

DIN ISO 5348



ICS 17.160

Entwurf

Einsprüche bis 2019-12-25
Vorgesehen als Ersatz für
DIN ISO 5348:1999-07

**Mechanische Schwingungen und Stöße –
Mechanische Ankopplung von Beschleunigungsaufnehmern
(ISO/DIS 5348:2019);
Text Deutsch und Englisch**

Mechanical vibration and shock –
Mechanical mounting of accelerometers (ISO/DIS 5348:2019);
Text in German and English

Vibrations et chocs mécaniques –
Fixation mécanique des accéléromètres (ISO/DIS 5348:2019);
Texte en allemand et anglais

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2019-10-25 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an nals@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN/VDI-Normenausschuss Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS), 10772 Berlin, Saatwinkler Damm 42/43, 13627 Berlin.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 51 Seiten

DIN/VDI-Normenausschuss Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS)

Inhalt

	Seite
Nationales Vorwort.....	3
Nationaler Anhang NA (informativ) Literaturhinweise	4
Vorwort	5
Einleitung	6
1 Anwendungsbereich.....	7
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe	7
4 Grundlagen.....	8
5 Vom Hersteller des Beschleunigungsaufnehmers zu spezifizierende Parameter	10
6 Betrachtungen zur Auswahl eines Verfahrens zur Ankopplung.....	10
6.1 Allgemeine Aspekte	10
6.1.1 Ziele	10
6.1.2 Voraussetzungen	11
6.2 Spezielle Aspekte.....	11
6.2.1 Arbeitsfrequenzbereich.....	11
6.2.2 Kabel des Schwingungsaufnehmers	11
6.3 Bestimmung der ersten Resonanzfrequenz unter Ankopplungsbedingungen	12
6.3.1 Allgemeines	12
6.3.2 Verfahren mit Schwingungsanregung.....	12
6.3.3 Verfahren mit Stoßanregung	13
6.4 Empfehlungen für einzelne Ankopplungsarten	14
6.4.1 Allgemeines	14
6.4.2 Ankopplung über Gewindestifte	15
6.4.3 Ankleben.....	16
6.4.4 Magnet.....	18
6.4.5 Schnellankopplung	19
6.4.6 Taststift	19
6.4.7 Konusverschraubung.....	20
6.4.8 Rückwirkungsarme Ankopplungsvorrichtungen zur Erfassung der Schwingungseinwirkung auf den Menschen	21
6.4.9 Ankopplung durch Dreipunktauflage und Erdspieße.....	21
6.4.10 Keilanker	21
6.4.11 Ankopplungshilfen.....	21
7 Typischer Frequenzgang für diverse Ankopplungsarten	21
8 Weitere Ankopplungsaspekte.....	25
8.1 Dehnungsempfindlichkeit der Basis eines Beschleunigungsaufnehmers.....	25
8.2 Thermische Ankopplungseffekte.....	25
8.3 Elektrische Erdschleifen	25
Literaturhinweise.....	27

Nationales Vorwort

Dieses Dokument enthält die deutsche Übersetzung der Internationalen Norm ISO/DIS 5348:2019, die im Technischen Komitee ISO/TC 108 „Mechanical vibration, shock and condition monitoring“ erarbeitet wurde.

Das zuständige deutsche Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 001-03-02 AA „Schwingungsmesstechnik“ im DIN/VDI-Normenausschuss Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS).

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Für die in diesem Dokument zitierten internationalen Dokumente wird im Folgenden auf die entsprechenden deutschen Dokumente hingewiesen:

ISO 2954	siehe	DIN ISO 2954
ISO 5349-2	siehe	DIN EN ISO 5349-2
ISO 10326-1	siehe	DIN EN ISO 10326-1
ISO 10817-1	siehe	DIN ISO 10817-1
ISO 10819	siehe	DIN EN ISO 10819

Änderungen

Gegenüber DIN ISO 5348:1999-07 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Theorie zum Einfluss der Masse und Steifigkeit auf den erhaltenen Frequenzgang wurde erweitert;
- b) Frequenzgang durch tatsächlich gemessenen Wert ersetzt und Vergleichbarkeit verbessert;
- c) Einfluss von Erdschleifen hinzugefügt.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN ISO 2954, *Mechanische Schwingungen von Hubkolbenmaschinen und von Maschinen mit rotierenden Bauteilen — Anforderungen an Schwingstärkemessgeräte*

DIN EN ISO 5349-2, *Mechanische Schwingungen — Messung und Bewertung der Einwirkung von Schwingungen auf das Hand-Arm-System des Menschen — Teil 2: Praxisgerechte Anleitung zur Messung am Arbeitsplatz*

DIN EN ISO 10326-1, *Mechanische Schwingungen — Laborverfahren zur Bewertung der Schwingungen von Fahrzeugsitzen — Teil 1: Grundlegende Anforderungen*

DIN ISO 10817-1, *Meßeinrichtung für die Schwingungen rotierender Wellen — Teil 1: Erfassung der relativen und der absoluten Radialschwingungen*

DIN EN ISO 10819, *Mechanische Schwingungen und Stöße — Hand-Arm-Schwingungen — Messung und Bewertung der Schwingungsübertragung von Handschuhen in der Handfläche*

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung nationaler Normungsorganisationen (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird üblicherweise von Technischen Komitees von ISO durchgeführt. Jede Mitgliedsorganisation, die Interesse an einem Thema hat, für welches ein Technisches Komitee gegründet wurde, hat das Recht, in diesem Komitee vertreten zu sein. Internationale staatliche und nichtstaatliche Organisationen, die in engem Kontakt mit ISO stehen, nehmen ebenfalls an der Arbeit teil. ISO arbeitet bei allen elektrotechnischen Themen eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) zusammen.

Die Verfahren, die bei der Entwicklung dieses Dokuments angewendet wurden und die für die weitere Pflege vorgesehen sind, werden in den ISO/IEC-Direktiven, Teil 1 beschrieben. Es sollten insbesondere die unterschiedlichen Annahmekriterien für die verschiedenen ISO-Dokumentenarten beachtet werden. Dieses Dokument wurde in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der ISO/IEC-Direktiven, Teil 2 erarbeitet (siehe www.iso.org/directives).

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. ISO ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren. Details zu allen während der Entwicklung des Dokuments identifizierten Patentrechten finden sich in der Einleitung und/oder in der ISO-Liste der erhaltenen Patenterklärungen (siehe www.iso.org/patents).

Jeder in diesem Dokument verwendete Handelsname dient nur zur Unterrichtung der Anwender und bedeutet keine Anerkennung.

Für eine Erläuterung des freiwilligen Charakters von Normen, der Bedeutung ISO-spezifischer Begriffe und Ausdrücke in Bezug auf Konformitätsbewertungen sowie Informationen darüber, wie ISO die Grundsätze der Welthandelsorganisation (WTO, en: World Trade Organization) hinsichtlich technischer Handelshemmnisse (TBT, en: Technical Barriers to Trade) berücksichtigt, siehe www.iso.org/iso/foreword.html.

Dieses Dokument wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 108, Mechanical vibration, shock and condition monitoring, erarbeitet.

Diese dritte Ausgabe ersetzt die zweite Ausgabe (ISO 5348:1998), die technisch überarbeitet wurde. Die wesentlichen Änderungen im Vergleich zur Vorgängerausgabe sind folgende:

- Theorie zum Einfluss der Masse und Steifigkeit auf den erhaltenen Frequenzgang wurde erweitert;
- Frequenzgang durch tatsächlich gemessenen Wert ersetzt und Vergleichbarkeit verbessert;
- Einfluss von Erdschleifen hinzugefügt.

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Normungsinstitut des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Auflistung dieser Institute ist unter www.iso.org/members.html zu finden.

Einleitung

Das gebräuchlichste Verfahren zur Bestimmung der Schwingungen einer Struktur oder eines Körpers besteht darin, einen elektromechanischen Aufnehmer, auch Schwingungsaufnehmer oder Schwingungssensor genannt, einzusetzen. Diese Schwingungsaufnehmer lassen sich in zwei allgemeine Klassen einteilen: berührungslose Aufnehmer und Kontaktaufnehmer.

Berührungslose Aufnehmer sind relativ messende Schwingungsaufnehmer, die eine Bewegung relativ zu einem raumfesten Koordinatensystem aufzeichnen. Typische Beispiele hierfür sind Wirbelstromaufnehmer, optische Aufnehmer und Laser-Vibrometer. Diese Aufnehmer haben keinen direkten mechanischen Kontakt mit der Struktur und werden daher in diesem Dokument nicht behandelt.

Kontaktaufnehmer werden durch mechanische Kopplung an der Struktur montiert. Dazu gehören beispielsweise piezoelektrische, kapazitive und piezoresistive Aufnehmer sowie seismische Geschwindigkeitsaufnehmer (Geophone). Diese absolut messenden Schwingungsaufnehmer erfassen die durch seismische Kräfte hervorgerufenen Bewegungen in dem Raumkoordinatensystem, in dem sie montiert sind.

Wenn ein solcher Schwingungsaufnehmer auf einer Struktur montiert wird, können die Eigenschaften der Ankopplung den Frequenzgang der Struktur sowie des Schwingungsaufnehmers erheblich beeinflussen. Bei mangelnder Sorgfalt bezüglich der Eigenschaften der Ankopplung können, insbesondere bei hohen Frequenzen, sehr große Messabweichungen auftreten.

Unter bestimmten Umständen können die Masse, die Geometrie sowie die Ankopplungssteifigkeit des Schwingungsaufnehmers die gemessene Schwingungsamplitude der Struktur direkt beeinflussen. Dieser Effekt tritt z. B. auf, wenn die Massen des Schwingungsaufnehmers und der Struktur in der gleichen Größenordnung liegen.

Dieses Dokument gilt für Beschleunigungsaufnehmer vom Kontakttyp sowie für seismische Geschwindigkeitsaufnehmer, die zurzeit 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. Dieses Dokument 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.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument beschreibt wichtige technische Eigenschaften der verschiedenen Verfahren zur Ankopplung von Schwingungsaufnehmern sowie empfohlene Vorgehensweisen. Darüber hinaus werden Beispiele für den Einfluss der Ankopplung des Beschleunigungssensors auf den Frequenzgang sowie für andere Einflüsse beschrieben, die die Repräsentationsgenauigkeit im Vergleich zur tatsächlichen Bewegung der zu beobachtenden Struktur beeinträchtigen könnten.

Dieses Dokument gilt für Beschleunigungsaufnehmer vom Kontakttyp, die zurzeit weit verbreitet sind. Es gilt sowohl für einachsige als auch für mehrachsige Schwingungsaufnehmer. Dieses Dokument gilt auch für Geschwindigkeitsaufnehmer.

Mit diesem Dokument ist der Anwender in der Lage, die Grenzen einer Ankopplung und damit auch mögliche Messabweichungen einzuschätzen.

Es sollte beachtet werden, dass Probleme mit der Ankopplung von Schwingungsaufnehmern nicht der einzige Aspekt sind, der die Gültigkeit von Beschleunigungsmessungen beeinträchtigen kann. Weitere Aspekte sind unter anderem: Querbewegungen, die Ausrichtung des Schwingungsaufnehmers, die Durchbiegung der Basis, Kabelbewegungen, Temperaturänderungen, elektrische und magnetische Felder, Kabelpeitschen, Anzugsdrehmoment, usw. Andere Aspekte als die Ankopplung und ihre möglichen Auswirkungen werden in diesem Dokument jedoch nicht im Detail behandelt.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

ISO 2041, *Mechanical vibration, shock and condition monitoring — Vocabulary*

ISO 2954, *Mechanical vibration of rotating and reciprocating machinery — Requirements for instruments for measuring vibration severity*

ISO 5347-22, *Methods for the calibration of vibration and shock pick-ups — Part 22: Accelerometer resonance testing — General methods*

ISO 8042, *Shock and vibration measurements — Characteristics to be specified for seismic pick-ups*

ISO 16063-32, *Methods for the calibration of vibration and shock transducers — Part 32: Resonance testing — Testing the frequency and the phase response of accelerometers by means of shock excitation*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach ISO 2041.

Es werden keine Begriffe in diesem Dokument angegeben.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

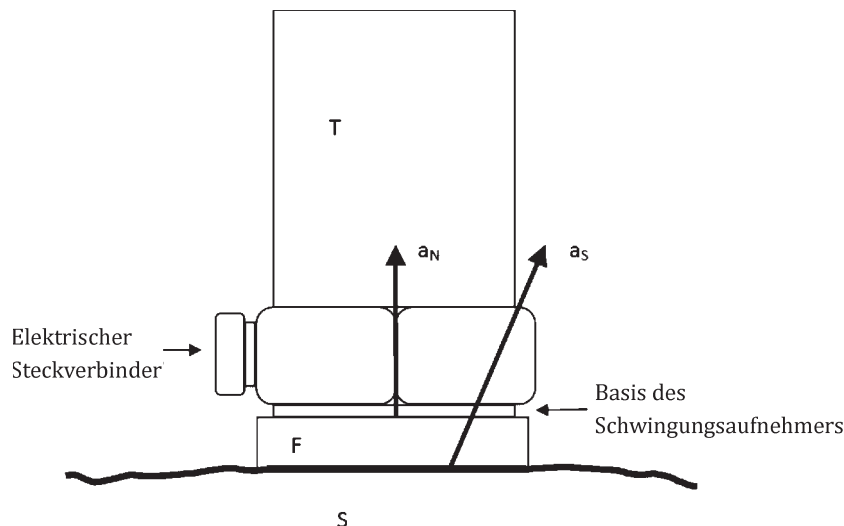
— ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <http://www.iso.org/obp>

— IEC Electropedia: verfügbar unter <http://www.electropedia.org/>

4 Grundlagen

Ein Schwingungsaufnehmer T ist mit der Oberfläche S der schwingenden Struktur verbunden, wie in vereinfachter Darstellung in Bild 1 gezeigt. Der Schwingungsaufnehmer T liefert an seinem Ausgang ein elektrisches Signal, das proportional zur Größe des Eingangsvektors der mechanischen Beschleunigung a_N ist. Der Vektor a_N steht senkrecht zur Basis des Schwingungsaufnehmers und misst die Projektion des Schwingungsbeschleunigungsvektors a_S der Struktur in Richtung der nominalen empfindlichen Vektorachse a_N (Messrichtung).

Die Schwingung in Richtung des Beschleunigungsvektors a_S auf der Struktur wird über die mechanische Ankopplung F in die Messrichtung des Schwingungsaufnehmers T übertragen. Frequenzabhängige Änderungen der nominalen Schwingungsamplitude a_N des Schwingungsaufnehmers können aufgrund der dynamischen Eigenschaften der mechanischen Ankopplung F mit ihrer mechanischen Steifigkeit und der Masse des Schwingungsaufnehmers auftreten. Die mechanische Ankopplung ändert daher den nutzbaren Frequenzbereich des Schwingungsaufnehmers in Bezug auf die Amplitude und die Phase für eine gegebene Fehlergrenze (siehe 6.2.1). Dieses Dokument gilt nur für die Ankopplung solcher Beschleunigungsaufnehmer, die mit der Oberfläche der schwingenden Struktur verbunden sind, wie in vereinfachter Darstellung in Bild 1 gezeigt.



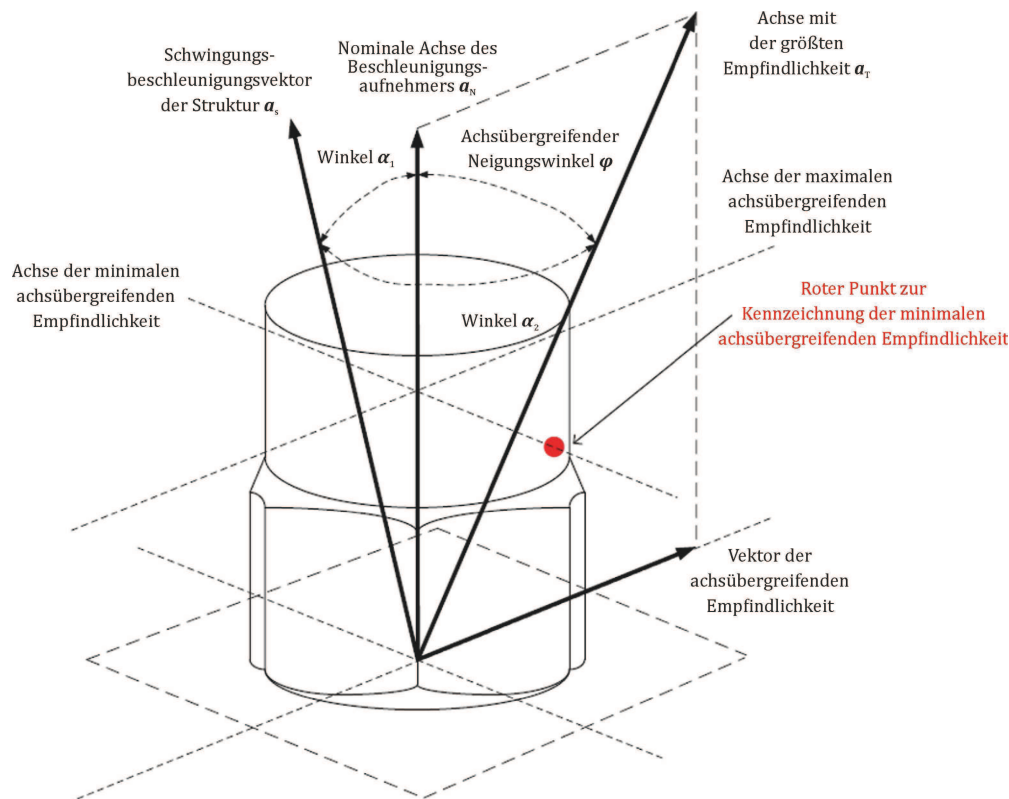
Legende

- a_N nominaler Schwingungsbeschleunigungsvektor
- a_S Schwingungsbeschleunigungsvektor der Struktur
- F mechanische Ankopplung
- S Struktur

Bild 1 — Ankopplung eines Beschleunigungsaufnehmers

Häufig ist der Schwingungsbeschleunigungsvektor des Schwingungsaufnehmers mit der größten Empfindlichkeit nicht parallel zur nominalen Achse a_N des Beschleunigungsaufnehmers, die senkrecht zu dessen Ankopplungsbereich steht, wie in Bild 1 dargestellt. Dadurch entsteht eine achsenübergreifende Empfindlichkeit des Schwingungsaufnehmers, siehe ISO 16063-31. Die achsenübergreifende Empfindlichkeit ist in einer Richtung maximal und ist im Ankopplungsbereich in einer senkrecht dazu verlaufenden Richtung idealerweise gleich Null. Bei einigen auf dem Markt befindlichen Schwingungsaufnehmern markiert ein roter Punkt die Richtung der minimalen achsenübergreifenden Empfindlichkeit. Durch das Ankoppeln des Schwingungsaufnehmers in diese Richtung können die Auswirkungen der achsenübergreifenden Empfindlichkeit während einer Messung minimiert werden, wenn durch die richtige Ausrichtung des Schwingungsaufnehmers eine hohe Querschleunigung auftritt.

In Bild 2 ist die komplexe vektorielle Beziehung zwischen dem Schwingungsvektor der Struktur $\mathbf{a}_S$, dem Vektor der nominalen Achse des Beschleunigungsaufnehmers $\mathbf{a}_N$, dem Schwingungsbeschleunigungsvektor des Schwingungsaufnehmers mit der größten Empfindlichkeit $\mathbf{a}_T$ und den Winkeln φ , α_1 und α_2 dazwischen dargestellt. Die Beseitigung dieser Ausrichtungsabweichungen erfordert in der Regel eine Koordinatentransformation zwischen diesen Abweichungen. In dieser Betrachtung bildet die Projektion des Schwingungsbeschleunigungsvektors der Struktur $\mathbf{a}_S = (a^S_X, a^S_Y, a^S_Z)$ auf den Schwingungsbeschleunigungsvektor des Schwingungsaufnehmers mit der größten Empfindlichkeit $\mathbf{a}_T = (a^T_X, a^T_Y, a^T_Z)$ das Ausgangssignal $\mathbf{u}$ des Schwingungsaufnehmers. Allerdings ist natürlich die Größe in Richtung des Vektors der nominalen Achse des Beschleunigungsaufnehmers $\mathbf{a}_N = (a^N_X, a^N_Y, a^N_Z)$ von Interesse.



Legende

$\mathbf{a}_N$ nominale Achse des Beschleunigungsaufnehmers, die senkrecht zu dessen Ankopplungsbereich steht (a^N_X, a^N_Y, a^N_Z)

$\mathbf{a}_S$ Schwingungsbeschleunigungsvektor der Struktur (a^S_X, a^S_Y, a^S_Z)

$\mathbf{a}_T$ Schwingungsbeschleunigungsvektor des Schwingungsaufnehmers mit der größten Empfindlichkeit (a^T_X, a^T_Y, a^T_Z)

φ Winkel zwischen $\mathbf{a}_N$ und $\mathbf{a}_T$

α_1 Winkel zwischen $\mathbf{a}_N$ und $\mathbf{a}_S$

α_2 Winkel zwischen $\mathbf{a}_S$ und $\mathbf{a}_T$

ANMERKUNG Für die genaue Messung der Strukturschwingung besteht das Ziel darin, dass die Vektoren $\mathbf{a}_S$ und $\mathbf{a}_N$ in Betrag und Richtung identisch sind, siehe 6.1.1.

Bild 2 — Überlegungen zu den Beschleunigungsvektoren hinsichtlich der Ankopplung des Beschleunigungssensors

5 Vom Hersteller des Beschleunigungsaufnehmers zu spezifizierende Parameter

Die technischen Eigenschaften von Schwingungsaufnehmern müssen im Datenblatt oder Handbuch in Übereinstimmung mit ISO 8042 angegeben werden. Aus der Vielzahl von Informationen sind nur wenige für die Ankopplung von Schwingungsaufnehmern relevant:

- a) der Frequenzgang unter genau definierten Ankopplungsbedingungen sowie der Betriebsbereich und die bestmögliche Ankopplung;
- b) die Ankopplungsfläche des Schwingungsaufnehmers: Abmessungen der Ankopplungsfläche, Ankopplungsmöglichkeiten, Gewindeabmessungen, Gewindetiefe, Schnittdarstellung der Ankopplungsfläche, Material der Ankopplungsfläche, Rauheit und Ebenheit der Oberfläche, Bohrungsrechtwinkligkeit und Gewindgröße;
- c) das geltende empfohlene Anzugsmoment und das maximal zulässige Anzugsmoment, d. h. für weniger als 2 % Änderung des nutzbaren Frequenzbereichs;
- d) die Außenmaße des Schwingungsaufnehmers, einschließlich:
 - der Stelle des Schwerpunktes des gesamten Schwingungsaufnehmers,
 - der Stelle des Schwerpunktes der seismischen Masse des Schwingungsaufnehmers;
- e) die relevanten mechanischen Merkmale des Beschleunigungsaufnehmers, d. h.
 - die Gesamtmasse des Schwingungsaufnehmers,
 - der Werkstoff der Basis,
 - die maximale Querempfindlichkeit und die Frequenz, bei der sie bestimmt wurde;
- f) die erste Resonanzfrequenz des Schwingungsaufnehmers unter Ankopplungsbedingungen;
- g) die Temperaturbereiche für den Schwingungsaufnehmer und das Ankopplungsteil.

6 Betrachtungen zur Auswahl eines Verfahrens zur Ankopplung

6.1 Allgemeine Aspekte

6.1.1 Ziele

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

- a) Der Beschleunigungsaufnehmer muss an der Ankopplungsstelle soweit wie möglich dieselbe Bewegung wie die Struktur ausführen.
- b) Die Bewegung der Struktur darf durch das Hinzufügen des Beschleunigungsaufnehmers nur so wenig wie möglich verändert werden, z. B. durch dessen Masse und die Verstärkung im Bereich der Ankopplungsfläche.

6.1.2 Voraussetzungen

Um die oben genannten idealen Bedingungen zu erreichen, muss sichergestellt sein, dass

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

6.2 Spezielle Aspekte

6.2.1 Arbeitsfrequenzbereich

Der Beschleunigungsaufnehmer darf nur weit unterhalb seiner ersten Resonanzfrequenz unter Ankopplungsbedingungen eingesetzt werden, um Amplitudenverfälschungen zu vermeiden. Bei ungedämpften Beschleunigungsaufnehmern (Resonanzüberhöhung Q größer als 30 dB) und einer Ankopplung nach den Herstellerempfehlungen können zur Abschätzung der Amplitudenabweichungen folgende Grenzfrequenzen verwendet werden:

- bei bis zu etwa 20 % der Resonanzfrequenz des Schwingungsaufnehmers sind die Amplitudenabweichungen des Schwingungsaufnehmers meist kleiner als 5 %,
- bei bis zu etwa 30 % der Resonanzfrequenz sind die Amplitudenabweichungen meist kleiner als 10 %,
- bei bis zu etwa 50 % der Resonanzfrequenz sind die Amplitudenabweichungen meist kleiner als 3 dB.

ANMERKUNG 1 Es gibt spezielle Messverfahren, z. B. für die Zustandsüberwachung von Wälzlagern, die im Resonanzbereich des Beschleunigungsaufnehmers arbeiten.

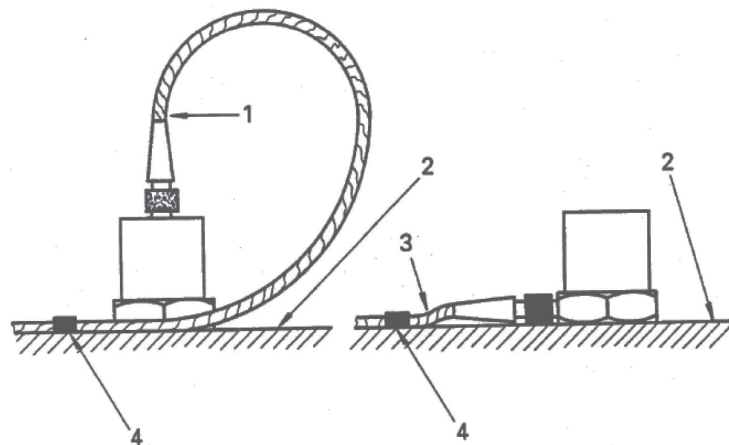
ANMERKUNG 2 Bei der Messung von Einzelstößen können Abweichungen von lediglich ein paar Prozent erwartet werden, wenn die erste Resonanzfrequenz unter Ankopplungsbedingungen mindestens 10 Mal so groß wie der Kehrwert der Impulsdauer ist.

HINWEIS 3 Elektromagnetische Schwinggeschwindigkeitsaufnehmer werden meist oberhalb ihrer Resonanzfrequenz eingesetzt.

6.2.2 Kabel des Schwingungsaufnehmers

Eine Relativbewegung des Kabels zum Schwingungsaufnehmer kann zu falschen Messsignalen führen, insbesondere bei steifen Kabeln. Um dieses Problem zu vermeiden, müssen die Leitungen sorgfältig verlegt und befestigt werden (siehe Bild 3).

Lose, bewegliche Kabel können bei piezoelektrischen Schwingungsaufnehmern mit Ladeausgang triboelektrische Effekte hervorrufen oder den Schwingungsaufnehmer zu einer dynamischen Reaktion veranlassen, die nicht mit der Bewegung der geprüften Oberfläche übereinstimmt.



a) Beschleunigungsmesser mit axialem Leitungsanschluss

b) Beschleunigungsmesser mit radialem Leitungsanschluss

Legende

- 1 Kabeleingang – nicht belasten
- 2 Oberfläche der schwingenden Struktur
- 3 Kabeleingang – nicht belasten
- 4 Leitung an Oberfläche befestigen

Bild 3 — Beschleunigungsmesser mit axialem und radialem Leitungsanschluss

6.3 Bestimmung der ersten Resonanzfrequenz unter Ankopplungsbedingungen

6.3.1 Allgemeines

Es ist sehr nützlich, allerdings in der Praxis bisweilen schwierig, die erste Resonanzfrequenz unter Ankopplungsbedingungen (Grundeigenfrequenz) genau zu bestimmen, während der Aufnehmer an eine Struktur angekoppelt ist. Es muss ebenfalls darauf hingewiesen werden, dass die Resonanzfrequenz in nominaler Messrichtung stark von der Resonanzfrequenz in Querrichtung (die meist niedriger ist) abweichen kann. Bei mehrachsigen Beschleunigungsaufnehmern können die Resonanzfrequenzen der Achsen stark variieren.

Die folgenden Verfahren können bei der näherungsweisen Bestimmung der Resonanzfrequenz nützlich sein. Dadurch ist sichergestellt, dass ein ausreichender Abstand zwischen der Resonanz- und der Prüffrequenz besteht.

6.3.2 Verfahren mit Schwingungsanregung

Zur Beurteilung des Einflusses der Qualität von Ankopplungsflächen und -werkstoffen kann ein geeigneter elektrodynamischer Schwingungserreger mit Referenzschwingungsaufnehmer eingesetzt werden. Zu diesem Zweck werden die zu prüfenden Werkstoffe zwischen der Armatur des Schwingungserregers und dem Schwingungsaufnehmer angekoppelt und sein Ausgangssignal wird in Abhängigkeit von der Schwingungsfrequenz gemessen.

Informationen zu Verfahren zur Bestimmung der Grundeigenfrequenz (Resonanzfrequenz) können ISO 5347-22 und ISO 16063-32 entnommen werden.

6.3.3 Verfahren mit Stoßanregung

Informationen zu Verfahren zur Bestimmung der ersten Resonanzfrequenz unter Ankopplungsbedingungen (Grundeigenfrequenz) durch Stoßanregung können ISO 16063-32 entnommen werden. Neben ISO 16063-32 werden auch die folgenden Messtechniken verwendet:

Der Pendelschlagtest, der Falltest, ein einfacher Hammerschlag und das Brechen einer Bleistiftmine für den zu prüfenden angekoppelten Beschleunigungsaufnehmer zählen zu den Verfahren mit Stoßanregung.

Im ersten Fall ist der Beschleunigungsaufnehmer an ein Gegengewicht angekoppelt, das als Pendel aufgehängt ist, während ein ähnlich aufgehängtes Gewicht 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 das Gewicht in ähnlicher Weise wie an den Prüfkörper (die tatsächlich untersuchte Struktur) angekoppelt sein. Wenn es nicht möglich ist, den Prüfkörper in realistischer Weise durch die Masse des Hammers oder des Ambosses zu ersetzen, muss das Gewicht in ausreichender Größe aus demselben Werkstoff hergestellt werden, 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.

Das von dem Stoß unter geeigneten Bedingungen erzeugte Ausgangssignal des Beschleunigungsaufnehmers wird von der Resonanzfrequenz überlagert (siehe Bild 4), wenn die Stoßdauer t_s kürzer als $5/f_{\text{Res}}$ ist, wobei f_{Res} die niedrigste erste Resonanzfrequenz unter Ankopplungsbedingungen (Grundeigenfrequenz) des Beschleunigungsaufnehmers ist.

Die Stoßenergie (d. h. die Höhe, aus der das Gewicht losgelassen wird) und die Steifigkeit der Aufschlagfläche (z. B. Stahl oder Bleimantel) müssen experimentell herausgefunden werden, um eine geeignete Stoßdauer zu erzielen, bei der die Resonanzeffekte messbar werden. Ebenfalls ist darauf zu achten, dass bei dem Stoß die niedrigste Resonanz angeregt wird. Ein geeignetes Einzelereignis-Aufzeichnungsgerät, z. B. ein Oszilloskop mit einem Signalspeicher, 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.

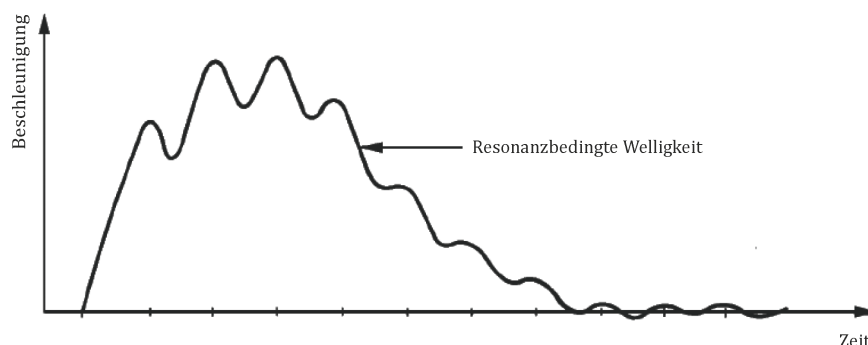


Bild 4 — Reaktion des Beschleunigungsaufnehmers auf Stoß bei Stoßdauer $t_s < 5/f_{\text{Res}}$

Durch das Brechen einer Bleistiftmine in die Messrichtung des zu prüfenden Beschleunigungsaufnehmers in der Nähe des Ankopplungsbereichs, vorzugsweise mit einem Durchmesser von 0,5 mm und einer Härte von 2H, kann ein sehr breitbandiges Stoßantwortspektrum erzeugt werden. Zu diesem Zweck wird ein

handelsüblicher Druckbleistift mit einem Kunststoff-Formteil ausgestattet, das den Bruchwinkel vorgibt und ein Prellen verhindert (siehe ASTM E976). Hier ist die Stoßdauer t_s kürzer als $1/f_{\text{Res}}$ und der zu prüfende Beschleunigungsaufnehmer wird in seiner niedrigsten ersten Resonanzfrequenz unter Ankopplungsbedingungen (Grundeigenfrequenz) [2] angeregt, siehe Bild 5.

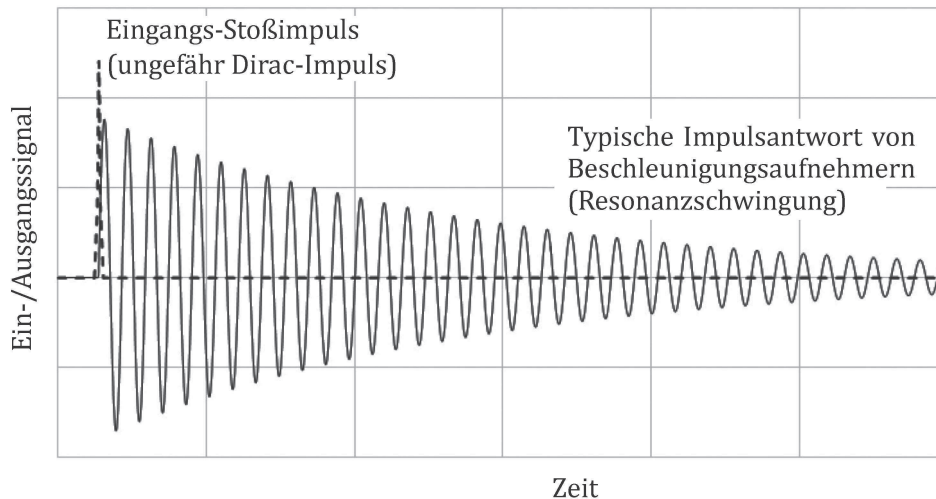


Bild 5 — Reaktion des Beschleunigungsaufnehmers auf Stoß (idealisierte Darstellung)

6.4 Empfehlungen für einzelne Ankopplungsarten

6.4.1 Allgemeines

Die Ankopplungsfläche auf der Struktur ist sorgfältig daraufhin zu untersuchen, dass sie glatt und nicht verunreinigt ist; sofern notwendig, muss sie plan bearbeitet sein. Die Größe der Kontaktfläche von Magneten, Klebepads und anderen Ankopplungsteilen sollte mindestens so groß sein wie die Ankopplungsfläche des Schwingungsaufnehmers. Fehlausrichtungen zwischen der Messachse des Beschleunigungsaufnehmers und der zu messenden Richtung sind möglichst gering zu halten, da dies sonst zu Abweichungen aufgrund von Winkelabweichungen und Querempfindlichkeit führen kann. Diese Abweichungen können dann besonders groß sein, wenn die Schwingungen in Querrichtung viel größer als diejenigen in der axialen Messrichtung sind.

Je höher die zu messende Frequenz ist, desto höher sollte die statische Ankopplungskraft und die Steifigkeit der Ankopplung sein.

Die Massen des Schwingungsaufnehmers und des Ankopplungsmaterials sowie die resonante Kabelmasse sollten so gering wie möglich sein, um den Einfluss auf das Messobjekt zu minimieren.

Bei Schwingungsmessungen an elektrischen Maschinen kann es notwendig sein, den Schwingungsaufnehmer isoliert anzukoppeln, um Erdschleifen zu vermeiden (siehe 8.3).

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

Das für den Schwingungsaufnehmer empfohlene Verfahren zur Ankopplung sollte unter Einhaltung der Herstellervorgaben angewandt werden.

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

Tabelle 1 — Kriterien zur Auswahl von Verfahren zur Ankopplung

Zuverlässigkeit der Ankopplung	Resonanzfrequenz	Statische Festigkeit	Temperaturbeständigkeit	Relevanz der Oberflächenbehandlung
Hoch	Gewindestift oder Schraube	Gewindestift oder Schraube	Gewindestift oder Schraube	Gewindestift oder Schraube
	Zyanakrylat- oder Epoxidharzklebstoff	Zyanakrylat- oder Epoxidharzklebstoff	Magnet	Zyanakrylat
	Klebewachs	dünnes doppelseitiges Klebeband	Zyanakrylat- oder Epoxidharzklebstoff	Magnet
	dünnes doppelseitiges Klebeband	Magnet	Handgeführter Taststift mit Spitze	Klebewachs
Gering	Zyanakrylat- oder Epoxidharzklebstoff mit Klebepad	Klebewachs	dünnes doppelseitiges Klebeband	dünnes doppelseitiges Klebeband
	dünnes doppelseitiges Klebeband mit Klebepad	handgeführter Taststift mit Spitze	Klebewachs	Epoxidharzklebstoff
	Magnet			handgeführter Taststift mit Spitze
	handgeführter Taststift mit Spitze			

6.4.2 Ankopplung über Gewindestifte

6.4.2.1 Die Oberflächen müssen bis auf das vom Hersteller angegebene Maß sauber, eben und glattgeschliffen sein, sofern festgelegt. Die Achsen der Gewindebohrungen müssen auf den Ankopplungsflächen senkrecht stehen.

6.4.2.2 Das vom Hersteller empfohlene Anzugsmoment sollte angewendet werden, um eine feste Ankopplung zu erreichen, ohne dabei den Beschleunigungsaufnehmer zu beschädigen.

6.4.2.3 Eine dünne Öl- oder Fettschicht zwischen den Oberflächen ermöglicht es, einen guten Kontakt und damit die maximale Steifigkeit der Ankopplung zu erzielen (siehe Bild 6).

6.4.2.4 Der Gewindestift darf den Grund der Gewindebohrung nicht berühren, da die Ankopplung wegen eines schmalen Spalts zwischen den Flächen dann unter Umständen nicht mehr starr ist oder die Basis des Schwingungsaufnehmers verformt werden kann, wodurch dessen Eigenschaften beeinflusst werden.

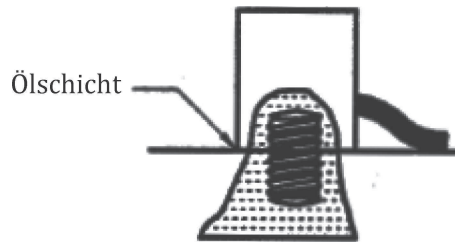


Bild 6 — Ankopplung über Gewindestifte

6.4.3 Ankleben

Dieses Verfahren (siehe Bild 7) darf angewendet werden, wenn kein anderes Ankopplungsverfahren möglich ist, die Struktur nicht angebohrt werden kann, der Beschleunigungsaufnehmer elektrisch isoliert werden muss oder die Oberfläche nicht eben genug ist. Muss der Schwingungsaufnehmer klebstofffrei oder leicht ablösbar sein, wird ein scheibenförmiges Klebepad verwendet, das auf der einen Seite mit einem Gewinde versehen und auf der anderen Seite plan ist und das mit der Struktur verklebt wird.



a) Direkt geklebter Schwingungsaufnehmer

b) Schwingungsaufnehmer auf Klebepad

Bild 7 — Ankopplung durch direktes Ankleben oder durch Ankleben mit Klebepad

Die Oberfläche muss in dem Maß gereinigt werden, wie es der Hersteller des Klebstoffs empfiehlt. Es wird empfohlen, Fett und Öl von beiden Ankopplungsflächen zu entfernen.

Die Kleberschicht muss so dünn wie möglich sein und darf nur den Abstand zwischen dem Schwingungsaufnehmer und der Struktur ausfüllen. Der Klebevorgang muss mit entsprechendem Anpressdruck durchgeführt werden.

Es müssen harte Klebstoffe wie Zweikomponentenklebstoffe oder Schmelzklebstoffe verwendet werden. Lösemittelklebstoffe neigen dazu, innen weich zu bleiben, was die Steifigkeit der Klebeverbindung und damit die Resonanzfrequenz verringert.

Zyanakrylat-Klebstoffe sind nur für ebene und glatte Oberflächen geeignet. Klebstoffe auf Epoxidharzbasis mit Füllstoffen können bei unebenen Oberflächen eingesetzt werden.

Dünnes doppelseitiges Klebeband ist ebenfalls für die Ankopplung geeignet. Es werden nur filmbasierte doppelseitige Klebebänder mit möglichst geringer Dicke empfohlen; Dicken unter 0,2 mm sind üblich. Schaumstoffbasierte Klebebänder sind in der Regel ungeeignet.

Die erforderliche Umgebungstemperatur muss bei der Ankopplung von Schwingungsaufnehmern mit Klebstoff eingehalten werden. Klebewachs sollte nur bei Raumtemperatur verwendet werden. Die maximale