ICS 17.160

VDI-RICHTLINIEN

Mai 2012
May 2012

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE

Hinweise zur Messung und Interpretation der Schwingungen von Maschinen
Typische Schwingungsbilder bei Pumpen

Instructions on measuring and interpreting the vibration of machines
Typical vibration patterns with centrifugal pumps

VDI 3839

Blatt 7 / Part 7

Ausg. deutsch/englisch
Issue German/English

Frühere Ausgabe: 12.10, Entwurf, deutsch
Former edition: 12/10, Draft, in German only

Zu beziehen durch / Available at Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin – Alle Rechte vorbehalten / All rights reserved © Verein Deutscher Ingenieure e.V., Düsseldorf 2012

Vervielfältigung – auch für innerbetriebliche Zwecke – nicht gestattet / Reproduction – even for internal use – not permitted

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 3
1 Anwendungsbereich 4
2 Normative Verweise 5
3 Charakteristische Schwingungsanregungen bei Pumpen und Pumpenanlagen und ihre Erscheinungsbilder 5
3.1 Schwingungen als Folge von Unwuchten 5
3.2 Schwingungen durch Bauteil-, Aufstellungs- und Rotorresonanz 6
3.3 Schwingungen infolge der Wellenbiegung des Antriebsstrangs 8
3.4 Schwingungen aus Spielen in Lagern und sonstigen Bauteilen 9
3.5 Schwingungen infolge der Unwuchtwirkung von rotierenden Flüssigkeitsringen . 9
3.6 Schwingungsanregung durch unausgeglichene Massenkräfte von Kurbeltrieben und sonstigen oszillierenden Massen . . . 11
3.7 Schwingungsanregung durch Förderstrom- und Druckpulsation bei oszillierenden und rotierenden Verdrängerpumpen 11
3.8 Erregung durch Schaufeldrehklang und sonstige Druckpulsationen bei Kreiselpumpen 13
3.9 Erregung durch Kavitation bei Kreiselpumpen 13
3.10 Erregung durch Kavitation bei Verdrängerpumpen 16
3.11 Erregung aus Strömungskavitation in Stutzen und angeschlossenen Rohrleitungen 16

Contents Page

Preliminary note 2
Introduction 3
1 Scope 4
2 Normative references 5
3 Characteristic vibration excitations in pumps and pump systems and their manifestations 5
3.1 Vibrations as a consequence of imbalances 5
3.2 Vibrations due to component, installation and impeller resonance 6
3.3 Vibrations resulting from shaft bending of the drive line 8
3.4 Vibrations from play in bearings and other components 9
3.5 Vibrations resulting from the effect of imbalance in rotating liquid rings 9
3.6 Vibration excitation due to the unbalanced inertial forces of crank drives and other oscillating masses 11
3.7 Vibration excitation due to flow and pressure pulsation in oscillating and rotating positive-displacement pumps . . . 11
3.8 Excitation due to blading rotation noise and other pressure pulsations in centrifugal pumps 13
3.9 Excitation due to cavitation in centrifugal pumps 13
3.10 Excitation due to cavitation in positive-displacement pumps 16
3.11 Excitation from flow cavitation in pump nozzles and connected pipes 16

VDI-Gesellschaft Produkt- und Prozessgestaltung (GPP)

Fachbereich Schwingungstechnik

VDI-Handbuch Schwingungstechnik

 Alle Rechte vorbehalten © Verein Deutscher Ingenieure e.V., Düsseldorf 2012

Seite

3.12 Erregung durch Druckstöße bei Zwei- oder Mehrphasenströmungen . . . 16
3.13 Erregung durch Teillastbetrieb bei Kreiselpumpen 17
3.14 Schwingungen durch Wälzlagerschäden an Pumpen. 17
3.15 Schwingungen durch Stillstandserschütterungen bei wälzgelagerten Pumpen 17
3.16 Schwingungen durch Gleitlagerschäden an Pumpen. 18
3.17 Schwingungen durch Trockenlauf an mediengeschmierten Gleitlagern und Gleitringdichtungen von Pumpen (Reibschwingungserregung) 18

4 Empfehlungen für die Schwingungsmessung 19
4.1 Allgemeines. 19
4.2 Mess- und Kenngrößen 19
4.3 Auswahl und Ankopplung der Schwingungsaufnehmer – Störeinflüsse . . 20
4.4 Messorte und Messrichtungen 21
4.5 Beurteilungskriterien und Grenzwerte . . . 21
4.6 Hinweise zur Ursachenerkennung und Diagnose 22
4.7 Schwingungsüberwachung 23

Anhang Tabellarische Übersicht der typischen Schwingungserregungen bei Pumpen zur schnelleren Ursacheneingrenzung 24

Schrifttum 34

Page

3.12 Excitation due to pressure surges with two- or multiphase flow 16
3.13 Excitation due to partial-load operation in centrifugal pumps 17
3.14 Vibrations due to roller bearing damage in pumps 17
3.15 Vibrations due to standstill vibrations in pumps fitted with roller bearings . . . 18
3.16 Vibrations due to plain bearing damage in pumps 18
3.17 Vibrations due to dry running in process-fluid-lubricated plain bearings and face seals in pumps (frictional vibration excitation) 18

4 Recommendations for vibration measurement 19
4.1 General 19
4.2 Measured and characteristic quantities. . . 19
4.3 Selecting and connecting up vibration transducers – disturbing influences 20
4.4 Measuring points and measuring directions. 21
4.5 Evaluation criteria and limit values 21
4.6 Information about cause identification and diagnosis 22
4.7 Vibration monitoring 23

Annex Tabular overview of typical vibration in pumps for the faster identification of its causes 29

Bibliography 34

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.

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.

All rights reserved © Verein Deutscher Ingenieure e.V., Düsseldorf 2012

Einleitung

In der Richtlinienreihe VDI 3839 werden Verfahren und Einrichtungen zur Messung der Schwingungen von Maschinen beschrieben. Sie erläutern die wesentlichen Kriterien zur Bewertung der Messergebnisse und nennen die maßgebenden Beurteilungsrichtlinien und -normen. Weiterhin werden Anleitungen zu Analyse und Deutung gemessener Schwingungen gegeben, um bei Beanstandungen, Störungen oder Schäden Hinweise auf deren Ursachen zu erhalten und Abhilfemaßnahmen einleiten zu können. Hierzu sind in VDI 3839 Blatt 2 bis Blatt 8 Beispiele für charakteristische Schwingungsursachen und die sich ergebenden Schwingungsbilder aufgenommen worden.

Die Richtlinienreihe VDI 3839 soll kein Fachbuch der Schwingungslehre ersetzen. Sie ist vorwiegend gedacht als Leitfaden für Ingenieure und Techniker in Entwicklungs-, Prüf- oder Betriebsabteilungen, die keine gezielte Ausbildung auf dem Gebiet der Messung und Interpretation von Schwingungen haben. Die Richtlinienreihe soll auch denen einen Überblick verschaffen, die nur gelegentlich mit schwingungstechnischen Störungen befasst sind, beispielsweise in Stör- oder Schadensfällen. Nicht zuletzt sollen dem Leser dieser Richtlinienreihe Hinweise gegeben werden, wann es notwendig wird, Experten einzuschalten, die spezielles Fachwissen über Konstruktion, Arbeitsverfahren und die schwingungstechnischen Probleme bestimmter Maschinentypen haben.

Erschienen sind bisher:

Blatt 1	Allgemeine Grundlagen
Blatt 2	Schwingungsbilder für Anregungen aus Unwuchten, Montagefehlern, Lagerungsstörungen und Schäden an rotierenden Bauteilen
Blatt 4	Typische Schwingungsbilder bei Ventilatoren und Gebläsen für Gase
Blatt 5	Typische Schwingungsbilder bei elektrischen Maschinen
Blatt 6	Typische Schwingungsbilder bei Maschinensätzen in hydraulischen Kraftwerken
Blatt 7	Typische Schwingungsbilder bei Pumpen
Blatt 8	Typische Schwingungsbilder bei Kolbenmaschinen

Eine Liste der aktuell verfügbaren Blätter dieser Richtlinienreihe ist im Internet abrufbar unter www.vdi.de/3839.

Introduction

In the series of guidelines VDI 3839, the methods and apparatus used for measuring machine vibrations are described. They explain the main criteria applicable in evaluating measurement results and specify the relevant evaluation guidelines and standards. Furthermore, instructions are given regarding the analysis and interpretation of measured vibrations with a view to ascertaining their causes in the event of complaints, faults or damage and enabling remedial measures to be initiated. To this end, examples of characteristic causes of vibration and the associated vibration patterns are given in VDI 3839 Part 2 to Part 8.

The series of guidelines VDI 3839 is not intended to replace specialist works on vibration theory. It is predominantly intended to be used as a guide for engineers and technicians in development, testing or engineering departments who are not specifically qualified or trained in the field of vibration measurement and interpretation. The series of guidelines should also provide an overview for people who only occasionally have to deal with vibration-related problems for example, when damage or malfunctioning occurs. Last but not least, the reader of this series of guideline should find information on when it is advisable to call in experts who can apply their specialised knowledge of the design, working principles and vibration-related problems of certain machine types.

So far these parts have appeared:

Part 1	General principles
Part 2	Vibration patterns for excitation originating in unbalances, misassembly, bearing defects and damage to rotating parts
Part 4	Typical vibration patterns with fans and blowers for gases
Part 5	Typical vibration patterns with electrical machines
Part 6	Typical vibration patterns with machine sets in hydraulic power stations
Part 7	Typical vibration patterns with centrifugal pumps
Part 8	Typical vibration patterns with reciprocating machines

A list of the parts of this series of guidelines which are currently available may be found on the internet at www.vdi.de/3839.

 Alle Rechte vorbehalten © Verein Deutscher Ingenieure e.V., Düsseldorf 2012

1 Anwendungsbereich

Die Richtlinie VDI 3839 Blatt 7 gibt eine Übersicht über die spezifischen Schwingungsprobleme an Pumpen mit Nennleistungen über 1 kW, die in Anlagen und Geräten eingesetzt werden. Das Haupteinsatzgebiet der in dieser Richtlinie behandelten Pumpen sind Strömungsmaschinen und Verdrängerpumpen zur Förderung von Flüssigkeiten und Suspensionen in industriellen Anwendungen, in der Energiewirtschaft sowie in Anlagen der Ver- und Entsorgungstechnik. Maschinen zur Gasförderung oder Vakuumerzeugung, die im Sprachgebrauch ebenfalls als Pumpen bezeichnet werden, behandelt die Richtlinie ebenfalls. Pumpen in hydraulischen Kraftwerken werden in VDI 3839 Blatt 6 behandelt. In der Technik werden Pumpen in einer großen Typenvielfalt angewendet. Sie können sehr unterschiedlich im konstruktiven Aufbau und der Antriebsleistung sein. Eine Übersicht findet sich in VDMA 24261. Nicht alle darin genannten Varianten können hier erschöpfend behandelt werden.

Allgemeine Informationen zur Messung und Analyse von Maschinenschwingungen und zu den Schwingungsproblemen, die an allen rotierenden Maschinen auftreten können, werden in VDI 3839 Blatt 1 und Blatt 2 gegeben. Auf diese allgemeinen Informationen wird hier nur soweit eingegangen, wie es notwendig ist, die Besonderheiten bei Pumpen darzustellen. Wenn Pumpen durch elektrische Maschinen angetrieben werden, ist zusätzlich VDI 3839 Blatt 5 zu beachten. Für Pumpen in hydraulischen Kraftwerken werden in VDI 3839 Blatt 6 spezielle Informationen gegeben.

In dieser Richtlinie sollen dem Hersteller der Maschinen, dem Anlagenbauer und dem Betreiber Hinweise zum Erkennen der Ursachen störender und im Langzeitbetrieb schädigender Schwingungen gegeben und Abhilfemaßnahmen empfohlen werden.

Störende Schwingungen treten oft erst vor Ort während des Betriebs der Maschine auf und müssen schnell analysiert werden, um Betriebsstörungen zu vermeiden. Die störenden Schwingungen sind in den meisten Fällen auf einige wenige charakteristische Ursachen zurückzuführen. Mit Abstand am häufigsten sind dies

- Unwuchten,
- Fehlausrichtungen und
- Wälzlagerschäden.

Auch Eigenschwingungen und strömungstechnisch verursachte Anregungen treten öfters auf. Bei den selteneren Sonderfällen gibt es dagegen eine Vielzahl weiterer unterschiedlicher Ursachen. In Abschnitt 3 werden in der Praxis angetroffene, charakteristische

1 Scope

Guideline VDI 3839 Part 7 provides an overview of the specific vibration problems occurring with pumps with nominal output ratings over 1 kW which are used in installations and equipment. The main area of application of the pumps dealt with in the present guideline covers fluid kinetic machines and positive-displacement pumps for moving liquids and suspensions in industrial applications, in the energy industry as well as in supply and disposal installations. This guideline also covers machines for gas production or vacuum generation which in general usage are also called pumps. Pumps in hydraulic power stations are dealt with in VDI 3839 Part 6. A large variety of pumps is used in engineering. They may vary a great deal in their design and power ratings. An overview may be found in VDMA 24261 although not all of the types it mentions can be covered here in any great detail.

General information about the measurement and analysis of machine vibrations and the vibration problems which can arise in all rotating machines is given in VDI 3839 Part 1 and Part 2. This general information will not be repeated here unless this is necessary in describing the special features of pumps. When pumps are powered by electrical machines, reference should also be made to VDI 3839 Part 5. Special information is provided in VDI 3839 Part 6 regarding pumps in hydraulic power stations.

This guideline is intended to provide the machine manufacturer, the plant engineer and the operator with information about identifying the causes of troublesome vibrations which may in the long term result in damage and also to recommend remedial measures.

In many cases problematic vibrations do not occur until the machine is actually operating in its intended location and then need to be analyzed quickly in order to prevent operational disturbances. In most cases the problematic vibrations can be traced back to just a few characteristic causes. By far the commonest causes are

- imbalances
- misalignments and
- roller bearing damage.

Natural vibrations and fluidics-related excitations are also relatively frequent causes. On the other hand, a wide variety of other causes is found in the less common special cases. Both the characteristic and also the special vibration problems found in practice will

All rights reserved © Verein Deutscher Ingenieure e.V., Düsseldorf 2012

und auch spezielle Schwingungsprobleme an Beispielen erläutert und deren Erscheinungsbilder und Ursachen systematisch dargestellt.

be explained in Section 3 with the aid of examples, and their manifestations and causes systematically presented.