

Mechanische Schwingungen und Stöße
**Mechanische Ankopplung
von Beschleunigungsaufnehmern**
(ISO 5348 : 1998)

DIN
ISO 5348

ICS 17.160

Mechanical vibration and shock — Mechanical mounting of accelerometers
(ISO 5348 : 1998)

Vibrations et chocs mécaniques — Fixation mécanique des accéléromètres
(ISO 5348 : 1998)

Die Internationale Norm ISO 5348, 2. Ausgabe 1998, „Mechanical vibration and shock — Mechanical mounting of accelerometers“ ist unverändert in diese Deutsche Norm übernommen worden.

Nationales Vorwort

Diese Übersetzung ist im Gemeinschaftsausschuß NALS/VDI C 2 „Schwingungsmeßtechnik“ ausgearbeitet worden.

Im nationalen Anhang NA sind weitere Hinweise und Ankopplungsarten genannt, die mittlerweile üblich, in der zugrundeliegenden ISO-Norm jedoch nicht behandelt sind.

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

ISO 2954 siehe DIN 45666

Die Deutschen Normen sind in Anhang NB aufgeführt.

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 bei allen Angelegenheiten der elektrotechnischen Normung eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) 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 5348 wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 108 „Mechanical vibration and shock“, Unterkomitee SC 3 „Use and calibration of vibration and shock measuring instruments“ erstellt.

Diese zweite Ausgabe ersetzt die erste Ausgabe (ISO 5348 : 1987), die inhaltlich überarbeitet wurde.

Fortsetzung Seite 2 bis 14

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

Einleitung

Das gebräuchlichste Verfahren zur Bestimmung der Schwingungen v_S einer Struktur oder eines Körpers S besteht darin, einen elektromechanischen Aufnehmer T einzusetzen.

Aufnehmer zur Erfassung von Schwingungen lassen sich in zwei allgemeine Klassen einteilen: Kontaktaufnehmer und berührungslose Aufnehmer. Berührungslose Aufnehmer zur Erfassung des Strukturverhaltens werden ganz dicht an der Struktur platziert; zu ihnen gehören nach so grundsätzlichen Prinzipien arbeitende Aufnehmer wie Wirbelstromaufnehmer und optische Aufnehmer. Kontaktaufnehmer werden in mechanischem Kontakt an die Struktur angesetzt; zu ihnen gehören nach so grundsätzlichen Prinzipien arbeitende Aufnehmer wie piezoelektrische und piezoresistive Beschleunigungsaufnehmer und Schnelleaufnehmer mit seismischer Masse (Geophone). Diese Internationale Norm gilt für Beschleunigungsaufnehmer vom Kontakttyp, die zur Zeit weit verbreitet sind. Das Problem beim Einsatz solcher Aufnehmer liegt darin, daß die mechanische Kopplung zwischen dem Beschleunigungsaufnehmer und der untersuchten Struktur den Frequenzgang des Beschleunigungsaufnehmers, der Struktur oder von beiden ganz erheblich verändern kann. Diese Internationale Norm nimmt es in Angriff, die Einflußfaktoren einzeln herauszustellen, die sich bei der Auswahl eines Verfahrens zur Ankopplung des Beschleunigungsaufnehmers an die Struktur als kritisch darstellen.

Diese Internationale Norm behandelt Beschleunigungsaufnehmer, die über eine mechanische Ankopplung F mit der schwingenden Oberfläche der Struktur verbunden sind (siehe Bild 1).

Ein solcher Aufnehmer liefert an seinem Ausgang das elektrische Signal u , das von der Aufnehmerbewegung v_T erzeugt wurde. Gewünscht ist jedoch eine Aussage über die Schwingungen v_S an einer bestimmten Stelle auf der Struktur S.

Wegen der Unvollkommenheiten bei der Übertragung der Bewegung von S auf die Wandlerelemente des Beschleunigungsaufnehmers T weicht das vom Aufnehmer erzeugte elektrische Signal u von demjenigen ab, das sich ergeben würde, wenn der Beschleunigungsaufnehmer tatsächlich die Schwingungen v_S der Struktur messen würde.

Abweichungen können auch auftreten wegen mangelhafter Ausrichtung der Meßachse des Aufnehmers, wegen Biegung der Basis (Basisdehnung), Temperaturunterschieden, falschen Anzugsmoments an Gewindestiften und Bewegungen der Aufnehmerleitung^{N1)}.

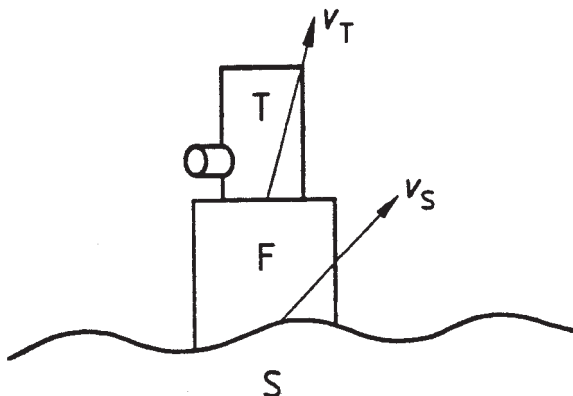
Die mechanische Ankopplung ändert den bei einer gegebenen Genauigkeit nutzbaren Frequenzbereich, und zwar sowohl den des Amplitudenfrequenzgangs als auch den des Phasenfrequenzgangs (siehe 5.4.5).

1 Anwendungsbereich

Diese Internationale Norm nennt die Ankopplungsparameter von Beschleunigungsaufnehmern, die vom Hersteller zu spezifizieren sind; darüber hinaus erteilt sie dem Anwender Empfehlungen zur Ankopplung von Beschleunigungsaufnehmern.

Diese Internationale Norm gilt nur für die Ankopplung solcher Beschleunigungsaufnehmer, die mit der Oberfläche der schwingenden Struktur verbunden sind, wie in vereinfachter Darstellung in Bild 1 gezeigt.

Sie gilt nicht für andere Aufnehmerarten, wie z. B. Relativaufnehmer.



- S Struktur
- F mechanische Ankopplung
- T Beschleunigungsaufnehmer
- v_S Schwingung der Struktur
- v_T Schwingung des Beschleunigungsaufnehmers

Bild 1: Ankopplung eines Beschleunigungsaufnehmers

2 Normative Verweisungen

Die folgenden normativen Dokumente enthalten Festlegungen, die durch Verweisung in diesem Text Bestandteil der vorliegenden Internationalen Norm sind. Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieser Internationalen Norm waren die angegebenen Ausgaben gültig. Alle Normen unterliegen der Überarbeitung. Vertragspartner, deren Vereinbarungen auf dieser Internationalen Norm 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

ISO 2954 : 1975

Mechanical vibration of rotating and reciprocating machinery — Requirements for instruments for measuring vibration severity

ISO 5347-14 : 1993

Methods for the calibration of vibration and shock pick-ups — Part 14: Resonance frequency testing of undamped accelerometers on a steel block

ISO 5347-22 : 1997

Methods for the calibration of vibration and shock pick-ups — Part 22: Accelerometer resonance testing — General methods

ISO 8042 : 1988

Shock and vibration measurements — Characteristics to be specified for seismic pick-ups

^{N1)} Nationale Fußnote: Neben diesen kopplungsbedingten Meßabweichungen ist eine Verfälschung des Meßergebnisses auch durch andere Einflüsse möglich, wie z. B. durch das Vorhandensein starker elektrischer, magnetischer oder Luftschall-Felder.

3 Definitionen

Für die Anwendung dieser Internationalen Norm gelten die Begriffe und Definitionen nach ISO 2041.

4 Vom Hersteller des Beschleunigungsaufnehmers zu spezifizierende Parameter

Der Hersteller muß die folgenden Parameter spezifizieren:

- a) Eigenschaften der Ankopplungsfläche(n) des oder der Teile, mit denen der Beschleunigungsaufnehmer angekoppelt wird, z. B. Rauheit und Ebenheit der Oberfläche, Maßhaltigkeit der Bohrungsrechtwinkligkeit und Gewindengröße;
- b) die Außenmaße des Beschleunigungsaufnehmers einschließlich
 - der Stelle des Schwerpunktes des gesamten Beschleunigungsaufnehmers,
 - der Stelle des Schwerpunktes der seismischen Masse des Beschleunigungsaufnehmers;
- c) die bei der Kalibrierung benutzte Ankopplungstechnik;
- d) das empfohlene und das größte (d. h. für weniger als 2% Änderung des nutzbaren Frequenzbereichs) Anzugsmoment an Gewindestiften;
- e) Temperaturbereiche für den Beschleunigungsaufnehmer und das Ankopplungsteil;
- f) relevante mechanische Merkmale, d. h.
 - Gesamtmasse,
 - Werkstoff der Basis,
 - die erste Resonanzfrequenz des freien (ungefesselten) Beschleunigungsaufnehmers,
 - der Frequenzgang bei genau definierter Ankopplung, wobei die Masse, der Werkstoff und die Maße des Objekts anzugeben sind, an das der Aufnehmer angekoppelt war,
 - die maximale Querempfindlichkeit und die Frequenz, bei der sie bestimmt wurde;
- g) eine Beschreibung der verschiedenen Teile, mit denen der Beschleunigungsaufnehmer angekoppelt wird, d. h.
 - Durchmesser,
 - Gewinde,
 - Werkstoff;
- h) Kurvenverläufe des Frequenzgangs des Beschleunigungsaufnehmers, wenn er wie vom Hersteller empfohlen angekoppelt ist und wenn er mit speziellen, mit dem Beschleunigungsaufnehmer mitgelieferten Teilen angekoppelt ist, so daß sich die Auswirkungen zeigen, insbesondere aufgrund
 - der Steifigkeit in axialer Richtung, wobei der Zustand der Strukturoberfläche, die mit dem Beschleunigungsaufnehmer in Berührung steht, und das Anzugsmoment am Gewindestift des Beschleunigungsaufnehmers zu berücksichtigen sind,
 - der Steifigkeit in Querrichtung, und zwar an derselben Basis.

Weitere vom Hersteller zu spezifizierende Parameter siehe ISO 8042.

5 Betrachtungen zur Auswahl eines Verfahrens zur Ankopplung

5.1 Allgemeine Aspekte

5.1.1 Ziele

Ein Beschleunigungsaufnehmer erfüllt seinen Zweck nur dann optimal, wenn die folgenden grundlegenden Ziele verfolgt werden:

- a) Der Beschleunigungsaufnehmer muß soweit wie möglich dieselbe Bewegung wie die untersuchte Struktur an der Ankopplungsstelle des Beschleunigungsaufnehmers ausführen.
- b) Die Bewegung der Struktur darf durch das Hinzufügen des Beschleunigungsaufnehmers nur so wenig wie möglich verändert werden.
- c) Das Verhältnis des Aufnehmersignals zur Aufnehmerbewegung darf nicht dadurch verfälscht werden, daß der Beschleunigungsaufnehmer zu nahe bei seiner ersten Resonanzfrequenz (und zwar der unter Ankopplungsbedingungen) eingesetzt wird.

5.1.2 Voraussetzungen

Um die obengenannten idealen Bedingungen zu erreichen, muß sichergestellt sein, daß

- a) der Beschleunigungsaufnehmer und seine Ankopplung so starr und fest wie möglich sind (Die Ankopplungsflächen müssen so sauber und eben wie möglich sein.);
- b) Verfälschungen aufgrund von Eigenschwingungen der Ankopplung nur minimal sind (bestens ist z. B. eine einfache symmetrische Ankopplung);
- c) die Masse des Beschleunigungsaufnehmers und der Ankopplung gering ist im Vergleich zur mitbewegten Masse der untersuchten Struktur (siehe ISO 2954).

5.2 Spezielle Aspekte

5.2.1 Arbeitsfrequenzbereich

Der Beschleunigungsaufnehmer darf nur weit unterhalb seiner ersten Resonanzfrequenz eingesetzt werden. Wenn es möglich ist, den Aufnehmer wie vom Hersteller empfohlen anzukoppeln, dann wird bei ungedämpften Beschleunigungsaufnehmern (Resonanzüberhöhung Q größer als 30 dB) der Einsatz bei Frequenzen bis 20% der angegebenen Resonanzfrequenz unter Ankopplungsbedingungen in den meisten Fällen sicherstellen, daß der Amplitudenfrequenzgang lediglich um ein paar Prozent verfälscht wird. Wenn eine Abschätzung dieser Abweichung verlangt wird, darf sie ausgehend von einem äquivalenten linearen gedämpften Masse-Feder-System erfolgen.

ANMERKUNG: Bei der Messung von Einzelstößen können Abweichungen von lediglich ein paar Prozent erwartet werden, wenn die erste Resonanzfrequenz unter Ankopplungsbedingungen mindestens 10mal so groß wie der Kehrwert der Impulsdauer ist.

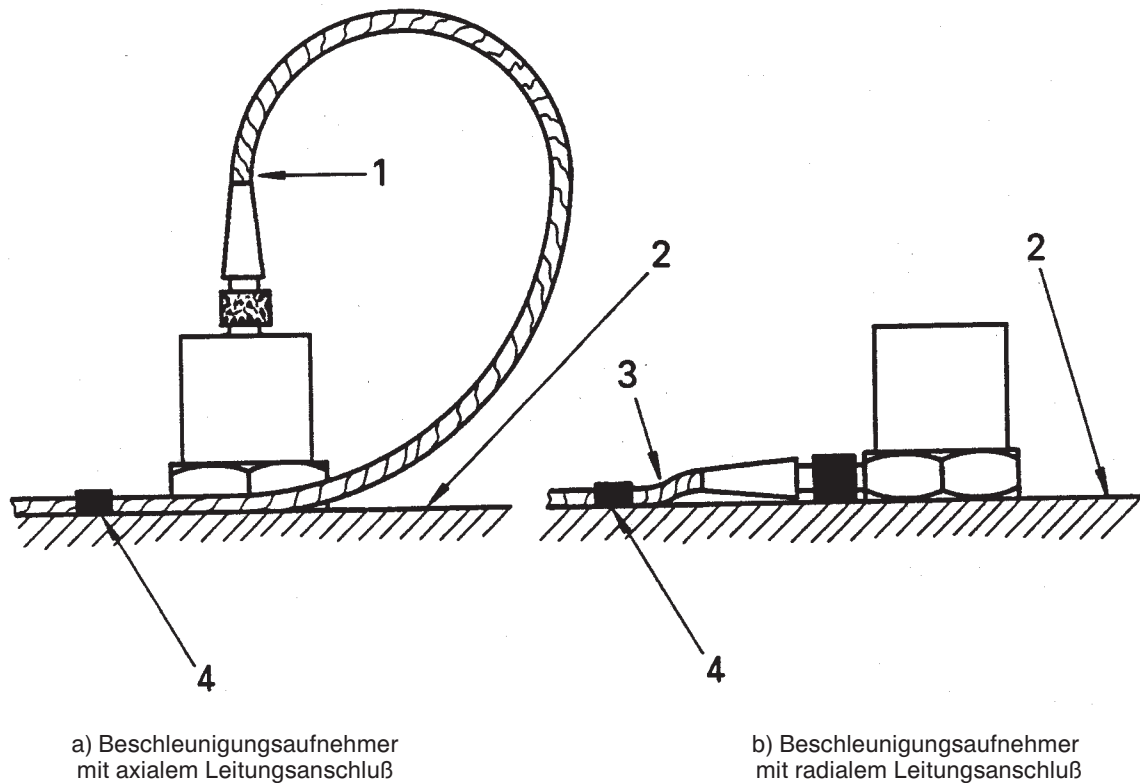
5.2.2 Anzugsmoment an Gewindestiften

Wenn die Ankopplung über Gewindestifte erfolgt, muß das Anzugsmoment den Herstellerempfehlungen entsprechen.

5.2.3 Aufnehmerleitungen

Bei Beschleunigungsaufnehmern mit axialem Leitungsanschluß können steife Leitungen das Aufnehmergehäuse belasten. Um dieses Problem zu vermeiden, müssen die Leitungen sorgfältig verlegt und befestigt werden (siehe Bild 2).

Bei piezoelektrischen Aufnehmern können unbefestigte Leitungen triboelektrische Effekte (reibungselektrische Effekte) auslösen.



- 1 nicht belasten
- 2 Oberfläche der schwingenden Struktur
- 3 nicht belasten
- 4 Die Leitung ist an der Oberfläche befestigt.

Bild 2: Beschleunigungsaufnehmer mit axialem und mit radialem Leitungsanschluß

5.3 Bestimmung der ersten Resonanzfrequenz unter Ankopplungsbedingungen

Es ist sehr nützlich, allerdings in der Praxis bisweilen schwierig, die erste Resonanzfrequenz unter Ankopplungsbedingungen (Grundeigenfrequenz) genau zu bestimmen, während der Aufnehmer an die untersuchte Struktur angekoppelt ist. Das folgende Verfahren kann dazu dienen, die Resonanz näherungsweise herauszufinden; dadurch ist sichergestellt, daß ein ausreichender Abstand zwischen der Resonanz- und der Prüffrequenz besteht.

5.3.1 Verfahren mit Schwingungsanregung

Empfohlen wird ein geeigneter Referenzblock aus Stahl mit genau definierter Form und Oberflächengüte, z. B. ein Edelstahlblock mit der Masse 180 g. Die Bewegungen des Referenzblocks werden mit einem Beschleunigungsaufnehmer erfaßt, der dicht an der Ankopplungsfläche des untersuchten Beschleunigungsaufnehmers angesetzt ist und dessen Resonanzfrequenz höher als die Frequenz der ersten Biegeeigenform des Stahlblocks ist. Die anregende Kraft kann elektrodynamisch erzeugt werden. Der Einfluß der Güte von Ankopplungsflächen und Werkstoffen kann dadurch untersucht werden, daß typische Materialproben zwischen die Stahloberfläche und den untersuchten Beschleunigungsaufnehmer gelegt werden (siehe Bild 3). Allgemein übliche Ankopplungen und repräsentative Frequenzgänge unter Ankopplungsbedingungen siehe^{N2)} Bilder 5 bis 10.

^{N2)} Nationale Fußnote: Siehe auch Anhang NA

Verfahren zur Bestimmung der Grundeigenfrequenz (Resonanzfrequenz) siehe ISO 5347-14 und ISO 5347-22.

ANMERKUNG: Die in den Bildern gezeigten Frequenzgänge sind charakteristisch. Sie werden stark von den Parametern beeinflusst, die jeweils in den Bildern angegeben sind.

5.3.2 Verfahren mit Stoßanregung

Der Pendelschlagversuch, die Fallprüfung und ein einfacher Hammerschlag sind drei Arten der Stoßanregung. Im ersten Fall ist der Beschleunigungsaufnehmer an eine Gegenmasse angekoppelt, die als Pendel aufgehängt ist, während eine zweite Masse, die in ähnlicher Weise aufgehängt ist, als Hammer fungiert, der den Schlag erzeugt. Bei der Fallprüfung ist der Beschleunigungsaufnehmer an einen Hammer angekoppelt, der vertikal geführt ist, während er auf einen feststehenden Amboß fällt, wodurch der Stoß erzeugt wird. Der Beschleunigungsaufnehmer muß an die Masse in ähnlicher Weise wie an den Prüfkörper (die tatsächlich untersuchte Struktur) angekoppelt sein. Wenn es nicht gelingt, den Prüfkörper durch die Masse des Hammers oder des Ambosses in realistischer Weise zu ersetzen, ist die Masse in ausreichender Größe aus demselben Werkstoff herzustellen, um in bezug auf die Steifigkeit ein realistischer Ersatz für den Prüfkörper zu sein. Ein Hammerschlag auf die tatsächliche Struktur dicht neben den angekoppelten Beschleunigungsaufnehmer kann die notwendigen Informationen liefern, sofern Strukturresonanzen im Prüfkörper vernachlässigt werden können.

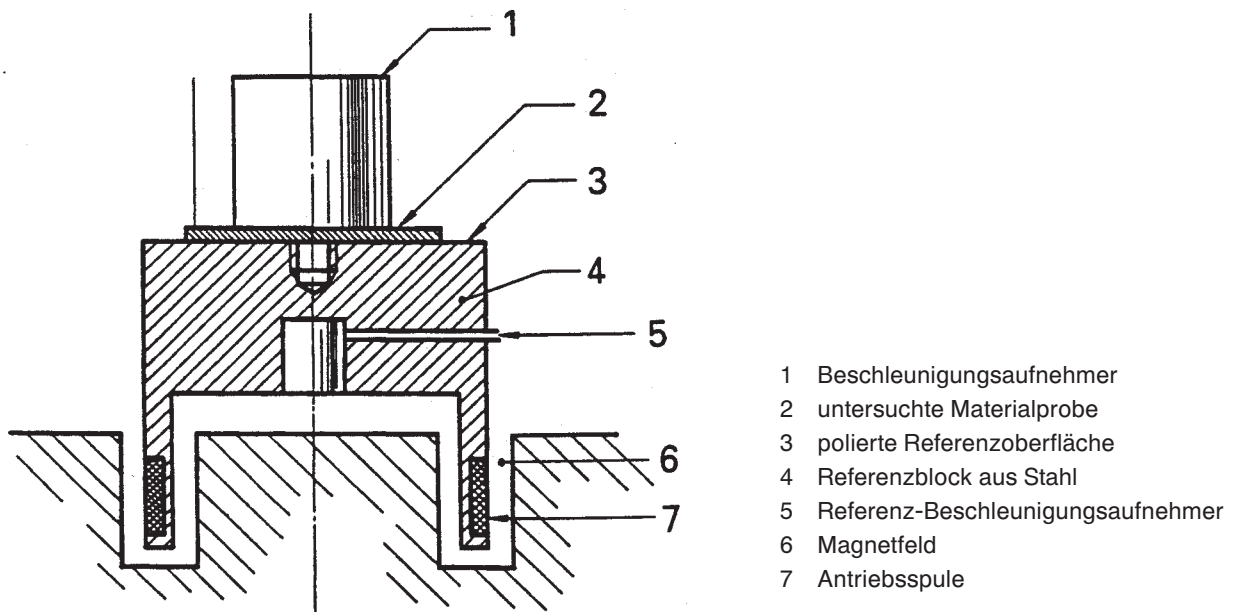


Bild 3: Anordnung zur Prüfung des Beschleunigungsaufnehmers

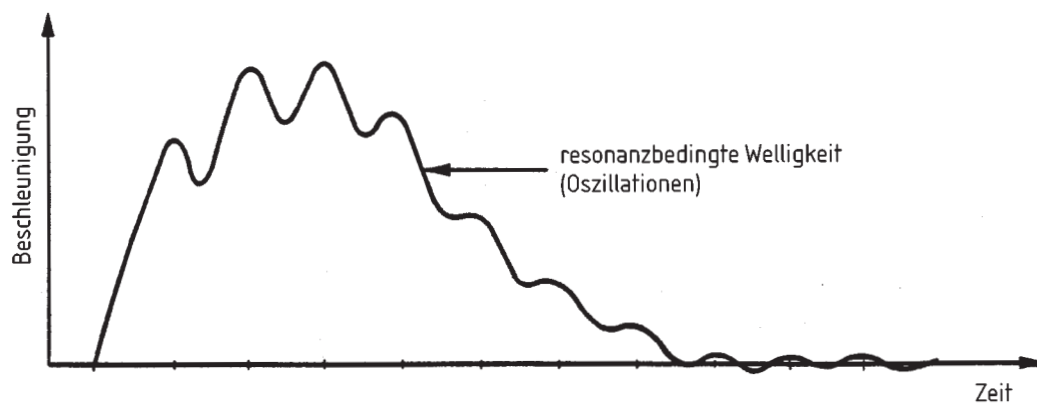


Bild 4: Stoßantwort eines Beschleunigungsaufnehmers

Das Ausgangssignal des Beschleunigungsaufnehmers, das von dem Stoß unter geeigneten Bedingungen hervorgerufen wird, enthält die Resonanzfrequenz (siehe Bild 4). Die Stoßenergie (d. h. die Höhe, aus der die Masse losgelassen wird) und die Steifigkeit der Aufschlagfläche (z. B. Stahl oder Bleimantel) müssen experimentell herausgefunden werden, um eine geeignete Stoßdauer zu erzielen, damit die Resonanzeffekte sichtbar werden. Ebenfalls ist darauf zu achten, daß bei dem Stoß die niedrigste Resonanz angeregt wird. Ein geeignetes Einzelergebnis-Aufzeichnungsgerät (mit einem Signalspeicher) oder ein fotografisches Verfahren ermöglicht es, die Frequenz der resonanzbedingten Welligkeit (d. h. der Oszillationen) zu bestimmen. Diese Verfahren sind besonders für hohe Frequenzen geeignet.

Wiederholte, stets gleiche Stöße können darüber hinausgehende Aussagen zur Stabilität der Ankopplung liefern.

5.4 Empfehlungen für einzelne Ankopplungsarten^{N2)}

5.4.1 Allgemeines

Die Ankopplungsfläche ist sorgfältig daraufhin zu untersuchen, daß sie glatt und nicht verunreinigt ist; sofern

notwendig, muß sie plan bearbeitet sein. Fehlausrichtungen zwischen der Meßachse des Beschleunigungsaufnehmers und der zu messenden Richtung sind möglichst gering zu halten, da das sonst zu ähnlichen Abweichungen wie denjenigen führt, die von der Querempfindlichkeit hervorgerufen werden. Diese Abweichungen können dann besonders groß sein, wenn die Schwingungen in Querrichtung viel größer als diejenigen in der axialen Meßrichtung sind.

In jeder Art von Bericht sollten der Zustand der Ankopplungsfläche und das Verfahren zur Ankopplung angegeben werden.

Das für den Aufnehmer empfohlene Verfahren zur Ankopplung sollte angewandt werden, damit die Herstellerangaben auch umgesetzt werden.

Tabelle 1 enthält eine Übersicht über Kriterien bei der Auswahl eines Verfahrens zur Ankopplung, die sich aus der Praxis ergeben haben.

^{N2)} Nationale Fußnote: Siehe auch Anhang NA