

Maschinen- Zustandsüberwachung

Einführung

Maschinen-Zustandsüberwachung

Instandhaltung

Traditionelle Instandhaltung:

- Periodische Stilllegung zur Überholung
- Unterbrechung der Produktion, Überprüfung der Anlagen auf Verschleiß
- Lager, Lüfter, Getriebe, Pumpen und andere verschleißanfällige Komponenten werden ausgetauscht, ohne ihre Restnutzungsdauer zu kennen
- Zwischen diesen geplanten Reparaturen verursachen nicht vorhersehbare Fehler Produktionsausfälle
- Ungeplante Reparaturen sind kostenintensiv

Vorbeugende Instandhaltung:

- Überwachung von **Schwingung**, Schall, Temperatur, Ölzustand
- Erlaubt die Vorhersage von Maschinen-schäden, Reparaturen können vor dem Ausfall durchgeführt werden
- Instandhaltungen sind besser planbar
- Höhere Anlagenverfügbarkeit
- Geringere Wartungskosten
- Bessere Produktqualität
- Erhöhte Arbeitssicherheit

Schwingungsüberwachung an Maschinen

Vorteile

- Schwingungsamplituden sind oft proportional zum Schadensausmaß
- Kein Eingriff in die Maschine nötig
- Viele Komponenten zeigen erhöhte Schwingungen in einem frühen Stadium des Schadensverlaufs
- Schwingung kann sofort vor Ort oder aus der Ferne gemessen werden
- Schwingung gibt Auskunft über die Schwere eines Schadens und die Geschwindigkeit des Schadensverlaufs
- Schwingung kann zur Lokalisierung der schadhaften Komponente genutzt werden

Schwingungsüberwachung an Maschinen

Entstehung von Maschinenschwingungen

- Maschinen erzeugen Vibrationen durch rotierende oder sich linear bewegende Teile
- Ein Trendverlauf zu höheren Schwingamplituden deutet auf einen Schaden hin
- Typische Ursachen sind:
 - Fehlausrichtung im Antriebsstrang
 - Verschlossene oder beschädigte Lager
 - Unwuchten durch verbogene oder fehlende Teile oder Schmutzanhaftungen an Ventilatoren
 - Montagefehler
- Schwingungen treten üblicherweise mit einer Hauptrichtung senkrecht zur Rotationsachse auf
- Die Stärke von Schwingungen wird bestimmt durch
 - die Steifigkeit und die Geometrie der Maschine
 - das Maschinenfundament
 - die Drehgeschwindigkeit rotierender Teile

Schwingungsüberwachung an Maschinen

Schwingungsüberwachung

Dauerüberwachung

- Schwingungsschalter
- Schwingstärkewächter
- Spektrale Schwingungswächter

Zyklische Überwachung

- Transportable Schwingstärkemesser
- Transportable Schwingungsanalysatoren
- Datenlogger

VS1x



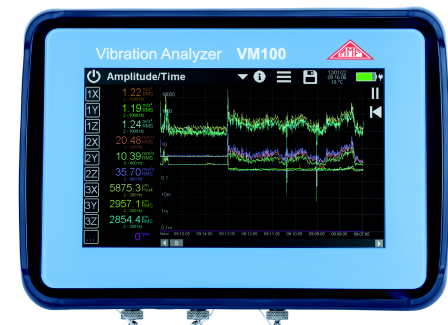
M14



VM2x



VM100



Schwingungsüberwachung an Maschinen

Arten der Messung nach ISO 20816

- Schwingungsmessung an nicht-rotierenden Bauteilen, meist durch seismische Geschwindigkeits- oder Beschleunigungsaufnehmer auf einem Gehäuseteil, z.B. einem Lagergehäuse
- Messung der relativen Wellenschwingung, meist mit berührungslosen Wegaufnehmern zwischen Welle und Gehäuse
- Messung der absoluten Wellenschwingung
 - durch auf der Welle gleitende Messtaster mit einem seismischen Aufnehmer oder
 - berührungslosen Wegaufnehmer und seismischen Aufnehmer, deren Signale addiert werden

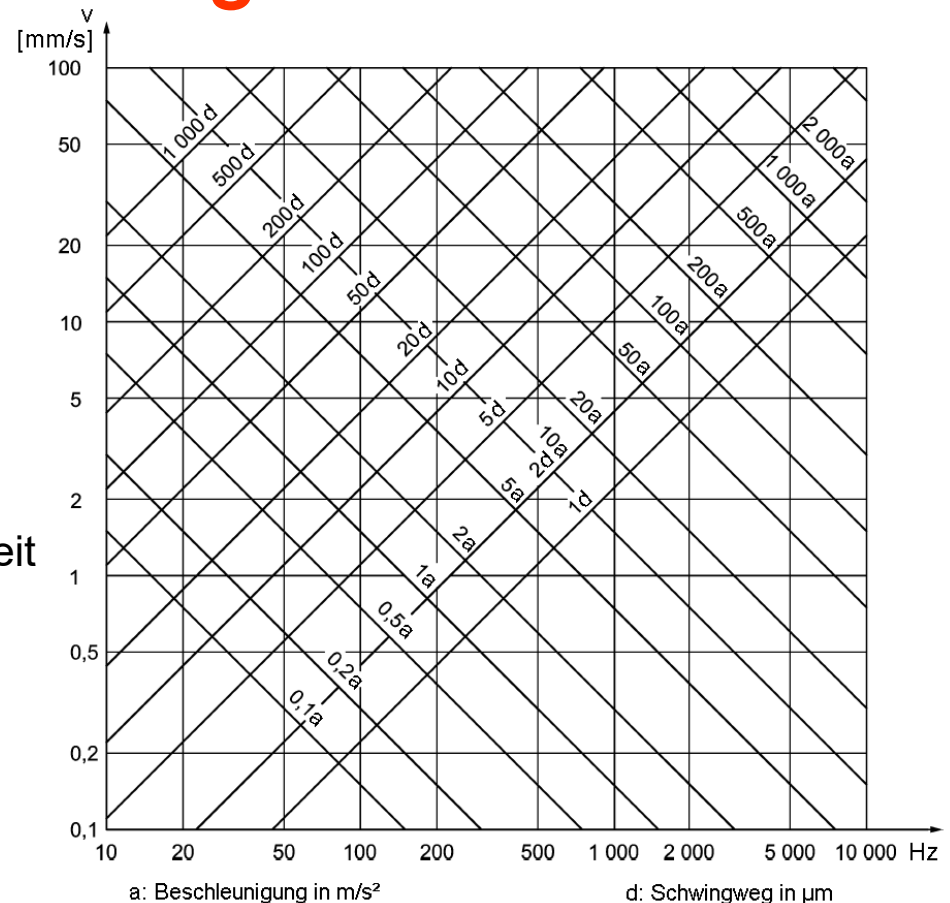
Schwingungsüberwachung an Maschinen

Messparameter

- Schwingweg in μm
- Schwinggeschwindigkeit in mm/s
- Schwingbeschleunigung in m/s^2

Bevorzugte Messgrößen

- Effektivwert der Schwinggeschwindigkeit für Messungen an nicht-rotierenden Bauteilen
- Spitze-Spitze-Wert des Schwingwegs für Wellenschwingungen



Beziehung zwischen Beschleunigung, Geschwindigkeit und Weg
in Abhängigkeit der Frequenz für sinusförmige Schwingungen

Schwingungsüberwachung an Maschinen

Schwingstärkeüberwachung

- Verbreitetes und einfaches Verfahren
- Messung des Effektivwerts der Schwinggeschwindigkeit (Schwingstärke) in mm/s
- Schwingstärke ist ein Maß für den Energiegehalt von Vibrationen
- Frequenzbereich: oft 10 bis 1000 Hz, aber bei bestimmten Maschinenarten auch andere Bereiche

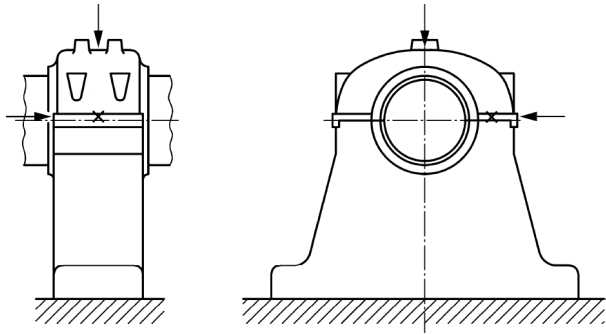
Schwingungsüberwachung an Maschinen

Empfehlungen für Messpunkte

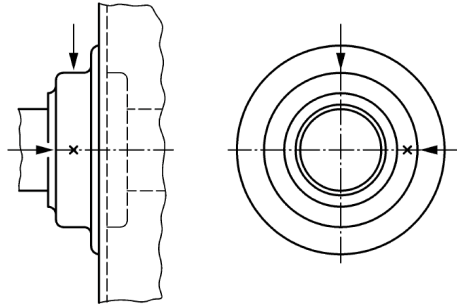
- Schwingungsmessungen sollten vorzugsweise auf Lagergehäusen oder in deren Umgebung erfolgen
- Für Routineuntersuchungen genügt meist eine Messung in vertikaler oder horizontaler Richtung
- Starr aufgestellte Maschinen mit horizontalen Wellen haben die größten Schwingamplituden meist in horizontaler Richtung
- Flexibel aufgestellte Maschinen können auch starke Vertikalkomponenten haben
- Für Inspektionen sollten Schwingungsmessungen in allen drei Richtungen (horizontal, vertikal, axial) an allen Lagern durchgeführt werden

Schwingungsüberwachung an Maschinen

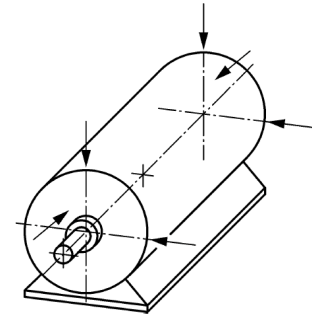
Beispiele für Messorte an Maschinen nach ISO 20816-1



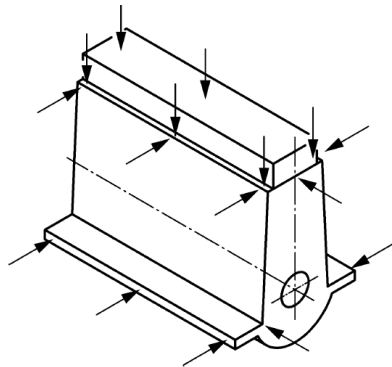
Stehlager



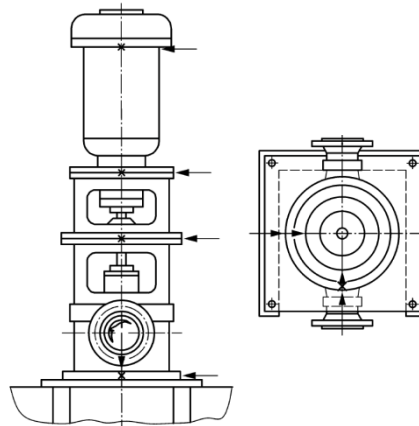
Schildlager



Kleine elektrische
Maschinen



Hubkolbenmaschinen



Vertikale Maschinensätze

Schwingungsüberwachung an Maschinen

Zonengrenzwerte für die Schwingstärke
nach ISO 20816-1:

- Wenn keine Vergleichswerte für die betreffende Maschine vorliegen, können die Anhaltswerte nach ISO 20816-1 genutzt werden
- Vergleichsgrundlage ist der höchste gemessene Effektivwert der Schwinggeschwindigkeit

V _{eff} 10 – 1000 Hz	45 mm/s			
	28 mm/s			
	18 mm/s			
	14,7 mm/s			Zone C/D 4,5 – 14,7 mm/s
	11,2 mm/s			
	9,3 mm/s		Zone B/C 1,8 – 9,3 mm/s	
	7,1 mm/s			
	4,5 mm/s	Zone A/B 0,71 – 4,5 mm/s		
	2,8 mm/s			
	1,8 mm/s			
	1,12 mm/s			
	0,71 mm/s			
	0,45 mm/s			
	0,28 mm/s			
D	Risiko eines Maschinenschadens			
C	begrenzter Weiterbetrieb			
B	Dauerbetrieb ohne Einschränkung möglich			
A	neu in Betrieb genommene Maschinen			

Schwingungsüberwachung an Maschinen

Schwingungsmessung an Hubkolbenmaschinen nach ISO 10816-6:

- Hubkolbenmaschinen, wie z.B. Verbrennungsmotoren oder Kompressoren werden durch Massen charakterisiert, die sich hin- und herbewegen
- Die entstehenden Schwingungen sind stärker als bei rotierenden Maschinen
- ISO 10816-6 enthält Empfehlungen zur Beurteilung dieser Schwingungen
- Gemessen werden die Effektivwerte von Schwingbeschleunigung, -geschwindigkeit und -weg
- Gemessen wird auf dem Maschinenblock in allen drei Raumrichtungen, empfohlener Frequenzbereich ist 2 bis 1000 Hz.
- Mit Hilfe der gemessenen Schwingwerte kann die Maschine einer bestimmten Bewertungszone zugeordnet werden
- Nachfolgende Tabelle erlaubt die Charakterisierung

Schwingungsüberwachung an Maschinen

Schwingungsmessung an Hubkolbenmaschinen nach ISO 10816-6:

- Zuerst werden die Schwingstärkestufen für die gemessenen Schwinggrößen bestimmt, entscheidend ist die höchste Stufe
- Damit wird auf Basis der Maschinenklasse (enthält Größe, Aufbau, Aufstellung, Drehzahl...) der Bewertungszustand abgelesen

Schwing- stärke- stufe	Maximalwert der Schwingung			Maschinenklasse						
	Schwing- weg $\mu\text{m eff.}$	Schwing- geschw. mm/s eff.	Schwing- beschl. $\text{m/s}^2 \text{ eff.}$	1	2	3	4	5	6	7
1,1	< 17,8	< 1,12	< 1,76							
1,8	< 28,3	< 1,78	< 2,79							
2,8	< 44,8	< 2,82	< 4,42	A/B	A/B	A/B				
4,5	< 71,0	< 4,46	< 7,01				A/B	A/B		
7,1	< 113	< 7,07	< 11,1	C					A/B	A/B
11	< 178	< 11,1	< 17,6		C					
18	< 283	< 17,8	< 27,9			C				
28	< 448	< 28,2	< 44,2				C			
45	< 710	< 44,6	< 70,1	D	D			C		
71	< 1125	< 70,7	< 111			D	D		C	
112	< 1784	< 112	< 176					D	D	C
180	> 1784	> 112	> 176							D

Die Bewertungszonen bedeuten:

- A Neu in Betrieb genommene Maschine
- B Dauerbetrieb ohne Einschränkung möglich
- C Nicht mehr für Dauerbetrieb tauglich, bedingt betriebsfähig bis zur nächsten Wartung
- D Zu starke Schwingung, Maschinenschäden möglich

Schwingungsüberwachung an Maschinen

Überwachung von Wälzlagern

- Breitbandige Messung der Schwingbeschleunigung liefert oft eine hinreichende Aussage über den Zustand des Lagers
- Fehlbeurteilungen entstehen z.B. durch Resonanzen oder Schwingungen aus anderen Quellen, z.B. Zahnradgetrieben
- Es existiert eine Vielzahl von Schwingungs-Diagnoseverfahren mit unterschiedlichen Anwendungsbereichen:
 - Kennwertbasierte Verfahren: Messung des Spitzenwerts oder des Scheitelfaktors der Beschleunigung, Messung des Produkts von Effektiv- und Spitzenwert, Stoßimpulsverfahren
Vorteil: einfache Messtechnik und Methodik, auch für Dauerüberwachung
Nachteil: ungenau
 - Frequenzanalyse (FFT), Hüllkurvenanalyse
Vorteil: Leistungsstarkes Verfahren, das auch Aussagen über die schadhafte Komponente innerhalb eines Lagers liefern kann
Nachteil: Hoher Geräteaufwand, Fachkenntnis erforderlich, meist Experten vorbehalten, meist nur temporäre Messung

Verfahren zur Bewertung des Wälzlagerzustands: VDI 3832 und ISO 15242

Schwingungsüberwachung an Maschinen

Weitere Normen (Auswahl)

- ISO 20816-... Messung und Bewertung der Schwingungen von Maschinen
 - Teil 1: Allgemeine Anleitungen
 - Teil 2: Stationäre Gasturbinen, Dampfturbinen und Generatoren über 40 MW mit Gleitlagern und Nenndrehzahlen von 1500, 1800, 3000 und 3600 min⁻¹
 - Teil 3: Industriemaschinen mit einer Leistung über 15 kW und Betriebsdrehzahlen zwischen 120 und 30000 min⁻¹
 - Teil 4: Gasturbinen über 3 MW mit Gleitlagern
 - Teil 5: Maschinensätze in Wasserkraft- und Pumpspeichieranlagen
 - Teil 6: Hubkolbenmaschinen mit einer Leistung über 100 kW (ISO 10816-6)
 - Teil 7: Kreiselpumpen für den industriellen Einsatz (ISO 10816-7)
 - Teil 8: Hubkolbenkompressoren
 - Teil 21: Windenergieanlagen mit horizontaler Drehachse und Getriebe
- ISO 13373 Zustandsüberwachung und -diagnostik von Maschinen - Schwingungs-Zustandsüberwachung
 - Teil 1: Allgemeine Anleitungen
 - Teil 2: Verarbeitung, Analyse und Darstellung von Schwingungsmesswerten
 - Teil 3: Anleitungen zur Schwingungsdiagnose