

Mechanische Schwingungen
**Bewertung der Schwingungen von Maschinen
 durch Messungen an nicht-rotierenden Teilen**
 Teil 6: Hubkolbenmaschinen mit Leistungen über 100 kW
 (ISO 10816-6 : 1995)

DIN
ISO 10816-6

ICS 17.160

Deskriptoren: Hubkolbenmaschine, mechanische Schwingung, Messung,
 Bewertung, Maschine

Mechanical vibration – Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts – Part 6: Reciprocating machines with power ratings above 100 kW
 (ISO 10816-6 : 1995)

Vibrations mécaniques – Évaluation des vibrations des machines par mesurages sur les parties non tournantes – Partie 6: Machines alternatives de puissance nominale supérieure à 100 kW
 (ISO 10816-6 : 1995)

Die Internationale Norm ISO 10816-6 : 1995 “Mechanical vibration – Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts – Part 6: Reciprocating machines with power ratings above 100 kW” ist unverändert in diese Deutsche Norm übernommen worden.

Nationales Vorwort

Diese Übersetzung ist vom Gemeinschaftsausschuß NALS/VDI C 3 “Beurteilungsmaßstäbe für Schwingungen und Stöße bei Bauwerken, Maschinen und Fahrzeugen” zusammen mit dem Fachbereich Kraftmaschinen im Normenausschuß Maschinenbau (NAM) ausgearbeitet worden.

Die Internationale Norm ISO 10816-6 entspricht im Grundsatz der Richtlinie VDI 2063. Wesentliche Abweichungen bestehen hinsichtlich der Grenzkurven für zulässige Schwingungen. In ISO 10816-6 werden Grenzkurven für sieben Maschinenklassen angegeben, wobei aber zur Zeit noch keine Zuordnung von bestimmten Maschinen zu einer dieser Klassen erfolgt. Das wird einer späteren Fassung dieser Internationalen Norm vorbehalten bleiben. Bis diese vorliegt, muß die Zuordnung einer Maschine zwischen dem Hersteller und dem Betreiber vereinbart werden.

Die Beurteilung in den verschiedenen Maschinenklassen erfolgt, wie bei allen Normen der Reihe ISO 10816, nach vier Zonen (A, B, C und D). Sie werden in ISO 10816-1 definiert. ISO 10816-6 enthält ausführlichere Angaben zur Lage der Meßpunkte als VDI 2063 und gibt Empfehlungen für die Form und den Inhalt des Meßberichtes.

Zu den im Inhalt zitierten Internationalen Normen wird im folgenden auf die entsprechenden Deutschen Normen hingewiesen:

ISO 2954 siehe DIN 45666

ISO 5348 siehe DIN 45664

ISO 8528-9 siehe DIN 6280-11

ISO 10816-1 siehe DIN ISO 10816-1

Die Deutschen Normen sind in Anhang NA aufgeführt.

Fortsetzung Seite 2 bis 11

Normenausschuß Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS) im DIN und VDI
 Normenausschuß Maschinenbau (NAM) im DIN

Deutsche Übersetzung

Mechanische Schwingungen Bewertung der Schwingungen von Maschinen durch Messungen an nicht-rotierenden Teilen Teil 6: Hubkolbenmaschinen mit Leistungen über 100 kW

Vorwort

Die ISO (Internationale Organisation für Normung) ist die weltweite Vereinigung nationaler Normungsinstitute (ISO-Mitgliedskörperschaften). Die Erarbeitung Internationaler Normen obliegt den Technischen Komitees der ISO. Jede Mitgliedskörperschaft, die sich für ein Thema interessiert, für das ein Technisches Komitee eingesetzt wurde, ist berechtigt, in diesem Komitee mitzuarbeiten. Internationale (staatliche und nichtstaatliche) Organisationen, die mit der ISO in Verbindung stehen, sind an den Arbeiten ebenfalls beteiligt. Die ISO arbeitet eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) auf allen Gebieten elektrotechnischer Normung zusammen.

Die von den Technischen Komitees verabschiedeten internationalen Norm-Entwürfe werden den Mitgliedskörperschaften zur Abstimmung vorgelegt. Die Veröffentlichung als Internationale Norm erfordert Zustimmung von mindestens 75 % der abstimmenden Mitgliedskörperschaften.

Die Internationale Norm ISO 10816-6 ist vom Technischen Komitee ISO/TC 108 "Mechanical vibration and shock", Unterkomitee SC 2 "Measurement and evaluation of mechanical vibration and shock as applied to machines, vehicles and structures" erarbeitet worden.

ISO 10816 besteht aus den folgenden Teilen, die alle die gemeinsame Überschrift "Mechanische Schwingungen – Bewertung der Schwingungen von Maschinen durch Messungen an nicht-rotierenden Teilen" tragen:

- Teil 1: Allgemeine Anleitungen
- Teil 2: Große stationäre Dampfturbinen-Generatorsätze mit Leistungen über 50 MW
- Teil 3: Industrielle Maschinen mit Nennleistungen über 15 kW und Nenndrehzahlen zwischen 120 min^{-1} und $15\,000 \text{ min}^{-1}$ bei Messungen am Aufstellungsort
- Teil 4: Maschinensätze mit Antrieb durch Gasturbinen mit Ausnahme von Flug-Triebwerken
- Teil 5: Maschinensätze in Wasserkraft- und Pumpenanlagen
- Teil 6: Hubkolbenmaschinen mit Leistungen über 100 kW

Anhang A dieses Teils von ISO 10816 ist normativ, die Anhänge B bis D dienen nur der Information.

Einleitung

ISO 10816-1 enthält die allgemeinen Anleitungen zur Bewertung der Schwingungen von Maschinen, wenn Messungen an nicht-rotierenden Teilen ausgeführt werden. Dieser Teil von ISO 10816 ist ein neues Dokument, welches Verfahren und Anleitungen für die Messung und Klassifizierung der mechanischen Schwingungen von Hubkolbenmaschinen festlegt. Grundsätzlich gilt dieser Teil von ISO 10816 für die Schwingungen des Maschinenblockes. Die darin genannten Richtwerte dienen vorzugsweise zum Klassifizieren der Schwingungen der Maschine und zum Vermeiden von Problemen bei Anbauteilen, die am Maschinenblock montiert sind. In diesem Teil von ISO 10816 werden Empfehlungen für die Messung und für Beurteilungskriterien angegeben.

Typische Konstruktionsmerkmale von Hubkolbenmaschinen sind die hin- und hergehenden Massen, die zyklisch schwankenden Abtriebs- oder Antriebsdrehmomente und die pulsierenden Kräfte in angeschlossenen Rohrleitungen. Alle diese Merkmale erzeugen beachtlich große Wechselkräfte an den Aufstellpunkten und Schwingungsamplituden am Kurbelgehäuse. Die Schwingungsamplituden sind grundsätzlich größer als bei rotierenden Maschinen. Da sie aber weitgehend von den Konstruktionsmerkmalen der Hubkolbenmaschine bestimmt werden, ergeben sich während der Lebensdauer der Maschine geringere Änderungen als bei rotierenden Maschinen.

Bei Hubkolbenmaschinen liefern die am Maschinenblock gemessenen und nach diesem Teil von ISO 10816 bewerteten Schwingungen nur eine grobe Information über die Beanspruchungen und den Schwingungszustand von Komponenten innerhalb der Maschine. Zum Beispiel können Torsionsschwingungen der rotierenden Teile grundsätzlich nicht durch Messungen am Maschinenkörper ermittelt werden. Wenn die angegebenen, auf Erfahrungen mit ähnlichen Maschinen basierenden Richtwerte überschritten werden, sind vor allem Schäden an Bauteilen zu erwarten, welche an der Maschine montiert sind (z. B. Turbolader, Wärmetauscher, Regler, Filter, Pumpen), an Verbindungsteilen zwischen der Maschine und ihrem Zubehör (z. B. Rohrleitungen) und an Überwachungsinstrumenten (z. B. Druckmeßgeräte, Thermometer). Es hängt weitgehend von der Konstruktion und der Befestigungsart dieser Bauteile ab, bei welchen Schwingungswerten Schäden zu erwarten sind.

In einigen Fällen sind Sondermessungen an einzelnen Maschinenbauteilen notwendig, um zu prüfen, ob ein Schwingungswert zulässig ist. Es kann auch vorkommen, daß Probleme auftreten, obwohl die Schwingungswerte innerhalb zulässiger Richtwerte liegen. Das ist eine Folge der großen Vielfalt von Anbauteilen, die montiert sein können. Solche Probleme können und müssen durch geeignete "örtliche Maßnahmen" behoben werden (z. B. durch die Beseitigung von Resonanzeffekten). Die Erfahrung hat aber gezeigt, daß es in den meisten Fällen möglich ist, Meßgrößen festzulegen, welche den Schwingungszustand beschreiben,

und dafür auch Richtwerte anzugeben. Es ergibt sich daraus, daß die meßbaren Größen und die Richtwerte in den meisten Fällen eine zuverlässige Beurteilung erlauben. Für die Meßgröße, welche auf einfache Weise den Schwingungszustand einer Hubkolbenmaschine beschreibt, wird der Begriff "Schwingstärke" verwendet.

Die Schwingungswerte von Hubkolbenmaschinen hängen nicht nur vom Aufbau der Maschine selbst ab, sondern in großem Umfang auch von der Fundamentierung. Da eine Hubkolbenmaschine als Schwingungserzeuger wirkt, kann eine Schwingungsisolierung zwischen der Maschine und ihrem Fundament notwendig sein. Diese kann, ebenso wie die Rückwirkung der Schwingungen des Fundamentes, erheblichen Einfluß auf die Schwingungen der Maschine selbst haben. Das gesamte Schwingungsverhalten hängt auch von den Übertragungseigenschaften der Maschinenumgebung ab und wird daher nicht allein durch die Schwingungswerte der Maschine selbst bestimmt. Dieser Teil von ISO 10816 kann daher nur Hinweise geben, wie die Maschine auf die Umgebung einwirkt.

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil von ISO 10816 beschreibt die Grundbedingungen und die Verfahren für die Messung und Bewertung von Schwingungen, wenn Messungen an den nicht-rotierenden und nicht hin- und hergehenden Teilen vollständiger Maschinen ausgeführt werden. Wellenschwingungen einschließlich von Torsionsschwingungen werden in diesem Teil von ISO 10816 nicht behandelt.

Er gilt grundsätzlich für starr oder elastisch aufgestellte Hubkolbenmaschinen mit Leistungen über 100 kW. Typische Anwendungsbeispiele sind: Antriebsmotoren für Schiffe, Motoren für Hilfseinrichtungen in Schiffen, Motoren für Diesel-Generatorsätze, Gaskompressoren und Motoren für Diesel-Lokomotiven.

Die vorgestellten allgemeinen Beurteilungskriterien gelten sowohl für die Betriebsüberwachung als auch für Abnahme-läufe. Sie sollen auch sicherstellen, daß die Schwingungen der Maschine keinen ungünstigen Einfluß auf Bauteile besitzen, die direkt an der Maschine montiert sind.

Zu beachten sind auch diejenigen Maschinen, welche von der Hubkolbenmaschine angetrieben werden oder diese antreiben. Sie sollten nach den für sie geltenden Normen entsprechend den vorgesehenen Einsatzbedingungen beurteilt werden.

Es ist zu beachten, daß die Beurteilungskriterien nur mit Einschränkung anwendbar sind, wenn die Wirkungen innerer Maschinenteile erfaßt werden sollen; es ist unwahrscheinlich, daß z. B. Probleme mit Ventilen, Kolbenspiel, Kolbenringen usw. in den Meßsignalen erkennbar sind. Das Erkennen solcher Probleme erfordert den Einsatz von Untersuchungsverfahren, welche in diesem Teil von ISO 10816 nicht behandelt werden. Die Lärmerzeugung wird in diesem Teil von ISO 10816 ebenfalls nicht behandelt.

Dieser Teil von ISO 10816 gilt nicht für Maschinen, die in Straßenfahrzeugen installiert sind (z. B. Lastkraftwagen, Personenkraftwagen, selbstfahrende Baugeräte und Traktoren).

2 Normative Verweisungen

Die folgenden normativen Dokumente enthalten Festlegungen, die durch Verweisung in diesem Text Bestandteil des vorliegenden Teils von ISO 10816 sind. Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung waren die angegebenen Ausgaben gültig. Alle Normen unterliegen der Überarbeitung. Vertragspartner, deren Vereinbarungen auf diesem Teil von ISO 10816 basieren, werden gebeten, die Möglichkeit zu prüfen, ob die jeweils neuesten Ausgaben der im folgenden genannten Normen angewendet werden können. Die Mitglieder von IEC und ISO führen Verzeichnisse der gegenwärtig gültigen Internationalen Normen.

ISO 2041 : 1990

Vibration and shock – Vocabulary

3 Definitionen

Für den Zweck dieses Teils von ISO 10816 gelten die Definitionen in ISO 2041 und die folgende Definition.

3.1 Schwingstärke: Ein allgemeiner Begriff zur Kennzeichnung eines Wertes oder einer Gruppe von Werten, wie der Maximalwert, der Mittel- oder Effektivwert oder andere Parameter, welche die Schwingung beschreiben. Er kann auf Momentanwerte oder Mittelwerte bezogen sein.

ANMERKUNG 1: ISO 2041 : 1990 enthält zwei Fußnoten zu dieser Definition. Diese Fußnoten gelten nicht für diesen Teil von ISO 10816.

4 Messungen

4.1 Meßeinrichtung und Meßgröße

Kriterien für die Klassifizierung der Schwingstärke von Hubkolbenmaschinen sind in Abschnitt 5 angegeben. Die Klassifizierungen basieren auf der Messung des Gesamtwertes des Schwingweges, der Schwinggeschwindigkeit und der Schwingbeschleunigung in einem Frequenzbereich von 2 Hz bis 1 000 Hz.

Es ist zu beachten, daß die wesentlichen Anregungsfrequenzen bei Hubkolbenmaschinen im allgemeinen im Bereich von 2 Hz bis 300 Hz liegen. Wenn aber die gesamte Maschine erfaßt werden soll, einschließlich derjenigen Anbauteile, die ein notwendiger Bestandteil der Maschine sind, so ist ein Bereich von mindestens 2 Hz bis 1 000 Hz erforderlich, um die Schwingungen treffend zu beschreiben. In Sonderfällen kann ein anderer Frequenzbereich zwischen dem Hersteller und dem Betreiber vereinbart werden.

Da der Gesamtwert der Schwingungen im allgemeinen viele Frequenzkomponenten enthält, gibt es keine einfache mathematische Beziehung zwischen dem Effektivwert und dem Scheitelwert oder der Schwingungsbreite des gemessenen Gesamtwertes der Schwingung. Die bevorzugte Meßeinrichtung sollte daher den Effektivwert des Schwingweges, der Schwinggeschwindigkeit und der Schwingbeschleunigung mit einer Meßunsicherheit von höchstens $\pm 10\%$ im Bereich von 10 Hz bis 1 000 Hz und mit einer Meßunsicherheit von höchstens $\pm 20\%$ im Bereich von 2 Hz bis 10 Hz ermitteln. Diese Größen können mit einem einzelnen Aufnehmer gemessen werden, dessen Ausgangssignal verarbeitet wird, um die nicht direkt gemessenen Größen zu ermitteln (z. B. ein Beschleunigungsaufnehmer, dessen Ausgangssignal einmal integriert wird, um die Schwinggeschwindigkeit, und zweimal, um den Schwingweg zu erhalten). Es sollte darauf geachtet werden, daß die Signalverarbeitung keinen ungünstigen Einfluß auf die Meßunsicherheit besitzt.

Beides, der Frequenzgang und der Meßwert, werden von der Art der Aufnehmerbefestigung beeinflusst. Es ist vor allem wichtig, auf eine gute Befestigung des Aufnehmers an der Maschine zu achten, wenn die Schwingungswerte groß sind. Beispielsweise gibt ISO 5348 Anleitungen zur Befestigung von Beschleunigungsaufnehmern.

4.2 Meßorte und Meßrichtungen

Um sicherzustellen, daß die Bewertung von Schwingungsmessungen so einheitlich wie möglich erfolgt und daß der bestmögliche Vergleich unterschiedlicher Maschinen gewährleistet ist, werden in den Bildern 1 bis 3 die zu bevorzugenden Meßorte angegeben. Grundsätzlich sollte an diesen Meßorten in den drei auf die Maschine bezogenen Hauptrichtungen (x , y , z) gemessen werden.

Die in den Bildern 1 bis 3 gezeigten Maschinen sind nur als Beispiele zu verstehen. Bei anderen Ausführungen (z. B. Sternmotoren) gelten entsprechende Meßorte.

Wenn aus Erfahrungen mit ähnlichen Maschinen bekannt ist, an welchen Meßorten die größte Schwingstärke erwartet werden kann, brauchen nicht alle in den Bildern angegebenen Meßorte beachtet zu werden. Zugängliche lasttragende Lagerstellen sollten eingeschlossen sein. Wenn bei Abnahmemessungen weniger Meßorte vorgesehen sind, sollte das jedoch zwischen dem Hersteller und dem Betreiber vereinbart werden.

Wenn viele Meßorte für ausführliche Untersuchungen oder für Vergleichszwecke in Betracht gezogen werden, sollten die in den Bildern 1 bis 3 angegebenen bevorzugt werden. Bei der Auswahl der richtigen Meßorte sind die Aufbau- und Montageeinschränkungen für die jeweilige Maschine zu beachten. Alle Meßorte sind so auszuwählen, daß der Aufnehmer zuverlässig mit dem Maschinenblock verbunden werden kann.

Schwingungsmessungen an Bauteilen, welche an die Maschine angebaut sind, liefern nützliche Informationen über Störungen, die an ihnen auftreten können. Die in diesem Teil von ISO 10816 genannten Richtwerte gelten aber nur für die in den Bildern gezeigten Meßorte am Maschinenblock.

BEISPIEL:

Die y -Richtung (horizontal) der rechten oberen Kante des Maschinenblocks auf der Kupplungsseite der Maschine wird mit R3.1y bezeichnet.

4.3 Betriebsbedingungen während der Messungen

Messungen sollten ausgeführt werden, wenn die Maschine ihre stationären Betriebsbedingungen erreicht hat (z. B. die üblichen Betriebstemperaturen). Für die Ermittlung der Schwingstärke einer Maschine ist die maximale Schwingung maßgebend, die im ganzen für den Normalbetrieb zugelassenen Leistungs- und Drehzahlbereich auftritt.

4.4 Meßbericht

Die Berichte mit den Meßergebnissen sollten die wesentlichen Daten der Maschine und der verwendeten Meßeinrichtung enthalten. Diese Daten lassen sich in die beigefügten Vordrucke 1 und 2 eintragen, welche als Meßbericht dienen können (siehe Anhang B).

5 Kriterien für die Bewertung der Schwingungen

Schwingstärke-Stufenwerte sind numerisch in Tabelle 1 und graphisch in Anhang C angegeben. Für eine Einordnung ist es notwendig, breitbandig im Bereich von 2 Hz bis 1 000 Hz den Gesamt-Effektivwert des Schwingweges, der Schwinggeschwindigkeit und der Schwingbeschleunigung zu messen. Schwingstärke-Stufenwerte ergeben sich dann für jeden größten Gesamt-Effektivwert des Schwingweges, der Schwinggeschwindigkeit und der Schwingbeschleunigung, der am Maschinenblock gemessen wurde. Die Schwingstärke-Stufe der Maschine ist der größte dieser drei Stufenwerte.

Beispielsweise sind die in Tabelle 2 genannten Schwingungswerte am Meßort R3.1 des Maschinenblocks ermittelt worden. Die zugehörigen Schwingstärke-Stufenwerte nach Tabelle 1 sind in rechteckigen Klammern angegeben. Der Schwingstärke-Stufenwert der Maschine ist an diesem Meßort daher 28. Alle anderen Meßorte sollten in gleicher Weise überprüft werden, um die maximale Schwingstärke-Stufe der Gesamtmaschine zu ermitteln.

Die Schwingstärke einer bestimmten Maschinenart hängt ab von ihrer Größe und Masse, den Eigenschaften des Aufstellungssystems, den Betriebsbedingungen usw. Es ist daher notwendig, die verschiedenen Einsatzarten und Einsatzbedingungen zu berücksichtigen, wenn die Schwingstärke-Stufen angewandt werden sollen. Der über die Gesamtlänge der Maschine gemessene Maximalwert wird dann zur Bestimmung der Schwingstärke benutzt. Klassennummern für Hubkolbenmaschinen und Richtwerte werden in Anhang A genannt.

Um den Einfluß der Maschine auf ihre Umgebung zu reduzieren, werden häufig elastische Lagerungen verwendet. Ihre Konstruktion und Anwendung wird in diesem Teil von ISO 10816 nicht behandelt.

ANMERKUNG 1: Anleitungen für Schwingungs-Isolier-elemente finden sich in ISO 2017.

ANMERKUNG 2: Hinweise zum Einfluß von Schwingungen auf Gebäude finden sich in ISO 4866.