

Opdrachtgever: **Ministerie van Infrastructuur  
en Milieu**

# **Quickscan waterveiligheid Caribisch Nederland**

Overstromingsrisico's als gevolg van  
orkanen, tsunami's en neerslag op  
Saba, St. Eustatius en Bonaire





Opdrachtgever: **Ministerie van Infrastructuur  
en Milieu**

# **Quickscan waterveiligheid Caribisch Nederland**

Overstromingsrisico's als gevolg van  
orkanen, tsunami's en neerslag op  
Saba, St. Eustatius en Bonaire



**Auteurs**  
J.K. Leenders  
T. Terpstra



# Samenvatting

## Aanleiding en doelstelling

DGRW heeft HKV gevraagd om een quickscan uit voeren naar de waterveiligheidssituatie in Caribisch Nederland (CN). Het gaat hierbij in het bijzonder om de kansen en de gevolgen van overstroming vanuit zee (door orkanen en tsunami's) en overstromingen als gevolg van extreem neerslag (door tropische stormen en orkanen). Op basis van de beschikbare informatie stellen we een risicobeoordeling op (waarbij we de methodiek van de Nationale Risico Beoordeling toepassen) en reflecteren we op de vraag of 'basisveiligheid' (de nieuwe grondslag voor bescherming tegen overstromingen in Europees Nederland) op de drie eilanden al dan niet wordt gehaald. Met de uitkomsten kan het veiligheidsniveau op Caribisch Nederland worden vergeleken met Europees Nederland.

Het rapport heeft het karakter van een quickscan, waarmee we bedoelen dat beschikbare kennis via een bronnenonderzoek en via interviews met experts is ontsloten. Er is geen uitputtend wetenschappelijk literatuuronderzoek gedaan, en er is geen nieuw empirisch of modelmatig onderzoek verricht.

## Bevindingen

### Overstroming vanuit zee

- Saba en St. Eustatius hebben een tienmaal grotere kans dan Bonaire om geconfronteerd te worden met orkanen. De kans dat een categorie 5 orkaan binnen een afstand van 140 km passeert, is op Saba en St. Eustatius jaarlijks ongeveer 1/69, en op Bonaire ongeveer 1/600 (gegevens van MDC). Van de opgetekende orkanen die teruggaan tot de 16<sup>de</sup> eeuw zijn geen indicaties gevonden voor overstromingen vanuit zee. De kans op een overstroming vanuit zee, als gevolg van een orkaan, is daarom voor alle drie de eilanden van Caribisch Nederland kleiner dan de kans om getroffen te worden door een orkaan.
- In het Caribisch gebied kunnen tsunami's voorkomen. Uit de literatuur zijn de volgende indicaties bekend:
  - Lokale aardbeving: Saba en St. Eustatius liggen dichtbij een grote subductie (onderschuiving) zone, waar aardbevingen een tsunami kunnen veroorzaken;
  - Grote aardbeving veraf: in 1755 veroorzaakte een aardbeving bij Portugal een vloedgolf van 7 meter bij Saba en 4,5 meter bij St. Maarten;
  - Vulkaan uitbarsting in zee: op 8 km ten noorden van Grenada liggen twee vulkanen in zee die mogelijk een tsunami kunnen veroorzaken. Het gevaar hiervan voor verafgelegen eilanden zoals Bonaire, Saba en St. Eustatius is waarschijnlijk beperkt.
  - Zeewaartse landverschuiving/landverschuiving onder het water oppervlak: geen events bekend.Voor Bonaire zijn geen historische gegevens van een tsunami bekend. Wel wijzen sedimentafzettingen op een tsunami meer dan 3300 jaar geleden.
- Doordat modelstudies ontbreken, kunnen de kansen op hydraulische condities (verhoging van de zeespiegel en golven) die optreden direct langs de kusten van de eilanden als gevolg van orkanen en tsunami's niet gekwantificeerd kunnen worden. In 1999 is de haven en een aantal gebouwen van Saba verwoest door hoge golven als gevolg van orkaan Lenny. In 2016 kreeg Bonaire te maken met golven als gevolg van orkaan Matthew, waardoor schade ontstond aan gebouwen langs de kust bij Belhem (ten zuiden van Kralendijk).

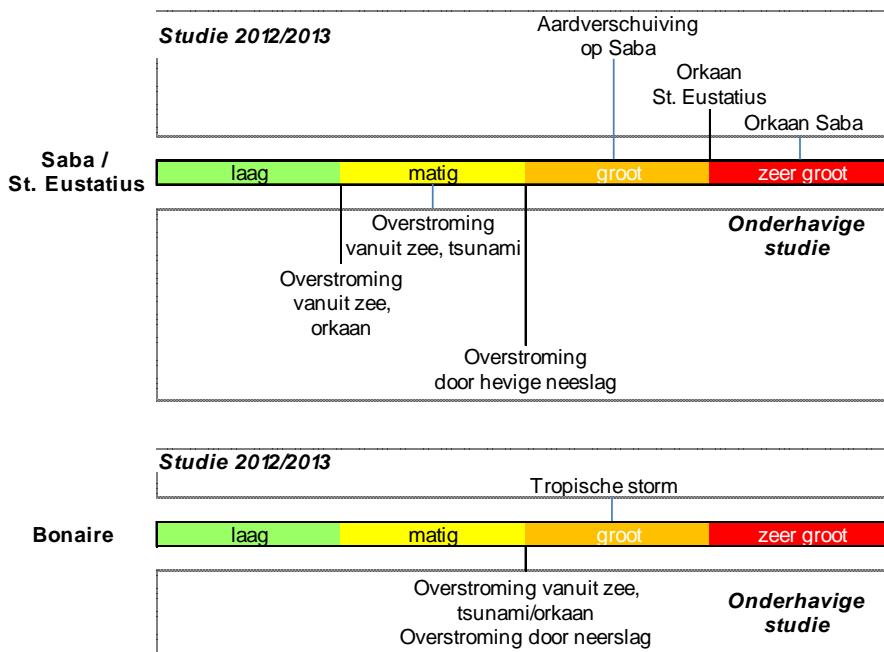
- De impact van overstromingen vanuit zee kan (zeer) ernstig zijn. Havengebieden, elektriciteits- en drinkwatervoorzieningen en delen van olieterminals liggen aan zee (de elektriciteitscentrale op Saba ligt hoog en is niet kwetsbaar). Op Saba en St. Eustatius hebben overstromingen vanuit zee alleen invloed op de kustzone, waar weinig tot geen mensen wonen, maar waar wel toeristen verblijven. Bonaire is grotendeels relatief laag gelegen. Een overstroming vanuit zee, met name vanuit de westkant van het eiland heeft een potentieel grote impact op het kustgebied waar zich veel bebouwing bevindt, inclusief de hoofdstad Kralendijk.

#### *Overstromingen door neerslag*

- Met ca. 1000 mm per jaar is de jaarlijkse neerslag het hoogst op St. Eustatius, gevolgd door Saba (ca. 750 mm per jaar) en Bonaire (ca. 500 mm per jaar). Tropische stormen en orkanen kunnen gepaard gaan met extreme hoeveelheden neerslag, die soms in dezelfde orde liggen als het jaargemiddelde. Door het ontbreken van langjarige, hoge-resolutie neerslag tijdreeksen kan de overstromingskans als gevolg van neerslag nu niet nader worden gekwantificeerd. Het KNMI heeft een project opgezet om deze reeksen te genereren uit de beschikbare informatie in hardcopy en digitale archieven. Hiermee kan in de nabij toekomst (ongeveer 2 jaar) meer inzicht worden verkregen in de kansen van extreme neerslag.
- Extreme neerslag kan in potentie leiden tot flash floods en mud slides. Bij het haventerrein van Saba vinden regelmatig zandafschuivingen plaats. Op St. Eustatius ligt geregeld uitgerekende bagger op de weg. In de dagen na orkaan Luis in 1995 was volgens mensen op St. Eustatius de haven niet bereikbaar doordat de weg onbegaanbaar was. Orkaan Lenny veroorzaakte in 1999 extreme neerslag en modderstromen op Saba waardoor rotsblokken de wegen versperden naar de haven en het vliegveld. Aanvullende analyse van de natuurlijke afwateringskanalen (o.b.v. de HAND-index) laat zien dat de volgende locaties mogelijk kwetsbaar zijn:
  - Saba: The Bottom, de haven en drinkwaterfabriek en de elektriciteitscentrale (mogelijk flash floods en modderstromen);
  - St. Eustatius: Oranjestad, Lower Town, vliegveld, haven, elektriciteits- en drinkwaterfabriek en delen van de olieterminal (mogelijk flash floods en modderstromen);
  - Bonaire: het midden en zuidelijk deel van het eiland (gebied rond Kralendijk).

#### **Risicobeoordeling**

Op basis van de beschikbare gegevens is een risicobeoordeling gemaakt. Hierbij is gebruik gemaakt van de methode waarmee de veiligheidsregio's in Nederland regionale risicoprofielen opstellen. Onderstaande figuur bevat het resultaat van de beoordeling en maakt een vergelijking met een eerdere risicobeoordeling uit 2012/2013.



- Het risico op overstromingen vanuit zee is in deze studie als volgt beoordeeld:
  - Op Saba en St. Eustatius als 'laag-matig' (orkanen) en 'matig' (tsunami's);
  - Op Bonaire als 'matig-groot' (orkaan en tsunami's).
- Het risico op overstromingen door extreme neerslag is in deze studie als volgt beoordeeld:
  - Op Saba en St. Eustatius als 'matig-groot';
  - Op Bonaire als 'matig-groot'.
- De risico's op overstromingen uit de onderhavige studie worden lager ingeschatt dan de risico's van tropische stormen, orkanen, en aardverschuivingen uit de eerdere studie uit 2012/2013. Dit komt met name door verschillende inschattingen voor de kans. In de onderhavige studie beschouwen we niet de kans op deze events zelf, maar de kans dat deze events uiteindelijk een overstroming veroorzaken. Hoewel de kans op tropische stormen (Bonaire) en orkanen (Saba en St. Eustatius) zeer aanwezig is, is de kans op een overstroming ten gevolge van deze events veel kleiner.

### Overlijdensrisico en basisveiligheid

- Saba en St. Eustatius:
  - Overstromingen vanuit zee hebben alleen invloed op de kustzone, waar (vrijwel) geen mensen wonen maar wel toeristen verblijven. In deze kustzone wordt basisveiligheid mogelijk niet gehaald.
  - Wanneer (extreme) neerslag leidt tot flash floods en met name mud slides in bewoond gebieden (zoals The Bottom op Saba, Oranjestad en Lower Town op St. Eustatius), dan wordt basisveiligheid mogelijk niet gehaald.
- Bonaire:
  - Overstromingen vanuit zee invloed op grote delen van het eiland. Wanneer we uitgaan van een relatief grote kans op een overstroming (1/200 per jaar) wordt basisveiligheid mogelijk niet gehaald. Nader onderzoek naar de kans op overstromingen is nodig om hierin meer inzicht te verschaffen.

- Voor Bonaire vormt extreme neerslag naar verwachting geen substantieel risico op overlijden; basisveiligheid wordt naar verwachting gehaald.

### Aanbevelingen

- In de risicobeoordeling is de overstromingskans de meest onzekere factor. Wanneer basisveiligheid als uitgangspunt wordt genomen voor de beoordeling van overstromingsrisico's, dan is meer inzicht gewenst in overstromingskansen op alle eilanden en het optreden van flash floods en mud slides op Saba en St. Eustatius in het bijzonder om betere uitspraken te kunnen doen.
- Basisveiligheid geldt in Europees Nederland alleen voor binnendijks gebied dat beschermd wordt tegen overstromingen met primaire waterkeringen. Wanneer basisveiligheid in Caribisch Nederland wordt toegepast, is een beschouwing nodig op de gebieden waarvoor basisveiligheid zou kunnen gelden (op de drie eilanden er zijn geen waterkeringen aanwezig).
- Advies is om voor de laag gelegen delen van de eilanden na gaan of en in welke mate de vitale voorzieningen, zoals de elektriciteits- en drinkwatervoorziening en olieterminals, risico lopen en waar mogelijk verbetermaatregelen op te stellen. Hierbij kan gebruik worden gemaakt van reeds uitgevoerde onderzoeken naar de vitale infrastructuur in Caribisch Nederland.

# Inhoud

<b>1 Inleiding .....</b>	<b>1</b>
1.1 Aanleiding .....	1
1.2 Doelstelling.....	1
1.3 Projectaanpak .....	1
1.3.1 Processtappen .....	1
1.3.2 Definitie van typen overstromingen .....	2
1.4 Leeswijzer .....	3
<b>2 Projectgebied .....</b>	<b>5</b>
2.1 Locatie en kenmerken .....	5
2.2 Historische gebeurtenissen Caribisch gebied .....	12
<b>3 Overstromingen vanuit zee.....</b>	<b>13</b>
3.1 Oorzaken van overstromingen vanuit zee .....	13
3.1.1 Tropische stormen en orkanen .....	13
3.1.2 Tsunami's.....	15
3.2 Kans op overstromingen vanuit zee .....	17
3.2.1 Tropische stormen en orkanen .....	17
3.2.2 Tsunami's.....	18
3.3 Impact van overstroming vanuit zee .....	18
3.3.1 Gegevens uit het bronnenonderzoek .....	18
3.3.2 Aanvullende analyse: SRTM .....	19
3.4 Conclusie t.a.v. overstroming vanuit zee .....	23
<b>4 Overstromingen door extreme neerslag .....</b>	<b>25</b>
4.1 Oorzaken van extreme neerslag .....	25
4.2 Kans op extreme neerslag .....	26
4.3 Impact van extreme neerslag.....	27
4.3.1 Gegevens uit het bronnenonderzoek .....	27
4.3.2 Aanvullende analyse: HAND-index.....	28
4.4 Conclusies t.a.v. extreme neerslag .....	35
<b>5 Overstromingsrisicoprofiel en overlijdensrisico .....</b>	<b>37</b>
5.1 Risicoprofielen CN uit eerdere studie .....	37
5.2 Aangescherpt overstromingsrisicoprofiel .....	38
5.2.1 Overstroming vanuit zee .....	41
5.2.2 Overstroming als gevolg van extreme neerslag .....	42
5.2.3 Vergelijking tussen beide studies .....	43
5.3 Overlijdensrisico en basisveiligheid .....	45
5.3.1 Het criterium basisveiligheid .....	45
5.3.2 Overstroming vanuit zee .....	46
5.3.3 Overstroming als gevolg van extreme neerslag .....	47
5.4 Conclusies .....	48
<b>6 Invloed van het klimaat.....</b>	<b>49</b>
<b>7 Conclusies en aanbevelingen .....</b>	<b>51</b>

7.1	Overstromingen vanuit zee.....	51
7.2	Overstromingen door neerslag .....	51
7.3	Risicobeoordeling en basisveiligheid.....	52
7.4	Aanbevelingen .....	53
<b>8</b>	<b>Referenties .....</b>	<b>55</b>
<b>Bijlage A: Overzicht geraadpleegde experts en eilandvertegenwoordigers .....</b>		<b>59</b>
<b>Bijlage B: Lijst van orkanen die binnen 100 zeemijlen Saba en St. Eustatius zijn gepasseerd .....</b>		<b>61</b>
<b>Bijlage C: Uitleg tropische cyclonen.....</b>		<b>63</b>
<b>Bijlage D: Beaufort wind force scale.....</b>		<b>65</b>
<b>Bijlage E Neerslaggegevens.....</b>		<b>67</b>
<b>Bijlage F: Risicoprofiel Saba, St. Eustatius en Bonaire 2012/2013 .....</b>		<b>69</b>
<b>Bijlage G: Klimaatverandering in Caribisch Nederland.....</b>		<b>73</b>

# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding

DGRW heeft HKV gevraagd om een quickscan uit te voeren naar de waterveiligheidssituatie in Caribisch Nederland (CN): de eilanden Saba, St. Eustatius en Bonaire. De aanleiding hiervoor is tweeledig:

- In Europees Nederland wordt momenteel de overstap gemaakt naar een nieuw waterveiligheidsbeleid dat gebaseerd is op de zogenaamde risicobenadering (kans x gevolg). Met het nieuwe waterveiligheidsbeleid moet onder meer basisveiligheid voor iedereen achter de primaire waterkering worden bereikt. Basisveiligheid betekent dat de jaarlijkse kans om op een bepaalde locatie te overlijden als gevolg van een overstroming ten hoogste 1 op 100.000 per jaar mag zijn;
- Recentelijk is een studie uitgevoerd naar de mogelijkheden voor een early warning systeem op Curaçao, en zijn voor Saba, St. Eustatius en Bonaire risicotoprofielen opgesteld waarin tropische stormen en orkanen als risico zijn benoemd. Tsunami's zijn hierin niet benoemd, maar kunnen in het Caribisch gebied wel voorkomen.

## 1.2 Doelstelling

Naar aanleiding van de bovenvernoemde punten is het wenselijk om beter zicht te krijgen op de overstromingsrisico's in Caribisch Nederland, waarbij het in het bijzonder gaat om de kansen op en de gevolgen van overstromingen vanuit zee (door orkanen en tsunami's) en overstromingen als gevolg van extremen neerslag (door tropische stormen en orkanen). Op basis van de beschikbare informatie stellen we een risicobeoordeling op (waarbij we de methodiek van de Nationale Risico Beoordeling toepassen) en reflecteren we op de vraag of basisveiligheid op de drie eilanden al dan niet wordt gehaald. Met de uitkomsten kan het veiligheidsniveau op Caribisch Nederland worden vergeleken met Europees Nederland.

Het rapport heeft het karakter van een quickscan, waarmee we bedoelen dat beschikbare kennis via een bronnenonderzoek en via interviews met experts is ontsloten. Er is geen uitputtend wetenschappelijk literatuuronderzoek gedaan, en er is geen nieuw empirisch of modelmatig onderzoek verricht.

## 1.3 Projectaanpak

### 1.3.1 Processtappen

Het project is uitgevoerd in vier stappen:

1. Bronnenonderzoek & consultatie experts. HKV is bij het bronnenonderzoek ondersteund door het KNMI. Het onderzoek van het KNMI is beschreven in een apart memo (Brandsma, 2016). Verder zijn er interviews gehouden met drie experts van Deltares en met personen op de eilanden. De informatie uit deze onderzoeken en interviews zijn integraal in dit rapport verwerkt. Bijlage A geeft een overzicht van de personen met wie is gesproken.
2. Analyse van de informatie en opzet van de waterveiligheidsscan. Op basis van de verzamelde informatie brengen we aan de hand van een vereenvoudigde toepassing van de methodiek voor de risicobeoordeling de overstromingsrisico's in beeld (zie paragraaf 1.3.1 voor een korte toelichting).

3. Consultatie van experts en vertegenwoordigers van de eilanden. Op 12 juli 2016 is een workshop gehouden bij het DCC IenM, waarin de bevindingen van het project zijn gepresenteerd en bediscussieerd met experts. Op 23 september is het resulterende concept rapport besproken met vertegenwoordigers van de eilanden. Bijlage A bevat een overzicht van deze experts en vertegenwoordigers.
4. Review door HKV en KNMI en verwerking van alle opmerkingen in de definitieve rapportage.

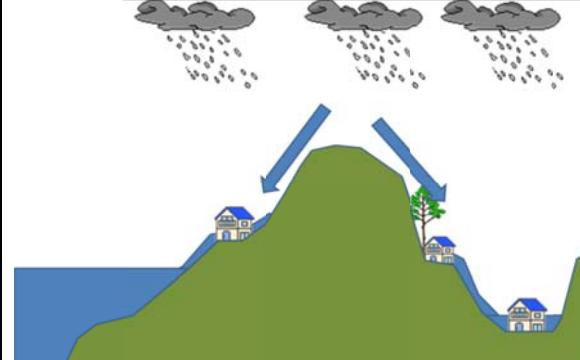
### **1.3.2 Definitie van typen overstromingen**

Onder een overstroming verstaan we in dit rapport: het overstroomen van delen van het eiland als gevolg waarvan significante schade optreedt, vitale voorzieningen en infrastructuur uitvallen, en/of waarbij slachtoffers vallen. Bij vitale voorzieningen en infrastructuur gaat het om uitval van drinkwater- en elektriciteitsvoorzieningen, schade aan vliegvelden, olieterminals, havens en wegen. Mogelijke effecten zijn een gebrek aan water en voedsel, onbereikbaarheid van (delen van) de eilanden, en stilstand van het economische en maatschappelijke verkeer.

In dit rapport maken we onderscheid tussen twee typen overstromingen (Figuur 1):

1. Een overstroming door verhoogde zeewaterstand of golven, als gevolg van een storm, orkaan of tsunami (Hoofdstuk 3);
2. Een overstroming door hevige neerslag, als gevolg een storm of orkaan (Hoofdstuk 4).

Beide typen events kunnen ook tegelijkertijd optreden, omdat beide het gevolg kunnen zijn van een langstrekende orkaan.

<b>Overstroming door verhoogde zeewaterstand of golven</b>	<b>Overstroming door hevige neerslag</b>
	

Figuur 1: Twee overstromingstypen

We brengen de overstromingsrisico's als gevolg van deze gebeurtenissen in beeld door een vereenvoudigde toepassing van de methode voor de risicobeoordeling, zoals de veiligheidsregio's in Europees Nederland die gebruiken bij het opstellen van hun regionale risicoprofielen (PNV, 2008). In 2012 en 2013 zijn voor ieder van de drie eilanden reeds risicoprofielen opgesteld voor een breed scala aan risico's. Dit is gedaan onder begeleiding van veiligheidsregio Haaglanden. De benodigde kennis is hierbij ingebracht door de eilanden zelf. Deze risicoprofielen vormen voor ons het vertrekpunt. In dit rapport concretiseren we de risicoprofielen voor overstromingsrisico's. Op basis van een literatuurstudie en interviews met experts onderzoeken we:

1. Wat de oorzaken kunnen zijn van overstromingen op de eilanden;
2. Wat de kans is op een overstroming;
3. Wat het gevolg is van een overstroming.

De door ons aangescherpte risicoprofielen zijn opgenomen in hoofdstuk 5. Daarnaast zetten we het overstromingsrisico op de drie eilanden af tegen het criterium 'basisveiligheid' dat per 1 januari 2017 in de Waterwet vastligt. Basisveiligheid is het minimale beschermingsniveau dat iedere Nederlander heeft die achter de dijken woont.

## **1.4 Leeswijzer**

Hoofdstuk 2 geeft een korte beschrijving van de ligging van de eilanden en enkele kenmerken van elk eiland. Hoofdstuk 3 en Hoofdstuk 4 geven een overzicht van de verzamelde informatie voor een overstroming vanuit zee (Hoofdstuk 3) en door extreme neerslag (Hoofdstuk 4). In Hoofdstuk 5 vertalen we deze informatie naar een overstromingsrisicoprofiel en gaan we ook in op het overlijdensrisico en het begrip basisveiligheid . In Hoofdstuk 6 geven we een korte beschrijving van te verwachten effecten door klimaatverandering. Hoofdstuk 7 presenteert de conclusies en aanbevelingen. Literatuurverwijzingen zijn opgenomen in Hoofdstuk 8. De referenties naar internetpagina's zijn als voetnoten in de tekst opgenomen.



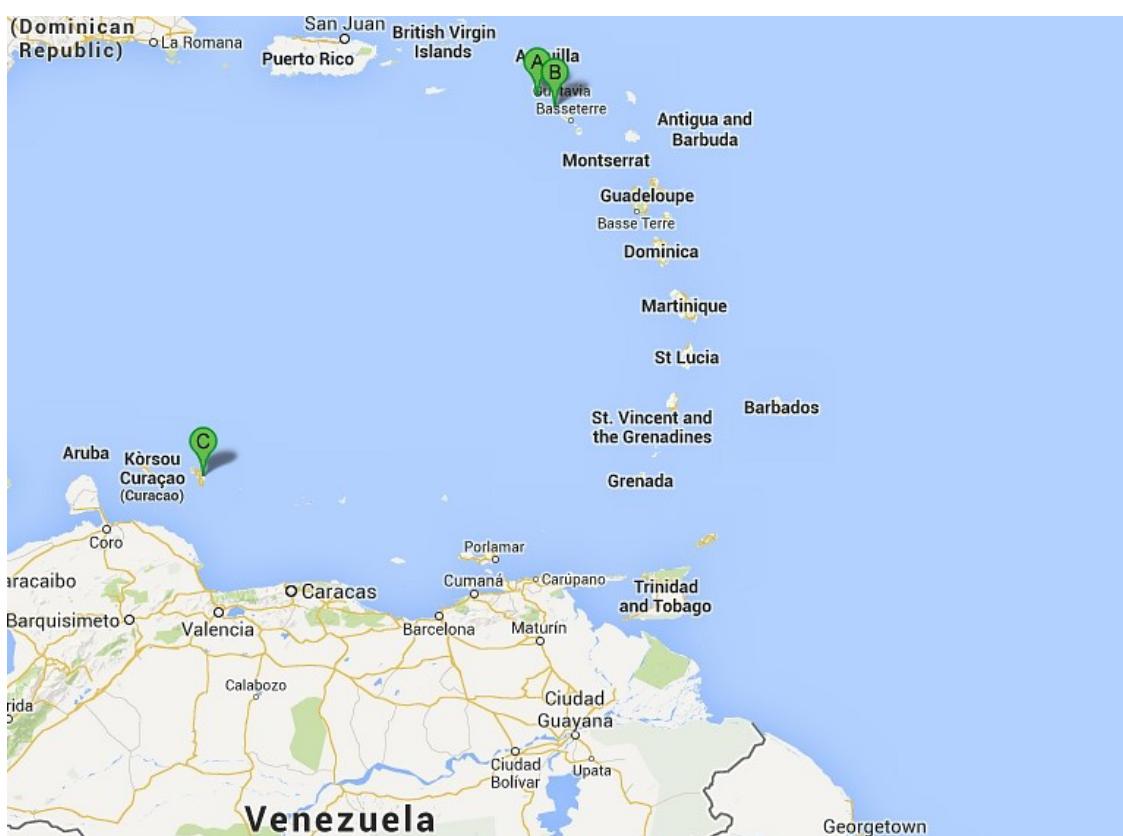
## 2 Projectgebied

### 2.1 Locatie en kenmerken

De eilanden Bonaire, Saba en St. Eustatius zijn sinds 10 oktober 2010 bijzondere gemeenten van Nederland. Ze worden ook wel aangeduid als Caribisch Nederland. Bonaire ligt 90 kilometer buiten de kust van Venezuela, op ongeveer 810 kilometer afstand van Saba en St. Eustatius (Figuur 2). De eilanden Saba en St. Eustatius liggen bovenwinds en zijn vulkaaneilanden. Bonaire ligt benedenwinds en bestaat vooral uit koraalkalk.

Figuur 3 geeft een impressie van de eilanden aan de hand van twee foto's per eiland. In Tabel 1 is per eiland een aantal kenmerken genoemd. In deze waterveiligheidsscan kijken we naar de overstromingsgevoeligheid van deze kenmerken. In de volgende paragraven geven we een korte beschrijving per eiland.

Het toerisme zorgt voor een aanzienlijk deel van de werkgelegenheid op de eilanden van Caribisch Nederland. Op Bonaire en Saba behoort 20% van de banen tot de toeristische industrie, op St. Eustatius is dat 12%. Ter vergelijking, in (Europees) Nederland is 8% van de banen gerelateerd aan toerisme<sup>1</sup>. De natuur en koraalriffen zijn een belangrijke bron voor het toerisme.



Figuur 2: Ligging eilanden Caribisch Nederland; Saba (A), St Eustatius (B) en Bonaire (C).

<sup>1</sup> Bron: <https://www.cbs.nl/nl-nl/achtergrond/2015/44/toerisme-belangrijk-voor-werkgelegenheid-caribisch-nederland>

**Saba****Haven Saba****St. Eustatius****Olieterminal St. Eustatius****Bonaire****Olieterminal Bonaire**

Figuur 3: Foto's van Saba, St Eustatius en Bonaire.

<b>Kenmerk</b>	<b>Saba</b>	<b>St. Eustatius</b>	<b>Bonaire</b>
Hoofdstad	The Bottom	Oranjestad	Kralendijk
Oppervlakte eiland	13 km <sup>2</sup>	21 km <sup>2</sup>	288 km <sup>2</sup>
Aantal inwoners (2014) <sup>2</sup>	1.846	4.020 <sup>3</sup>	18.413
Bevolkingsdichtheid	142 /km <sup>2</sup>	191/km <sup>2</sup>	64/km <sup>2</sup>
Vliegveld	regionaal	regionaal	internationaal
Olieterminal	- geen	NuStar: in noorden, ligt deels hoog en deels op en aan zee (pijpen, pier).	BOPEC: in noordwesten, ligt deels hoog en deels op en aan zee (pijpen, pier).
Overige aanwezige (vitale) infrastructuur	- Elektriciteit en drinkwaterfabriek - Benzinstation - Haven	- idem	- idem
Natuur	- Saba National Marine park (13 km <sup>2</sup> rondom) - Saba National Park (0,35 km <sup>2</sup> )	- St Eustatius National Marine Park (27,5 km <sup>2</sup> ) - Quill Boven National Park (3,4 km <sup>2</sup> )	- Washington Slagbaai National Park (5,6 km <sup>2</sup> ) - Bonaire National Marine Park (26 km <sup>2</sup> ), met: Klein Bonaire, Lac Bay, Washikemba-Fontein-Onima
% banen gerelateerd aan toerisme	20%	12%	20%

Tabel 1: Aantal kenmerken van Saba, St Eustatius en Bonaire.

## Saba

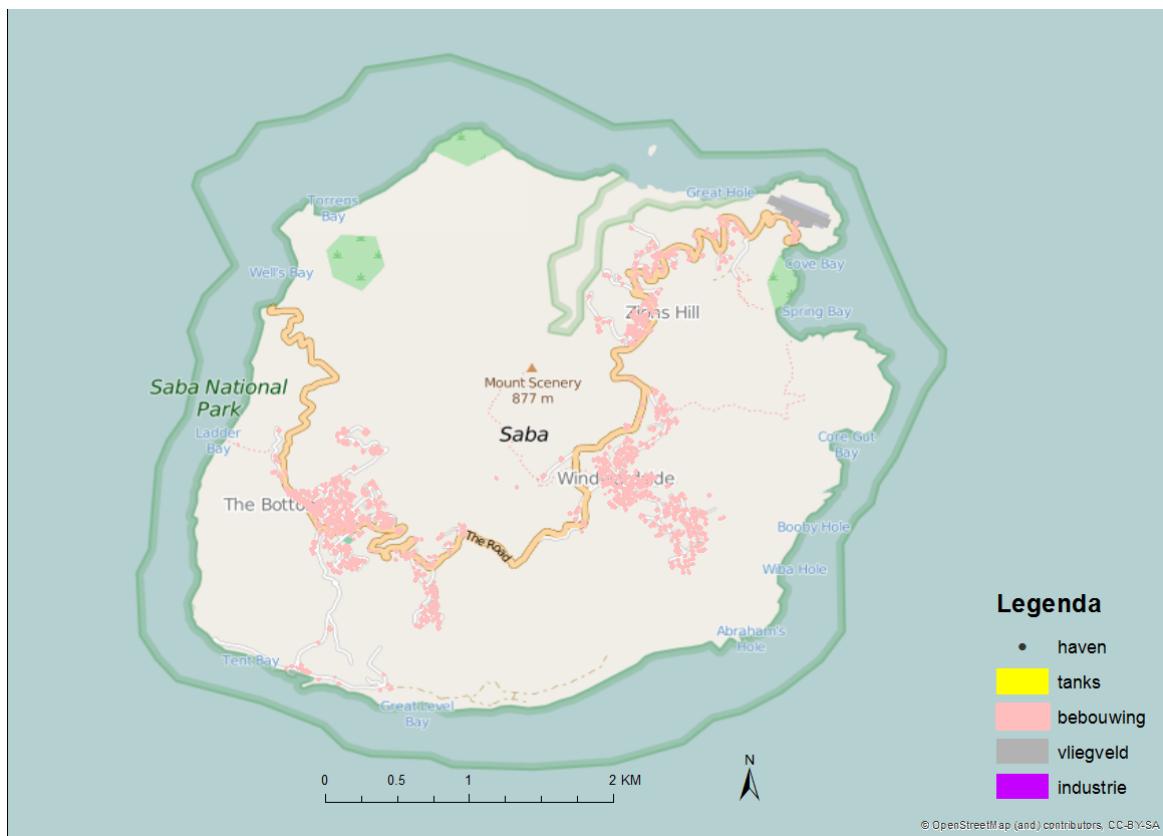
Saba (Figuur 4) is het kleinste eiland en telt circa 2000 inwoners. Het eiland is relatief hoog gelegen ten opzichte van de zee. Het hoogste punt van het eiland is de top van de slapende vulkaan Mount Scenery en ligt op 877 meter. Het eiland is bereikbaar via een vliegveld en een haven. Het vliegveld is alleen geschikt voor kleine vliegtuigen en is gesloten voor reguliere vluchten. In de laag gelegen haven zijn een duikschool, een restaurant en het drinkwaterbedrijf gevestigd, van waaruit het gehele eiland van drinkwater wordt voorzien. Recentelijk is een nieuwe elektriciteitscentrale gebouwd op de weg naar de haven, op een hogere locatie (ruim 80 meter boven de zeespiegel) dan waar de oude elektriciteitscentrale stond. Deze locatie is mede gekozen om de kwetsbaarheid te verkleinen voor stormen en hoge golven. De oude centrale moest bij slecht weer worden uitgeschakeld om te voorkomen dat het zeezout de motoren beschadigd.<sup>4</sup> Het eiland kent twee nationale parken: Saba National Marine park, gelegen rondom het eiland (grens in Figuur 4 aangegeven met groene lijn rondom eiland) en Saba National Park, gelegen op de vulkaan Mount Scenery.

In verband met brandrisico's in het havengebied is een Ambtelijk Bestuurlijke Checklist (ABC Kaart) opgesteld. Deze checklist is ter ondersteuning van de hulpdiensten bij de bestrijding van brand en het beperken van de mogelijke gevolgen in de haven. Daarnaast is er een ABC-kaart voor incidenten op de luchthaven. Voor het risico op een overstroming of andere incidenttypen zijn dergelijke checklists er (nog) niet.

<sup>2</sup> Bron: CBS: <http://statline.cbs.nl/StatWeb/publication/?DM=SLNL&PA=80539ned&D1=0-1,9-10&D2=a&D3=a&HDR=T&STB=G1,G2&CHARTTYPE=1&VW=T>

<sup>3</sup> Volgens dhr. Stapel (zie Bijlage A) ligt het inwonertal van St. Eustatius momenteel op ongeveer 3500

<sup>4</sup> Bron: <http://caribischnetwerk.ntr.nl/2014/07/05/constructie-elektriciteitscentrale-saba-begonnen/>



Figuur 4: Kaart Saba (Bron: open street map).

### St. Eustatius

St. Eustatius (Figuur 5) is wat groter dan Saba en heeft circa 3500 inwoners. Het is net als Saba bovenwinds gelegen. St. Eustatius bestaat uit een slapende vulkaan in het zuidoosten van het eiland, The Quill, en een uitgedooft vulkanisch gebied in het noorden van het eiland met daartussen een relatief vlak terrein. De hoofdstad Oranjestad telt ongeveer 1000 inwoners en ligt op ongeveer 50 meter hoogte. Een aantal gebouwen staan op een klif. Kliferosie, veroorzaakt door regen, is een aandachtspunt (zie hoofdstuk 4.3). Lower Town ligt aan de voet van deze klif, direct aan zee. Hier is onder andere belangrijk archeologisch erfgoed gelegen, een aantal hotels en restaurants, een benzinestation en de elektriciteitsfabriek en waterfabriek (STUCO). Een solar park voorziet voor een deel in de elektriciteit op St. Eustatius. Het gaat nu om zo'n 20 a 25% en met de geplande verdubbeling van de capaciteit in de toekomst tot zo'n 50%. Dit maakt de elektriciteitsvoorziening mogelijk iets minder kwetsbaar. De dieselgeneratoren blijven als redundantie wel noodzakelijk. Het vliegveld ligt in het midden van het eiland op de 'cultuurvlakte', op ongeveer 35 meter boven zeeniveau. De olieterminal (NuStar) ligt in het noorden. De meeste delen hiervan liggen op 20 meter hoogte, maar een aantal voorzieningen liggen op en aan zee (zie Figuur 6). NuStar heeft ook een watervoorziening die vergelijkbaar is met de capaciteit van STUCO. Het eiland kent twee nationale parken: St. Eustatius National Marine Park, gelegen rondom het eiland en Quill/Boven National Park, gelegen op de vulkaan The Quill.

Een Ambtelijk Bestuurlijke Checklist (ABC-kaart) is beschikbaar ten behoeve van de incidentbestrijding op de luchthaven. Voor het risico op een overstroming of andere incidenttypen zijn dergelijke checklists er (nog) niet.



Figuur 5: Overzichtskaart St. Eustatius.



Figuur 6: Overzicht olieterminal St. Eustatius.

## Bonaire

Bonaire is het grootste van de drie eilanden en heeft ca. 20.000 inwoners. Bonaire is relatief vlak. In het noorden ligt het Washington Slagbaai Nationaal Park, met verschillende bergen. Bergtop de Brandaris is met een hoogte van 241 meter het hoogste punt. Het zuiden van Bonaire ligt lager, veelal lager dan 10 m. De hoofdstad Kralendijk ligt in het lager gelegen deel van het eiland. Langs de kust bij Kralendijk is veel bebouwing aanwezig. De olieterminal van BOPEC ligt in het noordwesten tussen 10 en 20 meter boven de zeespiegel. De pier met bijhorende voorzieningen zoals pijpleidingen liggen lager. Het terrein van Contour Global (water en energie producent) ten oosten van BOPEC ligt tussen 2 en 10 meter boven zeeniveau.<sup>5</sup> De elektriciteitscentrale en drinkwaterfabriek (Contour Global) ligt naast het terrein van BOPEC (oostzijde), het innamepunt van zeewater t.b.v. de drinkwatervoorziening bevindt zich ten noorden van de haven. Het vliegveld van Bonaire is een internationaal vliegveld. Ook de wateren rondom Bonaire zijn een nationaal park (het Bonaire National Marine Park). In dit park liggen verschillende natuurgebieden: Klein Bonaire (het eiland ten westen van Bonaire), Lac (lagune in het zuidoosten van Bonaire), Pekelmeer (flamingoreservaat bij de zoutwingegebieden in het zuiden van Bonaire).

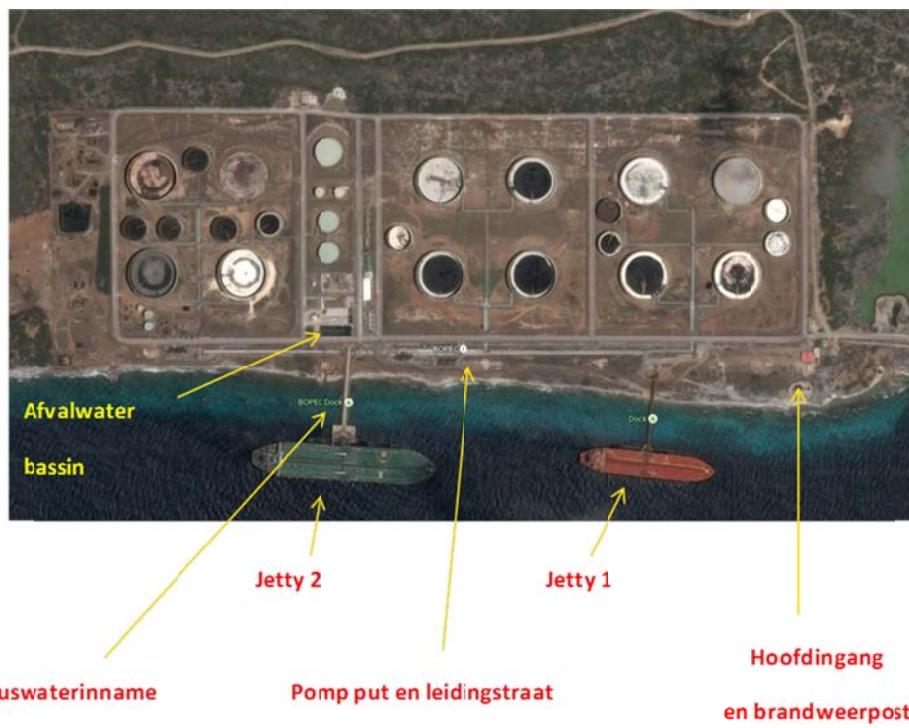
Een Ambtelijk Bestuurlijke Checklist (ABC-kaart) is beschikbaar voor een scenario van een incident bij het bedrijf Curoil. Voor het scenario van een overstroming of andere incidenttypen zijn dergelijke checklists er (nog) niet.

---

<sup>5</sup> Terreinhoogten op basis van een analyse in GIS.



Figuur 7: Overzichtskaart Bonaire



Figuur 8: Overzichtskaart olieterminal BOPEC

## 2.2 Historische gebeurtenissen Caribisch gebied

In het Caribisch gebied komen regelmatig orkanen voor. In deze paragraaf schetsen we een aantal voorbeelden, waarbij de impact van de orkanen groot was, of die recent hebben plaatsgevonden.

In 1780 trok de Grote Orkaan over het Caribisch Gebied. Door de orkaan lieten tussen de 20.000 en 22.000 mensen het leven, waarmee het de dodelijkste orkaan is die in de geschiedenis van het Caribisch gebied is gedocumenteerd. De slachtoffers vielen tussen 10 en 16 oktober, voornamelijk op de eilanden Barbados, Martinique en St. Eustatius. Op St. Eustatius zouden 4000 slachtoffers zijn gevallen (MDNA&A, 2010). De beschikbare documentatie hierover niet geheel duidelijk/betrouwbaar, en dit aantal wordt dan ook vaak in twijfel getrokken.

Bonaire is benedenwinds gelegen en in de literatuur zijn geen gebeurtenissen gevonden waarbij grote aantallen slachtoffers vielen. Recente orkanen die dicht bij het eiland langskwamen zijn Joan in 1988, Cesar in 1996, Lenny in 1999, Felix in 2007 en Omar in 2008. In 2010 kreeg Curaçao te maken met de staart van orkaan Tomas, die grote waterschade aanrichtte. Er zijn daarbij op Curaçao twee doden gevallen.<sup>6</sup> Op Bonaire veroorzaakte Tomas eveneens veel neerslag en is waarschijnlijk als gevolg van blikseminslag een olietank in brand gevlogen.<sup>7</sup>

Tijdens de rapportage van deze studie trok de storm Matthew over het Caribisch gebied (september/oktober 2016). De storm kwam het Caribisch gebied binnen bij St. Vincent en trok in westelijke richting. Ten noorden van de ABC eilanden ontwikkelde de storm zich tot een orkaan (categorie 2 en 3 langs de ABC eilanden, en langs Colombia gedurende korte tijd categorie 5). De orkaan (categorie 4) boog vervolgens af in noordelijke richting naar Haïti en de Dominicaanse Republiek, en verder richting de zuidoostkust van de VS. Orkaan Matthew heeft op verschillende eilanden tot extreme neerslag, flash floods en zandverschuivingen geleid, met tot 4 oktober 9 doden tot gevolg. Op de ABC-eilanden werd de orkaan gevoeld als een tropische storm. Enige dagen na het voorbijtrekken van de storm traden ‘metershoge’ golven op bij Bonaire langs de westkust, bij Punt Vierkant en Belhem (4 oktober).<sup>8</sup> Op Youtube zijn filmpjes te zien van overslaande golven waardoor huizen direct aan de waterkant kampen met wateroverlast.<sup>9</sup> Het Openbaar Lichaam heeft aan kustbewoners geadviseerd om niet thuis te blijven en waardevolle bezittingen en persoonlijke documenten mee te nemen.<sup>10</sup> De golven hebben schade veroorzaakt een huizen bij Belhem en mogelijk aan het koraal.

Omdat Saba en St. Eustatius meer bovenwinds liggen, zijn deze twee eilanden vaker aan de gevolgen van orkanen blootgesteld geweest. In de dagen na orkaan Luis in 1995 was volgens mensen op St. Eustatius de haven niet bereikbaar doordat de weg niet begaanbaar was.<sup>11</sup> De orkaan Lenny veroorzaakte in 1999 grote schade op Sint Maarten en Saba. Op beide eilanden zijn de havens en gebouwen langs het water verwoest door golven. Op Saba versperden rotsblokken en modderstromen de weg naar het vliegveld en naar de haven. De toren van het vliegveld werd verwoest en er zouden circa 30 huizen zware schade hebben opgelopen.<sup>12</sup> Bijlage B biedt een overzicht van (andere) orkanen die deze eilanden zijn gepasseerd.

<sup>6</sup> <http://www.nu.nl/buitenland/2369389/doden-noodweer-curacao.html>

<sup>7</sup> <http://archief.wereldomroep.nl/caribiana/article/noodweer-treft-bonaire-en-curacao>

<sup>8</sup> <http://nos.nl/artikel/2136088-hoge-golven-na-matthew-bedreigen-bonaire.html>

<sup>9</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=YvZuAhJ-7pg> en <https://www.youtube.com/watch?v=16UD--UrVzc>

<sup>10</sup> [http://www.bonaire.nu/2016/10/04/advies-openbaar-lichaam-kust-bewoners/?utm\\_source=twitterfeed&utm\\_medium=twitter&utm\\_term=Bonaire](http://www.bonaire.nu/2016/10/04/advies-openbaar-lichaam-kust-bewoners/?utm_source=twitterfeed&utm_medium=twitter&utm_term=Bonaire)

<sup>11</sup> Persoonlijke communicatie met J. Stapel (zie bijlage A)

<sup>12</sup> <http://retro.nrc.nl/W2/Nieuws/1999/11/20/Vp/01.html>

### 3 Overstromingen vanuit zee

#### 3.1 Oorzaken van overstromingen vanuit zee

Onder een overstroming vanuit zee verstaan we situaties waarbij boven water gelegen delen van de eilanden onderlopen als gevolg van een verhoogde zeewaterstand en/of golven. Het gaat hierbij niet om dagelijks optredende getijdenverschillen, maar om uitzonderlijke situaties die veroorzaakt worden door tropische stormen, orkanen en tsunami's.

##### 3.1.1 Tropische stormen en orkanen

Bijlage C bevat een toelichting op tropische cyclonen.<sup>13</sup> In het Caribisch gebied worden tropische cyclonen aangeduid als orkanen. Orkanen worden ingedeeld naar sterkte. Onderstaande tabel geeft de veel gebruikte 'Saffir-Simpson hurricane wind scale' met een indeling van de orkanen in klassen van S1-S5.

Klasse	Omschrijving	Windsnelheid (km/h)	Typische schade volgens het National Hurricane Center in de VS
S1	Zwak	118-152	Meest lichte schade
S2	Matig	153-176	Dak- en vensterschade en belangrijke schade aan bomen en gewassen
S3	Krachtig	177-208	Grote schade met uitgebreide vernielingen aan gebouwen
S4	Zeer krachtig	209-248	Zeer groot: daken weggeblazen, veel waterschade op de begane grond van gebouwen aan de kust
S5	Verwoestend	meer dan 248	Catastrofaal: vrijwel alle daken weggeblazen, evenals kleine lichtere bouwsels en grote schade aan gebouwen

Tabel 2: Indeling Saffir Simpson scale voor orkanen.

Caribisch Nederland ligt in een gebied waar tropische stormen en orkanen actief zijn. In het overzicht van historische gebeurtenissen (paragraaf 2.2) was dit ook al te zien. Het orkaanseizoen in het Atlantische bekken (Atlantische bekken, Caribische Zee, en Golf van Mexico) loopt van 1 juni tot 30 november. Figuur 9 laat de trekrichtingen van orkanen zien die hebben plaatsgevonden in de periode 1901-2001. De bovenwindse eilanden Saba en St. Eustatius liggen dichtbij de voornaamste trekrichting van orkanen. Het benedenwindse eiland Bonaire ligt meer aan de rand van het gebied.

<sup>13</sup> Afhankelijk van de regio worden tropische cyclonen, cycloon, typhoon of orkaan genoemd.



Figuur 9: Trekrichting orkanen (MDA&A, 2010).

Volgens dhr. De Graaf (Deltares) heeft circa 90% van de orkanen een trekrichting oost-west en 10% een trekrichting west-oost. Orkaan Lenny (nov 1999, zie Figuur 10) behoort tot deze laatste groep. Lenny veroorzaakte bij Bonaire 3-6 meter hoge golven met stranderosie tot gevolg.

Voor een overstroming vanuit zee is het van belang te weten of en in welke mate orkanen een verhoging van de waterstand of golven veroorzaken. Op open zee kunnen golven voorkomen van meer dan 14 meter (Bron: MDC, zie ook Bijlage D). Echter, in de literatuur zijn geen gegevens gevonden waaruit blijkt dat de eilanden ooit zijn overstroomd vanuit zee, als gevolg van een orkaan. Ook zijn geen gegevens gevonden over de golfhoogten die direct langs de eilandkusten kunnen optreden.

**Tropical cyclone Lenny**

Hurricane Lenny, an extremely rare hurricane, formed south of Jamaica and moved eastward toward the Lesser Antilles. Hurricane Lenny is the first hurricane ever to strike the Lesser Antilles from the west. On Thursday, November 18, 1999, the center of hurricane Lenny passed just a few miles west of St. Maarten moving in a northeasterly direction as a category three hurricane with maximum sustained winds of 115 mph. Generally St. Maarten remained in the eastern and southeastern part of the eye wall.

During the night the hurricane slowed down and resumed a more southeasterly movement. This time the eye of the hurricane passed just a few miles east of St. Maarten.

*St. Maarten experienced the effects of the western part of the eye wall. Lenny was now a strong category two hurricane. For a 36-hour period, from Wednesday, November 17, 8 P.M. to Friday, November 19, 8 A.M. St. Maarten experienced tropical storm conditions with three periods where maximum sustained winds were above hurricane force*

*The highest sustained wind speed measured at the Princess Juliana Airport was 84 mph and the maximum gust was 104 mph (167 km/h) at 01:32 hours Friday, November 20, 1999. The lowest barometric pressure was 972.1 mb. Lenny's approach from the west caused an unprecedented sea wave impact on the westward facing coastline and harbors of St. Maarten. Wave height estimates are between 10 to 16 feet.*

*The total precipitation amounts over the 36-hour period of Lenny's presence over and around the Lesser Antilles reached record amounts. On the French side of St. Maarten rainfall measurements at the Gendarmerie totaled 34.12 inches (**866.6 mm**) and at Marigot 26.1 inches(**662.9 mm**). At the Princess Juliana Airport the total amount over 36-hours was 27.4 inches (**696.0 mm**) The excessive amounts of rainfall caused mud slides and severe flooding. For many locations heavy rainfall was the primary damage impact of hurricane Lenny. There were three casualties in St. Maarten during the passage of hurricane Lenny.*

*The islands of Aruba, Bonaire and Curaçao all experienced heavy surf conditions along their southern coastlines as Lenny passed many miles north of the islands. During the period between late Monday evening (November 15) and Wednesday morning (November 17), swells caused severe beach erosion and damage to small vessels and beach structures.*

Figuur 10: Tropical cyclone Lenny (MDC, 2012)

### 3.1.2 Tsunami's

Een tsunami kan worden veroorzaakt door:<sup>14</sup>

- een lokale aardbeving;
- een grote aardbeving veraf;
- een vulkaan uitbarsting in zee;
- een zeewaartse landverschuiving/landverschuiving onder het water oppervlak;
- een meteoriet inslag.

Meteorietinslagen laten we in dit rapport verder buiten beschouwing, aangezien dit geen specifiek risico voor de regio is.

Een tsunami plant zich in diep water voort met een snelheid van tussen de 500 en 900 km per uur. Dat wil zeggen dat als de bron van de tsunami op een afstand van 500 km is gelokaliseerd, de golven circa een half tot één uur later aankomen. De tijd om te waarschuwen en te evacueren is dan kort. De beving zal ook goed gevoeld kunnen worden op de eilanden waardoor mensen gewaarschuwd/geweekt zijn. Echter, omdat er geen ervaring is met tsunami's ontbreekt het waarschijnlijk aan risicobewustzijn en paraatheid bij de bevolking. Dit is een zeer bekend fenomeen dat al vaak in de rampenliteratuur is beschreven (zie bijvoorbeeld Mileti en Sorensen, 1990, Lindell en Perry, 2004).

<sup>14</sup> Bron: Interview dhr. Vatvani (Deltares)

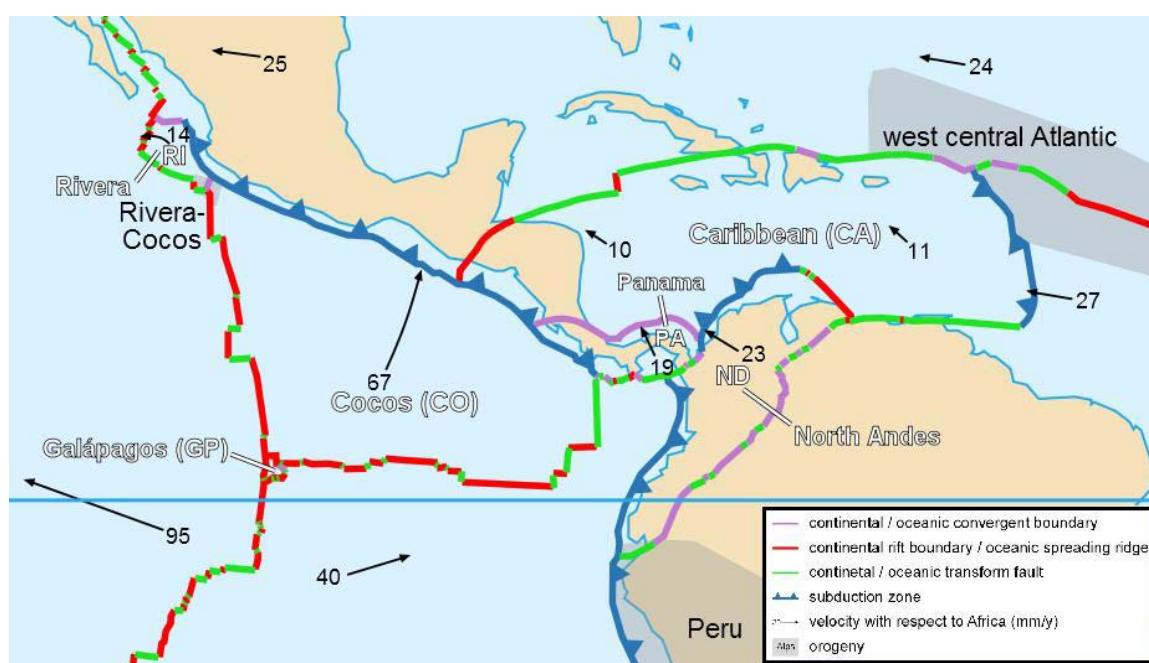
Op 8-02-1843 vond de best gedocumenteerde en meest schade veroorzakende beving in de regio plaats. De beving veroorzaakte grote schade op eilanden tussen Antigua en Guadeloupe (intensiteit IX) en had vermoedelijk een sterkte van  $M=7,5-8,5$  op de schaal van Richter. Deze aardbeving heeft geen grote tsunami veroorzaakt (max. golfhoogte van 1,2m). Op St Eustatius is schade aan gebouwen gerapporteerd (omvallende muren, scheuren in muren, gevallen schoorstenen; intensiteit VIII), maar is geen mensenleven verloren gegaan. Waarschijnlijk omdat veel gebouwen van hout opgetrokken waren (Curaçaose courant, 04-03-1843). Soortgelijke schade in wat mindere mate is gerapporteerd uit Sint Maarten. Overige grote historische bevingen, die een effect hadden op de bovenwindse eilanden:

- 06-04-1690, sterk gevoeld en schade op Nevis (landverschuivingen), een eiland dichtbij de Nederlandse eilanden;
- 18-11-1867, aardbeving  $M 7,5$  bij de Virgin eilanden waarbij schade op Sint Maarten werd aangericht. Op St Eustatius werd deze aardbeving sterk gevoeld'.

Figuur 11: Beschrijving aardbeving in regio (Bron: factsheet seismische risico's Caribisch gebied, 2016).

### Lokale aardbeving

Tsunami's kunnen ontstaan als gevolg van aardbevingen met een sterkte van 7 of meer op de schaal van Richter. De bovenwindse eilanden liggen in het noordoostelijke deel van de Antillenboog, dichtbij een grote subductie (onderschuiving) zone, waar aardbevingen kunnen voorkomen tot een sterkte van circa 8 op de schaal van Richter. Door de nabijheid van grote subductie (onderschuiving) zones is CN gevoelig voor tsunami's. Het KNMI is – voor het Koninkrijk der Nederlanden - verantwoordelijk voor de monitoring van seismische activiteit in de regio.



Figuur 12: Ligging tektonische platen in projectgebied (Bron: internet)

### Grote aardbeving veraf

In Caribisch Nederland kunnen ook tsunami's optreden door aardbevingen op grote afstand. Zo veroorzaakte een aardbeving voor de kust van Portugal op 1 november 1755 een vloedgolf van 7 m hoogte bij Saba en 4,5 m bij St. Maarten. Van St. Eustatius zijn er voor deze gebeurtenis geen metingen bekend, maar naar verwachting had de golfhoogte daar dezelfde orde van grootte (O'Loughlin en Lander, 2010).

Voor Bonaire zijn geen historische gegevens van een tsunami bekend. Wel worden er sedimentafzettingen op Bonaire aangetroffen, bijvoorbeeld aan de noordzijde van het eiland bij Boka Bartol, die duiden op een tsunami meer dan 3300 jaar geleden (Engel et al., 2013).

### **Vulkaanuitbarsting in Zee**

De vulkanen Kick 'em Jenny en Kick 'em Jack worden genoemd als twee vulkanen in zee die mogelijk een tsunami kunnen veroorzaken. De vulkanen liggen circa 8 km ten noorden van Grenada. Het gevaar hiervan voor verafgelegen eilanden (zoals Bonaire op 700 km) is volgens dhr. Vatvani (Deltares) waarschijnlijk niet groot omdat het gaat om puntbronnen. De amplitude van de golf neemt snel af met de afstand. Saba en St. Eustatius liggen op circa 600 km van deze bron. Voor eilanden op korte afstand tot de bron kan het effect wel degelijk groot zijn. Detail studies zijn echter nooit uitgevoerd.

### **Zeewaartse landverschuiving/ landverschuiving onder het water oppervlak.**

Over zeewaartse landverschuiving/landverschuiving onder het water oppervlak is geen informatie gevonden. Deze laten we daarom in deze quickscan buiten beschouwing.

## **3.2 Kans op overstromingen vanuit zee**

### **3.2.1 Tropische stormen en orkanen**

De terugkeertijd van orkanen hangt samen met hun sterkte (MDC, 2012). Tabel 3 geeft een overzicht van deze terugkeertijden voor de orkaantypen S1 – S5. Deze terugkeertijden zijn gebaseerd op gegevens van orkanen die binnen een afstand van 75 nautische mijlen<sup>15</sup> van St. Maarten en Curaçao zijn opgetreden. Volgens MDC zijn de terugkeertijden van orkanen op St. Maarten vergelijkbaar zijn met de terugkeertijden voor Saba en St Eustatius. De terugkeertijden voor Bonaire zijn vergelijkbaar met die voor Curaçao. Ter illustratie, een S2 orkaan bij Saba en St Eustatius komt gemiddeld eens in de 10 jaar voor. Bij Bonaire is dit gemiddeld eens per 100 jaar. Tabel 3 laat zien dat de kans van voorkomen van een orkaan bij Bonaire ongeveer een factor 10 kleiner is dan bij Saba en St. Eustatius.

De gegevens uit Tabel 3 hebben betrekking op de kans van orkanen, en nog niet direct op de kans op overstromingen vanuit zee ten gevolge van orkanen. Er zijn geen gegevens gevonden van overstromingen vanuit zee als gevolg van orkanen die zich in de buurt van de eilanden voordeden.

	<b>Windsnelheid [km/uur]</b>	<b>St Maarten (≈ Saba St Eustatius)</b>	<b>Curaçao (≈ Bonaire)</b>
S1	119-153	5,6	46
S2	154 – 177	10	100
S3	178 – 209	16	170
S4	210 – 249	31	360
S5	>250	69	>600

Tabel 3: Frequentie van voorkomen van stormen binnen een afstand van 75 zeemijlen. (≈140km). (MDC, 2012).

<sup>15</sup> Een nautische mijl is 1852 meter.

### 3.2.2 Tsunami's

Er zijn in het kader van deze waterveiligheidsscan geen gegevens gevonden van terugkeertijden van aardbevingen en vulkaanuitbarstingen die tsunami's tot gevolg hadden. In de workshop van 12 juli is door dhr. Vatvani (Deltares) aangegeven dat rekening moet worden gehouden met een kans op tsunami's van orde grootte 1/1000 per jaar.

## 3.3 Impact van overstroming vanuit zee

### 3.3.1 Gegevens uit het bronnenonderzoek

De hydraulische condities (verhoging zeewaterstand en golven) die kunnen optreden als gevolg van een orkaan zijn afhankelijk van de kenmerken van de storm zoals sterkte, windrichting, afstand passage, en de bodemligging. Een S2 storm die recht over het eiland komt, kan meer schade veroorzaken dan een storm die op 50 km passeert. Voor een tsunami is de impact afhankelijk van de verticale verplaatsing van het water, de afstand tot de bron van de tsunami en eveneens de bodemligging. De bodemligging en geometrie bepalen de golfopzet. De impact van overstromingen vanuit zee zijn verder afhankelijk van de mate waarin langs de kusten van de eilanden kwetsbare gebieden of objecten aanwezig zijn. In zijn algemeenheid zijn baaien extra kwetsbaar voor overstromingen vanuit zee, omdat daarin zogenaamde tunnel-effecten kunnen optreden waarbij de energie van twee kanten komt, en waardoor de waterstand in sterkere mate toeneemt dan elders langs de kust. Er bevindt zich een baai in noordoosten van Bonaire, maar daar is geen bewoning. Langs de kusten van Saba en St. Eustatius bevinden geen echte baaien.

*Door het Caribisch lopen breuklijnen. Wanneer platen langs elkaar of over elkaar heen schuiven, veroorzaakt dat aardbevingen en in potentie tsunami's. Wanneer de ene plaat over de andere plaat heen schuift, wordt er veel water in verticale richting verplaatst. Dit veroorzaakt relatief een langgerekte golf met hoge amplitudes, met een golflengte van tientallen tot honderden kilometers, afhankelijk van de kracht van de aardbeving. Tsunami's worden versterking 'shoaling'. Shoaling houdt in dat de golf met de zeebodem in aanraking. Naarmate de waterdiepte verder afneemt, neem de wrijving met de bodem steeds verder toe waardoor voorkant van de golf wordt afgereemd en wordt ingehaald door de achterkant. De golfhoogte neemt hierdoor toe, en uiteindelijk klapt de golf om.*

*Omdat Saba en Sint Eustatius uit de zee verrijzen als 'steile pukkels', kan over het algemeen shoaling van de tsunami golven onvoldoende plaatsvinden in tegenstelling tot bijvoorbeeld nabij gelegen Maagdeneilanden die op een continentaal plateau liggen. Het effect van tsunami's gegenereerd door bronnen ver af zal op deze eilanden daarom waarschijnlijk in het algemeen niet groot zijn. Lokaal, wanneer de golven elkaar kunnen versterken door bijvoorbeeld resonantie verschijnselen (havens, baaien e.d.) of refractie, kan overigens de tsunami hoogtes wel grote waarden bereiken (zie b.v. het effect van de 2006 tsunami in Cilacap, Java hieronder).*

*Voor dichtbij gelegen tsunami bronnen is het verhaal echter anders. Door kortere afstand tot de bron (aardbeving en landslide), kan de tsunami wel degelijk een risico vormen. Er zijn echter nog te weinig onderzoek gedaan naar de omvang en de effecten van tsunami bronnen in de buurt. Dit is anders voor de nabij gelegen Britse Maagdeneilanden die op een continentaal plateau liggen waardoor shoaling wel kan plaatsvinden. Om meer inzicht te verkrijgen in de opzet en golfhoogten van tsunami's langs de eilandkusten is een golfhoogtemodel nodig.*

Figuur 13: Impact tsunami in Caribisch Nederland (Bron: interview verslag dhr. Vatvani, Deltares).

Orkaan Lenny heeft in 1999 de haven van Saba en een aantal gebouwen verwoest. Orkaan Matthew veroorzaakte in 2016 schade aan woningen als gevolg van overslaande golven langs de westkust bij Belhem. Naast deze gebeurtenissen zijn geen verdere gegevens gevonden over de impact van overstromingen vanuit zee.

### 3.3.2 Aanvullende analyse: SRTM

Om toch een indicatie van de kwetsbaarheid van de eilanden te krijgen is in deze studie een analyse uitgevoerd op basis van de hoogteligging van de eilanden. Hiervoor zijn hoogtegegevens gebruikt van SRTM<sup>16</sup>. Figuur 14a-c presenteert de hoogteligging van de eilanden, met daarin tevens de locaties van mogelijk kwetsbare objecten/gebieden (zie ook Tabel 4). In de figuur zijn de hoogtelijnen opgenomen van 10, 20, 30 en 40 meter hoogte. Tijdens de workshop met experts is door dhr. Vatvani (Deltares) aangegeven dat hij voor tsunami's vaak rekening houdt met een maximale verhoging van de zeespiegel van 20-25 meter. Met andere woorden, gebieden die meer dan 20-25 meter boven de zeespiegel liggen, liggen buiten het bereik van een tsunami.

#### Saba

Met uitzondering van de haven en het marine park rondom het eiland ligt nagenoeg alle bewoning en het vliegveld hoger dan 40 meter. De nieuwe elektriciteitscentrale ligt op ruim 80 meter hoogte en is niet kwetsbaar. Hoofdstad The Bottom ligt op circa 200 meter hoogte. De haven met daarbij de drinkwatervoorziening liggen lager dan 10 meter en zijn daarmee overstromingsgevoelig te noemen. Bij welke waterdiepten deze voorzieningen worden getroffen, is onbekend.

#### St. Eustatius

Laaggelegen bebouwing omvat Lower Town (een kleine strook bebouwing aan zee met o.a. hotels en restaurants), de haven, de elektriciteits- en drinkwaterfabriek (STUCO) en delen van de olieterminal (NuStar, grootste delen liggen op 20 meter). Rondom het eiland ligt een marine park. Deze bebouwing en gebieden zijn kwetsbaar voor overstromingen vanuit zee. Met uitzondering van deze bebouwing ligt alle bewoning hoger dan 30 meter boven de zeespiegel. Het vliegveld ligt op ongeveer 35 meter. De bewoning van de hoofdstad Oranjestad (ongeveer 1000 inwoners) ligt grotendeels hoger dan 50 meter.

#### Bonaire

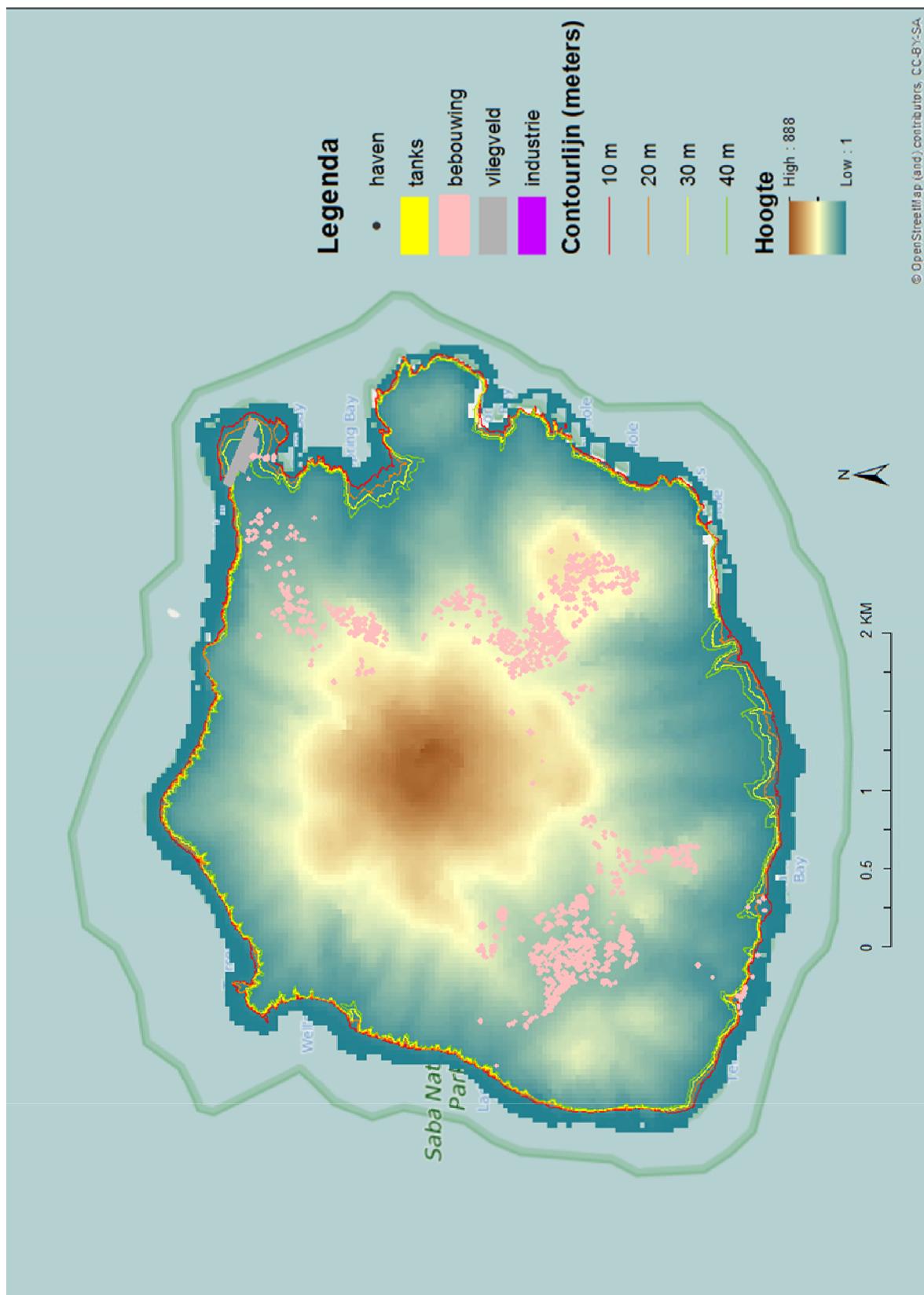
Het zuidelijk deel van het eiland (wanneer je de westelijke kustlijn denkbeeldig zou doortrekken) ligt lager dan 10 m. Aan de oostkant ligt het eiland hoger. Een groot deel van Kralendijk, de hoofdstad van Bonaire, ligt relatief laag. Het vliegveld ligt tussen 0 en 10 meter boven zeeniveau. Het terrein van BOPEC ligt tussen 10 en 20 meter boven de zeespiegel. De pier met bijhorende voorzieningen zoals pijpleidingen liggen lager.

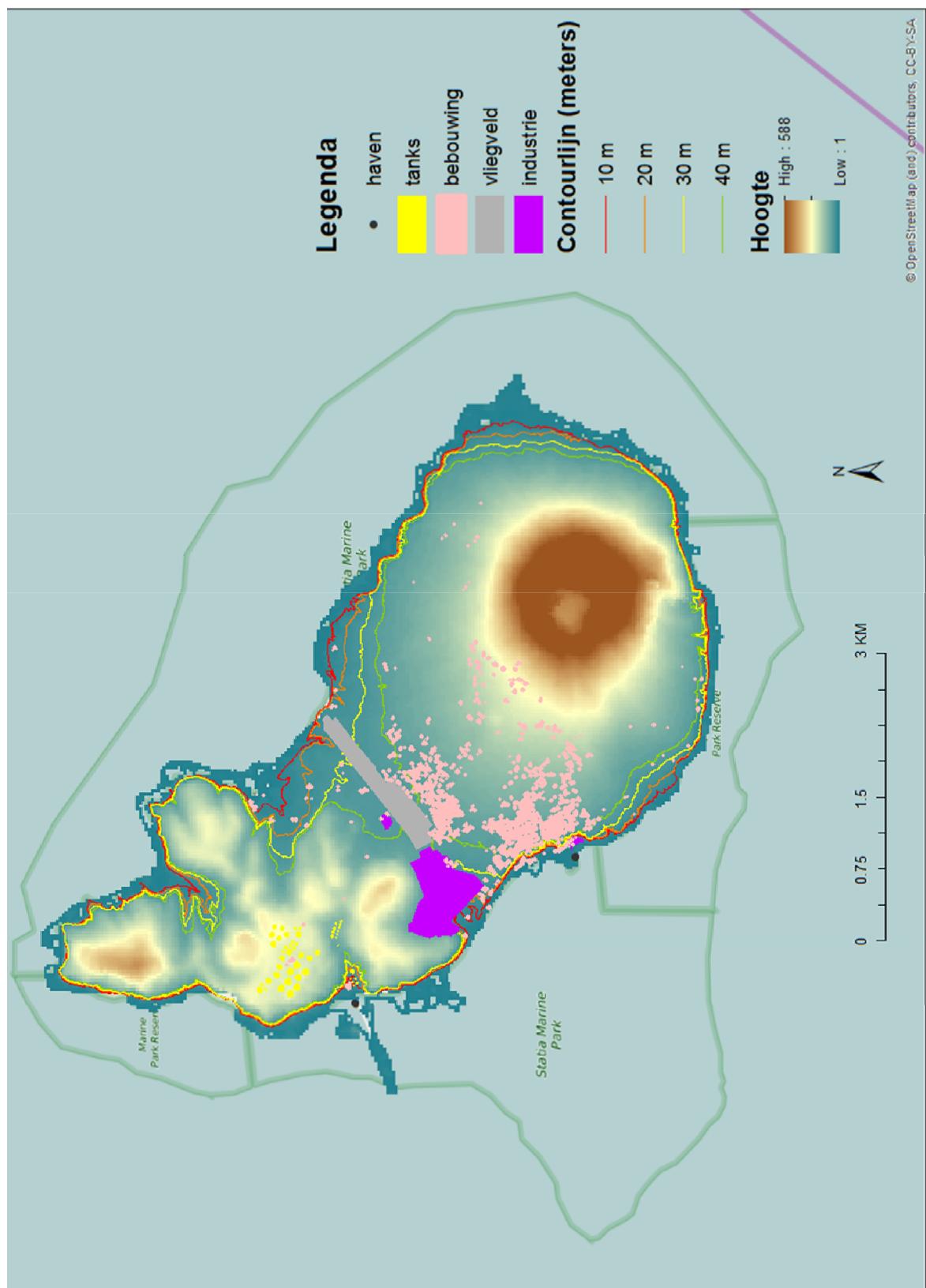
Het terrein van Contour Global (water en energie producent) ten oosten van BOPEC ligt tussen 2 en 10 meter boven zeeniveau.<sup>17</sup> Ook het havengebied waar de toeristenboten aan- en afmeren liggen relatief laag. Een overstroming vanuit zee aan de oostkant van het eiland heeft een kleinere impact dan een overstroming aan de westkant. Aan de oostkant van het eiland, is nagenoeg geen bewoning en is het eiland ook wat hoger gelegen. Voor Bonaire is het dan ook

<sup>16</sup> SRTM: Shuttle Radar Topography Mission, (NASA) (<http://www.jpl.nasa.gov/missions/shuttle-radar-topography-mission-srtm/>), Gridresolutie is 30 m. Verticale nauwkeurigheid van gegevens is 16 m.

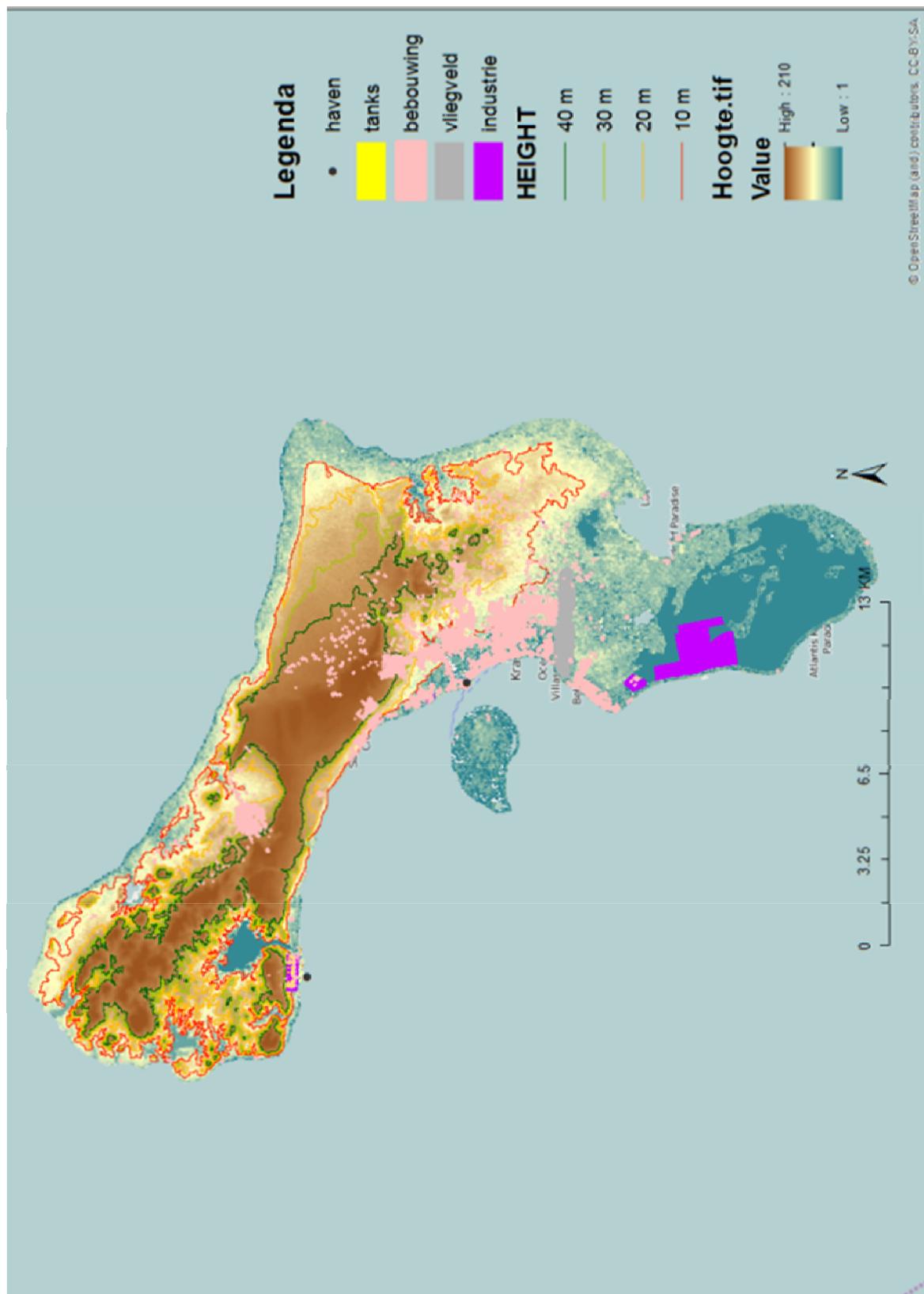
<sup>17</sup> Terreinhoogten op basis van een analyse in GIS.

van belang of een verhoogde zeewaterstand aan de oostzijde of de westzijde van het eiland optreedt.





Figuur 14b: Impactanalyse overstroming vanuit zee op basis van hoogtemodel St. Eustatius.



Figuur 14c: Impactanalyse overstroming vanuit zee op basis van hoogtemodel Bonaire.

	<b>Saba</b>	<b>St. Eustatius</b>	<b>Bonaire</b>
Bewoning	Hoog gelegen, > 200m, overstroomt niet vanuit zee	- Hoog gelegen, > 35m, overstroomt niet vanuit zee. - Lower Town ligt direct aan zee en heeft o.a. een hotel en duikshops.	Relatief laag gelegen. De zuidwestkust (incl. hoofdstad Kralendijk) ligt < 10 m en is daarmee kwetsbaar.
Vliegveld	Hoog gelegen, ≈ 40m, overstroomt niet vanuit zee	Hoog gelegen, ≈ 35m, overstroomt niet vanuit zee	Hoogteligging < 10 m en is mogelijk kwetsbaar.
Olieterminal	- N.v.t.	Kwetsbaar: - Delen van olieterminal NuStar die op 20m hoogte liggen - voorzieningen zoals de pier met pijpleidingen (aan en op zee)	Kwetsbaar: - olieterminal BOPEC (10-20 m hoogte) - Voorzieningen zoals pier met pijpleidingen (aan en op zee).
Overige aanwezige (vitale) infrastructuur	Kwetsbaar: - Drinkwaterfabriek (elektriciteitsfabriek ligt hoog, dus niet kwetsbaar) - Haven inclusief voorzieningen	Kwetsbaar: - Elektriciteit en drinkwaterfabriek - Haven inclusief voorzieningen	Kwetsbaar: - Elektriciteit en drinkwaterfabriek - Haven inclusief voorzieningen
Natuur en Toerisme	Als koraalriffen en toeristeninfrastructuur rondom eiland zijn getroffen is eiland minder interessant geworden voor toeristen.		

Tabel 4: *Impact van overstromingen vanuit zee op basis van hoogteligging voor Saba, St. Eustatius en Bonaire.*

### 3.4 Conclusie t.a.v. overstroming vanuit zee

- In de literatuur zijn geen voorbeelden bekend van overstromingen op Bonaire, Saba en St. Eustatius vanuit zee.
- Grootchalige overstromingen vanuit zee zijn op Saba en St. Eustatius zeer onwaarschijnlijk, vanwege hun hoogteligging. De bewoonde gebieden liggen buiten het bereik van overstromingen vanuit zee. Op St. Eustatius bevinden zich wel hotels, restaurants en duikshops direct aan het water (Lower Town).
- Direct aan de kust zijn delen van de olieterminals, water- en elektriciteitsfabrieken, havens, toeristische infrastructuur en koraalriffen kwetsbaar. Afgezien van de elektriciteitsfabriek op Saba (ligt hoog) kunnen overstromingen vanuit zee een grote impact hebben op de vitale infrastructuur en de lokale economie. Dit risico kan op dit moment niet verder gekwantificeerd worden, omdat gegevens over de kans op overstromingen en de precieze gevallen ontbreken.
- Bonaire is relatief laag gelegen. Een overstroming vanuit zee, met name vanuit de westkant van het eiland heeft een potentieel grote impact op Kralendijk. Dit betekent dat er economisch risico en een slachtofferrisico bestaat. Er is echter weinig bekend over de golfhoogten die kunnen optreden en de kans op overstromingen aan de westzijde van het eiland. Het economisch risico en slachtofferrisico kan daarom niet nader gekwantificeerd worden.



## 4 Overstromingen door extreme neerslag

### 4.1 Oorzaken van extreme neerslag

De piek van het regenseizoen ligt in de maanden oktober tot en met december. Tabel 5 geeft een overzicht van de gemiddeld maandelijkse en jaarlijkse neerslag op de eilanden. De gegevens zijn gebaseerd op meetgegevens in de periode 1971-2000, van het MDC (<http://www.meteo.cw>., zie ook Bijlage E). Met ca. 1000 mm per jaar is de jaarlijkse neerslag het hoogst op St. Eustatius, gevolgd door Saba (ca. 750 mm per jaar) en Bonaire (ca. 500 mm per jaar).

Tropische stormen en orkanen kunnen gepaard gaan met extreme hoeveelheden neerslag, die tot overstromingen kunnen leiden. Extreme neerslag kan leiden tot zogenaamde flash floods en landverschuiving (mud slides). Ter illustratie, tijdens orkaan Lenny registreerde een lokaal meetstation op St. Maarten 600 tot 800 mm neerslag in een periode van 36 uur. De hoeveelheid regen was de belangrijkste oorzaak voor de schade die optrad (zie Figuur 10).

	Saba	St. Eustatius	Bonaire
januari	●●	●●●	●●
februari	●●●	●●●	●
maart	●●	●●	●
April	●●	●●●	●
Mei	●●●	●●●	●
Juni	●●	●●●	●
Juli	●●●	●●●	●●
augustus	●●●	●●●●	●●
september	●●●	●●●●	●●
oktober	●●	●●●●	●●●
november	●●●●	●●●●	●●●
december	●●●	●●●	●●●
Totaal	760,5 mm	985,8 mm	463,3 mm

Tabel 5: gemiddeld maandelijkse neerslag Saba, St Eustatius, Bonaire over de periode 1971-2000

(Bron MDC: <http://www.meteo.cw>. Zie ook Bijlage E) Legenda: - 0- 5 mm, ● 6 – 25 mm, ●● 25-50 mm, ●●● 50-100 mm, ●●●● > 100 mm.

#### Tropical cyclone Tomas

Although the storm did not directly strike the ABC islands, one of its outer rainbands stalled over the region and intensified during the night of November 1 to November 2.

Curaçao experienced its most extreme rain event in 40 years; as many as 10.4 inches (265 mm) were recorded over a 24-hour period in the eastern part of the island. The majority of the rain fell overnight in a heavy downpour, accompanied by a severe thunderstorm that triggered large-scale power, TV and radio outages. Lightning strikes sparked three large fires in a major oil refinery in Willemstad. The fires inflicted severe damage to several tanks, estimated at US\$10 million. Flights from Curaçao International Airport were delayed due to the hazardous conditions.



Following hours of heavy rainfall, widespread floods made most roads in the region impassable, with dozens of cars swept away or stranded. The rains filled dams and overwhelmed drains, causing them to overflow and exacerbating the flooding. The towns of Saliña, Brievengat and Mahai were among the hardest hit; hundreds of homes, gardens and businesses were inundated. At the height of the rainstorm, a rescue worker assisting in the evacuation of a hospital was killed by the collapse of a wall. An elderly man suffering a heart attack drowned while unable to exit his flooded car. Overall, Curacao suffered some of its worst flooding in history; insured losses across the island exceeded NAf110 million (US\$63 million), though total damage costs from Tomas were estimated at NAf200 million (US\$115 million).

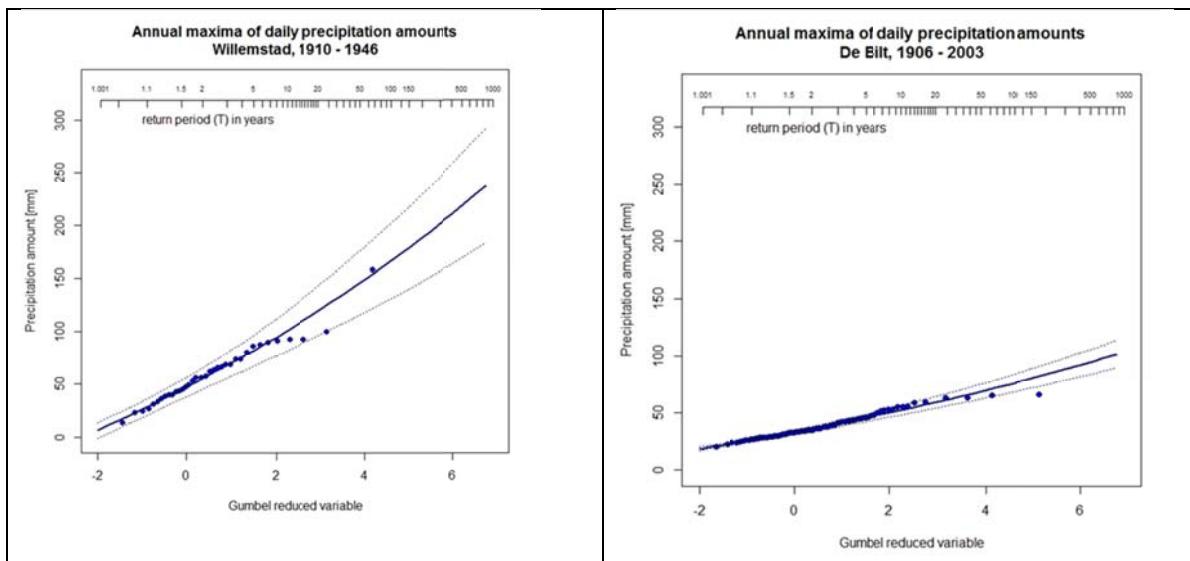
Damage on the other two islands was much more limited. Parts of **Bonaire** experienced heavy but brief periods of rain, with a maximum of 3 inches (75 mm) at Flamingo International Airport, causing localized flooding of property. On **Aruba**, some thunder and moderate rainfall occurred, without significant consequences. All schools across the islands were closed on November 2 and 3 as a result of the storm.

Figuur 15: Tropical cyclone Tomas(wikipedia)

## 4.2 Kans op extreme neerslag

Voor een goede inschatting van de kans op extreme neerslag zijn langjarige, hoge-resolutie tijdsreeksen nodig. Op dit moment zijn die reeksen voor Caribisch Nederland nauwelijks beschikbaar. Het KNMI heeft een project opgezet om in het kader van de klimatologische dienstverlening in Caribisch Nederland deze reeksen te generen uit de beschikbare informatie in hardcopy en digitale archieven.

Omdat deze reeksen nog niet beschikbaar zijn heeft het KNMI op basis van een meetreeks van de dagneerslag in Willemstad (Curaçao) in de periode 1910-1946 een quickscan uitgevoerd (Figuur 16 en Tabel 6). Ondanks de relatief lage jaarsommen op Curaçao blijken de extreme dagneerslagen ongeveer een factor 2 groter dan die in De Bilt. Het is te verwachten dat de neerslag op Bonaire vergelijkbaar is met die op Curaçao.



Figuur 16: Vergelijking van de extreme waarde verdeling van de jaarmaxima van dagsommen van de neerslag voor Willemstad op Curaçao (1910-1946) en De Bilt (1906-2003). (Brandsma, 2016)

Willemstad		De Bilt	
Terugkeertijd [jaar]	Hoeveelheid [mm]	Terugkeertijd [jaar]	Hoeveelheid [mm]
1	47	1	33
2	62	2	39
10	102	10	54
20	120	20	61
50	146	50	71
100	166	100	79

Tabel 6: Vergelijking van herhalingstijden van jaarmaxima van de dagsommen van de neerslag voor Willemstad op Curaçao (1910-1946) en De Bilt in Nederland (1906-2003).

## 4.3 Impact van extreme neerslag

### 4.3.1 Gegevens uit het bronnenonderzoek

Vanuit de literatuurstudie zijn verschillende voorbeelden bekend van flash floods en mud slides in het Caribisch gebied. Zeer recent, op 1 augustus 2016 is door het National Hurricane Centre een waarschuwing afgegeven voor het optreden van flashfloods en mudslides in de Caraïbische regio<sup>18</sup>. In 2013 kregen de eilanden St. Vincent, Grenada en St. Lucia te maken met flash floods als gevolg van hevige neerslag<sup>19</sup>. Deze neerslag was niet direct gekoppeld aan het passeren van een orkaan. In 2010 zijn door hevige neerslag in de staart van orkaan Tomas op Curaçao twee doden gevallen als gevolg van overstromingen<sup>20</sup>. In 2016 veroorzaakte orkaan Matthew overstromingen en modderstromen op verschillende eilanden, waaronder St. Vincent, Haïti en de Dominicaanse republiek. Tot 5 oktober werden 9 doden geregistreerd.<sup>21</sup>

#### Saba

Op Saba veroorzaakte orkaan Lenny in 1999 modderstromen waardoor de weg naar de haven en het vliegveld versperd werden. Uit interviews is naar voren gekomen dat bij het haventerrein van Saba regelmatig zandafschuivingen voorkomen. De foto in Figuur 17: Foto van Saba en St. Eustatius (Foto Saba: Fanny de Swarte, Foto St. Eustatius Edith Kuijper). illustreert dit.

#### St. Eustatius

In de dagen na orkaan Luis in 1995 was volgens mensen op St. Eustatius de haven niet bereikbaar doordat de weg niet begaanbaar was. Op St. Eustatius is kliferosie een aandachtspunt. Delen van de bebouwing van Oranjestad staan op een klif. Afstromend regenwater resulteert voortdurend in hetinsnijden van de klif en voert zand en stenen van de klif mee dat langs de klif naar beneden valt. Hierdoor hopen zich grote hoeveelheden zand en stenen op achter de gebouwen aan de voet van de klif in Lower Town. Dit wordt periodiek verwijderd. Met enige regelmaat vallen ook grotere blokken steen van de klif naar beneden die in staat zijn om door de daken en de muren van de gebouwen heen te breken (Stapel, 2016). Dit kan tijdens een orkaan ernstige vormen aannemen en de weg door Lower Town blokkeren. Door het graduele karakter is kliferosie met name een zaak voor periodiek beheer en onderhoud. De noodzaak voor onderhoud wordt niet uitsluitend bepaald door extreme neerslag, maar veel meer door andere gebruiksfuncties en menselijk handelen. Delen van de klif storten hierdoor (lokaal) voortdurend in.

<sup>18</sup> <http://www.caribbeannewsn.com/topstory-Strong-tropical-wave-prompts-flash-flood-warnings-31266.html>

<sup>19</sup> <http://www.worldbank.org/en/news/press-release/2014/03/21/eastern-caribbean-islands-rebuilding-from-flash-floods>

<sup>20</sup> <http://www.nu.nl/buitenland/2369389/doden-noodweer-curaao.html>

<sup>21</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Hurricane\\_Matthew](https://en.wikipedia.org/wiki/Hurricane_Matthew)

Door slecht beheer en onderhoud is de klif kwetsbaarder voor extreme gebeurtenissen, mogelijk schade aan de (vitale) infrastructuur en het verlies van mensenlevens tot gevolg.<sup>22</sup>

### Bonaire

Voor Bonaire zijn geen gegevens gevonden van flash floods of landverschuivingen die tot grote problemen hebben geleid.

**Saba.** Muur bij haven gebouwd om afschuiving van zand tegen te gaan.



**St. Eustatius.** Troep op de weg als gevolg van afstroming van water



Figuur 17: Foto van Saba en St. Eustatius (Foto Saba: Fanny de Swarte, Foto St. Eustatius Edith Kuijper).

### 4.3.2 Aanvullende analyse: HAND-index

In aanvulling op de literatuurstudie is een analyse uitgevoerd naar de gevoeligheid van overstromingen door hevige neerslag, op basis van hoogtegegevens. Hiervoor zijn hoogtegegevens gebruikt van SRTM<sup>23</sup> en is een zogenaamde HAND-index berekend. HAND is een afkorting voor Height Above Nearest Drainage. De HAND-index kan gebruikt worden om een hazard map te maken waarin binnen een gebied meer en minder kwetsbare delen kunnen worden onderscheiden (Renno et al, 2008). Anders gezegd: toepassing van de HAND index resulteert in een overzicht van de natuurlijke afwateringspatronen op basis van de beschikbare hoogtegegevens. Met de HAND-index kan geen uitspraak worden gedaan over de frequentie van gebeurtenissen. Figuur 20a-c en Tabel 7 geven de resultaten van deze analyse.

Figuur 20a-c laat de HAND-index in ruimtelijk patroon voor elk eiland zien. In groen zijn de gebieden weergegeven met meer dan 5 meter hoogteverschil ten opzichte van de dichtstbijzijnde natuurlijke afwatering. Deze gebieden worden geïnterpreteerd als 'niet kwetsbaar' voor overstromingen. De gebieden in donkerblauw zijn gebieden met minder dan 1 meter hoogteverschil ten opzichte van de dichtstbijzijnde natuurlijke afwatering. Deze gebieden kunnen worden geïnterpreteerd als gebieden waar overstromingen kunnen optreden. De lichtblauwe en lichtgroene gebieden zitten hier tussenin.

### Saba

De HAND-index (Figuur 20a) laat voor Saba zien dat de natuurlijke afwatering zich met name buiten de bebouwde gebieden bevindt. Uitzonderingen hierop zijn de hoofdstad The Bottom en

<sup>22</sup> Uit persoonlijke communicatie met dhr. Stapel

<sup>23</sup> SRTM: Shuttle Radar Topography Mission, (NASA) (<http://www.jpl.nasa.gov/missions/shuttle-radar-topography-mission-srtm/>), Gridresolutie is 30 m. Verticale nauwkeurigheid van gegevens is 16 m.

de haven. Zie ook de foto's van Figuur 3 in hoofdstuk 2.1 en Figuur 18 hieronder. Bij extreme neerslag zijn The Bottom en de haven in potentie kwetsbaar. Ook andere bewoond delen kunnen indirect getroffen worden, bijvoorbeeld doordat wegen onbegaanbaar raken waardoor dorpen tijdelijk van de buitenwereld worden afgesneden. De nieuwe elektriciteitscentrale is gebouwd langs de weg naar de haven, waarlangs bij extreme neerslag water wordt afgevoerd (Figuur 18). De nieuwe elektriciteitscentrale ligt in potentie op een kwetsbare locatie, maar er is door ons niet uitgezocht of de centrale zelf kwetsbaar is bij extreme neerslag.



Figuur 18: Locatie (rode pijl) van de nieuwe elektriciteitscentrale op Saba.

### St. Eustatius

De HAND-index (Figuur 20b) laat zien dat het gebied aan de voet van de Quill op St. Eustatius veel water ontvangt tijdens neerslag events. Dit gebied omvat onder meer het vliegveld en delen van Oranjestad/Lower Town. Delen van de olieterminal liggen langs en beneden aan een helling waarlangs regenwater afstroomt (Figuur 19). Er is door ons niet uitgezocht in welke mate deze olieterminals kwetsbaar zijn bij extreme neerslag. Er zijn eveneens zorgen op het eiland voor het ineenstorten van de naast het vliegveld gelegen dump, waarmee de landingsbaan ondergraven zou kunnen worden. Het is onduidelijk of extreme regenval al dan niet in combinatie met een orkaan dit kan veroorzaken.



Figuur 19: Ligging van de olieterminal op St. Eustatius.

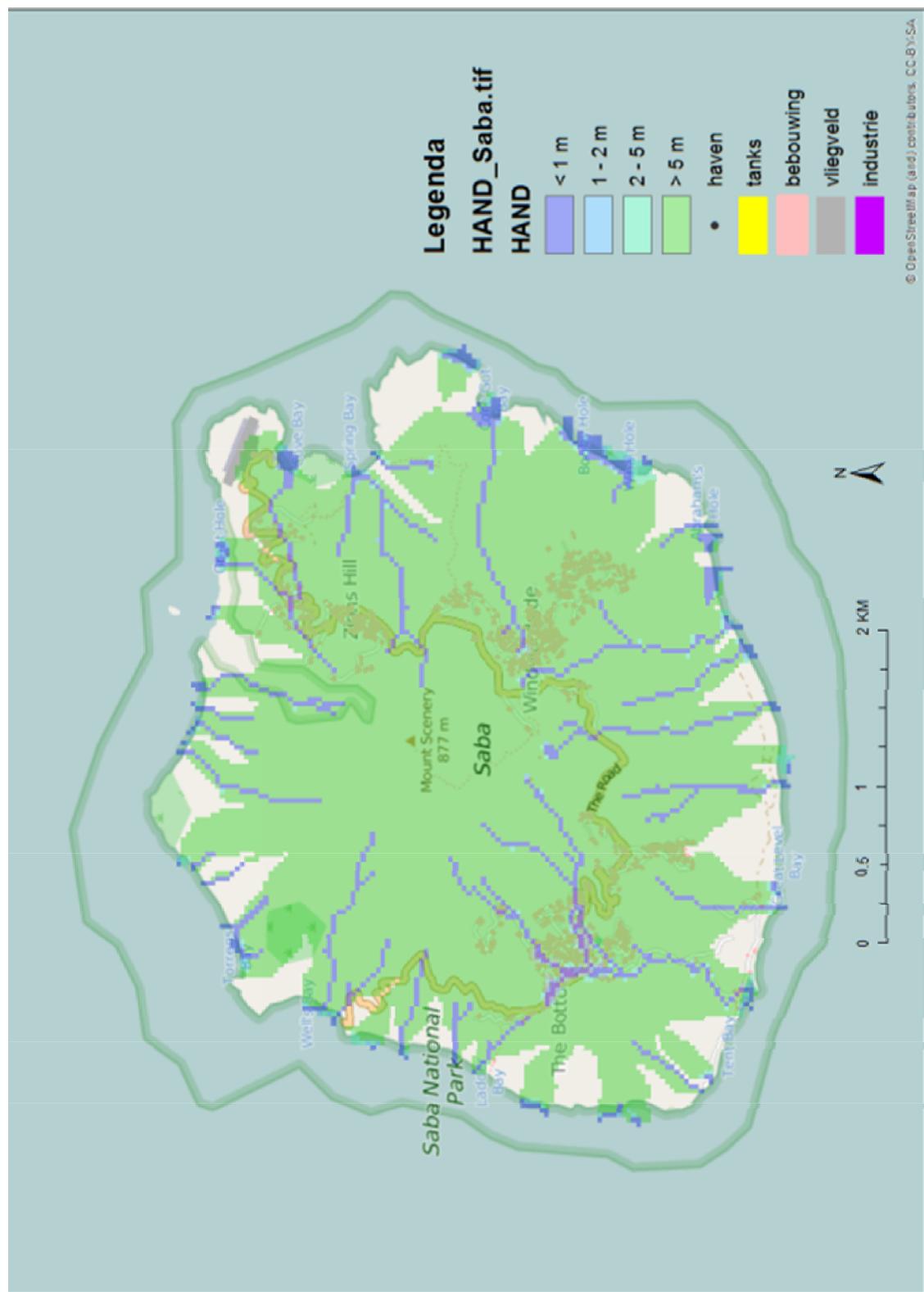
### Bonaire

Het zuiden van Bonaire is redelijk vlak. Volgens de HAND-index (Figuur 20c) zal relatief veel water afstromen naar het zuidelijke deel van het eiland. Aangezien Bonaire veel vlakker is, zal voor een waterdiepte van circa één meter op Bonaire naar verwachting meer neerslag benodigd zijn dan op Saba en St. Eustatius. De laatste jaren heet een sterke gebiedsontwikkeling plaatsgevonden op Bonaire. Hierbij worden ook delen van Bonaire bebouwd die een belangrijke functie hebben bij de afvoer van regenwater. Hier wordt een risico gezien.<sup>24</sup>

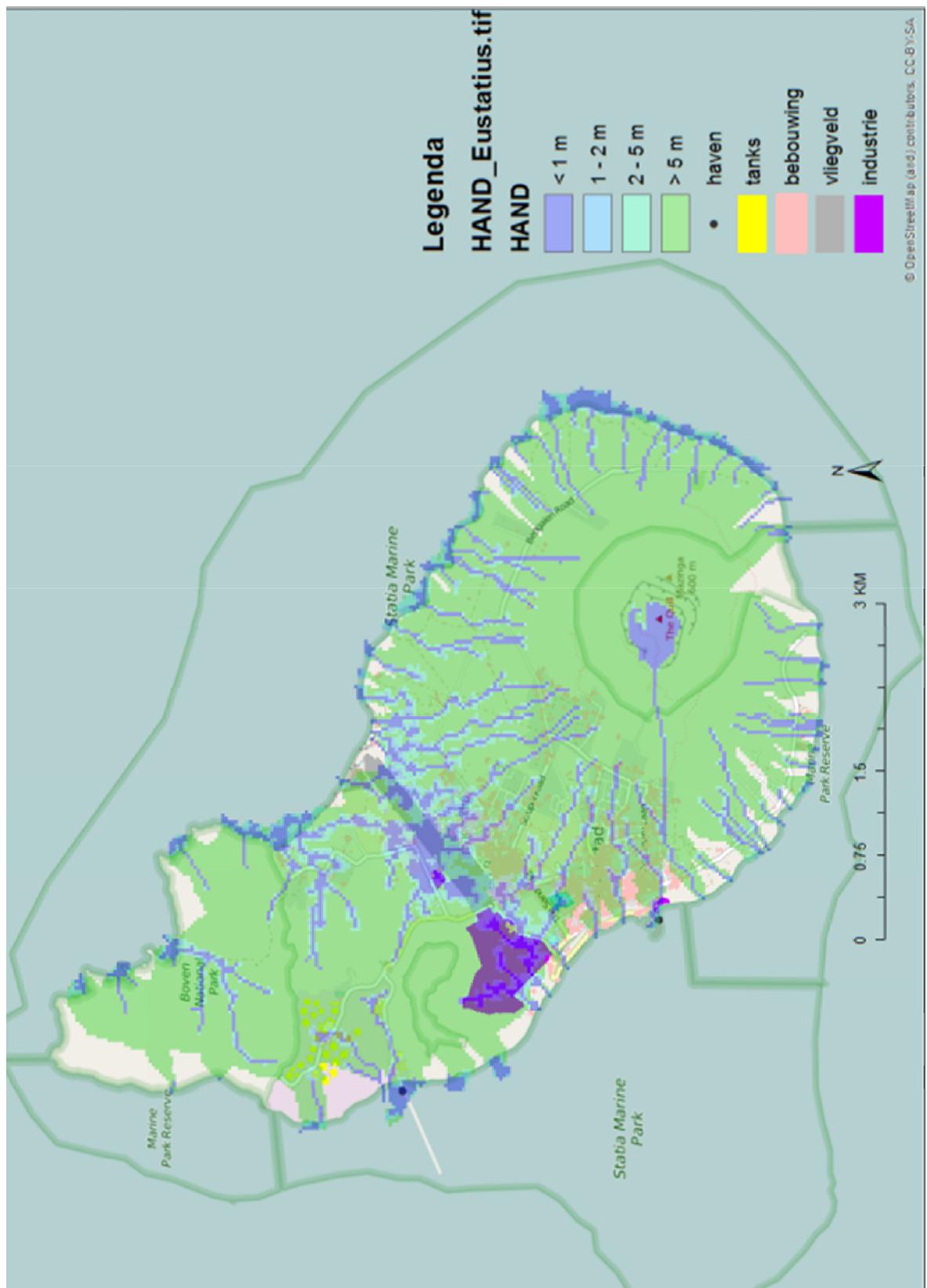
<sup>24</sup> Interview met dhr. Sieben.

	<b>Saba</b>	<b>St. Eustatius</b>	<b>Bonaire</b>
Bewoning	The Bottom mogelijk kwetsbaar	Oranjestad en Lower Town mogelijk kwetsbaar	Relatief vlak gelegen, waardoor gebieden niet sterk op elkaar afwateren.
Vliegveld	Geen grote impact verwacht	Mogelijk kwetsbaar i.v.m. ligging op 'cultuurvlakte'	Geen grote impact verwacht
Olieterminal	-	NuStar: geen grote impact verwacht	BOPEC: geen grote impact verwacht
Overige aanwezige (vitale) infrastructuur	Kwetsbaar: - Haven - Drinkwaterfabriek Gelegen onderaan helling en daarom in potentie kwetsbaar.	Kwetsbaar: - Haven - Drinkwater- en elektriciteitsfabriek Gelegen onderaan helling en daarom in potentie kwetsbaar.	Neerslag heeft naar verwachting geen / beperkte impact op vitale infrastructuur.
Natuur en toerisme	Havenvoorzieningen mogelijk kwetsbaar i.v.m. zandafschuivingen .	Voorzieningen toerisme geconcentreerd in Lower Town: kwetsbaar door de kliferosie.	Geen grote impact verwacht.

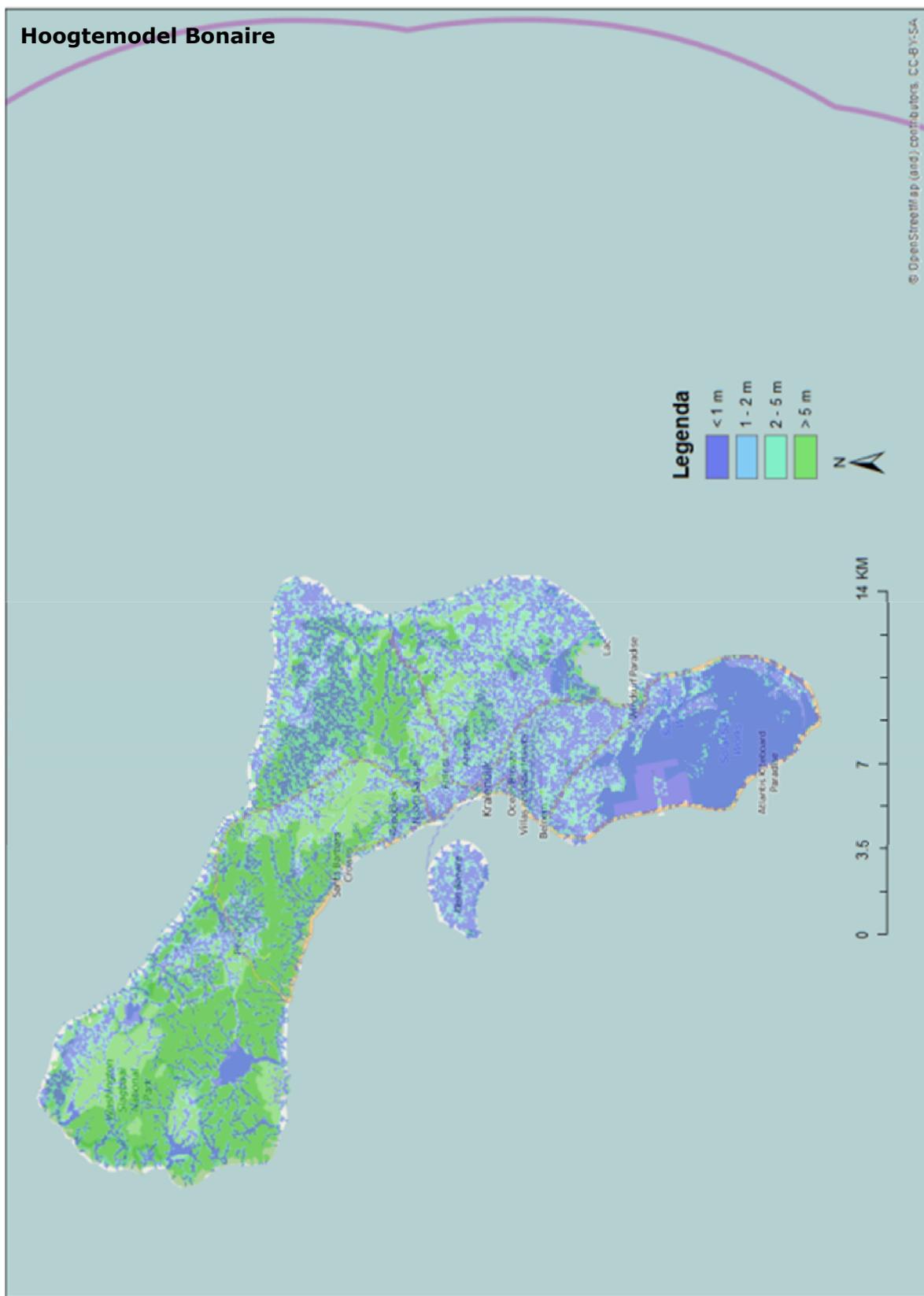
Tabel 7: *Impact van overstromingen door hevige neerslag op basis van hoogteligging voor Saba, St. Eustatius en Bonaire.*



Figuur 20a: Hoogtemodel Saba tbv impactanalyse overstroming hevige neerslag.



Figuur 20b: Hoogtemodel St. Eustatius t.b.v. impactanalyse overstroming hevige neerslag.



Figuur 20c: Hoogtemodel Bonaire tbv impactanalyse overstroming hevige neerslag.

## 4.4 Conclusies t.a.v. extreme neerslag

- Er zijn nog onvoldoende gegevens beschikbaar over extreme neerslag en kans van voorkomen hierop. Het KNMI is een project gestart om neerslaggegevens uit digitale en hardcopy bestanden te verzamelen. Dit project loopt ongeveer 2 jaar. Mogelijk dat met die gegevens in de nabije toekomst meer inzicht kan worden verkregen in de kans op extreme neerslag en overstromingen.
- Voor de drie eilanden zijn geen specifieke voorbeelden bekend van overstromingen door hevige neerslag met grote gevolgen. Op de eilanden Saba en St. Eustatius is vanwege heuvel/bergachtig terrein wel potentie voor optreden van flash floods en mud slides. Dit geldt ook voor het noorden van Bonaire, maar daar is weinig bewoning.
- Als mogelijk kwetsbaar worden beschouwd (o.b.v. de HAND-index):
  - Saba: The Bottom, de haven en drinkwaterfabriek en de elektriciteitscentrale (mogelijk flash floods en modderstromen);
  - St. Eustatius: Oranjestad, Lower Town, vliegveld, haven, elektriciteits- en drinkwaterfabriek en delen van de olieterminal (mogelijk flash floods en modderstromen);
  - Bonaire: het midden en zuidelijk deel van het eiland is relatief kwetsbaar (gebied rond Kralendijk) voor wateroverlast.



## 5 Overstromingsrisicoprofiel en overlijdensrisico

### 5.1 Risicoprofielen CN uit eerdere studie

Voor Saba, St. Eustatius en Bonaire zijn in 2012/2013 risicoprofielen opgesteld die inzicht geven in de aanwezige risico's voor elk eiland (Risicoprofiel Saba, 2013; St. Eustatius, 2012; Bonaire, 2013). Deze risicoprofielen zijn opgesteld in werksessies met diverse experts en deskundigen betrokken bij de crisisbeheersing, onder begeleiding van Veiligheidsregio Haaglanden (VRH). Er is een selectie gemaakt van een aantal relevante ramptypen. Deze ramptypen zijn vervolgens beoordeeld op impact en waarschijnlijkheid aan de hand van een scenario. Uit een telefonisch interview<sup>25</sup> met VRH blijkt het volgende:

- Per eiland is een workshop georganiseerd, met deelname van (lokale) experts en Nederlanders die daar waren/zijn gestationeerd zoals de marechaussee, douane en veiligheidscoördinatoren van bedrijven. Deze experts zijn te vergelijken met ambtenaren crisisbestrijding. Op CN zijn geen waterveiligheidsexperts aanwezig.
- Voor het opstellen van de risicoprofielen is de NRB-methode in vereenvoudigde vorm toegepast (zie onderstaand kader voor de NRB-methode). Kansen zijn ingeschat op basis van beelden en belevingen bij deelnemers. Haaglanden heeft meer vertrouwen in de beoordeling van de impact dan de beoordeling van kansen. Dit omdat er meer ervaring is met calamiteiten en incidenten en hoe daarmee om te gaan. Zo valt op CN 'geregeld' de stroom uit. Veel mensen hebben een aggregaat, of trekken een stroomdraad naar een buurman die er één heeft. Ook de olieterminal kan het eiland tijdelijk van stroom voorzien. In Europees Nederland is hiermee minder ervaring.

Onderstaand kader geeft een beknopte beschrijving van de methode die in de Nationale Risicobeoordeling in Europees Nederland wordt toegepast.

#### **Methode Nationale Risico Beproedeling (PNV, 2008)**

##### *Waarschijnlijkheid*

In het risicoprofiel wordt de waarschijnlijkheid ingedeeld in vijf klassen. Opeenvolgende klassen verschillen een factor 10 in waarschijnlijkheid. Deze indeling in waarschijnlijkheidsklassen kan ook voor Caribisch Nederland worden toegepast.

Waarschijnlijkheidsklasse	Kans van voorkomen [%]	kans [per jaar]
zeer onwaarschijnlijk	< 0,05	< 1/2000
onwaarschijnlijk	0,05 - 0,5	1/200 – 1/2000
mogelijk	0,5 – 5	1/20 – 1/200
waarschijnlijk	5 – 50	1/2- 1/20
zeer waarschijnlijk	50 – 100	1/1 – 1/2

Tabel 8: Klasse-indeling voor de beoordeling van de waarschijnlijkheid in het risicoprofiel.

##### *Impact*

De impact is eveneens ingedeeld in vijf klassen: beperkt gevolg, aanzienlijk gevolg, ernstig gevolg, zeer ernstig gevolg, catastrofaal gevolg. De impact wordt bepaald door voor tien criteria een inschatting te

<sup>25</sup> Uit verslag van telefoongesprek tussen de opdrachtgever en VRH op 23-8-2016.

maken van de verwachte effecten. Vervolgens worden de afzonderlijke impactscores geaggregeerd tot een gezamenlijke impactscore.

Territoriale veiligheid	1.Aantasting van de integriteit van het grondgebied 2. Aantasting van de integriteit van de internationale positie van Nederland
Fysieke veiligheid	3.Doden 4. Ernstig gewonden en chronisch zieken 5. Gebrek aan primaire levensbehoeften
Economische veiligheid	6. Kosten
Ecologische veiligheid	7. Langdurige aantasting van het milieu en natuur (flora en fauna)
Sociale en politieke stabilitet	8. Verstoring van het dagelijks leven 9. Aantasting democratische rechtstaat 10. Sociaal psychologisch impact: woede en angst

Tabel 9: Tien criteria voor de beoordeling van de impact in het risicoprofiel.

In Bijlage F zijn de risicoprofielen die in 2012/2013 per eiland zijn gemaakt opgenomen. In het risicoprofiel is op de horizontale as de kans weergegeven, in klassen van waarschijnlijkheid (Zie Tabel 8). Op de verticale as is de impact weergegeven in klassen van beperkte impact tot catastrofale impact. Voor de crisistypen tropische storm/orkaan en aardverschuiving is de risicobeoordeling opgenomen in Tabel 10. Het valt hierbij op dat de waarschijnlijkheidsklasse die is toegekend aan tropische storm/orkaan op Saba en St. Eustatius verschilt. Op basis van de beschrijving in paragraaf 3.2.1 zouden we verwachten dat de waarschijnlijkheid op deze eilanden gelijk is. Dat kan mogelijk verklaard worden doordat 1) bij het opstellen van het risicoprofiel van Saba en St. Eustatius verschillende experts betrokken waren waardoor de expert judgment verschilt en 2) er mogelijk verschillende scenariobeschrijvingen zijn gebruikt. VRH onderschrijft dat het gebruik van verschillende scenario's kan leiden tot verschillen in beoordelingen.

	Waarschijnlijkheid	Impact
<b>Crisistype tropische storm/orkaan</b>		
Saba	Zeer waarschijnlijk	Zeer ernstig
St. Eustatius	Waarschijnlijk	Zeer ernstig
Bonaire	Mogelijk	Zeer ernstig
<b>Crisistype aardverschuiving</b>		
Saba	onwaarschijnlijk - mogelijk	Zeer ernstig
St Eustatius	Niet beschouwd	Niet beschouwd
Bonaire	Niet beschouwd	Niet beschouwd

Tabel 10: Risicobeoordeling crisistype tropische storm/orkaan en aardverschuiving voor Saba, St. Eustatius en Bonaire.

## 5.2 Aangescherpt overstromingsrisicoprofiel

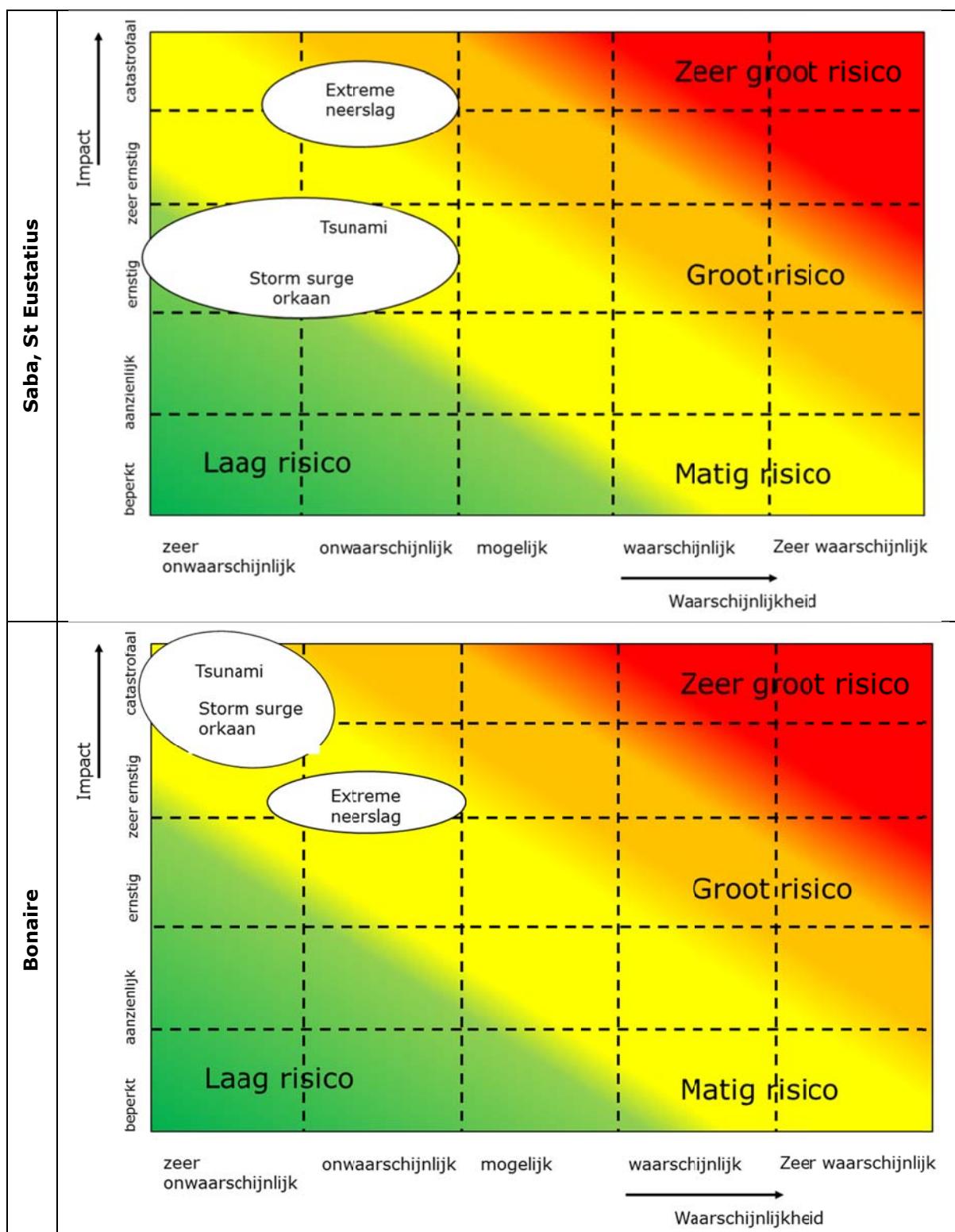
In deze voorliggende studie scherpen we de risicoprofielen van Bijlage F aan voor overstromingen vanuit zee en overstromingen door extreme regenvval. Ook in deze studie passen we de NRB-methode in vereenvoudigde vorm toe. We maken hierbij vanzelfsprekend wel gebruik van de verzamelde gegevens t.a.v. de kans en impact uit de hoofdstukken 3 en 4.

Voor de inschatting van de kans (waarschijnlijkheid) sluiten we direct aan bij de methode uit de Nationale Risicobeoordeling. Voor de beoordeling van de impact is de NRB-methode te fijnmazig. We passen daarom een vereenvoudigde indeling in impactcriteria en impactklassen toe, zoals weergegeven in Tabel 11. Hierbij vertalen we de procentklassen voor fysieke veiligheid naar getroffen mensen, voor de economische veiligheid naar getroffen bedrijven, en voor de ecologische veiligheid naar getroffen natuurgebieden die onherstelbaar beschadigd raken. De criteria territoriale veiligheid (1 en 2) en aantasting van de democratische rechtstaat (9) zijn buiten beschouwing gelaten (zie het kader in paragraaf 5.1).

<b>Impactklasse</b>	<b>Beschrijving</b>
beperkt gevolg	< 5% wordt getroffen
aanzienlijk gevolg	5-10% wordt getroffen
ernstig gevolg	10 -25% wordt getroffen
zeer ernstig gevolg	25- 50% wordt getroffen
catastrofaal gevolg	> 50% wordt getroffen

Tabel 11: Indeling impactklasse risicoprofiel voor toepassing Saba, St Eustatius en Bonaire.

Figuur 21 presenteert het resulterende overstromingsrisicoprofiel voor Saba, St. Eustatius en Bonaire. Hierin is onderscheid tussen een overstroming vanuit zee en extreme neerslag. Bij overstromingen vanuit zee zijn een tsunami en orkaan apart benoemd. De paragrafen 0 en 5.2.2 bevatten de onderbouwing.



Figuur 21: Overstromingsrisicoprofiel Saba, St Eustatius Bonaire, conform regionale risicoprofiel.

## 5.2.1 Overstroming vanuit zee

### Waarschijnlijkheid

In 1755 vond een tsunami plaats waardoor het gebied waarin Saba en St. Eustatius liggen werd getroffen. Andere tsunami's zijn niet bekend. Op Bonaire zijn wel indicaties voor een tsunami die ongeveer 3300 jaar geleden heeft plaatsgevonden.

De kans dat Bonaire wordt getroffen door een orkaan van de categorie S1, S2 of S3 ligt in de klasse 'mogelijk', voor een orkaan van categorie S4 en S5 is dit klasse 'onwaarschijnlijk' (zie Tabel 3). Voor St. Eustatius of Saba is de klasse voor een S1,S2 of S3 storm 'waarschijnlijk' en voor een S4 of S5 storm 'mogelijk'. Hierbij wordt opgemerkt dat deze kansen betrekking hebben op het passeren van een orkaan binnen een afstand van  $\approx$  140 km. Er zijn geen orkanen bekend die in de afgelopen paar honderd jaar (sinds de 16<sup>de</sup>/17<sup>de</sup> eeuw) hebben geleid tot overstromingen vanuit zee op de (voormalige) Nederlandse Antillen.<sup>26</sup>

We schatten de kans op overstromingen vanuit zee als gevolg van een tsunami of orkaan van St. Eustatius en Saba daarom in als onwaarschijnlijk (kans 1/200 - 1/2000 per jaar) en op Bonaire als zeer onwaarschijnlijk (<1/2000 per jaar), zie Tabel 12.

Kans overstroming uit zee	kans [per jaar]	Saba/St. Eustatius	Bonaire
zeer onwaarschijnlijk	< 1/2000		x
onwaarschijnlijk	1/200 – 1/2000	x	
mogelijk	1/20 – 1/200		
waarschijnlijk	1/2- 1/20		
zeer waarschijnlijk	1/1 – 1/2		

Tabel 12: Waarschijnlijkheid overstroming vanuit zee.

### Impact

Tabel 13 geeft een overzicht van de verwachte impact van overstromingen vanuit zee in Caribisch Nederland voor de verschillende criteria. Op de eilanden Saba en St. Eustatius is vanwege de hoogteligging van de eilanden, de bewoning en de bedrijvigheid geen hoge impact te verwachten in de zin dat grote delen van het eiland kunnen overstromen. Het slachtofferrisico (doden en gewonden) in de bewoonde gebieden is 'beperkt', omdat daarvoor golven van meer dan 40 meter moeten optreden. Dergelijke golfhoogten worden onmogelijk geacht. De schade concentreert zich dus vooral in laag gelegen gebieden. Er kan schade aan natuurgebieden en archeologisch erfgoed optreden. De natuurgebieden en archeologisch erfgoed zijn een belangrijke trekpleister voor toeristen, welke weer belangrijk zijn voor de economie van de eilanden. Op St. Eustatius zijn de lager gelegen delen van de olieterminal NuStar mogelijk kwetsbaar voor een tsunami (delen van de terminal liggen op 20 meter hoogte) of een stormvloed (voorzieningen zoals de pier en pijpleidingen direct op en aan zee). Ook de havengebieden kunnen overstromen. Dit kan voor de eilanden grote gevolgen hebben. Op Saba is de drinkwatervoorziening in de haven gevestigd en op St. Eustatius zowel de drinkwater- als de elektriciteitsvoorziening. Voor Saba en St. Eustatius is daarom de impactklasse 'ernstig' toegekend.

<sup>26</sup> In 1780 werd St. Eustatius getroffen door de grote orkaan met duizenden doden tot gevolg. Het is echter onbekend of de doden werden veroorzaakt door de storm, een overstroming vanuit zee of door extreme neerslag (i.c.m. flash floods of mudslides).

Bonaire is relatief laag gelegen. Een overstroming vanuit zee, met name vanuit de westkant van het eiland, heeft een potentieel grote impact op Kralendijk. In Kralendijk woont circa 75% van de bevolking. Bij een overstroming vanuit het westen kunnen de gevolgen daarom zeer ernstig tot catastrofaal zijn. Er is echter weinig bekend over de golfhoogten die optreden en de kans van voorkomen van een overstroming aan de westzijde van het eiland.

Categorie	Criterium	Saba & St Eustatius	Bonaire
Fysieke veiligheid	Doden Ernstig gewonden en chronisch zieken Gebrek aan primaire levensbehoeften	Beperkt Beperkt Ernstig	Aanzienlijk Zeer ernstig Zeer ernstig
Economische veiligheid	Kosten	Ernstig	Zeer ernstig
Ecologische veiligheid	Langdurige aantasting van het milieu en natuur (flora en fauna)	Ernstig	Zeer ernstig
Sociale en politieke stabiliteit	Verstoring van het dagelijks leven Sociaal psychologisch impact: woede en angst	Ernstig Ernstig	Zeer ernstig Zeer ernstig

Tabel 13: Impact overstroming vanuit zee.

## 5.2.2 Overstroming als gevolg van extreme neerslag

### Waarschijnlijkheid

Zoals eerder aangegeven is er te weinig informatie beschikbaar om te bepalen wat de hoeveelheden en frequentie van extreme neerslag zijn. Van de eilanden zelf zijn geen gegevens gevonden van overstromingen of mud slides door extreme neerslag. Op andere eilanden in het Caribisch gebied zijn hiervan wel enkele voorbeelden gevonden (zie paragraaf 4.2). We schatten de kans op overstromingen als gevolg van neerslag (eventueel gevolgd door flash floods of mud slides) daarom in als 'onwaarschijnlijk' voor alle eilanden (kans 1/200 - 1/2000 per jaar), zie Tabel 14.

Kans overstroming door neerslag	kans [per jaar]	Saba/St. Eustatius	Bonaire
zeer onwaarschijnlijk	< 1/2000		
onwaarschijnlijk	1/200 - 1/2000	x	x
mogelijk	1/20 - 1/200		
waarschijnlijk	1/2 - 1/20		
zeer waarschijnlijk	1/1 - 1/2		

Tabel 14: Waarschijnlijkheid overstroming als gevolg van extreme neerslag.

### Impact

Tabel 15 geeft een overzicht van de verwachte impact van overstromingen bij extreme neerslag. Voor de drie eilanden zijn geen specifieke voorbeelden bekend van overstromingen door hevige neerslag met grote gevolgen. Op de eilanden Saba en St. Eustatius is vanwege heuvel/bergachtig terrein wel potentie voor optreden van flash floods of mud slides. Bij extreme neerslag lijkt de hoofdstad The Bottom in potentie kwetsbaar. Dit geldt ook voor delen van de Oranjestad op St. Eustatius. Als er werkelijk delen van deze steden overstromen of een

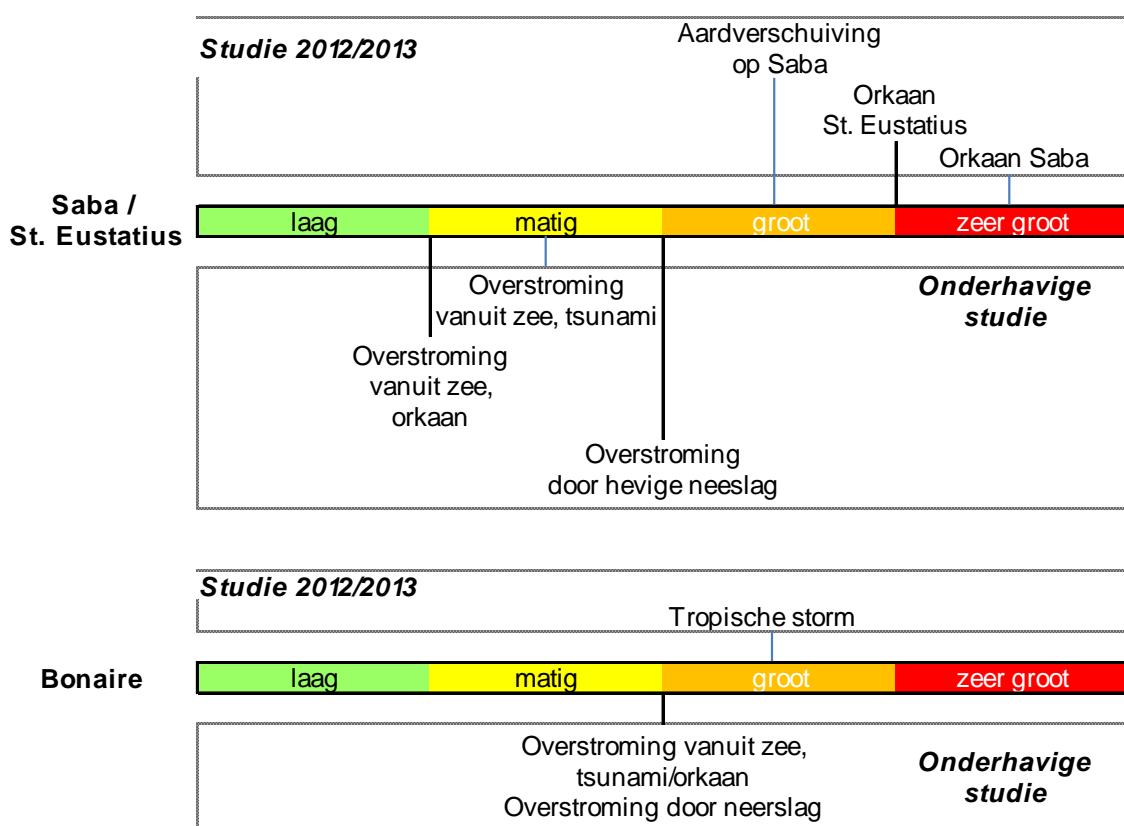
modderstroom optreedt, is de impact 'ernstig' tot 'zeer ernstig'. Ook in het noorden van Bonaire, kunnen flash floods en mud slides optreden, maar daar is weinig bewoning. In geval van extreme neerslag kunnen delen van Kralendijk overstroomen, waarbij de gevolgen als 'ernstig' worden ingeschat.

Categorie	Criterium	Saba & St Eustatius	Bonaire
Fysieke veiligheid	Doden Ernstig gewonden en chronisch zieken Gebrek aan primaire levensbehoeften	Ernstig Ernstig Ernstig	Aanzienlijk Ernstig Ernstig
Economische veiligheid	Kosten	Zeer ernstig	Ernstig
Ecologische veiligheid	Langdurige aantasting van het milieu en natuur (flora en fauna)	Beperkt	Beperkt
Sociale en politieke stabiliteit	Verstoring van het dagelijks leven Sociaal psychologisch impact: woede en angst	Zeer ernstig Zeer ernstig	Ernstig Ernstig

Tabel 15: Waarschijnlijkheid overstoming als gevolg van extreme neerslag

### 5.2.3 Vergelijking tussen beide studies

Figuur 22 vergelijkt de risicoprofielen voor CN uit de 2012/2013 studie (tropische storm, orkaan, aardverschuiving) met het aangescherpte risicoprofielen voor overstomingen uit zee (orkaan, tsunami) en als gevolg van extreme neerslag uit de onderhavige studie.



Figuur 22: Vergelijking risicoprofielen tussen de studie uit 2012/2013 en de onderhavige studie.

Deze vergelijking laat zien dat de risico's op overstromingen uit de onderhavige studie lager worden ingeschat dan de risico's van tropische stormen, orkanen, en aardverschuivingen uit de eerdere studie. Dit heeft met name te maken met de inschattingen voor de kans van deze events. Hoewel de kans op tropische stormen (Bonaire) en orkanen (Saba en St. Eustatius) zeer aanwezig is, is de kans op een overstroming ten gevolge van deze events veel kleiner.

Een tweede constatering is dat in beide studies kwalitatieve inschattingen zijn gemaakt op basis van expert judgment. De beoordeling hangt sterk af van het scenario dat wordt beschouwd. In de 2012/2013 is de impact van tropische stormen, orkanen en aardverschuivingen als 'zeer ernstig' beoordeeld. Maar het is niet duidelijk op basis van welke van de tien impactcriteria dat oordeel tot stand is gekomen. In de onderhavige studie is een inschatting van de impact gemaakt voor een aantal criteria uit de NRB-methode. Door deze verschillen in de kwalitatieve benaderingswijze tussen beide studies is met name de beoordeling van de impact moeilijk vergelijkbaar.

Hieronder volgen nog een aantal specifieke constateringen per ramptype.

### **Overstroming vanuit zee**

Als we de resultaten van het overstromingsrisicoprofiel van een overstroming vanuit zee vergelijken met het overstromingsrisicoprofiel dat in 2012/2013 per eiland is opgesteld (Bijlage F), zien we:

- Een overstroming vanuit zee is in het overstromingsrisicoprofiel van 2012/2013 niet opgenomen. Wel is het ramptype orkaan opgenomen<sup>27</sup>.
- Bij het ramptype orkaan is de toekenning van de waarschijnlijkheidsklasse anders. In de onderhavige studie is de indeling in waarschijnlijkheidsklassen gebaseerd op de gegevens van Tabel 3, welke zijn gekoppeld aan de waarschijnlijkheidsklassen van de NRB-systematiek.
- De impactklasse die is toegekend aan een overstroming vanuit zee op Saba en St. Eustatius is lager ('ernstig') dan de impactklasse die in 2012/2013 is toegekend aan het ramptype orkaan ('zeer ernstig'). Reden hiervoor is dat we in de onderhavige studie sec de impact van een overstroming beschouwen, en niet de schade die ontstaat door een orkaan zelf. Bij overstromingen vanuit zee verwachten we op Saba en St. Eustatius alleen schade in de kuststrook en haven. Orkanen kunnen schade op het gehele eiland veroorzaken. Omdat Bonaire laag ligt beoordelen we de impact van een overstroming als 'zeer ernstig'. In de 2012/2013 studie is voor Bonaire dezelfde impactscore toegekend aan het risico van een tropische storm.

### **Overstroming door extreme neerslag**

Als we de resultaten van het overstromingsrisicoprofiel van extreme neerslag vergelijken met het risicoprofiel dat in 2012/2013 per eiland is opgesteld (Bijlage F), zien we:

- Een overstroming door extreme neerslag is in 2012/2013 in geen enkel risicoprofiel opgenomen.
- Alleen in het risicoprofiel van Saba is het scenario van een mud slide opgenomen (aardverschuiving). Het scenario heeft een waarschijnlijkheidsklasse van 'onwaarschijnlijk – mogelijk' en een impactklasse van 'zeer ernstig'.

<sup>27</sup> In de 2012/2013 studie is ook het risico 'vulkaan' opgenomen, maar dit betreft een mogelijke vulkaanuitbarsting op het eiland zelf, en niet in zee (waardoor een tsunami zou kunnen optreden).

Deze klassen komen overeen met wat we in deze studie toekennen aan een mud slide op Saba. In de onderhavige studie hebben we mud slides bovendien opgenomen in het risicoprofiel van St. Eustatius en Bonaire.

## 5.3 Overlijdensrisico en basisveiligheid

In Europees Nederland geldt per 1 januari 2017 een nieuw criterium voor de bescherming tegen overstromingen: basisveiligheid. Basisveiligheid betekent dat de jaarlijkse kans om te overlijden als gevolg van een overstroming op een bepaalde locatie ten hoogste 1 op 100.000 per jaar mag zijn. Anders gezegd, aan basisveiligheid wordt voldaan wanneer het overlijdensrisico als gevolg van overstromingen kleiner is dan 0,001% per jaar. In het Nederlandse waterbeheer is dit getal bekend als 1E-5. Basisveiligheid geeft daarmee ook de grens aan van wat we acceptabel achten.

In Europees Nederland geldt basisveiligheid alleen voor gebieden die beschermd worden door primaire waterkeringen. De gebiedstypologie in Caribisch Nederland is anders. Immers, de eilanden worden niet beschermd met waterkeringen omdat ze over het algemeen hoger liggen dan de kustgebieden in Europees Nederland. Ondanks het verschil in gebiedskenmerken kan het criterium basisveiligheid wel worden gehanteerd. Het is een manier het risico op overlijden als gevolg van een overstroming in beeld te brengen en te vergelijken met een acceptatielijngrens (1/100.000 per jaar) of om gebieden/locaties onderling te vergelijken. In deze paragraaf bezien we de waterveiligheid in Caribisch Nederland door deze bril.

### 5.3.1 Het criterium basisveiligheid

Het overlijdensrisico wordt technisch gezien het LIR genoemd: het Lokaal Individueel Risico. Om aan basisveiligheid te voldoen moet dus gelden:  $LIR < 1/100.000$  per jaar. Het LIR is afhankelijk van:

- de kans op een overstroming;
- de mortaliteit: de kans op overlijden gegeven een overstroming op een bepaalde locatie;
- de evacuatie: de kans dat mensen tijdig gewaarschuwd zijn en naar een veilige locatie evacueren.

Dit zijn dus tevens de drie ‘knoppen’ waaraan gedraaid kan worden om het overlijdensrisico te beperken. De kans op een overstroming kan worden verkleind door waterkeringen aan te leggen, te verhogen en te versterken. De mortaliteit kan worden verkleind door in de ruimtelijke inrichting rekening te houden met overstromingen (locatiekeuze van woningen, overstromingsbestendig bouwen, terpen, etc.). Het resultaat van een evacuatie kan worden verbeterd door monitoring, waarschuwing en besluitvorming te verbeteren (rampenplannen en oefeningen), en door het risicobewustzijn van mensen te vergroten en voorbereidingsgedrag te stimuleren.

In Europees Nederland wordt het overlijdensrisico bepaald met modellen (kansen op bepaalde overstromingsscenario’s en waterdiepten, mortaliteiten en evacuatiefracties). Omdat deze modellen en de benodigde invoergegevens voor Caribisch Nederland niet beschikbaar zijn, passen we een eenvoudige benadering toe waarmee we een bandbreedte voor het overlijdensrisico inschatten. Deze bandbreedte kan gezien worden als een expertoordeel. We verwachten dat het werkelijke overlijdensrisico zich binnen deze bandbreedte bevindt.

### 5.3.2 Overstroming vanuit zee

Om de bandbreedte in te schatten, maken we onderscheid tussen een ‘gunstig scenario’ en een ‘ongunstig scenario’.

#### Gunstig scenario

We denken aan een orkaan of tsunami die tot een overstroming met beperkte waterdiepte leidt van enkele decimeters tot een meter, waaraan een tijdige waarschuwing vooraf gaat:

- Overstromingskans: in het gunstige scenario nemen we de ondergrens van de klasse uit paragraaf 0 (de kleinste kans);
- Mortaliteit: we hanteren 1%, wat een gangbaar criterium is bij overstromingen (Jonkman, 2008);
- Evacuatie: het grote merendeel (90%) van de mensen in het bedreigde gebied is tijdig gewaarschuwd en brengt zichzelf in veiligheid.

#### Ongunstig scenario

We denken aan een orkaan of tsunami die tot een overstroming leidt met een diepte van één of meerdere meters, en die zich tamelijk onverwacht en plotseling aandient:

- Overstromingskans: in het ongunstige scenario nemen we de boven grens van de klasse uit paragraaf 0 (de grootste kans);
- Mortaliteit: we hanteren 10%, waarmee we aannemen dat de kans op overlijden 10 keer groter is dan in het gunstige scenario;
- Evacuatie: een klein deel (10%) van de mensen in het bedreigde gebied is tijdig gewaarschuwd en brengt zichzelf in veiligheid.

#### Resultaten

Tabel 16 toont de resultaten. Voor Saba/St. Eustatius geldt dat in het ongunstige scenario het overlijdensrisico groter is dan basisveiligheid (factor 50 onveiliger). In het gunstige scenario wordt wel voldaan aan basisveiligheid (factor 20 veiliger). Hierbij merken we op dat dit alleen betrekking heeft op de kuststrook. In kuststrook wonen geen mensen, er werken wel mensen (bv., de haven, industrie) en op St. Eustatius staan hotels in Lower Town direct aan het water.<sup>28</sup> Op Saba/St. Eustatius ligt alle permanente bewoning in hoger gelegen delen, buiten het bereik van overstromingen vanuit zee.

Op Bonaire ligt het overlijdensrisico in het ongunstige scenario rond basisveiligheid. In het gunstige scenario wordt basisveiligheid ruim gehaald. Het is van belang om op te merken dat dit overlijdensrisico op Bonaire (in tegenstelling tot Saba en St. Eustatius) wel betrekking heeft op bewoonde gebieden.

	Saba en St. Eustatius		Bonaire	
	Ongunstig	Gunstig	Ongunstig	Gunstig
Overstromingskans	1/200	1/2.000	1/2.000	1/10.000
Mortaliteit	0,1	0,01	0,1	0,01
Evacuatie	0,1	0,9	0,1	0,9
Overlijdensrisico	4,5 E-04	5,0 E-07	4,5 E-05	1,0 E-07

Tabel 16: *Inschatting overlijdensrisico voor Saba, St Eustatius en Bonaire voor een overstroming vanuit zee voor een gunstig en ongunstig scenario.*

<sup>28</sup> N.B.: in Europees Nederland is de directe strook langs de kust vaak buitendijks gebied, waar basisveiligheid niet van toepassing is.

### 5.3.3 Overstroming als gevolg van extreme neerslag

Ook voor een inschatting van het overlijdensrisico als gevolg van neerslag maken we onderscheid in een 'gunstig scenario' en een 'ongunstig scenario'.

#### Gunstig scenario

We denken aan neerslag als gevolg van een orkaan die op enkele tientallen mijlen passeert zoals Lenny in 1999 en Tomas in 2010. In beide gevallen vielen enkele doden (Lenny, 3 doden op Sint Maarten; Tomas, 2 doden op Curaçao). Op Bonaire leidt de neerslag tot een overstroming met beperkte diepte van enkele decimeters tot een meter, waaraan een tijdige waarschuwing vooraf gaat:

- Overstromingskans: in het gunstige scenario nemen we de ondergrens van de klasse uit paragraaf 0 (de kleinste kans);
- Mortaliteit: op Bonaire hanteren we 1/100.000, qua orde grootte de mortaliteit tijdens de orkanen Tomas en Lenny;
- Evacuatie: het grote merendeel (90%) van de mensen in het bedreigde gebied is tijdig gewaarschuwd en brengt zichzelf in veiligheid.

#### Ongunstig scenario

We denken orkanen die tot grotere hoeveelheden neerslag leiden dan Tomas en Lenny, en die over een periode van meerdere dagen optreden:

- Overstromingskans: in het ongunstige scenario nemen we de boven grens van de klasse uit paragraaf 0 (de grootste kans);
- Mortaliteit: we hanteren 0,1% op Bonaire, waarmee we uitgaan van een mortaliteit die een factor 10 lager is dan over bij overstromingen vanuit zee en rivieren in Nederland; we hanteren 10% op Saba en Sint Eustatius waarmee we uitgaan van een mortaliteit die een factor 10 hoger is dan over bij overstromingen vanuit zee en rivieren in Nederland, omdat we rekening houden met het optreden van flash floods en mud slides;
- Evacuatie: een klein deel (10%) van de mensen in het bedreigde gebied is tijdig gewaarschuwd en brengt zichzelf in veiligheid.

#### Resultaten

Tabel 17 toont de resultaten. Voor Saba/St. Eustatius geldt dat het overlijdensrisico in het ongunstige scenario groter is dan basisveiligheid (factor 50 onveiliger). Dit relatief hoge overlijdensrisico wordt met name veroorzaakt door de relatief grote kans (1/200 per jaar) en de hoge mortaliteit (10%) als gevolg van flash floods en mud slides. Uit de literatuur zijn deze mud slides niet direct bekend, waardoor we aannemen dit ongunstige scenario zich hooguit lokaal manifesteert. In het meer gunstige scenario (geen flash floods en mud slides) wordt basisveiligheid ruim gehaald.

Op Bonaire wordt basisveiligheid in beide scenario's gehaald. Dit komt met name doordat Bonaire relatief vlak is waardoor verondersteld wordt dat flash floods en mud slides niet kunnen optreden.

	Saba en St. Eustatius		Bonaire	
	Ongunstig	Gunstig	Ongunstig	Gunstig
Overstromingskans	1/200	1/2000	1/200	1/2000
Mortaliteit	0,1	0,00001	0,001	0,00001
Evacuatie	0,1	0,9	0,1	0,9
Overlijdensrisico	4,50E-04	5,00E-10	4,50E-06	5,00E-10

Tabel 17: *Inschatting overlijdensrisico voor Saba, St Eustatius en Bonaire voor een overstroming ten gevolge van extreme neerslag voor een gunstig en ongunstig scenario.*

## 5.4 Conclusies

### Overstromingsrisicoprofiel

- De risico's op overstromingen uit de onderhavige studie worden lager ingeschat dan de risico's van tropische stormen, orkanen, en aardverschuivingen uit de eerdere studie uit 2012/2013. Dit komt met name door verschillende inschattingen voor de kans. In de onderhavige studie beschouwen we niet de kans op deze events zelf, maar de kans dat deze events uiteindelijk een overstroming veroorzaken. Hoewel de kans op tropische stormen (Bonaire) en orkanen (Saba en St. Eustatius) zeer aanwezig is, is de kans op een overstroming ten gevolge van deze events veel kleiner.
- Een tweede constatering is dat in beide studies kwalitatieve inschattingen zijn gemaakt op basis van expert judgment. Door deze verschillen in de kwalitatieve benaderingswijze tussen beide studies is met name de beoordeling van de impact moeilijk vergelijkbaar.

### Overlijdensrisico en basisveiligheid

- Saba en St. Eustatius:
  - Overstromingen vanuit zee hebben alleen invloed op de kustzone, waar (vrijwel) geen mensen wonen maar wel toeristen verblijven. In deze kustzone wordt basisveiligheid mogelijk niet gehaald.
  - Wanneer (extreme) neerslag leidt tot flash floods en met name mud slides in bewoond gebieden (zoals The Bottom op Saba, Oranjestad en Lower Town op St. Eustatius), dan wordt basisveiligheid mogelijk niet gehaald.
- Bonaire:
  - Overstromingen vanuit zee invloed op grote delen van het eiland. Wanneer we uitgaan van een relatief grote kans op een overstroming (1/200 per jaar) wordt basisveiligheid mogelijk niet gehaald. Nader onderzoek naar de kans op overstromingen is nodig om hierin meer inzicht te verschaffen.
  - Voor Bonaire vormt extreme neerslag naar verwachting geen substantieel risico op overlijden; basisveiligheid wordt naar verwachting gehaald.
- We adviseren om de overlijdensrisico's beter te kwantificeren. Met name inzicht in de overstromingskansen vanuit zee op Bonaire en de kans op flash floods en mudslides op Saba en St. Eustatius is gewenst.

## 6 Invloed van het klimaat

Het KNMI heeft een eerste scan gemaakt van toekomstige klimaatverandering in CN (temperatuur, neerslag, wind en zeespiegelstijging, zie Bijlage G). De veranderingen hebben betrekking op de periode 2071-2100 met 1981-2010 als referentie. Conclusie uit deze scan is dat door klimaatverandering de overstromingsrisico's in Caribisch Nederland kunnen veranderen:

- Temperatuurstijging heeft een zelfde orde van grootte als in Europees Nederland.
- Wat betreft de neerslag varieert de verandering sterk per model, maar de meeste modellen laten een afname zien. Er zijn zelfs modellen die een reducties geven van 50-70%. Er moet nog onderzocht worden hoe realistisch deze modellen zijn. De hoogste dagelijkse neerslag (van belang voor bijvoorbeeld flash floods) laat slechts een geringe verandering zien. Om beter uitspraken te kunnen doen, is onderzoek gewenst naar het voorkomen van korte zware buien die korter duren dan een dag.
- Stormen worden in CN veroorzaakt door orkanen. Het meest recente onderzoek wijst in de richting van een afname van het aantal orkanen, maar een toename in de kracht van de zwaarste orkanen.
- De verwachte zeespiegelstijging voor CN wijkt niet veel af van het globaal gemiddelde. Afhankelijk van het gekozen scenario, stijgt de zeespiegel tussen de 40-80 cm (W-scenario: sterke opwarming) en 25-60 cm (G-scenario: gemiddelde opwarming).



## 7 Conclusies en aanbevelingen

### 7.1 Overstromingen vanuit zee

- Saba en St. Eustatius hebben een tienmaal grotere kans dan Bonaire om geconfronteerd te worden met orkanen. De kans dat een categorie 5 orkaan binnen een afstand van 140 km passeert, is op Saba en St. Eustatius jaarlijks ongeveer 1/69, en op Bonaire ongeveer 1/600. Van de opgetekende orkanen die teruggaan tot de 16<sup>de</sup> eeuw zijn geen indicaties gevonden voor overstromingen vanuit zee. De kans op een overstroming vanuit zee, als gevolg van een orkaan, is daarom voor alle drie de eilanden van Caribisch Nederland kleiner dan de kans om getroffen te worden door een orkaan.
- In het Caribisch gebied kunnen tsunami's voorkomen. Uit de literatuur zijn de volgende indicaties bekend:
  - Lokale aardbeving: Saba en St. Eustatius liggen dichtbij een grote subductie (onderschuiving) zone, waar aardbevingen een tsunami kunnen veroorzaken;
  - Grote aardbeving veraf: in 1755 veroorzaakte een aardbeving bij Portugal een vloedgolf van 7 meter bij Saba en 4,5 meter bij St. Maarten;
  - Vulkaan uitbarsting in zee: op 8 km ten noorden van Grenada liggen twee vulkanen in zee die mogelijk een tsunami kunnen veroorzaken. Het gevaar hiervan voor verafgelegen eilanden zoals Bonaire, Saba en St. Eustatius is waarschijnlijk beperkt.
  - Zeewaartse landverschuiving/landverschuiving onder het water oppervlak: geen events bekend.Voor Bonaire zijn geen historische gegevens van een tsunami bekend. Wel wijzen sedimentafzettingen op een tsunami meer dan 3300 jaar geleden.
- Doordat modelstudies ontbreken, kunnen de kansen op hydraulische condities (verhoging van de zeespiegel en golven) die optreden direct langs de kusten van de eilanden als gevolg van orkanen en tsunami's niet gekwantificeerd kunnen worden. In 1999 is de haven en een aantal gebouwen van Saba verwoest door hoge golven als gevolg van orkaan Lenny. In 2016 kreeg Bonaire te maken met golven als gevolg van orkaan Matthew, waardoor schade ontstond aan gebouwen langs de kust bij Belhem (ten zuiden van Kralendijk).
- De impact van overstromingen vanuit zee kan (zeer) ernstig zijn. Havengebieden, elektriciteits- en drinkwatervoorzieningen en delen van olieterminals liggen aan zee (de elektriciteitscentrale op Saba ligt hoog en is niet kwetsbaar). Op Saba en St. Eustatius hebben overstromingen vanuit zee alleen invloed op de kustzone, waar weinig tot geen mensen wonen, maar waar wel toeristen verblijven. Bonaire is grotendeels relatief laag gelegen. Een overstroming vanuit zee, met name vanuit de westkant van het eiland heeft een potentieel grote impact op het kustgebied waar zich veel bebouwing bevindt, inclusief de hoofdstad Kralendijk.

### 7.2 Overstromingen door neerslag

- Met ca. 1000 mm per jaar is de jaarlijkse neerslag het hoogst op St. Eustatius, gevolgd door Saba (ca. 750 mm per jaar) en Bonaire (ca. 500 mm per jaar). Tropische stormen en orkanen kunnen gepaard gaan met extreme hoeveelheden neerslag, die soms in dezelfde orde liggen als het jaargemiddelde.

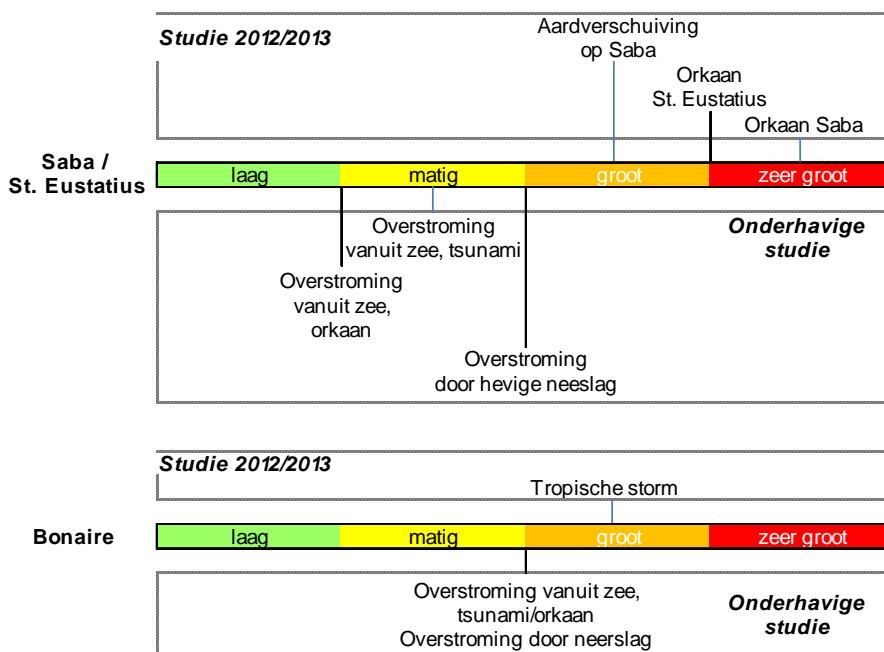
Door het ontbreken van langjarige, hoge-resolutie neerslag tijdreeksen kan de overstromingskans als gevolg van neerslag nu niet nader worden gekwantificeerd. Het KNMI heeft een project opgezet om deze reeksen te generen uit de beschikbare informatie in hardcopy en digitale archieven. Hiermee kan in de nabij toekomst (ongeveer 2 jaar) meer inzicht worden verkregen in de kansen van extreme neerslag.

- Extreme neerslag kan in potentie leiden tot flash floods en mud slides. Bij het haventerrein van Saba vinden regelmatig zandafschuivingen plaats. Op St. Eustatius ligt geregeld uitgerekende bagger op de weg. In de dagen na orkaan Luis in 1995 was volgens mensen op St. Eustatius de haven niet bereikbaar doordat de weg onbegaanbaar was. Orkaan Lenny veroorzaakte in 1999 extreme neerslag en modderstromen op Saba waardoor rotsblokken de wegen versperden naar de haven en het vliegveld. Aanvullende analyse van de natuurlijke afwateringskanalen (o.b.v. de HAND-index) laat zien dat de volgende locaties mogelijk kwetsbaar zijn:
  - Saba: The Bottom, de haven en drinkwaterfabriek en de elektriciteitscentrale (mogelijk flash floods en modderstromen);
  - St. Eustatius: Oranjestad, Lower Town, vliegveld, haven, elektriciteits- en drinkwaterfabriek en delen van de olieterminal (mogelijk flash floods en modderstromen);
  - Bonaire: het midden en zuidelijk deel van het eiland (gebied rond Kralendijk).

## 7.3 Risicobeoordeling en basisveiligheid

### Risicobeoordeling

Op basis van de beschikbare gegevens is een risicobeoordeling gemaakt. Hierbij is gebruik gemaakt van de methode waarmee de veiligheidsregio's in Nederland regionale risicoprofielen opstellen. Onderstaande figuur bevat het resultaat van de beoordeling en maakt een vergelijking met een eerdere risicobeoordeling uit 2012/2013.



- Het risico op overstromingen vanuit zee is in deze studie als volgt beoordeeld:
  - Op Saba en St. Eustatius als 'laag-matig' (orkanen) en 'matig' (tsunami's); en
  - Op Bonaire als 'matig-groot' (orkaan en tsunami's).
- Het risico op overstromingen door extreme neerslag is in deze studie als volgt beoordeeld:
  - Op Saba en St. Eustatius als 'matig-groot'; en
  - Op Bonaire als 'matig-groot'.
- De risico's op overstromingen uit de onderhavige studie worden lager ingeschatt dan de risico's van tropische stormen, orkanen, en aardverschuivingen uit de eerdere studie uit 2012/2013. Dit komt met name door verschillende inschattingen voor de kans. In de onderhavige studie beschouwen we niet de kans op deze events zelf, maar de kans dat deze events uiteindelijk een overstroming veroorzaken. Hoewel de kans op tropische stormen (Bonaire) en orkanen (Saba en St. Eustatius) zeer aanwezig is, is de kans op een overstroming ten gevolge van deze events veel kleiner.

### **Overlijdensrisico en basisveiligheid**

- Saba en St. Eustatius:
  - Overstromingen vanuit zee hebben alleen invloed op de kustzone, waar (vrijwel) geen mensen wonen maar wel toeristen verblijven. In deze kustzone wordt basisveiligheid mogelijk niet gehaald.
  - Wanneer (extreme) neerslag leidt tot flash floods en met name mud slides in bewoond gebieden (zoals The Bottom op Saba, Oranjestad en Lower Town op St. Eustatius), dan wordt basisveiligheid mogelijk niet gehaald.
- Bonaire:
  - Overstromingen vanuit zee invloed op grote delen van het eiland. Wanneer we uitgaan van een relatief grote kans op een overstroming (1/200 per jaar) wordt basisveiligheid mogelijk niet gehaald. Nader onderzoek naar de kans op overstromingen is nodig om hierin meer inzicht te verschaffen.
  - Voor Bonaire vormt extreme neerslag naar verwachting geen substantieel risico op overlijden; basisveiligheid wordt naar verwachting gehaald.

## **7.4 Aanbevelingen**

- In de risicobeoordeling is de overstromingskans de meest onzekere factor. Wanneer basisveiligheid als uitgangspunt wordt genomen voor de beoordeling van overstromingsrisico's, dan is meer inzicht gewenst in overstromingskansen op alle eilanden en het optreden van flash floods en mud slides op Saba en St. Eustatius in het bijzonder om betere uitspraken te kunnen doen.
- Basisveiligheid geldt in Europees Nederland alleen voor binnendijks gebied dat beschermd wordt tegen overstromingen met primaire waterkeringen. Wanneer basisveiligheid in Caribisch Nederland wordt toegepast, is een beschouwing nodig op de gebieden waarvoor basisveiligheid zou kunnen gelden (op de drie eilanden er zijn geen waterkeringen aanwezig).

- Advies is om voor de laag gelegen delen van de eilanden na gaan of en in welke mate de vitale voorzieningen, zoals de elektriciteits- en drinkwatervoorziening en olieterminals, risico lopen en waar mogelijk verbetermaatregelen op te stellen. Hierbij kan gebruik worden gemaakt van reeds uitgevoerde onderzoeken naar de vitale infrastructuur in Caribisch Nederland.

## 8 Referenties

- Brandsma, T., 2016. Overstromingsrisico's Caribisch Nederland, KNMI, memorandum versie 1 dd 16 juni 2016, 19 pagina's.
- Engel, M., H. Brückner, S. Fürstenberg, P. Frenzel , A. M. Konopczak, A. Scheffers, D. Kelletat, S. M. May, F. Schäbitz en G. Daut, 2013. A prehistoric tsunami induced long-lasting ecosystem changes on a semi-arid tropical island—the case of Boka Bartol (Bonaire, Leeward Antilles). *Naturwissenschaften*, 100:51–67.
- Lindell M.K, Perry R.W., 2004. Communicating environmental risk in multiethnic communities. WB Gudykunst; S Ting-Toomey, editors. Thousand Oaks, California: Sage Publications, Inc.
- Mileti D.S., Sorensen J.H., 1990. Communication of emergency public warnings. A social science perspective and state-of-the-art assessmentColorado State University.
- MDC, 2012. Guide on the tropical cyclone early warning system, Meteorological Aspects, Issued by the Meteorological Department Curaçao (MDC), February 2012, 35 pp.
- MDNA&A, 2010. Hurricanes and Tropical storms in the Netherlands Antilles and Aruba, Meterological Service Netherlands Antilles and Aruba, April 2010, 38 pp
- PNV, 2008. Nationale Veiligheid, Nationale risicobeoordeling, Leidraad methode 2008, Programma Nationale Veiligheid, juni 2008, 132 pp.
- O'Loughlin K.F.en J.F. Lander, 2010. Caribbean Tsunamis, a 500-year history from 1498-1998. Kluwer Academic Press, Advances in Natural and Technological Hazards Research Volume 20. ISBN 978-90-481-6467-7.
- Rennó, C.D., Nobre, A.D., Cuartas, L.A, Soares, J.V., Hodnett, M.G., Tomasella, J., Waterloo, M.J., 2008. HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazônia. *Remote Sensing of Environment*, 112, pp. 3469-3481.
- Risicoprofiel Saba, Versie 1.0 | Vastgesteld op 29 mei 2013 (1028/13) door het bestuurscollege van het openbaar lichaam Saba. Door: Openbaar lichaam Saba, In samenwerking met: Publieke en private partners in de rampenbestrijding en crisisbeheersing.
- Risicoprofiel St Eustatius, Versie 1.0 | Vastgesteld op 4 december 2012 door het bestuurscollege van het openbaar lichaam St Eustatius. Door: Openbaar lichaam St Eustatius, In samenwerking met: Publieke en private partners in de rampenbestrijding en crisisbeheersing.
- Risicoprofiel Bonaire, Versie 1.0 | Vastgesteld op 8 maart 2013 door het bestuurscollege van het openbaar lichaam Bonaire. Door: Openbaar lichaam Bonaire, In samenwerking met: Publieke en private partners in de rampenbestrijding en crisisbeheersing.
- Stapel, J. 2016. Waterveiligheidsscan St. Eustatius. Augustus 2016, Caribbean Netherlands Science Institute.



## **Bijlagen**



## Bijlage A: Overzicht geraadpleegde experts en eilandvertegenwoordigers

Experts Nederland	Organisatie
Theo Brandsma, Jeroen Dooijenburgh	KNMI
Deepak Vatvani, Jaap Schellekens, Reimer de Graaff	Deltares
Geerd Drost, Boris Teunis	Rijkswaterstaat
Edith Kuijper	DCC IenM
Patricia Grollé	Liaison IenM
Vertegenwoordigers Caribisch Nederland	
Fanny de Swarte (The Public Entity Saba)	Saba
Menno van der Velde (The Public Entity Saba)	
Johan Stapel (CNSI)	St. Eustatius
Herman Sieben (STINAPA)	Bonaire

Tabel A-18: Namen personen die zijn geïnterviewd voor het project.

Persoon	Organisatie
Jeroen Dooijenburgh	KNMI
Deepak Vatvani	Deltares
Eric-Jan Kijkuit	Rijkswaterstaat - DGRW
Edith Kuijper	DCC IenM
Patricia Grollé	Liaison IenM
Teun Terpstra, Jakolien Leenders	HKV Lijn in water

Tabel A-19: Aanwezigen bij workshop d.d. 12 juli 2016.



## Bijlage B: Lijst van orkanen die binnen 100 zeemijlen Saba en St Eustatius zijn gepasseerd

Bron: MDC, 2012

year	date	hour	minimum distance (AST) (nautical miles)	storm intensity	name	remarks
1971	Aug. 23	800	< 25 NNE	30 mph	Doria	
1973	Sep. 3	2000	< 25 ESE	45 mph	Christine	
1974	Aug. 29	1900	53 S	35 mph	Carmen	
1975	Sep. 14	----	50 N	35 mph	Eloise	
1979	July 17	1600	< 25 NNE	45 mph	Claudette	
1979	Aug. 29	2200	99 SSW	150 mph	David	
1979	Sep. 3	1600	< 25 NNE	75 mph	Frederic	
1981	Sep. 4	1300	< 25 NNW	30 mph	Floyd	
1984	Nov. 8	200	87 N	75 mph	Klaus	
1989	Aug. 3	600	65 NNE	85 mph	Dean	
1989	Sep. 17	1300	38 SSW	140 mph	Hugo	
1990	Oct. 6	2200	70 N	70 mph	Klaus	
1995	Aug. 27	2000	60 E	65 mph	Iris	
1995	Sep. 5	2000	30 NE	145 mph	Luis	
1995	Sep. 15	1100	62 SW	95 mph	Marilyn	
1996	Jul. 8	500	< 40 SE	80 mph	Bertha	
1998	Aug. 21	2300	75 NE	50 mph	Bonnie	
1998	Sep. 21	500	45 S	100 mph	Georges	
1999	Oct. 20	1700	< 15 S	75 mph	José	
1999	Nov. 18	1700	< 1 W	115 mph	Lenny	
2000	Aug. 22	600	< 1 W	75 mph	Debby	
2006	Aug. 2	400	77 NE	60 mph	Chris	
2008	Oct. 16	300	72 NW	120 mph	Omar	
2010	Aug. 30	600	54 NE	115 mph	Earl	
2011	Aug. 21	1100	29 SW	50 mph	Irene	
2011	Sep. 10	1800	42 NE	50 mph	Maria	



## Bijlage C: Uitleg tropische cyclonen

Bron: website KNMI (<https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/uitleg/tropische-cyclonen>)

### Hoe ontstaan cyclonen

Tropische cyclonen kunnen ontstaan boven zee bij een zeewatertemperatuur van minstens 27 graden. De verwoestende uitwerking is het grootst in kustgebieden en op eilanden. Dit komt vooral doordat ze huizenhoge golven, hevige regen en mud slides veroorzaken.

Zodra de cycloon landinwaarts koerst, neemt het windgeweld meestal snel in kracht af. Wel valt er vaak veel regen, soms meer dan vijfhonderd millimeter in een dag. Komt de cycloon terug boven de warme zee, dan neemt ook de wind weer toe.

In het 'oog' van de cycloon, met een doorsnede van dertig tot vijftig kilometer, klaart het op en is het nagenoeg windstil. Zodra het oog voorbij is, steekt de storm aan de achterkant weer op vanuit een andere richting.

Afhankelijk van de regio worden tropische cyclonen, cycloon, typhoon of orkaan genoemd.

### Stormen voorspellen

Meteorologen kunnen de baan van een storm en de windkracht met een redelijke nauwkeurigheid enkele dagen van tevoren berekenen. Zo kan de bedreigde bevolking op tijd worden gewaarschuwd en voorzorgsmaatregelen nemen.

Met name in de Verenigde Staten is het aantal slachtoffers dat een storm opeist daardoor de laatste decennia sterk beperkt. Vooral in gebieden met een gebrekkiger communicatie en slechte woonomstandigheden veroorzaken tropische stormen soms nog veel slachtoffers.

### Schaal Saffir & Simpson

De schaal van Saffir & Simpson deelt tropische cyclonen in vijf klassen in. Klasse 1 zijn stormen met een wind van gemiddeld minstens 117 kilometer per uur en hoogstens 152 kilometer per uur. Een cycloon met een gemiddelde wind van meer dan 248 kilometer per uur zit in klasse 5 en wordt extreem gevaarlijk genoemd.

Klasse	Omschrijving	Windsnelheid (km/h)	Schade*
1	Zwak	118-152	Meest lichte schade
2	Matig	153-176	Dak- en vensterschade en belangrijke schade aan bomen en gewassen
3	Krachtig	177-208	Grote schade met uitgebreide vernielingen aan gebouwen
4	Zeer krachtig	209-248	Zeer groot: daken weggeblazen, veel waterschade op de begane grond van gebouwen aan de kust
5	Verwoestend	meer dan 248	Catastrofaal: vrijwel alle daken weggeblazen, evenals kleine lichtere bouwsels en grote schade aan gebouwen

\*Officiële omschrijvingen National Hurricane Center

Figuur 23: Uitleg tropische cyclonen



## Bijlage D: Beaufort wind force scale

Beaufort Wind Force Scale							
Number	Wind speed		Description	Wave height		Sea Conditions	Land Conditions
	mph	kts		m	ft		
0	<1	<1	Calm	0	0	Flat	Calm. Smoke rises vertically.
1	1-3	1-2	Light air	0.1	0.33	Ripples without crests.	Wind motion visible in smoke.
2	3-7	3-6	Light breeze	0.2	0.66	Small wavelets. Crests of glassy appearance, not breaking	Wind felt on exposed skin. Leaves rustle.
3	8-12	7-10	Gentle breeze	0.6	2	Large wavelets. Crests begin to break; scattered white caps	Leaves and smaller twigs in constant motion.
4	13-17	11-15	Moderate breeze	1	3.3	Small waves.	Dust and loose paper raised. Small branches begin to move.
5	18-24	16-20	Fresh breeze	2	6.6	Moderate (1.2 m) longer waves. Some foam and spray.	Branches of a moderate size move. Small trees begin to sway.
6	25-30	21-26	Strong breeze	3	9.9	Large waves with foam crests and some spray.	Large branches in motion. Whistling heard in overhead wires. Umbrella use becomes difficult. Empty plastic garbage cans tip over.
7	31-38	27-33	High wind, moderate gale, near gale	4	13.1	Sea heaps up and foam begins to be blown in streaks in wind direction.	Whole trees in motion. Effort needed to walk against the wind. Swaying of skyscrapers may be felt, especially by people on upper floors.
8	39-46	34-40	Fresh gale	5.5	18	Moderately high waves with breaking crests forming spindrift. Streaks of foam.	Twigs broken from trees. Cars veer on road.
9	47-54	41-47	Strong gale	7	23	High waves (6-7 m) with dense foam. Wave crests start to roll over. Considerable spray.	Larger branches break off trees, and some small trees blow over. Construction/temporary signs and barricades blow over. Damage to circus tents and canopies.
10	55-63	48-55	Whole gale, storm	9	29.5	Very high waves. Large patches of foam from wave crests give the sea a white appearance. Considerable tumbling of waves with heavy impact. Large amounts of airborne spray reduce visibility.	Trees are broken off or uprooted, saplings bent and deformed, poorly attached asphalt shingles and shingles in poor condition peel off roofs.
11	64-72	56-63	Violent storm	11.5	37.7	Exceptionally high waves. Very large patches of foam, driven before the wind, cover much of the sea surface. Very large amounts of airborne spray severely reduce visibility.	Widespread vegetation damage. More damage to most roofing surfaces, asphalt tiles that have curled up and/or fractured due to age may break away completely.
12	≥73	≥64	Hurricane force	≥14	≥46	Huge waves. Sea is completely white with foam and spray. Air is filled with driving spray, greatly reducing visibility.	Considerable and widespread damage to vegetation, a few windows broken, structural damage to mobile homes and poorly constructed sheds and barns. Debris may be hurled about.

Tabel D-20: Windschaal van Beaufort



## Bijlage E Neerslaggegevens

Bron: MDC, <http://www.meteo.cw/climate.php?Lang=Eng&St=TNCC&Sws=R11>

### Saba

THE BOTTOM, SABA (17° 38'N, 63° 15' W)			SUMMARY OF CLIMATOLOGICAL DATA, PERIOD 1971 -												
ELEMENT			JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	YEAR
Av. Air temperature	°C	25.7	25.3	25.7	26.6	27.4	28.1	28.1	28.5	28.5	28.2	27.4	26.3	27.2	
Av. Maximum temperature	°C	28.1	27.7	28.3	29.2	30.0	30.4	30.5	30.9	30.8	30.4	29.8	28.6	29.6	
Abs. Maximum temperature	°C	30.4	30.8	30.7	31.7	31.9	32.5	32.8	33.2	33.2	32.1	32.0	31.1	33.2	
Av. Minimum temperature	°C	24.1	23.6	23.9	24.7	25.6	26.2	26.0	26.4	26.5	26.3	25.4	24.7	25.3	
Abs. Minimum temperature	°C	20.8	20.0	21.4	22.1	22.6	23.1	21.8	22.0	22.4	22.4	22.6	21.3	20.0	
Av. Air pressure (-1000)	hpa	16.9	17.3	16.6	16.0	16.4	17.2	17.1	15.2	14.0	14.3	14.4	16.0	15.9	
Av. Vapour pressure	hpa	27.3	26.9	26.0	27.3	28.6	31.0	34.5	35.3	34.4	30.9	26.0	24.5	29.4	
Av. Relative humidity	%	82.0	82.3	78.2	78.8	78.0	81.9	84.5	88.8	87.4	81.2	71.1	74.5	80.7	
Av. Dewpoint temperature	°C	22.3	22.0	21.6	22.5	23.3	24.6	26.4	26.8	26.3	24.5	21.7	20.7	23.6	
Av. Montly rainfall	mm	36.8	75.3	35.4	28.1	95.9	44.4	60.8	77.0	60.5	35.5	134.5	76.5	760.5	
Av. Days with rain	≥ 1,0	10.3	10.3	6.3	4.0	6.7	5.8	5.8	6.3	7.3	3.5	10.0	9.7	7.2	
Highest rainfall in 24 hours		12.6	116.8	14.8	30.6	124.8	28.4	37.4	96.8	62.2	33.4	71.2	41.6	124.8	
Av. Wind speed (10m)	m/s	5.7	5.8	5.5	4.7	5.1	5.8	5.6	5.1	4.8	4.6	4.5	5.2	5.2	
Av. Maximum wind speed	m/s	12.5	13.0	11.7	10.5	11.2	12.4	12.7	12.0	12.4	11.3	11.6	11.7	11.9	
Strongest gust	m/s	19.6	27.3	18.0	18.0	18.0	23.2	26.8	27.3	24.2	24.7	22.2	21.6	27.3	

Tabel E-21: Samenvatting klimatologische data, The Bottom, Saba, periode 1971-2000

### St Eustatius

ORANJESTAD, ST. EUSTATIUS (17°29'N, 62°59'W)			METEO CURACAO											
ELEMENT	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	YEAR	
Av. Air temperature	°C	25.3	25.2	25.5	26.2	27.1	27.9	28.0	28.1	27.9	27.4	26.6	25.5	26.9
Av. Maximum temperature	°C	28.3	28.4	28.8	29.4	30.1	30.8	31.1	31.2	31.0	30.6	29.8	28.7	29.8
Abs. Maximum temperature	°C	31.0	31.3	31.7	33.1	32.9	33.5	33.6	33.9	33.7	34.3	33.5	31.4	34.3
Av. Minimum temperature	°C	22.5	22.3	22.7	23.3	24.1	25.0	24.9	25.0	24.7	24.4	23.7	23.1	23.8
Abs. Minimum temperature	°C	19.0	18.9	18.4	19.4	19.1	21.6	21.0	21.0	21.0	18.8	19.3	18.7	18.4
Av. Air pressure (-1000)	hpa	16.8	17.3	17.2	16.2	16.8	17.4	17.4	15.9	14.4	14.1	14.0	16.2	16.1
Av. Vapour pressure	hpa	25.6	24.5	25.3	26.3	28.3	30.2	29.2	30.6	30.9	29.5	27.9	27.3	28.0
Av. Relative humidity	%	79.6	77.0	75.4	77.9	80.1	79.8	76.7	80.1	81.7	82.7	81.3	82.2	79.4
Av. Dewpoint temperature	°C	21.4	20.7	21.2	22.3	23.5	24.2	23.9	24.5	24.5	24.2	23.2	22.5	23.0
Av. Monthly rainfall	mm	52.0	50.5	48.8	55.7	87.1	60.6	74.1	106.9	123.2	106.5	128.6	74.6	985.8
Av. Days with rain	≥ 1,0	11.1	8.9	7.6	7.4	9.5	7.4	11.2	12.1	12.2	11.2	13.3	12.6	125.4
Highest rainfall in 24 hours		45.5	111.2	113.4	172.4	133.1	123.5	88.0	111.0	125.0	126.2	183.6	71.4	250.7
Av. Wind speed (10m)	m/s	5.1	4.6	5.4	4.8	4.4	5.2	5.7	5.1	4.2	3.9	4.6	5.2	4.8
Av. Maximum wind speed	m/s	11.1	11.6	11.2	11.0	10.2	11.3	12.2	11.3	10.8	10.6	11.2	11.7	11.2
Strongest gust	m/s	18.9	18.4	18.4	15.8	14.8	18.9	25.5	21.9	21.9	26.5	19.9	18.9	25.5

Tabel E-22: Samenvatting klimatologische data, Oranjestad, St Eustatius, periode 1971-2000.

**Bonaire****METEO CURACAO**

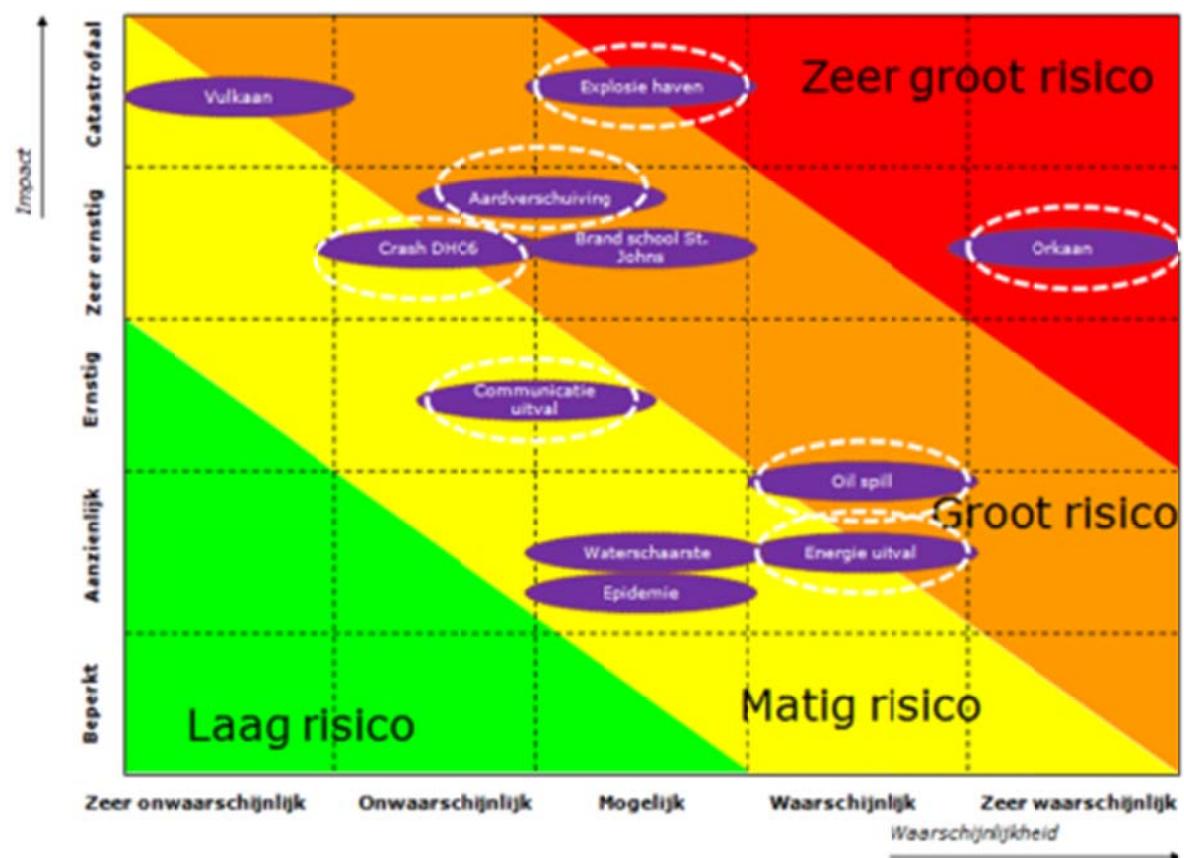
Flamingo Airport, Bonaire (12° 08'N, 68° 17'W)

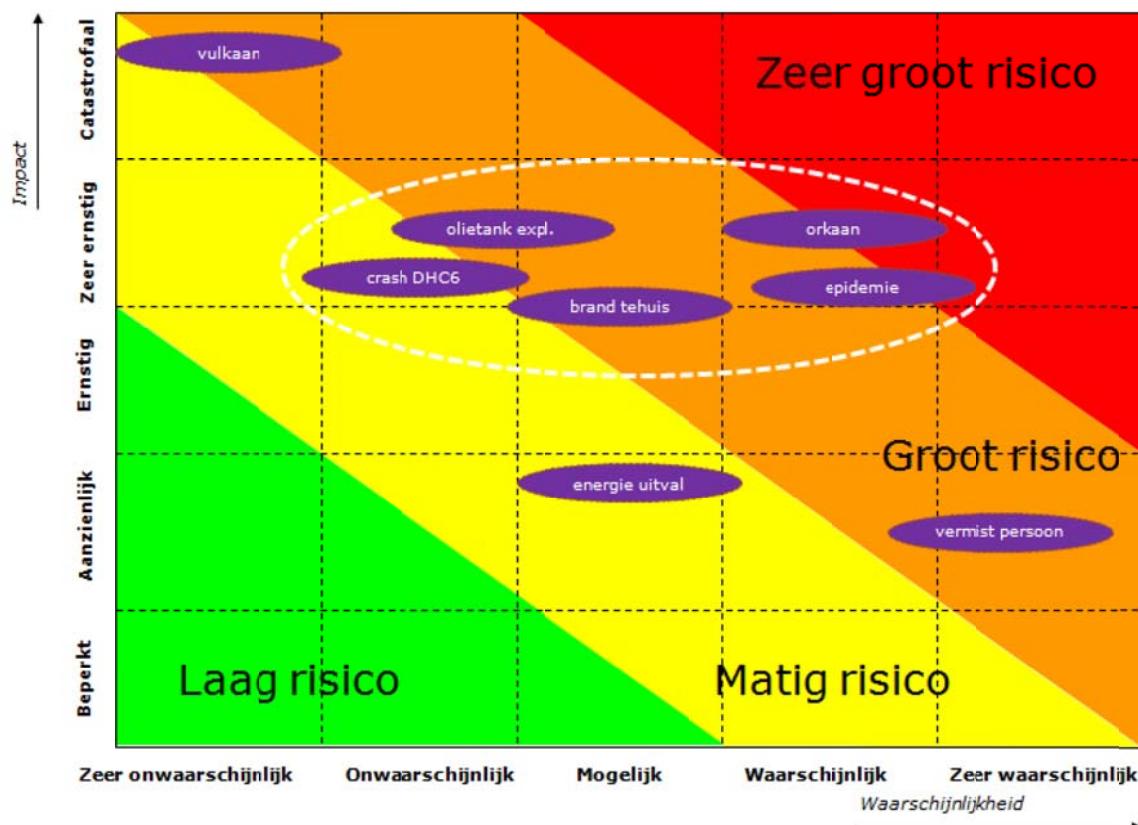
Summary of Climatological Normals, Period 1971-2000

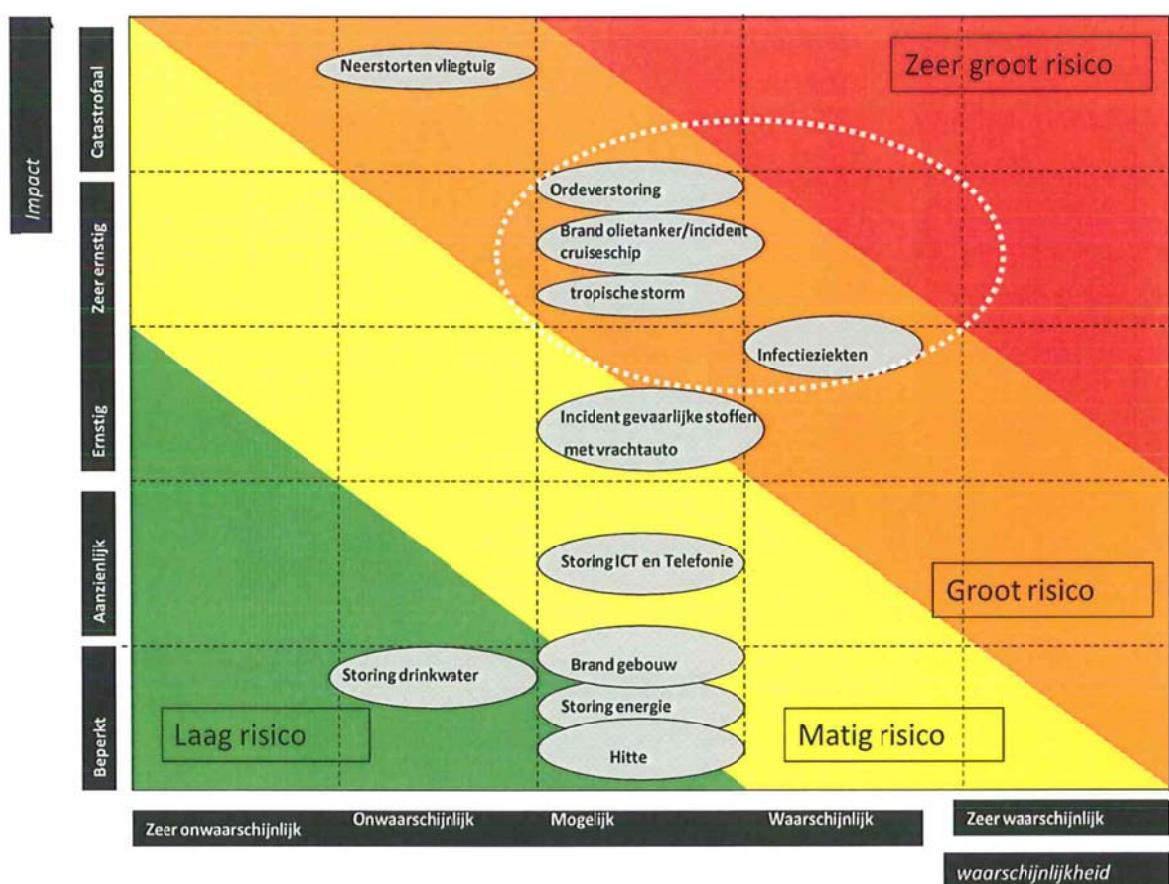
Element	Unit	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	YEAR
Avg. Air Temperature	°C	26.7	26.8	27.1	27.5	28.2	28.5	28.4	28.9	29.1	28.8	28.2	27.3	28.0
Avg. Maximum Temperature	°C	29.5	29.7	30.0	30.4	31.0	31.2	31.1	31.6	31.9	31.7	31.0	30.0	30.8
Abs. Maximum Temperature	°C	32.0	33.0	34.2	35.4	36.2	35.4	34.4	36.7	36.7	35.1	34.1	32.7	36.7
Avg. Minimum Temperature	°C	24.4	24.5	24.8	25.4	26.2	26.4	26.2	26.5	26.5	26.3	25.7	25.0	25.7
Abs. Minimum Temperature	°C	20.2	19.8	18.9	20.6	21.2	20.4	19.2	21.2	21.4	20.6	19.4	20.2	18.9
Avg. Seawater Temperature	°C	25.8	25.4	25.6	26.4	26.5	26.8	26.9	27.5	28.1	28.0	27.8	26.9	26.8
Avg. Air Pressure (-1000)	hPa	13.7	13.8	13.2	12.3	12.1	13.1	13.6	12.7	11.6	11.3	11.2	12.9	12.6
Avg. Vapour Pressure	hPa	26.4	26.1	26.5	27.7	29.2	29.6	29.7	30.1	30.3	30.2	29.7	27.9	28.8
Avg. Relative Humidity	%	75.2	74.6	74.2	75.4	76.4	76.2	76.9	76.0	75.1	76.1	77.3	76.6	75.9
Avg. Dewpoint Temperature	°C	21.9	21.8	22.0	22.8	23.6	23.9	24.0	24.2	24.2	24.2	23.9	22.9	23.3
Avg. Monthly Rainfall	mm	44.4	18.3	13.2	13.2	14.8	14.4	36.3	35.0	37.0	67.3	959	73.6	463.3
Highest Rainfall in 24 hours	mm	38.1	25.5	46.9	27.8	81.2	67.6	175.8	53.3	43.2	85.5	1078	78.4	175.8
Avg. Days with Rain ≥ 1,0 mm	days	9.2	4.4	2.5	1.8	1.7	2.8	5.6	4.4	5.0	7.6	115	10.8	5.8
Avg. Hours with Rainfall	hours	46.0	14.9	8.7	8.6	2.1	13.4	25.7	14.3	15.1	23.6	433	38.8	254.5
Avg. Wind Speed (at 10 m)	m/sec	6.4	6.7	6.8	7.0	7.3	7.8	7.2	6.7	6.1	5.5	55	5.9	6.6
Avg. Maximum Wind Speed	m/sec	12.7	12.5	12.4	13.1	13.3	13.6	13.5	12.9	11.8	11.3	114	12.1	12.5
Strongest Gust	m/sec	19.1	19.1	19.6	18.6	19.6	19.1	24.7	20.6	19.6	20.1	180	19.6	24.7

Tabel E-23: Samenvatting klimatologische data, Flamingo airport, Bonaire, periode 1971-2000

## Bijlage F: Risicoprofiel Saba, St Eustatius en Bonaire 2012/2013

**Saba**

**St. Eustatius**

**Bonaire**



## Bijlage G: Klimaatverandering in Caribisch Nederland

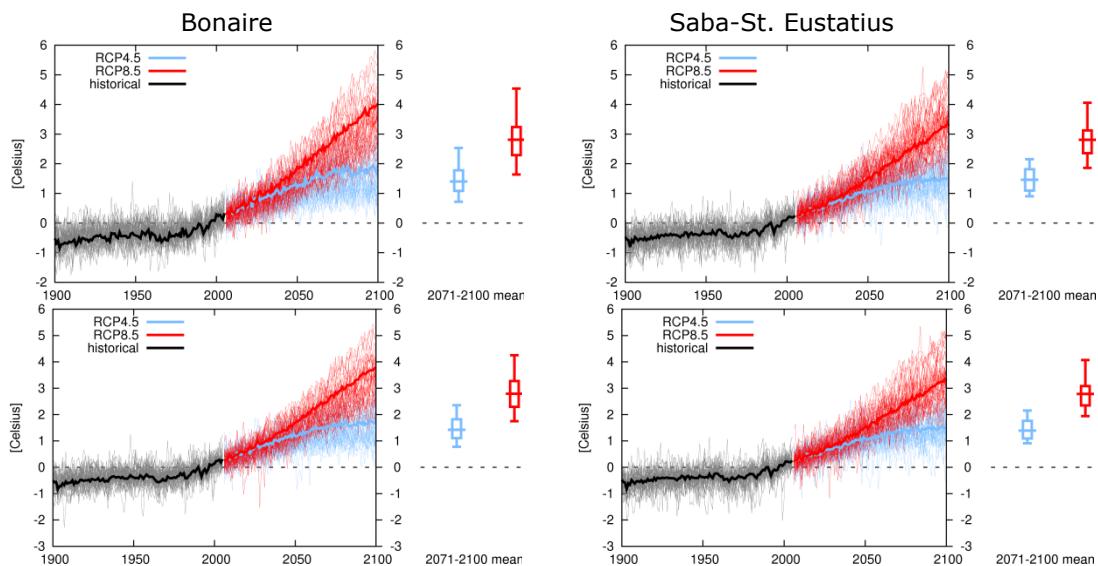
*Uitgevoerd door G. J. van Oldenborgh en Hylke de Vries, KNMI*

*Redactie Bram Bregman*

Deze scan geeft kort een beeld van toekomstige klimaatverandering (temperatuur, neerslag, wind en zeespiegelstijging) in het gebied rondom de BES-eilanden.

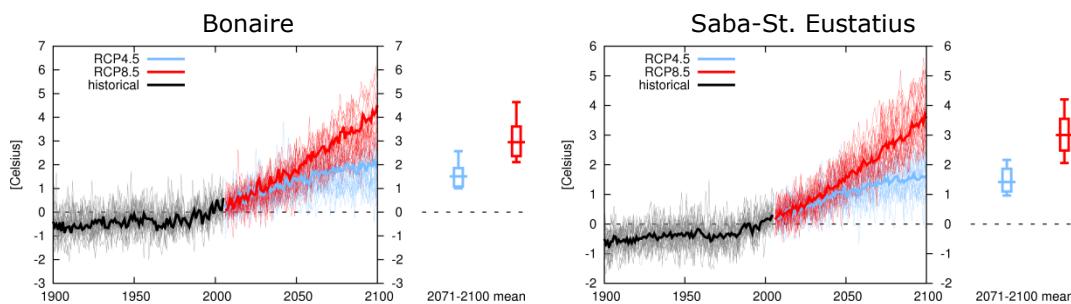
### Toekomstige temperatuurprojecties

In de warmste drie maanden (Augustus–Oktober) stijgt de maximumtemperatuur in 2071–2100 tussen de 1 °C en 3 °C vergeleken met 1981–2010. Zie figuren 1a-d. In de huidige situatie ligt de maximum temperatuur op 28.7 °C boven zee en boven land ongeveer drie graden hoger. De marges zijn afhankelijk van het scenario en model. De temperatuurstijging is ongeveer de helft van de temperatuurstijging in Nederland. De scenario's voor de minimumtemperatuur verschillen hier weinig van (de minimumtemperatuur tussen 1981-2010 is ongeveer 27.2 °C en op land een graad lager). Op de bovenwindse eilanden zijn de scenario's ongeveer hetzelfde, behalve dat het daar overdag een halve graad koeler is.



Figuur G-24: De seizoensgemiddelde temperatuurverandering tussen augustus en oktober voor Bonaire en Saba-St. Eustatius. Gemeten (zwart) en berekende maximum (boven) en minimum (onder)temperatuur voor twee verschillende klimaatbeleidsopties. Rood: Business as Usual (RCP8.5) en blauw: een gematigde reductie van broeikasgassen (RCP4.5). De variabiliteit is aangegeven met de dunne lijnen en de balken.

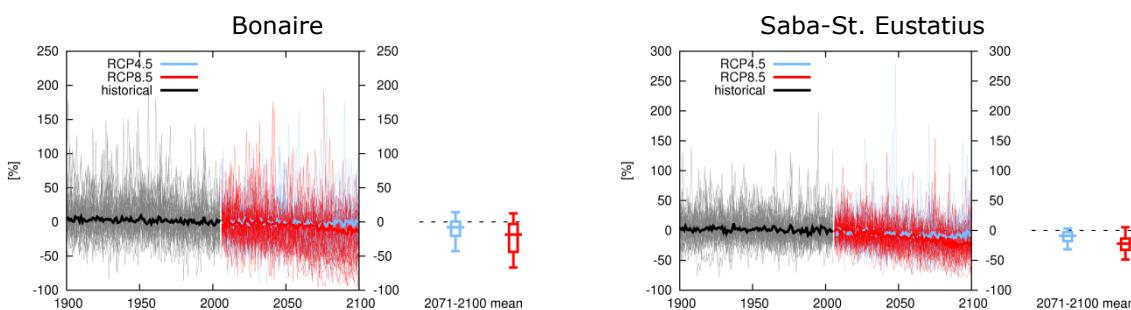
Figuur G-25 toont de verandering van de temperatuur van de warmste dag van het jaar. Deze stijgt even snel als de seizoensgemiddelde temperatuur.



Figuur G-25: *Idem als figuur 1, maar dan voor de warmste dag.*

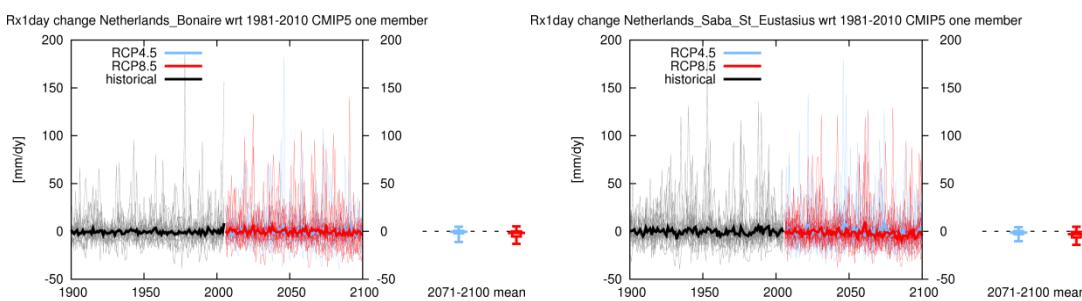
### Neerslag

Figuur G-26 laat de jaargemiddelde neerslag op Bonaire zien. De neerslag neemt af, maar de verandering varieert sterk per model. Er zijn modellen die een toename berekenen (+14%), maar de meeste klimaatmodellen laten een afname van 0% tot -45% zien. Eén model gaat zelfs tot -70%. Op de bovenwindse eilanden is de spreiding iets minder groot. De meeste modellen geven een afname van -4% (voor gematigde emissiereductie) tot -30% (voor business-as-usual), maar er zijn ook modellen die een reductie van meer dan -50% geven. We weten nog niet hoe realistisch deze (sterkst uitdrogende) modellen zijn. Dit is onderwerp van onderzoek.



Figuur G-26: *De seizoensgemiddelde neerslagverandering voor januari en december in Bonaire en Saba-St. Eustatius. Zie figuur 1 voor uitleg van de lijnen en kleuren.*

Orkanen en hevige neerslag zijn erg belangrijk voor de eilanden. De modellen zijn echter te grofmazig om (zware) onweersbuien goed te beschrijven. Dit geldt ook voor orkanen omdat de ontwikkeling van orkanen een fijnmazigere beschrijving vereist dan deze set modellen bevatten. Toch is een schatting mogelijk van de verandering van de hoogste dagelijkse neerslag per jaar dat een indruk geeft van hevige buien (Figuur G-27). De gemiddelde verandering is gering. Er zijn veel uitschieters, maar het blijkt dat over een hele dag genomen een toename van hevige buien wordt gecompenseerd door de afname van de regen zodat de gemiddelde dagelijkse verandering klein is. Er zou moeten worden gekeken naar trends in kort durende hevige buien en niet naar dagelijks gemiddelden. Dit is onderwerp van toekomstig onderzoek.



Figuur G-27: *Idem als figuur 3, maar dan voor de hoogste dagelijkse neerslag*

## Wind

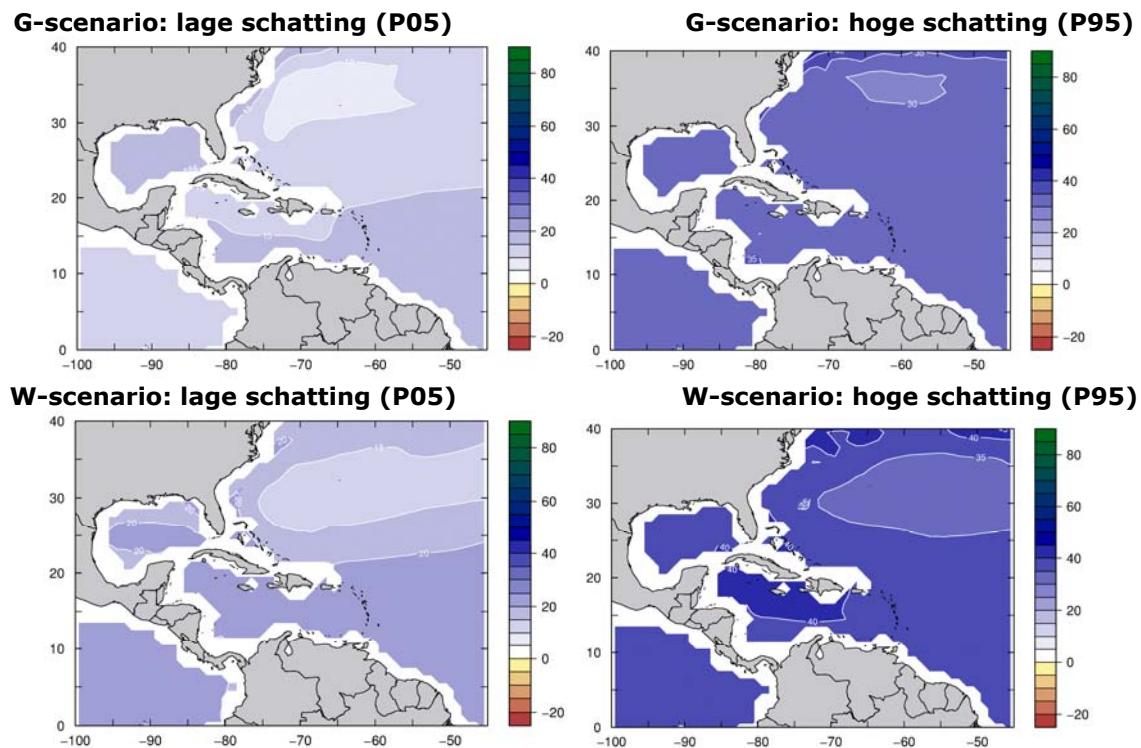
De hevigste wind in dit gebied wordt veroorzaakt door orkanen. De beste schatting van de toekomst is een lichte afname van het aantal maar een toename van de meest intense stormen. Voor de nabije toekomst (de komende 10 – 20 jaar) geldt dat de veranderingen waarschijnlijk kleiner zijn dan de natuurlijke variabiliteit. Over de veranderingen in gemiddelde wind in dit gebied hebben we nog geen informatie.

## Zeespiegelstijging

Ook in het Caribische gebied stijgt de zeespiegel, zoals op de meeste plekken op de wereld. De stijging in dit gebied wijkt niet veel af van het globaal gemiddelde. Er zijn regionale verschillen omdat de oceaanstromingen lokaal kunnen veranderen. Daarnaast is de percentuele bijdrage van de smeltende gletsjers, en de ijskappen op Groenland en Antarctica niet precies gelijk aan die van het globaal gemiddelde.

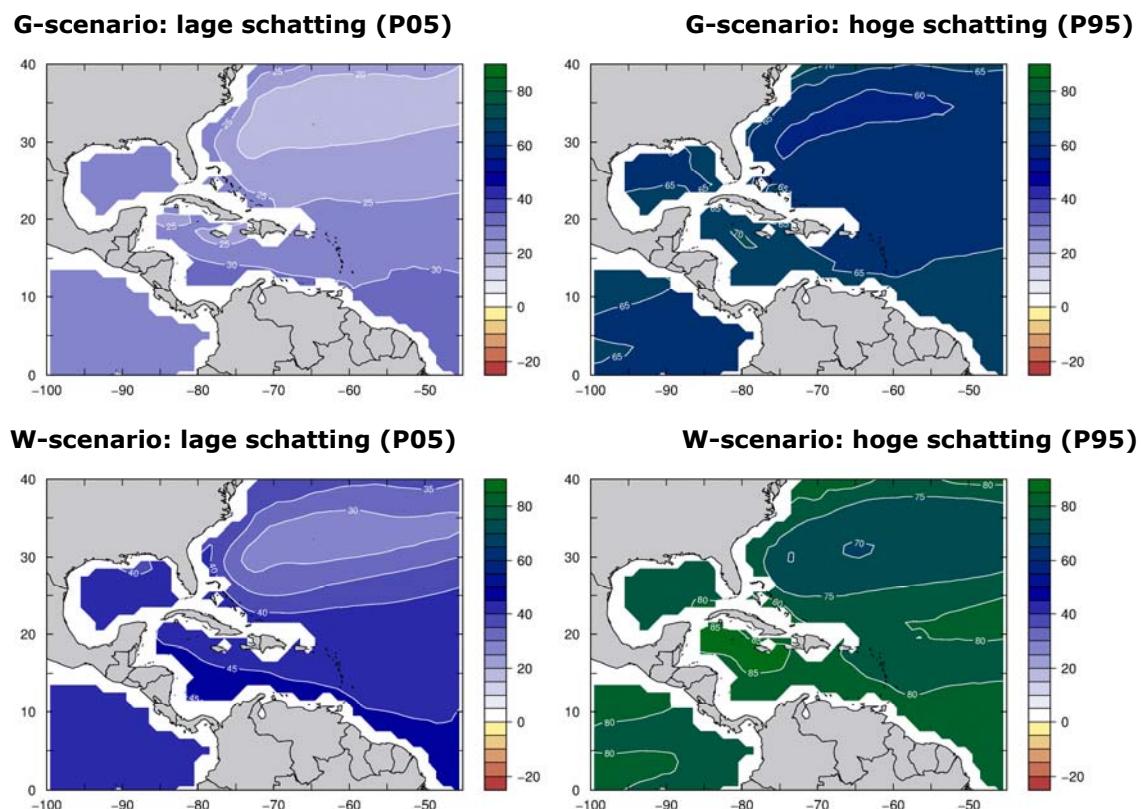
Het KNMI heeft zeespiegel scenario's gemaakt voor de Nederlandse kust waarbij gekeken is naar verschillende "temperatuur"-scenario's (G- voor een gemiddelde opwarming, en W- voor een sterkere opwarming). De mate waarin de wereldgemiddelde temperatuur toeneemt is in goede relatie met de mate van zeespiegelstijging: een sterkere opwarming leidt (o.a. door extra uitzetting oceanen, extra smelt van ijskappen en gletsjers) tot een grotere zeespiegelstijging, globaal en op de meeste plekken ook lokaal. Gebruikmakend van dezelfde aanpak als die welke gekozen werd voor de constructie van de KNMI-14 scenario's voor zeespiegelstijging, kunnen zeespiegelscenario's voor andere regio's geconstrueerd worden. Hier is het Caribisch gebied geselecteerd. De volgende aan zeespiegelstijging bijdragende processen zijn meegenomen: 1) expansie oceaan + eventuele circulatie veranderingen; 2) afsmelten gletsjers wereldwijd; 3) massa-balans veranderingen in de ijskappen van Groenland en Antarctica; 4) Veranderingen in water opslag op land; 5) veranderingen in druk en vochtgehalte van de atmosfeer. Bovenstaande bijdrages zijn gebaseerd op uitvoer van dezelfde klimaatmodellen die ook voor IPCC AR5 gebruikt zijn (CMIP5, Ch13). Alleen voor de bijdrage van Antarctica is expliciet gekozen een hogere bovengrens toe te laten. Dit omdat er nog substantiële onzekerheid is over de toekomstige bijdrages van het West-Antarctisch schiereiland.

Figuur G-28en Figuur G-29 hieronder laten de verwachte zeespiegelstijging in dit gebied in 2050 (2036-2065) en 2085 (2071-2100), ten opzichte van 1981-2010 en uitgaande van gematigde (G scenario) of sterke (W scenario) opwarming. Model spreiding en onzekerheden leiden er toe dat voor ieder scenario een bandbreedte gegeven wordt in plaats van een exact getal. De figuren tonen de onderste 5% (P05) en de bovenste 5% (P95) van de schattingen. Naarmate we verder in de toekomst kijken neemt de onzekerheid toe en ontstaat er overlap tussen de twee scenario's. De schatting voor het W-scenario in 2085 loopt uiteen van +40 tot +80cm (t.o.v. 1981-2010), die voor het G-scenario van +25 tot +65cm. Deze waarden zijn exclusief eventuele bodemdaling.



Figuur G-28: **Cariben 2050:** Zeespiegel-scenario's voor Caribisch gebied rond 2050 (2036-2065).

Bovenste rij: G-scenario. Onderste rij: W-scenario. Links (lage schatting, P05), Rechts (hoge schatting P95).



Figuur G-29: **Cariben 2085:** Zeespiegel-scenario's voor Caribisch gebied rond 2085 (2071-2100).

Bovenste rij: G-scenario. Onderste rij: W-scenario. Links (lage schatting, P05), Rechts (hoge schatting P95).

**Verantwoording**

Voor deze scan zijn gegevens uit de KNMI Climate Change Explorer ([climexp.knmi.nl/atlas/](http://climexp.knmi.nl/atlas/)) gehaald en is gebruik gemaakt van de ERA-interim heranalyse van het European Centre for Medium-range Weather Forecasts – ECMWF). De modelresultaten zijn afkomstig van relatief grofmazige modellen die voor het vijfde VN klimaatpanel assessment zijn gebruikt. Deze modellen kunnen de kleine eilanden niet representeren, en geven dus de veranderingen boven zee. Boven land zullen de veranderingen hiervan verschillen, maar daar vergt nadere studie. Er is niet gecheckt of derden studies hebben uitgevoerd voor nabijgelegen eilanden.

**Niets van deze informatie mag extern verspreid worden zonder toestemming van het KNMI.**



HKV lijn in water BV

Postbus 2120  
8203 AC Lelystad

Botter 11-29  
8232 JN Lelystad

0320 29 42 42  
[info@hkv.nl](mailto:info@hkv.nl)  
[www.hkv.nl](http://www.hkv.nl)