

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.

Inhalt	Seite	Contents	Page
Vorbemerkung	3	Preliminary note	3
1 Zweck und Anwendungsbereich.	4	1 Scope	4
2 Mitgeltende Normen und Richtlinien	5	2 Associated standards and guidelines	5
3 Formelzeichen	7	3 Symbols	7
4 Schwingungsphänomene	10	4 Vibration phenomena	10
4.1 Übersicht	10	4.1 Overview	10
4.2 Schwingungen infolge von stationärer Rohrströmung	10	4.2 Vibrations resulting from steady-state pipe flow	10
4.2.1 Durchströmte Rohre und Formstücke (Turbulenz)	10	4.2.1 Pipes and fittings with throughflow (turbulence)	10
4.2.2 Angeströmte Rohre, Rohrbündel und Einbauten (Wirbelablösung).	11	4.2.2 Immersed pipes, pipe bundles and internals (vortex shedding).	11
4.2.3 Armaturen	11	4.2.3 Valves	11
4.3 Schwingungen infolge von Druckstößen und Flüssigkeitsschlägen	11	4.3 Vibrations resulting from pressure surges and water hammers	11
4.4 Schwingungen infolge von Druckpulsationen	12	4.4 Vibrations resulting from pressure pulsations	12
4.5 Schwingungen infolge von Fremderregungen	12	4.5 Vibrations resulting from external excitations	12
5 Schwingungsberechnungen	13	5 Vibration calculations	13
5.1 Beschreibung der Erregungen.	13	5.1 Description of types of excitation	13
5.1.1 Stationäre Rohrströmung.	13	5.1.1 Steady-state pipe flow	13
5.1.2 Druckstöße und Flüssigkeitsschläge	14	5.1.2 Pressure surges and water hammers	14
5.1.3 Druckpulsationen.	16	5.1.3 Pressure pulsations	16
5.1.4 Fremderregungen.	17	5.1.4 External excitations	17
5.2 Fluiddynamische Berechnungen	20	5.2 Fluid-dynamics calculations	20
5.2.1 Grundlagen	20	5.2.1 Basic principles	20
5.2.2 Modellbildung	22	5.2.2 Modelling	22
5.2.3 Rechenverfahren	23	5.2.3 Calculating methods	23
5.2.4 Ergebnisse	24	5.2.4 Results	24
5.2.5 Übergabe der Fluidkräfte an das Programm zur Strukturanalyse.	24	5.2.5 Transfer of fluid forces to structural analysis program	24
5.3 Strukturdynamische Berechnungen.	27	5.3 Structural dynamics calculations	27
5.3.1 Grundlagen	27	5.3.1 Basic principles	27
5.3.2 Modellbildung	29	5.3.2 Modelling	29

VDI-Gesellschaft Entwicklung Konstruktion Vertrieb

Fachausschuss Schwingungen in Rohrleitungssystemen

VDI-Handbuch Schwingungstechnik

	Seite		Page
5.3.2.1	29	5.3.2.1	29
5.3.2.2	31	5.3.2.2	31
5.3.2.3	35	5.3.2.3	35
5.3.3	35	5.3.3	35
5.3.4	36	5.3.4	36
5.3.4.1	36	5.3.4.1	36
5.3.4.2	37	5.3.4.2	37
5.3.4.3	38	5.3.4.3	38
5.3.4.4	39	5.3.4.4	39
5.3.4.5	40	5.3.4.5	40
5.3.4.6	42	5.3.4.6	42
5.3.4.7	42	5.3.4.7	42
5.3.4.8	42	5.3.4.8	42
5.3.5	43	5.3.5	43
5.3.5.1	43	5.3.5.1	43
5.3.5.2	43	5.3.5.2	43
5.3.5.3	44	5.3.5.3	44
5.3.5.4	45	5.3.5.4	45
5.4	47	5.4	47
6	48	6	48
6.1	48	6.1	48
6.1.1	48	6.1.1	48
6.1.2	49	6.1.2	49
6.1.3	49	6.1.3	49
6.2	50	6.2	50
6.2.1	50	6.2.1	50
6.2.2	53	6.2.2	53
6.2.3	54	6.2.3	54
6.3	55	6.3	55
6.4	55	6.4	55
6.5	57	6.5	57
7	58	7	58
7.1	58	7.1	58
7.2	58	7.2	58

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

Vorbemerkungen

Rohrleitungsbauteile im Anlagenbau werden in der Regel nach dem Innendruck dimensioniert (Wanddickenbestimmung). Anschließend werden die Rohrleitungssysteme im Rahmen einer Struktur- und Beanspruchungsanalyse nachgewiesen. Im Allgemeinen erfolgen die Nachweise nur für statische Belastungen, obwohl in der Praxis oftmals Schwingungsprobleme und entsprechende Schäden auftreten und in Regelwerken und in der Fachliteratur auf dynamische Effekte hingewiesen wird.

Dynamische Belastungen können – in Überlagerung mit den gleichzeitig auftretenden statischen Betriebslasten – je nach Art des Lastfalls zu

- Gewaltbruch (Festigkeitsversagen),
- Versagen durch Erreichen der plastischen Wechselfestigkeitsgrenze,
- Versagen durch Erreichen der Zeit- oder Dauerfestigkeitsgrenze (Ermüdung)

führen. Ihre Verfolgung kann daher ein wesentlicher Beitrag zur Anlagensicherheit sein. Andererseits hilft ihre genauere Betrachtung, unwirtschaftliche Über-

Preliminary note

In industrial plant engineering, piping components are as a rule dimensioned on the basis of the internal pressure (determination of wall thickness). The next step is for check calculations to be made of the pipe systems as part of a structure and stress analysis. In general these calculations are only performed for static loads despite the fact that in practice vibration problems and the corresponding damage occur frequently and in both the codes of practise and the specialist literature reference is made to dynamic effects.

Dynamic loads – when overlying the simultaneously present static operating loads – can have the following results, depending on the type of loading case:

- forced break (strength failure)
- failure due to the plastic alternating strength limit being reached
- failure due to the endurance limit being reached (fatigue)

Tracing these loads can therefore make a considerable contribution to plant safety. A detailed examination of them will also help to avoid uneconomic oversizing of

dimensionierungen zu vermeiden. Darüber hinaus können die Schwingungen – auch wenn es nicht zu Schäden kommt – die Produktqualität im Anlagenbau beeinträchtigen. Weiterhin strahlen schwingende Rohrleitungen Lärm ab, den es im Rahmen des Arbeits- und Umweltschutzes zu minimieren gilt. Die Behandlung von Schwingungen in Rohrsystemen ist daher sinnvoll und notwendig.

Schwingungsprobleme haben im Anlagenbau in den letzten 30 Jahren ständig an Bedeutung gewonnen:

- Die zu transportierenden Massenströme werden laufend größer. Aus Platz- und Kostengründen wachsen jedoch die Rohrleitungsquerschnitte nicht proportional mit. Dadurch sind z.B. die durchschnittlichen Dampfgeschwindigkeiten von ca. 30 m/s (1950) auf ca. 60 m/s angestiegen.
- Die Verfahrenstechnik fordert immer schnellere Lastwechsel und damit immer schnellere Stellzeiten von Armaturen.
- Es werden immer längere Rohrleitungen gebaut (Pipelines).
- Für die Prozesse werden zur Steigerung der Wirkungsgrade immer höhere Drücke und Temperaturen benötigt.
- Parallel zu den höheren Anforderungen nehmen die Stahlmassen der Rohrleitungssysteme einschließlich Halterungen auf Grund höherer Werkstoffqualitäten sowie höherer Ausnutzungsgrade in Verbindung mit genaueren Strukturanalysen ständig ab.
- Bei sicherheitstechnisch relevanten Anlagen (Anlagen mit erhöhtem Sekundärrisiko) wird heute zusätzlich die Auslegung gegen postulierte Störfälle (Erdbeben, Explosionen) gefordert.

In den Regelwerken fehlen heute – mit Ausnahme der Kerntechnik – noch immer Hinweise, in welchen Fällen und nach welchen Methoden Berechnungen für dynamische Belastungen durchzuführen sind und durch welche konstruktiven Maßnahmen Schwingungsprobleme vermieden bzw. minimiert werden können. Hinweise für Schwingungsmessungen an Rohrleitungssystemen zur Analyse vorhandener Schwingungen fehlen in den Regelwerken bisher ganz. Diesem Mangel versucht die vorliegende Richtlinie VDI 3842 abzuwehren.

1 Zweck und Anwendungsbereich

Ziel der Richtlinie VDI 3842 ist die Behandlung von Schwingungen in Rohrleitungssystemen, insbesondere

- Darstellung der Schwingungsphänomene und ihrer Erregungen,

components. In addition, the vibrations – even if no damage results – can impair the product quality in plant construction. Furthermore, vibrating pipelines emit noise, and this must be minimized as part of measures to protect working conditions and the environment. Dealing with vibration in pipe systems is therefore both sensible and necessary.

Over the last thirty years vibration problems in industrial plant construction have become more and more important:

- The mass flows which have to be transported are increasing continuously, but for reasons of space and costs, pipe cross-sections have not been keeping pace. The result is that, for example, average steam speeds of around 30 m/s in 1950 have risen to around 60 m/s.
- Process engineering demands ever faster load changes and thereby ever faster actuating times in valving.
- Longer and longer pipe systems are being built (pipelines).
- Processes require ever higher pressures and temperatures in order to raise levels of efficiency.
- In parallel with these higher requirements, there is a constant decrease in the masses of steel used in the pipe systems, including pipe supports. This is due to higher qualities of material and higher levels of utilization in conjunction with more accurate structural analyses.
- In the case of systems where safety plays an important role (installations with an increased secondary risk), their design today must also take postulated hazardous incidents into account (earthquake, explosions).

With the exception of nuclear engineering, codes of practise today still fail to provide information about in which cases and by using which methods analyses are to be made for dynamic loads and about which design measures can be applied to minimize or avoid vibration problems. Information on measuring vibrations in pipe systems for the purpose of analysing the vibrations which may be present have so far been entirely ignored by these codes. The present guideline, VDI 3842, seeks to help remedy this deficiency.

1 Scope

The objective of guideline VDI 3842 is to deal with vibrations in pipework systems, and in particular

- to describe vibration phenomena and the associated kinds of excitation