



Aardbevingsbestendigheid van VX25-behuizingssystemen

White paper IE 7

Auteurs: Hartmut Paul, Boggun Hoffmann

ENCLOSURES

POWER DISTRIBUTION

CLIMATE CONTROL

IT INFRASTRUCTURE

SOFTWARE & SERVICES

FRIEDHELM LOH GROUP



Inhoudsopgave

1	Inleiding	03
2	Intensiteiten, magnitudes en aardbevingszones	05
3	Schade aan de elektrische infrastructuur door aardbevingen	08
4	Overzicht van de huidige normen	09
5	Typische testmethoden	10
6	Ontwerp van aardbevingsbestendige behuizingen	12
7	Specifieke aanpak	15
8	Samenvatting	16
9	Bijlage, lijst van afbeeldingen, tabellen en bronnen	17

1 | Inleiding

Natuurkrachten vormen al sinds mensenheugenis een bedreiging voor de mens en zijn de oorzaak van talloze dodelijke slachtoffers en ernstige materiële schade. Aardbevingen behoren tot de natuurrampen die nog steeds moeilijk te voorspellen zijn. De dertien natuurrampen (zie tabel 1) met de meeste dodelijke slachtoffers tussen 1990 en 2023 omvatten meer dan acht aardbevingen [Mun24].

Datum	Gebeurtenis	Magnitude	Regio	Dodelijke slachtoffers
12 jan 2010	Aardbeving	7.0	Haiti	222.570
26 dec 2004	Aardbeving, tsunami	9.1	Sri Lanka, Indonesië, Thailand, India, Bangladesh, Myanmar, Maleisië	220.000
2-5 mei 2008	Cycloon Nargis, stormvloed	–	Myanmar	140.000
29-30 Apr 1991	Tropische cycloon, stormvloed	–	Bangladesh	139.000
8 Okt 2005	Aardbeving	7.8	Pakistan, India, Afghanistan	88.000
12 mei 2008	Aardbeving	5.8	China	84.000
jul/aug 2003	Heat wave	–	Europa	70.000
feb 2023	Aardbeving	7.8	Turkije	60.000
jul/sept 2010	Hittegolf	–	Rusland	56.000
20 jun 1990	Aardbeving	7.4	Iran	40.000
26 dec 2003	Aardbeving	6.6	Iran	26.200
11 mar 2011	Zeebeving, tsunami	9.0	Japan	18.537
25 apr 2015	Aardbeving	7.8	Nepal	9.000

Tabel 1: Dodelijke slachtoffers door natuurrampen, 1990 tot 2023

Aardbevingen ontstaan als gevolg van processen in de aardkern. De platen waaruit de vaste aardkorst bestaat, bewegen over het gesmolten binnenste van de aarde; dit proces staat bekend als platentektoniek. De randen van de platen zijn voortdurend in beweging: ze botsen, glijden uit elkaar en schuiven over elkaar heen. Tijdens deze bewegingen kunnen de platen aan elkaar vast komen te zitten, waardoor enorme spanningen ontstaan.



Als deze spanning plotseling wordt ontladen, ontstaat er een aardbeving en kan de daaruit voortvloeiende schade zich over grote afstanden uitstrekken, afhankelijk van de kracht van de aardbeving.

Het grootste deel van de schade door aardbevingen bestaat uit structurele schade aan gebouwen en transportinfrastructuur, wat op zijn beurt weer schade kan veroorzaken door secundaire gebeurtenissen zoals aardverschuivingen en tsunami's. Ook apparatuur in gebouwen kan aanzienlijke materiële schade oplopen. Afhankelijk van de ernst van de aardbeving en de bevolkingsdichtheid in de getroffen gebieden kan de omvang van de schade aan apparatuur en systemen vergelijkbaar zijn met die aan gebouwen en infrastructuur.

In de nasleep van een aardbeving is er vaak een tekort aan elektriciteit, drinkwater en gas, juist op het moment dat deze dringend nodig zijn voor hulpverlening.

Om dergelijke aardbevingsschade te voorkomen, moeten gebouwen, vervoersinfrastructuur en technische infrastructuur in aardbevingsgevoelige gebieden waar mogelijk "aardbevingsbestendigontwerp" hebben. De vereiste maatregelen verschillen echter sterk, afhankelijk van het gebied (gebouwen, technische infrastructuur) en de lokale aardbevingsrisico's. In dit whitepaper wordt uiteengezet wat we verstaan onder de term "aardbevingsbestendig", specifiek op het gebied van de elektrische infrastructuur.

In aardbevingsgevoelige gebieden moeten technische voorzieningen aardbevings-bestendig worden ontworpen om de veiligheid van mensen te waarborgen en storingen en uitval tot een minimum te beperken.



Wat moet er gebeuren?

Fabrikanten van schakelinstallaties die rekening moeten houden met eisen op het gebied van aardbevingsbestendigheid, kunnen te maken krijgen met vraagstukken die buiten hun gebruikelijke expertisegebied vallen. Wat moeten we bijvoorbeeld doen als een klant een aardbevingsbestendig schakelinstallatiesysteem nodig heeft? Deze gids biedt advies voor deze en soortgelijke scenario's om fabrikanten van schakelinstallaties te helpen een algemeen inzicht te krijgen in de betrokken kwesties.



Waar moet rekening mee worden gehouden?

Met welke factoren moet rekening worden gehouden bij het bouwen van elektrische schakelinstallaties in potentieel aardbevingsgevoelige gebieden? Dat is de hamvraag. Om een duidelijk beeld te geven van de problemen die hiermee gepaard gaan, begint dit whitepaper met een toelichting op de basisprincipes van aardbevingen, hoe deze worden gemeten en welke schalen daarbij worden gebruikt. In het volgende hoofdstuk wordt ingegaan op de gevolgen die een aardbeving kan hebben voor elektrische schakelinstallaties en de schade die hierdoor kan ontstaan.



Welke normen zijn van toepassing?

Er bestaan tal van normen en voorschriften op het gebied van aardbevingsbestendigheid. De veiligheid van gebouwen staat vaak voorop, en de aanpak kan sterk verschillen tussen verschillende disciplines, zoals bouwkunde, elektrotechniek en informatietechnologie. Dit whitepaper geeft een overzicht van de verschillende normen die relevant zijn voor de elektrische infrastructuur.

2 | Intensiteiten, magnitudes en aardbevingszones

In fysische termen is een aardbeving een schokgolf die uitgaat van het epicentrum van de aardbeving. Deze schokgolf zorgt ervoor dat de aardkorst trilt met een complex frequentiespectrum, zowel horizontaal als verticaal. Dit wordt beschreven in termen van de bijbehorende amplitudes en

frequenties aan het aardoppervlak. Omdat de energie die bij een aardbeving vrijkomt niet rechtstreeks kan worden gemeten, gebruiken we verschillende schalen om de kracht van een aardbeving te beschrijven, waarbij we onderscheid maken tussen intensiteitsschalen en magnitudeschalen.

Subjectieve intensiteitsschalen

Intensiteitsschalen zijn gebaseerd op de macroscopische effecten van een aardbeving – zoals de ernst van de schade aan gebouwen – en de subjectieve indrukken van de mensen die de aardbeving voelen of horen. De in 1902 ontwikkelde schaal van Mercalli wordt nog steeds op grote schaal gebruikt om de intensiteit aan te geven (zie tab. 2).

Intensiteitsschalen hebben slechts beperkt nut in dunbevolkte gebieden waar weinig gebouwen beschadigd raken en niet veel mensen hun ervaringen kunnen melden.

JMA		Mercalli			
Categorie	Grondversnelling			Beschrijving	Categorie
	Gal	Gal	g (9.81 m/s ²)		
0	< 0,8				
		< 1,0	< 0,001	Niet gevoeld	I
1	0,8 – 2,5				
		1,0 – 2,1	0,001 – 0,002	Zwak	II
2	2,5 – 8,0	2,1 – 5,0	0,002 – 0,005	Zwak	III
		5,0 – 10	0,005 – 0,01	Licht	IV
3	8,0 – 25	10 – 21	0,01 – 0,02	Matig	V
		21 – 44	0,02 – 0,05	Sterk	VI
4	25 – 80				
		44 – 94	0,05 – 0,1	Zeer sterk	VII
5	80 – 250				
		94 – 202	0,1 – 0,2	Ernstig	VIII
6	250 – 400				
		202 – 432	0,2 – 0,5	Gewelddadig	IX
7	> 400				
		> 432	0,5 – 1	Extreem	X
			1 – 2	Extreem	XI
			> 2	Extreem	XII

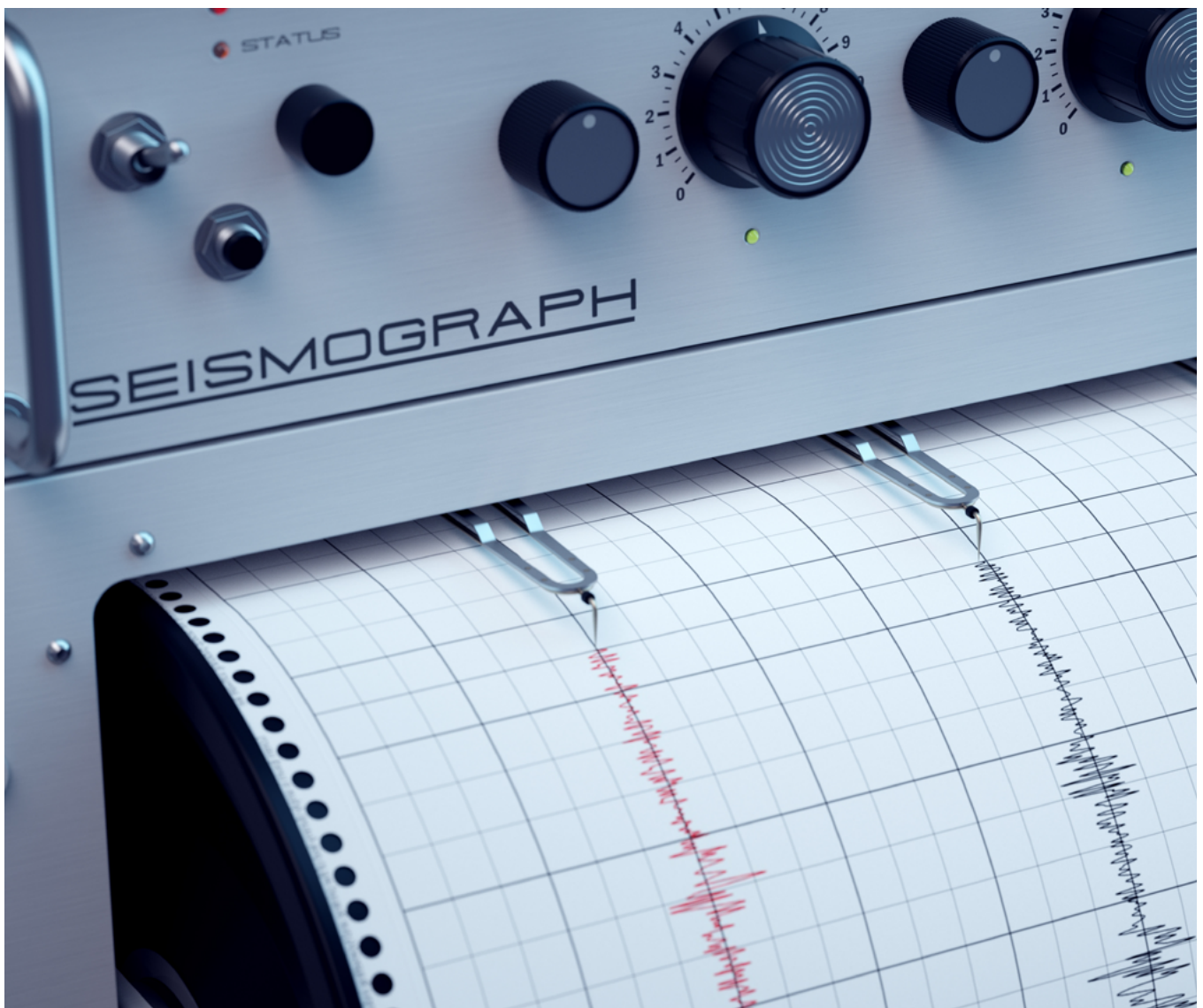
Tabel 2: De Mercalli-schaal vergeleken met de Japanse JMA-schaal

Opmerking: De seismische intensiteit wordt niet uitsluitend bepaald door de grondversnelling. Deze tabel dient uitsluitend ter referentie.

Magnitudeschalen

Magnitudeschalen zijn gebaseerd op metingen van seismometers, die lokale trillingen van het aardoppervlak meten in de vorm van snelheid, versnelling en verplaatsing. Deze metingen worden vervolgens gebruikt om de kracht van de aardbeving te berekenen. De bekendste magnitudeschaal is de schaal van Richter, die in de jaren 1930 werd ontwikkeld en nog steeds vaak wordt aangehaald in verband met aardbevingen. De schaal van Richter berekent de magnitude op basis van metingen in de directe omgeving van het epicentrum van de aardbeving en wordt daarom vaak een lokale magnitudeschaal genoemd. De schaal van Richter is vastgesteld aan de hand van metingen van een bepaald type seismometer op een afstand van 100 kilometer van het epicentrum.

Aangezien Charles F. Richter de schaal oorspronkelijk ontwikkelde en kalibreerde met een bepaald type seismometer voor lokale aardbevingen in Californië, is deze strikt genomen alleen geschikt voor die regio en wordt deze onnauwkeurig bij magnitudes boven 6.5. Hogere magnitudes, die in de media vaak worden aangeduid als waarden op de „onbegrensde schaal van Richter“, zijn in werkelijkheid waarden op de momentmagnitudeschaal, een recentere verbetering van de schaal van Richter. De krachtigste aardbeving die tot nu toe is geregistreerd, vond plaats in Valdivia, Chili, in 1960, met een magnitude van 9,5. Ter vergelijking: de aardbeving in Japan in 2011, die de kernramp in Fukushima veroorzaakte, had een magnitude van 9,0.



Aardbevingskans en aardbevingszones ten behoeve van risicobeoordeling

Naast het indelen van aardbevingen op basis van hun kracht (d.w.z. hun intensiteit of magnitude), is de kans dat een aardbeving met een bepaalde intensiteit zich voordoet een ander cruciaal aspect. Er zijn aardbevings-risicozones gedefinieerd om een snelle risicobeoordeling mogelijk te maken. In de Verenigde Staten definieert de UBC (Uniform Building Code) bijvoorbeeld vijf aardbevingszones. Zone 0 betekent dat er in deze zone vrijwel nooit krachtige aardbevingen voorkomen, terwijl in Zone 4 aardbevingen met een hogere magnitude waarschijnlijk zijn. Delen van de staat Californië zijn een typisch voorbeeld van zone 4. De eisen inzake aardbevingsbestendigheid voor IT- en telecominstallaties en voor apparatuur voor de elektrische infrastructuur zijn vaak

op basis van deze aardbevingszones. De indeling in zones en de bijbehorende criteria verschillen echter van land tot land. Sommige Europese landen, waaronder Duitsland, hanteren een indeling in zones 0 tot en met 3, waarbij andere cijfers worden gebruikt dan in de VS (zie tabel 3). Daardoor zijn de nationale normen wat betreft zones niet direct vergelijkbaar. In regio's met een hoog aardbevingsrisico moeten passende beschermende maatregelen worden genomen, wat doorgaans extra kosten met zich meebrengt. Daarom is bijzondere voorzichtigheid geboden bij internationaal gebruik en is een grondig begrip van de verschillende systemen van belang.

Land	AT	DE	CH	FR	IT*	GR	USA
Standaard	ÖN 1998-1	DIN EN 1998-1	SIA 261	NF EN 1998-1	OPCM 28	Gna 1998-1	1997 UBC
Zone 0	$a < 0,035 \text{ g}$	0,0 g					0,0 g
Zone 1	$0,035 \text{ g} < a < 0,05 \text{ g}$	0,04 g	0,06 g	$a < 0,07 \text{ g}$	$a < 0,05 \text{ g}$	$a < 0,16 \text{ g}$	0,075 g
Zone 2	$0,05 \text{ g} < a < 0,075 \text{ g}$	0,06 g	0,1 g	$0,07 \text{ g} < a < 0,11 \text{ g}$	$0,05 \text{ g} < a < 0,15 \text{ g}$	$0,16 \text{ g} < a < 0,24 \text{ g}$	0,15 g
Zone 3	$0,075 \text{ g} < a < 0,1 \text{ g}$	0,08 g	0,13 g	$0,11 \text{ g} < a < 0,16 \text{ g}$	$0,15 \text{ g} < a < 0,25 \text{ g}$	$0,24 \text{ g} < a < 0,36 \text{ g}$	0,3 g
Zone 4	$0,1 \text{ g} < a$		0,16 g	$0,16 \text{ g} < a < 0,3 \text{ g}$	$0,25 \text{ g} < a < 0,3 \text{ g}$		0,4 g

* Italië hanteert een omgekeerde volgorde van zones.

Tabel 3: Grondversnelling in Europa en de VS

De laatste tijd, en deels vanwege de eerder genoemde moeilijkheden, hebben we gemerkt dat in veel lokale aardbevingsnormen niet wordt gekozen voor vaste aardbevingszones, maar in plaats daarvan gebruik wordt gemaakt van algemeen vergelijkbare waarden, zoals Peak Ground Acceleration

(PGA). Voor individuele toepassingen moeten deze echter worden gekoppeld aan lokale en projectspecifieke omstandigheden. Sommige normen verwijzen naar nationale internetplatforms waarop alle vereiste waarden op een kaart worden weergegeven.

3 | Aardbevingsschade aan elektrische infrastructuur

Zoals eerder vermeld, leggen veel normen de nadruk op de veiligheid van gebouwen in combinatie met aardbevingsbestendigheid. Dit is begrijpelijk, aangezien de meeste sterfgevallen als gevolg van aardbevingen te wijten zijn aan schade aan gebouwen, en dit is ook waar de grootste materiële schade ontstaat. Niettemin is het ook belangrijk om technische infrastructuurvoorzieningen, zoals elektrische schakelinstallaties en datacenters, effectief tegen aardbevingen te beveiligen. Dit is niet alleen een vereiste voor kritieke installaties, bijvoorbeeld in energiecentrales of chemische productie-installaties, maar speelt ook een cruciale rol in het algemene voorzieningssysteem.

Om de aardbevingsbestendigheid van elektrische installaties te beoordelen, moet u eerst een overzicht hebben van hun locatie en de mogelijke belastingen. Ook moet rekening worden gehouden met de gevolgschade die kan ontstaan als een elektrische installatie uitvalt. Afhankelijk van het type gebouw gelden er vaak strengere eisen voor de technische installaties dan voor de dragende constructie-elementen zelf. Aardbevingsschade heeft dus niet alleen gevolgen voor de veiligheid van het gebouw; ook de technische installaties moeten zo zijn ontworpen dat ze een aardbeving kunnen weerstaan.

Het waarborgen van de goede werking van systemen, zelfs tijdens een zware aardbeving, is van cruciaal belang voor kritieke, veiligheidsrelevante infrastructuren zoals nucleaire installaties. Dit vereist zeer uitgebreide maatregelen die buiten het bestek van dit whitepaper vallen. Met name op het gebied van telecommunicatie en IT zijn een hoge systeembeschikbaarheid en daarmee een hoge mate van aardbevingsbestendigheid van cruciaal belang. Tegelijkertijd zijn het behoud van de functionaliteit gedurende een bepaalde periode en/of een snelle herstart na een aardbeving belangrijke aandachtspunten.

De trillingen die gepaard gaan met een aardbeving liggen doorgaans in het frequentiebereik tussen 0,3 Hz en 50 Hz. De krachten die op schakelinstallaties inwerken, kunnen zowel functionele storingen als structurele schade aan het systeem als geheel veroorzaken.

Sommige functionele storingen kunnen met minimale inspanning worden verholpen, zodat de werking van de

schakelinstallatie na een aardbeving snel kan worden hersteld. Een typisch voorbeeld hiervan is een los contact of een tijdelijke kortsluiting die door de ingebouwde zekeringen wordt onderbroken.

Ernstigere vormen van schade kunnen bijvoorbeeld zijn dat een onderdeel losraakt van een steunrail of montageplaat binnenin de behuizing. Ernstige schade aan de schakelinstallatie leidt doorgaans tot een langdurigere onderbreking van de stroomvoorziening. Dit gebeurt wanneer een behuizing door de aardbeving verschuift, mogelijk losraakt van zijn verankering of zelfs omvalt.

Deze categorie omvat ook structurele schade aan de behuizing. In alle gevallen speelt de behuizing een doorslaggevende rol. Als de behuizing een aardbeving niet doorstaat, zal het gehele systeem uitvallen. De aardbevingsbestendigheid van behuizingen is een cruciaal aspect van alle relevante normen, maar kan niet op zichzelf worden beschouwd. Ook het omringende gebouw en de ingebouwde componenten moeten aan de relevante eisen voldoen. Het volstaat niet om alleen een geschikte behuizing te installeren als het nodig is om de werking na of zelfs tijdens een aardbeving te behouden. De ingebouwde componenten moeten ook voldoen aan de eisen van de relevante norm en de werking van het totale systeem moet door middel van tests worden geverifieerd.



In an

earthquake, vibrations

of up to **50 Hz**
can occur.

4 | Overzicht van de huidige normen

Aardbevingsbestendigheid vereist verschillende normen in verschillende disciplines en geografische markten.

Aardbevingsbestendigheid is relevant voor veel verschillende sectoren. Als gevolg daarvan zijn er verschillende normen van toepassing, afhankelijk van de technische discipline. Normen kunnen grofweg worden onderverdeeld in de gebieden bouwkunde, IT en telecommunicatie, en elektrotechniek. De toepasselijke normen variëren ook afhankelijk van de beoogde geografische markt.

Aangezien elektrische systemen doorgaans in gebouwen worden geïnstalleerd, zijn bouwkundige normen meestal niet direct van toepassing, maar hebben ze wel een indirecte invloed. Normen in de bouwsector richten zich vaak op de bevestiging van de behuizing aan de ondergrond. De verificatie van de bevestiging aan de ondergrond vereist echter kennis van de lokale omstandigheden ter plaatse en moet worden verstrekt door een bouwkundig inspecteur.

Sommige normen op het gebied van elektrotechniek en IT & telecommunicatie zijn gebaseerd op bouwnormen, maar vertaald naar specifieke eisen voor de betreffende technische apparatuur. Gebouwen kunnen de effecten van een aardbeving versterken, waardoor de amplitudes en versnellingen die op een elektrische installatie inwerken in werkelijkheid hoger kunnen zijn.

Voor schakelapparatuur en andere elektrotechnische en IT-infrastructuur zijn de drie belangrijkste normen EN/IEC 60068-3-3, IEEE 693 en Telcordia GR-63-CORE. Andere normen, zoals die in de bouwsector worden gebruikt, zijn niet relevant voor de productie van schakelapparatuur, maar worden doorgaans op grotere schaal toegepast. We moeten ervan uitgaan dat de bouwkundig ingenieurs zorgen voor naleving van deze normen. Het is alleen de interface tussen de bouw en de elektrotechniek – d.w.z. de verbinding tussen de constructie en de behuizing – die van belang is. Daarom bevatten de verschillende normen ook verwijzingen naar de relevante bouwnormen.

DIN EN/IEC 60068-3-3

IEC 60068-3-3, in Europa bekend als EN 60068-3-3 [Beu93], is in wezen een richtlijn voor het testen van elektrische apparaten op seismische weerstand. De norm maakt onderscheid tussen een algemene seismische klasse en een specifieke seismische klasse. De specifieke seismische klasse moet worden gebruikt wanneer de seismische bewegingen bekend zijn, bijvoorbeeld vanwege de geografische locatie of de eigenschappen van het gebouw waarin de apparatuur wordt geïnstalleerd.

IEEE 693

Norm 693 [IEE05], gepubliceerd door het Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), beschrijft aanbevolen werkwijzen voor de aardbevingsbestendigheid van schakelinstallaties en afzonderlijke componenten. Naast testmethoden bevat de norm ook richtlijnen voor het seismisch ontwerp van schakelinstallaties, waaronder constructies, funderingen en de verankering van behuizingen in de vloer. Daarom bevatten deze richtlijnen ook verwijzingen naar normen uit de bouwsector.

Telcordia GR-63-CORE

De algemene eisen GR-63-CORE [Tel02], oorspronkelijk ontwikkeld door Bellcore (nu Telcordia) voor de telecommunicatiesector, zijn strikt genomen geen norm, maar worden met name in de Verenigde Staten op grote schaal gebruikt als vereiste bij aanbestedingen. Het basisconcept is dat een systeem zoals een datacenter een uitzonderlijke statistische beschikbaarheid moet hebben. Het omvat een breed scala aan criteria voor de bestendigheid tegen bijvoorbeeld vocht, brand, verontreinigingen en aardbevingen. Het verwijst naar de Amerikaanse indeling in zones (Zone 0 tot en met Zone 4), waarbij Zone 0 staat voor een minimaal risico en Zone 4 voor een zeer hoog aardbevingsrisico (zie tabel 3). Deze eisen zijn zeer hoog gesteld om een hoge systeembeschikbaarheid te garanderen en zijn daarom ook opgenomen in andere normen (zoals IEC 60068-3-3, EN 61587-5 (RRS voor versnelling in één as), ETSI EN 300019-1-3).

5 | Typische testmethoden

Er zijn in wezen twee benaderingen bij het ontwerpen van systemen in aardbevingsgevoelige gebieden: de eerste houdt in dat het volledige systeem in de gewenste configuratie, d.w.z. inclusief alle componenten die in de behuizing zijn ingebouwd, in een geschikt testlaboratorium wordt getest. Deze aanpak is echter zeer kostbaar en tijdrovend, en wordt volgens de ervaring van Rittal slechts door enkele gebruikers gekozen.

De tweede optie is dat de paneelbouwer of schakelapparatuurfabrikant componenten (inclusief de behuizing) gebruikt waarvan de fundamentele geschiktheid voor gebruik in aardbevingsgevoelige gebieden is geverifieerd.

Ter verificatie heeft Rittal monsters van zijn VX25-behuisingsmodellen laten testen door erkende laboratoria. Aan de hand van een vastomlijnd proces werden de behuizingen getest op hun fundamentele geschiktheid voor gebruik in aardbevingsgevoelige gebieden. Hieronder geven we een gedetailleerd overzicht van een typisch testproces om de aardbevingsbestendigheid van een behuizing vast te stellen. De overgrote meerderheid van de gebruikers kiest voor deze veel minder tijdrovende aanpak.

Alle relevante normen schrijven tests met een triltafel voor om de aardbevingsbestendigheid van een behuizing te verifiëren. Het doel is om de effecten van een aardbeving (trillingen en schokken) in het laboratorium te simuleren.

Tijdens de test wordt de behuizing op een triltafel bevestigd en ondergaat deze een vastgesteld testprogramma. Er mag geen structurele schade aan de behuizing ontstaan; dat wil zeggen dat er geen dragende onderdelen mogen worden beschadigd of breken.

Bovendien moeten alle belangrijke verbindingen intact blijven. Hetzelfde geldt in het algemeen voor deuren, scharnieren en sloten van de behuizing. Na de belasting worden ook functionele tests uitgevoerd om te bepalen of het systeem nog steeds correct functioneert.

Aardbevingsbestendigheid vereist verschillende normen in verschillende disciplines en geografische markten.

Verschiede frequentiespectra in de normen

De precieze testvereisten verschillen per norm, met name wat betreft het exacte frequentiespectrum en de bijbehorende versnellingen. De in Telcor-dia GR-63-CORE gespecificeerde testmethode wordt hier als voorbeeld beschreven. Eerst wordt de behuizing op een triltafel gemonteerd en voorzien van versnellingsmeters en verplaatsingssensoren in het midden en aan de bovenkant. De test moet een reële installatie simuleren door een gespecificeerd bewegingsprogramma uit te voeren dat de voorgeschreven versnellingswaarden moet bereiken bij frequenties tussen 1 Hz en 50 Hz (het vereiste responspectrum (RRS)).

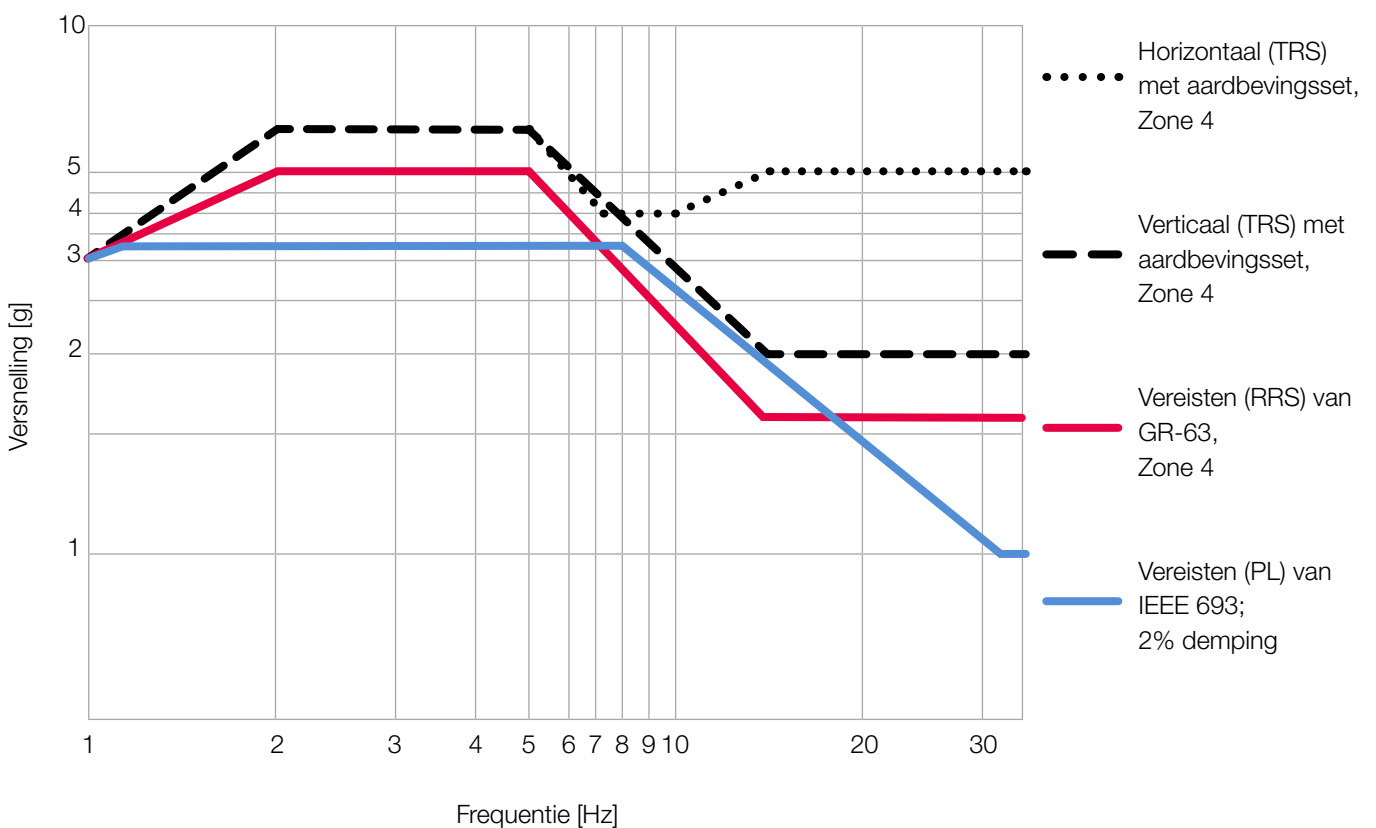
De belangrijkste parameter hierbij is het spectrum dat op het teststuk valt: het testresponspectrum (TRS). Dit varieert afhankelijk van de testopstelling en de massa en geometrie van het teststuk. De verplaatsingen van het teststuk, gemeten in het midden en aan de bovenkant, mogen op geen enkel moment tijdens de test meer dan 75 mm (3 inch) bedragen.

De hierboven beschreven trillingsbakttests worden in alle drie de dimensies uitgevoerd. De in GR-63-CORE vastgelegde RRS leidt tot een testduur van 31 seconden in elke dimensie. De belastingen die tijdens deze tests op de behuizing worden uitgeoefend, komen ongeveer overeen met die welke optreden tijdens een aardbeving met een kracht van 8,3 op de momentmagnitudeschaal.

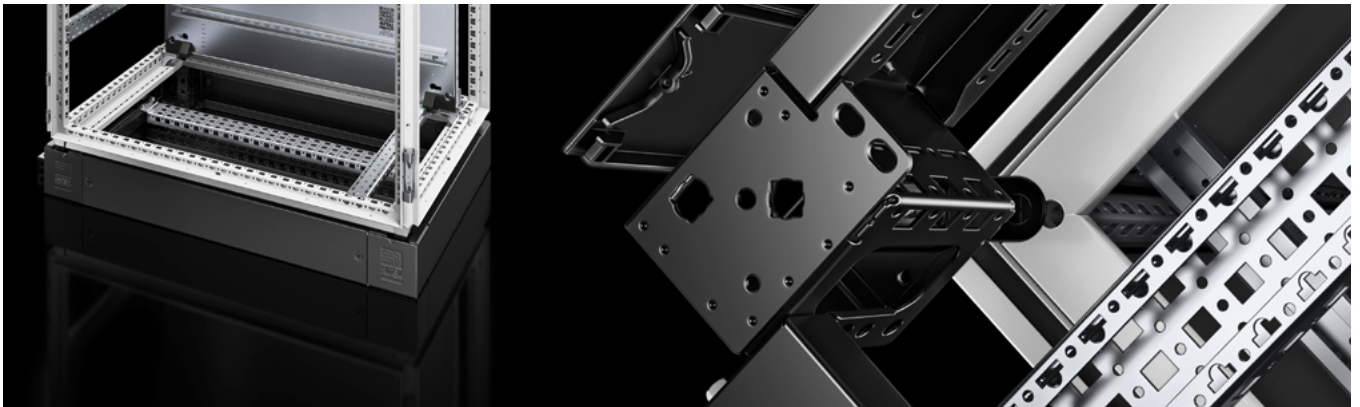
Zeet vergelijkbare testspectra

Om de eisen van de triltafeltests voor alle drie de relevante normen met elkaar te kunnen vergelijken, kan de vereiste RRS worden ingevoerd in een versnellings-frequentie-diagram (zie afb. 1). Hieruit blijkt dat de spectra van de afzonderlijke normen op elkaar lijken, maar in de relevante gebieden verschillende versnellingswaarden hebben. Het is ook duidelijk dat

de certificering voor Zone 4 volgens GR-63-CORE komt vrijwel volledig overeen met de eisen van de andere normen. Om aan aanvullende eisen te voldoen, heeft Rittal het testspectrum voor zijn VX25-systeem bewust uitgebreid, zodat de RRS van IEEE 693 altijd wordt gedekt (zie afb. 1, Horizontaal (TRS) en Verticaal (TRS) met aardbeingsset Zone 4).



Afbeelding 1: Versnellings-/frequentiediagram



6 | Ontwerp van aardbevingsbestendige behuizing

Al sinds de oudheid is er één methode die zich heeft bewezen als effectief voor het bouwen van stabiele, trillingsbestendige mechanische constructies: de houtskeletbouw. Een houtskelet bestaat uit houten balken waarvan de uiteinden in een driehoekige vorm met elkaar zijn verbonden, zodat er alleen druk- en trekkrachten op de balken werken. Dit maakt de totale constructie zeer veerkrachtig en zorgt tegelijkertijd voor een lager gewicht. Dit bouwprincipe wordt met succes toegepast bij de bouw van huizen, bruggen en andere dragende constructies. Bij hedendaagse gebouwen is het doel om een zo groot mogelijke stijfheid te bereiken, bijvoorbeeld met massieve betonconstructies. Een andere optie, die vooral bij torenflats wordt toegepast, is het gebruik van een slinger als actief element.

Door de bewegingen van de aardbeving gaat de slinger trillen en wordt de energie vrijwel volledig geabsorbeerd, zodat de constructie van het gebouw niet wordt beschadigd. Een derde optie is om het object dat u wilt beschermen los te koppelen van de aardbeving. Een gebouw of een apparaat kan bijvoorbeeld op schokdempers worden geplaatst die de schokken van de aardbeving opvangen en absorberen. Het te absorberen gewicht moet echter precies bekend zijn, en er moet voldoende veerweg/dempingsafstand beschikbaar zijn.

Rittal past het principe van houtskeletbouw ook toe op zijn grote VX25-behuizingen (zie afb. 2) om ze aardbevingsbestendig te maken. Deze robuuste behuizingen onderscheiden zich met name door hun flexibiliteit en efficiëntie, evenals door hun hoge kwaliteit. Met een optioneel uitbreidingspakket voor aardbevingsbestendigheid kan de structuur van het behuizingsframe worden versterkt, zodat het zelfs voldoet aan de strenge eisen van Zone 4 volgens GR-63-CORE. Deze "aardbevingsset" bestaat uit schoren die met schroeven aan de zijkanten van het behuizingsframe worden bevestigd om de stijfheid aanzienlijk te vergroten. Verstevigingsplaten in de hoeken van de frames zorgen voor nog meer stabiliteit. Er is ook een aardbevingsbestendige voet/sokkel verkrijgbaar om de behuizing aan de ondergrond te bevestigen en deze zelfs onder aanzienlijke belasting stabiel te houden.



Afbeelding 2: Accessoires voor aardbevingsbeveiliging voor de VX25-grote behuizing



Wanneer de VX25 is uitgerust met de aardbevingsset, voldoet deze aan de hoge eisen van Zone 4 volgens GR-63-CORE.

De grote VX25-behuizing is door onafhankelijke instituten getest om de conformiteit met GR-63-CORE Zone 4 te verifiëren. Voor de Zone 4-certificering werd apparatuur met een gewicht van 500 kg geïnstalleerd op een montageplaat met zijpanelen en speciale aardbevingsaccessoires (aardbevingsset, sokkel/plint en comfortgreep). Bovendien werd een certificaat afgegeven waarin wordt vermeld dat configuraties met een lager gewicht voldoen aan de eisen van de lagere zones zonder speciale accessoires (zie onderstaande tabellen).

Op basis van de jarenlange ervaring van Rittal op het gebied van grote behuizingen wordt algemeen aangenomen dat de VX25 een geschikte constructie heeft, mits aan bepaalde randvoorwaarden wordt voldaan.

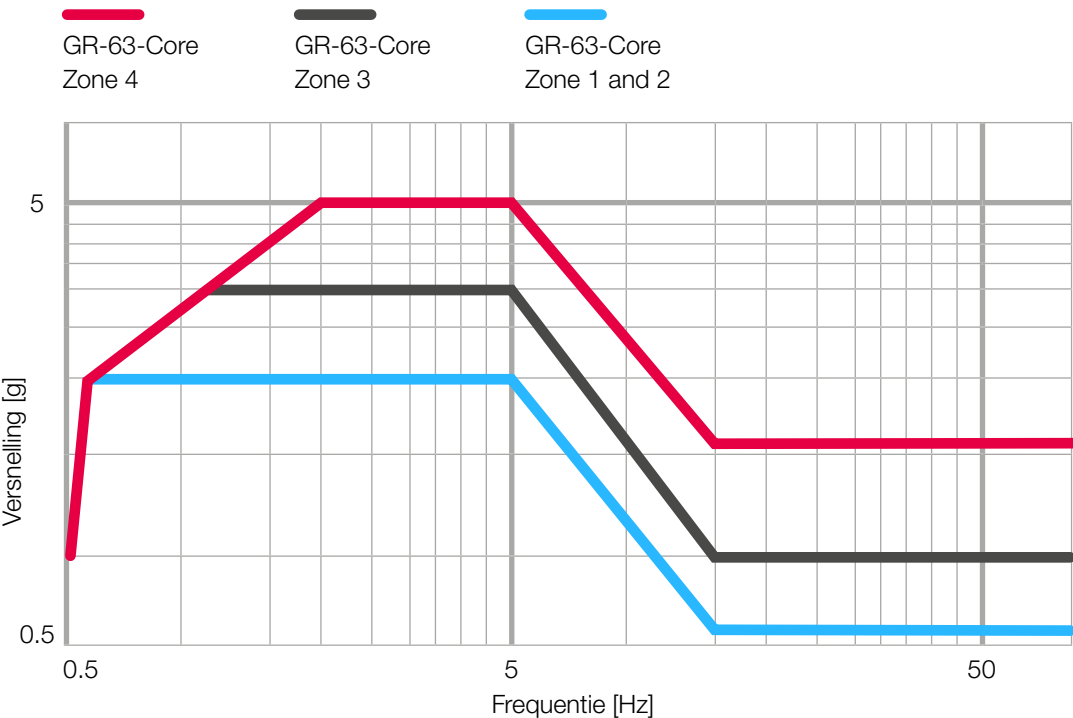
- De norm en/of het frequentiespectrum moeten vergelijkbaar zijn (zie afb. 1).
- Gelijkmatische gewichtsverdeling
- Ingebouwde massa gelijk aan of kleiner dan die gebruikt in de geteste varianten
- Een voetafdruk die gelijk is aan of groter is dan die van de geteste varianten (een grotere voetafdruk zorgt voor meer stabiliteit)
- Hoogte niet meer dan 2.000 mm (of zwaartepunt niet hoger dan 1.000 mm)

Omdat de plaatsing van een enkele behuizing als het minst gunstige scenario wordt beschouwd, kunnen meerdere behuizingen aan elkaar worden gekoppeld. Door de verticale secties met elkaar te verbinden, neemt de stijfheid toe in vergelijking met afzonderlijke secties.

Geteste VX25-varianten

Afmetingen (W x H x D) [mm]	Afmetingen	Model No.	Tested installed weight [kg]	Standard, level
800 x 2000 x 600	Standaard behuizing <ul style="list-style-type: none">4x aan de binnenkant vastgeschroefd met 40 Nm op de sokkelMontageplaat met schroeven bevestigd Comfortgreep Zijpanelen Voet/sokkel (2024)	8806.000 8618.200 8106.245 8660.003 8660.033	200	Telcordia GR-63-Core Zones 1 & 2 (2g piek tussen 2-5 Hz)
800 x 2000 x 600	Standaard behuizing <ul style="list-style-type: none">4x aan de buitenkant vastgeschroefd met 40 Nm op de sokkelMontageplaat met schroeven bevestigd Comfortgreep Zijpanelen Voet/sokkel (2024)	8806.000 8618.200 8106.245 8660.003 8660.033	200	Telcordia GR-63-Core Zone 3 (3g piek tussen 2-5 Hz)
800 x 2000 x 600	Standard behuizing <ul style="list-style-type: none">8x geschroefd met 45 Nm vanaf de basis/sokkelMontageplaat met schroefbevestiging Comforthandgreep Zijpanelen Aardbevingsbestendige voet/sokkel Aardbevingsset (VX)	8806.000 8618.200 8106.245 8601.860 8618.600	500	Telcordia GR-63-Core Zone 4 (5g piek tussen 2-5 Hz)

Table 4: VX25 overview



Rittal adviseert je graag. In de randgebieden werken we nauw samen met de klant om een geschikte oplossing te vinden.

Afbeelding 3: Vergelijking tussen Telcordia GR-63-Core zones 1 & 2, zone 3 en zone 4

7 | Specifieke aanpak

Een gespecialiseerde gids helpt fabrikanten van schakelapparatuur bij de implementatie van de vereiste veiligheidsmaatregelen en de naleving van de relevante normen.

Hoewel er veel informatie beschikbaar is over aardbevingen, mogelijke schade en de stand van zaken met betrekking tot normen, blijft één vraag onbeantwoord: hoe ga ik om met een specifieke vraag over een aardbevingsbestendige schakelinstallatie? Allereerst is het belangrijk om de geografische situatie te verduidelijken, d.w.z. in welk land, welke aardbevingszone of welke gebieden met grondversnelling zal de schakelinstallatie worden gebruikt? Vervolgens moet de toepasselijke onderliggende norm worden vastgesteld. De personen die verantwoordelijk zijn voor de bouw en de constructietechniek moeten rekening houden met alle eisen met betrekking tot gebouwen of de bevestiging van de schakelinstallatie in het gebouw. Als er geen toepasselijke norm beschikbaar is voor de behuizing zelf, maar alleen een bouwnorm of -voorschrift, kan het nuttig zijn om de grondversnelling in de beschikbare norm te vergelijken met de waarden voor de Amerikaanse zones die in tabel 3 worden weergegeven. Als er bijvoorbeeld een grondversnelling van 0,1 g vereist is, valt dit binnen de eisen van Telcordia-zones 1 en 2. Een behuizingsconfiguratie die voor die zone is goedgekeurd, kan ook als geschikt voor dergelijke eisen worden aangemerkt.

Bij de bovengenoemde voorbeelden van toepassingsnormen moet onderscheid worden gemaakt tussen structurele integriteit en functionele integriteit. Als het uitsluitend om structurele integriteit gaat, volstaat doorgaans een gecertificeerde behuizing, zoals de VX25-behuizing uitgerust met de juiste aardbevingsaccessoires, zoals beschreven in het vorige hoofdstuk.

Uiteraard kan een behuizing de functionele integriteit van een systeem niet garanderen, wat soms ook vereist is. Hiervoor zijn uitgebreide tests nodig. Ter voorbereiding kunnen structurele berekeningen met de eindige-elementmethode worden uitgevoerd. Tijdens dit proces is het belangrijk om de schakelinstallatie te testen met de apparatuur die daadwerkelijk zal worden geïnstalleerd. Uiteindelijk zijn de verdeling en het gewicht van de geïnstalleerde componenten van invloed op het trillingsgedrag van de behuizing. Ook de wijze van installatie – op montageplaten, DIN-rails of railsystemen – kan van invloed zijn op het gedrag. Voor deze eis is het daarom raadzaam om aardbevingsbestendige behuizingen te testen voor het specifieke beoogde scenario, met de daadwerkelijk geïnstalleerde apparatuur ter plaatse.



8 | Samenvatting

Aardbevingen kunnen in bepaalde geografische gebieden een zeer ernstige bedreiging vormen voor mensen en eigendommen. Elektrische schakelinstallaties en datacenters zijn niet alleen waardevolle activa; door hun sleutelrol in de technische infrastructuur zijn ze van cruciaal belang – vandaar de noodzaak om hun weerstand in aardbevingsgevoelige gebieden te waarborgen. Behuizingen – doorgaans die waarin schakelapparatuur en servers zijn ondergebracht – spelen een sleutelrol bij het waarborgen van de functionele integriteit van een dergelijk systeem in geval van een aardbeving. Immers, als deze ernstige structurele schade oplopen, zal dit het systeem ongetwijfeld buiten werking stellen.

Met de juiste accessoires voldoet het VX25-systeem voor grote behuizingen aan de strengste aardbevingsnormen van Telcordia Zone 4. De aardbevingsbestendigheid van behuizingen is van groot belang. Verschillende normen leggen vast aan welke voorwaarden dergelijke behuizingen moeten voldoen om als aardbevingsbestendig te worden beschouwd. Afhankelijk van de toepassing en de markt, moet rekening worden gehouden met verschillende normen. Hoewel deze normen verschillende benaderingen hanteren, is er één belangrijke overeenkomst: ze maken allemaal gebruik van één belangrijke test, namelijk trillingstests op een triltafel die de versnellingen van een aardbeving simuleert. Het precieze frequentie- en versnellingspectrum van de triltafeltest kan echter variëren.

Het VX25-systeem voor grote behuizingen van Rittal is speciaal ontworpen om te voldoen aan de diverse aardbevingsnormen, tot en met de strengste eisen van Telcordia Zone 4.

Het VX25-systeem voor grote behuizingen van Rittal is speciaal ontworpen om te voldoen aan de diverse aardbevingsnormen, tot en met de hoogste eisen van Telcordia Zone 4.



9 | Bijlage, lijst met afbeeldingen, tabellen en bronnen

Terminologie, afkortingen

—

Lijst met afbeeldingen

Afbeelding 1: Versnellings-/frequentiediagram	11
Afbeelding 2: Accessoires voor aardbevingsuitbreiding voor de VX25 grote behuizing	12
Afbeelding 3: Vergelijking tussen Telcordia GR-63-Core Zones 1 & 2, Zone 3 en Zone 4	14

Tabellen

Tabel 1: Dodelijke slachtoffers als gevolg van natuurrampen, 1990 tot 2023	03
Tabel 2: De Mercalli-schaal vergeleken met de Japanse JMA-schaal	05
Tabel 3: Grondversnelling in Europa en de VS	07
Tabel 4: VX25-overzicht	14

Lijst met bronnen

[Mun24] Munich Re, NatCatSERVICE, 2024	03
[BEU93] IEC 60068-3-3:1993-09 Milieutesten; seismische testmethoden voor apparatuur, Beuth-Verlag	09
[IEE05] IEEE-norm 693 – IEEE-aanbevolen praktijk voor het seismisch ontwerp van onderstations, 2005	09
[TEL02] Telcordia GR-63-CORE Uitgave 2, 2002	09



October 2024

Aardbevingsbestendigheid van VX25-behuizingssystemen

White paper IE 7

De normen begrijpen, de risico's minimaliseren, de veiligheid waarborgen

Auteurs: Hartmut Paul, Boggun Hoffmann

ENCLOSURES

POWER DISTRIBUTION

CLIMATE CONTROL

IT INFRASTRUCTURE

SOFTWARE & SERVICES

FRIEDHELM LOH GROUP

