

VEREIN
DEUTSCHER
INGENIEURE

Reduzierung der Stoßauswirkungen bei einzelnen
und periodisch wiederkehrenden Stößen auf
schwingungsfähige Systeme

VDI 4552

Reduction of the effects of shocks of individual and
periodically recurring shocks on vibratory systems

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
Vorbemerkung.....	2
Einleitung.....	2
1 Anwendungsbereich.....	3
2 Normative Verweise.....	4
3 Begriffe.....	4
4 Formelzeichen.....	5
5 Stöße.....	6
5.1 Übersicht.....	6
5.2 Dirac-Stoß.....	6
5.3 Realer Stoß.....	8
5.4 Modelle realer Stöße.....	8
5.5 Stoßfolgen periodisch wiederkehrender Stöße.....	10
5.6 Stoßfolgen regellos bzw. scheinbar regellos wiederkehrender Stöße.....	11
5.7 Impulsänderung bei Stößen.....	12
6 Messung und Erzeugung von Stößen.....	13
6.1 Messung von Stößen.....	13
6.2 Erzeugung von Stößen für Messzwecke.....	13
7 Stoßauswirkungen – Antworten schwingungsfähiger Systeme auf Stöße.....	14
7.1 Übersicht.....	14
7.2 Einzelstoß.....	14
7.3 Periodische Stoßfolge.....	15
7.4 Stoßspezifische Besonderheiten.....	15
8 Reduzierung von Stoßauswirkungen (Maßnahmen/Nebenwirkungen).....	16
8.1 Übersicht.....	16
8.2 Stoßisolierung (Schwingungsisolierung von Stößen).....	17
8.3 Schwingungsisolierung von Frequenzanteilen von Stößen.....	21
8.4 Dämpfung.....	21
8.5 Schwingungstilgung bei Stößen.....	22
8.6 Aktive und semiaktive Maßnahmen zur Reduzierung der Stoßauswirkung.....	22
8.7 Beispielhafte Ausführungen von Maßnahmen zur Reduzierung von Stoßauswirkungen.....	22
8.8 Reduzierung von Stoßauswirkungen am Beispiel von Anwendungsfällen.....	25
8.9 Bauelemente zur Reduzierung von Stoßauswirkungen.....	27
Schrifttum.....	28

Contents	Page
Preliminary note.....	2
Introduction.....	2
1 Scope.....	3
2 Normative references.....	4
3 Terms and definitions.....	4
4 Symbols.....	5
5 Shocks.....	6
5.1 Overview.....	6
5.2 Dirac shock.....	6
5.3 Real shock.....	8
5.4 Models of real shocks.....	8
5.5 Shock sequences of periodically recurring shocks.....	10
5.6 Shock sequences of randomly or apparently randomly recurring shocks.....	11
5.7 Impulse change during shocks.....	12
6 Measuring and generating shocks.....	13
6.1 Measuring shocks.....	13
6.2 Generating shocks for measuring purposes.....	13
7 Effects of shocks – Responses of vibratory systems to shocks.....	14
7.1 Overview.....	14
7.2 Single shock.....	14
7.3 Periodic shock sequence.....	15
7.4 Shock-specific features.....	15
8 Reducing the effects of shocks (measures/side effects).....	16
8.1 Overview.....	16
8.2 Shock isolation (vibration isolation from shocks).....	17
8.3 Vibration isolation of frequency components of shocks.....	21
8.4 Damping.....	21
8.5 Dynamic vibration absorption for shocks.....	22
8.6 Active and semi-active measures to reduce the effect of shocks.....	22
8.7 Exemplary design for measures to reduce the effects of shocks.....	22
8.8 Reduction of effects of shocks using the example of applications.....	25
8.9 Components to reduce the effects of shocks.....	27
Bibliography.....	28

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/4552.

Einleitung

Stöße sind kurzzeitige starke Krafteinleitungen auf ein schwingungsfähiges System. Sie treten an Maschinen und Anlagen entweder prozessbedingt auf, z.B. bei Schmiedehämmern und Umformmaschinen, oder sie sind Auswirkungen von hochdynamischen Bewegungen, z.B. Zustellen und Positionieren, insbesondere mit Anschlägen oder durch Kniehebelkinematiken.

Alle Stöße führen zu erzwungenen Schwingungen, deren Folgen u.a. Verschleiß von Anlage und Werkzeug, Lärm, Erschütterungen, Wandern der Maschine und Fertigungsungenauigkeiten sein können.

In Abhängigkeit von der Antwort des schwingungsfähigen Systems werden die Stöße wie folgt unterschieden:

- a) Einzelstoß
ein einmalig auftretendes Ereignis
- b) Stoßfolge abgeklungener Einzelstöße
Die Antwort des schwingungsfähigen Systems ist nach einer Stoßeinwirkung und bei Beginn des folgenden Stoßes abgeklungen.
- c) Stoßfolge nicht abgeklungener Einzelstöße

Die Antwort des schwingungsfähigen Systems nach einer Stoßeinwirkung und bei Beginn des folgenden Stoßes ist nicht abgeklungen.

Da der Stoß eine Breitbanderregung darstellt, ist die Stoßantwort bei Fall a und Fall b durch die Übertragungsfunktion des gestoßenen Systems charakterisiert; das System schwingt daher dominant in seinen Eigenfrequenzen. Bei Fall c tritt im Frequenzspektrum zusätzlich noch die Stoßfolgefrequenz auf.

Stöße entstehen in den meisten Fällen durch Massenkräfte bei starken Beschleunigungen oder Ver-

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/4552.

Introduction

Shocks are brief, strong forces applied to a vibratory system. They occur on machines and systems either as a result of the process, e.g., in forging hammers and forming machines, or they are the effects of highly dynamic motions, e.g., infeed and positioning, particularly with stops or toggle lever kinematics.

All shocks lead to forced vibrations, the consequences of which can include wear of the system and tools, noise, vibrations, machine movement, and manufacturing inaccuracies.

Depending on the response of the vibratory system, the shocks are differentiated as follows:

- a) single shock
a non-recurring event
- b) shock sequence of decayed single shocks
The response of the vibratory system has decayed after an impact and at the start of the following shock.
- c) shock sequence of single shocks that have not decayed
The response of the vibratory system after an impact and at the start of the following shock has not decayed.

As the shock represents a broadband excitation, the shock response in case a and case b is characterised by the transfer function of the shocked system; the system therefore oscillates dominantly at its natural frequencies. In case c, the shock sequence frequency also appears in the frequency spectrum.

In most cases, shocks are caused by inertial forces during strong accelerations or decelerations, e.g.,

zögerungen, z.B. bei aufeinanderstoßenden Massen; weiterhin entstehen sie beispielsweise durch explosionsartige chemische Reaktionen und durch starke (kurzzeitige) elektromagnetische Felder.

Die Änderung der Beschleunigung, die auch als Ruck bezeichnet wird, und damit auch die einer Kraft haben im Fall von Kraftsprüngen ähnliche Auswirkungen auf ein System wie Stöße. Ein Ruck entsteht in erster Linie bei der Entlastung vorgespannter Systeme. Eine genaue Unterscheidung zwischen Ruck und Stoß ist nicht genau möglich, da sie sich wechselseitig bedingen. In der Praxis wird deshalb zwischen Stoß und Ruck in vielen Fällen nicht unterschieden.

Die Wirkung von Stößen auf schwingungsfähige Systeme wird auch in VDI 2062 Blatt 1, Abschnitt 9 und Abschnitt 10 beschrieben. Es werden dort allerdings zum Teil andere Definitionen als in dieser Richtlinie verwendet. Beide Betrachtungsweisen sind richtig und stellen keinen gegenseitigen Widerspruch dar.

1 Anwendungsbereich

Die Einwirkung von Stößen auf ein schwingungsfähiges System führt zu erzwungenen Schwingungen des Systems. Deren Auswirkungen können in der Regel mit Methoden der Schwingungsisolierung, Schwingungsdämpfung oder Schwingungstilgung beeinflusst werden.

Im Gegensatz zu einer harmonischen Schwingungserregung reicht eine Frequenzbetrachtung zur Beurteilung der Stoßantwort nicht aus. Es ist auch eine Betrachtung von Schwingungserregung und -antwort im Zeitbereich erforderlich, da die Maximalwerte der Schwingungen nicht mehr aus dem Frequenzspektrum ermittelt werden können.

Bei Stoßfolgen nicht abgeklungener Einzelstöße ist die Methode der klassischen Schwingungsisolierung (reine harmonische Erregung, reine Einzelstoßerregung) oft nicht ausreichend, eine unbedachte Anwendung führt in manchen Fällen sogar zur gegenteiligen Wirkung, nämlich einer Schwingungsverstärkung. Solche Fälle erfordern die genaue Betrachtung der möglichen Nebenwirkung der klassischen Schwingungsisolierung.

Zusätzlich zu den Methoden der Schwingungsisolierung, Schwingungsdämpfung oder Schwingungstilgung sollten weitere Maßnahmen beachtet werden, beispielsweise

- die Gestaltung des Aufstellorts und der Umgebung sowie
- technische und konstruktive Maßnahmen zur Reduktion der Schwingungserregung und zur

when masses collide; they are also caused, for example, by explosive chemical reactions and strong (short-term) electromagnetic fields.

The change in acceleration, also known as a jerk, and thus also that of a force, have similar effects on a system as shocks in the case of force jumps. A jerk occurs primarily when pre-stressed systems are relieved. It is not possible to make a precise distinction between jerk and shock, as they are mutually dependent. In practice, therefore, in many cases no distinction is made between shock and jerk.

The effect of shocks on vibratory systems is also described in VDI 2062 Part 1, Section 9 and Section 10. However, some of the definitions used there differ from those in this standard. Both approaches are correct and do not contradict each other.

1 Scope

The impact of shocks on a vibratory system leads to forced vibrations of the system. Their effects can usually be influenced using vibration isolation, vibration damping, or vibration absorption methods.

In contrast to harmonic vibration excitation, a frequency analysis is not sufficient to assess the shock response. It is also necessary to consider vibration excitation and response in the time domain, as the maximum values of the vibrations can no longer be determined from the frequency spectrum.

The classical vibration isolation method (pure harmonic excitation, pure single shock excitation) is often not sufficient for shock sequences of single shocks that have not decayed; in some cases, careless application even leads to the opposite effect, namely an amplification of the vibration. Such cases require careful consideration of the possible side effects of classical vibration isolation.

In addition to the methods of vibration isolation, vibration damping or vibration absorption, further measures should be taken into account, for example

- the design of the installation site and the surrounding area, and
- technical and design measures to reduce vibration excitation and to avoid vibration amplification

Vermeidung von Schwingungsverstärkungen an der Schwingungsquelle.

Diese Richtlinie befasst sich mit den verschiedenen Arten von Stößen, ihre Erzeugung und Messung sowie ihre Auswirkungen, bevor sie in Abschnitt 8 die Möglichkeiten zur Reduzierung von Stoßauswirkungen beschreibt.

2 Normative Verweise

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

VDI 2062 Blatt 2:2007-11 Schwingungsisolierung; Schwingungsisolierelemente

VDI 3833 Blatt 2:2006-12 Schwingungsdämpfer und Schwingungstilger; Schwingungstilger und Schwingungstilgung

tion at the vibration source.

This standard addresses the different types of shocks, their generation and measurement, and their effects, before describing options for reducing effects of shocks in Section 8.

2 Normative references

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

VDI 2062 Part 2:2007-11 Vibration insulation; Insulation elements

VDI 3833 Part 2:2006-12 Dynamic damper and dynamic vibration absorber; Dynamic vibration absorber and dynamic vibration absorption