

VEREIN
DEUTSCHER
INGENIEURE

Hinweise zur Messung und Interpretation der
Schwingungen von Maschinen
Typische Schwingungsbilder bei Ventilatoren und
Gebläsen für Gase

VDI 3839
Blatt 4 / Part 4

Instructions on measuring and interpreting the
vibration of machines
Typical vibration patterns with fans and blowers for
gases

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 | Contents | Page |
|---|-----------|---|-----------|
| Vorbemerkung | 2 | Preliminary note | 2 |
| Einleitung | 2 | Introduction | 2 |
| 1 Anwendungsbereich | 4 | 1 Scope | 4 |
| 2 Normative Verweise | 4 | 2 Normative references | 4 |
| 3 Technische Kenndaten und Einteilung von Ventilatoren und Gebläse | 5 | 3 Technical characteristics and classification of fans and blowers | 5 |
| 3.1 Allgemeines | 5 | 3.1 General comments | 5 |
| 3.2 Bauformen, Antriebsarten und Regelung von Ventilatoren | 6 | 3.2 Models, drive types and control of fans | 6 |
| 3.3 Bauformen und Antriebsarten von Gebläsen | 8 | 3.3 Blower models and drive types | 8 |
| 4 Übersichten über Schwingungsanregungen bei Ventilatoren und Gebläsen | 9 | 4 Overview of vibration excitations in fans and blowers | 9 |
| 5 Mechanische Schwingungsanregungen und ihre Erscheinungsbilder | 9 | 5 Mechanical vibration excitations and their manifestations | 9 |
| 5.1 Unwucht als Anregung | 9 | 5.1 Imbalance as excitation | 9 |
| 5.2 Besonderheiten von Unwuchten bei speziellen Bauformen | 11 | 5.2 Special features of imbalances with special designs | 11 |
| 5.3 Anregungen durch Ausrichtfehler oder Kupplungsfehler | 16 | 5.3 Excitations due to alignment errors or coupling faults | 16 |
| 5.4 Anregungen aus Wälzlagerschäden – häufigste Formen und ihr Erkennen | 20 | 5.4 Excitations from roller bearing damage – commonest forms and their identification | 20 |
| 6 Aeromechanisch erregte Schwingungen | 21 | 6 Aeromechanically excited vibrations | 21 |
| 6.1 Eigenschaften aeromechanisch erregter Schwingungen | 21 | 6.1 Characteristics of aeromechanically excited vibrations | 21 |
| 6.2 Schaufel-Passierfrequenz | 22 | 6.2 Blade passing frequency | 22 |
| 6.3 Instabiler Betrieb im Pumpgebiet | 23 | 6.3 Unstable operation and pumping | 23 |
| 6.4 Strömungsabriss an Vorleitschaufeln | 24 | 6.4 Stall at inlet guide vanes | 24 |
| 6.5 Parallelbetrieb – Schwingungsprobleme an Maschinen in Anlagen | 24 | 6.5 Parallel operation – vibration problems in machines in installations | 24 |
| 6.6 Schaufelverstellungen | 25 | 6.6 Blade adjustments | 25 |
| 6.7 Rotating Stall an großen Axialventilatoren | 26 | 6.7 Rotating stall in large axial fans | 26 |
| 6.8 Pulsationen durch Luftsäulenschwingungen im Kanal | 26 | 6.8 Pulsation due to air column vibrations in the ducting | 26 |

VDI-Gesellschaft Produkt- und Prozessgestaltung (GPP)

Fachbereich Schwingungstechnik

| | Seite |
|---|-------|
| 7 Schwingungsanregungen aus dem Antrieb | 27 |
| 7.1 Elektromagnetische Anregungen | 27 |
| 7.2 Mechanische Schwingungen bei Drehzahlregelung | 28 |
| 8 Schwingungsanregungen aus der Umgebung | 30 |
| 9 Typische Arten von Eigenschwingungen | 31 |
| 9.1 Gesamtmaschine | 31 |
| 9.2 Schaufelschwingungen | 31 |
| 9.3 Schwingungen von Flächen und Rohrleitungen | 32 |
| 9.4 Rotorschwingungen | 33 |
| 9.5 Rahmenschwingungen | 34 |
| 9.6 Lagerbockschwingungen | 36 |
| 9.7 Schwingungen von Riemenantrieben | 36 |
| 10 Empfehlungen für die Schwingungsmessung | 37 |
| 10.1 Allgemeines | 37 |
| 10.2 Mess- und Betriebsbedingungen | 37 |
| 10.3 Mess- und Kenngrößen | 39 |
| 10.4 Messeinrichtungen und Störeinflüsse | 40 |
| 10.5 Beurteilungskriterien und Grenzwerte | 41 |
| 10.6 Prinzipielles zur Ursachenerkennung und Diagnose | 42 |
| 11 Schwingungsüberwachung | 44 |
| Schrifttum | 45 |

| | Page |
|---|------|
| 7 Vibration excitation from the drive | 27 |
| 7.1 Electromagnetic excitation | 27 |
| 7.2 Mechanical vibrations with speed regulation | 28 |
| 8 Vibration excitations from the environment | 30 |
| 9 Typical kinds of natural vibration | 31 |
| 9.1 Entire machine | 31 |
| 9.2 Blade vibrations | 31 |
| 9.3 Vibrations from surfaces and pipes | 32 |
| 9.4 Rotor vibrations | 33 |
| 9.5 Frame vibrations | 34 |
| 9.6 Bearing block vibrations | 36 |
| 9.7 Vibrations from belt drives | 36 |
| 10 Recommendations for vibration measurement | 37 |
| 10.1 General comments | 37 |
| 10.2 Measuring and operating conditions | 37 |
| 10.3 Measured and characteristic quantities | 39 |
| 10.4 Measuring equipment devices and disturbing influences | 40 |
| 10.5 Evaluation criteria and limit values | 41 |
| 10.6 Basic information about cause identification and diagnosis | 42 |
| 11 Vibration monitoring | 44 |
| Bibliography | 45 |

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

Richtlinien der Reihe VDI 3839 beschreiben Verfahren und Einrichtungen zur Messung der Schwingungen von Maschinen. Sie erläutern die wesentlichen Kriterien zur Bewertung der Messergebnisse und nennen die maßgebenden Beurteilungsrichtlinien oder -normen. Weiterhin werden Anleitungen zur Analyse und Deutung gemessener Schwingungen gegeben, um bei Beanstandungen,

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

The guidelines of the VDI 3839 guideline series describe the procedures and apparatus used for measuring machine vibrations. They explain the main criteria applicable in evaluating measurement results and specify the relevant evaluation guidelines or standards. Furthermore, instructions are given regarding the analysis and interpretation of measured vibrations with a view to ascertaining

Störungen oder Schäden Hinweise auf deren Ursachen zu erhalten und Abhilfemaßnahmen einleiten zu können. Hierzu sind in Blatt 2 bis Blatt 8 der Richtlinienreihe Beispiele für typische Schwingungsursachen und die sich ergebenden Schwingungsbilder aufgenommen worden.

Richtlinien der Reihe VDI 3839 sollen kein Fachbuch der Schwingungslehre ersetzen. Sie sind 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 besitzen. Sie sollen auch denen einen Überblick verschaffen, die nur gelegentlich mit schwingungstechnischen Problemen befasst sind, beispielsweise bei Stör- oder Schadensfällen. Nicht zuletzt sollen dem Leser dieser Richtlinien Hinweise gegeben werden, wann es notwendig wird, Experten einzuschalten, die spezielles Fachwissen über Konstruktion, Arbeitsverfahren und die schwingungstechnischen Probleme bestimmter Maschinentypen besitzen.

Die Richtlinienreihe VDI 3839 besteht aus mehreren Blättern. Mit der Unterteilung in eine Reihe von Einzelblättern unter der gleichen Kennnummer wird dem Nutzer die Möglichkeit geboten, nur die für seine Branche oder sein Fachgebiet wichtigen Blätter anzuschaffen. Weiterhin ist es ohne Aufwand möglich, die Reihe um weitere Maschinenarten oder Einsatzbereiche zu erweitern, wenn hierfür ausreichend Kenntnisse und Erfahrungen vorliegen.

Blatt 1 Allgemeine Grundlagen

Blatt 2 Schwingungsbilder für Anregungen aus Unwuchten, Montagefehlern, Lagerungsstörungen und Schäden an rotierenden Bauteilen

Blatt 3 Typische Schwingungsbilder bei Dampfturbinen, Gasturbinen und Turboverdichtern (in Vorbereitung)

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 Kreiselpumpen (in Vorbereitung)

Blatt 8 Typische Schwingungsbilder bei Kolbenmaschinen

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

their causes in the event of complaints, faults or damage and enabling remedial measures to be initiated. To this end, examples of typical causes of vibration and the associated vibration patterns are given in VDI 3839 Part 2 to Part 8.

The VDI 3839 guideline series 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 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 these guidelines 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.

The VDI 3839 guideline series consists of several parts. This subdivision into a series of separate parts with the same code number will allow the user to select just those parts which are of importance to his particular industry or specialist field. This approach also makes it simpler for us to add additional machine types or areas of application to the series once sufficient knowledge and experience has been accumulated.

Part 1 General principles

Part 2 Vibration patterns for excitation arising from unbalance, incorrect assembly, bearing faults and damage to rotating components

Part 3 Typical vibration patterns with steam turbines, gas turbines and turbo-compressors (in preparation)

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 (in preparation)

Part 8 Typical vibration patterns with reciprocating machines

A catalogue of all available parts of this guideline series can be accessed on the internet at www.vdi.de/3839.

1 Anwendungsbereich

Die vorliegende Richtlinie gibt eine Übersicht über die spezifischen Schwingungsprobleme an Ventilatoren und Gebläsen für Gase, die in Anlagen und Geräten eingesetzt werden. Diese können Antriebsleistungen im Kilowatt- bis Megawatt-Bereich und mehr als 100 mm Laufrad-Außendurchmesser haben. 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 und bilden die Grundlage für Blatt 4. Auf diese allgemeinen Informationen wird hier nur in soweit eingegangen, wie es notwendig ist, die Besonderheiten bei Ventilatoren und Gebläsen darzustellen.

Viele der hier beschriebenen Phänomene können auch bei anderen Strömungsmaschinen auftreten, z.B. bei Turboverdichtern. Auf diese soll in der geplanten Richtlinie VDI 3839 Blatt 3 eingegangen werden. Schrauben- und Kolbenverdichter zeigen anderer Schwingungsbilder aufgrund ihrer anderen Arbeitsprinzipien und konstruktiven Gestaltungen; deshalb werden diese hier nicht behandelt. Spezifische Hinweise dazu finden sich in VDI 3836 und VDI 3838.

In dieser Richtlinie sollen dem Hersteller der Maschinen, dem Anlagenbauer und dem Betreiber Hinweise zum Erkennen der Ursachen störender Schwingungen und zu Abhilfemaßnahmen gegeben 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 werden in den meisten Fällen von einigen wenigen typischen Ursachen erzeugt. Mit Abstand am häufigsten sind das Unwuchten, Fehlausrichtungen und Wälzlagerschäden. Aber auch Eigenschwingungen und aerodynamische Anregungen treten öfter auf. Bei den selteneren Sonderfällen gibt es dagegen eine Vielzahl weiterer unterschiedlicher Ursachen. Im Folgenden sollen in der Praxis angetroffene, typische und auch spezielle Schwingungsprobleme an Beispielen erläutert und ihre Erscheinungsbilder und Ursachen systematisch dargestellt werden.

2 Normative Verweise / Normative references

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieser Richtlinie erforderlich / The following referenced documents are indispensable for the application of this guideline:

1 Scope

The present guideline provides an overview of the specific vibration problems occurring with fans and blowers for gases which are used in installations and equipment. These fans and blowers may have drive power levels in the kilowatt to megawatt range and the external diameter of their impellers may exceed 100 mm. 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 and forms the basis for Part 4. This general information will not be repeated here unless this is necessary in describing the special features of fans and blowers.

Many of the phenomena described here can also occur with other fluid kinetic machines, such as, for example, turbo-compressors. These are to be dealt with in the scheduled guideline VDI 3839 Part 3. Screw and piston compressors are not covered here since they work on different principles and have a different type of mechanical design. Specific information about this may be found in VDI 3836 and VDI 3838.

This guideline is intended to provide the machine manufacturer, the plant engineer and the operator with information on identifying the causes of troublesome vibrations and on remedial measures. In many cases problematic vibrations do not occur until the machine is actually operating in its intended location and need to be analysed quickly in order to prevent operational disturbances. In most cases the problematic vibrations can be traced back to just a few typical causes. Imbalance, misalignments and roller bearing damage are by far and away the commonest although natural vibrations and aerodynamic excitations are relatively frequent causes. On the other hand, a wide variety of other causes is found in the less common special cases. Both the typical and also the special vibration problems found in practice will be explained below with the aid of examples, and their manifestations and causes will be systematically presented.

VDI 3839 Blatt 1:2001-03 Hinweise zur Messung und Interpretation der Schwingungen von Maschinen; Allgemeine Grundlagen (Instructions on measuring and interpreting the vibrations of machines; General principles)

VDI 3839 Blatt 2:2003-05 Hinweise zur Messung und Interpretation der Schwingungen von Ma-