



Koninklijk Nederlands
Meteorologisch Instituut
Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

Seismische dreiging voor de Nederlandse Cariben

P. Kruiver, E. de Zeeuw-van Dalssen

De Bilt, 2024 | Technisch rapport; TR-24/07



Koninklijk Nederlands
Meteorologisch Instituut
Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

Seismische dreiging voor de Nederlandse Cariben

Datum 16 december 2024
Status definitief

Colofon

Versienummer 1

Auteurs
Pauline Kruiver
Elske de Zeeuw-van Dalzen

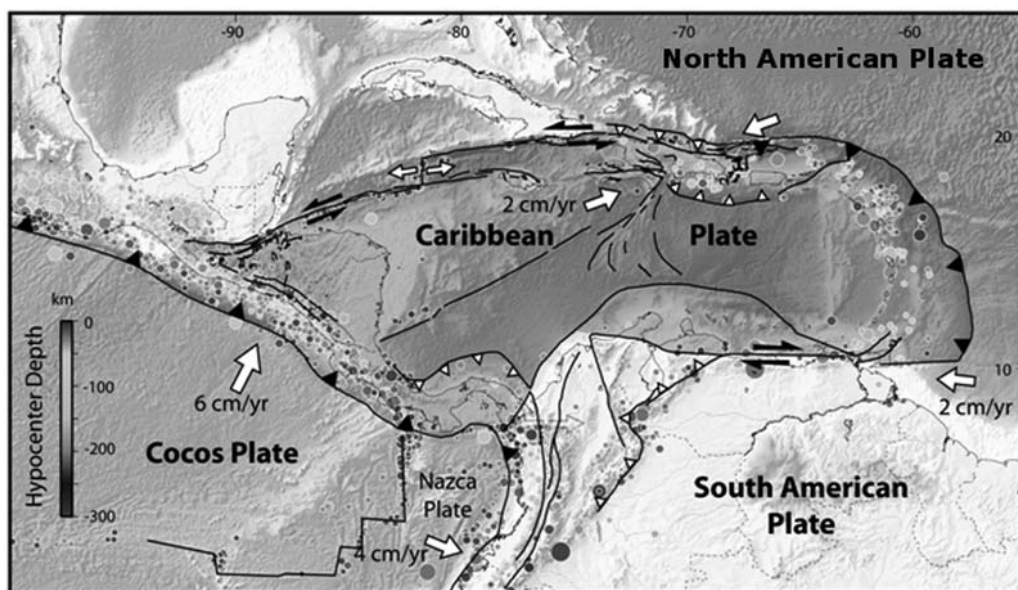
Inhoud

Colofon—3

- 1 Inleiding—7**
- 2 Oostelijke Cariben – bron UWI Seismic—9**
- 3 Gehele Caribische gebied – bron Zimmerman et al.—11**
- 4 Gehele Caribische gebied – bron GEM—13**
- 5 Vergelijking voor PGA 475 jaar—14**
- 6 Referenties—15**

1 Inleiding

De Nederlandse Cariben¹ liggen in een gebied waar regelmatig aardbevingen plaatsvinden. Dit komt doordat ze in een tektonisch actief gebied liggen (Figuur 1-1). De Amerikaanse platen duiken bijvoorbeeld onder de Caribische plaat. Dit zorgt voor vulkanisme en aardbevingen.



Figuur 1-1 Tektonische setting van het Caribische gebied, waarbij de subductie van de Amerikaanse platen onder de Caribische plaat is aangegeven met de zaagtand. De stippen geven grote aardbevingen in het gebied weer (1974-2010). Bron: Bozzoni et al (2011).

Seismische dreiging is een van de natuurlijke dreigingen die in het Caribische gebied aan de orde zijn, naast bijvoorbeeld tropische stormen, tsunami's, vulkaanuitbarstingen, droogte en overstromingen. In het Europese project PARATUS (<https://www.paratus-project.eu/>) wordt samen met stakeholders uit verschillende sectoren gewerkt aan een methodiek voor het inschatten van en acteren op gelijktijdig optredende dreigingen en risico's om hier beter op voorbereid te zijn.

Bij nieuwe bouwwerken moet er rekening gehouden worden met de trillingen die aardbevingen kunnen veroorzaken. Dit is de seismische dreiging, of hazard in het Engels. De seismische dreiging wordt vaak uitgedrukt als de Piekgrondversnelling (Peak Ground Acceleration, afgekort PGA) die met een bepaalde kans kan voorkomen. Naast de PGA wordt ook de spectrale versnelling (Spectral Acceleration, SA) gebruikt. Dit is de versnelling bij een bepaalde trillingsperiode, die van belang is voor een bepaald gebouw. Een voorbeeld is de spectrale versnelling bij een trillingsperiode van 0,2 seconde, aangeduid met SA (0,2 s). De gebruikelijke eenheid voor PGA en spectrale versnelling (SA) is de zwaartekrachtsversnelling g , waarbij $1 g$ is gelijk aan $9,81 \text{ m/s}^2$. De meest gebruikelijke herhalingsstijden zijn 475 jaar en 2475 jaar. Welke herhalingsstijd van toepassing is, hangt af van het type en functie van het gebouw. Verder wordt de dreiging vaak uitgerekend voor

1 Dit zijn de Nederlandse bijzondere gemeenten Bonaire, Sint Eustatius en Saba en de landen Aruba, Curaçao en Sint Maarten.

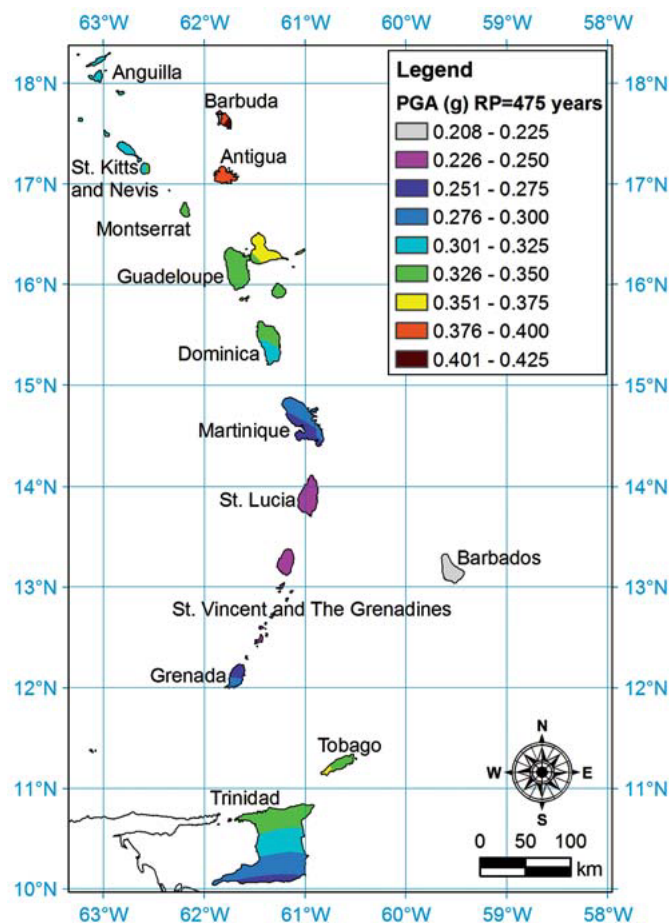
zogenoemde "rock" condities. Bij afwijkende bodemgesteldheid moet een correctie worden toegepast.

Het wettelijke kader voor bouwplannen is zeer verschillend en versnipperd per eiland. Bij bouwplannen dient u zelf de geldende wet- en regelgeving te raadplegen.

Voor de oostelijke Cariben is er seismische dreigingsinformatie beschikbaar via het UWI Seismic Research Centre (Bozzoni et al., 2011). Recent is ook een nieuwe wetenschappelijke studie gepubliceerd met gedetailleerdere informatie voor het gehele gebied (Zimmerman et al., 2022). Tot slot bestaat er een wereldwijde seismische dreigingskaart (Johnson et al., 2023). In dit rapport zijn de resultaten uit deze drie bronnen voor de Nederlandse Cariben samengevat.

2 Oostelijke Cariben – bron UWI Seismic

Voor de oostelijke Cariben heeft University of the West Indies Seismic Research Centre (UWI-SRC) seismische dreigingskaarten beschikbaar gesteld op basis van Bozzoni et al. (2011). Deze kaarten zijn te vinden op <https://uwiseismic.com/downloads/seismic-hazard-map/>. Bozzoni et al. (2011) heeft de aardbevingscatalogus bijgewerkt tot 2009 en de op dat moment beschikbare Ground Motion Prediction Equations (GPME's) gebruikt voor de berekening van de seismische dreiging. Voor de regio is de seismische dreiging berekend voor rock condities, voor herhalings tijden van 95, 475, 975 en 2475 jaar, voor PGA en voor de spectrale versnellingen (SA) met een periode van 0,2 en 1,0 seconde. Een voorbeeld van een seismische dreigingskaart met een herhalings tijd van 475 jaar en voor PGA is opgenomen in Figuur 2-1.



Figuur 2-1 Seismische dreigingskaart voor de oostelijke Cariben voor PGA en een herhalings tijd van 475 jaar. Bron: Bozzoni et al. (2011).

De eilanden Sint Maarten, Saba en Sint Eustatius zijn op deze kaart niet met naam aangegeven. De coördinaten zijn opgenomen in Tabel 2-1. Uit de twaalf beschikbare kaarten zijn de dreigingswaarden voor de eilanden afgelezen en opgenomen in Tabel 2-1. Uit de kaarten kon met de kleur van het eiland en de legenda alleen de range van de dreigingswaarden bepaald worden.

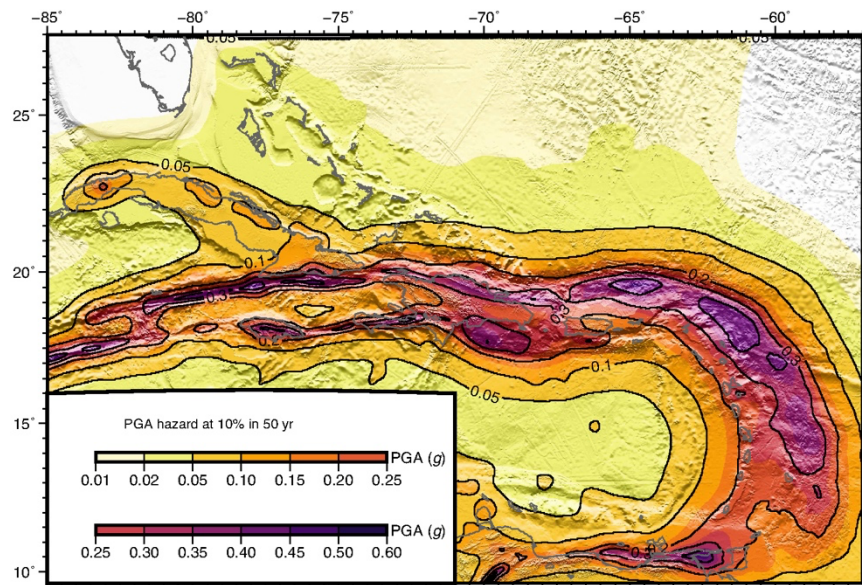
Tabel 2-1 Dreigingswaarden (in g) voor verschillende herhalings tijden voor Sint Maarten, Saba en Sint Eustatius. Bron: <https://uwiseismic.com/downloads/seismic-hazard-map/>.

	Eiland	Sint Maarten	Saba	Sint Eustatius
	Hoofdstad	Philipsburg	The Bottom	Oranjestad
	Latitude hoofdstad	18.029	17.626	17.482
	Longitude hoofdstad	-63.045	-63.249	-62.983
Dreigingsparameter	Herhalings tijd (jaar)			
PGA	95	0.15-0.20	0.15-0.20	0.15-0.20
	475	0.30-0.35	0.25-0.30	0.25-0.30
	975	0.35-0.40	0.35-0.40	0.35-0.40
	2475	0.50-0.60	0.50-0.55	0.50-0.55
Spectrale versnelling SA (0,2 s)	95	0.3-0.4	0.3-0.4	0.3-0.4
	475	0.7-0.8	0.7-0.8	0.7-0.8
	975	1.0-1.2	0.8-1.0	0.8-1.0
	2475	1.4-1.5	1.3-1.4	1.4-1.5
Spectrale versnelling SA (1,0 s)	95	0.05-0.10	0.05-0.10	0.05-0.10
	475	0.20-0.25	0.20-0.25	0.20-0.25
	975	0.25-0.30	0.25-0.30	0.25-0.30
	2475	0.40-0.45	0.40-0.45	0.40-0.45

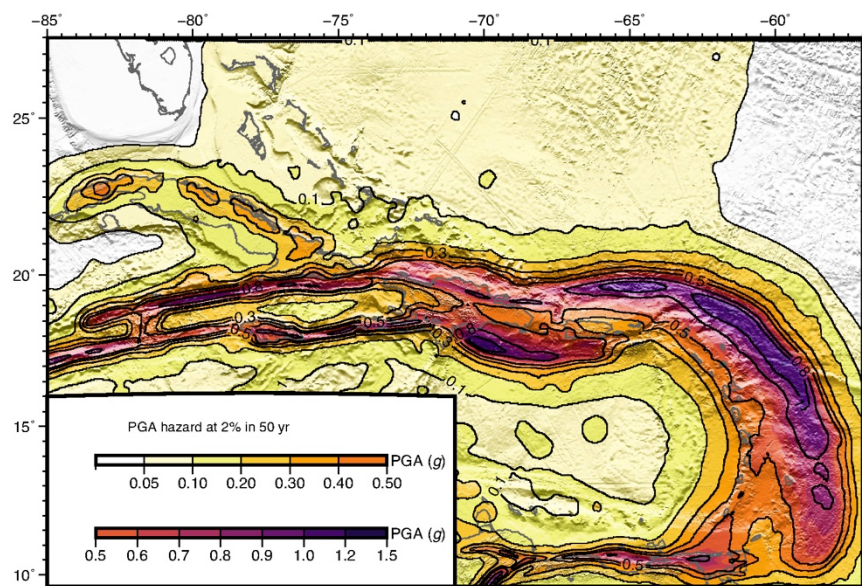
De drie eilanden vallen per parameter en per herhalings tijd meestal in dezelfde categorie. In enkele gevallen zijn de waarden per eiland verschillend. Dit heeft te maken met de ligging van de eilanden ten opzichte van de subductiezone en de daarmee samenhangende waargenomen aardbevingen. De dreigingswaarden nemen altijd toe voor een grotere herhalings tijd. Dit is logisch, omdat zwaardere aardbevingen (d.w.z. grotere trillingen) minder vaak voorkomen (d.w.z. grotere herhalings tijd).

3 Gehele Caribische gebied – bron Zimmerman et al.

Recent heeft Zimmerman et al. (2022) opnieuw de seismische dreiging bepaald voor de Cariben. Zij heeft het gehele gebied beschouwd en gebruik gemaakt van recentere GMPE's dan Bozzoni et al. (2011). Ze heeft in de dreigingsberekeningen ook enkele andere aannames gedaan. Zimmerman et al. (2022) heeft de seismische dreiging berekend voor PGA en herhalingsstijden van 475 en 2475 jaar. De kaarten van de seismische dreiging zijn opgenomen in Figuur 3-1 en Figuur 3-2.



Figuur 3-1 Seismische dreiging PGA (in g) voor rock condities met een overschrijdingskans van 10% in 50 jaar, overeenkomend met een herhalingsstijd van 475 jaar. Bron: Zimmerman et al. (2022).



Figuur 3-2 Seismische dreiging PGA (in g) voor rock condities met een overschrijdingskans van 2% in 50 jaar, overeenkomend met een herhalingsstijd van 2475 jaar. Bron: Zimmerman et al. (2022).

Over het algemeen is de seismische dreiging voor de bovenwindse eilanden Sint Maarten, Saba en Sint Eustatius hoger dan voor de benedenwindse eilanden Aruba, Curaçao en Bonaire.

Uit Figuur 3-1 en Figuur 3-2 zijn de dreigingswaarden lastig af te lezen. Voor de zes Nederlandse Caribische eilanden heeft Zimmerman de PGA waarden in haar dataset opgezocht (persoonlijke communicatie) ter plaatse van de hoofdsteden en de variatie aan waarden per eiland. De PGA waarden voor 475 en 2475 jaar zijn opgenomen in Tabel 3-1 voor Sint Maarten, Saba en Sint Eustatius, en in Tabel 3-2 voor Aruba, Curaçao en Bonaire.

Tabel 3-1 Dreigingswaarden voor PGA (in g) voor verschillende herhalingstijden voor Sint Maarten, Saba en Sint Eustatius. Per eiland is de waarde voor de hoofdstad en het bereik voor het hele eiland in de tabel opgenomen. Bron: Zimmerman et al. (2022).

	Eiland	Sint Maarten	Saba	Sint Eustatius
	Hoofdstad	Philipsburg	The Bottom	Oranjestad
Herhalingstijd (jaar)	Latitude hoofdstad	18,029	17,626	17,482
	Longitude hoofdstad	-63,045	-63,249	-62,983
475	Hoofdstad	0,245	0,185	0,195
	Minimum	0,225	0,185	0,195
	Maximum	0,255	0,195	0,205
2475	Hoofdstad	0,505	0,395	0,425
	Minimum	0,485	0,395	0,415
	Maximum	0,535	0,405	0,435

Tabel 3-2 Dreigingswaarden voor PGA (in g) voor verschillende herhalingstijden voor Aruba, Curaçao en Bonaire. Per eiland is de waarde voor de hoofdstad en het bereik voor het hele eiland in de tabel opgenomen. Bron: Zimmerman et al. (2022).

	Eiland	Aruba	Curaçao	Bonaire
	Hoofdstad	Oranjestad	Willemstad	Kralendijk
Herhalingstijd (jaar)	Latitude hoofdstad	12,521	12,109	12,152
	Longitude hoofdstad	-70,031	-68,936	-68,274
475	Hoofdstad	0,095	0,055	0,045
	Minimum	0,075	0,035	0,045
	Maximum	0,115	0,065	0,055
2475	Hoofdstad	0,185	0,115	0,105
	Minimum	0,145	0,085	0,095
	Maximum	0,235	0,135	0,115

4 Gehele Caribische gebied – bron GEM

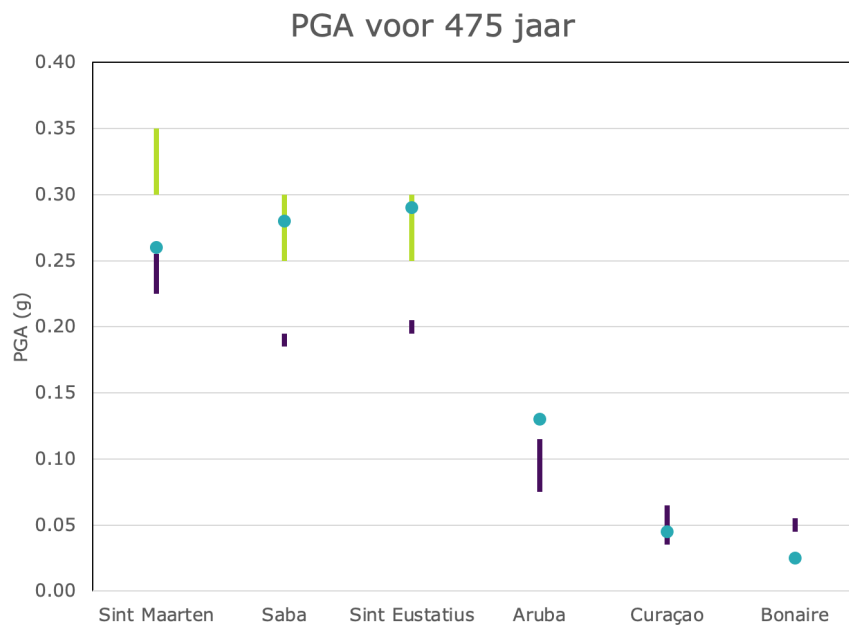
Zimmerman et al. (2022) verwijst ook naar het Global Earthquake Model (GEM) dat ongeveer gelijktijdig aan een update bezig was (Johnson et al., 2023). GEM is een non-profit, wetenschappelijke, publiek-private samenwerking die op een transparante manier wereldwijde aardbevingsrisico inschattingen maakt ten behoeve van risicobeheersing. De laatste wereldwijde seismische dreigingskaart voor PGA voor een herhalingsstijd van 475 jaar is via een geoviewer te raadplegen (<https://maps.openquake.org/map/gshm-2023-1/#5/15.216/-63.330>) of via een GeoTIFF (<https://cloud.openquake.org/s/6SnFk2f92JEr76H>). De dreigingswaarden per eiland zijn opgenomen in Tabel 4-1.

Tabel 4-1 Dreigingswaarden voor PGA (in g) voor een herhalingsstijd van 475 jaar. Bron: GEM, Johnson et al. (2023).

Sint Maarten	Saba	Sint Eustatius	Aruba	Curaçao	Bonaire
0,26	0,28	0,29	0,13	0,04-0,05	0,02-0,03

5 Vergelijking voor PGA 475 jaar

De drie studies geven dreigingswaarden voor verschillende herhalingsstijden en dreigingsparameters. De dreiging voor een herhalingsstijd van 475 jaar voor PGA is in al deze studies berekend. Ze zijn samen geplot in Figuur 5-1. Over het algemeen liggen de waarden van Bozzoni et al. (2011) van UWI-SRC hoger dan die van Zimmerman et al. (2022). De waarden van GEM van Johnson et al. (2023) zijn soms hoger en soms lager dan die van Zimmerman et al. (2022). De verschillen worden veroorzaakt doordat er in de studies andere uitgangspunten zijn gehanteerd. Het ene model is niet beter of slechter dan het andere model.



Figuur 5-1 PGA waarden voor een herhalingsstijd van 475 jaar uit de drie studies. De minimum en maximumwaarde per eiland is weergegeven als een streep (groen voor UWI-SRC/Bozzoni et al. 2011, donkerpaars voor Zimmerman et al. 2022). De aqua stippen representeren de waarden voor GEM/Johnson et al. (2023).

6 Referenties

Bozzoni, F., M. Corigliano, C. G. Lai, W. Salazar, L. Scandella, E. Zuccolo, J. Latchman, L. Lynch, and R. Robertson (2011). Probabilistic seismic hazard assessment at the eastern Caribbean islands, *Bulletin of the seismological society of America*, 101(5), 2499-2521. doi: 10.1785/0120100208

GEM GeoTiff dreigingskaart: <https://cloud.openquake.org/s/6SnFk2f92JEr76H>
Laatst bezocht op 25 november 2024

GEM geoviewer: <https://maps.openquake.org/map/gshm-2023-1/#5/15.216/-63.330> Laatst bezocht op 25 november 2024

Johnson, K. M. Villani, K. Bayliss, C. Brooks, S. Chandrasekhar, T. Chartier, Y. Chen, J. Garcia-Pelaez, R. Gee, R. Styron, A. Rood, M. Simionato, M. Pagani (2023). Global Earthquake Model (GEM) Seismic Hazard Map (version 2023.1 - June 2023), DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.8409647>

UWI-SRC dreigingskaarten: <https://uwiseismic.com/downloads/seismic-hazard-map>.
Laatst bezocht op 1 augustus 2024

Zimmerman, M. T., Shen-Tu, B., Shabestari, K., & Mahdyar, M. (2022). A comprehensive hazard assessment of the Caribbean Region. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 112(2), 1120-1148. doi: <https://doi.org/10.1785/0120210157>

Dankbetuiging

Wij danken Megan Torpey Zimmerman en Bingming Shen-Tu voor het beschikbaar stellen van de dreigingswaarden uit hun studie Zimmerman et al. (2022) voor de Caribische eilanden Aruba, Curaçao, Bonaire, Sint Maarten, Saba en Sint Eustatius.

Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut

Postbus 201 | 3730 AE De Bilt
T 030 220 69 11 | www.knmi.nl