

VEREIN
DEUTSCHER
INGENIEURE

Aktive Schwingungsminderung
Active vibration reduction

VDI 2065

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.....	2	1 Scope.....	2
2 Formelzeichen.....	3	2 Symbols.....	3
3 Grundlagen.....	4	3 Fundamentals	4
3.1 Schwingungsminderung.....	4	3.1 Vibration reduction.....	4
3.2 Systemkomponenten.....	6	3.2 System components	6
3.3 Mechatronik und Adaptronik.....	7	3.3 Mechatronics and adaptronics	7
4 Konzepte zur aktiven Schwingungsminderung	8	4 Concepts for active vibration reduction	8
4.1 Regelungstechnische Systemstrukturen für die aktive Schwingungsminderung	8	4.1 Control-system structures for active vibration reduction.....	8
4.2 Interpretation der Maßnahmen.....	12	4.2 Interpretation of the measures.....	12
4.3 Beispiel des Einmassenschwingers.....	13	4.3 Example of the single-mass oscillator	13
5 Hinweise zur Spezifikation einer aktiven Schwingungsminderung	16	5 Notes on the specification of an active vibration reduction system.....	16
5.1 Allgemeines	16	5.1 General comments	16
5.2 Ziele	17	5.2 Objectives	17
5.3 Randbedingungen	17	5.3 Constraints.....	17
5.4 Realisierung des aktiven Systems	18	5.4 Implementation of the active system	18
6 Anwendungsbeispiele	18	6 Application examples.....	18
6.1 Aktive Dämpfung von Rohrleitungsschwingungen.....	18	6.1 Active damping of pipe vibrations.....	18
6.2 Aktive Schwingungskompensation in einem Stadtbahnwagen	25	6.2 Active vibration compensation in a city tram.....	25
6.3 Aktive Schwingungskompensation im Kraftfahrzeug – Aktive Motorlagerung ...	31	6.3 Active vibration compensation in motor vehicles – Active engine mounting systems	31
6.4 Aktive Schwingungsminderung in einer Papiermaschine	38	6.4 Active vibration reduction in a paper-making machine.....	38
6.5 Minderung von Kanalschlagschwingungen in einer Druckmaschine	42	6.5 Reduction of cylinder bounce vibrations in a printing press.....	42
Schrifttum	47	Bibliography	47

VDI-Gesellschaft Produkt- und Prozessgestaltung (GPP)

Fachbereich Schwingungstechnik

VDI-Handbuch Schwingungstechnik

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.

Weitere aktuelle Informationen sind im Internet abrufbar unter www.vdi.de/2065.

Einleitung

Ziel der aktiven Schwingungsminderung ist es, die beim Betrieb von Maschinen, Anlagen oder Fahrzeugen auftretenden Schwingungen so weit zu reduzieren, dass sie sich auf die Maschine, den Prozess und die Umwelt nicht mehr negativ auswirken. Zu den betrachteten Aspekten zählen dabei z.B. die Gesundheit und das Komfortempfinden von Personen sowie die technische Funktion der Maschine oder Anlage.

Der Begriff der „aktiven Schwingungsminderung“ umfasst neben der aktiven Schwingungsisolierung, die in der Richtlinie VDI 2064 behandelt wird, weitere Methoden, die im Rahmen dieser Richtlinie aufgezeigt werden.

Die vorliegende Richtlinie stellt die methodischen Grundlagen der aktiven Schwingungsminderung dar und erläutert wichtige Begriffe. Dazu werden zunächst die grundlegenden Konzepte und Wirkmechanismen beschrieben. Basierend auf dem modularen Aufbau, in dem ein System zur aktiven Schwingungsminderung in Subsysteme, Baugruppen und Komponenten gegliedert werden kann, werden praktische Hinweise zur Auslegung, Umsetzung und Überprüfung der Wirksamkeit gegeben. Außerdem werden Begriffe definiert und die im Rahmen einer Systemspezifikation zu klärenden Randbedingungen und Schnittstellen beschrieben. Anhand von Anwendungsbeispielen aus verschiedenen Branchen wird gezeigt, wie die praktische Umsetzung erfolgen kann.

1 Anwendungsbereich

Diese Richtlinie beschäftigt sich mit der aktiven Minderung mechanischer Schwingungen. Dazu gehören Starrkörperbewegungen und Struktur-

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.

Further current information is available on the Internet at www.vdi.de/2065.

Introduction

The aim of active vibration reduction is to reduce the vibrations that occur during operation of machinery, installation, or vehicles to the point that they no longer adversely affect the machine, process, or environment. Aspects under consideration here include, for example, the health and perception of comfort of individuals as well as the technical function of the machine or system.

The term “active vibration reduction” includes in addition to active vibration isolation, which is dealt with in the VDI 2064 standard, other methods that are also presented shown in this standard.

The present standard sets forth the methodological basics of active vibration reduction and explains important terms. First of all, the fundamental concepts and mechanisms of action will be described. On the basis of the modular structure in which a system for active vibration reduction can be divided into subsystems, assemblies, and components, practical information is given for the design, implementation, and verification of effectiveness. In addition, terms are defined and the constraints and interfaces to be clarified in the context of a system specification are described. With the aid of application examples from different industries, the form practical implementation can take place will be shown.

1 Scope

This standard deals with the active reduction of mechanical vibrations. These include rigid-body movements and the structural vibrations of elastic

schwingungen elastischer Körper. Sie ist nicht auf bestimmte Branchen beschränkt. Die beschriebenen Methoden können auch auf Anwendungen außerhalb dieses Bereichs übertragen werden.

Ein Ziel der aktiven Schwingungsminderung kann darin bestehen, die Abstrahlung von Luftschall zu verhindern, indem der dafür ursächliche Körperschall reduziert wird. Die Minderung von Luftschall durch Gegenschall ist nicht Gegenstand dieser Richtlinie.

Die in VDI 2064 beschriebene aktive Schwingungsisolierung hat das Ziel, die Ausbreitung von Schwingungen auf dem Pfad von der Quelle zu einem Empfänger zu verhindern. Die hier betrachtete aktive Schwingungsminderung nutzt auch weitere Eingriffsmöglichkeiten, um die schwingende Struktur selbst zu beeinflussen. Dazu zählen z.B. die Einleitung von Kräften außerhalb des Übertragungspfads der Störschwingungen oder die gezielte Einstellung von Struktureigenschaften während des Betriebs.

Die aktive Schwingungsminderung im Sinne dieser Richtlinie umfasst auch die sogenannten „semi-aktiven Methoden der Schwingungsminderung“.

bodies. It is not limited to specific industries. The methods described can also be applied to applications outside this range.

One aim of active vibration reduction can be to prevent the emission of airborne sound by reducing the structure-borne sound that is responsible for this. The reduction of airborne noise by anti-noise is not the subject of this standard.

The active vibration isolation described in VDI 2064 aims to prevent the propagation of vibrations on the path from the source to a receiver. The active vibration reduction considered here also employs further possibilities of intervention in order to influence the vibrating structure itself. These include, for example, the introduction of forces outside the transmission path of the disturbing vibrations or the targeted adjustment of structural properties during operation.

Active vibration reduction within the meaning of this standard also includes the so-called “semi-