

VEREIN  
DEUTSCHER  
INGENIEURE

Hinweise zur Messung und Interpretation  
der Schwingungen von Maschinen  
Typische Schwingungsbilder bei Maschinensätzen  
in hydraulischen Kraftwerken

VDI 3839

Blatt 6 / Part 6

Instructions on measuring and interpreting  
the vibration of machines  
Typical vibration patterns with machine sets  
in hydraulic power stations

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
<b>1 Anwendungsbereich . . . . .</b>	<b>3</b>	<b>1 Scope . . . . .</b>	<b>3</b>
<b>2 Besonderheiten von Maschinensätzen in hydraulischen Kraftwerken . . . . .</b>	<b>4</b>	<b>2 Special features of machine sets in hydraulic power stations . . . . .</b>	<b>4</b>
2.1 Einsatzbereich . . . . .	4	2.1 Field of application . . . . .	4
2.2 Betriebszustände und Betriebsregime . . . . .	6	2.2 Operating modes and operating regimes . . . . .	6
<b>3 Bauarten und konstruktive Besonderheiten . . . . .</b>	<b>10</b>	<b>3 Types and special design features . . . . .</b>	<b>10</b>
3.1 Horizontale Maschinensätze auf starren Fundamenten . . . . .	10	3.1 Horizontal machine sets on rigid foundations . . . . .	10
3.2 Horizontal oder schräg eingebaute Maschinensätze mit nachgiebiger Lagerung im Fundament . . . . .	11	3.2 Horizontal or inclined machine sets with resilient bedding in the foundation . . . . .	11
3.3 Vertikale Maschinensätze . . . . .	12	3.3 Vertical machine sets . . . . .	12
3.4 Positionen und Bauformen der Traglager . . . . .	15	3.4 Positions and designs of thrust bearings . . . . .	15
<b>4 Schwingungstechnische Dimensionierung . . . . .</b>	<b>15</b>	<b>4 Vibration-related design . . . . .</b>	<b>15</b>
4.1 Biegeeigenfrequenzen und Rotorgestalt . . . . .	15	4.1 Natural bending frequencies and rotor geometry . . . . .	15
4.2 Anregungen und erzwungene Schwingungen . . . . .	16	4.2 Excitations and forced vibrations . . . . .	16
<b>5 Charakteristische Schwingungsanregungen und ihre Schwingungsbilder . . . . .</b>	<b>19</b>	<b>5 Characteristic vibration excitations and their vibration patterns . . . . .</b>	<b>19</b>
5.1 Mechanische Anregungen, Unwuchten . . . . .	19	5.1 Mechanical excitations, unbalances . . . . .	19
5.2 Hydraulische Anregungen . . . . .	22	5.2 Hydraulic excitations . . . . .	22
5.3 Elektromagnetische Anregungen . . . . .	39	5.3 Electromagnetic excitations . . . . .	39
<b>6 Empfohlene Messgrößen und Messorte . . . . .</b>	<b>44</b>	<b>6 Recommended measured variables and measuring points . . . . .</b>	<b>44</b>
6.1 Wellenschwingungen . . . . .	44	6.1 Shaft vibrations . . . . .	44
6.2 Schwingungen der Lager, Gehäuse und Fundamente . . . . .	45	6.2 Vibrations of bearings, housing and foundations . . . . .	45
<b>7 Beurteilungskriterien . . . . .</b>	<b>47</b>	<b>7 Assessment criteria . . . . .</b>	<b>47</b>
7.1 Normenwerke . . . . .	47	7.1 Standards . . . . .	47
7.2 Hinweise zur Schwingungsüberwachung . . . . .	48	7.2 Notes on vibration monitoring . . . . .	48
Schrifttum . . . . .	50	Bibliography . . . . .	50

VDI-Gesellschaft Entwicklung Konstruktion Vertrieb

Ausschuss Schwingungsmessungen

VDI-Handbuch Schwingungstechnik

### **Vorbemerkung**

Der Inhalt dieser Richtlinie ist entstanden unter sorgfältiger Berücksichtigung der Vorgaben und Empfehlungen der Richtlinie VDI 1000.

Allen, die ehrenamtlich an der Erstellung dieser Richtlinie mitgewirkt haben, sei auf diesem Wege gedankt.

Alle Rechte vorbehalten, auch das des Nachdrucks, der Wiedergabe (Fotokopie, Mikrokopie), der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, auszugsweise oder vollständig. Die Nutzung dieser VDI-Richtlinie als konkrete Arbeitsunterlage ist unter Wahrung des Urheberrechtes und unter Beachtung der VDI-Merkblätter 1 bis 7 möglich. Auskünfte dazu sowie zur Nutzung im Wege der Datenverarbeitung erteilt die Abteilung VDI-Richtlinien im VDI.

### **Einleitung**

Die 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 Beurteilungs-Richtlinien oder -Normen. Weiterhin werden Anleitungen zur 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 Blatt 2 bis Blatt 8 Beispiele für typische Schwingungsursachen und die sich ergebenden Schwingungsbilder aufgenommen worden.

Die 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 haben. Sie sollen auch denen einen Überblick verschaffen, die nur gelegentlich mit schwingungstechnischen Problemen befasst sind, beispielsweise in 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 schwingungstechnische Probleme bestimmter Maschinentypen haben.

Die Richtlinienreihe VDI 3839 soll aus mehreren Blättern bestehen, die alle den gemeinsamen Titel „Hinweise zur Messung und Interpretation der Schwingungen von Maschinen“ tragen. Mit der Unterteilung in eine Reihe von Einzelblättern unter der

### **Preliminary note**

The content of this guideline has been developed under thorough consideration of the requirements and recommendations of guideline VDI 1000.

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

All rights reserved including those of reprinting, reproduction (photocopying, microcopying), storage in data processing systems, and translation, either of the full text or of extracts. This VDI guideline can be used as a concrete project document without infringement of copyright and with regard to VDI notices 1 to 7. Information on this, as well as on the use in data processing, may be obtained by the VDI Guidelines Department at the VDI.

### **Introduction**

The guidelines of the VDI 3839 series describe 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 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 Part 2 to Part 8.

The VDI 3839 series of guidelines 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 design, working principles and vibration-related problems of certain machine types.

The VDI 3839 guideline series consists of several parts which all share the same title, namely “Instructions on measuring and interpreting the vibrations of machines”. This subdivision into a series of separate parts with the same code number will allow the user

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 zusätzliche Maschinenarten oder Einsatzbereiche zu erweitern, wenn hierfür ausreichend Kenntnisse und Erfahrungen vorliegen.

Erschienen sind bisher:

- Blatt 1 Allgemeine Grundlagen
- Blatt 2 Schwingungsbilder für Anregungen aus Unwuchten, Montagefehlern, Lagerungsstörungen und Schäden an rotierenden Bauteilen
- Blatt 5 Typische Schwingungsbilder bei elektrischen Maschinen
- Blatt 8 Typische Schwingungsbilder bei Kolbenmaschinen

In Bearbeitung ist zurzeit:

- Blatt 4 Typische Schwingungsbilder bei Ventilatoren und Gebläsen

In Vorbereitung:

- Blatt 3 Typische Schwingungsbilder bei Dampfturbinen, Gasturbinen und Turboverdichtern
- Blatt 7 Typische Schwingungsbilder bei Kreiselpumpen

## 1 Anwendungsbereich

Die vorliegende Richtlinie gibt eine Übersicht über die typischen Schwingungsbilder bei Maschinensätzen in hydraulischen Kraftwerken zur Energieerzeugung und in Pumpenanlagen, z.B. für die Trinkwasserversorgung. Diese Maschinensätze bestehen aus Turbinen und Generatoren, aus Pumpturbinen und Motorgeneratoren, eventuell mit Anfahrmotoren, oder aus E-Motoren und Hochdruckpumpen. In Pumpspeichieranlagen finden sich auch Maschinensätze, die aus Turbinen, Motorgeneratoren und an- oder auskuppelbaren Pumpen zusammengesetzt sind. Die unterschiedlichen Maschinen sind in der Regel starr miteinander gekuppelt und haben oft gemeinsam genutzte Lager. Ihr Wellenstrang kann horizontal, vertikal oder auch mit beliebigem Winkel geneigt angeordnet sein.

Die Richtlinie VDI 3839 Blatt 6 gibt keine Hinweise auf die speziellen Schwingungsbilder von Pumpen in industriellen Anlagen. Diese sollen in Blatt 7 behandelt werden.

Wenn die genannten hydraulischen Maschinen mit Generatoren oder E-Motoren über radial elastische Kupplungen verbunden sind und jeweils eigene

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.

So far these parts have appeared:

- Part 1 General principles
- Part 2 Vibration patterns for excitation arising from unbalance, incorrect assembly, bearing faults and damage to rotating components
- Part 5 Typical vibration patterns with electrical machines
- Part 8 Typical vibration patterns with reciprocating machines

Currently in process:

- Part 4 Typical vibration patterns with fans and blowers

In preparation:

- Part 3 Typical vibration patterns with steam turbines, gas turbines and turbo-compressors
- Part 7 Typical vibration patterns with pumps

## 1 Scope

The present guideline provides an overview of the typical vibration patterns found with machine sets in hydraulic power stations for energy generation and in pumping installations, for example, for the drinking water supply. These machine sets consist of turbines and generators, of pump-turbines and motor-generator sets, possibly with starting motors, or of electric motors and high-pressure pumps. Pump-storage machine sets also include machine sets consisting of turbines, motor-generator sets and pumps which can be coupled or uncoupled. As a rule the various machines are connected rigidly together and often share the same bearings. Their shafting can be horizontal, vertical or also be inclined at any angle.

Guideline VDI 3839 Part 6 does not, however, provide information about the special vibration patterns of pumps in industrial installations. These will be dealt with in Part 7.

If the hydraulic machines we have mentioned are connected with generators or electric motor via radially flexible couplings and each has its own bearings,