

VEREIN
DEUTSCHER
INGENIEUREDrehschwingungen im Antriebsstrang
Berechnung, Messung, Reduzierung
Torsional vibration of drivelines
Calculation, measurement, reduction

VDI 2039

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	4
Einleitung.	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweise	6
3 Formelzeichen	6
4 Grundlagen zur Berechnung und Messung von Drehschwingungen	8
4.1 Übersicht.	8
4.2 Drehschwingung.	10
4.3 Winkel, Winkelgeschwindigkeit und Winkelbeschleunigung.	10
4.4 Drehzahl, Drehfrequenz und Drehwinkelgeschwindigkeit.	10
4.5 Drehmoment.	11
4.6 Drehmasse, Massenträgheitsmoment	11
4.7 Drehfeder, Drehsteifigkeit	11
4.8 Drehschwingungsdämpfung.	11
4.9 Drehschwingungsfähiges System, Massensystem	15
4.10 Eigenfrequenz, Eigenwert und Eigenschwingungsform	15
4.11 Starrkörper-Eigenfrequenz und zugehörige Eigenschwingungsform	16
4.12 Elastische Moden	17
4.13 Modale Größen	17
4.14 Resonanz, Resonanzfrequenz	17
4.15 Ungleichförmigkeitsgrad	17
4.16 Ordnung, Ordnungszahl	17
4.17 Haupt- und Nebenordnung	18
4.18 Harmonische Analyse, Harmonische	18
4.19 Synthese	18
4.20 Ordnungsdigramm, Wasserfall- und Campbelldiagramm	18

Contents	Page
Preliminary note	4
Introduction	4
1 Scope	5
2 Normative references	6
3 Symbols.	6
4 Basic principles of calculating and measuring torsional vibration.	8
4.1 Overview	8
4.2 Torsional vibration	10
4.3 Angle, angular velocity and angular acceleration.	10
4.4 Rotational speed, rotational frequency, and rotation angle velocity	10
4.5 Torque	11
4.6 Rotating mass, mass moment of inertia.	11
4.7 Torsion spring, torsional stiffness.	11
4.8 Torsional vibration damping	11
4.9 Systems capable of torsional vibration, mass-elastic system	15
4.10 Natural frequency, eigenvalue and natural modes of vibration	15
4.11 Rigid-body natural frequency and associated mode shape	16
4.12 Elastic modes	17
4.13 Modal values	17
4.14 Resonance, resonance frequency	17
4.15 Degree of irregularity	17
4.16 Order, harmonic number	17
4.17 Major and minor orders	18
4.18 Harmonic analysis, harmonics	18
4.19 Synthesis	18
4.20 Order diagram, waterfall diagram and Campbell diagram.	18

VDI-Gesellschaft Produkt- und Prozessgestaltung (GPP)

Fachbereich Schwingungstechnik

VDI-Handbuch Schwingungstechnik

	Seite		Page
4.21	Arbeitspunkt (AP)	4.21	Operating point
4.22	Maximalwert, Betragsmaximalwert, Spitze-Spitze-Halbe-Wert	4.22	Peak value, peak magnitude, half peak-to-peak value
4.23	Linearer Mittelwert, Effektivwert	4.23	Linear mean value, RMS value
4.24	Drehschwingungsfähiges System als Kettenschwinger.	4.24	Torsional vibratory system as oscillator chain
4.25	Verzweigtes drehschwingungsfähiges System, offen und geschlossen verzweigt.	4.25	Branched torsional vibratory systems, open- and closed-branched
4.26	Selbsterregte Schwingungen	4.26	Self-excited vibrations
4.27	Parametererregte Schwingungen	4.27	Parameter-excited vibrations
4.28	Tangentialdruck, indizierter und effektiver Druck	4.28	Tangential pressure, indicated and effective pressure
5	Definition eines linearen und eines nicht- linearen schwingungsfähigen Systems	5	Definition of a linear and a non-linear vibratory system
5.1	Lineares schwingungsfähiges System	5.1	Linear vibratory system
5.2	Nichtlineares schwingungsfähiges System	5.2	Non-linear vibratory system
5.3	Auswirkungen von nichtlinearen Systemeigenschaften	5.3	Effects of non-linear system properties
5.4	Komponenten mit frequenzabhängigen Eigenschaften	5.4	Components with frequency-dependent properties
6	Bestimmung des Schwingungsverhaltens von Komponenten eines Antriebsstrangs	6	Determining the vibratory behaviour of driveline components
6.1	Einführung und Übersicht.	6.1	Introduction and overview
6.2	Kurbeltriebe	6.2	Crank mechanisms
6.3	Hubkolbenmaschinen – Motoren und Verdichter	6.3	Reciprocating piston engines – combustion engines and compressors
6.4	Gasturbinen und Turbokompressoren.	6.4	Gas turbines and turbocompressors.
6.5	Elektromotoren und Generatoren	6.5	Electric motors and generators
6.6	Kupplungen	6.6	Couplings
6.7	Schiffspropeller	6.7	Ship propellers
6.8	Windenergieanlagen (WEA)	6.8	Wind energy plants
6.9	Zahnradgetriebe	6.9	Gearing
6.10	Gelenkwellen	6.10	Cardan shafts
6.11	Hülltriebe	6.11	Belt and chain drives
6.12	Hubkolbenmotor mit Generator.	6.12	Reciprocating piston engines with generator
6.13	Hubkolbenmotor mit Propeller – Schiffsantrieb	6.13	Reciprocating piston engines with propeller – Ship propulsion.
6.14	Fahrzeugantriebe	6.14	Vehicle drives
6.15	Drehmomentstützen	6.15	Torque arms
6.16	Lager	6.16	Bearings.
7	Drehschwingungsberechnungen	7	Torsional vibration calculations
7.1	Modellbildung	7.1	Modelling
7.2	Kenngrößen und Kennfunktionen der Strukturelemente	7.2	Characteristic quantities and characteristic functions of the structural elements
7.3	Aufstellen der Bewegungsgleichungen.	7.3	Setting up the motion equations
7.4	Lösen der Bewegungsgleichungen	7.4	Solving the equations motion of
7.5	Ergebnisse, Beurteilung	7.5	Results, evaluation
8	Drehschwingungsmessungen.	8	Torsional vibration measurements
8.1	Einführung	8.1	Introduction
8.2	Messgrößen und allgemeine Vorgehensweise.	8.2	Measured variables and general procedure

	Seite		Page
8.3 Frequenzbereiche	73	8.3 Frequency domains	73
8.4 Messaufnehmer	73	8.4 Transmitter	73
8.5 Probleme bei Drehmomentmessungen	80	8.5 Problems in torque measurement	80
8.6 Hinweise zur Auswertung und Aufzeichnung von Messergebnissen	81	8.6 Evaluating and recording measurement results.	81
8.7 Messtechnische Probleme und Anwendung verschiedener Methoden	83	8.7 Metrological problems and application of different methods.	83
9 Nichtlinearitäten, Parametererregungen und Besonderheiten bei Drehschwingun- gen in Antriebssträngen	84	9 Non-linearities, parametric excitations, and special aspects in driveline torsional vibration	84
9.1 Übersicht	84	9.1 Overview	84
9.2 Nichtlinearitäten – Ursachen und Auswirkungen	84	9.2 Non-linearities – Causes and effects	84
9.3 Reiberregte Schwingungen	87	9.3 Friction-excited vibrations	87
9.4 Parametererregte Schwingungen	88	9.4 Parameter-excited vibrations	88
9.5 Starrkörper-Eigenfrequenzen und resonanzartige Verstärkungen	89	9.5 Rigid-body natural frequencies and resonance-like amplifications	89
9.6 Veränderungen der Torsionseigen- frequenzen	89	9.6 Changes in the torsional naturalfrequencies	89
9.7 Wechselwirkungen von Drehschwingungen auf die mechanischen und nicht mechanischen Komponenten eines Antriebsstrangs	89	9.7 Interactions of torsional vibrations with respect to the mechanical and non- mechanical components of a driveline	89
10 Beurteilung von Drehschwingungen	91	10 Evaluation of torsional vibration	91
10.1 Übersicht	91	10.1 Overview	91
10.2 Beurteilungskennwerte	92	10.2 Evaluation characteristics	92
10.3 Anhaltswerte und Grenzen für die Beurteilung – Schwingwinkel, -geschwindigkeit, -beschleunigung	93	10.3 Guide values and limits for the evaluation – Vibration angle, vibration velocity, vibration acceleration	93
11 Reduzierung von Drehschwingungen	95	11 Reduction of torsional vibrations	95
11.1 Einführung	95	11.1 Introduction	95
11.2 Drehschwingungsisolierung	96	11.2 Torsional vibration insulation	96
11.3 Drehschwingungstilgung und -tilger	97	11.3 Torsional vibration absorption and absorbers	97
11.4 Verstimmen des drehschwingungs- fähigen Systems	101	11.4 Detuning the torsional vibratory system	101
11.5 Reduzieren und Verändern der Drehschwingungserregung	101	11.5 Reducing and changing torsional vibration excitation	101
11.6 Drehschwingungsdämpfung	101	11.6 Torsional vibration damping	101
11.7 Drehzahladaptiver Tilger (DAT)	102	11.7 Speed-adaptive absorber (DAT)	102
11.8 Aktive Drehschwingungs- beeinflussung	105	11.8 Active influencing of torsional vibration	105
12 Erzeugen von Drehschwingungen	106	12 Generating torsional vibrations	106
12.1 Anwendungsgebiete	106	12.1 Areas of application	106
12.2 Technische Anforderungen	106	12.2 Technical requirements	106
12.3 Grundsätzliche physikalische Prinzipien	107	12.3 Basic physical principles	107
12.4 Anwendungsbeispiel – Ermittlung der Torsionsdauerfestigkeit einer Kurbelwelle	108	12.4 Example of application – Determining the torsional fatigue strength of a crankshaft	108
Schrifttum	108	Bibliography	108