



Opmaak OverstromingsGevaar- en overstromingsRisicoKaarten (OGRK)

Methodologie

INHOUD

1 Inleiding	4
2 Algemeen	5
2.1 Gebruik	5
2.2 Schaal, resolutie, nauwkeurigheid	6
2.3 Kansscenario's	7
2.4 Aanpassingen in vergelijking met de OGRK 1 ^e cyclus	7
3 De kaarten	9
3.1 Overstromingsgevaarkaarten	9
3.1.1 Overstroombaar gebied	9
3.1.2 Waterdiepte	10
3.1.3 Stroomsnelheid	10
3.2 Overstromingsrisicokaarten	11
3.2.1 Globale risicokaart	11
3.2.1.1 Indicatief aantal potentieel getroffen inwoners	12
3.2.1.2 Type economische bedrijvigheid van het potentieel getroffen gebied	12
3.2.1.3 Verontreinigende installaties en potentieel getroffen beschermde gebieden	13
3.2.2 LATIS-kaarten	14
3.2.2.1 Economische impact (LATIS); economische schadekaarten en risicokaart	14
3.2.2.2 Sociale impact (LATIS); sociale schadekaarten en risicokaart	15
3.2.2.3 Ecologische impact (LATIS), ecologische schadekaarten en risicokaart	17
3.2.2.4 Culturele erfgoed impact (LATIS), culturele schadekaarten en risicokaart	18
3.2.3 Aanvullende kaarten	19
3.2.3.1 Bijzonder kwetsbare instellingen	19
3.2.3.2 Lijninfrastructuren	20
3.2.3.3 Puntinfrastructuren	20
4 Modelleringsmethodieken	21
4.1 Algemene aspecten	22
4.1.1 Waterbeheersingsinfrastructuur	22
4.1.2 Gebouwen en infrastructuur	22



4.1.3	Klimaatscenario's	23
4.1.4	Omgaan met onzekerheden	25
4.2	Fluviale overstromingskaarten.....	26
4.2.1	Onbevaarbare waterlopen.....	27
4.2.1.1	Hydrologie	27
4.2.1.2	Hydraulica.....	28
4.2.1.3	Statistiek.....	29
4.2.2	Bevaarbare waterlopen	31
4.2.2.1	Hydrologie	31
4.2.2.2	Hydraulica.....	32
4.2.2.3	Statistiek.....	33
4.3	Pluviale overstromingskaarten	34
4.3.1	Hydraulica	35
4.3.2	Statistiek	36
4.4	Kust overstromingskaarten.....	37
4.4.1	Hydraulica	37
4.4.2	Statistiek	38
5	referenties	39
	Bijlage 1: Overzicht kaarten	42



1 INLEIDING

Volgens artikel 6 van de Europese Overstromingsrichtlijn (ORL) en artikel 1.7.3.1 § 3 van het Waterwetboek¹ (Decreet van 18 juli 2003 betreffende het integraal waterbeleid, gecoördineerd op 15 juni 2018) moet de Vlaamse Regering zorgen voor overstromingsgevaarkaarten en overstromingsrisicokaarten (OGRK) voor alle OverstromingsRisikoBeheerGebieden, en dit voor alle significante bronnen van overstromingen en voor drie kansscenario's (kleine kans, middelgrote kans en grote kans op overstromingen, indien van toepassing). Daarbij werd ervoor gekozen om zowel kaarten voor het huidige klimaat als voor toekomstige klimaat (met klimaatprojectie 2050) op te maken.

Bij de Voorlopige OverstromingsRisikoBeoordeling² werd het hele grondgebied van Vlaanderen opnieuw aangeduid als gebied met een potentieel significant overstromingsrisico en werd besloten om de 11 bekkens (10 in het stroomgebied van de Schelde en 1 in het stroomgebied van de Maas) aan te duiden als overstromingsrisicobeheergebied. De OGRK werden bijgevolg voor heel Vlaanderen opgemaakt.

Volgende bronnen van overstromingen werden als significant aangeduid voor Vlaanderen bij de Voorlopige OverstromingsRisikoBeoordeling:

- fluviale overstromingen, dit zijn rivier-gebonden overstromingen, inclusief kanalen met natuurlijke toevoer,
- kust overstromingen, de overstromingen vanuit de zee,
- pluviale overstromingen, dit zijn de overstromingen door intense neerslag, inclusief capaciteitstekort van regenwaterstelsel (RWA), zowel stedelijk als ruraal.

Andere bronnen zoals overstromingen te wijten aan infrastructurele defecten, uit riolerings- en afvalwatersystemen werden uitgesloten omwille van het beperkte risico en de onvoorspelbaarheid. Ook andere kleinere bronnen van wateroverlast zoals bv. het overlopen van toestellen, waterlekken, lokale opstopping van leidingen of goten, ... werden uitgesloten om dezelfde redenen. Significante overstromingen door grondwater in Vlaanderen kunnen enkel plaatsvinden in het mijnverzakkingsgebied. De Limburgse Reconvertiemaatschappij (LRM) staat in voor het wegpompen van het grondwater en hiermee is het overstromingsrisico onder controle.

Daarom Vanuit de integrale benadering van het waterbeheer in Vlaanderen.

De overstromingsgevaarkaarten zijn de kaarten die de 'fysische eigenschappen' van de overstromingen

¹ <https://www.vmm.be/wetgeving/waterwetboek>

² <https://www.integraalwaterbeleid.be/nl/stroomgebiedbeheerplannen/stroomgebiedbeheerplannen-2022-2027/VORB>

beschrijven zoals de overstromingscontouren, waterdieptes en stroomsnelheden. Voor het aanmaken van overstromingsgevaarkaarten wordt in Vlaanderen maximaal gebruik gemaakt van modellen. Via een keten van statistische, hydrologische en hydrodynamische modellen worden de overstromingskansen met en zonder klimaatverandering in kaart gebracht.

De overstromingsrisicokaarten zijn de kaarten die de gevolgen voor mens, ecologie, economie en cultureel erfgoed in kaart brengen. Enerzijds zijn er kaarten die schade- en risicogevoelige receptoren in het potentieel overstroomde gebied weergeven. Anderzijds zijn er de schade- en risicokaarten die de impact van overstromingen becijferen. De overstromingsgevaarkaarten baseren zich op de overstromingsgevaarkaarten, inventarissen van potentiële receptoren en schademodelen.

Hoofdstuk 2 behandelt een aantal algemene aspecten van de OGRK. Hoofdstuk 3 beschrijft de verschillende opgemaakte gevaar- en risicokaarten en hun productiemethode. Hoofdstuk 4 van dit document beschrijft de achterliggende modelleringsmethodieken gebruikt voor de opmaak van de overstromingsgevaarkaarten.

2 ALGEMEEN

De kaarten zijn sinds 22 maart 2020 te raadplegen via het portaal www.waterinfo.be/Overstromingsrichtlijn, met uitzondering van de LATIS-kaarten. Deze kaarten en alle andere worden ook beschikbaar gesteld via een view- en downloadservices: <https://geoservice.waterinfo.be/OGRK>.

De Coördinatiecommissie Integraal Waterbeleid (CIW) is de bevoegde autoriteit van Vlaanderen voor de uitvoering van de Overstromingsrichtlijn. De opmaak van deze kaarten is uitgevoerd door/ in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij (VMM)- Afdeling Operationeel Waterbeheer, De Vlaamse Waterweg n.v. (DVW), Maritieme Dienstverlening en Kust (MDK) – Afdeling Kust in samenwerking met lokale waterbeheerders.

2.1 Gebruik

Overstromingskaarten bieden waardevolle informatie voor verschillende doeleinden, waaronder:

- Bewustwording van het publiek: De overstromingskaarten helpen om het bewustzijn en het begrip van overstromingen te vergroten. De kaarten, en met name de kaarten ‘overstroombaar gebied’ en ‘waterdieptekaarten’, zijn bedoeld om het publiek, eigenaren, ondernemers, kopers en verkopers, huurders en verhuurders te informeren over het potentiële overstromingsrisico op hun perceel, inclusief de waarschijnlijke kans van overstromen. Het zijn instrumenten om de verantwoordelijkheid van eenieder voor (zijn eigen) overstromingsbescherming en -voorbereiding te stimuleren.



- Overstromingsrisicobeheer: De overstromingskaarten vormen een belangrijk instrument in het proces van overstromingsrisicobeheerplanning. Ze zijn bedoeld als beslissingsondersteunend instrument bij de identificatie, planning, ontwikkeling, beoordeling en prioritering van mogelijke maatregelen voor het beheer van overstromingsrisico's.
- Ruimtelijke planning en ontwikkeling: De overstromingskaarten helpen processen van ruimtelijke ordening te informeren en om duurzame plannings- en ontwikkelingsbeheersbeslissingen te ondersteunen.
- Crisisbeheer: De overstromingskaarten bieden hulp bij het opstellen van noodplannen en het nemen van beslissingen, door informatie te verstrekken over gebieden die gevoelig zijn voor overstromingen, de potentiële overstromingsdiepte en welke kwetsbare instellingen en infrastructuur in het geval van een overstroming gevaar lopen.

2.2 Schaal, resolutie, nauwkeurigheid

De overstromingskaarten zijn interactief en kunnen naar keuze gevisualiseerd worden op de kaart. Er bestaat ook de mogelijkheid om een specifieke locatie op te zoeken (plaats, adres, ...) zodat gebruikers het overstromingsrisico voor een gekozen locatie kunnen zien. De schaal is variabel van een zoombereik van 1:5.000 tot 1:1.280.000.

De fluviale en pluviale kaarten hebben een horizontale resolutie van 2m en een verticale resolutie van 1 cm. De kust kaarten hebben een resolutie van 20m, horizontaal en 1 cm verticaal. De resolutie definieert enkel het detailniveau waarin de kaarten worden weergegeven en zegt niets over de mogelijke fout op de kaarten.

De nauwkeurigheid van de kaarten hangt af van de manier waarop ze worden gebruikt. Bij elke modellering zijn er aannames en inherente onzekerheden die van invloed zijn op de uitkomsten (zie ook 4.1.4). Bij de afijking van de numerieke modellen wordt maximaal gebruik gemaakt van alle beschikbare kennis en detailinformatie ter validatie (limnietrische data, foto's, dronebeelden, gekarteerde overstromingen, krantenknipsels, ...) waarbij gestreefd wordt naar een maximale afwijking van 20 cm. De methodieken voor frequentie-analyse, klimaatimpact, extrapolatie tot T1000, enz. introduceren onvermijdelijk onzekerheden die we trachten te beperken door gefundeerde en robuuste methodes toe te passen. Bij de toepassing van de kaarten in het beleid worden veiligheidsmarges ingebouwd om bv. vloerpeilen van nieuwe bebouwing voldoende hoog te adviseren. Bij de ontwikkeling en verbetering van onze gegevens, methodologieën en technieken zullen de kaarten worden herzien en geactualiseerd.



2.3 Kansscenario's

Voor de kansscenario's werden in Vlaanderen volgende terugkeerperiodes vastgelegd (onveranderd t.o.v. 1^e cyclus):

- grote kans van voorkomen \approx terugkeerperiode van ongeveer 10 jaar,
- middelgrote kans \approx terugkeerperiode van ongeveer 100 jaar en
- kleine kans \approx terugkeerperiode van ongeveer 1000 jaar of in het geval het niet mogelijk is om een T1000 te bepalen wordt een 'Textreem' genomen, een zeer extreme, fictieve overstroming .

Een terugkeerperiode geeft het gemiddelde tijdsinterval weer tussen twee overstromingen van eenzelfde, of grotere, omvang. Dit wil echter niet zeggen dat twee zulke overstromingen niet korter op elkaar kunnen volgen. Deze kansen kunnen ook uitgedrukt worden in een jaarlijkse overschrijdingskans wat de kans weergeeft dat een overstroming van deze of grotere omvang plaatsvindt in een bepaald jaar:

- grote kans van voorkomen \approx 10% jaarlijkse overschrijdingskans,
- middelgrote kans \approx 1% jaarlijkse overschrijdingskans en
- kleine kans \approx 0.1% jaarlijkse overschrijdingskans

Deze terugkeerperiodes werden geselecteerd omdat ze een bereik van kansen omvatten die een goed beeld geven van het overstromingsrisico in Vlaanderen.

De vastgelegde kansen zijn voor alle bronnen van overstromingen dezelfde. Enkel voor de kustoverstromingen worden geen kaarten opgemaakt met grote kans (T10) aangezien er zich geen overstromingen vanuit zee voordoen bij een terugkeerperiode van 10 jaar.

2.4 Aanpassingen in vergelijking met de OGRK 1^e cyclus

De aanpassingen ten opzichte van de overstromingsgevaarkaarten van de 1^e cyclus worden hieronder opgelijst:

- De belangrijkste wijziging is de toevoeging van de pluviale kaarten. De pluviale overstromingskaarten zijn gebiedsdekkend en tonen de zones die een verhoogde kans op wateroverlast hebben ten gevolge van de directe afstroming van neerslag over het maaiveld en overstromingen uit kleinere waterlopen. Ze zijn een weergave van de wateroverlast die het gevolg is korte, intense, convectieve zomeronweders wat zich typisch voordoet in stedelijke omgevingen als gevolg van een ontoereikende afvoercapaciteit van het regenwaterafvoerstelsel en in landelijk gebied als gevolg van het buiten de oevers treden van lokale afvoergrachten en door water dat zijn weg zoekt naar lokale afwateringsstelsels. Door de aanpassingen in de hydrologische methodiek is wel getracht om dit voor de overstromingen in de waterlopen zo goed mogelijk te laten aansluiten. Toch zal er vooral in de grotere en meer



afwaartse waterlopen een systematische onderschatting zijn van de overstromingsrisico's, omdat deze eerder gedreven zijn door de winterse omstandigheden (overstroming vanuit de waterloop) waarbij aanhoudende neerslag over het volledige stroomgebied tot verzadiging van de ondergrond leidt waardoor de grotere waterloopsystemen zeer grote piekdebieten en -volumes te verwerken krijgen en buiten hun oevers treden. Het is dan ook belangrijk om deze twee types van overstromingskaarten als complementaire instrumenten te zien.

- Daarnaast zijn er ook een aantal significante aanpassingen aan de fluviale kaarten. De fluviale kaarten zijn afkomstig van zes partijen, namelijk De Vlaamse Waterweg nv., de Vlaamse Milieumaatschappij en de provincies Antwerpen, Oost-Vlaanderen, Limburg en Vlaams-Brabant. De aanpassingen van de overstromingsgevaarkaarten betreffen zowel actualisaties van bestaande modelleringen alsook toevoegingen van nieuwe (delen van) modelgebieden maar ook verwijdering van (delen) van modelgebieden. Een aantal (kleinere) waterlopen werd geschrapt van de fluviale kaart wanneer de fluviale modellering niet meer actueel is maar de gekende overstromingsgevoelige gebieden wel ingetekend werden op de pluviale overstromingskaarten.

Daarnaast werden de kaarten geactualiseerd aan het nieuwe DHMII met een resolutie van 2x2m. Dit heeft tot gevolg dat ook voor modellen die niet aangepast werden de contouren licht zullen wijzigen, naar meer gedetailleerde contouren.

- Tenslotte werden ook de resultaten van het overstromingsmodel van de kustvlakte, afkomstig van het Agentschap Maritieme Dienstverlening en Kust, geactualiseerd in functie van reeds uitgevoerde of geplande maatregelen en zijn uitgevoerd met geactualiseerde modellen.

Ook de overstromingsrisicokaarten werden, beperkt, aangepast of aangevuld:

- Allereerst werd er gebruik gemaakt van de geactualiseerde overstromingsgevaarkaarten, maar ook van de meest actueel beschikbare inventarissen.
- De methodiek voor het bepalen van het indicatief aantal getroffen personen werd verbeterd en maakt nu gebruik van de meest gedetailleerde beschikbare informatie voor de lokalisatie van personen. Omwille van de vertrouwelijkheid van deze data werden deze berekeningen uitgevoerd door StatBel. (zie 3.2.1.1).
- De LATIS-tool werd uitgebreid met modules voor bepaling van sociale, ecologische en culturele impact. De resultaten van deze modules werden ook op kaart gezet (zie 3.2.2). De kaart van kwetsbare culturele instellingen werd vervangen door de (LATIS) culturele schade en risicokaarten.
- Tenslotte werden nu ook potentieel overstroomde zendinstallaties, treinstations, benzinstations, windturbines, elektriciteitscentrales en cabines en drinkwaterinfrastructuur op kaart aangeduid.



3 DE KAARTEN

Voor elke significante bron van overstromingen werden de volgende overstromingskaarten aangemaakt. De hele set wordt tweemaal opgemaakt, één maal voor het huidig klimaat en één maal met klimaatprojectie 2050. De werkwijze en specifieke opmaak (klassen, kleurcodes, legende, ...) worden per kaart in de delen hierna beschreven. Een overzicht van alle opgemaakte kaarten wordt gegeven in bijlage 1. De overstromingsgevaarkaarten en de economische, sociale en ecologische schade/impact- en risicokaarten zijn opgesteld in een rasterformaat. De culturele impact en risicokaarten en de verplichte en aanvullende risicokaarten zijn in een vectorieel formaat opgesteld.

3.1 Overstromingsgevaarkaarten




De overstromingsgevaarkaarten zijn de kaarten die de ‘fysische eigenschappen’ van de overstromingen beschrijven zoals de overstromingscontouren, waterdieptes en stroomsnelheden. De overstromingsgevaarkaarten geven geen informatie over de gevolgen, de kwetsbaarheid voor of het risico van de overstromingen. De overstromingsgevaarkaarten zijn de output van hydrodynamische modellen.

3.1.1 Overstroombaar gebied

Deze kaart toont de gebieden waar er een overstromingsgevaar is bij de drie verschillende overstromingsscenario’s (kleine kans, middelgrote kans en grote kans) per klimaatscenario, per bron van overstroming. Eénzelfde kaart geeft de omvang van het overstroomde gebied weer bij de drie verschillende scenario’s in drie verschillende tinten blauw. In totaal zijn er dus zes kaarten ‘overstroombaar gebied’, één voor elk klimaatscenario en elke specifieke bron van overstroming.

Kaartlegende

Het gehele gebied dat bij de drie verschillende herhalingsperioden als overstromingsgevoelig beschouwd wordt, is ingekleurd. De rastercelwaarden zijn van categorische aard en geven het minimale overstromingsscenario weer waarin een rastercel overstroomt.

Legende	Rasterwaarde	symbool	R	G	B
Grote kans	10		0	92	230
Middelgrote kans	100		115	178	255
Kleine kans	1000		190	232	255

Productiemethode

De overstroombaar gebied kaarten worden aangemaakt door de waterdieptekaarten van de drie verschillende overstromingsscenario’s per klimaat (met of zonder klimaatsverandering) en per oorsprong (fluviaal, pluviaal of kust) ruimtelijk op elkaar te leggen. De waterdieptewaarden worden








hierbij eerst aangepast naar drie categorische klassen (10, 100 en 1000). Indien er een overlap is tussen de verschillende scenario's heeft het scenario met grote kans (10) prioriteit op het scenario met middelgrote kans (100) dat dan weer prioriteit heeft op het scenario met kleine kans (1000).

3.1.2 Waterdiepte

Voor ieder scenario/kans wordt de maximale waterdiepte, zoals berekend met de hydrodynamische overstromingsmodellen, op een bepaalde locatie weergegeven. De waterdiepte in het overstroomde gebied (afstand wateroppervlak tot maaiveld) wordt uitgedrukt in centimeter en waterdieptes worden ingedeeld in vijf discrete klassen (in cm) die door een blauw-gradiënt worden aangeduid op de kaart. De waterdiepte wordt voor elk kansscenario, elke bron en elk klimaatscenario op een verschillende kaart getoond. In totaal zijn er 16 kaarten 'waterdiepte'.

Kaartlegende

De rastercelwaarden geven de waterdiepte uitgedrukt in cm. De waterdieptekaart (in cm) wordt ingedeeld in de vijf diepteklassen:

Legende – klasse	symbool	R	G	B
1 - 25		217	233	255
25 - 50		153	197	255
50 - 100		92	151	230
100 - 200		41	112	204
> 200		0	66	153

Productiemethode

De waterdieptekaarten worden gemaakt op basis van hydrodynamische modellen. Verschillende verantwoordelijke instanties gebruiken hiervoor verschillende softwarepakketten. De modelleringsmethode is beschreven in hoofdstuk 4. De kaarten zijn een rooster met cellen van 2*2m² (pluviaal en fluviaal) of 20*20m² (kust), op basis van het DHM Vlaanderen. Specifiek voor de overstromingen van fluviale oorsprong werden de deelresultaten per waterbeheerder (bevaarbaar, onbevaarbaar 1e categorie en onbevaarbaar 2e categorie) vooraleerst geharmoniseerd en samengevoegd (zie 4.2).

3.1.3 Stroomsnelheid







Deze kaart toont voor een bepaald scenario de maximale stroomsnelheid per locatie in het overstroomde gebied zoals berekend in het hydrodynamische model. Stroomsnelheden worden enkel weergegeven daar waar er 2-dimensionale modellen zijn die een accurate inschatting van de stroomsnelheid mogelijk maken. In de praktijk zijn dergelijke 2-dimensionale modellen enkel beschikbaar voor de kust en pluviale overstromingen. De stroomsnelheid wordt ingedeeld in vijf discrete klassen (voorgesteld met een paars-gradiënt) uitgedrukt in meter per seconde (m/s) met een



aparte klasse (grijs-waarde) voor die gebieden waar geen stroomsnelheden berekend worden. De stroomsnelheid wordt voor elk kansscenario, elke bron en elk klimaatscenario op een verschillende kaart getoond. In totaal zijn er tien kaarten 'Stroomsnelheid'.

Kaartlegende

De rastercelwaarden geven de stroomsnelheid uitgedrukt in m/s. De stroomsnelheidskaart (m/s) wordt ingedeeld in de vijf klassen (paars-gradiënt) en een aparte klasse (grijs-waarde) voor die gebieden waar geen stroomsnelheden berekend worden:

Legende – klasse	symbool	R	G	B
Niet berekend		255	255	255
0 – 0.25		243	222	255
0.25 – 0.5		228	179	255
0.5 - 1		223	115	230
1 – 2		169	0	230
> 2		104	0	156

Productiemethode

De kaarten worden gemaakt op basis van de resultaten van de hydrodynamische modellen voor pluviale en kustoverstromingen. De modelleringsmethodiek is beschreven in hoofdstuk 4. De kaarten zijn een rooster met cellen van 2*2m² (pluviaal) of 20*20m² (kust), op basis van het DHM Vlaanderen.

3.2 Overstromingsrisicokaarten

De overstromingsrisicokaarten zijn de kaarten die de gevolgen voor mens, ecologie, economie en cultureel erfgoed in kaart brengen. Enerzijds zijn er kaarten die schade- en risicogevoelige receptoren in het potentieel overstroomde gebied weergeven. Anderzijds zijn er de schade- en risicokaarten die de impact van overstromingen becijferen. De overstromingsgevaarkaarten baseren zich op de overstromingsgevaarkaarten, inventarissen van potentiële receptoren en schademodelen. Vooraleer de gevaarkaarten gebruikt worden voor de opmaak van de risicokaarten worden ze gecorrigeerd om overstromingen binnen gebouwcontouren in rekening te brengen (zie 4.1.2).

3.2.1 Globale risicokaart

De ORL vraagt minimaal de volgende gegevens aan te duiden op kaart: het indicatief aantal getroffen inwoners, type economische bedrijvigheid van het potentieel getroffen gebied en de verontreinigende installaties en potentieel getroffen beschermde gebieden. Deze kaartlagen worden gebundeld in een 'globale risicokaart' per bron, kansscenario en klimaatscenario.












3.2.1.1 Indicatief aantal potentieel getroffen inwoners

Deze kaart toont het potentieel aantal getroffen inwoners in overstroombaar gebied (people@risk). Deze gegevens worden geaggregeerd per deelgemeente en weergegeven in drie klassen. De grootte van het symbool varieert volgens het aantal. Voor elke bron en elk kans- en klimaatscenario wordt een verschillende kaart getoond. In totaal zijn er 16 van deze kaarten opgemaakt.

Kaartlegende

Per deelgemeente wordt aan de hand van een symbool de grootteorde van het aantal getroffen inwoners voorgesteld, geaggregeerd per deelgemeente. Deze worden ingedeeld in negen klassen. De grootte van het symbool is hierbij afhankelijk van het aantal getroffen inwoners in de deelgemeente:

Legende	symbool	R	G	B
Potentieel getroffen inwoners: 1 - 10		132	0	168
Potentieel getroffen inwoners: 11 - 30		132	0	168
Potentieel getroffen inwoners: 31 - 100		132	0	168
Potentieel getroffen inwoners: 101 - 300		132	0	168
Potentieel getroffen inwoners: 301 - 1000		132	0	168
Potentieel getroffen inwoners: 1001 - 3000		132	0	168
Potentieel getroffen inwoners: 3001 - 10000		132	0	168
Potentieel getroffen inwoners: 10001 - 30000		132	0	168
Potentieel getroffen inwoners: >30001		132	0	168

Productiemethode

Na correctie van de gevaarkaart voor de overstroomde gebouwen wordt bepaald hoeveel inwoners er in het overstroomde gebied gedomicilieerd zijn. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van bevolkingsaantallen, zoals ingeschreven in het Rijksregister van natuurlijke personen op datum van 1 januari 2016. Aan de hand van het Centraal Referentieadressenbestand (CRAB) voor Vlaanderen werden de inwonergegevens gegeocodeerd op kaart. Deze gegevens vallen onder de bescherming van persoonsgegevens, daarom werd deze stap in de analyse door StatBel (AD Statistiek - Statistics Belgium) uitgevoerd en de resultaten werden geaggregeerd per deelgemeente aangeleverd. Per bron, kans- en klimaatscenario werd dit herhaald.

3.2.1.2 Type economische bedrijvigheid van het potentieel getroffen gebied









Deze kaart toont het ruimtegebruik in het potentieel getroffen gebied. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van een meer gedetailleerde Vlaamse landgebruiksk kaart die gebaseerd is op de Biologische Waarderingskaart (BWK). Er worden acht verschillende soorten landgebruik weergegeven: Water, Residentieel Gebied, Industrieel Gebied, Infrastructuur, Recreatiegebied, Akkerland, Weiland en



Natuur. Voor elke bron en elk kans- en klimaatscenario wordt een verschillende kaart getoond. In totaal zijn er 16 van deze kaarten opgemaakt.

Kaartlegende

De verschillende landgebruiken in het overstromingsgebied krijgen een unieke kleurcode. Er worden acht verschillende soorten landgebruik weergegeven. Hieronder staan deze klassen met hun respectievelijke symbolen opgelijst:

Legende – klasse	symbool	R	G	B
Akkerland		230	230	0
Industrieel gebied		240	176	207
Infrastructuur		178	178	178
Natuur		76	115	0
Recreatiegebied		255	211	127
Residentieel gebied		255	85	0
Water		0	112	255
Weiland		255	255	190

Productiemethode

Gebaseerd op de Biologische Waarderingskaart werd een gedetailleerde bodemgebruikskaart opgesteld. De BWK (versie 2 van 2018) is een vectordataset met een hoge ruimtelijke nauwkeurigheid (voor de opmaak van de BWK werd een uitgebreide veldcampagne opgezet). Voor het gebruik werde een vertaling gemaakt tussen de classificatie van de BWK en de 8 bovenstaande klassen. Voor elke bron, kansscenario en klimaatscenario wordt het landgebruik in het overstroombare gebied geknipt en vervolgens een landgebruiklaag gemaakt op basis van de legende die hierboven vermeld is.






3.2.1.3 Verontreinigende installaties en potentieel getroffen beschermde gebieden

Deze kaart toont de ligging van de installaties die beschreven zijn in bijlage 1 van Richtlijn 96/61/EG (IPPC installaties) in de overstroombare gebieden. Het gaat om installaties die bij overstroming incidentele verontreiniging kunnen veroorzaken. Deze kaart wordt gecombineerd met verschillende lagen die de ligging tonen van de overstromingsgevoelige drinkwaterbeschermingszones, recreatiewaters (zwemwaters) en de door de EU-wetgeving beschermde natuurgebieden (natura2000 gebieden). Voor elke bron en elk kans- en klimaatscenario wordt een verschillende kaart getoond. In totaal zijn er 16 van deze kaarten opgemaakt.

Kaartlegende

De installaties die in overstroombaar gebied liggen worden met een symbool weergegeven. De verschillende beschermde gebieden worden daaronder gearceerd (aangezien verschillende beschermde gebieden op dezelfde plaats kunnen voorkomen) weergegeven in verschillende kleuren:



Legende – klasse	symbool	R	G	B
IPPC-installatie		nvt	nvt	Nvt
Habitatrichtlijn-gebied		56	168	0
Vogelrichtlijn-gebied		85	255	0
Recreatiewater		115	223	255
Drinkwater-beschermings-zone		0	197	255

Productiemethode

De gegevens van de IPPC-installaties zijn deze zoals opgemaakt in kader van de Richtlijn Industriële Emissies. De gegevens van de beschermde gebieden zijn deze zoals gerapporteerd onder de Kaderrichtlijn Water (KRLW). De IPPC-installaties en de verschillende beschermde gebieden die binnen het overstromingsgebied liggen worden op basis van de contouren van de overstroombare gebieden geknipt. Voor elke bron, kans-scenario en klimaatscenario wordt vervolgens een kaartlaag gemaakt op basis van de legende die hierboven vermeld is.

3.2.2 LATIS-kaarten

De opmaak van de LATIS overstromingsrisicokaarten is gebaseerd op de overstromingsgevaarkaarten die aan de hand van de schadetool LATIS 4.0³ geanalyseerd worden. LATIS is een specifieke GIS-tool ontwikkeld door het Waterbouwkundig Laboratorium in samenwerking met Universiteit Gent en berekent overstromingsimpact en risico's. De impact van een bepaalde overstroming wordt bepaald door de kwetsbaarheid en belang van de receptor en de omvang en diepte van de overstroming. De resultaten van de LATIS-tool zijn beschikbaar met een resolutie van 5x5m.

3.2.2.1 Economische impact (LATIS); economische schadekaarten en risicokaart

De economische schadekaarten tonen per bron, kans- en klimaatscenario de schade in functie van de waterdiepte, tijdstip (bv. voor landbouw), stroomsnelheid en stijgsnelheid uitgedrukt in €/m². Voor het berekenen van economische schade baseert LATIS zich op een uitgebreide landgebruikskaart (landgebruik maar ook de ligging van wegen en spoorwegen, lijnstructuren en van puntelementen) en socio-economische gegevens (woningprijzen, voertuigprijzen, landbouwprijzen,...).

De economische risicokaart toont de gewogen combinatie van alle beschikbare schadekaarten, herleid tot een "jaarlijkse gemiddelde schade" of €/m²/jaar.






In totaal zijn er 16 economische schadekaarten (per bron, kans en klimaatscenario) en 6 economische risicokaarten (per bron en klimaatscenario).

³ <https://www.waterbouwkundiglaboratorium.be/nl/latis-tool-overstromingsrisico>








Kaartlegende

De economische schade (€/m²) wordt ingedeeld in 5 verschillende klassen:

Legende – klasse	symbool	R	G	B
< 0.1		255	167	156
0.1 – 1		252	132	111
1 – 2		245	97	71
2 – 10		232	60	37
> 10		219	0	0

Het economische risico (€/m²/jaar) wordt ingedeeld in 5 verschillende klassen:

Legende – klasse	symbool	R	G	B
< 0.1		255	167	156
0.1 – 0.2		252	132	111
0.2 – 0.3		245	97	71
0.3 - 1		232	60	37
> 1		219	0	0

Productiemethode

De economische schade- en risicoberekeningen worden uitgevoerd in LATIS 4.0 (Deckers et al., 2011; Beulens et al., 2017). Op basis van landgebruiksinformatie en socio-economische data is het mogelijk een maximale schadekaart op te stellen. Deze kaart geeft de potentiële schade weer die zou optreden als een overstroming de volledige vernietiging van een goed (gebouw, akkerland, weg, ...) zou veroorzaken en is verschillend voor elke landgebruiksklasse. In een volgende stap wordt de maximale schadekaart gecombineerd met de waterdieptekaarten voor verschillende bronnen, kans- en klimaatscenario's zodat voor elk scenario een overeenkomstige werkelijke schadekaart wordt berekend. Om tot deze werkelijke schadekaart te komen, wordt gebruik gemaakt van schadefuncties die de werkelijke schade berekenen als functie van de waterdiepte en de maximale schade voor een bepaalde landgebruiksklasse. Deze theoretische schadefuncties (die opgesteld zijn door experts) zijn meestal overgenomen uit het buitenland. In de laatste stap worden de schadekaarten voor de verschillende terugkeerperioden met elkaar gecombineerd tot één risicokaart op basis van een gewogen gemiddelde.

3.2.2.2 Sociale impact (LATIS); sociale schadekaarten en risicokaart

De sociale schadekaarten tonen voor ieder scenario de sociale impact in functie van de sociale kwetsbaarheid, aantal getroffen personen en overstromingsindex uitgedrukt in een relatieve sociale impact score. Hiermee worden de immateriële gevolgen van overstromingen bedoeld die gerelateerd zijn aan de mensen zelf. Dit gaat dus verder dan de berekening van fysieke slachtoffers. De sociale impact van een overstroming is afhankelijk van het aantal getroffen personen en de sociale








kwetsbaarheid. Sociale kwetsbaarheid wordt hier beschouwd als de mogelijkheid van een persoon of groep om met de impact van overstromingen om te gaan.

De sociale risicokaart toont de gewogen combinatie van alle beschikbare schadekaarten, herleid tot een "jaarlijkse gemiddelde schade", uitgedrukt in score/m²/jaar.






In totaal zijn er 16 sociale impactkaarten (per bron, kans en klimaatscenario) en 6 sociale risicokaarten (per bron en klimaatscenario).

Kaartlegende

De sociale schade (score/m²) wordt ingedeeld in 5 verschillende klassen:

Legende – klasse	symbool	R	G	B
< 0.1		141	165	186
0.1 – 0.2		217	224	191
0.2 – 0.3		252	211	154
0.3 – 0.5		240	129	89
> 0.5		214	47	39

Het sociale risico (score/m²/jaar) wordt ingedeeld in 5 verschillende klassen:

Legende – klasse	symbool	R	G	B
< 0.01		141	165	186
0.01 – 0.02		217	224	191
0.02 – 0.03		252	211	154
0.03 – 0.05		240	129	89
> 0.05		214	47	39

Productiemethode

De sociale schade- en risicoberekeningen worden uitgevoerd in LATIS 4.0 (Broidoi et al., 2015). Dit resulteert in een relatieve sociale impact score die toelaat de sociale schade en risico relatief tussen gebieden te vergelijken. De sociale impact van een overstroming wordt berekend door het aantal getroffen personen te vermenigvuldigen met de overstromingsindex en de sociale kwetsbaarheidsindex. De index sociale kwetsbaarheid wordt bekomen door volgende gestandaardiseerde indicatoren bij elkaar op te tellen: het aantal rechthebbenden inwoners met recht op verhoogde tegemoetkoming, het aantal arbeidsongeschikten, het aantal niet-Europeanen en Oost-Europeanen, het aantal 75-plussers en het aantal eenoudergezinnen. De overstromingsindex is gebaseerd op de waterdiepte. De index zal een waarde 0 of 1 hebben en wordt voor elke woning afzonderlijk berekend. Hiervoor worden de overstromingskaart en de kaart met het residentieel gebied gebruikt. Om de sociale impact van een overstroming te berekenen, is het tenslotte belangrijk om rekening te houden met het aantal getroffen personen. Omdat het niet mogelijk is te weten waar iedereen zich bevindt op het moment van een overstroming, wordt de bevolking per statistische sector gelijkmatig verdeeld over het residentieel gebied. In de laatste stap worden de schadekaarten voor de



verschillende terugkeerperioden met elkaar gecombineerd tot één risicokaart op basis van een gewogen gemiddelde.

3.2.2.3 Ecologische impact (LATIS), ecologische schadekaarten en risicokaart






De ecologische schadekaarten tonen voor ieder scenario de ecologische impact in functie van de waterdiepte, periode en frequentie uitgedrukt in een relatieve ecologische impact score. De ecologische impact van een overstroming wordt beschouwd als een combinatie van enerzijds de ecologische waarde van een vegetatietype en anderzijds de kwetsbaarheid van dat vegetatietype voor een overstroming.

De ecologische risicokaart toont de gewogen combinatie van alle beschikbare schadekaarten, herleid tot een “jaarlijkse gemiddelde schade”, uitgedrukt in score/m²/jaar .






In totaal zijn er 16 ecologische impactkaarten (per bron, kans en klimaatscenario) en 6 ecologische risicokaarten (per bron en klimaatscenario).

Kaartlegende

De ecologische schade (score/m²) wordt ingedeeld in 5 verschillende klassen:

Legende – klasse	symbool	R	G	B
< 10		108	138	103
10 – 25		172	181	103
25 – 40		184	172	88
40 – 60		145	117	65
> 60		110	70	45

Het ecologische risico (score/m²/jaar) wordt ingedeeld in 5 verschillende klassen:

Legende – klasse	symbool	R	G	B
< 0.5		108	138	103
0.5 – 1		172	181	103
1 – 2		184	172	88
2 – 3		145	117	65
> 3		110	70	45

Productiemethode

De ecologische schade- en risicoberekeningen worden uitgevoerd in LATIS 4.0 (Beullens et al., 2017). Dit resulteert in een relatieve ecologische impact score die toelaat de ecologische schade en risico relatief tussen gebieden te vergelijken. De ecologische impact is een combinatie van de ecologische waarde index en de overstromingskwetsbaarheidsindex. De GSEW is gebaseerd op de biologische waardering op de BWK en de zeldzaamheid voor biotopen volgens het Natuurrapport 1999. Het grote aantal BWK-eenheden wordt vertaald naar een beperkter aantal natuur- en bostypes die elk een



GSEW-score hebben. Deze score wordt nog verder uitgebreid met de SBZ . Deze SBZ's zijn aangeduid door Agentschap Natuur en Bos (ANB) om bijkomende kansen te geven aan habitats en soorten die van levensbelang zijn voor de Europese biodiversiteit. Eenheden die binnen deze SBZ gelegen zijn, worden automatisch als biologisch waardevol beschouwd. De overstromingskwetsbaarheidsindex hangt enerzijds af van het vegetatietype en anderzijds van verschillende overstromingsparameters: waterdiepte, periode en frequentie. De kwetsbaarheid van een vegetatietype voor een overstroming wordt door de Nocker et al. (2007) aangegeven in de mate van combineerbaarheid in inundatietabellen. In de laatste stap worden de schadekaarten voor de verschillende terugkeerperioden met elkaar gecombineerd tot één risicokaart op basis van een gewogen gemiddelde.

3.2.2.4 Culturele erfgoed impact (LATIS), culturele schadekaarten en risicokaart






De culturele schadekaarten tonen voor ieder scenario de schade per bouwkundig erfgoed in functie van de culturele waarde en de waterdiepte uitgedrukt in een relatieve culturele impact score. De culturele impact van een overstroming wordt bepaald door de combinatie van de culturele kwetsbaarheid en de waterdiepte.

De culturele risicokaart toont de gewogen combinatie van alle beschikbare schadekaarten, herleid tot een “jaarlijkse gemiddelde schade” uitgedrukt in score/jaar.






In totaal zijn er 16 culturele impactkaarten (per bron, kans en klimaatscenario) en 6 culturele risicokaarten (per bron en klimaatscenario).

Kaartlegende

De culturele schade (score/m²) wordt ingedeeld in 5 verschillende klassen:

Legende – klasse	symbool	R	G	B
< 8		110	173	76
8 – 16		206	230	151
16 – 24		219	202	186
24 - 32		148	108	171
> 32		0	0	0

Het culturele risico (score/m²/jaar) wordt ingedeeld in 5 verschillende klassen:

Legende – klasse	symbool	R	G	B
< 0.4		110	173	76
0.4 – 0.8		206	230	151
0.8 – 1.2		219	202	186
1.2 – 1.6		148	108	171
> 1.6		77	32	150



Productiemethode

De culturele schade- en risicoberekeningen worden uitgevoerd in LATIS 4.0 (Beullens et.al., 2015). Dit resulteert in een relatieve culturele impact score die toelaat de culturele schade en risico relatief tussen gebieden te vergelijken. De culturele impact van een overstroming wordt berekend door het vermenigvuldigen van de culturele kwetsbaarheidsindex met de overstromingsindex. De culturele kwetsbaarheid index wordt in deze methodologie als maximale schadekaart gebruikt en is een maat voor de culturele waarde van het erfgoed. Deze wordt bekomen door gebruik te maken van de inventaris van het bouwkundig erfgoed. Uit de inventaris worden drie indicatoren met elkaar gewogen en gecombineerd tot een score van 1 tot 5; het aantal beschermingen waarover een cultureel goed beschikt, het aantal foto's bij de inventarisatie van het cultureel erfgoed en het aantal externe links naar het cultureel goed. Hierbij weegt het aantal beschermingen dubbel zo zwaar door op de index dan de andere twee indicatoren. De overstromingsindex krijgt een waarde van 1 tot 5 op basis van de waterdiepte. Het resultaat van de LATIS berekening is een rasterkaart met 1 ingekleurde pixel per getroffen erfgoed. Voor een betere visualisatie werden deze pixels omgezet naar punten (centroïde).

3.2.3 Aanvullende kaarten





Naast de verplichte gegevens werden op basis van de overstromingsgevaarkaarten ook een aantal niet-verplichte risicokaarten gemaakt. Het gaat hierbij om een kaart met overstromingsgevoelige kwetsbare instellingen (ziekenhuizen, scholen,...) en overstromingsgevoelige lijn- ((spoor)wegen, buslijnen)en puntinfrastructuren (electriciteitscentrales, drinkwaterinfrastructuur, treinstations, ...).

3.2.3.1 Bijzonder kwetsbare instellingen

Deze kaart toont de instellingen die moeilijk te evacueren zijn (ziekenhuizen, zorginstellingen, gevangenissen, scholen) en die in overstroombare gebieden liggen. De verschillende objecten worden als punten getoond waarbij er per type een verschillend symbool gebruikt wordt. Deze kaarten worden enkel opgesteld voor het maximale scenario; overstroming met kleine kans, en dit voor elke bron en klimaatscenario. In totaal zijn er dus 6 risicokaarten 'bijzonder kwetsbare instellingen'.

Kaartlegende

De verschillende instellingen gelegen binnen het overstromingsgebied worden als punten getoond waarbij er per type een verschillend symbool gebruikt wordt.

Legende – klasse	symbool	R	G	B
Gevangenis		nvt	nvt	nvt
Rusthuis		nvt	nvt	nvt
School		nvt	nvt	nvt
Ziekenhuis		nvt	nvt	nvt



Productiemethode






De gegevens van scholen, rusthuizen en ziekenhuizen zijn afkomstig van de PointOfInterest(POI)-service van Informatie Vlaanderen. De gegevens van gevangenissen zijn afkomstig van de Topografische databank 1:50.000 van het Nationaal Geografisch Instituut (NGI). Op basis van de contour van het grootste overstromingsgebied (kleine kans) worden de kwetsbare instellingen geselecteerd. Deze worden vervolgens voorgesteld op basis van de hierboven vermelde legende.

3.2.3.2 Lijninfrastructuren

Deze kaart toont wegen, spoorwegen en buslijnen die een grote rol spelen in de beweging van mensen en goederen naar, in en door het overstroomde gebied. Deze kaarten worden enkel opgesteld voor het maximale scenario; overstroming met kleine kans, en dit voor elke bron en klimaatscenario. In totaal zijn er dus 6 risicokaarten 'lijninfrastructuren'.

Kaartlegende

De verschillende infrastructuren worden als lijnen getoond op de kaart waarbij er per type een verschillende kleur wordt gebruikt:

Legende – klasse	symbool	R	G	B
Autosnelweg		255	207	115
Verbindingsweg		255	207	115
Toegangsweg		255	207	115
Buslijn		168	0	0
Spoorbaan		168	0	0

Productiemethode

De gegevens van wegen zijn afkomstig van NAVstreets, de gegevens van buslijnen en haltes van De Lijn en de gegevens van spoorlijnen van Infrabel, spoorinfrastructuurbeheerder in België. Op basis van de contour van het grootste overstromingsgebied (kleine kans) worden infrastructuur-segmenten geselecteerd die door het overstromingsgebied gaan. Teneinde buslijnen niet in zijn geheel mee te nemen worden deze eerst opgeknipt per segment tussen 2 haltes. Wegen worden opgesplitst tussen kruispunten. De geselecteerde infrastructuren worden vervolgens voorgesteld volgens de hierboven beschreven legende.

3.2.3.3 Puntinfrastructuren










Deze kaart toont infrastructuur van kritisch belang in overstroombaar gebied. Hetzij vanuit een algemeen belang (energievoorziening, watervoorziening, ...), hetzij vanuit het crisisbeheer of de hulpverlening (politie, brandweer). Deze kaarten worden enkel opgesteld voor het maximale scenario; overstroming met kleine kans, en dit voor elke bron en klimaatscenario. In totaal zijn er dus 6



risicokaarten ‘puntinfrastructuren’.

Kaartlegende

De verschillende infrastructuren worden als punten getoond waarbij er per type een verschillend symbool gebruikt wordt:

Legende – klasse	symbool	R	G	B
Brandweer-kazerne		nvt	nvt	nvt
Politiekazerne		nvt	nvt	nvt
Treinstation		nvt	nvt	nvt
Elektriciteitscentrale		nvt	nvt	Nvt
Elektriciteitscabine		nvt	nvt	nvt
Drinkwaterinfrastructuur		nvt	nvt	nvt
Windturbine		nvt	nvt	nvt
Benzinestation		nvt	nvt	nvt
Zendinstallatie		nvt	nvt	nvt

Productiemethode

De gegevens van brandweer- en politiekazernes, treinstations, windturbines en elctriciteitscentrales zijn afkomstig van de Topografische databank 1:50.000 van het Nationaal Geografisch Instituut (NGI), gegevens van benzinstations van de NAVstreets, de electriciteitscabines van het Grootschalig Referentie Bestand (GRB of Basiskaart Vlaanderen) van Informatie Vlaanderen, de gegevens van drinkwaterinfrastructuur van Aquaflanders, federatie van Vlaamse waterbedrijven en rioolbeheerders, en de zendinstallaties van het Belgisch Instituut voor postdiensten en telecommunicatie (BIPT). Op basis van de contour van het overstroombaar gebied met kleine kans worden de kritieke infrastructuren geselecteerd. Deze worden vervolgens voorgesteld op basis van de hierboven vermelde legende.

4 MODELLERINGSMETHODIEKEN

Voor het aanmaken van de overstromingsgevaarkaarten wordt in Vlaanderen maximaal gebruik gemaakt van numerieke modellen. Via een keten van statistische, hydrologische en hydrodynamische modellen worden de overstromingskansen met en zonder klimaatverandering in kaart gebracht en dit zowel voor overstromingen vanuit zee (kust), vanuit waterlopen (fluviaal) als door intense neerslag (pluviaal).

Dit hoofdstuk vat de modelleringsmethodieken samen die gebruikt zijn voor de opmaak van de OGRK-2019. Meer details omtrent de modelleringsmethodieken zijn terug te vinden in de bijhorende referenties.



Methodologie

Opmaak

OverstromingsGevaar-

en

overstromingsRisicoKaarten

(OGRK)

pagina 21 van 43

4.1 Algemene aspecten

4.1.1 Waterbeheersingsinfrastructuur

Bij de opmaak van de modellen en kaarten worden bestaande beschermingsmaatregelen en waterbeheersingsinfrastructuur zo nauwkeurig mogelijk in het hydraulische model ingebracht en als operationeel verondersteld.

Zowel bij de pluviale als fluviale kaarten wordt er geen rekening gehouden met mogelijks falen van waterbeheersingsinfrastructuur zoals bv. uitvallen van pompen, of dijkdoorbraken. Ook mogelijke verstoppingen van bruggen of duikers worden niet in rekening gebracht. Enkel bij de opmaak van een 'Textreem' wordt het falen van waterbeheersingsinfrastructuur mogelijks als randvoorwaarde opgelegd. De kaarten zijn dus louter een weergave van de natuurlijke overschrijding en/of de overschrijding van het beschermingsniveau. Natuurlijke overschrijding zijn de overstromingen te wijten aan de overschrijding van de natuurlijke capaciteit van de waterloop (fluviaal) of een overschrijding van het infiltratie- en afvoervermogen van de bodem (pluviaal). Overschrijding van het beschermingsniveau zijn overstromingen die plaatsvinden wanneer de bestaande bescherming ontoereikend is, bv. het overtoppen van dijken (fluviaal), het overstromen van erosiepoelen of wachtbekkens (fluviaal en pluviaal) of de capaciteit van het regenwaterstelsel die overschreden wordt (pluviaal).

Enkel voor de opmaak van de overstromingsgevaarkaarten van de kust wordt rekening gehouden met de kans op falen van beschermingsinfrastructuur (Vanneste, 2020). Enerzijds wordt het falen van de natuurlijke zeewering door erosie (duin- en strandafslag) en het structureel falen van harde zeeweringen ten gevolge van de belasting tijdens een extreme storm in rekening gebracht met mogelijke bresvorming tot gevolg. Anderzijds wordt ook het falen van de waterkering in havens met name sluizen en stuwen gesimuleerd. De verschillende faalmechanismen worden vereenvoudigd tot één mechanisme gebaseerd op de sterkte/stabiliteit van de sluis of stuw.

4.1.2 Gebouwen en infrastructuur

Bij de opmaak van de modellen en kaarten wordt veel gebruik gemaakt van het gebiedsdekkende Digitaal Hoogte Model Vlaanderen, versie I of II, (DHMI of DHMII). Het DHM is een driedimensionale digitale beschrijving van het aardoppervlak. Het model wordt weergegeven door x-, y- en z-coördinaten, gepositioneerd op maaiveldhoogte met natuurlijke en kunstmatige landschapselementen zoals vegetatie, gebouwen en bruggen digitaal verwijderd.

Bij de opmaak van hydraulische modellen worden hydraulische kunstwerken (bruggen, duikers etc.) expliciet en zo nauwkeurig mogelijk in de modellen ingebracht aan de hand van opmetingen en inventarissen. Voor de fluviale en pluviale modellering werd gebruik gemaakt van het DHM II met een resolutie van 2x2m en werden gebouwen als niet-overstroombaar opnieuw in het DHM geïntroduceerd (hoogte van +10 m). Daardoor zijn gebouwen niet ingekleurd op de



overstromingsgevaarkaarten. Het gebruik van deze kaarten voor de opmaak van de overstromingsrisicokaarten zonder correctie zou een vertekend beeld geven van de potentiële gevolgen (economische schade, getroffen inwoners, ...). Daarom is het nodig om een selectie van overstroomde gebouwen te maken. Omdat de specifieke hoogteligging van de vloer- of dorpelpeilen van gebouwen niet gekend zijn, is het onmogelijk om voldoende correct te bepalen of individuele gebouwen al dan niet overstroomd op basis van de DHM-hoogte in een gebouw. Volgende methodiek werd toegepast. Op een straal van 1m om een gebouw (op basis van de GRB-gebouwen: de gebouwen met als type 'Hoofdgebouw') heen, wordt bepaald wat de gemiddelde waterdiepte is. Om in te schatten of dit een aanzienlijk deel van de omtrek van het gebouw is, wordt ook de verhouding bepaald tussen de lengte van de bufferlijn die overstroomd is en de totale lengte van de bufferlijn rond het gebouw. De lengte van de bufferlijn die in andere gebouwen ligt, wordt hierbij niet meegenomen. De gemiddelde diepte vermenigvuldigd met de verhouding van de bufferlijn die overstroomt, wordt als maatstaf gebruikt om in te kunnen schatten of een gebouw al dan niet is overstroomd. De drempelwaarde vanaf wanneer een gebouw wordt verondersteld te overstroomd, werd gekalibreerd op basis van een set van 3.200 topografisch en door middel van 3D-luchtbeelden opgemeten dorpelpeilen. Bij de overstromende gebouwen wordt de gebouwcontour met de gemiddelde waterdiepte opgevuld.

De opmaak van de overstromingsgevaarkaarten voor de kust maakt gebruik van het DHMI met een resolutie van 5x5 m zonder gebouwen. De hoogtegegevens met een resolutie van 5x5 m werden geaggregeerd tot een vereenvoudigd hoogtemodel met een resolutie van 20x20 m. Hierbij werd aan elke cel van het hoogtemodel een hoogte toegekend die overeenstemt met de gemiddelde hoogte van de vier samenstellende cellen van het DHM I-Vlaanderen. In sommige delen van de kustvlakte bevinden zich lijnvormige structuren (dijken, wegbermen, spoorwegbermen, ...) die een waterkerende invloed kunnen hebben. Om te vermijden dat door aggregatie van de hoogtegegevens deze structuren afgevlakt zouden worden (met een onrealistisch stromingspatroon als gevolg) werden een aantal manuele correcties uitgevoerd om de kruinpeilen van deze structuren te herstellen. Door de lage resolutie zitten gebouwen vaak volledig vervat binnen één pixel en is het niet mogelijk om gebouwen als niet overstroombaar te beschouwen en worden deze wel ingekleurd als ze binnen de contouren liggen. Daarnaast is bovenstaande selectiemethodiek voor overstroomde gebouwen ook niet toepasbaar op deze lage resolutie overstromingsgevaarkaarten.

4.1.3 Klimaatscenario's

Om een gefundeerde inschatting te maken van de impact van klimaatverandering op het overstromingsrisico werden ook overstromingsgevaarkaarten opgesteld met klimaatprojectie 2050.

Voor de impact op neerslag en afvoer (fluviaal en pluviaal) is hiertoe gebruik gemaakt van



klimaatscenario's zoals opgesteld in het kader van het CCI-HYDR⁴ project van de KU Leuven en het KMI (Baguis, 2010) en later geactualiseerd op basis van de meest recente CMIP5 gebaseerd klimaatmodel simulaties (Tabari et al., 2014; Tabari et al., 2015). De waaier aan projecties voor de verschillende klimaatmodellen heeft ertoe geleid dat voor Vlaanderen drie neerslag- en verdamping-scenario's worden weerhouden : een hoog, midden en laag scenario. Bij de actualisatie werd voor het hoog scenario onderscheid gemaakt tussen een hoog-zomer en hoog-winter scenario.

Voor de opmaak van de **fluviale** overstromingsgevaarkaart met klimaatverandering werden gekozen om het hoog-winter scenario met horizon 2050 in kaart te brengen. Historische tijdreeksen van neerslag en/of potentiële evapotranspiratie voor het gekozen klimaatscenario werden aangemaakt door middel van de perturbatietool van de KU Leuven⁵ (eerste versie: Ntegeka et al., 2009; geactualiseerde versie: Ntegeka et al., 2014; Willems & Vrac, 2011; Willems, 2013). De tool produceert geperturbeerde historische reeksen, representatief voor het toekomstige klimaat in België tot een tijdshorizon 2100 volgens een geavanceerde kwantelperturbatie voor de statistische neerschaling. Voor de neerslag worden zowel veranderingen in de frequenties van natte en droge dagen als veranderingen in de neerslagintensiteit in rekening gebracht. Evapotranspiratiereeksen worden getransformeerd door het toepassen van maandelijkse gemiddelde veranderingen. Voor het hoge klimaatscenario zal de neerslag significant stijgen tijdens de wintermaanden en dalen tijdens de zomermaanden. De verdamping zal zowel tijdens de winter- als tijdens de zomermaanden een stijging vertonen. De geperturbeerde reeksen dienen als input voor de hydrodynamische modellen voor de opmaak van overstromingskaarten met klimaatprojectie. Vermits in de eerste versie van de tool geen geperturbeerde neerslagreeksen beschikbaar zijn voor het jaar 2050, werden de resulterende afvoeren en waterpeilen lineair geïnterpoleerd tussen 2010 en 2100.

Binnen het project voor de opmaak van de **pluviale** overstromingskaarten werden bijkomende simulaties uitgevoerd voor de verwachte situatie met klimaatwijziging in 2050 (en 2100). Hierbij wordt gebruik gemaakt van het hoog-zomer klimaatscenario. Dit is het klimaatscenario met een hoge impact op vooral de zomerse, convectieve buien die vaak verantwoordelijk zijn voor wateroverlast ten gevolge van afstromend regenwater. Voor het aanmaken van pluviale afstromingskaarten is de lokale piekafvoer het belangrijkste en is daarom het hoog-zomer scenario het meest relevant en extreem. Voor deze klimaatscenario's worden eveneens pluviale overstromingskaarten opgemaakt met een terugkeerperiode van 10, 25, 100 en 1000 jaar. Hierbij wordt gewerkt met de klimaatperturbatiefactoren die door de KU Leuven werden aangeleverd (Tabari, 2014). Als deze klimaatscenario's worden gesimuleerd in JFlow[®], houdt dit enkel rekening met de evolutie in de neerslag en niet met andere factoren zoals toenemende evapotranspiratie (door klimaatverandering), bijkomende urbanisatie, bronmaatregelen op stedelijke afvoer, ...

⁴ https://www.kuleuven.be/hydr/cci/CCI-HYDR_rp.htm

⁵ <https://www.kuleuven.be/hydr/cci/reports/Climate%20Perturbation%20Tool%20KULeuven%20-version%202015.pdf>



Voor de overstromingskaarten voor de **kust** werden scenario's rekening houdend met klimaatverandering (anno 2050) niet expliciet gemodelleerd in de zin dat een toeslag op de waterstand gecombineerd werd met een bijhorende impact op de golfrandvoorwaarden. Er kan toch een inschatting gemaakt worden van het effect van een zeespiegelstijging door de verwachte toekomstige waterstand bij een T100 of T1000 storm te linken aan een beschikbaar modelscenario dat zo dicht mogelijk aansluit bij deze verwachte waarde van de waterstand. Een zeespiegelstijging van 21,6 cm wordt vooropgesteld voor 2050, afkomstig van het gematigd M+ scenario van de CLIMAR studie (Van den Eynde et al., 2011). In het geval van het T1000 2050 scenario geeft dit een relatief grote overschatting van de waterstand (+31 cm), en bijgevolg ook van de wind- en golfrandvoorwaarden die in de diverse modellen werden toegepast voor de opmaak van de randvoorwaarden in dit scenario.

4.1.4 Omgaan met onzekerheden

Bij de opmaak van de overstromingsgevaar- en overstromingsrisicokaarten wordt een traditionele deterministische benadering gebruikt voor overstromingsmodellen, gebaseerd op simulaties met het meest nauwkeurig geacht model en meest correct geachte invoer. In de realiteit zal er echter altijd sprake zijn van onzekerheden.

Er zijn verschillende typen onzekerheden die van invloed zijn op de overstromingskans: modelonzekerheden, statistische onzekerheden en 'exogene' onzekerheden.

Onder modelonzekerheden wordt verstaan de onzekerheid in de simulatiekracht van het gehanteerde model: bijvoorbeeld de onzekerheid in de gemodelleerde waterstanden als gevolg van de onzekerheid in modellering van ruwheden. Modelonzekerheden komen voort uit het feit dat modellen altijd slechts een benadering zijn van de werkelijkheid, geen model is perfect. Daarnaast worden er ook steeds een aantal aannames gemaakt, rekening houdende met de beschikbare informatie en de technisch haalbare detailgraad van de modellering. Door onzekerheden in parameterwaarden, het onderliggend hoogtemodel, de modelschematisatie, modelinvoer, meetdata, etc. zullen de modelresultaten ook altijd onderhevig zijn aan onzekerheden. Modelonzekerheden verschillen per model maar zijn ook locatieafhankelijk binnen eenzelfde model.

Hierbij stelt zich de vraag of de resulterende kaarten omwille van deze onzekerheden voldoende robuust zijn. Hierbij dient eerst en vooral vermeld te worden dat de aannames maximaal gebaseerd zijn op fysische kenmerken van het systeem en waar mogelijk ook steeds onderbouwd door methodologische testen. Daarnaast worden modelonzekerheden maximaal opgevangen door model kalibratie en -validatie. In een iteratief proces worden modelresultaten zo goed mogelijk in overeenstemming gebracht met de metingen door verschillende modelparameters aan te passen.

Vaak worden ook gevoeligheidsanalyses uitgevoerd die nagaan hoeveel impact veranderende parameters hebben op de resultaten en overstromingscontouren. Hierdoor bestaat er voldoende vertrouwen in dat de resulterende kaarten een correcte weergave zijn.

Daarnaast zijn er ook de statistische onzekerheden die het gevolg zijn van de onzekerheid in de gefitte kansverdelingen en dus de bepaling van de kans van voorkomen van een bepaalde overstroming. Dit



is zowel te wijten aan de natuurlijke variabiliteit als de onzekerheid die ontstaat bij de extrapolatie naar extremen die veel zeldzamer zijn dan wat ooit geobserveerd werd. Om deze onzekerheden in rekening te brengen worden vaak betrouwbaarheidsintervallen opgesteld en worden ook kansen bepaald voor de onder- en bovengrens van het 95-percentiel betrouwbaarheidsinterval. Bij het toepassen van de kaarten worden deze onzekerheden in rekening gebracht door bepaalde marges te hanteren op het deterministische resultaat. Bij preventieve toepassingen worden vergrotende marges in rekening gebracht zodat men maximaal invulling krijgt. Bij restrictieve toepassingen worden verkleinende marges in rekening gebracht zodat men een eerder conservatieve invulling krijgt.

Tenslotte zijn er ook nog de exogene onzekerheden, indirecte onzekerheidsbronnen die zijn gerelateerd aan de context van het model o.a. menselijke handelingen, veranderingen op het terrein maar in het bijzonder de klimaatscenario's. De klimaatscenario's omspannen een bereik dat de toekomstige werkelijkheid met grote waarschijnlijkheid omvat. Toch blijft de onzekerheid groot. De exacte kans op het voorkomen van een bepaald klimaatscenario is immers niet gekend. Bovendien zijn er gekende processen en mechanismen waarmee nog niet expliciet rekening kan gehouden worden (bv. overschrijden tipping points). Ook zijn er onzekerheden waarvan het bestaan zelfs nog niet gekend is. De gevolgen van klimaatscenario's laten zich echter wel berekenen. Als de gevolgen van een bepaald scenario groot zijn, is het belangrijk er rekening mee te houden in de beleidsvoering en het beheer. Daarbij moet de mogelijkheid voorzien worden om - met een zo beperkt mogelijke kost - aanpassingen aan te brengen naarmate de klimaatkennis vergroot.

4.2 Fluviale overstromingskaarten

Door de opsplitsing van de bevoegdheid rond het waterbeheer in Vlaanderen zijn verschillende instanties verantwoordelijk voor de opmaak van fluviale overstromingskaarten, nl.:

- de Vlaamse Waterweg voor de bevaarbare waterlopen
- de Vlaamse Milieumaatschappij voor de onbevaarbare waterlopen 1ste categorie
- de provincies voor de onbevaarbare waterlopen 2de categorie

Voor de opmaak van de Vlaamse fluviale overstromingsgevaarkaarten moeten de verschillende kaarten worden samengevoegd en dit voor de drie kansscenario's van zowel huidig klimaat als toekomstig klimaat. De kaarten met klimaatprojectie zijn beperkt tot de bevaarbare en de meeste onbevaarbare 1e categorie modellen. Wanneer overstromingsgevaar- en risicokaarten uit verschillende modelbronnen overlappen werd ofwel de omliggende contour weerhouden en is de hoogste waarde (waterdiepte, stroomsnelheid of stijgsnelheid) geselecteerd, ofwel werd door de experts beslist om enkel één modelresultaat te weerhouden. Tenslotte vindt er nog een naverwerking plaats voor een consistentere kaartbeeld, nl. alle losse groepjes pixels kleiner dan 96 m² worden verwijderd.

De opmaak van de fluviale overstromingskaarten is gebaseerd op een keten van hydrologische, hydrodynamische en statistische modellen. Vanuit neerslag en evapotranspiratie berekent het



hydrologisch model de afvoerdebieten. Deze afvoerdebieten worden gevoed aan het hydrodynamisch model dat debieten en waterpeilen in de waterloop en de overstromingsgebieden berekent. Aan de hand van statistische methodes kan de kans op overstromingen per locatie bepaald worden. Dit gebeurt op de waterpeilen als resultaat van het hydrodynamische model of op de afvoerdebieten berekend door het hydrologische model.

Voor de bevaarbare en onbevaarbare waterlopen wordt een verschillende aanpak gehanteerd. Hieronder worden de verschillende modelleringsmethodieken voor fluviale kaarten beschreven.

4.2.1 Onbevaarbare waterlopen

Voor de opmaak van de hydrologische en hydrodynamische modellen van de onbevaarbare waterlopen wordt gewerkt volgens de modelleerrichtlijnen van de Vlaamse Milieumaatschappij (VMM, 2010).

4.2.1.1 Hydrologie

Het hydrologisch model staat in voor de berekening van de afvoerdebieten die zullen dienen als opwaartse randvoorwaarden (inclusief de zijdelingse instroomdebieten) van het hydrodynamisch model. Voor de onbevaarbare waterlopen wordt hiervoor gebruik gemaakt van het PDM-model (Probability Distributed Moisture). Het PDM-model is een conceptueel neerslag-afvoermodel geschikt voor continue simulaties. Het PDM-model wordt gevoed met continue neerslag- en evapotranspiratietijdreeksen en berekent afvoertijdreeksen.

Als belangrijkste kenmerk heeft PDM het gebruik van een verdelingsfunctie voor de ‘soil moisture store capacity’, zodat niet langer met één conceptueel bodemreservoir wordt gerekend, maar met een ganse populatie ervan. Dit laat op zijn beurt toe om de dynamische aangroei van runoff genererende gebieden in rekening te brengen (het zgn. variable source area concept), zonder dat deze gebieden expliciet lokaliseerbaar zijn. PDM omvat eigenlijk een ganse familie van modellen aangezien de flexibele modelopbouw toelaat om te werken met verschillende formules voor de grondwatervoeding, verschillende verdelingsfuncties voor het bodemreservoir en verschillende lineaire en niet-lineaire reservoir modellen voor de routing, enz. Het model is opgebouwd uit drie onderling verbonden reservoirs, die fysische elementen van het stroombekken voorstellen: de oppervlakkige berging, de onverzadigde zone en het grondwaterreservoir. Tijdens de berekening wordt continu de vochttoestand in de verschillende reservoirs bijgehouden.

Conceptuele modellen, zoals PDM, dienen te worden gekalibreerd en gevalideerd aan geobserveerde debieten. Tijdens zulke kalibratie worden optimale waarden voor de parameters en modelstructuren voor de verschillende hydrologische processen gezocht opdat de resulterende debieten zo goed als mogelijk overeenstemmen met de waarnemingen. Vooral omwille van fysische relevantie zullen vooraf reeds een aantal modelstructuren worden gekozen en een aantal parameters gelijk gesteld worden aan hun standaardwaarde (of binnen een bepaald bereik dat algemeen in Vlaanderen of de



beschouwde hydrologische zone worden aangenomen) en dus niet of slechts beperkt betrokken worden in de kalibratie, overeenkomstig de ervaringen van VMM met het PDM model.

Aangezien geobserveerde debietsreeksen typisch beschikbaar zijn voor grotere stroomgebieden worden de parameters van het PDM-model voor de bemeten stroomgebieden vervolgens bijgesteld om te komen tot parameters voor de verschillende PDM-modellen van de deelstroomgebieden ervan. Dit gebeurt op basis van fysische kenmerken (helling, bodem, verhardingsgraad, ...) en in combinatie met de kalibratie van het hydraulische model om aldus te resulteren in overstromingsgevaarkaarten die de geobserveerde overstromingscontouren zo goed mogelijk benaderen.

De hydrologische berekeningen resulteren voor elk subbekken in een inloophydrogram dat ofwel zeer plaatselijk in de gemodelleerde waterloop terecht komt, als het subbekken bijvoorbeeld gedomineerd wordt door een belangrijke zijbeek, ofwel ruimtelijk verdeeld over een bepaalde afstand.

4.2.1.2 Hydraulica

De numerieke hydrodynamische modellen voor de onbevaarbare waterlopen zijn opgemaakt in Infoworks-RS (river system), een softwarepakket verdeeld door Innovyze. Het Infoworks-RS model berekent de dynamische stroming in een waterloop of een netwerk van waterlopen, met de mogelijkheid om de overstroming van dijken of het opvullen van het winterbed te simuleren. Hiervoor maakt het rekenhart gebruik van de 1-dimensionale ondiepwatervergelijkingen. Deze vergelijkingen, ook de St.-Venant vergelijkingen genoemd, bestaan uit een continuïteitsvergelijking (behoud van massa) en een momentumvergelijking (behoud van beweging).

Het model berekent in een discreet aantal punten de waterstand en het debiet in functie van de tijd rekening houdend met externe en interne randvoorwaarden. Externe randvoorwaarden kunnen bestaan uit een waterhoogte in functie van de tijd, een debiet in functie van de tijd of een ijkingskromme. Zij dienen aan elke rand van het model opgelegd te worden. Interne randvoorwaarden omvatten een wiskundige beschrijving van kunstwerken en hydraulische structuren (bruggen, pompen, stuwen, schuiven, enz.) die een invloed hebben op de hydrodynamica. De vergelijkingen van de St.-Venant worden opgelost met behulp van de eindige differenties methode. Infoworks-RS maakt hierbij gebruik van het impliciet Preissmann numeriek schema.

De opbouw van de semi 2D-hydrodynamisch detailmodellen gebeurt op basis van opmetingsgegevens en het gebiedsdekkende Digitaal Hoogte Model Vlaanderen II (DHM-II). Het gebruikte DHM voor de hydraulische modellering heeft een GRID-formaat met een resolutie van 2 m op 2 m en een nauwkeurigheid tot op 1 cm.

Gemiddeld om de 50 m wordt een dwarssecties ingevoerd vanuit de topografische opmetingen van de waterloop, uitgevoerd door een landmeetbureau. Deze opmeting omvatte per dwarsprofiel de bedding, de taluds en de dijken of oeverwallen en het maaiveld in het verlengde van het dwarsprofiel. Ook hydraulische structuren (duikers, bruggen, stuwen, schuiven, ...) worden op terrein opgemeten en door middel van specifieke modelementen zo waarheidsgetrouw mogelijk in het model ingebracht. Deze modelementen houden rekening met bijzondere ladingsverliezen (contractie van de



stroomlijnen opwaarts en de expansie afwaarts van de brug, invloed van pijlers,...). De sturing van regelbare hydraulische constructies zoals pompen, schuiven en stuwen wordt mee opgenomen in het Infoworks-RS model. Bij de opmaak van de overstromingsgevaarkaarten wordt alle beschermingsinfrastructuur als operationeel beschouwd. Er wordt geen rekening gehouden met het mogelijk falen van de infrastructuur.

Wanneer de maximaal bereikte waterhoogte uitstijgt boven het peil van linker- en/of rechteroever, worden de debieten over de oevers berekend op basis van de overstortformule, de hoogteligging van de oevers en het waterpeil in de waterloop en in het aangrenzende overstromingsgebied. De overstromingsgebieden worden in het model ingebouwd door middel van reservoirs met een volume-hoogte verhouding bepaald op basis van het DHM. Waar er zich een noemenswaardige stroming doorheen de vallei voordoet, wordt bij voorkeur gebruik gemaakt van dwarssecties van het valleigebied met een gepaste ruwheidscoëfficiënt.

Het numerieke model wordt tenslotte nog gekalibreerd op basis van lokale neerslaggegevens, peil- en debietmetingen en geobserveerde overstromingskaarten tijdens historische hoogwaterperiodes. Een hydrodynamisch model bevat een groot aantal onbekende parameters of onzekerheden; de algemene ladingsverliezen (de ruwheid van de rivierbedding en de overstromingsgebieden (het maaiveld) en de bijzondere ladingsverliezen aan structuren (debietcoëfficiënten en speciale verliescoëfficiënten). Kalibratie behelst het proces waarbij aan de (onzekere) parameters en coëfficiënten een waarde wordt toegekend zodat een goede overeenkomst wordt bekomen tussen modelresultaten en metingen. De kalibratie is bovendien enkel geslaagd als deze parameterwaarden fysisch realistisch zijn.

4.2.1.3 Statistiek

Met behulp van de hydrodynamische en hydrologische modellen werden de specifieke overstromingsgevaarkaarten gegenereerd volgens twee sporen: de klassieke methode op basis van historische neerslagevents en de methode met synthetische randvoorwaarden.

De klassieke methode

Voor de kleinere waterlopen zijn de overstromingsgevaarkaarten nog opgemaakt volgens de klassieke methode. De hydrologische modellen worden belast met tijdreeksen van waargenomen neerslag en verdamping met een minimumduur van 100 jaar. Uit de resulterende neerslagafvoertijdreeks wordt via een POT-analyse (Peak-over-Threshold) op basis van piekdebieten en bergingsvolumes een reeks hoogwaterperiodes geselecteerd. Door deze analyse toe te passen op de afvoerreeksen van meerdere deelstroomgebieden (stroomop- en stroomafwaarts gelegen stroomgebieden) wordt ook rekening gehouden met verschillen in concentratietijden en afvlakking. Via deze selectie verkrijgt men een verzameling van neerslagevents of hydrogramsequenties die in principe alle hoogwaterperiodes omvat die potentieel aanleiding geven tot zowel korte overstromingen aan knelpunten in het opwaartse pand als tot langdurige overstromingen stroomafwaarts. De POT selectie is erop gericht om een 1 à 2 onafhankelijke piekwaarden te bekomen per jaar. Dit komt neer op ongeveer 150 hoogwaterperiodes voor de simulatieperiode van een 100-tal jaar. De geselecteerde perioden worden



samen gevoegd tot één episodecollectie. Deze collectie van episodes wordt hydraulisch doorgerekend met het waterlopenmodel waarbij aan de afwaartse randen wordt gebruik gemaakt van ofwel langjarige waterpeil-tijdreeksen ofwel een debiet-waterpeil kromme.

Aan elk hydrogram wordt een kans per jaar toegekend gelijk aan $1/n$ per jaar, waarbij n het aantal jaar gegevens voorstelt. De kansen per jaar worden behouden na hydraulische simulatie. Dit laat toe om de kansen om te zetten naar overschrijdingsfrequenties en terugkeerperiodes volgens het zgn. principe van “statistiek op het einde”. De overschrijdingsfrequenties worden berekend door op de beschouwde locatie en voor de beschouwde variabele (bv. waterpeil) de kwantielen te sorteren waarbij men de overeenkomstige kansen cumulatief optelt. Tenslotte wordt een statistische verdeling afgeijkt aan de resultaten en kan zo voor elke modelknoop voor elke terugkeerperiode de waterhoogte berekend worden.

Omdat de neerslagtijdreeks beperkt is tot een 100-tal jaar zijn ook de resulterende frequentiekaarten beperkt tot maximaal T100. Een T’extreem’ contour wordt geproduceerd door met het hydrodynamisch model een zeer extreme, fictieve, neerslagperiode door te rekenen al dan niet gekoppeld aan extreme randvoorwaarden (bv. uitvallen pompinfrastructuur, extreem stormtij op zee,...). Van de stroomgebieden waarvan de overstromingsgevaarkaarten via deze klassieke methode werden opgesteld, zijn er geen overstromingsgevaarkaarten voor het toekomstige klimaatscenario.

Methode van synthetische randvoorwaarden

Voor de meeste waterlopen van 1e categorie werden via een methode met synthetische inloophydrogrammen en bijhorende statistische analyse, actuele overschrijdingsfrequentiekaarten (T10, T100, T1000) geproduceerd (Blanckaert et al.,2012; IMDC, 2013). Net zoals in de klassieke methode wordt in een eerste stap een lange-termijn simulatie met het hydrologische model uitgevoerd wat resulteert in een lang-jarige neerslagafvoertijdreeks. Vervolgens wordt een POT-analyse uitgevoerd op de piekdebieten. Aan de geselecteerde POT-waarden wordt een verdeling afgeijkt van het type GPD of Weibull met 95%-betrouwbaarheidsinterval.

Het bereik van debieten wordt opgedeeld in 30 debietklassen van een terugkeerperiode 0.5 jaar tot de bovengrens van terugkeerperiode 1000 jaar. Voor elke klasse wordt de kans op voorkomen per jaar bepaald op basis van de cumulatieve extreme waarden distributiefunctie. Dit is de kans per jaar dat het piekdebiet van een afvoerperiode in die bepaalde debietklasse ligt.

De vorm en de duur van de hydrogrammen worden bepaald aan de hand van eenheidsprofielen. Dit zijn genormaliseerde afvoerprofielen die afgeleid zijn uit de extreme neerslagafvoerhydrogrammen. Deze worden herschaald tussen 0 en 1 en het gemiddelde en de variatie daarrond worden bepaald. Vijf verschillende eenheidsprofielen met verschillend afvoervolume worden beschouwd; het gemiddelde profiel, het gemiddelde profiel min twee maal de standaardafwijking, min één maal de standaardafwijking, plus één maal de standaardafwijking en plus twee maal de standaardafwijking. Elk profiel heeft een bepaalde kans van voorkomen, uitgaande van de conservatieve aanname dat de kans een normale verdeling volgt. De 150 synthetische hydrogrammen worden bekomen door het combineren van de vijf eenheidsprofielen met de 30 debietklassen. De kansen van de hydrogrammen



worden bepaald door het combineren van de kansen van de klassen met de kansen van de profielen. Gelijkaardig zijn ook twee sets van kansen bepaald voor de onder- en bovengrens van het 95%-betrouwbaarheidsinterval.

Ook de afwaartse randvoorwaarde kan een invloed hebben op het overstromingsrisico en dient daarom in rekening gebracht te worden. In waterloopmodellen waar een debiet-waterpeil verband toegepast is als afwaartse randvoorwaarde blijft dit onveranderd en blijven de kansen bepaald op basis van de hydrologische randvoorwaarden ongewijzigd. Wanneer de afwaartse randvoorwaarde bestaat uit een tijdreeks van waterpeilen en een aanzienlijke invloed heeft op het overstromingsregime, zijn voor deze waterloopmodellen afwaartse randvoorwaarden opgesteld volgens een gelijkaardige methode die gebruik maakt van waterpeilklassen en eenheidswaterpeilprofielen. Bij getijdewerking wordt een getijdegolf ingebracht in de 13 uur gemiddelde peilen van het waterpeilprofiel.

Hydrodynamische simulatie behoudt de kans op voorkomen per jaar van elk individueel hydrogram. Er wordt dan ook geen rekening gehouden met mogelijk falen van infrastructuur. De overschrijdingsfrequenties worden berekend door in elk modelement en voor de beschouwde variabele de kwantielen te sorteren en de overeenkomstige kansen per jaar cumulatief op te tellen. De terugkeerperioden worden bekomen door de gecumuleerde kansen te inverteren.

4.2.2 Bevaarbare waterlopen

Voor de opmaak van de hydrologische en hydrodynamische modellen van de bevaarbare waterlopen wordt gewerkt volgens de 'Algemene methodologie voor het modelleren van de waterafvoer in bevaarbare waterlopen in Vlaanderen' (Berlamont et al., 2000).

4.2.2.1 Hydrologie

Het hydrologisch model staat in voor de berekening van de afvoerdebieten die zullen dienen als opwaartse randvoorwaarden, inclusief de zijdelingse instroomdebieten, van het hydrodynamisch model. Voor de bevaarbare waterlopen wordt hiervoor gebruik gemaakt van het NAM-model (Nedbør-Afrstrømnings-Model) (Nielsen & Hansen, 1973), een gebiedsgemiddelde, conceptuele en deterministische neerslag-afvoer simulator.

Het NAM-model geeft een weergave van de toestand van de landfase van de hydrologische cyclus en berekent de oppervlakkige afvoer, de hypodermische stroming (interflow) en de grondwaterstroming als functie van de hoeveelheid water dat aanwezig is op een bepaald moment in vier verschillende, met elkaar verbonden reservoirs die fysische elementen van het stroombekken voorstellen: een sneeuwreservoir, een oppervlaktereservoir, een onverzadigde zone en een grondwaterreservoir. De meteorologische gegevens die noodzakelijk zijn om de NAM berekeningen uit te voeren zijn continue tijdreeksen van neerslag en potentiële evapotranspiratie. Wanneer er ook een berekening van sneeuwval en sneeuwmelt dient te gebeuren, zijn ook temperatuursgegevens noodzakelijk.

Bij conceptuele modellen, zoals NAM, worden debietgegevens gebruikt om de gesimuleerde debieten



te vergelijken met de werkelijkheid, zodat de waarden van de modelparameters geoptimaliseerd kunnen worden (kalibratie en validatie). Hierbij worden de parameterwaarden binnen fysisch realistische grenzen gehouden en wordt er expliciet rekening gehouden met het correct weergeven van extreem hoge en lage afvoeren en de daaraan gekoppelde extrapoleerbaarheid van het model.

De hydrologische berekeningen resulteren voor elk subbekken in een hydrogram dat gebruikt wordt als invoer voor het hydrodynamische model.

4.2.2.2 Hydraulica

De opmaak van de overstromingsgevaarkaarten voor de onbevaarbare waterlopen is gebaseerd op numerieke hydrodynamische modellen opgemaakt in Mike11 (DHI, 2017). De kern van MIKE11 is de hydrodynamica module (HD). Deze bevat algoritmes voor de berekening van verticaal gemiddelde stroming in, eventueel vertakte, kanalen en in quasi-2D-simulaties. Er wordt gebruik gemaakt van de 1-dimensionale ondiepwatervergelijkingen of Saint-Venant vergelijkingen. Deze bestaan uit een continuïteitsvergelijking (behoud van massa) en een momentumvergelijking (behoud van beweging).

Het model berekent in een discreet aantal punten de waterstand en het debiet in functie van de tijd rekening houdend met externe en interne randvoorwaarden. Externe randvoorwaarden kunnen bestaan uit een waterhoogte in functie van de tijd, een debiet in functie van de tijd of een ijkingskromme. Zij dienen aan elke rand van het model opgelegd te worden. Interne randvoorwaarden omvatten een wiskundige beschrijving van kunstwerken en hydraulische structuren (bruggen, pompen, stuwen, sluizen, enz.) die een invloed hebben op de hydrodynamica.

De bevaarbare waterlopen in Vlaanderen worden gemodelleerd volgens de quasi-2D methode. Hierbij worden de waterlopen en overstromingsgebieden gemodelleerd als parallelle takken, waardoor ook het ruimtelijk stromingsbeeld in het overstromingsgebied vereenvoudigd weergegeven wordt.

Als basis voor de opbouw van het hydrodynamisch model wordt gebruikt gemaakt van bathymetrische en topografische opmetingen. De dwarsdoorsneden van de riviertakken van waterlopen worden afgeleid uit bathymetrische opmetingen van de waterlopen, in combinatie met LIDAR-opmetingen van de oevers. De dwarsdoorsneden van de riviertakken in de overstromingsgebieden worden afgeleid uit topografische opmetingen, zoals DHMVII.

De tussenafstand tussen de dwarsdoorsneden op de riviertakken is afhankelijk van de breedte van de rivier, evenals van de beschikbaarheid van de gegevens. Gemiddeld is deze tussenafstand gelijk aan 100 m.

De verbinding tussen de riviertak van de waterloop en de riviertakken in de vallei of het overstromingsgebied wordt gevormd door zogenaamde 'link channels'. Afhankelijk van het waterpeil in de rivier wordt door middel van een overlaatformulering het debiet over het link channel berekend.

In sommige gevallen wordt een overstromingsgebied gemodelleerd als er reservoir in plaats van parallelle tak. Het waterpeil in dit reservoir wordt berekend op basis van de oppervlakte-hoogte relatie gebied, die bepaald wordt op basis van de topografische opmetingen. Deze reservoirs worden



eveneens met de riviertak van de waterloop verbonden door middel van link channels. In de vallei kunnen de riviertakken en/of reservoir onderling eveneens verbonden worden door middel van link channels.

Aanwezige structuren in het modelgebied worden geïmplementeerd in het model indien deze bepalend zijn voor de waterafvoer in het gebied. Bruggen die bijvoorbeeld geen vernauwing of opstuwing zullen veroorzaken worden niet geïmplementeerd. Regelbare structuren zoals stuwen, sluizen of pompen worden in het model opgenomen met een automatische regeling die zoveel mogelijk overstemt met de werkelijke regeling.

De kalibratie van de numerieke modellen voor de bevaarbare waterlopen gebeurt op basis van vergelijking van de gesimuleerde waterpeilen en debieten met de gemeten waterpeilen en debieten voor geselecteerde historische gebeurtenissen. Aangezien de modellen toegepast worden voor de opmaak van overstromingskaarten voor events met een hogere terugkeerperiode werden voor de kalibratie ook events gekozen met hoge waterpeilen en/of hoge afvoeren. Tijdens de kalibratie werd veelal de ruwheid van de rivierbedding aangepast om tot een betere overeenstemming te komen.

Een gedetailleerde beschrijving van de opbouw van de toegepaste modellen voor de IJzer, Leie-Bovenschede, Dender, Demer en Zeeschede wordt gegeven in de rapporten in de referentielijst.

4.2.2.3 Statistiek

Met behulp van de hydrodynamische en hydrologische modellen werden de specifieke overstromingsgevaarkaarten gegenereerd volgens 2 sporen: de composiet methode en de methode met synthetische randvoorwaarden.

Composiet methode

Het hydrodynamisch model van het Sigma gebied heeft drie types randvoorwaarden nodig. Hiervoor worden zogenaamde composietrandvoorwaarden gebruikt: afwaartse getijrandvoorwaarde (composietlimnigram), opgelegd te Vlissingen; windrandvoorwaarde (composietanemogram), op de Westerschelde en opwaartse debietrandvoorwaarden (composiethydrogrammen), opgelegd te Gent, Dendermonde, en langs zijrivieren.

De composietmethode (Berlamont et al., 2000; Willems, 2007; IMDC, 2005) maakt gebruik van (synthetische) randvoorwaarden welke gebaseerd zijn op duur-frequentie-relaties voor debiet, waterhoogte en/of wind. Duur-frequentie-relaties worden bekomen via statistiek op debiet, waterhoogte en/of wind. De composietrandvoorwaarden houden rekening met alle statistische variabelen en ook vereenvoudigend met de correlaties tussen de randvoorwaarden. Een zeer belangrijke eigenschap van composietrandvoorwaarden is dat ze bij doorrekening met een hydrodynamisch model ervoor zorgen dat de terugkeerperiode op alle locaties in het studiegebied gelijk is. Bijvoorbeeld wanneer composietrandvoorwaarden met een terugkeerperiode van 1000 jaar worden doorgerekend, heeft het waterpeil/debiet op alle plaatsen in het studiegebied dezelfde terugkeerperiode, namelijk 1000 jaar.



Composietrandvoorwaarden werden opgesteld voor 12 terugkeerperiodes: 1, 2, 5, 10, 25, 50, 100, 500, 1000, 2500, 4000 en 10000 jaar. Deze composietreeksen werden opgesteld in het kader van het project “713_01 Actualisatie Sigmaplan”.

Methode van synthetische randvoorwaarden

De methode van synthetische randvoorwaarden, volgt dezelfde methode dan de hierboven beschrijven methode voor de onbevaarbare waterlopen (zie 4.2.1.3). Bijkomend wordt op basis van een correlatieanalyse tussen de verschillende stroomopwaarts en stroomafwaarts randvoorwaarden een geneste Copula-structuur geconstrueerd (DVW. 2018).

De totale breedte van de synthetische profielen is 10 dagen vóór de piek en 12 dagen na de piek. Deze duur wordt bepaald op basis van de maximale tijdsduur van de synthetische profielen. Na Copula bekomen we 120 synthetische kwantielen. In combinatie met de 5 opwaartse profielvariëaties resulteert dit in een totaal van 600 opwaartse synthetische events.

Een set van synthetische events bestaat uit debietsreeksen, een afwaartse waterstandreeks en een windsnelheid en windrichting (voor de modellen die het nodig hebben). Aan de afwaartse rand wordt een gemiddeld getij, zoals afgeleid uit de getijtafels (Afdeling Kust - Vlaamse Hydrografie, 2013), opgelegd. Er wordt eveneens een gemiddelde windsnelheid opgelegd.

De resulterende waterstanden van de synthetische gebeurtenissen zijn goed vergelijkbaar met de resultaten van een simulatie op lange termijn, wat bewijst dat synthetische gebeurtenissen in staat zijn om retourniveaus te bepalen en te extrapoleren voor hydraulische modellen met meerdere interacties tussen randvoorwaarden.

4.3 Pluviale overstromingskaarten

In 2018 besteedde VMM de opdracht voor “opmaak van een kaart met pluviale overstromingsgebieden Vlaanderen” uit aan Hydroscan, ism met JBA consulting (VMM, 2019). Het project had als doel een gebiedsdekkende kaart voor Vlaanderen op te maken met pluviale overstromingsgebieden. Dit zijn zones die een verhoogde kans op wateroverlast vertonen ten gevolge van de directe afstroming van neerslag over het maaiveld en overstromingen uit kleinere waterlopen. Het gaat hier dus eerder om wateroverlast als gevolg van korte, intense, convectieve zomeronweders wat zich typisch voordoet in stedelijke omgevingen als gevolg van een ontoereikende afvoer capaciteit van het regenwaterafvoerstelsel en in landelijk gebied als gevolg van het buiten de oevers treden van lokale afvoergrachten en door water dat zijn weg zoekt naar lokale afwateringsstelsels. De pluviale overstromingskaarten zijn opgemaakt volgens de techniek van directe neerslag modellering (‘Direct Rainfall Modelling’, zie ook Digman et al., 2008; DEFRA, 2010; Engineers Australia, 2012).

Er werden simulaties uitgevoerd voor vier terugkeerperiodes; T10, T25, T100 en T1000, enerzijds voor het huidige klimaat (situatie 2016) en anderzijds bij gewijzigde neerslag ten gevolge van klimaatwijziging (situatie 2050 en 2100). Op de resultaten van de simulaties gebeurt nog een naverwerking van de kaarten waarbij eilandjes kleiner dan 48 m² opgevuld worden en plassen kleiner



dan 96 m² verwijderd worden voor een consistenter kaartbeeld.

Tenslotte vond er ook nog een doorvertaling naar een beleidsmatige kaart plaats door:

- Uit de kaart met terugkeerperiode T100 enkel de polygonen van aaneengesloten pluviale overstromingsgebieden te weerhouden die een oppervlakte van groter dan 2.000 m² hebben.
- Uit de kaarten met terugkeerperiode T10 en T25 vervolgens enkel de pluviale overstromingsgebieden te weerhouden die binnen een overstromingsgebied vallen dat weerhouden werd in de beleidsmatige kaart T100.
- Uit de kaart met terugkeerperiode T1000 ten slotte enkel de pluviale overstromingsgebieden te weerhouden die (deels) overlappen met een overstromingsgebied dat weerhouden werd in de beleidsmatige kaart T100.

4.3.1 Hydraulica

De hydraulische modellering van de afstroming gebeurt aan de hand van een 2-dimensionale hydraulische modellering in JFlow[®]. Hierbij worden neerslagprofielen ('hyetogrammen') die ruimtelijk en in tijd variëren als randvoorwaarde toegepast op een tweedimensionaal regelmatig raster dat gebaseerd is op een gedetailleerd digitaal hoogtemodel (in dit geval een regelmatig raster van 2m op 2 m gebaseerd op het digitaal hoogtemodel Vlaanderen). Ter hoogte van elke rastercel wordt dit neerslagprofiel aangepast (reductie van de neerslagintensiteit) overeenkomstig de afstromingscoëfficiënt van die cel. Het netto volume dat resteert wordt daarna over het grid 'getransporteerd' overeenkomstig de 'Shallow Water Equations'. Terwijl de richting van deze afstroming bepaald wordt door het digitaal hoogtemodel, worden wrijvingseffecten ten gevolge van de ruwheid van het terrein en andere 3- dimensionale fenomenen (bv. turbulentie) ingerekend door aan elke cel een ruwheidscoëfficiënt toe te kennen. Deze ruwheidscoëfficiënt zal dan bepalen hoe snel water kan afstromen van de ene rastercel naar de andere.

De afstromingscoëfficiënten voor elke rastercel van 2 m op 2 m worden hierbij bepaald op basis van een matrix waarbij voor elke combinatie van landgebruik, bodemtextuurklasse en hellingsgraad een afstromingscoëfficiënt gedefinieerd werd. Voor de ruwheidscoëfficiënten wordt gebruik gemaakt van Manning coëfficiënten (n) die ruimtelijk variëren i.f.v. het landgebruik. Deze zijn bepaald op de manier zoals voorgesteld door Liu & De Smedt (Liu,2004). Bijkomend werd een diepte-afhankelijke correctie doorgevoerd indien de waterdiepte in de rastercel groter is dan 10 cm omdat bij grotere waterdieptes de wrijving van het water over het oppervlak afneemt.

Bij de simulaties binnen huidig project worden gebouwen als overstromingsvrij gesimuleerd (water kan niet door de gebouwen stromen) door deze kunstmatig te verhogen tot een hoogte van 10 m. Hierdoor zal water in de modellen dus steeds rond de gebouwen stromen.

Omdat niet alle details van het oppervlakkige afwateringssysteem vervat zijn in het gehanteerde digitale hoogtemodel (bv. duiker van een waterloop onder verhoogde spoorwegberm, recente reliëfwijzigingen, keermuren, ...) worden in de hydraulische modellen waar nodig dergelijke



hydraulische structuren ingevoerd.

Om maximaal gebruik te maken van de operationele kennis die in Vlaanderen aanwezig is in verband met het voorkomen van wateroverlast, werd in het kader van huidig project een specifiek webplatform opgezet. Via dit platform konden verschillende actoren die actief zijn in het riool- en waterbeheer evenals de steden en gemeenten opmerkingen geven op een voorlopige versie van de kaarten en aangeven waar bepaalde structuren toegevoegd moeten worden. Deze opmerkingen en aanvullingen werden maximaal verwerkt in de modellen om zo te komen tot de finale modelconfiguratie.

Aangezien de JFlow® simulaties directe afstroming simuleren en in het model water afstroomt over het volledige modelgrid, zou het weergeven van alle waterhoogtes hoger dan nul een volledige inkleuring van de kaarten geven. Een deel van de afstroming dient dus niet als 'overstroming' gecatalogeerd te worden, aangezien pas vanaf een bepaalde waterdiepte er ook effectief sprake is van overlast. Daarom worden enkel rastercellen waar de waterdiepte 10 cm en meer bedraagt, ongeacht de snelheid, of waar de waterdiepte 5 cm en meer én de snelheid groter is dan 0,5 m/s ingekleurd als overstromingsgevoelig.

De methode simuleert dus afstroming van water over het maaiveld en identificeert stroompaden voor water en locaties waar water accumuleert. Fenomenen zoals infiltratie in de ondergrond en afvoer van water via ondergrondse rioolstelsels worden niet expliciet mee gemodelleerd, maar zitten impliciet wel verwerkt in het model. Daarom dienen de neerslagprofielen die gehanteerd worden aangepast te worden om rekening te houden met deze fenomenen. De gebruikte neerslagprofielen bevatten in die zin 'oppervlakte-afstromingsintensiteiten' in plaats van neerslagintensiteiten. Enkel de neerslag die wordt verondersteld aan het oppervlak te blijven, wordt opgelegd aan het model. Aspecten die hierbij in rekening gebracht worden zijn:

- Aanpassing van de buien om rekening te houden met de ruimtelijke variabiliteit van de neerslag. De gehanteerde composietbuien gelden immers voor een puntlocatie terwijl convectieve buien zelden een volledig modelgebied zouden treffen;
- Afstemming van de neerslag voor landelijke gebieden om bij grotere terugkeerperiodes een betere overeenkomst te krijgen met de afstromende volumes uit riviermodellen en metingen;
- Wijziging van de neerslag voor berioleerde gebieden om vereenvoudigd rekening te houden met de aanwezigheid van een rioleringsstelsel; hierbij wordt er standaard van uitgegaan dat het rioolstelsel een bui die éénmaal om de 5 jaar valt (T5) kan afvoeren, tenzij er indicaties zijn dat het rioolstelsel een hogere afvoercapaciteit (T20) heeft (recent aangelegde rioolstrengen). De aan het model onttrokken volumes worden opnieuw afgevlakt geïntroduceert ter hoogte van de overeenstemmende lozingspunten in naburigewaterlopen.

4.3.2 Statistiek

De terugkeerperiode van de resulterende overstromingskaart wordt rechtstreeks bepaald door de terugkeerperiode van de opgelegde neerslagreeks. De neerslagprofielen die opgelegd worden aan de



modellen is gebaseerd op de composietbuien die in Vlaanderen standaard gebruikt worden bij bv. opmaak van rioleringsontwerpen zoals voorgeschreven in de Code van de Goede praktijk (CIW, 2012).

Voor Vlaanderen werden in 1996 empirische IDF-relaties opgesteld uitgaande van de 10-minutelijke neerslag te Ukkel voor de periode 1967-1993 (Vaes et al., 1996). De uitzonderlijke lange neerslagreeks van Ukkel wordt als representatief aanzien voor Vlaanderen. Deze IDF-verbanden werden herberekend (Willems, 2011) voor de volledig beschikbare meetreeks van 10 minutelijke neerslagintensiteiten te Ukkel (1898-2007) en gecorrigeerd met een algemene correctiefactor op de neerslagkwantiteiten (neerslagintensiteiten bij welbepaalde terugkeerperioden) voor het fenomeen van persistentie.

Uit de IDF-relaties kunnen synthetische buien of hyetogrammen worden afgeleid die een eenduidige terugkeerperiode hebben in functie van de concentratietijd. Zo werden er in Vlaanderen ‘composietbuien’ ontwikkeld, waarin alle buiduren tussen 10 minuten en 48 uur zitten vervat. De standaard composietbuien die gebruikt worden in Vlaanderen zijn opgesteld op basis van een lange historische tijdreeks en hebben hun zwaartepunt (m.b.t. de klimaatinvloed) in 1975. Om een realistische afstromingskaart te krijgen voor de huidige toestand werden daarom aangepaste buien opgesteld door de perturbatiefactoren te interpoleren voor de meest waarschijnlijke toestand in 2016.

4.4 Kust overstromingskaarten

De overstromingsgevaarkaarten voor de kustoverstromingen werden opgemaakt door het Waterbouwkundig Laboratorium in opdracht van het Agentschap Maritieme dienstverlening en Kust (Vanneste, 2020).

4.4.1 Hydraulica

De hydraulische modellering van de overstroming in de kustvlakte bij het optreden van extreme stormvloed wordt uitgevoerd met de commercieel beschikbare versie van het softwarepakket DHI MIKE Flood versie 2017. Deze software vormt een koppeling tussen de pakketten MIKE11 en MIKE21. Het 1D model MIKE11 wordt gebruikt voor het modelleren van de overslag en de stroming doorheen bressen en sifons, terwijl het 2D model MIKE21 gebruikt wordt voor het modelleren van de overstromingen in de kustvlakte op een raster van 20x20 m. Hierna volgt een beschrijving van deze modellen, grotendeels gebaseerd op Verwaest *et al.* (2008).

1D-modelelementen

De bressen worden gemodelleerd door middel van een dijkbreek structuur. De locatie van de bressen en het tijdstip van bresvorming volgen uit de analyse van het faalgedrag van de zeewering. De bresgroei (dieptegroei en breedtegroei) wordt gesimuleerd door middel van het erosiegebaseerde bresgroeimodel. De stroming doorheen een bres wordt berekend door middel van de standaard stromingsvergelijkingen en de standaard ladingsverliescoëfficiënten. Aan de zeezijde van de breskanalen wordt een tijdsafhankelijk waterpeil opgelegd. De landzijde wordt gekoppeld aan het 2D



model van de kustvlakte.

Overslag wordt gemodelleerd als stroming over een vaste drempel. De stroming over de drempel wordt berekend door middel van de vergelijkingen voor een brede drempel en de standaard ladingsverliescoëfficiënten. Aan de zeezijde van de overslagkanalen wordt een tijdsafhankelijk debiet opgelegd. De landzijde wordt gekoppeld aan het 2D model van de kustvlakte.

Sifons worden gemodelleerd door middel van een duiker. De afmetingen van de leidingen worden in de mate van het mogelijke afgeleid uit bouwkundige plannen. De stroming doorheen de duikers wordt berekend door middel van de standaard ladingsverliescoëfficiënten. Beide zijden van de sifonkanalen worden gekoppeld aan het 2D model van de kustvlakte.

In elk scenario wordt de zeewaterstand gevarieerd tijdens een periode van drie getijcycli (stormduur 45 uur). Daarbij wordt een asymmetrisch verloop van het stormopzet gecombineerd met een gemiddeld astronomisch springtij dat resulteert in een set vaste stormvloedpeilen.

2D-modelementen

Aan de hand van het DHM-Vlaanderen (DHMI, resolutie 5x5 m, zonder gebouwen) werd een hoogtemodel voor de volledige kustvlakte opgebouwd. De hoogtegegevens met een resolutie van 5x5 m werden geaggregeerd tot een vereenvoudigd hoogtemodel met een resolutie van 20x20 m. Het bodemgebruik in de kustvlakte werd afgeleid uit Corine Land Cover 2000. Aan elke bodemgebruiksklasse werd vervolgens een ruwheidswaarde toegekend. De invloed van windwrijving op het wateroppervlak wordt in beperkte mate in rekening gebracht. De windwrijving wordt berekend op basis van de standaard vergelijkingen voor windwrijving boven een open wateroppervlak.

4.4.2 Statistiek

In de overstromingsrisicomodellering voor de kustvlakte wordt geen gebruik gemaakt van de bepaling van terugkeerperiodes maar wordt uitgegaan van een set stormvloedscenario's met een waterstand op de stormpiek gelijk aan +6.25, +6.5, +6.75, +7.0, +7.5 en +8.0 m TAW. Om de link te leggen met de gevraagde terugkeerperiodes, wordt gebruik gemaakt van de overschrijdingskrommes van richtingsonafhankelijke waterstand volgens Willems (2014). Deze studie betreft de actualisatie van de extreme-waarden-statistiek van stormvloeden langs de Belgische kust op basis van de hoogwaterstanden te Oostende voor de periode 1925-2000 uitgebreid met de meer recente metingen van hoogwaters door kustmaregrafen aan de Belgische kust t.e.m. juni 2014 (meetnet Vlaamse banken). Voor Oostende is het verband (kromme) geactualiseerd die de verwachte waarden weergeeft van de hoogwaterhoogte in functie van de terugkeerperiode en omgekeerd. Ook zijn de percentielcurven geactualiseerd die de onzekerheidsband weergeven. Op basis van de hoogwaterhoogten te Oostende, Nieuwpoort en Zeebrugge voor de periode van september 2000 t.e.m. juni 2014 werden systematische verschillen afgeleid van de extreme-waarden-statistieken voor de hoogwaterhoogten tussen de drie locaties langs de Belgische kust.



5 REFERENTIES

- Baguis, P., et al, 2010, Climate change scenarios for precipitation and potential evapotranspiration over central Belgium, *Theoretical and Applied Climatology*, 99(3-4), 273-286
- Berlamont, J.; Willems, P.; Qvick, A.; Vaes, G.; Feyen, J.; Christiaens, K. (2000). Algemene methodologie voor het modelleren van de waterafvoer in bevaarbare waterlopen in Vlaanderen. Studie in opdracht van de Administratie Waterwegen en Zeewezen, Afdeling Waterbouwkundig Laboratorium en Hydrologisch Onderzoek van het Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap. KULeuven, België.
- Beullens, J.; Broidioi, S.; Verwaest, T.; De Sutter, R.; De Maeyer, P.; Mostaert, F. (2015). Ontwikkeling LATIS 4 - Methodologie: Deelrapport 2b: Methodologie voor het kwantificeren van de culturele impact van overstromingen. Versie 3.0. WL Rapporten, 13_159. Universiteit Gent/Antea Group//Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België
- Beullens, J.; Broidioi, S.; De Sutter, R.; De Maeyer, P.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2017a). Ontwikkeling LATIS 4: Deelrapport 3b: Methodologie ecologische impact van overstromingen. Versie 3.0. WL Rapporten, 13_159_6. Universiteit Gent, Antea Group, Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België.
- Beullens, J.; Broidioi, S.; De Sutter, R.; De Maeyer, P.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2017b). Ontwikkeling LATIS 4: Deelrapport bis: Actualisatie basiskaarten en schadewaarden. Versie 3.0. WL Rapporten, 13_159_7. Universiteit Gent, Antea Group, Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.
- Blanckaert, J, Swings, J, Franken, T, Gullentops, C, 2012, Stratified Sampled Synthetic Hydrographs for Flood Risk Calculations, Floodrisk2012 Rotterdam.
- Bogman, P.; Buitrago, S.; Coen, L.; Smets, S.; Pereira, F.; Peeters, P.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2013). Modelactualisatie en opmaak overstromingskaarten ihkv. ROR: deelrapport 2. Demer. Versie 2.0. WL Rapporten, 00_154. Waterbouwkundig Laboratorium/IMDC: Antwerpen. V, 34 + 26 p. bijl. pp.
- Broidioi, S.; Boey, I.; Verwaest, T.; De Sutter, R.; De Maeyer, P.; Mostaert, F. (2015). Ontwikkeling LATIS 4 - Methodologie: Deelopdracht 1b: Methodologie voor het kwantificeren van de sociale impact van overstromingen. Versie 3.0. WL Rapporten, 13_159. Universiteit Gent/Antea Group/Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België.
- CIW, 2012. Code van goede praktijk voor het ontwerp, de aanleg en het onderhoud van rioleringsystemen. Coördinatiecommissie Integraal Waterbeleid. Augustus 2012.



- Coen, L.; Bogman, P.; Buitrago, S.; Smets, S.; Pereira, F.; Peeters, P.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2013). Versie 2.0. WL Rapporten, 00_154. Waterbouwkundig Laboratorium/IMDC: Antwerpen. VII, 96 + 216 p. bijl. pp.
- Deckers, P.; Vanneuville, W.; De Maeyer, Ph.; Mostaert, F. (2011). Uitbouw van het risico-instrumentarium ten behoeve van de EU overstromingsrichtlijn: LATIS 3.0. Versie 2_0. WL Rapporten, 779_05c. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België.
- DEFRA, 2010. Surface Water management Plan Technical Guidance.
- DVW, De Vlaamse Waterweg – Afdeling Bovenschelde (2018). Actualisatie en verbetering van de hydrodynamische modellen van het beheersgebied van De Vlaamse Waterweg, Afdeling Bovenschelde. IMDC (2018). Rapport 2: Hydrodynamisch model Dender, Actualisatie 2017. I/RA/11532/17.185/FZO; IMDC (2018). Rapport 2: Hydrodynamisch model IJzer, Actualisatie 2017. I/RA/11532/17.186/FZO; IMDC (2018). Rapport 2: Hydrodynamisch model LBSGK, Actualisatie 2017. I/RA/11532/18.108/PBO
- Digman C.J, Bamfor T., Balmforth D.J., Hunter N.M. en Waller S.G., 2008. A comparison of modelling methods for urban flood assessment. Conference paper in P Samuels, S Huntington, W Allsop and J Harrop (Eds.) Flood Risk Management Research and Practice; Taylor & Francis Group, London, 67.
- Engineers Australia, 2012. Australian Rainfall and Runoff Revision Project 15: Two-Dimensional Modelling in Urban and Rural Floodplains. Stage 1 And 2 Report (November 2012)
- IMDC, (2005a), Sigmaplan Maatschappelijke kostenbatenanalyse, Deelopdracht 1: Faserapport 1 Composietrandvoorwaarden. IMDC rapport RA14082/03.055.
- IMDC, (2013) Overstromingsrisicobeheerplannen in Vlaanderen, Rapport R10: Randvoorwaarden -Hydraulica -Statistiek – Basis. IMDC rapport RA11345/11.118.
- Liu, Y.B. en De Smedt, F., 2004. WetSpa Extension: A GIS based Hydrologic Model for Flood Prediction and Watershed Management. Documentation and User Manual, Vrije Universiteit Bussel.
- Ntegeka V., Willems P., Roulin E. and Baguis P. (2014). Developing tailored climate change scenarios for hydrological impact assessments. Journal of Hydrology, 508C, 307–321.
- Ntegeka V., Willems P., 2009, CCI-HYDR Perturbation Tool: a climate change tool for generating perturbed timeseries for the Belgian climate, Manual version January 2009, K.U.Leuven – Hydraulics Section & Royal Meteorological Institute of Belgium, 7 p.
- Tabari H., Taye M.T. and Willems P. (2014). Bijsturing van de Vlaamse klimaatscenario's voor hydrologische en hydrodynamische impactanalyse inclusief hydrologische extremen. Studie uitgevoerd in opdracht van de Afdeling Operationeel Waterbeheer van de Vlaamse Milieumaatschappij en MIRA 2014, door KU Leuven – Afdeling Hydraulica, november 2014, 106 p



- Tabari, H., Taye, M.T. and Willems P. (2015). Water availability change in central Belgium for the late 21th century. *Global and Planetary Change*, 131, 115-123
- Vaes, G., Willems, P., Berlamont, J., 1996. “IDF-relaties en composietbuizen voor het ontwerp van rioleringen”, Rapport van het Laboratorium voor Hydraulica, K.U.Leuven, mei 1996
- Van den Eynde, D., R. De Sutter, L. De Smet, F. Francken, J. Haelters, F. Maes, E. Malfait, J. Ozer, H. Polet, S. Ponsar, J. Reyns, K. Van der Biest, E. Vanderperren, T. Verwaest, A. Volckaert and M. Willekens. Evaluation of climate change impacts and adaptation responses for marine activities. Final Report - Draft. Brussels : Belgian Science Policy 2011 – 114 p. (Research Programme Science for a Sustainable Development)
- Vanneste, Dieter (2020). Beschrijving methodiek overstromingmodellering kustvlakte. Versie 1.0. WL Memo's, 16_122_23. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.
- Verwaest, T.; Vanpoucke, P.; Vanderkimpen, P.; Van der Biest, K.; Reyns, J.; Peeters, P.; Kellens, W.; Vanneuville, W.; Mostaert, F. (2008). Overstromingsrisico's aan de Vlaamse kust. Evaluatie van de zeewering: deel 1. Methodologie. *WL Rapporten*, 718_2A. Waterbouwkundig Laboratorium/Universiteit Gent: Antwerpen Beschrijving methodiek overstromingmodellering kustvlakte
- Vlaamse Milieumaatschappij (2010), Modelleerrichtlijnen, Afdeling Operationeel Waterbeheer .
- Vlaamse Milieumaatschappij (2019), Opmaak van een kaart met pluviale overstromingsgebieden Vlaanderen
- Willems, P., 2007. Waterloopmodellering. Aangepaste versie 2007 van de “Algemene Methodologie voor de Administratie Waterwegen en Zeewezen – afdeling Waterbouwkundig Laboratorium en Hydrologisch Onderzoek”. Laboratorium voor Hydraulica, K.U.Leuven.
- Willems, P., 2011. Evaluatie en actualisatie van de IDF-neerslagstatistieken te Ukkel. Nota opgemaakt voor Coördinatiecommissie Integraal Waterbeleid (CIW)
- Willems P. and Vrac M. (2011). Statistical precipitation downscaling for small-scale hydrological impact investigations of climate change. *Journal of Hydrology*, 402, 193–205
- Willems, P. (2014). Actualisatie van de extreme-waarden-statistiek van stormvloed en aan de kust. KU Leuven voor Waterbouwkundig Laboratorium.



Bijlage 1: Overzicht kaarten

Overzicht van de opgemaakte kaarten. De kaarten in een vectorieel formaat staan cursief, de andere kaarten zijn in een rasterformaat opgemaakt.

		huidig klimaat									TOEKOMSTIG KLIMAAT 2050								
		FLUVIAAL			PLUVIAAL			KUST			FLUVIAAL			PLUVIAAL			KUST		
		T10	T100	T1000	T10	T100	T1000	T10	T100	T1000	T10	T100	T1000	T10	T100	T1000	T10	T100	T1000
GEVAARKAARTEN																			
Overstroombaar gebied		1			1			1			1			1			1		
Waterdiepte		1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
Stroomsnelheid		0	0	0	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	1	1
RISICOKAARTEN																			
<i>Globale risicokaarten</i>	<i>Potentieel getroffen inwoners</i>	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
	<i>Type economische bedrijvigheid (landgebruik)</i>	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
	<i>Verontreinigende installaties en beschermde gebieden</i>	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1



		huidig klimaat									TOEKOMSTIG KLIMAAT 2050								
		FLUVIAAL			PLUVIAAL			KUST			FLUVIAAL			PLUVIAAL			KUST		
		T10	T100	T1000	T10	T100	T1000	T10	T100	T1000	T10	T100	T1000	T10	T100	T1000	T10	T100	T1000
LATIS kaarten	Economische schadekaarten	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
	Economische risicokaart	1			1			1			1			1					
	Sociale schadekaarten	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
	Sociale risicokaart	1			1			1			1			1					
	Ecologische schadekaarten	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
	Ecologische risicokaart	1			1			1			1			1					
	<i>Culturele schadekaarten</i>	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
	<i>Culturele risicokaart</i>	1			1			1			1			1					
<i>Aanvullende kaarten</i>	<i>Bijzonder kwetsbare instellingen</i>	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1
	<i>Lijninfrastructuren</i>	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1
	<i>Puntinfrastructuren</i>	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1

