

VEREIN
DEUTSCHER
INGENIEURE

Gebrauchstauglichkeit von Bauwerken bei
dynamischen Einwirkungen

Untersuchungsmethoden und
Beurteilungsverfahren der Baudynamik

Sekundärer Luftschall – Grundlagen, Prognose, Messung,
Beurteilung und Minderung

Serviceability of structures under dynamic loads

Methods of analysis and evaluation
in structural dynamics

Secondary airborne sound – basics, prognosis, measurement,
evaluation and reduction measures

VDI 2038

Blatt 3 / Part 3

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	2	Preliminary note	2
Einleitung	2	Introduction	2
1 Anwendungsbereich	3	1 Scope	3
2 Normative Verweise	4	2 Normative references	4
3 Formelzeichen	5	3 Symbols	5
4 Grundlagen des sekundären Luftschalls	7	4 Basics of secondary airborne sound	7
4.1 Phänomen und Besonderheiten	7	4.1 Phenomenon and special aspects	7
4.2 Aspekte zur menschlichen Wahrnehmung – Pegeldarstellung, Frequenzbänder	9	4.2 Aspects of human perception-level – level diagram, frequency bands	9
4.3 Schnellepegel, Leistungspegel	13	4.3 Velocity level, power level	13
4.4 Kopplung Strukturschwingungen/ Luftschall	14	4.4 Coupling of structural vibrations/airborne sound	14
5 Prognose des sekundären Luftschalls	17	5 Prognosis of secondary airborne sound	17
5.1 Abschätzungen	17	5.1 Estimates	17
5.2 Genauere Berechnungen	19	5.2 Higher-precision analyses	19
6 Messung von sekundärem Luftschall	25	6 Measurement of secondary airborne sound	25
7 Bewertung von sekundärem Luftschall	27	7 Evaluation of secondary airborne sound	27
7.1 Einwirkungen aus Gewerbebetrieben	27	7.1 Effects from commercial operations	27
7.2 Einwirkungen aus Schienenverkehr	28	7.2 Effects from rail traffic	28
7.3 Sonstige Einwirkungen	30	7.3 Other effects	30
8 Maßnahmen zur Reduzierung von sekundärem Luftschall	31	8 Measures for reducing secondary airborne sound	31
Anhang Statistische Energieanalyse (SEA)	34	Annex Statistical energy analysis (SEA)	34
A1 Mittelungen in der SEA	34	A1 Averagings in SEA	34
A2 Beispiel: Schallfeld im Räumen	44	A2 Example: Sound field in rooms	44
A3 Beispiel: Kopplung zweier Raumvolumina	47	A3 Example: Coupling of two room volumes	47
Schrifttum	51	Bibliography	51
Index deutsch	53	Index English	53

VDI-Gesellschaft Produkt- und Prozessgestaltung (GPP)

Fachbereich Schwingungstechnik

VDI-Handbuch Schwingungstechnik
VDI-Handbuch Bautechnik – Gebäuderelevante Systeme

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 VDI-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 VDI-Richtlinie mitgewirkt haben, sei gedankt.

Einleitung

Zur Bewertung der Auswirkungen dynamischer Einwirkungen auf Bauwerke können grundsätzlich unterschiedliche Grenzzustände herangezogen werden. Von den drei Möglichkeiten – Tragfähigkeit, Dauerhaftigkeit und Gebrauchstauglichkeit – wird in der Richtlinienreihe VDI 2038 ausschließlich die Gebrauchstauglichkeit behandelt und diese wiederum ausschließlich unter dem Aspekt Erschütterungen und sekundärer Luftschall.

Zur Richtlinienreihe VDI 2038 gehören folgende Blätter:

Blatt 1 Grundlagen – Methoden, Vorgehensweisen und Einwirkungen

Blatt 2 Schwingungen und Erschütterungen – Prognose, Messung, Beurteilung und Minderung

Blatt 3 Sekundärer Luftschall – Grundlagen, Prognose, Messung, Beurteilung und Minderung

Eine Liste der aktuell verfügbaren Blätter dieser Richtlinienreihe ist im Internet abrufbar unter www.vdi.de/2038.

VDI 2038 Blatt 1 erläutert in der Einleitung den Begriff der Gebrauchstauglichkeit und deren Bedeutung sowie die übergeordnete Zielsetzung der Richtlinienreihe einschließlich der Abgrenzung gegenüber benachbarten Themen. In Abschnitt 5 werden die Methoden und Vorgehensweisen der Baudynamik behandelt sowie speziell die Frage, ob bei einem Bauvorhaben ein Fachingenieur für Baudynamik (Fachingenieur für Schwingungsfragen im Bauingenieurwesen) eingeschaltet werden muss, in welcher Bauphase das geschehen sollte und wer der am Bau Beteiligten dafür die Verantwortung trägt. Ferner gibt Abschnitt 5 Hinweise zur Schwingungsanfälligkeit von Bauwerken und/oder Bauteilen, zum Sicherheitskonzept bei Ge-

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 specified in the VDI Notices (www.vdi.de/richtlinien).

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

Introduction

In evaluating the effects of dynamic loads on structures, reference can be made to fundamentally different limit states. Of the three possibilities – load-bearing capacity, durability and serviceability – the series of standards VDI 2038 deals exclusively with serviceability and this in turn exclusively with regard to vibration and secondary airborne sound.

The series of standards VDI 2038 consists of the following parts:

Part 1 Basics – methods, procedures and loads

Part 2 Shock and vibration – prognosis, measurement, evaluation and reduction measures

Part 3 Secondary airborne sound – basics, prognosis, measurement, evaluation and reduction measures

A catalogue of all available parts of this series of standards can be accessed on the internet at www.vdi.de/2038.

The introduction to VDI 2038 Part 1 explains the term “serviceability” and its importance as well as the higher-level objectives of the series of standards VDI 2038, including demarcation with respect to neighbouring subject areas. Section 5 deals with the methods and procedures of structural dynamics, looking in particular at the question of whether a specialist engineer for structural dynamics (an engineer specializing in vibration-related aspects of construction engineering) needs to be brought into the building project; if so, at what stage this should happen and which person of those involved in the project is responsible for this. In addition, Section 5 provides information about the vibration susceptibility of structures or compo-

brauchstauglichkeit sowie zur Prognosesicherheit (Anhang). In Abschnitt 6 und Abschnitt 7 werden dann die dynamischen Einwirkungen angesprochen. Für Fragen der Gebrauchstauglichkeit relevante Einwirkungen werden soweit wie möglich quantitativ angegeben.

VDI 2038 Blatt 2 enthält die Verfahren zur rechnerischen Prognose sowie zur messtechnischen Ermittlung von Schwingungen und Erschütterungen und Hinweise auf Methoden, Kriterien und Anhaltswerte zur Beurteilung von Erschütterungseinwirkungen auf Bauwerke, Menschen und empfindliche Geräte. Ferner werden die verschiedenen Möglichkeiten zur Erschütterungsminderung an der Quelle, auf dem Übertragungsweg und am Empfänger behandelt. Die theoretischen Grundlagen sind in Anhang A bis Anhang C zusammengestellt.

Das vorliegende Blatt 3 behandelt die über Erschütterungen im engeren Sinne hinausgehenden Aspekte des sekundären Luftschalls.

Anmerkung: Mechanische Schwingungen fester Körper werden in der Physik häufig als Körperschall bezeichnet. Daher werden auch in der Akustik vielfach die Schwingungen von Bauteilen als Körperschall bezeichnet. Im allgemeinen Sprachgebrauch wird der Begriff „Körperschall“ jedoch häufig dann verwendet, wenn eigentlich der abgestrahlte (sekundäre) Luftschall gemeint ist (z.B. Schlagbohrer in Massivbauten). Wegen dieser Gefahr des Missverständnisses wird in dieser Richtlinie der Begriff „Körperschall“ nur ergänzend (z.B. in Klammern) verwendet, und es wird auf den abgestrahlten Luftschall, der als „sekundärer Luftschall“ bezeichnet wird, fokussiert. Im Gegensatz zum „primären Luftschall“, der direkt von der Schallquelle abgestrahlt wird, entsteht „sekundärer Luftschall“ durch Schwingungs-(Körperschall-) Übertragung in Strukturen, z.B. Erdreich, Fundamente, Wände und Decken, die dann sekundären Luftschall abstrahlen.

1 Anwendungsbereich

Die Richtlinienreihe VDI 2038 behandelt Einwirkungen, die aufgrund ihrer zeitlichen Änderung zu Schwingungen von Strukturen führen und dadurch Störungen an Bauwerken, Bauteilen, Maschinen und Geräten oder Belästigungen von Menschen hervorrufen können, sei es direkt oder – bei Geräten und Menschen – auch indirekt über den sekundären Luftschall. Dabei werden explizit nur solche Einwirkungen behandelt, die für die Gebrauchstauglichkeit relevant sind. Alle Abgrenzungen zu benachbarten Themen enthält VDI 2038 Blatt 1. Blatt 2 behandelt in Fortsetzung von Blatt 1 alle Gebrauchstauglichkeitsfragen hinsichtlich Schwingungen und Erschütterungen. Die vorliegende Richtlinie behandelt den von schwingenden Bauteilen abgestrahlten Luftschall, den sogenannten sekundären Luftschall. Sie erläutert die physikalischen Phänomene sowie Möglichkeiten zu deren Prognose, Messung, Bewertung und Minderung.

nents, about the safety concept in serviceability as well as about the reliability of prognosis (Annex). Section 6 and Section 7 then address dynamic loads and those relevant to questions of serviceability are specified quantitatively as far as possible.

VDI 2038 Part 2 covers the procedures used in theoretical prognosis and in determining shock and vibration by experimental methods and includes information about methods, criteria and reference values relevant to assessing the effects of vibration on structures, individuals and sensitive equipment. This part also examines the various possibilities available for reducing vibrations at source, on the transmission path and at the receiver. The theoretical principles are dealt with in Annex A to Annex C.

The present Part 3 of the standard deals with those aspects of secondary airborne sound which go beyond vibration in the narrower sense.

Note: In physics the mechanical vibrations of solid bodies are frequently referred to as solid-borne sound. For this reason the vibrations of structural parts are often referred to as solid-borne sound in acoustics as well. In general usage the term “solid-borne sound” is however frequently used when it is in fact the re-radiated (secondary) airborne sound which is meant (for example, percussion drills in solid constructions). On account of this risk of misunderstanding, the term “solid-borne sound” will only be used supplementarily (in parentheses, for example); the focus of interest is on the re-radiated airborne sound, which is referred to as “secondary airborne sound”. In contrast to “primary airborne sound”, which is radiated directly from the sound source, “secondary airborne sound” is created by vibration (solid-borne sound) transmission within structures, such as, for example, the soil, foundations, walls and floors, which then re-radiate secondary airborne sound.

1 Scope

The series of standards VDI 2038 is concerned with loads which are time-dependent and thus can lead to vibrations in structures and thereby cause problems in buildings, components, machines and equipment or result in annoyance to individuals, either directly or – in the case of individuals and items of equipment – indirectly via emitted secondary airborne sound. However only those loads relevant to serviceability are treated explicitly. Demarcations with respect to neighbouring subject areas will be found in VDI 2038 Part 1. Part 2, as a continuation of Part 1, examines all questions of serviceability as regards shock and vibration. The present part of the standard deals with the airborne sound emitted by vibrating structural parts, that is, so-called secondary airborne sound. It explains the physical phenomena and describes methods for its prognosis, measurement, evaluation and reduction.