

**VEREIN
DEUTSCHER
INGENIEURE**

Gebrauchstauglichkeit von Bauwerken
bei dynamischen Einwirkungen
Untersuchungsmethoden und
Beurteilungsverfahren der Baudynamik
Schwingungen und Erschütterungen –
Prognose, Messung, Beurteilung und Minderung

VDI 2038
Blatt 2 / Part 2

Serviceability of structures under dynamic loads
Methods of analysis and evaluation
in structural dynamics
Schock and vibration –
prognosis, measurement, evaluation and reduction measures

**Ausg. deutsch/englisch
Issue German/English**

Die deutsche Version dieser Richtlinie ist verbindlich.

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

Inhalt	Seite
Vorbemerkung.....	2
Einleitung.....	2
1 Anwendungsbereich.....	3
2 Normative Verweise.....	4
3 Begriffe.....	4
4 Formelzeichen.....	4
5 Baudynamische Berechnungen zur Erschütterungsprognose.....	4
5.1 Elemente einer Prognoserechnung.....	4
5.2 Verfahren.....	4
5.3 Elementare Modelle der Erschütterungsprognose.....	6
5.4 Detaillierte Methoden zur Erschütterungsprognose.....	14
6 Baudynamische Messungen.....	20
6.1 Baudynamische Ingenieurmessungen.....	20
6.2 Experimentelle Modalanalyse (EMA).....	26
6.3 Zustandsüberwachung.....	37
7 Bewertungskriterien der Gebrauchstauglichkeit.....	39
7.1 Bauwerke.....	39
7.2 Menschen.....	50
7.3 Empfindliche Geräte.....	63
8 Maßnahmen zur Sicherstellung der Gebrauchstauglichkeit.....	71
8.1 Minderungsmaßnahmen an der Schwingungsquelle.....	71
8.2 Minderungsmaßnahmen im Ausbreitungsweg.....	72
8.3 Minderungsmaßnahmen am zu schützenden Objekt.....	75
Anhang A Grundlagen der rechnerischen Systemanalyse.....	81
Anhang B Digitale Signalanalyse.....	90
Anhang C Experimentelle Modalanalyse.....	101
Schrifttum.....	105
Index deutsch.....	108

Contents	Page
Preliminary note.....	2
Introduction.....	2
1 Scope.....	3
2 Normative references.....	4
3 Terms and definitions.....	4
4 Symbols.....	4
5 Structural dynamics analyses for vibration prognosis.....	4
5.1 Elements of a prognosis analysis.....	4
5.2 Methods.....	4
5.3 Elementary models of vibration prognosis.....	6
5.4 Detailed methods for vibration prognosis.....	14
6 Structural dynamics measurements.....	20
6.1 Structural dynamics engineering-based measurements.....	20
6.2 Experimental modal analysis (EMA).....	26
6.3 Condition monitoring.....	37
7 Evaluation criteria for serviceability.....	39
7.1 Structures.....	39
7.2 Humans.....	50
7.3 Sensitive equipment.....	63
8 Measures to ensure serviceability.....	71
8.1 Reduction measures at the vibration source.....	71
8.2 Reduction measures on the transmission path.....	72
8.3 Reduction measures at the object to be protected.....	75
Annex A Fundamentals of computational system analysis.....	81
Annex B Digital signal analysis.....	90
Annex C Experimental modal analysis.....	101
Bibliography.....	105
Index English.....	109

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-richtlinien.de), die in den VDI-Merkblättern geregelt sind, möglich.

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

Einleitung

Bei dynamischen Einwirkungen auf Bauwerke können zur Bewertung der Auswirkungen grundsätzlich unterschiedliche Grenzzustände herangezogen werden. Von den drei Möglichkeiten – Tragfähigkeit, Dauerhaftigkeit und Gebrauchstauglichkeit – wird in der Richtlinienreihe VDI 2038 ausschließlich die Gebrauchstauglichkeit behandelt.

Die Richtlinienreihe VDI 2038 besteht aus:

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.

Blatt 1 erläutert in der Einleitung den Begriff der Gebrauchstauglichkeit und deren Bedeutung sowie die übergeordnete Zielsetzung der Richtlinienreihe VDI 2038 einschließlich 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 von den am Bau Beteiligten dafür die Verantwortung trägt. Ferner gibt Abschnitt 5 Hinweise zur Schwingungsanfälligkeit von Bauwerken bzw. Bauteilen, zum Sicherheitskonzept bei Gebrauchstauglichkeit sowie zur Prognosesicherheit. In Abschnitt 6 und Abschnitt 7 werden dann die dynamischen Einwirkungen angesprochen und die für

Preliminary note

The content of this guideline has been developed in strict accordance with the requirements and recommendations of the guideline 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 guideline without infringement of copyright is permitted subject to the licensing conditions specified in the VDI Notices (www.vdi-richtlinien.de).

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

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 guidelines VDI 2038 deals exclusively with serviceability.

The series of guidelines VDI 2038 consists of:

Part 1 Basics – methods, procedures and loads

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

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

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

The introduction to Part 1 explains the term “serviceability” and its importance as well as the higher-level objectives of the series of guidelines 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 called in the building project; if so, at what stage this should happen, and which participating party in the project is responsible for this. In addition, Section 5 provides information about the vibration susceptibility of structures or components, about the safety concept in serviceability as well as about the reliability of prognosis. Section 6 and Section 7 then address dynamic loads and those relevant to ques-

Fragen der Gebrauchstauglichkeit relevanten soweit wie möglich quantitativ angeben.

Darüber hinaus enthält die Richtlinie VDI 2038 Blatt 1 alle für Blatt 1 und Blatt 2 geltenden Formelzeichen und normativen Verweise.

Das vorliegende Blatt 2 behandelt alle weitergehenden Aspekte hinsichtlich Schwingungen und Erschütterungen.

Blatt 3 erläutert die Phänomenologie des von den schwingenden Bauteilen abgestrahlten Luftschalls, des sogenannten sekundären Luftschalls, stellt Methoden zu dessen Prognose dar – vor allem die statistische Energieanalyse (SEA) – und nennt Kriterien zu seiner Beurteilung. Ferner werden Hinweise zur Messung des sekundären Luftschalls gegeben und Minderungsmöglichkeiten angesprochen.

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 Menschen und Geräten – indirekt über den dabei abgestrahlten sekundären Luftschall. Es werden explizit jedoch nur solche Einwirkungen behandelt, die für die Gebrauchstauglichkeit relevant sind. Alle Abgrenzungen zu benachbarten Themen enthält Blatt 1.

Das vorliegende Blatt 2 behandelt in Fortsetzung von Blatt 1 alle Gebrauchstauglichkeitsfragen hinsichtlich Schwingungen und Erschütterungen. Es enthält in Abschnitt 5 die Methoden zur Auslegung (Berechnung, Prognose) und in Abschnitt 6 die Methoden zur Zustandsbewertung (Messung) von Bauwerken. In Abschnitt 7 sind die Bewertungskriterien der Gebrauchstauglichkeit zusammengetragen und in Abschnitt 8 werden Möglichkeiten zur Sicherstellung bzw. Verbesserung der Gebrauchstauglichkeit behandelt.

Für Teilaspekte, die über den Rahmen dieser Richtlinie hinausgehen, ist ausgewähltes Schrifttum angegeben.

tions of serviceability are specified quantitatively as far as is possible.

Guideline VDI 2038 Part 1 also contains all of the symbols and normative references applicable to Part 1 and Part 2.

The present part of the guideline, Part 2, examines all further aspects concerning shock and vibration.

Part 3 deals with the phenomenology of the airborne sound emitted by vibrating components, the so-called secondary airborne sound, presents relevant prognostic methods – especially the statistical energy analysis (SEA) – and provides criteria for its evaluation. In addition, information is provided about measuring secondary airborne sound and reduction measures are examined.

1 Scope

The series of guidelines 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 Part 1.

The present part of the guideline, Part 2, as a continuation of Part 1, examines all questions of serviceability as regards shock and vibration. It covers in Section 5 methods of design (analysis, prognosis) and in Section 6 methods of assessing (measuring) the condition of structures. Section 7 summarizes the evaluative criteria for serviceability and Section 8 deals with possible methods of ensuring or improving serviceability.

For subordinate aspects which go beyond the remit of this guideline a selected bibliography is provided.