

**DIN EN IEC 60068-3-3
(VDE 0468-3-3)**
DIN

Diese Norm ist zugleich eine **VDE-Bestimmung** im Sinne von VDE 0022. Sie ist nach Durchführung des vom VDE-Präsidium beschlossenen Genehmigungsverfahrens unter der oben angeführten Nummer in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der „etz Elektrotechnik + Automation“ bekannt gegeben worden.

VDE

ICS 19.040

Einsprüche bis 2019-01-16
Vorgesehen als Ersatz für
DIN IEC 60068-3-3:1993-09

Entwurf
Umgebungseinflüsse –
Teil 3-3: Leitfaden –
Seismische Prüfverfahren für Geräte
(IEC 104/806/CDV:2018);
Deutsche und Englische Fassung prEN IEC 60068-3-3:2018

Environmental testing –

Part 3-3: Guidance –

Seismic test methods for equipments

(IEC 104/806/CDV:2018);

German and English version prEN IEC 60068-3-3:2018

Essais d'environnement –

Partie 3-3: Guide –

Méthodes d'essai sismique applicables aux matériels

(IEC 104/806/CDV:2018);

Version allemande et anglaise prEN IEC 60068-3-3:2018

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2018-11-16 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 dke@vde.com 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 die DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE, Stresemannallee 15, 60596 Frankfurt am Main.

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 88 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn dieser Norm ist

Nationales Vorwort

Die Deutsche Fassung des europäischen Dokuments prEN IEC 60068-3-3:2018 „Umgebungseinflüsse – Teil 3-3: Leitfaden – Seismische Prüfverfahren für Geräte“ (Entwurf in der Umfrage) ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden.

Die Internationale Elektrotechnische Kommission (IEC) und das Europäische Komitee für Elektrotechnische Normung (CENELEC) haben vereinbart, dass ein auf IEC-Ebene erarbeiteter Entwurf für eine Internationale Norm zeitgleich (parallel) bei IEC und CENELEC zur Umfrage (CDV-Stadium) und Abstimmung als FDIS (en: Final Draft International Standard) bzw. Schluss-Entwurf für eine Europäische Norm gestellt wird, um eine Beschleunigung und Straffung der Normungsarbeit zu erreichen. Dem entsprechend ist das internationale Dokument IEC 104/806/CDV:2018 „Environmental testing – Part 3-3: Guidance – Seismic test methods for equipments“ unverändert in den Entwurf prEN IEC 60068-3-3:2018 übernommen worden.

Da die Deutsche Fassung noch nicht endgültig mit der Englischen und Französischen Fassung abgeglichen ist, ist die englische Originalfassung des IEC-CDV entsprechend der diesbezüglich durch die IEC erteilten Erlaubnis beigefügt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen IEC-Text.

Das internationale Dokument wurde vom TC 104 „Environmental conditions, classification and methods of test“ der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet.

Bei der Abstimmung zu dem Europäischen Schluss-Entwurf bei CENELEC und dem Internationalen Schluss-Entwurf bei IEC [Final Draft International Standard (FDIS)] sind jeweils nur „JA/NEIN“-Entscheidungen möglich, wobei „NEIN“-Entscheidungen fundiert begründet werden müssen. Dokumente, die bei CENELEC als Europäische Norm angenommen und ratifiziert werden, sind unverändert als Deutsche Normen zu übernehmen.

Für dieses Dokument ist das nationale Arbeitsgremium K 131 „Umgebungsbedingungen, Klassifizierung und Prüfungen“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf ein Dokument ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnittsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils aktuellste Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments.

Für den Fall einer datierten Verweisung im normativen Text bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe des Dokuments.

Der Zusammenhang der zitierten Dokumente mit den entsprechenden deutschen Dokumenten ergibt sich, soweit ein Zusammenhang besteht, grundsätzlich über die Nummer der entsprechenden IEC-Publikation. Beispiel: IEC 60068 ist als EN 60068 als Europäische Norm durch CENELEC übernommen und als DIN EN 60068 ins Deutsche Normenwerk aufgenommen.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. IEC ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Änderungen

Gegenüber DIN IEC 60068-3-3:1993-09 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Das Hauptziel dieser Überarbeitung ist die Verbindung zwischen Prüfschärfe und der seismischen Aktivität der Zone, an der das Gerät installiert sein könnte;
- b) eine genormte Form für das Anforderungs-Antwortspektrum wird auch für die allgemeine seismische Klasse angegeben, bei der die seismische Umgebung entweder nicht oder nur ungenügend bekannt ist;

- c) in Bezug auf das alte Dokument wurden die Abschnitte 11 bis 15 nach Hauptabschnitt 1 verschoben und dabei neu nummeriert sowie geringfügig angepasst. Diese Maßnahme ist begründet, da die Inhalte dieser Abschnitte sehr allgemein sind und die Anforderungen sowohl auf die allgemeine seismische Klasse als auch auf die spezielle seismische Klasse angewandt werden können;
- d) das Wort „Einhüllende“ wurde zu „Dominanz“ und „einhüllen“ zu „dominieren“ geändert, damit eine genauere Bedeutung im mathematischen Sinn erzielt wird.

**Umgebungseinflüsse –
Teil 3-3: Leitfaden –
Seismische Prüfverfahren für Geräte**

Inhalt

	Seite
Einleitung	4
I HAUPTABSCHNITT 1 – ALLGEMEINES	4
1 Anwendungsbereich	4
2 Normative Verweisungen	4
3 Begriffe	5
4 Allgemeine Angaben und Angaben zur Bestimmung der Eignung	10
4.1 Allgemeine und spezifische seismische Klassen	10
4.2 Betriebsbedingungen	11
4.3 Fehlerkriterien	11
4.4 Klassifizierung von Fehlerkriterien	11
5 Prüfverfahren	12
5.1 Allgemeines	12
5.2 Befestigung	12
5.3 Messungen	12
5.4 Frequenzbereich	13
6 Prüfung	13
7 Auswahl des Prüfsignals	13
7.1 Allgemeines	13
7.2 Mehrfrequente Signale	13
7.3 Monofrequente Signale	13
8 Prüfsignale	14
8.1 Allgemeines	14
8.2 Mehrfrequente Prüfungen	15
8.3 Monofrequente Prüfung	15
8.4 Andere Prüfsignale	16
9 Prüfbedingungen	17
9.1 Einleitung	17
9.2 Untersuchung des Schwingverhaltens	18
9.3 Prüfverfahren	18
9.4 Auswahl der Dämpfung	19
9.5 Prüfung mit S1- und S2-Erdbeben	19
9.6 Prüfung für besondere Anwendungsfälle	20
9.7 Prüfung von Baugruppen	20
9.8 Prüfung von Bauelementen	20

	Seite
10 Ein- und mehrachsige Prüfungen.....	20
10.1 Allgemeines	20
10.2 Einachsige Prüfung	21
10.3 Zweiachsige Prüfung	21
10.4 Dreiachsige Prüfung	22
II HAUPTABSCHNITT 2 – ALLGEMEINE SEISMISCHE KLASSE	23
11 Prüfung	23
11.1 Auswahl der Prüfmethode	23
11.2 Prüfverfahren	23
12 Prüfverfahren mit berechneter Schwingamplitude	23
12.1 Anwendung	23
12.2 Prüfbedingungen	24
13 Prüfparameter	27
13.1 Prüfdauer	27
13.2 Prüfbeschleunigung a_t	27
14 Bestimmung des Anforderungs-Antwortspektrums	28
14.1 Anforderungs-Antwortspektrum RRS	28
15 Prüfverfahren	29
15.1 Untersuchung des Schwingverhaltens VRI	29
15.2 Prüfverfahren	30
III HAUPTABSCHNITT 3 – SPEZIELLE SEISMISCHE KLASSE	31
16 Prüfung	31
17 Auswahl des Prüfsignals	31
17.1 Allgemeines	31
17.2 Mehrfrequente Signale	31
17.3 Monofrequente Signale	31
8 Prüfsignale	31
18.1 Allgemeines	31
18.2 Monofrequente Prüfung	31
18.3 Andere Prüfsignale	32
19 Prüfbedingungen	32
20 Ein- und mehrachsige Prüfungen	32
Anhang A Flussdiagramme zur Auswahl der Prüfungen	39
A.1 Wahl der Prüfmethode	39
A.2 Allgemeine seismische Klasse – Prüfung mit berechneter Schwingamplitude	40
A.3 Spezielle seismische Klasse – Einachsige Prüfung	41
A.4 Spezielle seismische Klasse – Mehrachsige Prüfung	42

Bilder

Bild 1 – Die empfohlene Form eines Anforderungs-Antwortspektrums in verallgemeinerter Form (doppeltlogarithmische Skalierung) (nach IEC 60068-2-57).....	29
Bild 2 – Typisches Hüllkurven-Antwortspektrum	33
Bild 3 – Beispiele der Hüllkurven der Antwortspektren	34
Bild 4 – Spektrum eines mehrfrequenten Signals mit überlagertem Sinusimpuls	34
Bild 5 – Folge von fünf Sinusimpulsen mit fünf Lastspielen	35
Bild 6 – Typischer Zeitverlauf	35
Bild 7 – Festfrequenz.....	36
Bild 8 – Einrichtung mit geneigter Ebene für zweiachsige Prüfungen	36
Bild 9 – Überhöhungsfaktoren der Signale.....	37
Bild 10 – Schwingamplituden mit Übergangsfrequenzen bei 0,8 Hz und 1,6 Hz, seismische Prüfungen nach Klassen der Bodenbeschleunigung	38
Bild A.1 – Wahl der seismischen Klasse	39
Bild A.2 – Flussdiagramm für die Prüfung mit berechneter Amplitude	40
Bild A.3 – Flussdiagramm für die einachsige Prüfung	41
Bild A.4 – Flussdiagramm für die mehrachsige Prüfung	42

Tabellen

Tabelle 1 – Typische Dämpfungsgrade (in Prozent der kritischen Dämpfung).....	19
Tabelle 2 – Auswahl der Prüffart	23
Tabelle 3 – Klassen der Bodenbeschleunigung	24
Tabelle 4 – Übereinstimmung zwischen der Spitzenbodenbeschleunigung und einigen seismischen Skalen	25
Tabelle 5 – Empfohlene Überhöhungsfaktoren K	26
Tabelle 6 – Richtungsfaktoren D	26
Tabelle 7 – Signalfaktor	28

Einleitung

Zu jeder der beiden angegebenen Prüfverfahren in dieser Norm sind Anleitungen gegeben, die sich auf das jeweilige Verfahren beziehen. In dieser Norm ist auch eine Anleitung gegeben, um das geeignete Verfahren für seismische Prüfungen auszuwählen und anzuwenden.

Diese Norm ist in Verbindung mit IEC 60068-1 zu benutzen.

I HAUPTABSCHNITT 1 – ALLGEMEINES

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument gilt in erster Linie für elektrische Geräte. Seine Anwendung kann aber auf andere Geräte und Baugruppen erweitert werden.

Auch wenn immer eine Art analytisches Verfahren bei einer seismischen Qualifikation, z. B. für die Wahl einer zu prüfenden repräsentativen Probe oder Erweiterung einer seismischen Qualifikation von den geprüften Prüflingen auf ähnliche Prüflinge durchgeführt wird, ist der Eignungsnachweis von Geräten durch analytische Verfahren oder durch eine Kombination von Prüfungen und Analyse auch zulässig, gehört jedoch nicht zum Anwendungsbereich dieses Leitfadens, der sich ausschließlich mit dynamischen Prüfungen befasst.

Dieser Leitfaden befasst sich ausschließlich mit den seismischen Prüfungen von kompletten Geräten, die auf Schwingtischen geprüft werden können. Die seismische Prüfung eines Gerätes dient zum Nachweis der Eignung für die geforderte Funktion während und/oder nach der Beanspruchung durch ein Erdbeben.

Zweck und Hauptziel dieses Leitfadens ist es, Geräte zu qualifizieren im Bereich seismischer Prüfungen, sofern ihrer Eignung von der Einzelbestimmung vorgeschrieben ist; dafür wird eine Reihe von Prüfverfahren zum Nachweis der Eignung vorgestellt.

ANMERKUNG Eignungsnachweise mittels sogenannter „Zerstörungsverfahren“ sind nicht Gegenstand dieses Leitfadens. Es handelt sich um einen allgemein anwendbaren Leitfaden für seismische Prüfungen, insbesondere in Verbindung mit der Benutzung der Prüfverfahren nach IEC 60068-2.

Die Wahl des Prüfverfahrens kann nach Kriterien getroffen werden, die in diesem Leitfaden beschrieben sind. Die Verfahren selbst beruhen auf veröffentlichten IEC-Prüfverfahren.

Dieser Leitfaden dient Herstellern zum Nachweis der Erfüllung von Anforderungen oder Anwendern zur Ermittlung und Bestätigung der Eignung von Geräten.

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).

IEC 60068-1, *Environmental testing – Part 1: General and guidance*

IEC 60068-2-6, *Test Fc and guidance: Vibration (sinusoidal)*

IEC 60068-2-47, *Mounting of components, equipment and other articles for dynamic tests including shock (Ea), bump (Eb), vibration (Fc and Fd) and steady-state acceleration (Ga) and guidance*

IEC 60068-2-57, *Environmental testing – Part 2: Tests – Test Ff: Vibration – Time-history and sine-beat method*

IEC 60068-2-64, *Environmental testing – Part 2-64: Tests – Test Fh: Vibration, broadband random (digital control) and guidance*

IEC 60068-2-81:2003, *Environmental testing – Part 2-81: Tests – Test Ei: Shock – Shock response spectrum synthesis*

IEC 60721-2-6:1990, *Classification of environmental conditions – Part 2: Environmental conditions appearing in nature – Earthquake vibration and shock*

IEC/TS 62271-210:2013, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 210: Seismic qualification for metal enclosed and solid-insulation enclosed switchgear and controlgear assemblies for rated voltages above 1 kV and up to and including 52 kV*

ISO 2041, *Vibration and shock – Vocabulary*

3 Begriffe

Die in diesem Dokument verwendeten Begriffe in sind allgemein in ISO 2041 oder in IEC 60068-1, IEC 60068-2-6 und IEC 60068-2-57 festgelegt. Wenn zum besseren Verständnis einige der definierten Begriffe hier wiederholt werden, so wird ihre Quelle genannt, Ableitungen sowie Abweichungen von den Definitionen in diesen Quellen sind gekennzeichnet.

Die im Folgenden genannten zusätzlichen Begriffe gelten ebenfalls für dieses Dokument.

3.1

Baugruppe

(en: assembly)

zwei oder mehr mechanisch miteinander verbundene Bauteile

3.2

Halbwertsbreite – 3 dB

Frequenzbereich, der durch Punkte der Übertragungskurve festgelegt ist, deren Ordinate größer oder gleich dem $\sqrt{2}/2$ -fachen des Größtwertes ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Bild 2.

3.3

Ursprungs-Antwortspektrum

(en: basic response spectrum)

unverändertes Antwortspektrum, welches durch die Eigenschaften des Gebäudes, seiner Etagen, dem Dämpfungsgrad usw. bestimmt ist und aus einer spezifischen Bodenbewegung ermittelt wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Bild 2.

Anmerkung 2 zum Begriff: Das Ursprungs-Antwortspektrum ist in den Etagenebenen im Allgemeinen immer schmalbandig. Das Ursprungs-Antwortspektrum wird vom Bauingenieur der Anlage berechnet und ist dem Gerätehersteller und dem Prüflingenieur im Allgemeinen nicht bekannt.

3.4

Breitband-Antwortspektrum

(en: broad-band response spectrum)

Antwortspektrum einer Bewegung mit Frequenzen in Wechselwirkung zueinander, die als Ganzes behandelt werden müssen

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Bild 3c.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Bandbreite ist im Allgemeinen größer als eine Oktave.

3.5

charakteristische Frequenz

(en: critical frequency)

Frequenzen, bei denen:

- ein Fehlverhalten des Prüflings eintritt und/oder Kennwerte durch die Schwingbeanspruchung verändert werden und/oder
- mechanische Resonanzen und/oder andere Erscheinungen auftreten, z. B. Klappern

[QUELLE: IEC 60068-2-6, 3.9, modifiziert – Der Text wurde redaktionell korrigiert.]

3.6

Übergangsfrequenz

(en: crossover frequency)

Frequenz, bei der die Kenngröße einer Schwingung von einer Bezugsgröße zu einer anderen übergeht

Anmerkung 1 zum Begriff: Eine Übergangsfrequenz ist zum Beispiel die Frequenz, bei der die Steuerung der Prüfschwingamplitude oder deren Effektivwert von einer konstanten Auslenkung zu einer konstanten Beschleunigung in Abhängigkeit von der Frequenz wechselt.

[QUELLE: ISO 2041, 2.118, modifiziert – Beispiel gelöscht und Anmerkung ergänzt.]

3.7

Dämpfung

(en: damping)

allgemeiner Begriff, der den zahlreichen energieverbrauchenden Mechanismen in einem System zugeschrieben wird. Praktisch hängt die Dämpfung von vielen Parametern ab, wie Systemaufbau, Schwingungsform, Spannung, eingeleiteter Kraft, Geschwindigkeit, Werkstoff, Schlupf in Verbindungen usw.

Anmerkung 1 zum Begriff: Diese Definition ist nicht mit der Definition von ISO 2041 identisch.

3.7.1

kritische Dämpfung

(en: critical damping)

Kleinstwert der geschwindigkeitsabhängigen Dämpfung, bei der das ausgelenkte System ohne Überschwingen in seine Ruhelage zurückkehrt

3.7.2

Dämpfungsgrad

(en: damping ratio)

Verhältnis der tatsächlichen Dämpfung zur kritischen Dämpfung in einem System mit geschwindigkeitsabhängiger Dämpfung

3.8

Richtungsfaktor

(en: direction factor)

Faktor, der den Unterschied der Stärke zwischen waagerechter und senkrechter Bodenbeschleunigung bei einem Erdbeben berücksichtigt

3.9

Etagenbeschleunigung

(en: floor acceleration)

Beschleunigung des Fußbodens eines bestimmten Stockwerks (oder einer Gerätebefestigung), die bei einem vorgegebenen Erdbeben entsteht

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Etagenbeschleunigung darf in waagerechte und senkrechte Komponenten zerlegt werden.

3.10

Geometriefaktor

(en: geometric factor)

Faktor für einachsige Prüfungen zur Berücksichtigung von Wechselwirkungen gleichzeitiger Schwingungen längs der unterschiedlichen Achsen eines Gerätes während eines Erdbebens

3.11

„ g_n “

Normalfallbeschleunigung, hervorgerufen durch die Erdanziehung, die sich mit der Höhe und der geographischen Breite ändert

Anmerkung 1 zum Begriff: In dieser Norm ist der Wert von g_n auf die nächste ganze Zahl, d. h. $1 g_n = 10 \text{ m/s}^2$, gerundet.

3.12

Bodenbeschleunigung

(en: ground acceleration)

Beschleunigung des Erdbodens, die von einem vorgegebenen Erdbeben herrührt

Anmerkung 1 zum Begriff: In der Praxis lässt sich die Bodenbeschleunigung in ihre waagerechten und senkrechten Komponenten zerlegen.

3.13

Seitenfrequenzen

(en: lateral frequencies)

zwei Frequenzen, die den -3-dB -Abfall der Gesamtresonanzfrequenz des Ursprungs-Antwortspektrums begrenzen

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe [Bild 2](#).

3.14

Fehlfunktion

(en: malfunction)

Verlust der Fähigkeit des Gerätes, eine geforderte Funktion einzuleiten oder aufrechtzuerhalten oder auch die Entstehung von unerwünschtem Fehlverhalten, das zu ungünstigen Auswirkungen führen kann

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Einzelbestimmung legt fest, was als Fehlfunktion gewertet wird.

3.15

Schmalband-Antwortspektrum

(en: narrow-band response spectrum)

Antwortspektrum, in dem die Anregung durch eine Einzelfrequenz vorherrscht

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe [Bild 3a](#).

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Bandbreite ist üblicherweise $1/3$ Oktave oder weniger.

Anmerkung 3 zum Begriff: Wenn verschiedene weit auseinander liegende deutlich bemerkbare Frequenzen vorhanden sind, dürfen, sofern begründet, ihre Spektren als Schmalband-Antwortspektrum getrennt behandelt werden (siehe [Bild 3b](#)).

3.16

gedämpfte Eigenfrequenz

Frequenz der freien Schwingung eines gedämpften linearen Systems, die nur von den eigenen physikalischen Eigenschaften (Masse, Elastizität und Dämpfung) abhängt

3.17

Gesamtresonanz

(en: overall resonance)

Resonanzfrequenz, bei der ein ganzes Gebilde die anregende Bewegung verstärkt

Anmerkung 1 zum Begriff: Im Frequenzbereich von 1 Hz bis zu 35 Hz entspricht die Gesamtresonanz im Allgemeinen der Grundschiwingung. Es ist wichtig, die Gesamtresonanzfrequenzen zu berücksichtigen, wenn sie im Hauptteil des Anforderungs-Antwortspektrums liegen (siehe 3.27).

3.18

Pause

(en: pause)

Dauer zwischen zwei aufeinanderfolgenden Prüfsignalen (beispielsweise Sinusimpulse)

Anmerkung 1 zum Begriff: Eine Pause zwischen aufeinanderfolgenden Prüfsignalen sollte so lang sein, dass merkbare Überlagerungen der im Prüfling angeregten Schwingungen vermieden werden.

3.19

bevorzugte Prüfachsen

(en: preferred testing axes)

drei orthogonale Achsen, die den drei anfälligsten Achsen des Prüflings entsprechen

3.20

Anforderungs-Antwortspektrum

(en: required response spectrum)

vom Anwender festgelegtes Antwortspektrum

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe [Bilder 1, 2 und 3](#).

3.21

Resonanzfrequenz

(en: resonance frequency)

bei erzwungener Schwingung die Frequenz, bei der eine Änderung der Anregungsfrequenz einen Abfall in der Schwingantwort des Systems bewirkt

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Wert der gemessenen Resonanzfrequenz hängt von den gemessenen Größen ab. Bei einem gedämpften linearen System steigen die Werte der Resonanzfrequenz für Auslenkung, Geschwindigkeit und Beschleunigung (bzw. dynamische Nachgiebigkeit, Mobilität und Beschleunigungsfähigkeit; siehe ISO 2041) mit der Frequenz. Die Unterschiede zwischen diesen Resonanzfrequenzen sind für übliche Dämpfungsgrade gering.

Anmerkung 2 zum Begriff: Bei seismischen Prüfungen wird häufig angenommen, dass eine signifikante Resonanzfrequenz vorliegt, wenn der Übertragungsfaktor größer als zwei ist.

Anmerkung 3 zum Begriff: Diese Definition ist nicht mit der Definition von ISO 2041 identisch.

3.22

Antwortspektrum

Hüllkurve der maximalen Auslenkung einer Gruppe von Einmassenschwingern mit einem Freiheitsgrad und festgelegtem Dämpfungsgrad als Antwort auf die vorgegebene Anregung

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe [Bilder 1, 2 und 3](#).

Anmerkung 2 zum Begriff: Diese Definition ist nicht mit der Definition von ISO 2041 identisch.

3.23

S1-Erdbeben

(en: S1-earthquake)

Erdbeben, dessen Auftreten am Aufstellort während der Einsatzdauer des Gerätes zu erwarten ist. Für ein solches Erdbeben müssen die der Sicherheit dienenden Bauteile so ausgelegt werden, dass sie ohne Fehlfunktion weiterarbeiten

Anmerkung 1 zum Begriff: Ein S1-Erdbeben würde in der Kernkrafttechnik dem „operating base earthquake“ (OBE) entsprechen.

3.24

S2-Erdbeben

(en: S2-earthquake)

Erdbeben, das die maximale Bodenschwingung erzeugt, für die bestimmte Tragwerke, Systeme oder Bauteile ausgelegt sind, um funktionsfähig zu bleiben. Diese Tragwerke, Systeme und Bauelemente sind solche, die für eine einwandfreie Funktion, Unversehrtheit und Sicherheit des Gesamtsystems notwendig sind

Anmerkung 1 zum Begriff: Ein S2-Erdbeben würde in der Kernkrafttechnik dem „safe shutdown earthquake“ (SSE) entsprechen.

3.25

Sinusimpuls

(en: sine beat)

Sinusschwingung bestimmter Frequenz, die mit einer Sinuswelle niedrigerer Frequenzamplituden moduliert ist. Die Dauer eines Sinusimpulses entspricht der halben Periodendauer der modulierenden Frequenz

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe [Bild 5](#).

Anmerkung 2 zum Begriff: In dieser Norm sind Sinusimpulse als monofrequente Schwingung anzusehen.

3.26

Hauptteil des Zeitverlaufs

(en: strong part of time-history)

Teil des Zeitverlaufs, ab dem Zeitpunkt, an dem die Beschleunigungswerte zum ersten Mal auf 25 % des Spitzenwertes steigen bis zum Zeitpunkt, an dem sie zum letzten Mal auf 25 % fallen

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe [Bild 5](#)

3.27

Hauptteil des Antwortspektrums

(en: strong part of the response spectrum)

Teil des Spektrums, bei dem die Antwortbeschleunigung höher ist als im Bereich der Halbwertsbreite des Anforderungs-Antwortspektrums

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe [Bild 2](#)

Anmerkung 2 zum Begriff: Im Allgemeinen liegt der Hauptteil des Antwortspektrums im ersten Drittel des Frequenzbandes.

3.28

Überhöhungsfaktor

(en: superelevation factor)

Faktor, der die Änderung der Beschleunigung infolge der Übertragungseigenschaften von Gebäuden und Tragwerken bezogen auf den Grund berücksichtigt

3.29

synthetischer Zeitverlauf

(en: synthesized time-history)

künstlich erzeugter Zeitverlauf, dessen Antwortspektrum das Anforderungs-Antwortspektrum dominiert

3.30

Prüfschärfe

(en: test level)

größter Spitzenwert des Prüfsignals

Anmerkung 1 zum Begriff: Bei seismischen Prüfungen wird üblicherweise die Beschleunigung verwendet.

3.31

Prüffrequenz

Frequenz, bei der der Prüfling während der Prüfung angeregt wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Eine Prüffrequenz ist eine von den in 3.31.1 und 3.31.2 definierten zwei Arten.

3.31.1

festgelegte Prüffrequenz

(en: predetermined test frequency)

durch die Einzelbestimmung vorgegebene Frequenz

3.31.2

ermittelte Prüffrequenz

(en: investigated test frequency)

aus der Untersuchung des Schwingverhaltens ermittelte Frequenz

3.32

Prüf-Antwortspektrum

(en: test response spectrum)

Antwortspektrum, das von der tatsächlichen Bewegung des Schwingtisches durch Berechnung oder Messung mit Spektrumanalysatoren abgeleitet ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe [Bilder 1](#), 2c und 2d

3.33

Zeitverlauf

(en: time history)

Aufzeichnung der Zeitfunktion von Beschleunigung, Auslenkung oder Geschwindigkeit

Anmerkung 1 zum Begriff: Diese Definition ist nicht mit der Definition von ISO 2041 identisch.

3.34

Grenzbeschleunigung

(en: zero period acceleration, ZPA)

Grenzwert, dem sich die Beschleunigung im hochfrequenten Teil des Antwortspektrums asymptotisch nähert

Anmerkung 1 zum Begriff: Ein Beispiel ist in [Bild 2](#) wiedergegeben.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Grenzbeschleunigung ist von praktischer Bedeutung, da sie den größten Beschleunigungsspitzen im Zeitverlauf entspricht. Sie sollte nicht mit dem Spitzenwert im Antwortspektrum der Beschleunigung verwechselt werden.

4 Allgemeine Angaben und Angaben zur Bestimmung der Eignung

4.1 Allgemeine und spezifische seismische Klassen

Es wurden zwei seismische Klassen aufgestellt, nämlich die „allgemeine seismische Klasse“ und die „spezielle seismische Klasse“. Weder die eine noch die andere Klasse stellt höhere Anforderungen. Der Unterschied zwischen den beiden Klassen liegt in der Verfügbarkeit und/oder der Genauigkeit von Daten zur Beschreibung der seismischen Umgebung. Für hochzuverlässige Geräte von Sicherheitseinrichtungen in einer spezifischen Umgebung, wie z. B. Sicherheitseinrichtungen in Kernkraftwerken, ist die Anwendung

genauer Daten erforderlich, deshalb ist die „spezielle seismische Klasse“ und nicht die „allgemeine seismische Klasse“ anzuwenden. [Anhang A](#) enthält ein Flussdiagramm zur Auswahl der Prüfklassen (allgemeine seismische Klasse oder spezielle seismische Klasse) und drei Flussdiagramme ([A.1 bis A.3](#)), die die in diesem Leitfaden beschriebenen möglichen Verfahren umfassen. Für die optimale Vorgehensweise mit diesem Leitfaden wird ein gründliches Auseinandersetzen mit diesen Flussdiagramme nachdrücklich empfohlen.

Hauptabschnitt 2 beschreibt die empfohlenen Verfahren für seismische Eignungsprüfungen von Geräten, für die die „allgemeine seismische Klasse“ zutrifft. Diese Klasse ist anzuwenden, wenn die seismische Umgebung nicht oder nur ungenügend bekannt ist.

Diese Klasse ist für Geräte anzuwenden, bei denen keine besonderen Kenntnisse über die seismische Bewegung vorliegen, die die Eigenart der lokalen geographischen Lage und die Art der Tragwerke oder des Gebäudes berücksichtigt.

Für diese Klasse ist die seismische Bewegung grundsätzlich durch eine Kenngröße, die Spitzenbeschleunigung des Erdbodens, angegeben. Diese Beschleunigung wird von den seismischen Daten des interessierenden Gebietes abgeleitet.

Wenn das Gerät nicht unmittelbar auf dem Erdboden befestigt ist, ist die Übertragungsfunktion des Gebäudes und/oder der Tragwerke zu berücksichtigen.

Hauptabschnitt 3 beschreibt die empfohlenen Verfahren für seismische Prüfverfahren für Geräte, auf die die „spezifische seismische Klasse“ zutrifft. Diese Klasse ist anzuwenden, wenn die seismische Umgebung bekannt ist oder die Anforderungs-Antwortspektren und/oder die Zeitverläufe in der Einzelbestimmung vorgeschrieben sind.

Diese Klasse ist für Geräte anzuwenden, bei denen besondere Kenntnisse über die seismische Bewegung vorliegen, die die Eigenart der lokalen geographischen Lage, der Tragwerke oder des Gebäudes berücksichtigt.

Für diese Klasse ist die seismische Bewegung durch Antwortspektren (für verschiedene Dämpfungsgrade ermittelt) oder durch Zeitverläufe bestimmt.

Die Einzelbestimmung sollte Angaben zu den Abschnitten 4.2, 4.3 und 4.4 enthalten.

4.2 Betriebsbedingungen

Die Betriebsbedingungen des Prüflings sollten so genau wie möglich durch die Prüfung nachgebildet werden. Besonders sind Betriebsbedingungen zu berücksichtigen, die verbunden mit der seismischen Prüfbeanspruchung, die Funktion bzw. die Unversehrtheit des Gerätes beeinträchtigen (elektrisch, mechanisch, thermisch). Wenn diese bei der Prüfung nicht berücksichtigt wurden, sollte der Verzicht begründet werden.

4.3 Fehlerkriterien

Wenn die Betriebsbedingungen und die Arbeitsweise bekannt oder ausgewählt sind, beschreibt die Einzelbestimmung die Kriterien für die Akzeptanz und/oder den Grad der Fehlfunktion fest.

ANMERKUNG Es gibt Fälle, bei denen die endgültigen Betriebsbedingungen oder die Arbeitsweise des Gerätes zur Zeit seiner Prüfung nicht bekannt sind, aber entsprechende Annahmen getroffen wurden. In diesen Fällen können Kriterien für eine Fehlfunktion noch nicht genau festgelegt werden und müssen deshalb abgeschätzt werden. So wird beispielsweise die Dauer einer Fehlfunktion in einem elektrischen Schaltkreis mangels besserer Informationen häufig mit 5 ms angenommen werden.

4.4 Klassifizierung von Fehlerkriterien

Die nachfolgende Klassifizierung erlaubt dem Anwender die Auswahl des für seine Zwecke geeigneten Gerätes.

Stufe 0: Geräte ohne Fehlfunktion während und nach der seismischen Prüfung.

Stufe 1: Geräte mit Fehlfunktion während der seismischen Prüfung, jedoch mit fehlerfreiem Betrieb nach der Prüfung.

Stufe 2: Geräte mit Fehlfunktion während der seismischen Prüfung, die ein Reset oder eine Nachstellung nach der Prüfung erforderlich machen. Es ist kein Ersatzteil oder keine Reparatur notwendig.

5 Prüfverfahren

5.1 Allgemeines

Die Prüfung sollte in Übereinstimmung mit Hauptabschnitt 2 ([Abschnitt 11 bis 15](#)) für die „allgemeine seismische Klasse“ oder Hauptabschnitt 3 ([Abschnitt 16 bis 20](#)) für die „spezielle seismische Klasse“ durchgeführt werden.

5.2 Befestigung

Der Prüfling sollte in Übereinstimmung mit IEC 60068-2-47 befestigt werden.

ANMERKUNG Für Prüflinge mit Schwingungsdämpfern sind weitere Informationen in [IEC 60068-2-6](#), Abschnitt [A.5](#), enthalten.

Der Einfluss von Verbindungen, Kabeln, Rohrleitungen usw. sollte bei der Befestigung des Prüflings berücksichtigt werden. Ebenso sollten, wenn nicht anders begründet, die üblichen Befestigungen des Prüflings, wie sie für den Betrieb vorgesehen sind, in die seismische Prüfung miteinbezogen werden.

Die Ausrichtung und Befestigung des Prüflings für die Prüfung sollte festgelegt werden. Der Prüfling gilt dann auch nur für diese Lage als geeignet, außer es wird nachgewiesen, dass die Ergebnisse der Eignungsprüfung auf andere Lagen angewandt werden können (z. B. wenn nachgewiesen ist, dass die Auswirkung der Schwerkraft das Verhalten des Prüflings nicht beeinflusst).

5.3 Messungen

5.3.1 Schwingungsmessungen auf dem Schwingtisch

Die Messungen sollten, sofern zutreffend, in Übereinstimmung mit [IEC 60068-2-6](#), [IEC 60068-2-57](#) und [IEC 60068-2-81](#) durchgeführt werden.

Schwingungsmessungen am Schwingtisch sind durchzuführen, um sicherzustellen, dass die richtigen Prüfamplituden an den geforderten Messstellen auftreten.

Die ständig aufzuzeichnenden Parameter (Auslenkung, Geschwindigkeit, Beschleunigung), die benutzten Messgeräte und die Aufgabe jedes Aufnehmers (Soll-Ist-Vergleich, Messung) sollten vorgegeben werden.

5.3.2 Schwingungsmessungen am Prüfling

Zusätzlich zu den Messungen am Schwingtisch dürfen Messungen am Prüfling durchgeführt werden, um zusätzliche Angaben über sein Verhalten während der Prüfung zu bekommen. Diese Messungen sind nicht Teil der Anforderungen an die Schwingprüfung.

5.3.3 Funktionskontrolle am Prüfling

Es sollten geeignete Messgeräte verwendet werden, um das Verhalten des Prüflings vor, während und nach der Prüfung zu überwachen.

Die Einzelbestimmung für den Prüfling sollte die ständig aufzunehmenden Kenngrößen angeben.

5.4 Frequenzbereich

Erdbeben treten im Allgemeinen im Frequenzbereich von etwa 1 Hz bis 35 Hz auf. Daher ist die Bestimmung der charakteristischen Frequenzen des Prüflings und die Prüfung selbst nur in diesem Bereich durchzuführen. In bestimmten Fällen darf der Prüffrequenzbereich 1 Hz bis 35 Hz erweitert oder reduziert werden, in Abhängigkeit der vorliegenden charakteristischen Frequenzen. Hierfür sollten jedoch Begründungen gegeben werden.

6 Prüfung

Die bevorzugten Prüfsignale für die seismische Prüfung sind in Übereinstimmung mit den folgenden Normen:

- Sinusschwingung mit Frequenzdurchlauf (vorzugsweise zur Ermittlung des Schwingverhaltens) (IEC 60068-2-6),
- Sinusschwingungen mit Festfrequenz (Beanspruchung bei festen Frequenzen nach IEC 60068-2-6),
- Zeitverlauf und Sinusimpulse (IEC 60068-2-57).

7 Auswahl des Prüfsignals

7.1 Allgemeines

Dieser Abschnitt sollte in Verbindung mit [Abschnitt 9](#) gelesen werden. Die Auswahl des Prüfsignals sollte das erwartete Verhalten des Prüflings im eingebauten Zustand unter dem Einfluss des vorgegebenen Erdbebens berücksichtigen.

Für die Zwecke dieses Leitfadens sind die Prüfsignale in zwei Kategorien eingeteilt:

- a) Mehrfrequente Signale:
 - 1) Zeitverlauf (natürlich, synthetisch oder rauschförmig);
 - 2) andere Signale (Begründung erforderlich).
- b) Monofrequente Signale:
 - 1) Sinusschwingung mit Frequenzdurchlauf;
 - 2) Sinusimpulse;
 - 3) Sinusschwingung mit Festfrequenz (siehe [Bild 7](#));
 - 4) andere Signale (Begründung erforderlich).

7.2 Mehrfrequente Signale

Im Allgemeinen sollte bei einer Schwingbeanspruchung mit breitbandigem Spektrum das Prüfsignal viele Frequenzen enthalten. Bei entsprechender Begründung sind jedoch auch Ausnahmen zulässig (siehe 7.3).

7.3 Monofrequente Signale

Wenn die seismische Bodenbewegung durch Strukturen gefiltert wird, ist es möglich, dass die sich ergebende Etagenbewegung eine vorherrschende Frequenz aufweist. Dies entspricht einem schmalbandigen Anforderungs-Antwortspektrum. Eine monofrequente Schwingung kann in diesem Fall eine ausreichende Anregung sein.

Das Anforderungs-Antwortspektrum eines monofrequenten Signals sollte nicht mit dem gesamten Prüf-Antwortspektrum der einzelnen Prüffrequenzen verwechselt werden. Das monofrequente Prüf-Antwortspektrum sollte größer oder gleich dem Anforderungs-Antwortspektrum (RSS) sein (siehe Bilder 3b und 3d).

Das gesamte monofrequente Prüf-Antwortspektrum sollte größer oder gleich dem Anforderungs-Antwortspektrum sein.

Häufig ist nur ein künstlich verbreitertes Antwortspektrum geeignet, um Unsicherheiten wie unterschiedliche Aufstellplätze, Achsen des Tragwerks oder konstruktive Toleranzen zu berücksichtigen. In diesem Fall und falls nicht zusätzlich der schmalbandige Charakter der Etagenbewegung nachzuweisen ist, sollte angenommen werden, dass auf der Basis des verbreiterten Antwortspektrums die Anregung mehrfrequent ist.

Monofrequente Prüfungen können zur Qualifizierung des Prüflings in folgenden Fällen angewandt werden:

- a) Keine Überlagerung von Eigenfrequenzen (im Allgemeinen, wenn Eigenfrequenzen weiter als 1/4 Oktave auseinanderliegen, siehe Bild 3b);
- b) die Eigenfrequenzen des Prüflings liegen außerhalb des Hauptteils des Anforderungs-Antwortspektrums;
- c) in besonderen Fällen, wenn begründet.

8 Prüfsignale

8.1 Allgemeines

8.1.1 Festlegung der Prüfsignale

Das angewandte Prüfsignal sollte:

- a) Ein Prüf-Antwortspektrum größer oder gleich dem Anforderungs-Antwortspektrum erzeugen;
- b) einen Spitzenwert der Beschleunigung besitzen, der mindestens der für den Signalfaktor korrigierten Grenzbeschleunigung im Frequenzspektrum entspricht (siehe 13.2.1);
- c) die Auswirkungen des geforderten Erdbebens mit ausreichender Sicherheit reproduzieren (siehe 8.1.2);
- d) möglichst keine Frequenz größer als 35 Hz enthalten. Falls solche Frequenzen vorhanden sind, sollten sie bei der Auswertung des Prüf-Antwortspektrums nicht berücksichtigt werden.

8.1.2 Nachbildung der seismischen Wirkung mit einem Sicherheitsfaktor

Bei der Ermittlung des seismischen Risikos einer besonderen geographischen Lage muss man die Zahl der erwarteten S1- und S2-Erdbeben, denen der Prüfling während seiner Einsatzdauer möglicherweise ausgesetzt ist, abschätzen. Im Allgemeinen werden fünf S1-Erdbeben und ein S2-Erdbeben angenommen, wenn keine anderen Annahmen gerechtfertigt sind. Um jedoch eine höhere Sicherheit zu erlangen, kann der Prüfling zwei Prüfungen entsprechend einem S2-Erdbeben ausgesetzt werden.

Den S1-Prüfungen sollte mindestens eine S2-Prüfung folgen. Die Dauer jeder Prüfung sollte mindestens gleich der Dauer des Hauptteils des Zeitverlaufs sein, der zur Bestimmung des Anforderungs-Antwortspektrums herangezogen wurde (siehe 9.5). Mit den Prüfungen sollte mindestens der gleiche Ermüdungsgrad nachgebildet werden, den der Prüfling bei einem S1- und einem S2-Erdbeben erfährt.

Auf alle Fälle sollte jede Prüfung die Wirkungen eines Erdbebens mit dem gleichen Sicherheitsfaktor nachbilden. Die Widerstandsfähigkeit gegen Ermüdungsausfälle nimmt mit zunehmender Intensität der Beanspruchung ab. Deshalb ist es möglich, die S1-Prüfungen durch eine entsprechende Anzahl von S2-Prüfungen zu ersetzen, die insgesamt dieselbe Alterung hervorrufen, vorausgesetzt, die gewählte Anzahl ist begründet.

Die Dauer und Anzahl von S1- und S2-Prüfungen dürfen die für einen Prüfling erforderlichen Werte überschreiten, um von der Einzelbestimmung geforderte notwendige Funktionskontrollen durchzuführen. In diesem Falle werden so viele Prüfsignale wie erforderlich angesetzt, wobei die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Fehlern durch Ermüdung steigt.

Die Prüfsignale, mit denen die S1- und S2-Erdbeben nachgebildet werden, dürfen zu Signalfolgen kombiniert werden (siehe Bild 5). In diesem Falle müssen die einzelnen Prüfsignale hinreichend lange (mindestens 2 Sekunden) unterbrochen sein, um Überlagerungseffekte auf den Prüfling zu vermeiden.

8.2 Mehrfrequente Prüfungen

8.2.1 Allgemeines

Die Prüfung mit mehrfrequenten Signalen sollte in Übereinstimmung mit den Empfehlungen in 8.1 durchgeführt werden. Insbesondere sollte mit einer geeigneten Analyse nachgewiesen werden, dass das Prüf-Antwortspektrum das Anforderungs-Antwortspektrum dominiert. Die empfohlenen Werte für eine geeignete Analyse sind mindestens 1/6 Oktave für Dämpfungsgrade zwischen 2 % und 10 % und 1/12 Oktave für Dämpfungsgrade von 2 % oder kleiner. Ist der Dämpfungsgrad größer oder gleich 10 %, ist eine Analyse in 1/3 Oktav-Stufen ausreichend.

8.2.2 Prüfung mit Zeitverlauf

Die Prüfung wird mit einem Zeitverlauf durchgeführt, der eine wahrscheinliche Anregung des Prüflings durch ein Erdbeben nachbildet (siehe 3.33). Wenn nicht direkt durch die Einzelbestimmung bereitgestellt, sollte nach IEC 60068-2-81 der Prüfzeitverlauf mit Beginn beim Anforderungs-Antwortspektrum erstellt werden. In jedem Fall sollte gezeigt werden, dass das Prüf-Antwortspektrum gleich oder größer als das Anforderungs-Antwortspektrum ist (siehe Bild 3c).

Die Dauer der Prüfung sollte mindestens gleich der Dauer der Starkbebenphase eines Erdbebens sein. Diese wird im Allgemeinen zwischen 5 s bis 10 s angenommen.

8.2.3 Prüfung mit Zeitverlauf und überlagerten Sinusimpulsen

Soll ein geeigneter Prüfzeitverlauf erreicht werden, ohne einen unzumutbar hohen Spitzenwert des Eingangssignals anzuwenden, dürfen dem Zeitverlauf andere Signale wie z. B. Sinusimpulse überlagert werden. Es ist daher zulässig, das Eingangssignal anzupassen, um das Anforderungs-Antwortspektrum zu erfüllen, ohne eine Anregung verwenden, die wesentlich höher liegt als die Grenzbeschleunigung dieses Spektrums.

Ein oder mehrere Sinusimpulse sollten dem Eingangssignal überlagert werden, um ein Prüf-Antwortspektrum zu erzeugen, das größer oder gleich dem gesamten Anforderungs-Antwortspektrum in einem Frequenzbereich ist, der die Eigenfrequenzen des Prüflings bis zu 35 Hz einschließt (siehe Bilder 3a, 3b, 3c, 3d und 4).

Wenn die Bandbreite des Spektrums Sinusimpulse mit mehreren Frequenzen erfordert, so müssen diese gleichzeitig einwirken. Wenn jedoch die Bandbreite des Anforderungs-Antwortspektrums künstlich verbreitert wurde, um unvorhersehbares Verhalten von Gebäuden oder Einbaueinrichtung des Prüflings usw. zu berücksichtigen, dürfen die Impulse nacheinander oder mit Techniken entsprechend 8.3.2 erfolgen. Diese Änderungen im Prüfablauf sollten begründet werden.

8.3 Monofrequente Prüfung

8.3.1 Allgemeines

Das monofrequente Signal wird in Frequenz und Amplitude derart angewendet, dass das Prüf-Antwortspektrum größer oder gleich dem Wert des Anforderungs-Antwortspektrums bei dieser Frequenz ist (siehe Bild 3b und 3d). Wenn das gesamte Prüf-Antwortspektrum die RRS nicht überdeckt, ist eine Begründung erforderlich.

Im Allgemeinen werden Ursprungs-Antwortspektren, die wegen ihrer ähnlichen Amplitude als identisch angesehen werden dürfen, unterschiedliche Frequenzen durch Unterschiede in Bodenbeschaffenheit, Gebäudehöhe oder Lage des Gerätes aufweisen. In diesem Fall werden monofrequente Signale bei den charakteristischen Frequenzen des Prüflings, die im Hauptteil des Spektrums enthalten sind, und bei

vorgegebenen Frequenzen angewendet, sofern nicht anders begründet (siehe 7.3). Die Prüffrequenzen werden in Schritten von höchstens 1/2 Oktave im festgelegten Frequenzbereich (siehe 5.4) angewendet (siehe Bild 3d). Damit wird vermieden, dass möglicherweise einige charakteristische Frequenzen nicht angeregt werden, die während der Untersuchung des Schwingverhaltens, die im Allgemeinen mit einer Prüfung mit Frequenzdurchlauf erfolgt, unentdeckt geblieben sind. Wenn anwendbar, sollten die Prüfungen bei den charakteristischen Frequenzen (siehe 3.5), wie auch bei der Gesamtresonanzfrequenz des Prüflings, durchgeführt werden.

Die Höhe des Eingangssignals am Schwingtisch wird unter Berücksichtigung der Überhöhung des Prüfsignals und der ZPA des Anforderungs-Antwortspektrums bei einem Dämpfungsgrad von 5 % berechnet. Wenn der Prüfling im Hauptteil des Spektrums charakteristische Frequenzen mit einem Dämpfungsgrad kleiner als 2 % oder größer als 10 % aufweist, wird die Größe des Eingangssignals aus dem Anforderungs-Antwortspektrum mit zugehörigem Dämpfungsgrad des Prüflings bestimmt. Nach Durchführung dieser Prüfungen in jeder Achse des Prüflings könnte eine Änderung der mechanischen Eigenschaften festgestellt werden. In diesem Fall muss in der Einzelbestimmung angegeben sein, welche Maßnahme erfolgen muss, wenn eine Frequenzänderung auftritt.

8.3.2 Prüfung mit Sinusschwingung mit Frequenzdurchlauf

Die Prüfung mit Sinusschwingungen mit Frequenzdurchlauf wird bei geringer Anregung mit einem gleichmäßigen, logarithmischen Frequenzdurchlauf und einer Geschwindigkeit, nicht über 1 Oktave/min, über einen Frequenzbereich gleich oder größer als für die Qualifikation des Prüflings erforderlich, durchgeführt.

8.3.3 Prüfung mit Sinusimpulsen

Die Zahl der Lastspiele im Sinusimpuls wird so gewählt, dass das Prüf-Antwortspektrum das Anforderungs-Antwortspektrum dominiert (siehe Bild 3d). Der Spitzenwert der Beschleunigung des Impulses wird unter Berücksichtigung der Überhöhung des Prüfsignals und der ZPA des Anforderungs-Antwortspektrums bei einem Dämpfungsgrad von 5 % berechnet.

Für einen vorgegebenen Spitzenwert der Beschleunigung im Sinusimpuls nimmt der Sicherheitsfaktor der Prüfung mit der Zahl der Lastspiele zu. Damit das Prüf-Antwortspektrum größer oder gleich dem Anforderungs-Antwortspektrum ist, ist es üblich, Sinusimpuls-Signale zwischen 5 und 10 Lastspielen im Sinusimpuls anzuwenden. Die Einhüllende der Prüf-Antwortspektren der Sinusimpulse sollte das Anforderungs-Antwortspektrum dominieren.

Eine Folge von 5 Sinusimpulsen (oder Festfrequenz) sollte bei Prüffrequenzen oberhalb des in 5.4 angegebenen Frequenzbereiches in Schritten nicht größer als 1/2 Oktave angewendet werden. Die Prüfamplitude sollte einem Wert der Grenzbeschleunigung im Antwortspektrum entsprechen, das ein S1-Erdbeben nachbildet, gefolgt von einem wie zuvor festgelegten Sinusimpuls mit einer dem S2-Erdbeben entsprechenden Grenzbeschleunigung. Die Einhüllende der Prüf-Antwortspektren der Sinusimpulse sollte das Anforderungs-Antwortspektrum dominieren.

8.3.4 Prüfung mit Festfrequenz

Bei jeder Prüffrequenz wird der Prüfling mit einer sinusförmigen Schwingung angeregt, so dass das Prüf-Antwortspektrum das Anforderungs-Antwortspektrum mindestens im Bereich um die betrachtete Frequenz dominiert (siehe Bild 3d). Die Höhe des Eingangssignals am Schwingtisch wird unter Berücksichtigung der Überhöhung des Prüfsignals und der ZPA des Anforderungs-Antwortspektrums bei einem Dämpfungsgrad von 5 % berechnet. Die Dauer des Eingangssignals sollte so gewählt sein, dass sie mindestens fünf Lastspielen mit der vollen berechneten Amplitude entspricht (siehe Bild 7).

8.4 Andere Prüfsignale

Andere Prüfsignale können angewendet werden, wenn sie in Übereinstimmung mit den Empfehlungen nach 8.1 begründet werden.

9 Prüfbedingungen

9.1 Einleitung

Die in diesem Abschnitt aufgeführten Verfahren werden zum Nachweis der Erdbebensicherheit für Geräte empfohlen. Zur Durchführung der seismischen Prüfungen werden die Prüflinge einer Schwingbewegung unterworfen, mit der die seismische Bewegung einschließlich eines Sicherheitsfaktors nachgebildet wird. Dies geschieht durch eine Spitzenbeschleunigung, eine Frequenzverteilung der Beschleunigung und der Dauer einer aufgetragenen Beschleunigung. Die theoretischen Grundlagen für dieses Prüfverfahren werden in diesem Leitfaden nicht behandelt, können aber der einschlägigen Literatur entnommen werden.

Ein schwieriges Problem bei der Festlegung von Prüfungen zur Qualifikation von Geräten ist die Auswahl geeigneter Prüfsignale, wie sie in [Abschnitt 7](#) beschrieben sind. Zahlreiche Faktoren, wie die Art des Prüflings, seine Lage, das zu erwartende Erdbeben müssen in Betracht gezogen werden. Weiterhin ist zu bestimmen, ob das Gerät für eine besondere Anwendung oder für allgemeinere Zwecke eingesetzt werden soll. Im ersten Fall ist wahrscheinlich die seismische Bewegung genau festgelegt und die Prüfung so ausgesucht, dass sie mit diesen Bedingungen übereinstimmt. Im zweiten Fall dagegen sollte die Prüfung so ausgelegt werden, dass der Prüfling für eine künftige Anwendung qualifiziert wird, für die ein allgemeines Anforderungs-Antwortspektrum gilt.

In der Einzelbestimmung wird im Allgemeinen ein Anforderungs-Antwortspektrum festgelegt, das gewöhnlich im Bereich der größten Überhöhung verbreitert ist, um Auswirkungen von unbekannten oder veränderlichen Faktoren abzudecken, wie z. B. nicht genau bekannte Eigenfrequenzen der Gebäudekonstruktion und die Aufstellung des Gerätes im Gebäude. Dies wird als Breitband-Anforderungs-Antwortspektrum bezeichnet (siehe [Bild 2](#)). Bis zu welchem Ausmaß ein Spektrum verbreitert werden kann, ist in der Einzelbestimmung anzugeben.

Weiterhin ist die mehrachsige Wirkung von Erdbeben zu beachten. Das Gerät ist so zu prüfen, dass diese Einflüsse berücksichtigt werden. Angaben hierzu sind im [Abschnitt 10](#) beschrieben.

Schwierigkeiten ergeben sich bei der Festlegung von Prüfungen einzelner Bauelemente (Relais, Motoren, Sensoren usw.) oder komplexer Geräte wie Steuerschränke. Im ersten Fall sollte sichergestellt werden, dass die Bauelemente den seismischen Prüfungen unter wirklichen oder simulierten Betriebsbedingungen unterworfen werden und ihr Verhalten während der Prüfung überwacht wird. Dies könnte sich jedoch im zweiten Fall bei komplexen Geräten als undurchführbar erweisen, wenn diese viele Baugruppen enthalten, die zugleich Teile verschiedener Systeme und an andere Geräte angeschlossen sind und sich an unterschiedlichen Stellen des Gesamtaufbaus befinden.

Wenn es unmöglich ist, solche Anordnungen im Betriebszustand zu prüfen, sind folgende Alternativen zulässig. Bei dem ersten Verfahren wird jede Baugruppe unter Betriebsbedingungen getrennt geprüft, wobei die größte Beschleunigung ermittelt wird, bei der das ganze Gerät einwandfrei arbeitet. Dann wird das Gerät, entweder mit eingebauten, aber abgeschalteten Baugruppen oder ohne Baugruppen und mit Ersatzmassen mit gleichem dynamischen Verhalten, einer Schwingprüfung unterworfen, um nachzuweisen, dass das Beschleunigungsspektrum am Einbauort jeder Baugruppe gleich oder kleiner ist als das Spektrum, für das die betreffende Baugruppe qualifiziert ist.

Ein zweites Verfahren besteht darin, dass das ganze Gerät einer Schwingprüfung, die den Befestigungsbedingungen im Betriebszustand angepasst ist, unterworfen wird. Dabei sind die Baugruppen außer Betrieb oder durch Ersatzmassen mit gleichen dynamischen Eigenschaften nachgebildet. Die Beschleunigungen am Einbauort der Baugruppe werden dann gemessen und als Anregungsbeschleunigung verwendet, um die Baugruppen im Betriebszustand getrennt zu qualifizieren.

Durch die Bestückung des Gerätes mit nicht betriebenen Baugruppen soll sichergestellt werden, dass das Gerät dieselben dynamischen Eigenschaften wie bei seinem üblichen Betrieb aufweist. Zum Beispiel können auf diese Art Steuerschränke, wo immer möglich als ganze Einheiten behandelt und ihre Baugruppen einzeln geprüft werden.

9.2 Untersuchung des Schwingverhaltens

Die Untersuchung des Schwingverhaltens zeigt die charakteristischen Frequenzen. Sie kann außerdem Angaben zum Dämpfungsgrad des Prüflings als auch Entscheidungshilfen zur Auswahl für ein- oder mehrachsige Prüfungen liefern.

Diese Untersuchung wird im Allgemeinen mit einachsiger sinusförmiger Anregung durchgeführt. Der einmalige logarithmische Frequenzdurchlauf im Bereich von 1 Hz bis 35 Hz aufwärts und abwärts erfolgt mit einer ausreichend geringen Durchlaufgeschwindigkeit von ≤ 1 Oktave/min, um die charakteristischen Frequenzen erfassen zu können.

Die Rausch-Schwingungsprüfung darf auch als alternatives Verfahren für die Untersuchung des Schwingverhaltens verwendet werden (siehe IEC 60068-2-64, 8.2).

Die Schwingamplitude bei der Untersuchung des Schwingverhaltens sollte nicht so groß sein, dass eine vergleichbare Wirkung wie bei der späteren Prüfung entsteht. Sie sollte jedoch ausreichend groß sein, um die charakteristischen Frequenzen und die Dämpfung, die im Falle von Nichtlinearitäten von der Schwingamplitude abhängen, erfassen zu können.

ANMERKUNG Häufig wird für die Schwingamplitude ein Wert von 2 m/s^2 angewendet. Im Falle ausgeprägter Resonanzen darf dieser Wert auf 1 m/s^2 oder weniger reduziert werden.

Es sollte beachtet werden, dass aufgrund komplexer Konstruktionen oder eingeschränkter Zugänglichkeit zu kritischen Baugruppen (in vergossenen Relais usw.) bei der Untersuchung des Schwingverhaltens möglicherweise nicht alle charakteristischen Frequenzen festgestellt werden könnten. Außerdem könnten sich Eigenfrequenzen, angeregt mit höherer Intensität, infolge von Nichtlinearitäten in ihrer Frequenz und Dämpfung von solchen mit geringerer Anregung unterscheiden. Möglicherweise sind einige Eigenfrequenzen bei geringer Anregung nicht erkennbar. Das Ergebnis einer Untersuchung mit geringer Anregung braucht deshalb nicht immer vollständige Angaben über das dynamische Verhalten des Prüflings zu vermitteln. Aus diesen Gründen wird die Prüfung, falls keine charakteristische Frequenz festgestellt wurde, entsprechend den Angaben in 9.3.1 durchgeführt werden.

9.3 Prüfverfahren

9.3.1 Prüfverfahren für Prüflinge ohne charakteristische Frequenzen

Selbst wenn bei der Untersuchung des Schwingverhaltens keine charakteristischen Frequenzen festgestellt werden, ist – wie in 9.2 ausgeführt – keine Gewähr gegeben, dass sie nicht bei stärkerer Anregung auftreten. Dies kann bedingt sein durch:

- a) Nichtlinearitäten der Tragwerke (besonders bei Stößen, wenn bestimmte Intensitäten überschritten werden);
- b) das Fehlen von Messungen an kritischen Stellen während der Prüfung. Es ist beispielsweise nicht möglich, auf einfache Weise die Schwingungen der elektrischen Kontakte in nicht erregten Relais zu messen. An Kontakten derartiger Relais können jedoch Öffnungs- und Schließvorgänge mit sehr kurzer Dauer und ungünstiger Wirkung auf die Funktionstüchtigkeit auftreten, wenn die anregenden Schwingungen bestimmte Grenzen erreichen;
- c) die Anregung kann zu schwach sein, um gewisse charakteristische Frequenzen festzustellen.

Wenn bei der in 9.2 beschriebenen Untersuchung des Schwingverhaltens keine charakteristischen Frequenzen unter 35 Hz feststellbar waren, sind die Prüflinge entsprechend [Abschnitt 10](#) zu prüfen, wobei eines der folgenden Verfahren auszuwählen ist:

- a) Ein Zyklus mit logarithmischem Frequenzdurchlauf von 1 bis 2 Oktaven/min von 1 Hz bis 35 Hz bis 1 Hz mit festgelegter Beschleunigung jeweils entsprechend einem S1- oder S2-Erdbeben;
- b) eine Folge von 5 Sinusimpulsen (oder Festfrequenz) mit Prüffrequenzen oberhalb des im [Abschnitt 5](#) angegebenen Frequenzbereiches und in Schritten nicht größer als $1/2$ Oktave. Die Prüfamplitude sollte

der Grenzbeschleunigung des S1-Erdbebens entsprechen, gefolgt von einem wie zuvor festgelegten Sinusimpuls mit einer Beschleunigung entsprechend dem S2-Erdbeben;

- c) andere Signalformen (wie beispielsweise Zeitverläufe), die ein Prüf-Antwortspektrum erzeugen, welches mindestens dem Anforderungs-Antwortspektrum eines S1-Erdbebens oder eines S2-Erdbebens entspricht.

9.3.2 Prüfverfahren für Prüflinge mit charakteristischen Frequenzen

Prüflinge, bei denen charakteristische Frequenzen ermittelt wurden, werden nach den [Abschnitten 7](#) und [10](#) geprüft.

9.4 Auswahl der Dämpfung

Anforderungs-Antwortspektren sind gewöhnlich für verschiedene Dämpfungsgrade vorgegeben. Üblicherweise wird eine einzelne Kurve einer Dämpfung ausgewählt, die für eine der Hauptbaugruppen des untersuchten Prüflings charakteristisch ist, obwohl die meisten Geräte verschiedene Schwingungsformen, jede mit unterschiedlicher Dämpfung, aufweisen. Als allgemeine Regel kann gelten, dass ein Anforderungs-Antwortspektrum mit einem Dämpfungsgrad von 5 % ausreichend ist, die Beanspruchungen nahe der Streckgrenze der meisten Werkstoffe nachzubilden.

Es sollte sichergestellt werden, dass das entsprechende Prüf-Antwortspektrum das Anforderungs-Antwortspektrum dominiert. Falls nötig, kann auf ein Anforderungs-Antwortspektrum Bezug genommen werden, dessen Dämpfung dem am Prüfling gemessenen Wert entspricht oder auf einen aus der Tabelle 1 ausgesuchten Wert.

Tabelle 1 – Typische Dämpfungsgrade (in Prozent der kritischen Dämpfung)

Gegenstand	Belastung entsprechend		
	1/4 Streckgrenze	1/2 Streckgrenze ^a	1/1 Streckgrenze ^b
geschweißte Stahlkonstruktionen	0,5 – 1	2	4
genietete Stahlkonstruktionen	0,5 – 1	4	7
armierte Betonkonstruktionen	0,5 – 1	4	7
Schränke und Gestelle	0,5 – 1	2	5
Baugruppen	0,5 – 1	2	7
Große Geräte, Rohre (Durchmesser > 300 mm)	0,5 – 1	2	3
kleine Rohre (Durchmesser ≤ 300 mm)	0,5 – 1	1	2
^a Oft angewendet für S1-Erdbeben-Prüfungen.			
^b Oft angewendet für S2-Erdbeben-Prüfungen.			

Die Anforderungs-Antwortspektren unterschiedlicher Dämpfungsgrade sind wie folgt anzuwenden:

- 2 %, wenn der Dämpfungsgrad des Prüflings gleich oder kleiner als 2 % ist.
- 5 %, wenn der Dämpfungsgrad des Prüflings zwischen 2 % und 10 % liegt.
- 10 %, wenn der Dämpfungsgrad des Prüflings gleich oder größer 10 % ist.

9.5 Prüfung mit S1- und S2-Erdbeben

Die Festlegungen der Stufen von S1- und S2-Erdbeben werden allgemein nur bei Kernkraftwerken angewendet. Es dürfen jedoch gleichwertige Stufungen auch für andere Anwendungsfälle benutzt werden.

Wenn die seismischen Prüfnormen die Wirkung eines (oder mehrerer) S1- und S2-Erdbebens mit einschließen, muss die Zahl der Prüfungen entsprechend dem S1-Erdbeben für jeden Aufstellungsort

begründet werden. Falls genauere Angaben fehlen, werden fünf S1-Prüfungen und eine S2-Prüfung in der Regel für ausreichend gehalten.

Der Zweck mehrfacher Wiederholung von S1-Prüfungen ist der Nachweis, dass Erdbeben mit geringerer Intensität, die mit höchster Wahrscheinlichkeit auftreten, sich nicht nachteilig auf die Funktionssicherheit und Leistung des Prüflings auswirken. Weiterhin werden auch keine verborgenen Ermüdungs- oder Alterungserscheinungen hervorgerufen, die während eines nachfolgenden S2-Erdbebens zum Versagen führen könnten.

Alle in den folgenden Abschnitten aufgeführten Prüfungen dürfen zur Festlegung und Eignung des Prüflings gegenüber einem S1-Erdbeben benutzt werden. Wenn die erforderliche Zahl der Funktionskontrollen des Prüflings groß ist, dürfen mehr S2-Prüfungen als vorgegeben durchgeführt werden, um die Kontrolle des Prüflings Teil für Teil zu ermöglichen.

Die Spektren der beiden seismischen Beanspruchungen S1 und S2 können möglicherweise in Form und Intensität unterschiedlich sein. Daher ist es notwendig, die Spektren der beiden seismischen Intensitäten zu kennen. Im Allgemeinen wird angenommen, dass das S2-Spektrum zwar die gleiche Form aber die doppelte Intensität des S1-Spektrums hat.

9.6 Prüfung für besondere Anwendungsfälle

Zweck dieser Prüfung ist der Nachweis, dass ein bestimmtes Gerät an einem definierten Aufstellungsort für spezielle Anwendungen einem vorgegebenen Erdbeben widerstehen kann. Bei der Prüfung von Sicherheitseinrichtungen für Kernkraftwerke ist dieser Nachweis als „seismische Qualifikation“ bekannt.

9.7 Prüfung von Baugruppen

Es ist üblich, bei der Prüfung großer, komplexer Baugruppen die besonders kritischen Betriebszustände zu simulieren. Es ist jedoch nicht immer möglich, alle diese Betriebszustände gleichzeitig zu simulieren, beispielsweise bei Steuerschränken, die Teile aus verschiedenen Steuerkreisen enthalten. In derartigen Fällen darf bei ausgeschaltetem Gerät geprüft werden, wobei echte Bauelemente oder auch Nachbildungen eingebaut sein können.

Mit der Prüfung sollte die Messung der Schwingantwort am Befestigungspunkt jedes Bauelements entweder direkt oder durch Übertragungsfunktionen möglich sein. Für jedes Bauelement muss diese Antwort geringer sein als diejenige, für welche das einzelne Bauelement qualifiziert ist.

Bei der Geräteprüfung darf das in [Abschnitt 7](#) und [8](#) beschriebene oder jedes andere geeignete Prüfsignal angewendet werden. Nach der Prüfung muss das Gerät und die Unversehrtheit aller nicht überwachten Bauelemente, z. B. die Verdrahtung usw., überprüft werden.

9.8 Prüfung von Bauelementen

Jedes Bauelement ist mit nachgebildeten Einsatzbedingungen zu prüfen. Es muss auf dem Schwingtisch so befestigt werden, dass die dynamische Nachbildung der erforderlichen Einrichtung sichergestellt ist, falls nicht die Reaktion am Befestigungspunkt des Bauelements bei der Prüfung der Baugruppe nach 9.7 berücksichtigt wurde. Das Bauelement darf mit einem im [Abschnitt 7](#) und [8](#) beschriebenen Prüfsignal oder einem anderen Signal geprüft werden.

10 Ein- und mehrachsige Prüfungen

10.1 Allgemeines

Die seismische Bodenbewegung kann gleichzeitig in allen Richtungen und in unregelmäßiger Weise erfolgen. Dies schließt jedoch eine ein- oder zweiachsige Prüfung nicht aus.

10.2 Einachsige Prüfung

Die einachsige Prüfung, nacheinander in den drei bevorzugten Prüfachsen des Prüflings ausgeführt, ist gerechtfertigt, wenn

- der Prüfling entsprechend seiner Einbaubedingungen nur einachsiger Anregung ausgesetzt ist, oder
- keine oder nur geringe Kopplungen zwischen den drei bevorzugten Prüfachsen des Prüflings bestehen, wenn diese paarweise geprüft werden.

Wenn beispielsweise ein Bauelement in einem Gerät eingebaut ist, das die Bewegung in einer einzelnen Richtung verstärkt oder wenn Konstruktion und/oder Montage eines Bauelements seine Beweglichkeit auf eine Richtung beschränkt, ist eine einachsige Prüfung erlaubt. Allerdings sollte begründet werden, wenn nicht in allen drei Achsen geprüft wird.

10.3 Zweiachsige Prüfung

10.3.1 Allgemeines

Eine zweiachsige Prüfung ist erforderlich, wenn eine nennenswerte Kopplung zwischen zwei der bevorzugten Prüfachsen des Prüflings besteht, wobei die angewandte Prüfung von der Kopplung der Achsen abhängt.

10.3.2 Zwei waagerechte Achsen

Entsprechend der verfügbaren Prüfeinrichtung können beide nachfolgend beschriebenen Fälle angewendet werden:

a) Zweiachsige Prüfeinrichtung

Für Prüfeinrichtungen, die eine gleichzeitige Anregung mit voneinander unabhängigen Signalen erlauben, erfolgt die Schwinganregung in Richtung von zwei der bevorzugten Prüfachsen des Prüflings. Das Prüf-Antwortspektrum jeder Achse muss mindestens gleich dem entsprechenden Anforderungs-Antwortspektrum sein. Wenn die Signale voneinander abhängen, kann dies eine Verschärfung der Prüfung sein, da die Spitzenwerte der Anregung gleichzeitig in beiden Achsen auftreten.

Der Prüfling wird dann 90° um die senkrechte Achse gedreht und die Prüfung wiederholt.

b) Einachsige Prüfeinrichtung

Falls nur eine einachsige Prüfeinrichtung zur Verfügung steht, kann der Prüfling trotzdem gleichzeitig in beiden waagerechten bevorzugten Prüfachsen mit einem einzigen Prüfsignal wie folgt angeregt werden:

Der Prüfling wird so befestigt, dass die Achse der Anregung im Winkel von 45° zu den beiden Prüfachsen liegt. Die Anregung entlang dieser Prüfachse wird auf das $\sqrt{2}$ -fache des Werts einer zweiachsigen Prüfung erhöht. Dies führt zu einer Prüfverschärfung, da die Spitzenwerte der Anregung in den bevorzugten Prüfachsen gleichzeitig auftreten.

Der Prüfling wird dann 90° um die senkrechte Achse gedreht und die Prüfung wiederholt.

10.3.3 Eine waagerechte und eine senkrechte Achse

Wie in 10.3.1 sind auch hier zwei Fälle entsprechend der verfügbaren Prüfeinrichtung möglich:

a) Zweiachsige Prüfeinrichtung

Die Prüfung wird mit gleichzeitiger Anregung durch getrennte und voneinander unabhängige Signale in zwei der bevorzugten Prüfachsen des Prüflings durchgeführt und überprüft, dass das Anforderungs-Antwortspektrum in jeder Achse erreicht wird. Wenn die Signale voneinander abhängig sind, kann dieses eine Verschärfung der Prüfung sein, da die Spitzenwerte der Anregung gleichzeitig in beiden Achsen auftreten.

Der Prüfling wird dann 90° um die senkrechte Achse gedreht und die Prüfung wiederholt.

b) Einachsige Prüfeinrichtung

Wenn keine zweiachsige Prüfeinrichtung verfügbar ist, darf auch eine Einrichtung mit geneigter Bewegungsrichtung aber waagerechter Aufspannplatte verwendet werden. Der Prüfling wird so auf dem Schwingtisch befestigt, dass eine der beiden waagerechten bevorzugten Prüfachsen in einem festgelegten Winkel zur Anregung liegt (siehe Bild 8).

Da in diesem Falle die Bewegung entlang der beiden Richtungen nicht unabhängig voneinander ist, werden vier Prüfungen durchgeführt, um in beiden Richtungen zu prüfen. Der Prüfling wird auf dem Schwingtisch in folgenden Lagen montiert:

Lage 1: Prüfling in der beschriebenen Lage

Lage 2: Prüfling 180° um die senkrechte Achse gedreht

Lage 3: Prüfling gegenüber Lage 1 90° um die senkrechte Achse gedreht

Lage 4: Prüfling gegenüber Lage 3 180° um die senkrechte Achse gedreht.

Bei dieser Prüfung haben die Spektren für alle drei bevorzugten Prüfachsen des Prüflings die gleiche Form, jedoch mit einem Anregungsverhältnis zwischen der Waagerechten und der Senkrechten, das durch die Neigung der Anregungsrichtung in Bezug auf die waagerechte Oberfläche des Tisches gegeben ist. Wenn die Neigung des Tisches einstellbar ist, kann damit das geforderte Verhältnis der waagerechten zur senkrechten Grenzbeschleunigung eingestellt werden. Die Anregung ist dann als Grenzbeschleunigung entsprechend

$$ZPA_{\text{Anregung}} = (ZPA_{\text{waagerecht}}^2 + ZPA_{\text{senkrecht}}^2)^{1/2}$$

festgelegt und so groß, dass die Grenzbeschleunigung in jeder der beiden Geräteachsen mindestens gleich der ZPA des Anforderungs-Antwortspektrums der entsprechenden Achse ist. Dies kann als Verschärfung der Prüfung angesehen werden, da die Spitzenwerte der Anregung gleichzeitig in beiden Achsen auftreten.

Wenn die erforderliche Neigung des Schwingtisches nicht erreicht werden kann, ist die Anregung bis zur Grenzbeschleunigung der Anforderungs-Antwortspektren zu steigern.

10.4 Dreiachsige Prüfung

10.4.1 Allgemeines

Eine dreiachsige Prüfung sollte durchgeführt werden, wenn eine nennenswerte Kopplung zwischen allen drei bevorzugten Prüfachsen des Prüflings besteht.

10.4.2 Dreiachsige Prüfeinrichtung

Die Prüfung wird gleichzeitig mit voneinander unabhängigen Anregungen in den drei bevorzugten Prüfachsen durchgeführt, wobei in jeder Achse das Anforderungs-Antwortspektrum erzeugt wird.

10.4.3 Zweiachsige Prüfeinrichtung (eine waagerechte und eine senkrechte Achse)

Die waagerechten und senkrechten Eingangssignale sind voneinander unabhängig. Es kann eine zweiachsige Prüfeinrichtung benutzt werden, mit der der Prüfling waagerecht angeregt wird, im Winkel von 45°, bezogen auf seine bevorzugten Prüfachsen. Das Verfahren ist dem in 10.3.2a) angegebenen ähnlich, besonders in der Festlegung der waagerechten Anregung durch ein Prüf-Antwortspektrum in jeder bevorzugten Prüfachse des Prüflings, das so gewählt wird, damit es mindestens dem zugehörigen Anforderungs-Antwortspektrum entspricht.

II HAUPTABSCHNITT 2 – ALLGEMEINE SEISMISCHE KLASSE

11 Prüfung

11.1 Auswahl der Prüfmethode

Im Allgemeinen dürfen mehrere Prüfverfahren in Betracht gezogen werden, um die Eignung des Prüflings gegenüber seismischer Beanspruchung nachzuweisen. Sie sind in Tabelle 2 aufgeführt.

In der „allgemeinen seismischen Klasse“ wird die Prüfung in einer Achsrichtung entweder mit Sinusimpulsen oder mit einem Frequenzdurchlauf aus folgenden Gründen bevorzugt:

- a) Sinusimpulse, weil ihr Verlauf den waagerechten Erdbebenwellen in Gebäudeetagen bei einfachen Tragwerken in der Art der Resonanz ähnelt;
- b) Frequenzdurchlauf, da er leicht zu erzeugen ist, obwohl er weniger realistisch sein kann als die in Gebäudeetagen auftretenden realen Erdbebenwellen.

Wenn jedoch merkbare Kopplungen zwischen den drei Achsen des Gerätes auftreten oder wenn die Anwendung von geometrischen Korrekturfaktoren nicht erwünscht ist, kann die Prüfung auch in mehreren Achsen (zwei- oder dreiaxsig) durchgeführt werden, auch wenn dies üblicherweise nicht empfohlen wird. Bei mehrachsigen Prüfungen sollte mit der Anwendung monofrequenter Signale wie Sinusimpulsen, Frequenzdurchlauf und Festfrequenz vorsichtig umgegangen werden, da die Spitzenwerte der seismischen Beschleunigung in den verschiedenen Achsen gewöhnlich nicht in Phase sind. Deshalb sollte in diesem Falle ein mehrfrequentes Signal wie der Zeitverlauf angewandt werden.

Tabelle 2 – Auswahl der Prüfmethode

Prüfsignal	Prüfmethode	
	einachsige Prüfung	mehrachsiges Prüfung
Frequenzdurchlauf	a	c
Sinusimpulse	a	c
Zeitverlauf	b	a
Festfrequenz	b	c
a = bevorzugt b = geeignet c = üblicherweise nicht empfohlen		

11.2 Prüfverfahren

Dieses Prüfverfahren besteht aus einer Prüfung mit berechneter Schwingamplitude: Anwendung bei entweder vollkommen unbekannten und unzureichend bekannten Einsatzbedingungen des Gerätes, um die verschiedenen Parameter für die Prüfung festzulegen (siehe Abschnitt 12).

12 Prüfverfahren mit berechneter Schwingamplitude

12.1 Anwendung

Die Prüfung mit berechneter Amplitude wird empfohlen, wenn genügend Kenntnisse über die Eigenschaften und den Einsatzort des Gerätes verfügbar sind, die eine ausreichende Anpassung der Prüfschärfe ermöglicht; dies wäre nicht möglich, wenn die Nutzungsbedingungen des Gerätes unbekannt wären, dennoch ist eine konservative Wahl der Parameter zur Berechnung der Prüfamplitude möglich.

12.2 Prüfbedingungen

Diese Prüfung ist grundsätzlich eine einachsige Prüfung, bei der die verschiedenen Achsen nacheinander angeregt werden. Diese Vorgehensweise ist zulässig, wenn beispielsweise nur geringe Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Achsen vorhanden sind oder die Wechselwirkung durch einen Geometriefaktor berücksichtigt werden kann.

12.2.1 Einsatzklasse

Der Schärfegrad ist durch die folgenden Parametern zugeschriebenen Werten festgelegt, die von der Einzelbestimmung angegeben werden sollten:

- a) Prüfsignal (siehe 12.2.2),
- b) Dämpfungsgrad des Prüflings (siehe 12.2.3),
- c) Überhöhungsfaktor (siehe 12.2.5),
- d) Richtungsfaktor (siehe 12.2.6),
- e) Anforderungs-Antwortspektrum (siehe 14),
- f) Prüfdauer (siehe 13.1),
- g) Amplitude des Prüfsignals (siehe 13.2).

12.2.2 Auswahl des Prüfsignals

Das ausgewählte Prüfsignal hat trotz Anwendung des Signalfaktors einen merkbaren Einfluss auf die Antwort des Prüflings, wenn sich die Dämpfung beträchtlich von 5 % unterscheidet (siehe Bild 9).

12.2.3 Dämpfungsgrad

Für die Prüfung wird ein Dämpfungsgrad von 5 % empfohlen, wenn die kritische Dämpfung des Prüflings zwischen 2 % und 10 % liegt. Liegt die Dämpfung des Prüflings außerhalb dieses Bereiches, wird empfohlen, zur Bestimmung eines geeigneten Signalfaktors eine Dämpfung zu wählen, die dem tatsächlichen Schwingungsverhalten des Prüflings entspricht. Weitere Einzelheiten sind 13.2.1 und Bild 9 zu entnehmen.

12.2.4 Bodenbeschleunigung (a_g)

Die Bodenbeschleunigung (a_g) hängt von den seismischen Gegebenheiten des Aufstellungsortes des Gerätes ab. Sind sie bekannt, so sollten sie in den Einzelbestimmungen angegeben werden. Andernfalls sollten die Vorzugswerte Tabelle 3 entnommen werden.

Tabelle 3 – Klassen der Bodenbeschleunigung

Seismische Aktivitätszone	Zone 0	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4
Bodenbeschleunigung, a_g (m/s ²)	0	1	2	3	5

Die Werte der Bodenbeschleunigung können oberhalb einer Übergangsfrequenz von 1,6 Hz verwendet werden. Unterhalb dieser Frequenz wird die Amplitude der Geschwindigkeit bis zu 0,8 Hz verwendet. Unterhalb von 0,8 Hz wird die Amplitude der Auslenkung verwendet (siehe Bild 10). Die entsprechenden Werte für die Bewegungsamplitude sind wie folgt:

- Zone 1
 - o Spitzenwert der Auslenkung = 0,02 m für $f < 0,8$ Hz
 - o Spitzenwert der Geschwindigkeit = 0,01 m/s für $0,8 \leq f \leq 1,6$ Hz
 - o Spitzenwert der Beschleunigung = 1 m/s² für $f \geq 1,6$ Hz