

VEREIN
DEUTSCHER
INGENIEURE

Raumluftechnik
Geräuscherzeugung und Lärminderung
Air-conditioning
Noise generation and noise reduction

VDI 2081
Blatt 1 / Part 1

Ausg. deutsch/englisch
Issue German/English

Die deutsche Version dieser Richtlinie ist verbindlich.

The German version of this standard shall be taken as authoritative. No guarantee can be given with respect to the English translation.

Inhalt	Seite	Contents	Page
Vorbemerkung	3	Preliminary note.....	3
Einleitung.....	3	Introduction.....	3
1 Anwendungsbereich.....	4	1 Scope.....	4
2 Normative Verweise.....	5	2 Normative references.....	5
3 Begriffe.....	5	3 Terms and definitions.....	5
4 Formelzeichen.....	6	4 Symbols.....	6
5 Akustische Grundlagen.....	10	5 Basic acoustic principles.....	10
5.1 Allgemeines.....	10	5.1 General.....	10
5.2 Schalldruckpegel.....	12	5.2 Sound pressure level.....	12
5.3 Schallschnelle und Schallintensität.....	12	5.3 Sound particle velocity and sound intensity.....	12
5.4 Schalleistungspegel.....	13	5.4 Sound power level.....	13
5.5 Frequenzbänder.....	13	5.5 Frequency bands.....	13
5.6 Pegeladdition.....	14	5.6 Level summation.....	14
5.7 Pegelsubtraktion.....	15	5.7 Level subtraction.....	15
5.8 Schalldruckpegelmittelung.....	16	5.8 Sound pressure level averaging.....	16
5.9 Geräuschbewertung.....	16	5.9 Noise rating.....	16
6 Allgemeines.....	20	6 General.....	20
7 Richtwerte für den maximalen Schalldruckpegel.....	20	7 Standard values for the maximum sound pressure level.....	20
7.1 Schalldruckpegel in belüfteten Räumen.....	20	7.1 Sound pressure level in ventilated rooms.....	20
7.2 Schalldruckpegel außerhalb des Gebäudes.....	21	7.2 Sound pressure level outside the building.....	21
8 Ermittlung des Ventilatorgeräuschs.....	25	8 Determination of fan noise.....	25
8.1 Ursachen des Ventilatorgeräuschs.....	25	8.1 Causes of fan noise.....	25
8.2 Messung des Ventilatorgeräuschs.....	26	8.2 Measurement of fan noise.....	26
8.3 Prognose des Ventilatorgeräuschs.....	26	8.3 Prediction of fan noise.....	26
9 Ermittlung der Geräusche von raumluftechnischen Geräten.....	29	9 Determination of noise from air-handling units.....	29
9.1 Ursachen des Geräuschs von RLT-Geräten.....	29	9.1 Causes of noise from air-handling units.....	29
9.2 Messung des Geräuschs von RLT-Geräten.....	30	9.2 Measurement of noise from air-handling units.....	30
9.3 Prognose des Geräuschs von RLT-Geräten.....	31	9.3 Prediction of noise from air-handling units.....	31

VDI-Gesellschaft Bauen und Gebäudetechnik (GBG)

Fachbereich Technische Gebäudeausrüstung

VDI-Handbuch Raumluftechnik
VDI-Handbuch Lärminderung
VDI-Handbuch Ressourcenmanagement in der Umwelttechnik

This is a preview. [Click here to purchase the full publication.](#)

Inhalt	Seite
10 Ermittlung der Schalleistung von Leitungsnetzen	35
10.1 Allgemeines	35
10.2 Bestimmung der Schalleistung von Bauelementen.....	36
10.3 Abschätzung der Schalleistung von Bauelementen.....	36
11 Abschätzung der in der Anlage zu erwartenden Schallpegelsenkung	44
11.1 Gerade Strecke der Luftleitung	44
11.2 Umlenkungen.....	46
11.3 Querschnittssprung	47
11.4 Verzweigungen	48
11.5 Pegelsenkung durch weitere raumluftechnische Anlagenelemente.....	49
11.6 Mündungsreflexion	49
12 Schallausbreitung	50
12.1 Schallfelder in Räumen.....	50
12.2 Schallausbreitung im Freien.....	57
13 Ermittlung der erforderlichen Schallschutzmaßnahmen	60
13.1 Schallabstrahlung in Räume.....	60
13.2 Schalldämpfer	60
13.3 Luftschalldämmung eines Bauteils	68
13.4 Schalldämmung von Luftleitungen	69
13.5 Schalldämmende Kapsel.....	86
13.6 Schwingungsisolierung und Körperschalldämmung.....	86
Schrifttum	98

Contents	Page
10 Determination of the sound power of duct systems	35
10.1 General	35
10.2 Determination of the sound power of components.....	36
10.3 Estimation of the sound power of components.....	36
11 Estimation of the sound level reduction to be expected in the system	44
11.1 Straight air duct	44
11.2 Bends	46
11.3 Step change in cross-section.....	47
11.4 Branches	48
11.5 Level reduction afforded by further components of ventilation and air-conditioning systems	49
11.6 End reflection	49
12 Sound propagation	50
12.1 Sound fields in rooms	50
12.2 Outdoor sound propagation	57
13 Determination of the required noise control measures	60
13.1 Sound radiation into rooms.....	60
13.2 Silencers.....	60
13.3 Airborne sound insulation of a building component	68
13.4 Sound insulation provided by air ducts....	69
13.5 Acoustic enclosure.....	86
13.6 Vibration and structure-borne sound isolation	86
Bibliography	98

Vorbemerkung

Der Inhalt dieser Richtlinie ist entstanden unter Beachtung der Vorgaben und Empfehlungen der Richtlinie VDI 1000.

Alle Rechte, insbesondere die des Nachdrucks, der Fotokopie, der elektronischen Verwendung und der Übersetzung, jeweils auszugsweise oder vollständig, sind vorbehalten.

Die Nutzung dieser Richtlinie ist unter Wahrung des Urheberrechts und unter Beachtung der Lizenzbedingungen (www.vdi.de/richtlinien), die in den VDI-Merkblättern geregelt sind, möglich.

Allen, die ehrenamtlich an der Erarbeitung dieser Richtlinie mitgewirkt haben, sei gedankt.

Eine Liste der aktuell verfügbaren und in Bearbeitung befindlichen Blätter dieser Richtlinienreihe sowie gegebenenfalls zusätzliche Informationen sind im Internet abrufbar unter www.vdi.de/2081.

Einleitung

Die Richtlinienreihe VDI 2081 vermittelt die gesammelten Erfahrungen für den Schallschutz bei raumlufttechnischen Anlagen (RLT-Anlagen) und führt als Regel der Technik zu praxisgerechten Problemlösungen.

Zielgruppen sind vor allem Planer, Komponentenhersteller, Anlagenerrichter, bauausführende Unternehmer, Eigentümer und Betreiber.

Die in RLT-Anlagen auftretenden Geräusche sind vielschichtig und können zu Belästigungen führen. Diese Geräusche entstehen

- in den Geräten (z.B. Ventilator),
- im Leitungsnetz durch die strömende Luft sowie
- in Anlagenkomponenten (z.B. Klappen, Luftdurchlässe).

Die Geräuschübertragung erfolgt als Fluid- und Körperschall sowie als Luftschall.

Der Ventilator ist die wichtigste Schallquelle im Lüftungssystem. In einigen Fällen können auch der Motor und die Kraftübertragung ebenso wie vorhandene Kühlkompressoren Körperschall emittieren. Die Schallstärke wird durch den charakteristischen Körperschalleistungspegel angegeben, der aus den an den Kontaktpunkten zur Gebäudekonstruktion (Ständer oder Fundament des RLT-Geräts) gemessenen Daten eines äquivalenten Kraftpegels oder eines äquivalenten Schnellepegels bestimmt wird.

Im Rahmen des Schallschutzes in schutzbedürftigen Räumen der Nachbarschaft (u.a. DIN 4109-1 und VDI 4100) und am Arbeitsplatz (z.B. Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV), anerkannte technische Regeln) sind entsprechende Maßnahmen zur

Preliminary note

The content of this standard has been developed in strict accordance with the requirements and recommendations of the standard VDI 1000.

All rights are reserved, including those of reprinting, reproduction (photocopying, micro copying), storage in data processing systems and translation, either of the full text or of extracts.

The use of this standard without infringement of copyright is permitted subject to the licensing conditions (www.vdi.de/richtlinien) specified in the VDI Notices.

We wish to express our gratitude to all honorary contributors to this standard.

A catalogue of all available parts of this series of standards and those in preparation as well as further information, if applicable, can be accessed on the Internet at www.vdi.de/2081.

Introduction

The VDI 2081 Series of Standards is a compilation of expert knowledge for noise control in ventilation and air-conditioning systems. Being a rule of technology, it leads to practical solutions.

The key target groups are planners, component manufacturers, system installers, building contractors, owners, and operators.

The noise generated in ventilation and air-conditioning systems is complex and can lead to annoyance. Noise is generated

- in the equipment (e.g. fan),
- in the duct system, due to the air flow, and
- in system components (e.g. dampers, air terminal devices).

Noise is transmitted as fluid- and structure-borne noise and as airborne noise.

The fan is the primary sound source in the ventilation system. In some cases, the motor and the power transmission as well as any existing chillers can also emit structure-borne noise. The acoustic power is given in terms of the characteristic structure-borne sound power level which is determined from the data of equivalent force level or equivalent particle velocity level measured at the contact points with the building structure (rack or foundation of air-handling unit).

In the context of noise control in rooms requiring noise protection, both in the neighbourhood (e.g. DIN 4109-1 and VDI 4100) and at the workplace (e.g. German Workplaces Ordinance (ArbStättV), acknowledged rules of technology), appropriate

Geräuschminderung gefordert, die in dieser Richtlinie vorgeschlagen werden.

Die nach den anerkannten Regeln der Technik errichtete RLT-Anlage trägt selbst zur Geräuschminderung bei, die jedoch in der Regel durch Sekundärmaßnahmen (Schalldämpfer oder schalldämmende Ummantelung) verbessert werden muss. Die Schallminderung im schutzbedürftigen Raum oder dessen akustische Eigenschaft wird durch die Bauweise des Raums in Verbindung mit der ausgeführten RLT-Anlage bestimmt.

Schallschutzmaßnahmen müssen bereits bei der Planung des Gebäudes berücksichtigt werden, da sie nachträglich kaum oder nur mit großem Aufwand realisiert werden können.

Schutzbedürftige Räume sollen nicht unmittelbar an Aufstellräume für Lüftungszentralgeräte grenzen. Es ist insbesondere auf den baulichen Schallschutz zu achten.

In dieser Richtlinie werden die Geräuschquellen sowie die Geräuschminderung in RLT-Anlagen behandelt, um Anleitungen für die schalltechnische Planung und Gestaltung zu geben. Zusätzlich zeigt ein Näherungsverfahren, wie der durch die RLT-Anlage im schutzbedürftigen Raum erzeugte Schalldruckpegel ermittelt werden kann.

Die Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden erfolgt nach DIN EN 12354-5 und beschreibt Berechnungsmodelle für die durch gebäudetechnische Anlagen erzeugten Schalldruckpegel. Die Berechnung basiert vorrangig auf Messdaten, die sowohl die Schallquellen als auch die Gebäudekonstruktionen kennzeichnen.

Die Schallübertragung vom Lüftungssystem zum Gebäude erfolgt über die Luft und als Körperschall. Die Übertragung durch die Luftleitung ist auch relevant für die zwischen Räumen auftretende indirekte Schallübertragung.

Beispiele zur Anwendung der Richtlinie werden in VDI 2081 Blatt 2 behandelt.

1 Anwendungsbereich

Diese Richtlinie gilt für alle RLT-Anlagen, die der Lüftung oder Klimatisierung von Aufenthalts- und Arbeitsräumen dienen. Sie bezieht sich auf die im Zusammenhang mit der Errichtung solcher Anlagen zu stellenden schallschutztechnischen Anforderungen und die dafür zu treffenden Maßnahmen. Sie bezieht sich nicht auf Maßnahmen an der Baukonstruktion, in denen die RLT-Anlagen installiert sind.

measures for noise reduction are stipulated. Such measures are proposed in this standard.

The ventilation and air-conditioning system installed in accordance with the acknowledged rules of technology contributes by itself to noise reduction, but this noise reduction normally has to be enhanced by secondary measures (silencers or sound insulation covering). Noise reduction in the room requiring noise protection or the acoustic properties of the room are determined by the construction of the room in combination with the installed ventilation and air-conditioning system.

Noise control measures shall be considered as early as the building is planned, given that retrofitting is hardly practicable or can only be achieved through considerable effort.

Rooms requiring noise protection shall not be directly adjacent to central ventilation equipment rooms. Structural noise control shall be given particular consideration.

This standard describes the noise sources and the noise reduction in ventilation and air-conditioning systems in order to give guidance in acoustic planning and design. Additionally, an approximation method shows how to determine the sound pressure level generated by the ventilation and air-conditioning system in the room requiring noise protection.

The calculation of the acoustic properties of buildings complies with DIN EN 12354-5 and describes calculation models for the sound pressure levels generated by building services systems. The calculation is based mainly on measured data characterising both the noise sources and the building structures.

Noise is transmitted from the ventilation system to the building through air and through structures. Transmission through the air duct is also relevant for the indirect noise transmission between rooms.

Examples of application of the standard are described in VDI 2081 Part 2.

1 Scope

This standard is applicable to all ventilation and air-conditioning systems used for the ventilation or air conditioning of occupied areas and workrooms. It pertains to the acoustic requirements to be specified in connection with the installation of such systems and the relevant measures to be taken. It does not pertain to measures on the building structure in which the ventilation and air-conditioning systems are installed.

2 Normative Verweise / Normative references

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieser Richtlinie erforderlich: /

The following referenced documents are indispensable for the application of this standard:

Verordnung über Arbeitsstätten (Arbeitsstättenverordnung – ArbStättV) vom 12. August 2004

Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG) vom 17. Mai 2013

Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm – TA Lärm) vom 26. August 1998

DIN 4109-1:2018-01 Schallschutz im Hochbau; Teil 1: Mindestanforderungen (Sound insulation in buildings; Part 1: Minimum requirements)

DIN ISO 9613-2:1999-10 Akustik; Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien; Teil 2: Allgemeines Berechnungsverfahren (ISO 9613-2:1996) (Acoustics; Attenuation of sound during propagation outdoors; Part 2: General method of calculation (ISO 9613-2:1996))

VDI 3760:1996-02 Berechnung und Messung der Schallausbreitung in Arbeitsräumen (Computation and measurement of sound propagation in workrooms)

VDI 4100:2012-10 Schallschutz im Hochbau; Wohnungen; Beurteilung und Vorschläge für erhöhten Schallschutz (Sound insulation between rooms in buildings; Dwellings; Assessment and proposals for enhanced sound insulation between rooms)

VDI 4700 Blatt 1:2015-10 Begriffe der Bau- und Gebäudetechnik (Terminology of civil engineering and building services)

3 Begriffe

Für die Anwendung dieser Richtlinie gelten die Begriffe nach VDI 4700 Blatt 1 sowie die folgenden Begriffe:

A-bewerteter Schalldruckpegel

(A-Schallpegel, L_{pA})
in dB

mit der Frequenzbewertung A bewerteter Schalldruckpegel, der ein Maß für die Stärke eines Geräuschs ist [in Anlehnung an VDI 4700 Blatt 1 in Anlehnung an DIN 4109-1, 3.1]

Anmerkung: Beim Vergleich mit Anforderungen ist je nach Herkunft des Geräuschs zu unterscheiden in zeitabhängige, räumlich und/oder zeitlich gemittelte und maximale Schalldruckpegel. [DIN 4109-1, 3.1]

Beurteilungspegel (L_r)

in dB

Maß für die durchschnittliche empfundene Geräuschimmission während der Beurteilungszeit T

Anmerkung: Der Beurteilungspegel setzt sich zusammen aus dem Mittelungspegel $L_{A,F,eq}$ (energieäquivalenter Dauerschallpegel) und Zuschlägen, z.B. für Impuls- und Tonhaltigkeit (siehe DIN 45645-1, TA Lärm oder DIN 18005-1).

Frequenzband

Unterteilung des interessierenden Frequenzbereichs in Bänder zur näheren Charakterisierung eines Geräuschs oder der akustischen Eigenschaften eines Bauteils

Anmerkung: Die Unterteilung in Bänder mit der Breite einer Oktave wird in der Raumlufttechnik bevorzugt.

3 Terms and definitions

For the purposes of this standard, the terms and definitions as per VDI 4700 Part 1 and the following terms and definitions apply:

A-weighted sound pressure level

(A-weighted noise level, L_{pA})
in dB

sound pressure level obtained using the A-frequency-weighting, which is a measure of loudness [adapted from VDI 4700 Part 1 adapted from DIN 4109-1, 3.1]

Note: When comparing against requirements, a distinction shall be made depending on the sound source between time-dependent, spatially and/or time-averaged and maximum sound pressure levels. [adapted from DIN 4109-1, 3.1]

noise rating level (L_r)

in dB

measure of the average perceived noise immission over the rating period T

Note: The noise rating level is the average level $L_{A,F,eq}$ (equivalent continuous sound level) corrected for, e.g., impulsiveness and tonality (see DIN 45645-1, TA Lärm, or DIN 18005-1).

frequency band

division of the frequency range of interest into bands for a more detailed description of a noise or the acoustic properties of a component

Note: In ventilation and air-conditioning engineering, division into octave bands is preferred.

Schalldruckpegel (L_p)

in dB

zehnfacher dekadischer Logarithmus des Verhältnisses des jeweiligen Schalldruckquadrats p^2 zum Bezugsschalldruckquadrat p_0^2

Anmerkung: Der Schalldruckpegel wird berechnet mit: $L = 10 \cdot \lg(p^2/p_0^2)$ dB. p ist der Effektivwert des Schalldrucks in Pa. Der Effektivwert des Bezugsschalldrucks p_0 ist international mit $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Pa festgelegt.

Schalleistungspegel (L_W)

in dB

zehnfacher dekadischer Logarithmus des Verhältnisses der jeweiligen Schalleistung P zur festgelegten Bezugsschalleistung P_0

Anmerkung: Die Bezugsschalleistung ist international mit $P_0 = 10^{-12}$ W festgelegt.

Schallpegeldifferenz (D)

in dB

Differenz der zeitlichen Mittelwerte der Schalldruckpegel zweier Räume, die von einer oder mehreren Schallquellen in einem der beiden Räume erzeugt werden

Anmerkung: Diese Differenz hängt auch davon ab, wie groß die Nachhallzeit im Empfangsraum ist.

sound pressure level (L_p)

in dB

ten times the decimal logarithm of the ratio of the respective sound pressure squared, p^2 , to the reference sound pressure squared, p_0^2

Note: The sound pressure level is calculated as: $L = 10 \cdot \lg(p^2/p_0^2)$ dB. p is the root mean square of the sound pressure, expressed in Pa. The root mean square of the reference sound pressure p_0 has been internationally specified to be $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Pa.

sound power level (L_W)

in dB

ten times the decimal logarithm of the ratio of the respective sound power P to the specified reference sound power P_0

Note: The reference sound power has been internationally specified to be $P_0 = 10^{-12}$ W.

level difference (D)

in dB

difference between the time averages of the sound pressure levels in two rooms which are generated by one or several sound sources in one of the two rooms

Note: This difference also depends on the reverberation time in the receiving room.

4 Formelzeichen

In dieser Richtlinie werden die nachfolgend aufgeführten Formelzeichen verwendet:

4 Symbols

The following symbols are used throughout this standard:

Formelzeichen / Symbol	Bezeichnung	Designation	Einheit / Unit
A	äquivalente Absorptionsfläche	equivalent sound absorption area	m ²
a	größte Seitenlänge der Luftleitung	longer side length of air duct	m
A_{ER}	äquivalente Absorptionsfläche des Empfangsraums	equivalent sound absorption area of receiving room	m ²
A_{ref}	Referenzfläche $A_{ref} = 1$	reference area $A_{ref} = 1$	m ²
A_2	äquivalente Absorptionsfläche des Empfangsraums	equivalent sound absorption area of receiving room	m ²
c	Schallgeschwindigkeit	speed of sound	m/s
c_L	Ausbreitungsgeschwindigkeit der Longitudinalwelle in der Platte	longitudinal wave propagation speed in the plate	m/s
c_R	Schallgeschwindigkeit in der Rohrwand	speed of sound in air duct wall	m/s
c_w	Schallgeschwindigkeit in Stahl	speed of sound in steel	m/s
D	Durchmesser	diameter	m, mm
D	Schallpegeldifferenz	level difference	dB
d	innerer Durchmesser der Luftleitung	inner diameter of air duct	m
d	Kerndurchmesser (bei Rohrschalldämpfern)	core diameter (of circular duct silencers)	m
d	Rohrdurchmesser	circular duct diameter	m
D_{div}	Ausbreitungsdämpfung	propagation loss	dB
$D_{LD,ER}$	Durchgangsdämpfungsmaß – Schallübertritt von der Luftleitung in den Raum	transmission loss – sound transmission from air duct into room	dB

Formelzeichen / Symbol	Bezeichnung	Designation	Einheit / Unit
$D_{LD,SR}$	Durchgangsdämpfungsmaß – Schalleintritt vom Raum in den Luftauslass und die Luftleitung	transmission loss – sound entry from room into air outlet and air duct	dB
$D_{n,f,Luftweg}$	Norm-Flankenpegeldifferenz	flanking normalised level difference	dB
D_W	Schalleistungspegelminderung	sound power level reduction	dB
D_{WA}	Schalleistungspegelminderung, A-bewertet	sound power level reduction, A-weighted	dB
D_0	Bezugsanschlussdurchmesser	reference connection diameter	m
d_a	Durchmesser der Abzwegleitung	diameter of branch duct	m
d_g	Durchmesser des flächengleichen Kreisquerschnitts	diameter of equivalent circular cross-section	m
d_h	hydraulischer Durchmesser	hydraulic diameter	m
d_k	Kulissendicke	baffle thickness	m
d_{ref}	Bezugsdurchmesser $d_{ref} = 1$	reference diameter $d_{ref} = 1$	m
DI	Richtwirkungsmaß	directivity index	dB
F	Effektivwert der anregenden Wechselkraft	root mean square of alternating excitation force	N
F_n	komplexe Amplitude der flächennormalen Wechselkraft	complex amplitude of surface normal alternating force	N
f	Frequenz	frequency	Hz
f_G	Grenzfrequenz	cut-off frequency	Hz
f_m	Mittenfrequenz eines Terz- oder Oktavbands	centre frequency of one-third octave band or octave band	Hz
f_o	obere Frequenzgrenze	upper frequency limit	Hz
$\Delta f_{Okt}, \Delta f_{Terz}$	Breite des Frequenzbands	frequency bandwidth	Hz
f_{ref}	Bezugsfrequenz $f_{ref} = 1$	reference frequency $f_{ref} = 1$	Hz
f_u	untere Frequenzgrenze	lower frequency limit	Hz
f_Z	Blattfolgefrequenz	blade pass frequency	Hz
f_0	Abstimmfrequenz	tuning frequency	Hz
h	Wanddicke (bei Luftleitungen)	wall thickness (of air ducts)	m
h	Dicke der Platte	plate thickness	m
h_{ref}	Bezugswanddicke $h_{ref} = 1$	reference wall thickness $h_{ref} = 1$	mm
I	Schallintensität	sound intensity	W/m ²
I_0	Bezugsschallintensität $I_0 = 10^{-12}$	reference sound intensity $I_0 = 10^{-12}$	W/m ²
K	Korrekturwert (Einfluss des Abrundungsradius auf das Strömungsgeräusch)	correction value (effect of fillet radius on flow noise)	–
K_C	Richtwirkungskorrektur	directivity correction	dB
K_0	Raumwinkelmaß	solid angle index	dB
K_1	Pegelzunahme	level increase	dB
L	Summenpegel	total level	dB
L	Kulissenlänge	baffle length	m
ΔL	Pegeldifferenz	level difference	dB
ΔL_A	Frequenzbewertung A (oder kurz: A-Bewertung)	A-frequency-weighting (or short: A-weighting)	dB
L_{eff}	wirksame Länge des Rohrschalldämpfers	effective length of circular duct silencer	m
L_1	Schallintensitätspegel	sound intensity level	dB
ΔL_i	Einfügungsdämmmaß	insertion loss	dB
L_1, L_2, L_i	Einzelpegel	individual level	dB
L_p	Schalldruckpegel	sound pressure level	dB

Formelzeichen / Symbol	Bezeichnung	Designation	Einheit / Unit
$L_{p,eq}$	zeitlich gemittelter Schalldruckpegel	time-averaged sound pressure level	dB
$L_{p,ges}$	Gesamtschalldruckpegel	overall sound pressure level	dB
$L_{p,m}$	örtlich gemittelter Schalldruckpegel	spatially averaged sound pressure level	dB
L_{pA}	A-bewerteter Schalldruckpegel	A-weighted sound pressure level	dB
L_{pAeq}	zeitlich gemittelter A-bewerteter Schalldruckpegel	time-averaged A-weighted sound pressure level	dB
L_{pAOkt}	A-bewerteter Oktavschalldruckpegel	A-weighted octave band sound pressure level	dB
L_{pATerz}	A-bewerteter Terzschalldruckpegel	A-weighted one-third octave band sound pressure level	dB
L_{pOkt}	Oktavschalldruckpegel	octave band sound pressure level	dB
L_{pTerz}	Terzschalldruckpegel	one-third octave band sound pressure level	dB
L_r	Beurteilungspegel	noise rating level	dB
ΔL_T	Übertragungsfunktion	transfer function	dB
L_v	mittlerer Körperschallschnellepegel auf dem Fundament im Aufstellungsraum	average structure-borne sound particle velocity level on foundation in installation room	dB
L_{vn}	Körperschallschnellepegel	structure-borne sound particle velocity level	dB
L_W	Schalleistungspegel	sound power level	dB
L_W^*	normierter Schalleistungspegel	normalised sound power level	dB
ΔL_W	Schalleistungsminderung	sound power reduction	dB
L_{WA}	A-bewerteter Schalleistungspegel	A-weighted sound power level	dB
L_{WAOkt}	A-bewerteter Oktavschalleistungspegel	A-weighted octave band sound power level	dB
L_{WATerz}	A-bewerteter Terzschalleistungspegel	A-weighted one-third octave band sound power level	dB
L_{We}	in das Fundament eingespeiste Körperschalleistung	structure-borne sound power injected into foundation	N·m/s
L_{WOkt}	Oktavschalleistungspegel	octave band sound power level	dB
ΔL_{WOkt}	Oktavkorrekturwert	octave band correction	dB
$\Delta L_{WOkt,Gesamt}$	Gesamtkorrektur	total correction	dB
L_{WS}	spezifischer Schalleistungspegel	specific sound power level	dB
L_{WTerz}	Terzschalleistungspegel	one-third octave band sound power level	dB
m	rotierende Gesamtmasse	total rotating mass	kg
m	statische Last der Maschine	static load of machine	kg
m	wirksame Maschinenmasse	effective machine mass	kg
m_U	Masse am Radius r , die die Unwucht hervorruft	mass at radius r , which causes unbalance	kg
m''	Flächengewicht	mass per unit area	kg/m ²
n	Ventilatorumdrehzahl	fan speed	min ⁻¹ / rpm
n	Anzahl	number	–
P	Schalleistung	sound power	W
p	Schalldruck	sound pressure	Pa
P_0	Bezugsschalleistung $P_0 = 1 \cdot 10^{-12}$	reference sound power $P_0 = 1 \cdot 10^{-12}$	W
p_{ref}	Bezugsdruck $p_{ref} = 1$	reference pressure $p_{ref} = 1$	Pa
Δp_t	Totaldruckdifferenz	total pressure difference	Pa
Δp_{t0}	Bezugstotaldruckdifferenz	reference total pressure difference	Pa

Formelzeichen / Symbol	Bezeichnung	Designation	Einheit / Unit
p_0	Bezugsschalldruck $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$	reference sound pressure $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$	Pa
Q	Richtungsfaktor	directivity factor	
Q	Auswuchtqualität	balancing quality	mm/s
q_{ref}	Bezugsvolumenstrom $q_{\text{ref}} = 1$	reference volume flow rate $q_{\text{ref}} = 1$	m ³ /h
q_v	Volumenstrom	volume flow rate	m ³ /h
R	Schalldämmmaß	sound reduction index	dB
ΔR	Differenz der Schalldämmmaße R_{ia} und R_{ai}	difference between sound reduction indices R_{ia} and R_{ai}	dB
r	Radius	radius	m
r	Abstand zwischen Durchlassöffnung und maßgeblichem Immissionsort	distance between outlet opening and relevant point of exposure	m
R_{ai}	Schalldämmmaß für die Schallausbreitung von außen nach innen	sound reduction index for sound propagation from outside to inside	dB
R_{ia}	Schalldämmmaß für die Schallausbreitung von innen nach außen	sound reduction index for sound propagation from inside to outside	dB
R_{Luftweg}	Schalldämmmaß Luftweg	sound reduction index of airpath	dB
r_{min}	kleinster Abstand einer der Durchlassöffnungen zum maßgeblichen Immissionsort	shortest distance of one of the outlet openings from the relevant point of exposure	m
r_{ref}	Referenzabstand $r_{\text{ref}} = 1$	reference distance $r_{\text{ref}} = 1$	m
R'_{w}	bewertetes Bau-Schalldämm-Maß	weighted building sound reduction index	dB
S	Fläche	area	m ²
s	Einfederungsweg	spring deflection	m
s	freie Spaltbreite zwischen den Kulissen	clear width of gap between baffles	m
s	Federsteife	spring stiffness	N/m
s	dynamische Federsteife	dynamic spring stiffness	N/m
$S_{\text{Durchlass}}$	für die Schallübertragung maßgebliche Fläche des Luftdurchlasses im Senderaum, die geometrische Fläche, die die Durchlassöffnungen gerade umschließt (inklusive der geschlossenen Verbindungssegmente)	area of air outlet in source room relevant to sound transmission; geometrical area precisely enclosing the outlet openings (including the closed connecting segments)	m ²
S_{ER}	Querschnittsfläche der Anschlussleitung an den Luftdurchlass im Empfangsraum	cross-sectional area of connecting line to air outlet in receiving room	m ²
S_{k}	Oberfläche der Leitung	duct surface	m ²
S_{k}	Übertragungsfläche der Wandung	transmission area of wall	m ²
S_{ref}	Bezugsfläche $S_{\text{ref}} = 1$	reference area $S_{\text{ref}} = 1$	m ²
S_{SR}	Querschnittsfläche der Anschlussleitung an den Luftdurchlass im Senderaum	cross-sectional area of connecting line to air outlet in source room	m ²
s_{h}	Spalthöhe	gap height	m
St	Strouhalzahl	Strouhal number	–
T	Gesamtmittelungszeit	total averaging time	s
T	Nachhallzeit	reverberation time	s
t_i	Zeitraum, in dem der Schalldruckpegel $L_{p,i}$ wirksam ist	period during which sound pressure level $L_{p,i}$ is effective	s
U	Unwucht	unbalance	kg m
V	Raumvolumen	volume of room	m ³
v	Strömungsgeschwindigkeit	flow velocity	m/s
v	Schallschnelle	sound particle velocity	m/s

Formelzeichen / Symbol	Bezeichnung	Designation	Einheit / Unit
v_a	Strömungsgeschwindigkeit in der Abzweingleitung	flow velocity in branch line	m/s
v_h	Strömungsgeschwindigkeit in der Hauptleitung vor dem Abzweig	flow velocity in main line upstream of branch	m/s
v_n	flächennormale Schnelle	surface normal particle velocity	m/s
v_{ref}	Bezugsströmungsgeschwindigkeit $v_{ref} = 1,0$	reference flow velocity $v_{ref} = 1,0$	m/s
v_s	Strömungsgeschwindigkeit im freien Querschnitt (Spalt) des Schalldämpfers	flow velocity in clear cross-section (gap) of silencer	m/s
v_0	Bezugsschallschnelle $v_0 = 5 \cdot 10^{-8}$	reference sound particle velocity $v_0 = 5 \cdot 10^{-8}$	m/s
x	Einfederung der Maschine	spring deflection of machine	cm
Z	Schallimpedanz (Schallwellenwiderstand)	acoustic impedance (sound wave resistance)	kg/(m ² ·s)
Z	Schaufelanzahl	number of blades	-
Z	komplexe mechanische Eingangsimpedanz	complex mechanical input impedance	N·s/m
Z	Bezugsgröße	reference quantity	1/m
Z_e	Eingangsimpedanz	input impedance	N·s/m
Z_F	mechanische Eingangsimpedanz des Fundaments am Lagerpunkt	mechanical input impedance of foundation at bearing point	N·s/m
Z_{FU}	Fundamentimpedanz im Bereich der elastischen Lagerung	foundation impedance in area of resilient mount	N·s/m
Z_m	mechanische Eingangsimpedanz der Maschine am Lagerpunkt	mechanical input impedance of machine at bearing point	N·s/m
Z_S	mechanische Impedanz der Feder	mechanical impedance of spring	N·s/m
ζ	Widerstandsbeiwert	discharge coefficient	-
ρ	Dichte	density	kg/m ³
Ω	Raumwinkel	solid angle	sr
ω	Kreisfrequenz ($\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$)	angular frequency ($\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$)	1/s

5 Akustische Grundlagen

5.1 Allgemeines

Die in RLT-Anlagen auftretenden Geräusche sind vielschichtig. Sie beinhalten

- die Geräusche der Komponenten im Leitungsnetz,
- die Schallentstehung im strömenden Medium,
- die Übertragung des Fluid- und Körperschalls sowie
- die Luftschallübertragung.

Als Geräuschimmissionen werden nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) alle auf den Menschen und seine Umwelt einwirkenden Geräusche bezeichnet (siehe § 3 Abs. 2 BImSchG).

Schädliche Geräuschemissionen sind Geräusche (Luft- und Körperschall), die nach Art, Ausmaß oder Dauer geeignet sind, erhebliche Nachteile oder Belästigungen für die Allgemeinheit oder die Nach-

5 Basic acoustic principles

5.1 General

The noise occurring in ventilation and air-conditioning systems is complex, containing

- the noise from components in the duct system,
- the noise generation in the flowing medium,
- the transmission of fluid- and structure-borne noise, and
- the transmission of airborne noise.

According to the German Federal Immission Control Act (BImSchG), the term “noise immissions” describes any noise affecting human beings and their environment (see BImSchG Art. 3, Para. 2).

Harmful noise emissions are noises (airborne and structure-borne noise) which are capable, on account of their type, magnitude, or duration, of causing significant disadvantages or annoyances for the