informativ) Werte der Bandbreite Δf_c der Frequenzgruppen	18
Anhang B (informativ) A-Bewertung	19
Anhang C (informativ) Fenster-Effekt und Picket fence-Effekt [4].....	21
Anhang D (informativ) Auflösungsvermögen des menschlichen Ohres bei Frequenzen kleiner als 1 000 Hz und geometrische Lage der Frequenzgruppen — Eckfrequenzen [15].....	24
Anhang E (informativ) Verdeckung, Mithörschwelle, Verdeckungsmaß [5]	26
Anhang F (informativ) Empfehlungen zur Darstellung von Ergebnissen	27
F.1 Messung	27
F.2 Akustische Umgebung.....	27
F.3 Mess-, Speicher- und Auswertegeräte	27
F.4 Akustische Daten	27
Anhang G (informativ) Berechnung der Unsicherheit der Differenz ΔL	28
Anhang H (informativ) Iterationsverfahren zur Berechnung des Tonzuschlages K_T	31
Anhang I (informativ) Beispiele zur Bestimmung des Tonzuschlages.....	35
I.1 Pumpenanlage mit nur einem Ton in einer Frequenzgruppe	35
I.2 Verbrennungsmotor mit mehreren Tönen in einer Frequenzgruppe	39
I.3 Windenergieanlage mit wechselnden Betriebszuständen	44
Anhang J (informativ) Programm zur Ermittlung des Tonzuschlages	49
Literaturhinweise	62

Vorwort

Diese Norm wurde vom Normenausschuss Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik, Arbeitsausschuss A 2 „Geräuschimmissionen — Ermittlung, Bewertung, Beurteilung“ erarbeitet. Der erste Entwurf dieser Norm wurde im Januar 1992 herausgegeben. Inzwischen sind eine Reihe von Untersuchungen veröffentlicht worden (z. B. [1], [2]), die sich mit der Anwendung dieser Norm in der täglichen Praxis befassen. So wurden in [2] 14 tonhaltige Geräuschbeispiele zusammengestellt, bei denen der Tonzuschlag einerseits subjektiv durch Testpersonen vergeben und andererseits messtechnisch durch Anwendung des ersten Entwurfes dieser Norm bestimmt wurde. In [13] wurde u. a. zusammenfassend über die Anwendung des Entwurfes vom November 2002 auf die Immissionsspektren von 12 unterschiedlichen Windenergieanlagen berichtet. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sowie die Ergebnisse zwischenzeitlich ebenfalls veröffentlichter weiterer nationaler und internationaler Normen und Normentwürfe zur Tonhaltigkeit (z. B. ISO/DIS 1996-2:2003-05, DIN EN 61400-11:2003-11, ANSI S 1.13:1995, ECMA-74:2003-12) führten zur vorliegenden Norm. Dabei ist auf die folgende Entwicklung hinzuweisen:

Der erste Entwurf DIN 45681 wurde im Januar 1992 veröffentlicht und zur Diskussion gestellt. Die Anwendung dessen und daraufhin eingehende Kommentare haben dazu geführt, dass im November 2002 ein zweiter Entwurf mit folgenden wesentlichen Änderungen veröffentlicht wurde.

- a) Einführung eines frequenzabhängigen Verdeckungsmaßes;
- b) Änderung der Tonzuschläge in Abhängigkeit von der Differenz des Tonpegels zum Pegel des verdeckenden Geräusches in der Frequenzgruppe um die Tonfrequenz;
- c) Einführung eines Iterationsverfahrens zur Berechnung des mittleren Schmalbandpegels in der Frequenzgruppe des Tones;
- d) Addition der Tonpegel bei mehreren Tönen in einer Frequenzgruppe;
- e) Anwendung des Verfahrens zur Tonhaltigkeitsbestimmung auf A-bewertete Spektren;
- f) bei Anwendung des Hanning-Fensters muss bei Addition von zwei oder mehr Pegeln eine Korrektur durchgeführt werden;
- g) Einführung von Kriterien für die Ausgeprägtheit eines Tones (maximale Bandbreite und minimale Flankensteilheit);
- h) geändertes Kriterium für die Unterscheidbarkeit benachbarter Töne unter 1000 Hz.

Nach eingehender Behandlung und Auswertung der Kommentare zur Entwurfsfassung vom November 2002 im zuständigen Ausschuss NALS A 2 wurde die vorliegende Norm mit folgenden Änderungen erstellt:

- a) keine Unterscheidung bei der Anwendung des Verfahrens bei stationären und nicht stationären Geräuschen;
- b) Berücksichtigung mehrerer zeitlich versetzter Schmalband-Mittelungsspektren über eine Messzeit von jeweils etwa 3 Sekunden;
- c) Berechnung der Unsicherheit der Differenz ΔL ;
- d) die Anwendung eines Hanning-Fensters ist normativ festgelegt;
- e) Einschränkung der Frequenzauflösung auf den Frequenzbereich $1,9 \text{ Hz} \leq f_T \leq 4,0 \text{ Hz}$;
- f) geometrische Aufteilung der Eckfrequenzen von Frequenzgruppe mit Mittenfrequenzen;
- g) Erweiterung des Untersuchungsbereiches von 100 Hz auf 90 Hz;
- h) die Anzahl der zum mittleren Schmalbandpegel beitragenden Linien muss rechts und links der Tonlinie mindestens 5 betragen.

Einleitung

Geräuschimmissionen sind in der Regel stärker belästigend, wenn sie tonhaltig sind. In Mess- und Beurteilungsverfahren für Geräuschimmissionen (z. B. TA Lärm, DIN 45645-1 und DIN 45645-2, VDI 2058 Blatt 3, ISO 1996-1) sind daher Tonzuschläge zum äquivalenten Dauerschallpegel vorgesehen, um der erhöhten Störwirkung tonhaltiger Geräusche Rechnung zu tragen. In diesen Regelwerken betragen die Tonzuschläge bis zu 6 dB. Ihre Bemessung wird nach dem subjektiven Höreindruck des Gutachters vorgenommen.

Auch in Normen zur Beschreibung von Geräuschemissionen sind Angaben zur Tonhaltigkeit vorgesehen (z. B. DIN 45635-1). Sie können bei Immissionsprognosen zur Beurteilung des Geräusches herangezogen werden.

Die Bemessung von Tonzuschlägen nach dem Höreindruck kann insbesondere dann zu Unsicherheiten bei der Beurteilung führen, wenn Uneinigkeit über das Ausmaß der Tonhaltigkeit besteht. Weiterhin lässt sich aus dem Tonzuschlag nicht ablesen, wie stark ein Ton gemindert werden muss, damit er nicht mehr wahrgenommen werden kann. Aus diesen Gründen ist eine Objektivierung der Tonhaltigkeit und des Tonzuschlages zweckmäßig.

Die Objektivierung der Tonhaltigkeit erfordert eine Analyse der Geräusche, die der Funktionsweise des Gehörs angepasst ist. Dazu müssen der Pegel L_T des Tones und der Pegel L_G des verdeckenden Geräusches in der Frequenzgruppe (s. 3.5) um die Tonfrequenz f_T bestimmt werden. Sind in einer Frequenzgruppe mehrere Töne enthalten, so werden die Pegel dieser Töne energetisch addiert. Töne außerhalb der Frequenzgruppe tragen nur unwesentlich zur Hörbarkeit innerhalb der Frequenzgruppe bei.

Eine Verdeckung eines Tones ist immer dann vorhanden, wenn neben dem Ton ein hörbares Geräusch ohne diesen Ton wirkt, der die Lautstärkeempfindung des Tones mehr oder weniger stark reduziert.

Die Differenz $\Delta L'$ zwischen dem Tonpegel L_T und dem Pegel L_G des verdeckenden Geräusches wird mit dem (negativen) Verdeckungsmaß a_v (siehe 3.16) verglichen. Ist der Wert dieser Differenz $\Delta L'$ kleiner oder gleich a_v , ist der Ton verdeckt, ist diese Differenz größer als a_v , ist der Ton hörbar.

Auch Geräuschanteile in den zu tiefen Frequenzen hin benachbarten Frequenzgruppen können zur Verdeckung von Tönen führen. Da dieser Effekt in der überwiegenden Zahl der praktischen Anwendungen (insbesondere bei breitbandigen Geräuschen) von untergeordneter Bedeutung ist, bleibt er zu Gunsten der Einfachheit der Norm unberücksichtigt. Abschätzungen über eventuelle Auswirkungen können mit Hilfe der Lautheitsverteilung nach DIN 45631 vorgenommen werden.

Das Tonhaltigkeitskriterium dieser Norm gilt nur für die Anwendung auf das am betreffenden Immissionsort wahrnehmbare Geräusch. Der Tonzuschlag wird nur auf den Summenpegel des zu beurteilenden Geräusches vergeben, und nicht auf ein einzelnes Frequenzband, beispielsweise ein Oktavband. Bei Anwendung auf Immissionsanteile einzelner Anlagen oder Anlagenkomponenten liefert die Norm keine Aussagen zur Tonhaltigkeit des Gesamtgeräusches, wenn im Normalfall mehrere Anlagen oder Anlagenkomponenten auf den Messort einwirken.

In den Beurteilungsverfahren ist der Begriff „Tonhaltigkeit“ recht weit gefasst. So sind z. B. auch Tonzuschläge für heulende oder kreischende Töne anzuwenden. Sofern ausreichende physikalische Kriterien für so bezeichnete Töne fehlen, sind der Objektivierung der Tonhaltigkeit Grenzen gesetzt, so dass auf eine subjektive Beurteilung des Geräusches in der Regel nicht verzichtet werden kann.

Hinweise für die Beurteilung von tieffrequenten Geräuschen (kleiner 90 Hz), die einen deutlich hervortretenden Einzelton aufweisen, liefert für Immissionen innerhalb von Gebäuden die DIN 45680.

1 Anwendungsbereich

In dieser Norm wird ein Verfahren zur objektiven Bestimmung der Tonhaltigkeit von Geräuschen und für die Ermittlung eines Tonzuschlages für die Beurteilung von Geräuschemissionen beschrieben.

Die Norm soll das übliche Verfahren der Beurteilung nach dem Höreindruck ergänzen, insbesondere in Fällen, in denen Uneinigkeit über das Ausmaß der Tonhaltigkeit besteht. Weiterhin soll die Norm Hinweise auf den notwendigen Umfang von Minderungsmaßnahmen zur Vermeidung von Tonhaltigkeit geben.

Das beschriebene Verfahren ist anwendbar, wenn die Frequenz des zu beurteilenden Tones gleich oder höher ist als 90 Hz ist. In anderen Fällen, wenn die Tonfrequenz kleiner als 90 Hz ist (siehe DIN 45680) oder wenn andere Eigenarten der Geräusche (z. B. Kreischen) erfasst werden sollen, kann dieses Verfahren zur Ermittlung der Tonhaltigkeit und zur Bemessung eines Tonzuschlages die subjektive Beurteilung nicht ersetzen.

Das normativ festgelegte Verfahren kann für den Einsatz in automatisch arbeitenden Dauermessstationen eingesetzt werden.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente 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).

DIN 1320, *Akustik — Begriffe*

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

DIN 45631, *Berechnung des Lautstärkepegels und der Lauheit aus dem Geräuschspektrum — Verfahren nach E. Zwicker*

DIN 45635-1, *Geräuschmessung an Maschinen — Luftschallemission — Hüllflächen-Verfahren — Rahmenverfahren für 3 Genauigkeitsklassen*

DIN 45641, *Mittelung von Schallpegeln*

DIN 45645-1, *Einheitliche Ermittlung des Beurteilungspegels für Geräuschemissionen — Teil 1: Geräuschemissionen in der Nachbarschaft*

DIN 45645-2, *Einheitliche Ermittlung des Beurteilungspegels für Geräuschemissionen — Teil 2: Geräuschemissionen am Arbeitsplatz*

DIN 45680, *Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschemissionen in der Nachbarschaft*

DIN 45680 Beiblatt 1, *Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschemissionen in der Nachbarschaft — Hinweise zur Beurteilung bei gewerblichen Anlagen*

DIN EN 61672-1, *Elektroakustik — Schallpegelmesser — Teil 1: Anforderungen (IEC 61672-1:2002), Deutsche Fassung EN 61672-1:2003*

DIN EN 61672-2, *Elektroakustik — Schallpegelmesser — Teil 2: Baumusterprüfungen (IEC 61672-2:2003); Deutsche Fassung EN 61672-2:2003*

VDI 2058 Blatt 3, *Beurteilung von Lärm am Arbeitsplatz unter Berücksichtigung unterschiedlicher Tätigkeiten*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

3.1

Tonhaltigkeit

Auftreten eines Tones im Geräusch, dessen Pegel den Pegel der übrigen Geräuschanteile in der Frequenzgruppe um die Tonfrequenz um weniger als den Betrag des Verdeckungsmaßes a_v unterschreitet.

ANMERKUNG Frequenzgruppe siehe 3.5, Verdeckungsmaß a_v siehe 3.16.

3.2

Tonfrequenz

f_T

Frequenz der Spektrallinie (bzw. Mittenfrequenz des Schmalbandfilters), zu deren Pegel der Ton am stärksten beiträgt.

ANMERKUNG Spektrallinie siehe 3.24

3.3

Tonpegel

L_T

energetische Summe des Schmalbandpegels mit der Tonfrequenz f_T und den Seitenlinien um f_T , die diesem Ton zuzurechnen sind. Enthält die Frequenzgruppe der betrachteten Frequenz f_T mehrere Töne, so ist der Tonpegel L_T die energetische Summe dieser Töne. Dieser Pegel L_T wird dann der Frequenz des beteiligten Tones zugeordnet, der die maximale Differenz ΔL aufweist.

ANMERKUNG 1 Frequenzgruppe siehe 3.5, Schmalbandpegel siehe 3.12, Differenz ΔL siehe 5.3.7.

ANMERKUNG 2 Das Verfahren wird in 5.3.3 beschrieben.

3.4

Tonzuschlag

K_T

Korrekturgröße zum äquivalenten Dauerschallpegel, die bei der Bildung von Beurteilungspegeln zur Berücksichtigung der besonderen Lästigkeit tonhaltiger Geräusche angewandt wird

ANMERKUNG Siehe TA Lärm, VDI 3723 Blatt 2, VDI 2058 Blatt 3, DIN 45680 und DIN 45680 Beiblatt 1, DIN 45645-1 und DIN 45645-2.

3.5

Frequenzgruppe

dasjenige Frequenzband mit der Bandbreite Δf_c , innerhalb dessen das Gehör bei der Bildung der Lautheit die Schallintensität, bei der Bildung der Mithörschwelle eines Sinusschalles die Störschallintensität, integriert

ANMERKUNG 1 Diese Eigenschaft einer Frequenzgruppe (siehe auch DIN 1320) gilt nur für einen eingeschränkten Pegelbereich. Diese Abhängigkeit soll hier nicht berücksichtigt werden.

ANMERKUNG 2 Die Bandbreite Δf_c der Frequenzgruppe wird auch kritische Bandbreite (Critical Bandwidth) genannt.

ANMERKUNG 3 Mithörschwelle siehe 3.15.

3.6

mittlerer Schmalbandpegel der Frequenzgruppe

L_S

energetischer Mittelwert aller Schmalbandpegel in einer Frequenzgruppe, die (in der Regel) diesen Mittelwert um nicht mehr als 6 dB überschreiten

ANMERKUNG 1 Das Verfahren wird in 5.3.2 und Anhang H (Iterationsverfahren) beschrieben.

ANMERKUNG 2 Schmalbandpegel siehe 3.23, Frequenzgruppe siehe 3.5.

3.7

Frequenzgruppenpegel

L_G

ein der Frequenzgruppe zuzuordnender Schallpegel, der die verdeckende Eigenschaft des Geräusches auf einen oder mehrere Töne des Geräusches in dieser Frequenzgruppe beschreibt

ANMERKUNG 1 Schmalbandpegel siehe 3.12, Frequenzgruppe siehe 3.5, Verdeckung siehe Anhang E.

ANMERKUNG 2 Definitionsgleichung für L_G siehe 5.3.5.

3.8

Abtastrate (en: sampling rate)

f_s

Anzahl der Abtastwerte N (samples), die je Sekunde genommen werden

ANMERKUNG 1 Die kontinuierlich vorliegenden analogen Daten werden zur digitalen Verarbeitung durch Abtastung (sampling) in diskreten Zeitintervallen in Abtastwerte umgesetzt.

ANMERKUNG 2 Um die Reproduzierbarkeit eines digitalisierten Signals sicherzustellen, muss nach dem Shannon-Theorem die Abtastrate f_s mindestens doppelt so hoch sein wie die höchste Frequenz der zur Auswertung herangezogenen Signalkomponenten im Zeitsignal ($f_s \geq 2f_N$, siehe auch 3.9, 3.10 und 3.20). Der Algorithmus einer FFT-Analyse (die typischerweise verwendete rechenoptimierte Variante der diskreten Fouriertransformation) lässt nur Blocklängen N (siehe 3.11) zu, die einer Potenz von zwei entsprechen. Bei FFT-Analysatoren beträgt deshalb die Abtastrate mindestens das 2,56fache der höchsten zu analysierenden Frequenz.

3.9

Aliasing

Spiegelung im Linienspektrum von Frequenzanteilen aus dem Bereich oberhalb der halben Abtastrate $f_s/2$ in den Bereich unterhalb $f_s/2$ gespiegelt

ANMERKUNG 1 Zur Vermeidung von Fehlern durch derartige Spiegelungen werden Antialiasing-Filter (siehe 3.10) eingesetzt.

ANMERKUNG 2 Linienspektrum siehe 3.12, Abtastrate f_s siehe 3.8.

ANMERKUNG 3 Die halbe Abtastrate $f_s/2$ wird auch als Nyquist-Frequenz bezeichnet.

3.10

Antialiasing-Filter

Tiefpassfilter

ideale Antialiasing-Filter sind Tiefpass-Filter, die für die unterhalb der halben Abtastrate liegenden Frequenzen völlig durchlässig (ohne Signalbeeinflussung) sind und für alle darüber liegenden Frequenzen völlig undurchlässig sind

ANMERKUNG 1 Um dem Aliasing vorzubeugen (siehe 3.9), muss das zu untersuchende Geräusch vor der Analog-Digital-Wandlung mit einem solchen Antialiasing-Filter gefiltert werden.

ANMERKUNG 2 Reale Aliasing-Filter haben eine endliche Dämpfung (üblicherweise 120 dB/Oktave) im Sperrbereich, d. h., Signalanteile in diesem Übergangsbereich werden (gedämpft) gespiegelt. Beispielsweise werden bei der Transformation von 2048 (2 k) Datenpunkten 1024 Frequenzlinien berechnet und 800 Linien dargestellt. Eine Komponente in der Liniennummer 1248 wird in die Liniennummer 800 zurückgefaltet. Bei einem Tiefpassfilter von 120 dB/Oktave beträgt die Dämpfung dieser Komponente etwa 75 dB.

ANMERKUNG 3 In handelsüblichen FFT-Analysatoren ist ein Antialiasing-Filter eingebaut, dessen Grenzfrequenz automatisch mit der wählbaren Abtastrate umgeschaltet wird. Damit werden durch Spiegelung vorgetäuschte Schmalbandpegel unterdrückt.

ANMERKUNG 4 Abtastrate siehe 3.8.

3.11

Blocklänge

N

Block von Abtastwerten, der in diskreter Form einen zeitlich begrenzten Bereich des zu analysierenden Zeitsignals darstellt

ANMERKUNG Im Gegensatz zur Frequenzanalyse mit analogen und digitalen Filtern wird das Geräusch bei der schnellen Fouriertransformation (FFT) in Datenblöcken verarbeitet. Diese Blöcke umfassen in der Regel nur einen Teil der Geräuschaufzeichnung. Die Blocklänge N gibt die Anzahl der jeweils gleichzeitig verarbeiteten Datenpunkte an. Sie beträgt z. B. $N = 1024 = 1 \text{ k}$ Datenpunkte.

3.12

Linienpektrum

(Schmalbandspektrum, Frequenzspektrum)

Auftragung der Schalldruckpegel (Schmalbandpegel) in Abhängigkeit von der Frequenz in Frequenzbändern mit konstanter Bandbreite (Linienabstand Δf); in dieser Norm wird eine A-Bewertung der Pegel vorausgesetzt

ANMERKUNG 1 Die Frequenzanalyse liefert ein Linienpektrum, in dem jede Linie den Ausgang eines Filters repräsentiert, dessen Mittenfrequenz der Frequenz der Spektrallinie entspricht.

ANMERKUNG 2 Schmalbandpegel siehe 3.23, Linienabstand siehe 3.13.

3.13

Linienabstand (Frequenzauflösung)

Δf

Abstand benachbarter Spektrallinien, der Linienabstand bei der FFT beträgt:

$$\Delta f = f_s / N \quad (1)$$

Dabei ist

f_s die Abtastrate;

N die Anzahl der verarbeiteten Datenpunkte.

ANMERKUNG 1 Abtastrate siehe 3.8, Anzahl Datenpunkte siehe 3.11, Spektrallinie siehe 3.24.

ANMERKUNG 2 In dieser Norm beträgt der Linienabstand $1,9 \text{ Hz} \leq \Delta f \leq 4,0 \text{ Hz}$.

3.14

Zeitfenster

Zeitdatensatz des Signalausschnittes (Blocklänge), der mit einer Gewichtsfunktion (Fensterfunktion) multipliziert wird

ANMERKUNG 1 Entsprechend der Definition des Fourier-Integrals wird bei der FFT-Analyse vorausgesetzt, dass der Zeitdatensatz periodisch ist. Ist das (wie bei stochastischen Signalen) nicht der Fall, so führen Abschneideeffekte an den Rändern des Zeitfensters zu Verzerrungen des Spektrums. Diese Verzerrungen werden durch Gewichtsfunktionen wie z. B. die Hanning-Funktion vermieden.

ANMERKUNG 2 In dieser Norm wird die Anwendung des Hanning-Fensters vorgeschrieben.

ANMERKUNG 3 Blocklänge siehe 3.11.

ANMERKUNG 4 Näheres über Fenster- und Gewichtsfunktionen siehe z. B. [3] und Anhang C.

3.15**Mithörschwelle** L_T'

Hörschwelle eines bestimmten Schalls in Gegenwart eines verdeckenden Geräusches (Maskierers)

ANMERKUNG Näheres zur Mithörschwelle und zum verdeckenden Geräusch siehe Anhang E.

3.16**Verdeckungsmaß** a_v

Differenz aus der Mithörschwelle L_T' und dem Frequenzgruppenpegel L_G des verdeckenden Geräusches

ANMERKUNG Frequenzabhängigen Verdeckungsmaß a_v siehe 5.3.6 und Anhang E, ebenso Verdeckung, verdeckendes Geräusch; Mithörschwelle siehe 3.15, Frequenzgruppenpegel siehe 3.7.

3.17**Bandbreite (Frequenzbandbreite)**

Frequenzbereich einer Anzahl benachbarter Spektrallinien

ANMERKUNG Wird die Breite eines Frequenzbandes berechnet, dessen Anfang oder Ende nicht mit der Grenze zwischen zwei Spektrallinien (siehe 3.24) übereinstimmt, so werden nur die Spektrallinien dem Frequenzband zugerechnet, die in ihrer vollen Breite innerhalb des berechneten Frequenzbereiches liegen.

3.18**Ausgeprägtheit (Deutlichkeit)**

Verhältnis der Auffälligkeit eines auf Bandpassrauschen basierenden Tones zur Auffälligkeit eines Sinustones gleicher Tonfrequenz f_T und gleichen Tonpegels L_T

3.19**Flankensteilheit**

Verhältnis der Pegeldifferenz des maximalen Schmalbandpegels eines Tones L_{Tmax} und den Schmalbandpegeln der ersten Linie unterhalb bzw. oberhalb des Tones zur jeweiligen Frequenzdifferenz

ANMERKUNG Schmalbandpegel siehe 3.23.

3.20**Nutzfrequenz** f_N

Obere Grenzfrequenz der zur Auswertung herangezogenen Signalkomponenten

3.21**Untersuchungsbereich**

Bereich, in dem das Linienspektrum nach Tönen untersucht wird

ANMERKUNG Linienspektrum siehe 3.12.

3.22**Schalldruckbandpegel**

Schalldruckpegel in einem bestimmten Frequenzband

ANMERKUNG Das Frequenzband ist anzugeben, z. B. Oktavpegel, Terzpegel.

3.23**Schmalbandpegel**

Mittelungspegel innerhalb einer Spektrallinie

ANMERKUNG Schalldruckbandpegel siehe 3.22, Spektrallinie siehe 3.24.

3.24

Spektrallinie

Frequenzband der Bandbreite Δf (Linienabstand) in einem Linienspektrum

ANMERKUNG Linienspektrum siehe 3.12, Linienabstand siehe 3.13.

4 Messdurchführung

4.1 Allgemeines

Die Messdurchführung richtet sich nach der Aufgabenstellung. Dabei sind die Vorgaben (z. B. der TA Lärm [5]) des angewandten Mess- und Beurteilungsverfahrens hinsichtlich der Auswahl des Messortes, der Messzeit und -dauer, des Fremdgeräusches, usw. zu beachten.

Messgröße für die Bestimmung der Tonhaltigkeit ist der Schalldruck $p(t)$. Bei der Frequenzanalyse ist der A-bewertete energieäquivalente Dauerschallpegel L_{Aeq} nach DIN 45641 bzw. DIN EN 60804 für die jeweiligen Spektrallinien zu ermitteln. Liegt der Bestimmung der Tonhaltigkeit ein unbewertetes (lineares) Spektrum zu Grunde, ist dieses entsprechend Anhang B zu korrigieren.

4.2 Messgeräte

Für die Messungen sind Schallpegelmesser nach DIN EN 61672-1 mindestens der Klasse 2 einzusetzen, die über eine Frequenzbewertung „A“ bzw. „LIN“ mit einer unteren Grenzfrequenz kleiner gleich 20 Hz verfügen.

Als Zusatzgeräte können Speichergeräte (Magnetband-, digitale Speichergeräte) eingesetzt werden. Die über ein Speichergerät ermittelten Messwerte dürfen um nicht mehr als ± 1 dB außerhalb des Toleranzbereiches nach DIN EN 61672-1 bzw. DIN EN 60804 liegen.

Die Analyse der Frequenzkomponenten in den Messsignalen erfolgt mit einem Frequenzanalysator. Der konstante Linienabstand Δf muss zwischen 1,9 Hz und 4 Hz (einschließlich) liegen. Bei der Weiterverarbeitung ist darauf zu achten, dass bei der Digitalisierung des Schalldrucksignals über den gesamten genutzten Dynamikbereich eine Auflösung von mindestens 0,1 dB gegeben ist.

Das analoge Messsignal muss vor der Weiterverarbeitung durch ein steiles Tiefpassfilter (Antialiasing-Filter) zur Vermeidung von Fehlern bei der Frequenzanalyse begrenzt werden. Die Abtastrate (siehe 3.8) muss mindestens doppelt so groß sein wie die größte vorkommende Nutzfrequenz (siehe 3.20). Zur Verringerung von Seitenbändern ist als Zeitfenster das Hanning-Fenster zu verwenden (siehe 3.14).

5 Auswertung

5.1 Allgemeines

Ziel der Auswertung ist die Bestimmung des Tonzuschlages. Das Verfahren unterscheidet nicht zwischen stationären und nicht stationären Geräuschen. Für gerade noch zu erkennende Töne ist eine Achtelnote als höradäquate Basiszeit anzusetzen. Umfangreiche Untersuchungen haben allerdings gezeigt, dass das Verfahren seine untere Anwendungsgrenze bei Mittelungszeiten von etwa 3,0 Sekunden erreicht hat. Geringere Mittelungszeiten führen zu ungerechtfertigten Tonzuschlägen (zu hoch, aber auch zu niedrig). Signale mit sehr hoher Pegel- und/oder Frequenzdynamik, die mit einer 3-Sekunden-Mittelung nicht mehr korrespondieren, können durch diese Norm daher nicht mehr beurteilt werden.

Folgende Bedingungen sind bei den Messungen zu erfüllen:

- die Unsicherheit der Differenz ΔL (siehe Anhang G) darf höchstens $u = \pm 1,4$ dB betragen. Dies ist in der Regel durch Auswertung von mindestens 12 zeitlich versetzten Schmalband-Mittelungsspektren der Fall. Bei weniger als 12 Mittelungsspektren ist eine Betrachtung der Unsicherheit nach Anhang G erforderlich.
- Bei wechselnden Betriebszuständen müssen alle Betriebszustände durch die verwendeten Mittelungsspektren abgedeckt sein (siehe hierzu Anhang I, Beispiel I.3).

Tonale Komponenten in unterschiedlichen Frequenzgruppen werden getrennt beurteilt. Zur Entscheidung, ob ein Tonzuschlag zu geben ist (siehe Abschnitt 6), wird in diesem Fall nur der am stärksten hervortretende Ton herangezogen. Treten innerhalb einer Frequenzgruppe mehrere Töne auf, so werden ihre Tonpegel L_{Ti} zu einem Tonpegel L_T energetisch addiert (siehe 5.3.8).

Ein Ton führt nur dann zu einem Tonzuschlag, wenn seine Ausgeprägtheit (siehe 3.18) mindestens 70 % beträgt. Dies bedeutet eine von der Tonfrequenz abhängige maximale Bandbreite Δf_R (siehe Gleichung (9)) und erfordert eine Flankensteilheit (siehe 3.19) von mindestens 24 dB/Oktave.

ANMERKUNG 1 Ausgeprägtheit eines Tones siehe 5.3.4.

ANMERKUNG 2 Harmonische Vielfache eines Tones werden, unabhängig von diesem Ton, wie jede andere Komponente des Spektrums beurteilt.

ANMERKUNG 3 Ein Mittelungsspektrum wird beispielsweise bei einer Frequenzauflösung von $\Delta f \approx 2,692$ Hz (s. 3.13), einer Abtastrate von 44 100 Hz (siehe 3.8) und einer Blocklänge von 16 384 Datenpunkten (siehe 3.11) in 2,972 Sekunden aus 8 Einzelspektren gebildet. Die geforderten 12 Mittelungsspektren werden in diesem Fall aus einer Bandaufnahme von etwa 36 Sekunden Dauer gebildet.

5.2 Bandbreite Δf_c der Frequenzgruppe

Die Bandbreite Δf_c der Frequenzgruppe um die Tonfrequenz f_T wird wie folgt bestimmt:

$$\Delta f_c = 25,0 \text{ Hz} + 75,0 \left[1,0 + 1,4 \times \left(\frac{f_T / \text{Hz}}{1000} \right)^2 \right]^{0,69} \text{ Hz} \quad (2)$$

Bei einer geometrischen Lage der Eckfrequenzen der Frequenzgruppe (siehe Anhang D) betragen diese Eckfrequenzen f_1 und f_2 mit

$$f_T = \sqrt{f_1 f_2} \text{ Hz} \quad (3)$$

$$f_1 = \left(-\frac{\Delta f_c}{2} + \frac{\sqrt{(\Delta f_c)^2 + 4 f_T^2}}{2} \right) \text{ Hz} \quad (4)$$

$$f_2 = (f_1 + \Delta f_c) \text{ Hz} \quad (5)$$

ANMERKUNG Einige Werte der Bandbreiten der Frequenzgruppen sind beispielhaft im Anhang A angegeben.

5.3 Bestimmung der Tonhaltigkeit

5.3.1 Allgemeines

Die Tonhaltigkeit eines Geräusches wird mit Hilfe des Tonpegels L_T und des Frequenzgruppenpegels L_G des verdeckenden Geräusches in der Frequenzgruppe um die Tonfrequenz f_T bestimmt. Als Tonfrequenz kommen die Frequenzen aller Maxima des Spektrums in Betracht.

In 3.12 wird die Anwendung des Hanning-Fensters vorgeschrieben. Bei Fensterfunktionen (außer beim Rechteckfenster) ist die effektive Analysierbandbreite Δf_e größer als die Bandbreite Δf eines idealen Filters (siehe Gleichung (1)), die einzelnen Bänder überlagern sich also. Bei der Summenbildung werden damit Energieanteile mehrfach gezählt (Näheres hierzu siehe Anhang C).

Bei einem Frequenzanalysator wird dieser Einfluss bei der Summenbildung (Linienanzahl größer 1) durch einen Korrekturwert berücksichtigt; wird die Pegeladdition programmtechnisch nachgebildet, so muss dieser Korrekturwert im Rechenprogramm berücksichtigt werden — und zwar sowohl bei der Bildung des Tonpegels (Gleichung (8)) als auch bei der Berechnung des verdeckenden Geräusches (Gleichung (12)).

5.3.2 Bestimmung des mittleren Schmalbandpegels L_S des verdeckenden Geräusches

Der mittlere Schmalbandpegel L_S (siehe Gleichung (6)) wird in einem Iterationsverfahren aus den Linien der Frequenzgruppe um die zu untersuchende Linie gebildet. Das Verfahren beginnt mit der energetischen Mittelung aller Linien der Frequenzgruppe mit Ausnahme der zu untersuchenden Linie selbst. In den folgenden Schritten werden jeweils die Pegel der Linien der betrachteten Frequenzgruppe bei der Mittelung nicht mehr berücksichtigt, deren Pegel den vorher bestimmten energetischen Mittelwert um mehr als 6 dB überschreiten. Das Iterationsverfahren wird abgebrochen, wenn in einem Iterationsschritt der neue energetische Mittelwert gleich dem aus dem vorherigen Iterationsschritt ist oder die Anzahl der zum mittleren Schmalbandpegel beitragenden Linien rechts oder links der zu untersuchenden Linie die Anzahl 5 unterschreitet. In diesem Fall wird zur Bildung des mittleren Schmalbandpegels der energetische Mittelwert aus dem letzten Iterationsschritt herangezogen, bei dem die Anzahl der energetisch gemittelten Pegel auf beiden Seiten der zu untersuchenden Linie jeweils noch mindestens 5 betrug.

Für die Bestimmung des mittleren Schmalbandpegels wird die gesamte Frequenzgruppe um die zu untersuchende Linie herangezogen. Deshalb ist der Untersuchungsbereich (siehe 3.21) gegenüber der Nutzfrequenz f_N so eingeschränkt, dass die Obergrenze der obersten betrachteten Frequenzgruppe die Nutzfrequenz f_N nicht überschreitet. Eine entsprechende Bedingung gilt grundsätzlich auch für die Untergrenze der untersten betrachteten Frequenzgruppe. Da die Anwendung dieser Norm auf Tonfrequenzen ab 90 Hz beschränkt ist und übliche Analysatoren Linienspektren beginnend mit 0 Hz erzeugen, muss hier in der Regel keine besondere Vorkehrung getroffen werden.

Der mittlere Schmalbandpegel L_S wird wie folgt berechnet:

$$L_S = \left[10 \lg \left(\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M 10^{0,1 L_i / \text{dB}} \right) + 10 \lg \frac{\Delta f}{\Delta f_e} \right] \text{ dB} \quad (6)$$

Dabei ist

L_i Schmalbandpegel der i -ten Spektrallinie, in Dezibel (dB);

M Anzahl der zu mittelnden Spektrallinien in der Frequenzgruppe;

Δf Linienabstand in Hertz (Hz) (Frequenzauflösung, siehe 3.13);

Δf_e effektive Bandbreite in Hz; bei Verwendung eines Hanning-Fensters beträgt die effektive Bandbreite Δf_e das 1,5-fache der Frequenzauflösung (Linienabstand) Δf (siehe 5.3.1 bis 5.3.3).

ANMERKUNG 1 Wird die Frequenzanalyse mit einem unbewerteten (linearen) Spektrum durchgeführt, so ist nach Anhang B zu verfahren.

ANMERKUNG 2 Wird die Iteration abgebrochen, weil die verbleibende Anzahl der zu mittelnden Spektrallinien auf einer oder beiden Seiten 5 unterschreitet, so kann die Tonhaltigkeit etwas größer sein als die mit diesem mittleren Schmalbandpegel berechnete Tonhaltigkeit.

ANMERKUNG 3 Das Iterationsverfahren wird in Anhang H beschrieben.

ANMERKUNG 4 Das Listing eines Programms in Visual Basic for Application (VBA) zur Berechnung der Tonhaltigkeit ist beispielhaft in Anhang J enthalten

5.3.3 Bestimmung des Tonpegels L_T eines Tones in einer Frequenzgruppe

Der Tonpegel L_T wird aus den Einzelpegeln der Spektrallinien in der Frequenzgruppe um f_T bestimmt, die dem Ton zuzuordnende Energie enthalten. Grundsätzlich kann ein Ton nur dann vorliegen, wenn der Pegel der betrachteten Spektrallinie mindestens 6 dB größer als der zugehörige mittlere Schmalbandpegel L_S ist.

In der Regel müssen mehrere Spektrallinien berücksichtigt werden, da z. B. wegen des Picket fence-Effektes (siehe Anhang C) oder tatsächlichen kleinen Frequenzschwankungen während der Datenerfassung die Tonenergie durch Pegel mehrerer Spektrallinien repräsentiert wird.

Benachbarte Spektrallinien sollen zur Summenbildung herangezogen werden, wenn

- ihre Differenz zum Schmalbandpegel bei der Frequenz f_T kleiner als 10 dB und
- ihre Differenz zum mittleren Schmalbandpegel L_S des verdeckenden Geräusches innerhalb der Frequenzgruppe um den Ton größer als 6 dB ist.

$$L_T = L_T \quad \text{für } K = 1 \quad (7)$$

$$L_T = \left[10 \lg \left(\sum_{i=1}^K 10^{0,1 L_{Ti}/\text{dB}} \right) + 10 \lg \frac{\Delta f}{\Delta f_e} \right] \text{ dB} \quad \text{für } K > 1 \quad (8)$$

Dabei ist

L_{Ti} Schmalbandpegel der i -ten Spektrallinie dieser Frequenzgruppe mit Tonenergie, in Dezibel (dB);

K Anzahl der Spektrallinien mit Tonenergie;

Δf Linienabstand in Hz (Frequenzauflösung siehe 3.13);

Δf_e effektive Bandbreite in Hertz (Hz) (siehe 5.3.1).

ANMERKUNG Die Einzelpegel der Spektrallinien mit Tonenergie (siehe Gleichung (8)) enthalten auch Energieanteile des verdeckenden Geräusches. Diese sind in der Regel vernachlässigbar.

5.3.4 Ausgeprägtheit eines Tones

Die Ausgeprägtheit eines Tones hängt von der Bandbreite des Tones und seiner Flankensteilheit ab; sind die entsprechenden Kriterien nicht erfüllt, so ist der Ton für Normalhörende nicht hörbar.

Bei einer Ausgeprägtheit eines auf Bandpassrauschen basierenden Tones von 70 % relativ zur Ausgeprägtheit eines Sinustones (siehe 5.1) ergibt sich die maximal zulässige Bandbreite Δf_R in Abhängigkeit von der Tonfrequenz f_T angenähert zu

$$\Delta f_R = 26 (1,0 + 0,001 f_T) \text{ Hz} \quad (9)$$

Die Bandbreite des Tones mit der Frequenz f_T ergibt sich aus der Anzahl der Spektrallinien K (siehe Gleichung (8)), multipliziert mit dem Linienabstand Δf .

Die Flankensteilheit beträgt mindestens 24 dB/Oktave (siehe 5.1). Daraus berechnen sich die Pegeldifferenzen zwischen dem maximalen Schmalbandpegel des Tones, $L_{T\max}$, und den Schmalbandpegeln der ersten Spektrallinie unterhalb des Tones, L_u , bzw. oberhalb des Tones, L_o , wie folgt:

untere Pegeldifferenz ΔL_u

$$\Delta L_u = \frac{f_T}{\sqrt{2}} \frac{L_{T\max} - L_u}{f_T - f_u} \text{ dB} \geq 24 \text{ dB} \quad (10)$$

Dabei ist

f_u Frequenz der ersten Spektrallinie unterhalb des Tones, in Hertz (Hz);

f_T Frequenz des maximalen Schmalbandpegels, in Hertz (Hz).

obere Pegeldifferenz ΔL_o

$$\Delta L_o = \frac{f_T}{\sqrt{2}} \frac{L_{T\max} - L_o}{f_o - f_T} \text{ dB} \geq 24 \text{ dB} \quad (11)$$

Dabei ist

f_o Frequenz der ersten Spektrallinie oberhalb des Tones, in Hertz (Hz);

f_T Frequenz des maximalen Schmalbandpegels, in Hertz (Hz).

5.3.5 Bestimmung des Frequenzgruppenpegels L_G des verdeckenden Geräusches

Der Pegel L_G wird wie folgt berechnet:

$$L_G = L_S + \left[10 \lg \frac{\Delta f_c}{\Delta f} \right] \text{ dB} \quad (12)$$

Dabei ist

L_S mittlerer Schmalbandpegel, siehe 5.3.2;

Δf_c Bandbreite der Frequenzgruppe um die Tonfrequenz f_T , in Hertz (Hz) (siehe 5.2);

Δf Linienabstand (Frequenzauflösung), in Hertz (Hz).

5.3.6 Verdeckungsmaß

Das Verdeckungsmaß α_v beträgt:

$$a_v = \left[-2 - \lg \left\{ 1 + \left(\frac{f}{502} \right)^{2,5} \right\} \right] \text{dB} \quad (13)$$

Dabei ist

f Frequenz, in Hertz (Hz).

ANMERKUNG Erläuterungen zum Verdeckungsmaß a_v siehe Anhang E.

5.3.7 Bestimmung der Differenz ΔL

Die Differenz ΔL des Tonpegels L_T (siehe 5.3.3) zum Pegel der Mithörschwelle (siehe 3.16) wird folgendermaßen berechnet:

$$\Delta L = [L_T - L_G - a_v] \text{dB} \quad (14)$$

Dabei ist

L_T Tonpegel, in Dezibel (dB) (siehe 5.3.3);

L_G verdeckendes Geräusch, in Dezibel (dB) (siehe 5.3.5);

a_v Verdeckungsmaß, in Dezibel (dB) (siehe 5.3.6).

ANMERKUNG Gleichung (14) gilt entsprechend, wenn alle Parameter dieser Gleichung mit den Indizes j, k (siehe 5.3.8) bzw. j (siehe 5.3.9) versehen sind.

5.3.8 Bestimmung der maßgeblichen Differenz ΔL_j eines Schmalbandspektrums

Zur Bestimmung der Differenz ΔL eines Geräusches werden mehrere (siehe hierzu 5.1) zeitlich versetzte Schmalbandspektren dieses Geräusches mit derselben Linienbreite und derselben Anzahl Linien herangezogen. Die Messzeit eines solchen Spektrums soll etwa 3,0 s betragen. Die maßgebliche Differenz ΔL_j eines einzelnen Spektrums wird in folgenden vier Schritten ermittelt, wobei der Laufindex j aus Vereinfachungsgründen nicht aufgeführt wird.

Schritt 1

Jede Spektrallinie wird in aufsteigender Reihenfolge dahingehend untersucht, ob sie einen potenziellen Ton darstellt. Ein Schmalbandegel ist dann ein potenzieller Ton, wenn die folgenden Bedingungen erfüllt sind:

$$L_i > L_{i+1} \text{ und } L_i > L_{i-1} \quad (15)$$

und

$$L_i > L_{S_i} + 6 \text{ dB} \quad (16)$$

ANMERKUNG 1 Mittlerer Schmalbandpegel L_{S_i} siehe 5.3.2.

Schritt 2

Von allen potenziellen Tönen (Laufindex k über alle potenzielle Töne) werden die Tonpegel L_{T_k} (siehe 5.3.3) bestimmt. Für die Tonpegel, bei denen die Bedingung der Ausprägtheit eines Tones (siehe 5.3.4)

erfüllt sind, werden die verdeckenden Geräusche L_{Gk} (siehe 5.3.5) und die Verdeckungsmaße a_{vk} (siehe 5.3.6) bestimmt. Mit diesen Parametern werden die zugehörigen Differenzen ΔL_k (siehe 5.3.7, Gleichung (14)) berechnet. Gilt

$$\Delta L_k > 0,$$

so liegt ein Ton vor.

Schritt 3

Um jeden dieser hörbaren Töne L_{Tm} (Laufindex m über alle hörbaren Töne) mit der Frequenz f_{Tm} werden die Frequenzgruppen mit der Bandbreite Δf_{cm} gebildet.

- Treten in einer Frequenzgruppe mehrere Töne auf, so werden deren Tonpegel $L_{Tm,n}$ (Laufindex n über alle Töne in der Frequenzgruppe, Anzahl N) energetisch addiert.

$$L_{Tm} = \sum_{n=1}^N 10^{0,1 L_{Tm,n}} / \text{dB} \quad (17)$$

Die Tonfrequenz f_{Tm} ist die Frequenz des am stärksten hervortretenden Tones, d. h. des Tones mit der größten Differenz $\Delta L_{m,n}$.

Der mittlere Schmalbandpegel des verdeckenden Geräusches ist derjenige mittlere Schmalbandpegel, der im Iterationsverfahren nach 5.3.2 (Gleichung (6)) aus den Linien um den Ton mit dieser Tonfrequenz berechnet wurde..

Der Pegel des verdeckenden Geräusches ist der mit diesem mittleren Schmalbandpegel nach 5.3.5 berechnete Frequenzgruppenpegel $L_{Gm,n}$.

Mit diesem Tonpegel L_{Tm} wird die maßgebliche Differenz ΔL_k (siehe Schritt 2) neu berechnet.

ANMERKUNG 2 Es kann vorkommen, dass Energie einzelner Spektrallinien gleichzeitig mehreren benachbarten Tönen zugeordnet ist. Bei der Addition der Tonpegel benachbarter Töne ist darauf zu achten, dass die Energie dieser einzelnen Spektrallinien nicht mehrfach addiert wird.

- Treten in einer Frequenzgruppe genau zwei Töne mit den Tonfrequenzen f_{T1} und f_{T2} auf, so werden sie getrennt beurteilt, wenn beide Tonfrequenzen unter 1000 Hz liegen und die Frequenzdifferenz f_D

$$f_D = |f_{T1} - f_{T2}| \text{ Hz} \quad f_{T1}, f_{T2} < 1000 \text{ Hz} \quad (18)$$

den folgenden Wert überschreitet (siehe hierzu Anhang D):

$$f_D = 21 \times 10^{1,2 \left[\lg \left(\frac{f_T}{212} \right) \right]} \text{ Hz} \quad 88 \text{ Hz} < f_T < 1000 \text{ Hz} \quad (19)$$

Dabei ist

f_T Frequenz des stärker hervortretenden Tones (Ton mit der größeren Differenz ΔL_k).

ANMERKUNG 3 Treten in einer Frequenzgruppe unter 1000 Hz genau zwei Töne auf, so unterscheidet das menschliche Gehör kleinere Differenzen als die halbe Frequenzgruppenbreite ([15], [14], Anhang D).

Schritt 4

Die Differenz mit dem maximalen Wert ΔL_k ist die maßgebliche Differenz ΔL_j des Einzelspektrums.

5.3.9 Bestimmung der mittleren Differenz ΔL mehrerer Spektren

Nach 5.3.8 wird für jedes Schmalband-Mittelungsspektrum (Laufindex j , Anzahl L) die maßgebliche Differenz ΔL_j berechnet. Diese L Differenzen ΔL_j sind zu einer Differenz ΔL energetisch zu mitteln:

$$\Delta L = \left[10 \lg \left(\frac{1}{L} \sum_{j=1}^L 10^{0,1 \Delta L_j / \text{dB}} \right) \right] \text{dB} \quad (20)$$

Mit diesem ΔL ist der Tonzuschlag K_T nach Abschnitt 6 zu bestimmen.

Die Tonfrequenzen sind die Frequenzen der Töne, denen diese Differenzen zugeordnet sind. Um einen ausreichenden Abstand zu den positiven Differenzen ΔL_j zu gewährleisten, wird für alle Spektren, in denen kein Ton gefunden wurde, für ΔL_j folgender Wert gesetzt:

$$\Delta L_j = -10 \text{ dB} \quad (21)$$

Für diese ΔL_j werden keine Tonfrequenzen angegeben.

ANMERKUNG Es werden die Differenzen ΔL_j (und nicht die Tonpegel L_{Tj}) energetisch gemittelt, da in den einzelnen Spektren die Töne unterschiedliche Tonfrequenzen aufweisen und damit unterschiedliche Verdeckungsmaße a_v (Gleichung (13)) und verdeckende Geräusche (Gleichung (14)) berechnet werden müssen.

6 Tonzuschlag K_T

Bei der Beurteilung von Geräuschimmissionen wird ein Tonzuschlag K_T gegeben, wenn die nach 5.3.9 berechnete Differenz $\Delta L > 0$ beträgt. Die Höhe des Tonzuschlages K_T richtet sich nach der durch die Differenz ΔL gegebenen Deutlichkeit, mit der die tonale Komponente aus dem verdeckenden Geräusch hervortritt.

Die Höhe des Tonzuschlages K_T in Abhängigkeit von ΔL ergibt sich aus Tabelle 1.

Tabelle 1 — Tonzuschlag K_T in Abhängigkeit von ΔL

Differenz ΔL dB	Tonzuschlag K_T dB
$\Delta L \leq 0$	0
$0 < \Delta L \leq 2$	1
$2 < \Delta L \leq 4$	2
$4 < \Delta L \leq 6$	3
$6 < \Delta L \leq 9$	4
$9 < \Delta L \leq 12$	5
$12 < \Delta L$	6

Anhang A (informativ)

Werte der Bandbreite Δf_c der Frequenzgruppen

Tabelle A.1 — Werte der Bandbreite Δf_c der Frequenzgruppen

Tonfrequenz	Bandbreite der Frequenzgruppen
f_T Hz	Δf_c Hz
100	101
150	102
250	105
350	109
450	114
570	122
700	133
840	145
1000	162
1170	182
1370	207
1600	239
1850	277
2150	325
2500	386
2900	460
3400	559
4000	685
4800	867
5800	1111
7000	1426
8500	1851
10500	2463
13500	3469

Zur rechnerischen Bestimmung der Bandbreite Δf_c siehe 5.2.

Anhang B (informativ)

A-Bewertung

Wird die Frequenzanalyse mit dem unbewerteten (linearen) Schalldruckpegel durchgeführt, so errechnet sich der A-bewertete Schalldruckpegel zu

$$L_{Ai} = L_i + A(f_i) \quad (\text{B.1})$$

Dabei ist

L_i der unbewertete Pegel der i -ten Spektrallinie;

$A(f_i)$ die Korrektur nach Gleichung (B.2).

Die rechnerische Bestimmung der Korrektur wird entsprechend DIN EN 61672-1 wie folgt vorgenommen. Ist f_i die Frequenz der i -ten Spektrallinie, so gilt:

$$A(f_i) = 20 \lg \left[\frac{f_4^2 f_i^4}{(f_i^2 + f_1^2)(f_i^2 + f_2^2)^{1/2}(f_i^2 + f_3^2)^{1/2}(f_i^2 + f_4^2)} \right] - A_{1000} \quad (\text{B.2})$$

Alle Frequenzen in Hertz.

Dabei ist A_{1000} eine Normierungskonstante in Dezibel und stellt die erforderliche elektrische Verstärkung dar, um die Frequenzbewertung bei 1 kHz auf 0 dB zu bringen. Sie beträgt auf das nächste Tausendstel gerundet $A_{1000} = -2,000$ dB.

Die Polfrequenzen f_1 und f_4 , in Hertz, sind als Lösungen der folgenden biquadratischen Gleichungen zu bestimmen.

$$f_1 = \left[\frac{-b - \sqrt{b^2 - 4c}}{2} \right]^{1/2} \quad (\text{B.3})$$

$$f_4 = \left[\frac{-b + \sqrt{b^2 - 4c}}{2} \right]^{1/2} \quad (\text{B.4})$$

Die Konstanten b und c sind wie folgt zu bestimmen:

$$b = \left(\frac{1}{1-D} \right) \left[f_r^2 + \frac{f_L^2 f_H^2}{f_r^2} - D(f_L^2 + f_H^2) \right] \quad (\text{B.5})$$

$$c = f_L^2 f_H^2 \quad (\text{B.6})$$