ICS 17.160

VDI-RICHTLINIEN

Juni 2004
June 2004

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE

Schwingungen in Rohrleitungssystemen

Vibrations in piping systems

VDI 3842

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.

BESTÄTIGT VDI zuletzt 2019

Inhalt Seite

Vorbemerkung 3
1 Zweck und Anwendungsbereich 4
2 Mitgeltende Normen und Richtlinien 5
3 Formelzeichen 7
4 Schwingungsphänomene 10
4.1 Übersicht 10
4.2 Schwingungen infolge von stationärer Rohrströmung 10
4.2.1 Durchströmte Rohre und Formstücke (Turbulenz) 10
4.2.2 Angeströmte Rohre, Rohrbündel und Einbauten (Wirbelablösung) . . . 11
4.2.3 Armaturen 11
4.3 Schwingungen infolge von Druckstößen und Flüssigkeitsschlägen 11
4.4 Schwingungen infolge von Druckpulsationen 12
4.5 Schwingungen infolge von Fremderregungen 12
5 Schwingungsberechnungen 13
5.1 Beschreibung der Erregungen 13
5.1.1 Stationäre Rohrströmung 13
5.1.2 Druckstöße und Flüssigkeitsschläge . 14
5.1.3 Druckpulsationen 16
5.1.4 Fremderregungen 17
5.2 Fluiddynamische Berechnungen 20
5.2.1 Grundlagen 20
5.2.2 Modellbildung 22
5.2.3 Rechenverfahren 23
5.2.4 Ergebnisse 24
5.2.5 Übergabe der Fluidkräfte an das Programm zur Strukturanalyse 24
5.3 Strukturdynamische Berechnungen 27
5.3.1 Grundlagen 27
5.3.2 Modellbildung 29

Contents Page

Preliminary note 3
1 Scope 4
2 Associated standards and guidelines 5
3 Symbols 7
4 Vibration phenomena 10
4.1 Overview 10
4.2 Vibrations resulting from steady-state pipe flow 10
4.2.1 Pipes and fittings with throughflow (turbulence) 10
4.2.2 Immersed pipes, pipe boundles and internals (vortex shedding) 11
4.2.3 Valves 11
4.3 Vibrations resulting from pressure surges and water hammers 11
4.4 Vibrations resulting from pressure pulsations 12
4.5 Vibrations resulting from external excitations 12
5 Vibration calculations 13
5.1 Description of types of excitation 13
5.1.1 Steady-state pipe flow 13
5.1.2 Pressure surges and water hammers . 14
5.1.3 Pressure pulsations 16
5.1.4 External excitations 17
5.2 Fluid-dynamics calculations 20
5.2.1 Basic principles 20
5.2.2 Modelling 22
5.2.3 Calculating methods 23
5.2.4 Results 24
5.2.5 Transfer of fluid forces to structural analysis program 24
5.3 Structural dynamics calculations 27
5.3.1 Basic principles 27
5.3.2 Modelling 29

VDI-Gesellschaft Entwicklung Konstruktion Vertrieb

Fachausschuss Schwingungen in Rohrleitungssystemen

VDI-Handbuch Schwingungstechnik

Frühere Ausgabe: 9.02 Entwurf, deutsch
Former edition: 9/02 draft, in German only

Zu beziehen durch / Available from Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin – Alle Rechte vorbehalten / All rights reserved © Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf 2004

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

All rights reserved © Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf 2004

Seite

5.3.2.1 Grundsätze 29
5.3.2.2 Balkenmodelle 31
5.3.2.3 Allgemeine FEM-Modelle . 35
5.3.3 Dämpfung 35
5.3.4 Rechenverfahren 36
5.3.4.1 Übersicht 36
5.3.4.2 Bewegungsgleichung und Eigenschwingungen. 37
5.3.4.3 Modales Zeitablaufverfahren 38
5.3.4.4 Berechnung im Frequenzbereich (Frequenzgangverfahren) 39
5.3.4.5 Antwort-Spektrum-Verfahren 40
5.3.4.6 Direkte Numerische Integration. 42
5.3.4.7 Ersatzverfahren 42
5.3.4.8 Berücksichtigung von Modellunschärfen („Frequenzshift“) 42
5.3.5 Einflüsse von Nichtlinearitäten: Lagerspiel und Lagerreibung 43
5.3.5.1 Übersicht 43
5.3.5.2 Lagerspiel und freie Schwingungen 43
5.3.5.3 Lagerreibung und freie Schwingungen 44
5.3.5.4 Progressive Federkennlinie und harmonisch erzwungene Schwingungen 45
5.4 Rechenprogramme 47

6 Schwingungsmessungen 48
6.1 Fluiddynamische Messungen. 48
6.1.1 Messaufgaben, Messgrößen 48
6.1.2 Druckaufnehmer (Sensoren). 49
6.1.3 Messstellenplan und Applikation . . 49
6.2 Strukturdynamische Messungen 50
6.2.1 Messaufgaben, Messgrößen 50
6.2.2 Schwingungsaufnehmer (Sensoren) 53
6.2.3 Messstellenplan und Applikation . . 54
6.3 Auswerteverfahren, Ergebnisse. 55
6.4 Messbericht 55
6.5 Vergleich der Ergebnisse aus Versuch und Analyse – Technische Diagnostik 57

7 Schwingungsbewertung 58
7.1 Übersicht 58
7.2 Globale Beurteilung 58

Page

5.3.2.1 Basic principles. 29
5.3.2.2 Beam models 31
5.3.2.3 General FEM models. . . . 35
5.3.3 Damping. 35
5.3.4 Calculating methods. 36
5.3.4.1 Overview . . . . . .
5.3.4.2 Equation of motion and natural vibrations 37
5.3.4.3 Time-history modal analysis 38
5.3.4.4 Calculation in the frequency range (frequency-response method). 39
5.3.4.5 Response-spectrum modal analysis 40
5.3.4.6 Direct numerical integration 42
5.3.4.7 Substitution methods 42
5.3.4.8 Taking model uncertainties into account (”frequency shift“) 42
5.3.5 Influences of non-linearities: gaps and friction in support constructions. 43
5.3.5.1 Overview 43
5.3.5.2 Gaps and free vibrations . . 43
5.3.5.3 Friction and free vibrations 44
5.3.5.4 Progressive spring characteristic and harmonically forced vibrations 45
5.4 Programs 47

6 Vibration measurements 48
6.1 Fluid-dynamics measurements 48
6.1.1 Measuring tasks and measured variables 48
6.1.2 Pressure pick-up devices (sensors) . 49
6.1.3 Measuring points plan and application. 49
6.2 Structural dynamics measurements 50
6.2.1 Measuring tasks and measured variables 50
6.2.2 Vibration pick-up devices (sensors) 53
6.2.3 Measuring points plan and application. 54
6.3 Evaluation methods and results 55
6.4 Measurement report 55
6.5 Comparison of the results from testing and analysis – technical diagnostics 57

7 Vibration evaluation 58
7.1 Overview 58
7.2 Global assessment 58

Alle Rechte vorbehalten © Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf 2004

7.2.1 Beurteilung von Druckstößen 58
7.2.2 Beurteilung von Druckpulsationen . 59
7.2.3 Anhaltswerte zulässiger Schwinggeschwindigkeiten 60
7.2.4 Näherungsverfahren zur Beurteilung von Rohrleitungsschwingungen . . . 63
7.3 Spannungsbeurteilung 64
7.3.1 Festigkeit 64
7.3.2 Ermüdung 70
7.3.3 Risse und Leck-vor-Bruch – Verhalten 73

8 Abhilfemaßnahmen 76
8.1 Minderung der Erregung 76
8.1.1 Maßnahmen bei Schwingungen infolge von stationärer Rohrströmung 76
8.1.2 Maßnahmen bei Schwingungen infolge von Druckstößen und Flüssigkeitsschlägen 77
8.1.3 Maßnahmen bei Schwingungen infolge von Druckpulsationen 80
8.1.4 Maßnahmen bei Schwingungen infolge von Fremderregungen 81
8.2 Maßnahmen zur Schwingungsreduzierung in Rohrleitungssystemen 83
8.2.1 Verstimmung 83
8.2.2 Dämpfung 83
8.2.3 Sondermaßnahmen 84

Schrifttum 87

7.2.1 Assessment of pressure surges . . . 58
7.2.2 Assessment of pressure pulsations . 59
7.2.3 Guidance values for permissible vibration velocities 60
7.2.4 Approximative methods for assessing pipe vibrations 63
7.3 Stress assessment 64
7.3.1 Strength 64
7.3.2 Fatigue 70
7.3.3 Cracks and leak-before-break behaviour 73

8 Remedial measures 76
8.1 Reduction of excitation 76
8.1.1 Measures applicable to vibrations resulting from steady-state pipe flow 76
8.1.2 Measures applicable to vibrations resulting from pressure surges and liquid hammers 77
8.1.3 Measures applicable to vibrations resulting from pressure pulsations . . 80
8.1.4 Measures applicable to vibrations resulting from external excitations . 81
8.2 Measures for reducing vibrations in piping systems 83
8.2.1 Detuning 83
8.2.2 Damping 83
8.2.3 Special measures 83

Bibliography 87