

Climar

DEELRAPPORT 2 - KWANTIFICATIE VAN DE SECUNDAIRE GEVOLGEN VAN DE KLIMAATSVERANDERING IN DE BELGISCHE KUSTVLAKTE



814_01 WL Rapporten

CLIMAR

Deelrapport 2 - Kwantificatie van de secundaire gevolgen van de klimaatsverandering in de Belgische kustvlakte

Van der Biest, K.; Verwaest, T.; Reyns, J.; Mostaert, F.

April 2009

WL2009R814_01_2rev2_0

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Van der Biest, K.; Verwaest, T.; Reyns, J.; Mostaert, F. (2009). CLIMAR: Deelrapport 2 - Kwantificatie van de secundaire gevolgen van de klimaatsverandering in de Belgische kustvlakte. Versie 2_0. WL Rapporten, 814_01. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België



Waterbouwkundig Laboratorium

Flanders Hydraulics Research

Berchemlei 115
B-2140 Antwerpen
Tel. +32 (0)3 224 60 35
Fax +32 (0)3 224 60 36
E-mail: waterbouwkundiglabo@vlaanderen.be
www.watlab.be

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaandelijke schriftelijke toestemming van de uitgever.

Documentidentificatie

Titel:	CLIMAR: Deelrapport 2 - Kwantificatie van de secundaire gevolgen van de klimaatsverandering in de Belgische kustvlakte		
Opdrachtgever:	Federaal Wetenschapsbeleid BELSPO	Ref.:	WL2009R814_01_2rev2_0
Keywords (3-5):	klimaatverandering, impact, risicoberekeningen		
Tekst (p.):	46	Tabellen (p.):	/
Bijlagen (p.):	22	Figuren (p.):	/
Vertrouwelijk:	☐ Ja	Uitzondering:	☐ Opdrachtgever
			☐ Intern
			☐ Vlaamse overheid
	Vrijgegeven vanaf		
	☒ Nee		

Goedkeuring

Auteur Van der Biest Katrien Verwaest Toon Reyns Johan	Revisor Verwaest Toon Reyns Johan Vanneuville Wouter	Projectleider Van der Biest Katrien	Afdelingshoofd Mostaert Frank
---	---	--	----------------------------------

Revisies

Nr.	Datum	Omschrijving	Auteur
1_0	13/02/09	Conceptversie	Van der Biest, K.; Verwaest, T.; Reyns, J.
1_1	04/03/09	Inhoudelijke revisie	Verwaest, T.; Reyns J.; Vanneuvillle, W.
2_0	15/04/09	Definitieve versie	Van der Biest, K.; Verwaest, T.; Reyns, J.

Abstract

Dit deelrapport werd geschreven in het kader van het BELSPO-project CLIMAR. Het is het tweede deelrapport en beschrijft het door het WL uitgevoerde onderzoek in deel 1 van werkpakket 2: kwantificeren van de secundaire gevolgen van de klimaatswijziging, binnen de lijnen van de case-study "kustoverstromingen".

Ieder scenario van primaire klimaatveranderingen tegen 2100, gedefinieerd in werkpakket 1, wordt vertaald naar één extreme storm. Voor iedere storm wordt een reeks risicoberekeningen uitgevoerd om de omvang van de secundaire gevolgen (overstromingen) te kwantificeren, in termen van schade en slachtoffers. Het eerste model berekent de erosie van strand en duin in de loop van de storm. Vervolgens wordt berekend of er al dan niet een bres ontstaat in de zeewering. De breslocaties worden in een volgend model ingevoerd dat de overstroming van de kustzone simuleert. Tenslotte worden de resultaten van de overstromingsberekening gebruikt voor het inschatten van het aantal dodelijke slachtoffers en de totale monetaire schade.

Daarnaast wordt nog een laatste hoofdstuk gewijd aan de berekening van het verlies aan strandoppervlakte in de verschillende klimaatscenario's. Deze wordt berekend op basis van de ligging van de gemiddelde laagwaterlijn.

De resultaten van de berekeningen vormen de basis voor de volgende fase van het project CLIMAR (werkpakket 3): het identificeren van alternatieve aanpassingsstrategieën aan de gevolgen van de klimaatverandering.

Inhoudstafel

Inhoudstafel	I
Lijst van de tabellen	II
Lijst van de figuren	III
1 Inleiding	1
2 Werkwijze risicoberekening	2
2.1 Keuze van de profielen	2
2.2 Hydraulische randvoorwaarden en afslag van de natuurlijke zeewering	2
2.3 Bres- en overstromingsmodellering	8
2.4 Schade- en slachtofferberekening	9
2.4.1 Schade	10
2.4.2 Slachtoffers	16
3 Resultaten risicoberekening	20
3.1 Huidige situatie	20
3.2 M + scenario	26
3.3 Worst case scenario	34
4 Kusterosie	41
5 Conclusies	44
6 Referentielijst	45
Bijlage 1: Golfrandvoorwaarden ter hoogte van de -5m TAW lijn voor de verschillende scenario's	B1
Bijlage 2: Methodologie schadeberekening	B13

Lijst van de tabellen

Tabel 1 – Gemiddelde tijkrommen voor een symmetrisch stormverloop (Getijtafels 2007, Afdeling Kust, Vlaamse Hydrografie)	4
Tabel 2 – Gemiddelde D50-waarden langs de Belgische kust	7
Tabel 3 – Ruwheidcoëfficiënten voor de verschillende types bodemgebruik.....	9
Tabel 4 - Overzicht van de maximale schadewaarden per beschouwd bodemgebruik of object (Vanneuville et al., 2006)	14
Tabel 5 – Scenario's van klimaatsveranderingen tegen 2100 (Ponsar et al., 2007).....	20
Tabel 6 – Astronomisch tij en stormopzet voor de verschillende kustdelen bij een extreme storm in het huidige scenario	21
Tabel 7 – Schade door bresvorming en slachtoffers zonder evacuatie voor een extreme storm onder huidige hydraulische omstandigheden met waterstand +8m TAW te Oostende (LATIS), voor de volledige kustvlakte	26
Tabel 8 – Voorspelling van de golfrandvoorwaarden op diep water voor het M+scenario tegen 2100. Oranje: toename windsnelheid, geel: H_s , T_p en stormopzet voorspeld op basis van correlatie met windsnelheid	27
Tabel 9 – Astronomisch tij en stormopzet voor de verschillende kustdelen bij een extreme storm in het M+ scenario tegen 2100.....	28
Tabel 10 – Schade door bresvorming en slachtoffers zonder evacuatie voor een extreme storm in het M+ scenario 2100, voor de volledige kustvlakte	34
Tabel 11 - Voorspelling van de golfrandvoorwaarden op diep water voor WCS tegen 2100. Oranje: toename windsnelheid met 8%, geel: H_s , T_p en stormopzet voorspeld op basis van correlatie met windsnelheid.	34
Tabel 12 - Astronomisch tij en stormopzet voor de verschillende kustdelen voor het worst case klimaat scenario tegen 2100.....	36
Tabel 13 – Schade door bresvorming en slachtoffers zonder evacuatie voor een extreme storm in het WCS 2100, voor de volledige kustvlakte.....	40
Tabel 14 – Verlies aan strandoppervlakte ten gevolge van zeespiegelstijging in 2100	43

Lijst van de figuren

Figuur 1- Keuze van de profielen (Verwaest et al., 2008).....	2
Figuur 2 - Keuze SWAN uitvoerpunt voor ieder profiel (Verwaest et al., 2008).....	3
Figuur 3 – Verloop van de waterstand tijdens een asymmetrische storm van 45u (+8m TAW op de piek van de storm)	6
Figuur 4 - Locatie van de korrelgrootte stalen (Verwaest et al., 2008)	6
Figuur 5 – Restvolume en grensvolume van een duin bij afslag.....	8
Figuur 6 – Schematische voorstelling van de bepalende schadecomponenten bij overloop/golfoverslag (A) en bij bresvorming in de zeedijk (B). Uit: Kellens & Vanneuville (2007).....	11
Figuur 7 – Functie van de component voor de waterdiepte (m).....	13
Figuur 8 – Functie van de component voor de stroomsnelheid	13
Figuur 9 – Relatie waterdiepte, stroomsnelheid en percentage additionele schade (schadefactor β).....	14
Figuur 10 – Verloop van de schadefunctie voor verschillende types landgebruik	16
Figuur 11 – Verdrinkingsfactor volgens waterdiepte	18
Figuur 12 – Verdrinkingsfactor volgens stijgsnelheid	18
Figuur 13 - Resultaat van strand- en duinafslagberekening met DUROSTA voor een extreme storm van +8m TAW te Oostende, onder huidige klimaatsomstandigheden (links een niet-falend profiel, rechts een profiel waar het kritisch grensvolume onderschreden wordt, beide in Mariakerke).....	23
Figuur 14 - Bresvorming door afslag van de natuurlijke zeewering bij een extreme storm (+8m TAW) onder huidige klimatologische omstandigheden (DUROSTA) Achtergrond: topografische kaart 1: 10000, Nationaal Geografisch Instituut	23
Figuur 15 – Bresvorming door afslag van de natuurlijke zeewering bij een extreme storm (+8m TAW) onder huidige klimatologische omstandigheden (DUROSTA) Achtergrond: topografische kaart 1: 10000, Nationaal Geografisch Instituut	24
Figuur 16 – Berekening van overstromingsdiepte bij een extreme storm (+8m TAW) onder huidige klimatologische omstandigheden (MikeFlood) Achtergrond: topografische kaart 1: 10000, Nationaal Geografisch Instituut	24
Figuur 17 - Berekening van stroomsnelheid overstroming bij een extreme storm (+8m TAW) onder huidige klimatologische omstandigheden (MikeFlood) Achtergrond: topografische kaart 1: 10000, Nationaal Geografisch Instituut	25
Figuur 18 - Berekening van stijgsnelheid overstromingswater bij een extreme storm (+8m TAW) onder huidige klimatologische omstandigheden (MikeFlood) Achtergrond: topografische kaart 1: 10000, Nationaal Geografisch Instituut	25
Figuur 19 – Berekening van schade in € bij een extreme storm onder huidige omstandigheden (LATIS) Achtergrond: topografische kaart 1: 10000, Nationaal Geografisch Instituut.....	26
Figuur 20 – Voorspelling stormopzet tegen 2100 (M+) op basis van correlatie met windsnelheid	27
Figuur 21 – Voorspelling Tp op diep water tegen 2100 (M+) op basis van correlatie met windsnelheid	27
Figuur 22 – Voorspelling Hs op diep water tegen 2100 (M+) op basis van correlatie met windsnelheid	28
Figuur 23 - Bresvorming door afslag van de natuurlijke zeewering bij een extreme storm onder het gematigde M+ klimaatscenario (gebaseerd op DUROSTA-berekeningen). Zone a: Frankrijk - Nieuwpoort, zone b: Mariakerke – Oostende, zone c: Wenduine – Blankenberge, zone d: Heist, zone e: Zwin Achtergrond: topografische kaart 1: 10000, Nationaal Geografisch Instituut	31
Figuur 24 – Waterdiepte bij overstroming tijdens een extreme storm in het M+ klimaatscenario Achtergrond: topografische kaart 1: 10000, Nationaal Geografisch Instituut.....	32

Figuur 25 – Stroomsnelheid bij overstroming tijdens een extreme storm in het M+ klimaatscenario Achtergrond: topografische kaart 1: 10000, Nationaal Geografisch Instituut	32
Figuur 26 – Stijgsnelheid bij overstroming tijdens een extreme storm in het M+ klimaatscenario Achtergrond: topografische kaart 1: 10000, Nationaal Geografisch Instituut	33
Figuur 27 - Berekening van de totale schade in €/m ² bij een extreme storm onder huidige omstandigheden Achtergrond: topografische kaart 1: 10000, Nationaal Geografisch Instituut	33
Figuur 28 – Voorspelling stormopzet tegen 2100 (WCS) op basis van correlatie met de windsnelheid ..	35
Figuur 29 – Voorspelling Tp op diep water tegen 2100 (WCS) op basis van correlatie met windsnelheid	35
Figuur 30 – Voorspelling Hs op diep water tegen 2100 (WCS) op basis van correlatie met windsnelheid	35
Figuur 31 – Overstroming door bresvorming en door overloop (DUROSTA)	37
Figuur 32 – Bresvorming door afslag van de natuurlijke zeewering bij een extreme storm voor het WCS tegen 2100 (resultaat van DUROSTA-berekeningen) Achtergrond: topografische kaart 1: 10000, Nationaal Geografisch Instituut	38
Figuur 33 – Waterdiepte in het overstromingsgebied bij het optreden van een extreme storm in het worst case klimaatscenario tegen 2100 Achtergrond: topografische kaart 1: 10000, Nationaal Geografisch Instituut	38
Figuur 34 – Stroomsnelheid in het overstromingsgebied bij het optreden van een extreme storm in het worst case klimaatscenario tegen 2100 Achtergrond: topografische kaart 1: 10000, Nationaal Geografisch Instituut	39
Figuur 35 – Stijgsnelheid in het overstromingsgebied bij het optreden van een extreme storm in het worst case klimaatscenario tegen 2100 Achtergrond: topografische kaart 1: 10000, Nationaal Geografisch Instituut	39
Figuur 36 – Totale schade in €/m ² bij het optreden van een extreme storm in het worst case klimaatscenario tegen 2100 Achtergrond: topografische kaart 1: 10000, Nationaal Geografisch Instituut	40
Figuur 37 – Ligging van de laagwaterlijn in de verschillende klimaatscenario's, per gemeente	43

1 Inleiding

Dit WL-rapport is het tweede deelrapport in het kader van het BELSPO onderzoeksproject CLIMAR ("Evaluatie van de impacts van klimaatsverandering en aanpassingsmaatregelen voor mariene activiteiten"). In het eerste deelrapport, dat past binnen Deel 1 van Werkpakket 2 (Identificeren van de secundaire gevolgen van de klimaatswijziging), wordt een overzicht gegeven van alle mogelijke gevolgen van de primaire impacts van de klimaatverandering, zowel op ecologisch, economisch als sociaal gebied. In deelrapport 2 wordt voor de belangrijkste secundaire gevolgen een inschatting gemaakt van de omvang van het effect door middel van risicoberekeningen. Dit deelrapport kadert binnen Deel 2 van Werkpakket 1 (Kwantificeren van de belangrijkste secundaire gevolgen van de klimaatswijziging).

Naar analogie met de nota "De natuurlijke zeewering langs de Belgische kustlijn" (Van der Biest K., 2007) waarin de natuurlijke zeewering langs de Belgische kust op kwalitatieve wijze wordt onderzocht, wordt in deze nota de sterkte van de natuurlijke kustverdediging op basis van risicoberekeningen beoordeeld. Net als in deze voorgaande nota worden de dwarsprofielen beoordeeld zonder rekening te houden met de aanwezige harde kustverdedigingselementen (zeedijken, duinvoetversterkingen). Op deze manier kunnen de zwakke schakels in de kustverdediging op vereenvoudigde wijze geïdentificeerd worden. Daarbij worden geen risicoberekeningen uitgevoerd ter hoogte van de havens omdat deze buiten de scope van het project CLIMAR vallen. De omvang van de risico's worden gekwantificeerd met behulp van overstromingsrisicoberekeningen. De methodologie toegepast in het kader van CLIMAR is gedeeltelijk gebaseerd op de methodologie uitgewerkt in het kader van het Geïntegreerd Kustveiligheidsplan (Verwaest et al., 2008). Er worden echter een aantal vereenvoudigingen doorgevoerd zodanig dat de nodige berekeningen uitgevoerd kunnen worden binnen de middelen bestemd voor het onderzoek, zonder evenwel de essentie van de kustverdedigende functie te verliezen. De essentie van de kustverdediging is met name dat het risico op bresvorming beperkt wordt. De gedetailleerde risicoberekeningen die uitgevoerd zijn in het kader van het Geïntegreerd Kustveiligheidsplan hebben aangetoond dat de harde verdedigingselementen in geval van een superstorm in de meeste gevallen slechts een tijdelijke bescherming bieden tegen overstroming. Door de extreme golfimpact tijdens een superstorm worden de meeste constructies beschadigd en verliezen zij uiteindelijk hun structurele resistentie. Ook de risico's van schade en slachtoffers op de zeewering zelf, voornamelijk door hoge overslagdebieten over de zeedijken, worden niet gedetailleerd gekwantificeerd. Deze zijn voor de extreme scenario's die worden beschouwd in CLIMAR verwaarloosbaar.

In een eerste fase worden de berekeningen uitgevoerd voor een extreme storm van +8m TAW te Oostende. Deze waterstand en bijhorende golfcondities komen statistisch gezien overeen met een storm met een retourperiode van 1:17000 jaar. Vervolgens worden de berekeningen uitgevoerd voor een storm met dezelfde retourperiode maar rekening houdend met een stijging van de zeespiegel en toename van de windsnelheid tegen het jaar 2100. De berekeningen worden uitgevoerd voor verschillende scenario's van klimaatsveranderingen.

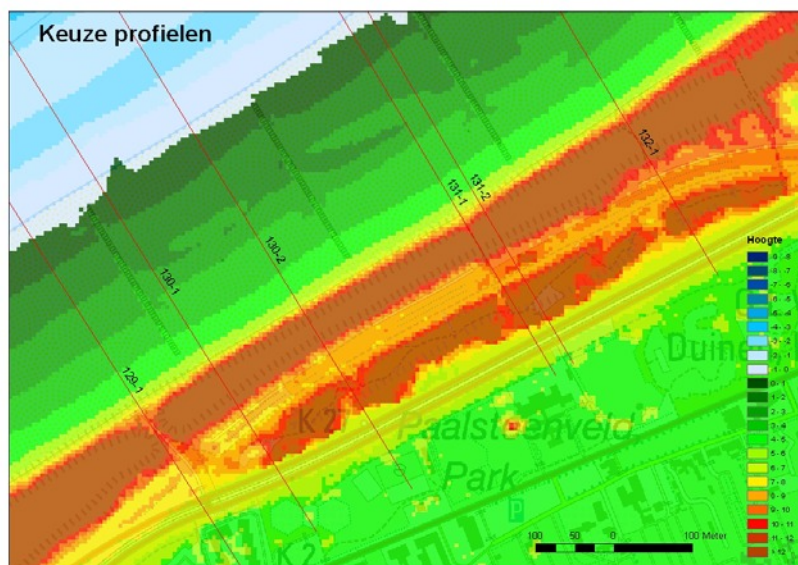
Tenslotte wordt ook de toename van stranderosie, het belangrijkste ecologische gevolg van de klimaatwijzigingen, gekwantificeerd. Dit gebeurt op basis van de ligging van de laagwaterlijn.

2 Werkwijze risicoberekening

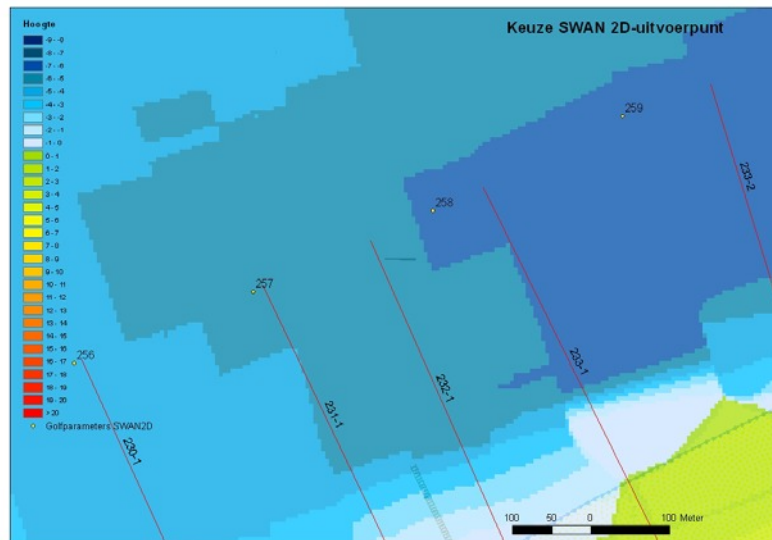
2.1 Keuze van de profielen

De Belgische kust bestaat uit 256 secties oplopend genummerd vanaf de grens met Frankrijk tot de grens met Nederland. Per sectie worden één of meerdere profielen geselecteerd. Het zijn steeds de zwakste profielen in de sectie op basis van het digitaal terreinmodel en de topografische kaarten (zie Figuur 1). In badplaatsen zijn de profielen meestal ter hoogte van straten die naar de zeedijk lopen, omdat dit de zwakste zones zijn (enkel daar kunnen bressen ontstaan). De profielen beginnen op een diepte van -5m en worden dwars op de kustlijn doorgetrokken tot voorbij het einde van de eerste duinenrij. Met de natuurlijke zeewering wordt bedoeld het terrein tussen het strand en de kustvlakte, hetgeen oorspronkelijk overal bestond uit duinen en naderhand bij de uitbouw van de badplaatsen bebouwd werd en ten dele afgevlakt werd. De hoogteligging en de breedte van de natuurlijke zeewering is het meest essentiële element van de zeewering van de rechte kust.

De hoogtegegevens zijn afkomstig van vooroeveropmetingen 2003 (Thales), strand- en duinaanmetingen 2006 (Eurosense) en DHM Vlaanderen 2003. In ArcGIS zijn deze rasterbestanden samengevoegd tot één hoogtemodel met resolutie 5x5m op basis waarvan de dwarsprofielen getrokken worden.



voor het afleiden van de golfparameters. Het beginpunt van de profielen ligt daarbij steeds op een diepte van ongeveer -5m, in overeenstemming met de diepte van de SWAN2D uitvoerpunten. De gebruikte golfrandvoorwaarden voor een bepaald profiel zijn deze van het uitvoerpunt van het SWAN2D-model dat dichtst bij het begin van het profiel ligt. In geval van twijfel wordt het uitvoerpunt gekozen waarvan de diepte het best overeenkomt met de diepte van het beginpunt van het profiel (zie Figuur 2). Bijvoorbeeld: voor profiel 232-1 werden de golfparameters van het SWAN2D-punt 257 gebruikt omdat de diepte van dit punt het beste overeenkomt met de diepte van het beginpunt van het profiel.



Figuur 2 - Keuze SWAN uitvoerpunt voor ieder profiel (Verwaest et al., 2008)

De golfperiode $T_{m-1,0}$ wordt eveneens afgeleid uit het SWAN2D model voor de Belgische kustzone. Voor het bepalen van de golfperiode voor ieder profiel worden dezelfde SWAN2D uitvoerpunten gebruikt als voor het bepalen van de golfhoogte. De berekeningen in DUROSTA zijn echter gebaseerd op de piekgolfperiode T_p . Daarom worden de golfperiodemaat $T_{m-1,0}$ afkomstig van SWAN2D vertaald naar T_p door $T_{m-1,0}$ te vermenigvuldigen met 1,1.

Het astronomische getij varieert langs de Belgische kustlijn. Ter vereenvoudiging wordt de kust ingedeeld in 7 verschillende zones waarvoor telkens één tijcyclus wordt bepaald. Deze komt overeen met het gemiddelde van de tijcycli van de 2 naburige havens. Het astronomische getij ter hoogte van de grens met Frankrijk wordt berekend door interpolatie van de getijkrommes te Nieuwpoort en te Duinkerke. Het getij aan de grens met Nederland wordt berekend door interpolatie van het astronomische waterpeil te Vlissingen en te Zeebrugge.

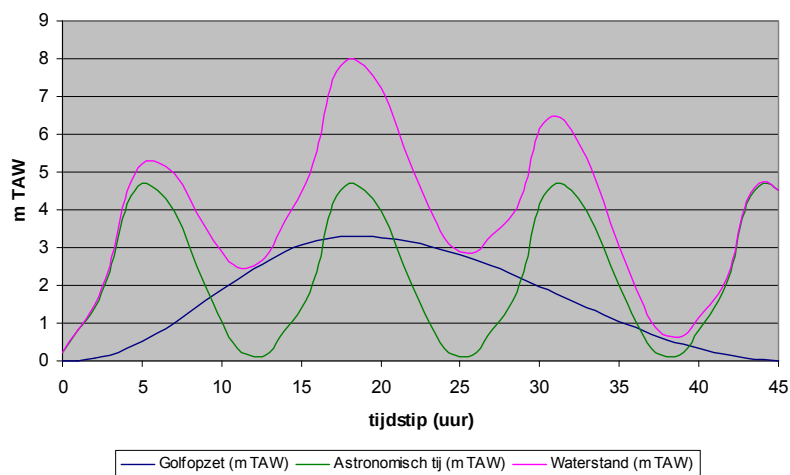
Tabel 1 – Gemiddelde tijkrommen voor een symmetrisch stormverloop
(Getijtafels 2007, Afdeling Kust, Vlaamse Hydrografie)

Tijd	Haven Vlissingen	Haven ZB	Haven OST	Haven NP	Haven Duinkerke	Grens Nederland	ZB - OST	OST - NP	Grens Frankrijk -
0	2.91	2.84	3.01	3.05	3.02	2.85	2.93	3.03	3.04
1	1.81	1.82	1.99	1.99	1.83	1.82	1.91	1.99	1.96
2	0.94	0.90	1.03	1.06	0.79	0.91	0.97	1.05	1.01
3	0.37	0.34	0.33	0.36	0.03	0.35	0.34	0.35	0.30
4	0.26	0.28	0.10	-0.02	-0.40	0.28	0.19	0.04	-0.09
5	0.51	0.74	0.22	0.04	-0.33	0.70	0.48	0.13	-0.03
6	1.02	1.18	0.82	0.63	0.33	1.15	1.00	0.73	0.57
7	1.61	1.70	1.42	1.32	1.10	1.68	1.56	1.37	1.28
8	2.46	2.55	2.36	2.41	2.33	2.53	2.46	2.39	2.39
9	3.96	4.02	4.16	4.27	4.41	4.01	4.09	4.22	4.30
10	4.79	4.58	4.70	4.84	5.05	4.62	4.64	4.77	4.88
11	4.45	4.29	4.51	4.63	4.81	4.32	4.40	4.57	4.67
12	3.86	3.71	3.97	4.09	4.19	3.74	3.84	4.03	4.11
13	2.91	2.84	3.01	3.05	3.02	2.85	2.93	3.03	3.04
14	1.81	1.82	1.99	1.99	1.83	1.82	1.91	1.99	1.96
15	0.94	0.90	1.03	1.06	0.79	0.91	0.97	1.05	1.01
16	0.37	0.34	0.33	0.36	0.03	0.35	0.34	0.35	0.30
17	0.26	0.28	0.10	-0.02	-0.40	0.28	0.19	0.04	-0.09
18	0.51	0.74	0.22	0.04	-0.33	0.70	0.48	0.13	-0.03
19	1.02	1.18	0.82	0.63	0.33	1.15	1.00	0.73	0.57
20	1.61	1.70	1.42	1.32	1.10	1.68	1.56	1.37	1.28
21	2.46	2.55	2.36	2.41	2.33	2.53	2.46	2.39	2.39
22	3.96	4.02	4.16	4.27	4.41	4.01	4.09	4.22	4.30
23	4.79	4.58	4.70	4.84	5.05	4.62	4.64	4.77	4.88
24	4.45	4.29	4.51	4.63	4.81	4.32	4.40	4.57	4.67
25	3.86	3.71	3.97	4.09	4.19	3.74	3.84	4.03	4.11
26	2.91	2.84	3.01	3.05	3.02	2.85	2.93	3.03	3.04
27	1.81	1.82	1.99	1.99	1.83	1.82	1.91	1.99	1.96
28	0.94	0.90	1.03	1.06	0.79	0.91	0.97	1.05	1.01
Tijd	Haven Vlissingen	Haven ZB	Haven OST	Haven NP	Haven Duinkerke	Grens Nederland	ZB - OST	OST - NP	Grens Frankrijk -

29	0.37	0.34	0.33	0.36	0.03	0.35	0.34	0.35	0.30
30	0.26	0.28	0.10	-0.02	-0.40	0.28	0.19	0.04	-0.09
31	0.51	0.74	0.22	0.04	-0.33	0.70	0.48	0.13	-0.03
32	1.02	1.18	0.82	0.63	0.33	1.15	1.00	0.73	0.57
33	1.61	1.70	1.42	1.32	1.10	1.68	1.56	1.37	1.28
34	2.46	2.55	2.36	2.41	2.33	2.53	2.46	2.39	2.39
35	3.96	4.02	4.16	4.27	4.41	4.01	4.09	4.22	4.30
36	4.79	4.58	4.70	4.84	5.05	4.62	4.64	4.77	4.88
37	4.45	4.29	4.51	4.63	4.81	4.32	4.40	4.57	4.67
38	3.86	3.71	3.97	4.09	4.19	3.74	3.84	4.03	4.11
39	2.91	2.84	3.01	3.05	3.02	2.85	2.93	3.03	3.04
40	1.81	1.82	1.99	1.99	1.83	1.82	1.91	1.99	1.96
41	0.94	0.90	1.03	1.06	0.79	0.91	0.97	1.05	1.01
42	0.37	0.34	0.33	0.36	0.03	0.35	0.34	0.35	0.30
43	0.26	0.28	0.10	-0.02	-0.40	0.28	0.19	0.04	-0.09
44	0.51	0.74	0.22	0.04	-0.33	0.70	0.48	0.13	-0.03
45	1.02	1.18	0.82	0.63	0.33	1.15	1.00	0.73	0.57

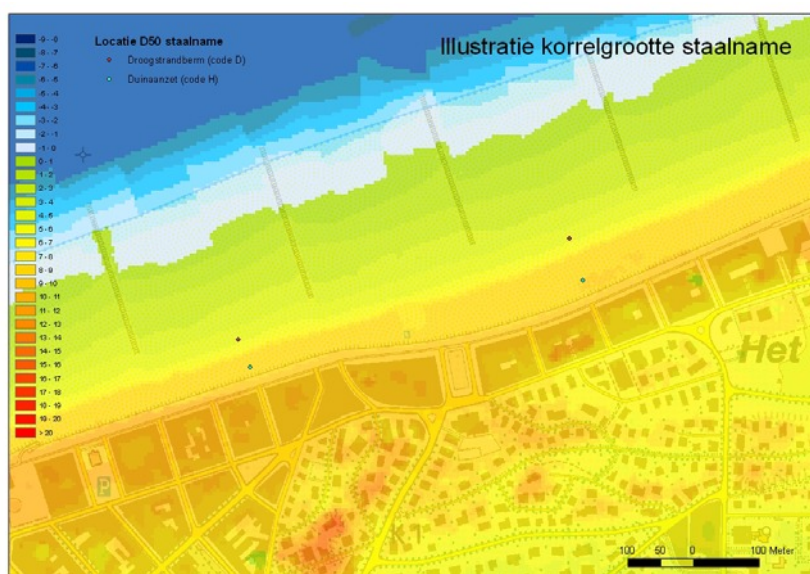
Volgens het COMRISK-Flanders rapport (Trouw et al, 2005) bestaat er een asymmetrie in het stormopzet-verloop, namelijk een vrij snelle toename naar de piekwaarde in het begin van de storm, en een vrij trage afname erna (zie Figuur 3). Het verloop van de stormopzet wordt daarom bepaald als:

$$S(t) = S_{\max} \cos^2\left(\frac{\pi \cdot t}{T_s}\right) \quad \text{Met } T_s = 45 \text{ uur}$$



Figuur 3 – Verloop van de waterstand tijdens een asymmetrische storm van 45u (+8m TAW op de piek van de storm)

De gebruikte korrelgroottegegevens zijn afkomstig van zeefanalyses uitgevoerd door het laboratorium de Vlieger en door het VITO in de periode 2001-2004. De korrelgroottestalen zijn genomen nabij de glooiing (>8m TAW) en aan de zeewaartse grens van de droogstrandberm (5 à 6,5m TAW), zie figuur 4. De kust is ingedeeld in 16 zones op basis van veranderingen in de D50-waarden (zie Tabel 2).



Figuur 4 – Locatie van de korrelgrootte stalen (Verwaest et al., 2008)
Achtergrond: topografische kaart 1: 10000, Nationaal Geografisch Instituut

Tabel 2 – Gemiddelde D50-waarden langs de Belgische kust

	Secties	D50 (µm)
De Panne-Nieuwpoort	1 – 25	202
	26 – 32	240.5
	33 – 40	242
	41 – 53	198
	53 – 59	184.7
Nieuwpoort-Oostende	60 – 73	184
	74 – 88	219.8
	89 – 105	219.4
	106 – 117	215.6
Oostende-Zeebrugge	118 – 125	215.6
	126 – 156	218
	156 – 167	249
	167 – 169	308.1
	170 – 176	218
	177 – 184	249
	185 – 195	218
	196 – 210	203
	211 – 219	218
Zeebrugge-Zwin	220 – 224	286
	225 – 249	257
	250	271
	251 -254	268

De duinen als natuurlijke zeewering worden beoordeeld door het berekenen van de verwachte duinafslag tijdens een extreme storm. Een duin vertoont een risico van falen wanneer de nodige afslag om een stabiel evenwichtsprofiel te bekomen groter is dan het kritische grensvolume van de duin.

Het grensvolume A_{gp} wordt als volgt berekend:

$$H_{gp} = 0,12 \times T_p \times \sqrt{H_{sig}}$$

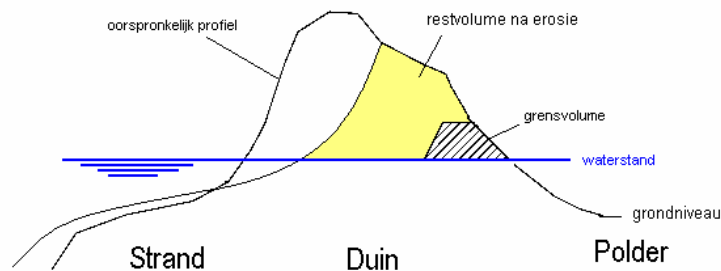
H_{gp} = hoogte grensprofiel boven het waterpeil op de piek van de storm

T_p = golfperiode op de piek van de storm

H_{sig} = significante golfhoogte op de piek van de storm

$$A_{gp} = 3 \times H_{gp} \times \left(1 + \frac{H_{gp}}{2} \right)$$

A_{gp} = grensvolume
 H_{gp} = hoogte grensprofiel



Figuur 5 – Restvolume en grensvolume van een duin bij afslag

Het grens- en restvolume worden berekend op het ogenblik van de piek van de storm, wanneer de maximale waterstand bereikt wordt. Er wordt verondersteld dat, indien een bres ontstaat of het water over de zeewering loopt, dit gebeurt op het moment wanneer het water het hoogst staat en de golfcondities het hevigst zijn. Bresvorming of overloop kunnen eventueel al vroeger ontstaan maar in de beschouwde extreme scenario's is dit tijdsverschil verwaarloosbaar.

2.3 Bres- en overstromingsmodellering

Bij het onderschrijden van het kritische grensvolume A_{gp} wordt er verondersteld dat in de natuurlijke zeewering een bres ontstaat. Met behulp van het MikeFlood model worden de hydraulische overstromingsberekeningen uitgevoerd. Dit programma vormt een koppeling tussen de modellen MIKE11 en MIKE21. Het 1D model MIKE 11 wordt gebruikt voor het modelleren van de stroming doorheen bressen, terwijl het 2D model MIKE 21 gebruikt wordt voor het modelleren van de overstromingen in de kustvlakte (DHI Software, 2007).

De maximale breedte van een bres wordt beperkt tot de onbebouwde breedte van de sectie. Deze beperking is gebaseerd op de veronderstelling dat de bebouwing op de zeedijk niet zal instorten en dat het puin van gebouwen die toch zouden instorten een eventuele bres terug zal afsluiten. Het minimale bodempeil van een bres wordt beperkt tot het maaiveldpeil van de kustvlakte aan de landzijde van de zeewering. In het overstromingsmodel wordt er enkel rekening gehouden met stroming door overloop en bresvorming. Overslagdebieten over de zeewering worden niet meegenomen omdat deze debieten in de beschouwde scenario's verwaarloosbaar zijn ten opzichte van bres- en overloopdebieten.

Sifons worden gemodelleerd door middel van een duiker ("culvert"). Voor elke sifon wordt een afzonderlijke structuur gedefinieerd, bestaande uit één of meerdere parallelle leidingen. De afmetingen van de leidingen worden in de mate van het mogelijke afgeleid uit bouwkundige plannen. Wanneer geen plannen beschikbaar zijn, worden ze geschat op basis van gegevens van naburige, vermoedelijk gelijkaardige, sifons. Aan de leidingen wordt een ruwheid toegekend die representatief is voor licht verweerd beton ($n = 0.013$).

De hoogtegegevens afkomstig van het DHM Vlaanderen (resolutie van 5x5 m) werden geaggregeerd tot een vereenvoudigd hoogtemodel met een resolutie van 100x100 m. Hierbij werd aan elke cel van het hoogtemodel een waarde toegekend die overeenstemt met de gemiddelde hoogte van de 400 samenstellende cellen van het DHM-Vlaanderen.

De bodemruwheid wordt bepaald aan de hand van het bodemgebruik. Dit werd afgeleid uit Corine Land Cover 2000. Aan elke bodemgebruiksklasse werd vervolgens een ruwheidswaarde toegekend. De bodemgebruiksklassen en de bijhorende ruwheden worden vermeld in onderstaande tabel (Strickler's k =

1/Manning's n). De bodemruwheid heeft een reducerend effect op de stroomsnelheid van het overstromingswater.

Tabel 3 – Ruwheidcoëfficiënten voor de verschillende types bodemgebruik

Bodemgebruik	Ruwheidcoëfficiënt (Strickler)
Bebouwing	10
Industrie/infrastructuur	15
Recreatie	20
Landbouw	25
Bos	10
Natuur	25
Strand/duin	30
Aquatische natuur	30
Water	35

Turbulente viscositeit wordt berekend op basis van fluxen in combinatie met een constante turbulente viscositeitcoëfficiënt. De waarde van deze viscositeitcoëfficiënt wordt ruw begroot op $1 \text{ m}^2/\text{s}$.

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. De standaard windwrijvingscoëfficiënt (0.0026) is bedoeld voor krachtige winden boven open zee. In geval van overstroming van een landoppervlak zal een deel van het wateroppervlak afgeschermd worden door niet overstroomde landschapselementen en vormt het gebruik van de standaard waarde ongetwijfeld een overschatting van de werkelijke invloed van de windwrijving. Op basis van literatuurwaarden werd de windwrijvingscoëfficiënt verlaagd tot 0.0008.

Coriolis krachten worden niet in rekening gebracht.

De parameters voor overstroming en droogval van het landoppervlak worden ingesteld op respectievelijk 0.01 en 0.005 m. Dit betekent dat een droog oppervlak overstroomt van zodra de berekende waterdiepte meer dan 1 cm bedraagt en terug droogvalt wanneer de berekende waterdiepte afneemt tot minder dan 0.5 cm.

2.4 Schade- en slachtofferberekening

De methode voor schade- en slachtofferberekening die toegepast is in het kader van CLIMAR werd ontwikkeld door Vanneuville et al. (2003) en verder uitgewerkt door Kellens & Vanneuville (2007). De berekeningen worden uitgevoerd met de LATIS software versie 1.2, ontwikkeld door UGent en Waterbouwkundig Laboratorium.

De methodologie van schade- en slachtofferberekening kan worden toegepast zowel op rivierdijken als op zeeweringen. In het kader van CLIMAR wordt enkel de schade door overloop en door faling van de zeewering berekend, er wordt geen rekening gehouden met overtopping van golven op de dijk (omdat binnen CLIMAR enkel rekening wordt gehouden met de natuurlijke zachte zeewering en niet met harde constructies). De methodologie van slachtofferberekening die wordt toegepast in CLIMAR houdt eveneens geen rekening met mogelijkheid tot evacuatie.

2.4.1 Schade

In de schade- en risicoberekeningen bij overstromingen langs waterlopen werd oorspronkelijk enkel uitgegaan van overstromingen ten gevolge van overloop. De schadebepalende factor was daarbij de overstromingsdiepte of waterdiepte. Voor de verschillende bodemgebruiksklassen werd also een schadefunctie opgesteld (Vanneuville et al., 2002).

De schade aan antropogene constructies verandert bij bresvorming. Door de hoge stroomsnelheden nabij de bres wordt totale instorting van gebouwen een realistische mogelijkheid. Algemeen kan men veronderstellen dat de stroomsnelheid van het water een additionele schade zal genereren bovenop deze ten gevolge van de waterdiepte.

Hierna wordt een schadefunctie voorgesteld voor de berekening van de materiële schade rekening houdend met de overstromingsdiepte en stroomsnelheid.

Naast de materiële schade zal ook het aantal slachtoffers nabij een bres groter zijn dan wanneer men enkel uitgaat van de overstromingsdiepte.

Schadeberekening volgens waterdiepte

Visou Van Eck (et al., 1999) legt volgend verband tussen de werkelijke schade en de overstromingsdiepte:

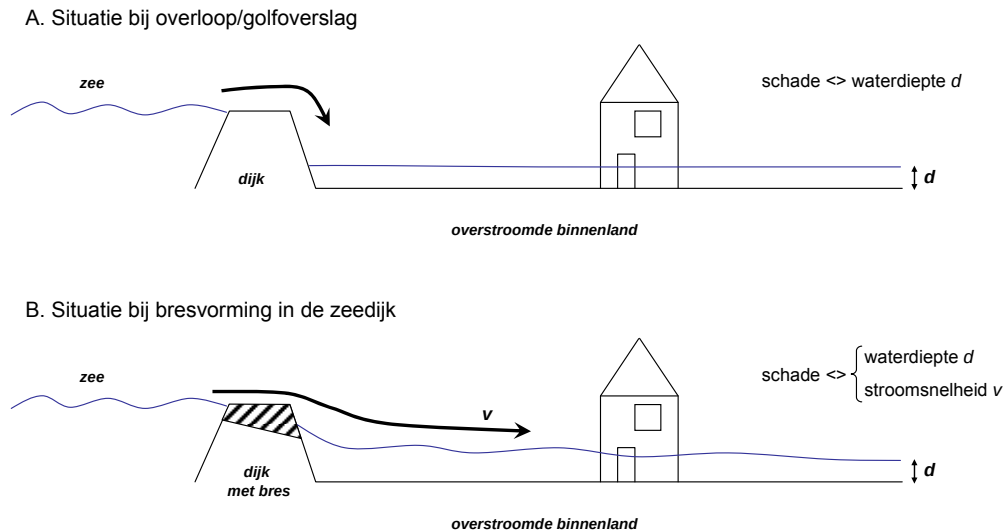
$$S_w = \sum (\alpha * n_i * S_{\max}) \quad (1)$$

met: S_w = werkelijke schade die optreedt bij een bepaalde gebeurtenis
 α = schadefactor in functie van de waterdiepte (waarde tussen 0 en 1)
 n_i = aantal eenheden (aantal, lengte in m, oppervlakte in m²...)
 $S_{\max}$ = maximale schade op basis van de vervangingswaarde
 en dit gesommeerd over alle bodemgebruiksklassen waar schade optreedt.

De schadefunctie α is in de bovenstaande formule een functie van de waterdiepte (meter). Afhankelijk van het bodemgebruik bereikt ze bij een bepaalde waterstand (gepaard met een bepaalde terugkeerperiode) een maximale waarde van 1. Concreet wordt de schade in dit geval maximaal verondersteld voor die bodemgebruiksklasse. Een waterdiepte van 5 m of meer staat voor de meeste typen bodemgebruik gelijk aan een maximale schade (Vanneuville et al., 2002).

Schadeberekening volgens stroomsnelheid

Bij bressen van dijken is het mogelijk dat de maximale schade reeds bij een lagere waterdiepte dan 5 m bereikt wordt. De schadefactor α is in dat geval niet langer afhankelijk van één maar van twee componenten. Naast de waterdiepte zal ook de stroomsnelheid van het water de grootte van de schadefactor α bepalen.



Figuur 6 – Schematische voorstelling van de bepalende schadecomponenten bij overloop/golfoverslag (A) en bij bresvorming in de zeedijk (B). Uit: Kellens & Vanneuville (2007)

Tot op heden is er weinig gepubliceerd rond de relaties tussen schade aan gebouwen of andere constructies door stromend water. Ondanks het feit dat schade wordt uitgedrukt in termen van geld, blijft het een moeilijk te meten begrip. Enkele auteurs geven wel een indicatie van kritische stroomsnelheden. Zo vermeldt Vrisou van Eck (et al., 1999) dat muren van gietbeton bestand zijn tegen stroomsnelheden tot ca. 7 m/s terwijl muren van metselwerk al bezwijken bij 1 à 2 m/s. Het bezwijken van een muur leidt niet noodzakelijk tot het instorten van het gehele gebouw. Het type (hoofd)draagconstructie zal hier een rol spelen. Niettemin mag men ervan uitgaan dat een stroomsnelheid van 3 m/s volstaat om een maximale schade aan te richten aan de meeste bouwconstructies.

Stroomsnelheden hebben pas een impact wanneer zij ook gepaard gaan met een voldoende debiet of waterdiepte. Het is uit de literatuur niet duidelijk bij welke waterdiepte de stroomsnelheden een gevaar vormen voor de stabiliteit van muren. Vrisou van Eck (et al., 1999) stelt een minimale overstromingsdiepte voor van 0,5 m.

De maximale schadefactor α van een woning kan als volgt worden gedefinieerd:

$$\alpha = 1 \quad \text{als} \quad d \geq 0,5 \text{ m} \quad \text{én} \quad v > 3 \text{ m/s} \quad (2)$$

met α = schadefactor
 d = waterdiepte (m)
 v = stroomsnelheid (m/s)

In het geval de waterdiepte d kleiner is dan 0,5 m en/of de stroomsnelheid kleiner is dan 3 m/s, dan neemt Vrisou van Eck (et al., 1999) aan dat de schadefactor α enkel afhankelijk is van de waterdiepten (berekening van de schade volgens Vanneuville et al, 2002).

De schadefunctie (formule 2) kent een sterk discontinu verloop. Immers, van zodra één van beide voorwaarden niet voldaan is (bv. een waterdiepte van 0,45 m of een stroomsnelheid van 2,9 m/s), dan valt de berekening van de schade terug op één component, de waterdiepte. In principe is er nog steeds een additionele schade bij lagere waterdiepten of stroomsnelheden mogelijk, evenwel zonder dat dit resulteert in een maximale schade aan het gebouw.

Deze abrupte grens kan vermeden worden door een continue schadefunctie op te stellen voor de beide componenten – de waterdiepte en de stroomsnelheid. De schadefactor wordt dan berekend uit het product van deze componenten (zie volgend onderdeel).

Het is van belang op te merken dat de hierna voorgestelde schadefunctie voor de waterdiepte enkel dient ter ondersteuning van de schadefactor volgens de stroomsnelheid. Ze mag dus niet verward

worden met de verschillende schadefuncties die in Vanneuville (et al., 2002 en 2006) worden voorgesteld. Om een duidelijk onderscheid te maken, wordt een nieuwe schadefactor gedefinieerd. Deze factor hoeft enkel berekend te worden wanneer er sprake is van (significante) stroomsnelheden in het overstroomde gebied. De schadefactor wordt β genoemd, en de twee componenten worden aangeduid met β_v voor de stroomsnelheid, en β_d voor de waterdiepte.

Er wordt tot slot op gewezen dat de schadefactor β enkel betrekking heeft op de “restschade” van de bodemgebruiksklassen waarin gebouwen voorkomen. Hiermee wordt het verschil aangegeven tussen de maximale schade en de schade berekend bij overloop/golfoverslag. Om een dubbele telling te vermijden dient de schadeberekening door de hoge stroomsnelheden te gebeuren op basis van de restschade of de maximale additionele schade:

$$S_{\max,b} = S_{\max} - S_w \quad (3)$$

met: $S_{\max,b}$ = de maximale additionele schade bij bresvorming
 $S_{\max}$ = maximale schade
 S_w = werkelijke schade bij overloop/golfoverslag

Naar analogie met de schadeberekening volgens de waterdiepte (formule 1) kan een formule worden opgesteld voor de berekening van de additionele schade bij hoge stroomsnelheden:

$$S_{w,b} = \sum (\beta * n_i * S_{\max,b}) \quad (4)$$

met: $S_{w,b}$ = werkelijke additionele schade bij bresvorming
 β = schadefactor in functie van de stroomsnelheid (waarde tussen 0 en 1)
 n_i = aantal eenheden (aantal, lengte in m, oppervlakte in m²...)
 $S_{\max,b}$ = de maximale additionele schade bij bresvorming

En dit gesommeerd over alle bodemgebruiksklassen waar schade optreedt.

Na de berekening van de werkelijke schade bij bresvorming kan deze opgeteld worden bij de werkelijke schade door overloop/golfoverslag, om zo een totale werkelijke schade te bekomen:

$$S_T = S_w + S_{w,b} \quad (5)$$

met: S_T = totale werkelijke schade bij een overstroming
 S_w = werkelijke schade bij overloop/golfoverslag
 $S_{w,b}$ = werkelijke additionele schade bij bresvorming

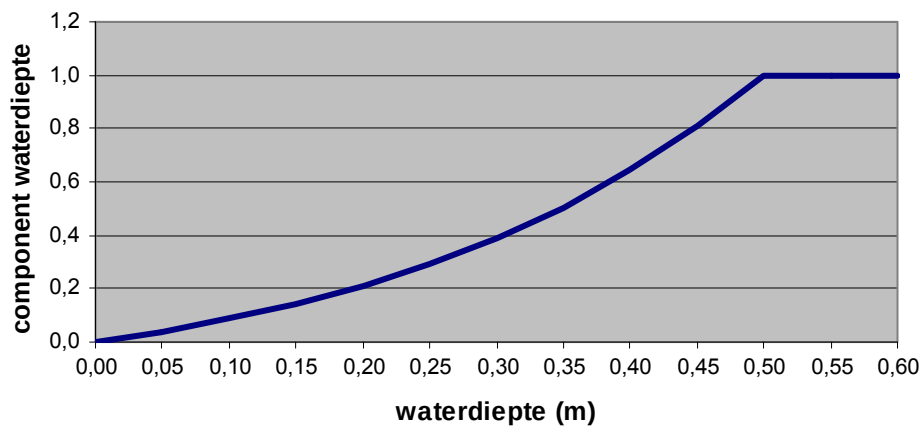
Zoals hoger aangegeven moeten de componenten β_v en β_d door een continue functie worden beschreven. De vraag stelt zich: “Welke functie?” Vast staat dat de toename van de waterdiepte of stroomsnelheid gepaard gaat met een toename van de schadecomponent. Er is dus een evenredig verband. Het verloop kan daarbij een rechte volgen (d.w.z. een constante toename in de waterdiepte of stroomsnelheid leidt tot een constante toename van de schadecomponent) of een kromme volgen, bijvoorbeeld logaritmisches, exponentieel of sigmoïdaal. Er wordt voor een exponentiële functie gekozen, en wel om volgende redenen:

- bij zeer lage waterdiepten en stroomsnelheden zal slechts weinig schade optreden;
- wanneer één van beide componenten toeneemt, zal de schade steeds sneller toenemen, tot ze uiteindelijk maximaal is (schadecomponent = 1)

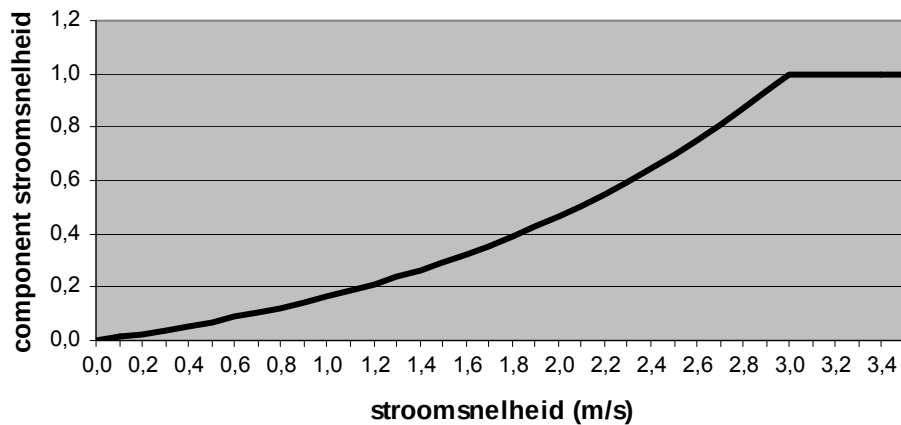
Onderstaande figuren stellen een exponentieel verloop van de beide componenten voor. De formules werden dusdanig opgesteld dat een maximale componentwaarde bereikt wordt bij 0,5 m voor β_v en bij 3,0 m/s voor β_d .

$$\beta_v = \frac{\exp(3,6 \cdot v) - 1}{5} \quad \text{met} \quad \beta_v = 1 \quad \text{als } v \geq 1 \quad (6)$$

$$\beta_d = \frac{\exp(0,6 \cdot d) - 1}{5} \quad \text{met} \quad \beta_d = 1 \quad \text{als } d \geq 1 \quad (7)$$



Figuur 7 – Functie van de component voor de waterdiepte (m)

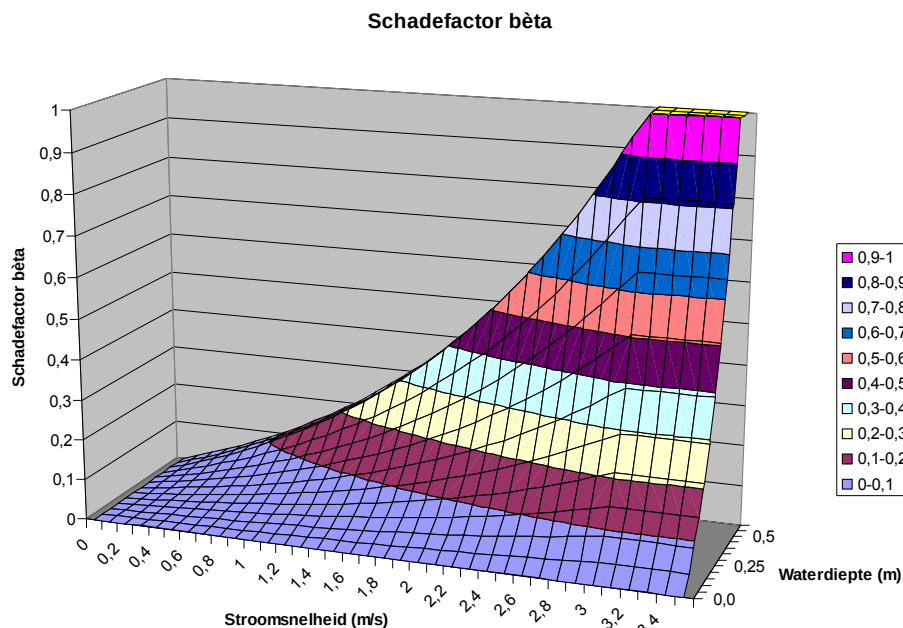


Figuur 8 – Functie van de component voor de stroomsnelheid

Een combinatie van beide formules is noodzakelijk om de schadefactor β te bepalen:

$$\beta = \beta_v \cdot \beta_d \quad (8)$$

De relatie tussen de waterdiepte, de stroomsnelheid en het percentage additionele schade (schadefactor β) van de maximale additionele schade wordt in Figuur 9 weergegeven.



Figuur 9 – Relatie waterdiepte, stroomsnelheid en percentage additionele schade (schadefactor β)

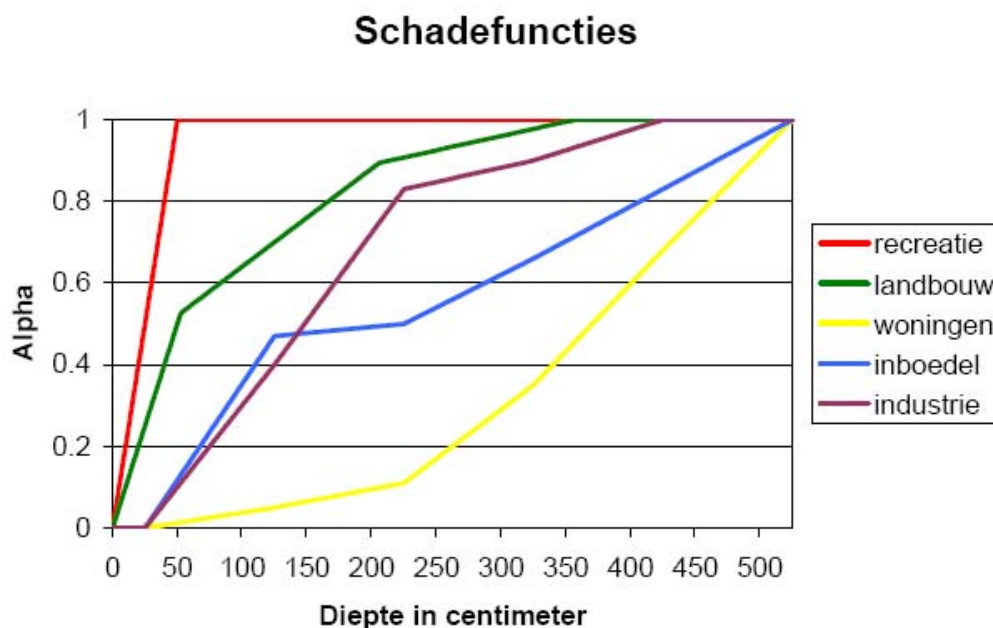
In onderstaande tabel wordt een overzicht gegeven van de monetaire waarde van de verschillende types landgebruik. In bijlage 2 wordt de methodologie voor het bepalen van de maximale schadewaarde besproken.

Tabel 4 - Overzicht van de maximale schadewaarden per beschouwd bodemgebruik of object (Vanneuville et al., 2006)

Bodemgebruik of object	Schade
Woningen	Maximale schade in functie van dichtheid van bebouwing (per statistische sector). Schade in functie van gemiddelde verkoopswaarde in de regio. Behalve directe ook indirecte schade. Aparte functie voor zout water.
Inboedel	Maximale schade 50 % van maximale schade woning; Behalve directe ook indirecte schade.
Industrie	Bepaling van schade op 2 manieren: - op basis van oppervlakte: € 100/m ² , behalve directe ook indirecte schade. - op basis van aantal werknemers: maximale schade in functie van dichtheid aantal werknemers in industriegebied (per gemeente); € 180 000 per werknemer, behalve directe ook indirecte schade.
Infrastructuur	€ 100/m ²
Luchthaven	Waarde niet van toepassing op 3 grootste luchthavens; € 100/m ² voor bodemgebruiksklasse Luchthaven I, € 0/m ² voor Luchthaven II.
Recreatiegebied	€ 0,03/m ² . Aparte functie voor zout water
Akkerland	Waarde in functie van landbouwstreek en bekken op basis van geteelde gewassen. Gemiddelde voor Vlaanderen ongeveer € 0,50/m ² ; Behalve directe ook indirecte schade. Aparte functies voor zout water.

Weiland	€ 0,08/m ² , behalve directe ook indirecte schade.
Voertuigen	€ 4500 per voertuig
Water, Natuur, Bossen	€ 0/m ²
Wegen	Waarde afhankelijk van type weg; Variërend tussen € 300/m en € 7500/m
Spoorwegen	Waarde afhankelijk van type spoorweg; Variërend tussen € 500/m en € 7500/m
Waterwinningsinfrastructuur	Waarde bepaald op basis van expert opinion. Vertrouwelijk.
Pretparken en dierentuinen	Waarde bepaald op basis van expert opinion. Vertrouwelijk.
Kloosters, abdijen, ziekenhuizen, stad- en gemeentehuizen, schoolgebouwen	€ 1150/m ²
Kerken	€ 1150/m ² , oppervlakte vastgezet op 400m ²
Brandweerkazernes, politiebureaus en gevangenissen	€ 1600/m ²
Musea	€ 1600/m ² , oppervlakte vastgezet op 1.800m ² ; waarde exclusief waarde van de collectie
Historische molens	€ 687 500 per stuk
Kastelen	€ 10 000 000 per stuk
Rusthuizen	€ 12 500 000 per stuk
Treinstations	Onderscheid wordt gemaakt tussen: - grote stations: waarde bepaald op basis van expert opinion. Vertrouwelijk. - middelgrote stations: € 295 000 per station - kleine stations: € 30 000 per station
Elektriciteitscentrales	€ 4 500 000 000 per centrale
Windturbines	€ 712 000 per turbine
Zendinstallaties	€ 60 000 per installatie
Ondergrondse parkeergarages	€ 7 500 000 per garage
Metrostations	€ 5 000 000 per station
Benzinestations	€ 900 000 per station
Winkelcentra	€ 50 000 000 per centrum

Voor de verschillende types landgebruik is het verloop van de schadefunctie samengevat in onderstaande figuur.



Figuur 10 – Verloop van de schadefunctie voor verschillende types landgebruik

2.4.2 Slachtoffers

Lokalisatie van de inwoners

Het belangrijkste probleem bij het bepalen van het aantal slachtoffers is de vraag waar mensen zich bevinden op het moment van de overstroming: overdag of 's nachts, op een werkdag of in het weekend, tijdens vakantieperiodes... Het is onmogelijk om het exacte aantal mensen te voorspellen dat zich op een bepaalde plaats zal bevinden. Er moeten dus vereenvoudigingen worden doorgevoerd om de berekeningen praktisch mogelijk te maken. Hieromtrent zijn twee oplossingen uitgewerkt. Enerzijds wordt een berekening uitgevoerd vertrekkende van het aantal inwoners per statistische sector. Anderzijds wordt een aggregatie gemaakt op gemeenteniveau, waarna een herverdeling van de inwoners wordt berekend naargelang de bodemgebruiksklassen.

- Homogene verdeling op statistisch niveau

De volkstellingen van het NIS (2001) leveren data tot op het niveau van de statistische sector. Deze sectoren stemmen overeen met wijken of buurten, en vormen onderdelen van (deel)gemeenten of fusiegemeenten. Hoewel het NIS de tellingen opdeelt in leeftijdscategorieën (per 5 jaar) wordt met het totale aantal inwoners per statistische sector gewerkt.

Door haar eenvoud laat deze verdelingsmethode snelle berekeningen toe. De methode houdt echter geen rekening met mogelijke concentraties van mensen in een gebied, waardoor ze in bepaalde gevallen een vertekend beeld kan geven.

- Verdeling op gemeentelijk niveau naar bodemgebruik

Voor een aantal bodemgebruiksklassen mag men aannemen dat de kans dat zich daar mensen bevinden groter is dan voor andere bodemgebruiksklassen. Er wordt verondersteld dat alle inwoners zich in bewoond of industrieel gebied bevinden. De verdeelsleutel daarbij is dat er zich driemaal zoveel mensen in Bebouwing I bevinden als in Bebouwing III, en tweemaal zoveel in Bebouwing I als in Bebouwing II. De dichtheid in Industrie I (fabriekshallen, werkplaatsen...)

wordt gelijk verondersteld aan Bebouwing III. De toevoeging van industrie ten opzichte van de aanpak in Vanneuville et al. (2003) heeft betrekking op het feit dat mensen niet noodzakelijk thuis, maar ook op hun werk kunnen zijn op het moment van de overstroming.

Bij de verdeling volgens het bodemgebruik wordt opnieuw vertrokken van de volkstellingen van het NIS (2001), maar nu met de geaggregeerde gegevens op gemeentelijk niveau. Deze aanpak laat een vlottere berekening toe in Idrisi, en biedt tegelijk voldoende data om ook de industriële gebieden op representatieve wijze te bevolken.

Berekening van het aantal slachtoffers

Het bepalen van het risico op slachtoffers verloopt grotendeels analoog aan het bepalen van het materiële risico. Het maximale aantal slachtoffers (uitgedrukt per m²) is het aantal aanwezigen in het overstroomde gebied.

Het aantal slachtoffers N bij een bepaalde gebeurtenis met een terugkeerperiode T is:

$$N = f_d * f_w * A$$

met A = aantal inwoners per oppervlakte (m²)
 f_d = verdrinkingsfactor als functie van de waterdiepte (m)
 f_w = verdrinkingsfactor als functie van de stijgsnelheid (m/uur)
 (Vrisou van Eck, 1999b, p. 5-1, 5-3)

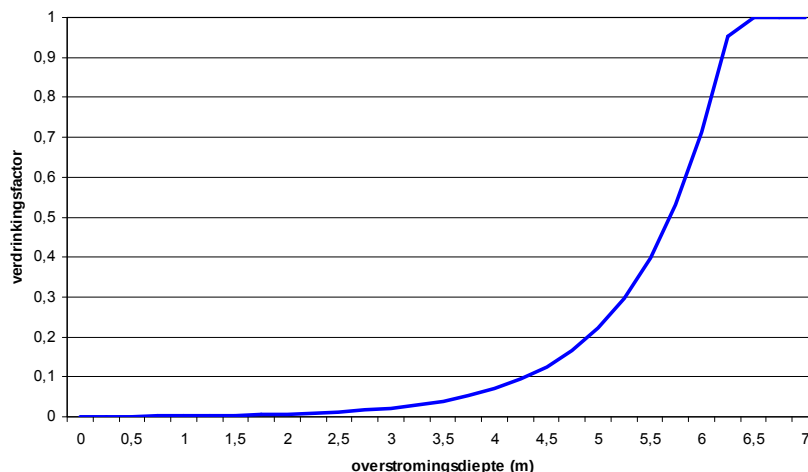
In de volgende onderdelen wordt op de bovengenoemde factoren – waterdiepte en stijgsnelheid – dieper ingegaan.

De verdrinkingsfactor op basis van de waterdiepte kan als volgt worden berekend (Vrisou van Eck, 1999b, p. 5-1):

$$f_d = e^{(1,16d-7,3)}$$

met d = waterdiepte of overstromingsdiepte (m)

Het exponentiële verloop van de functie wordt in Figuur 11 weergegeven. Naar analogie met de methode in Vanneuville et al. (2002, p. 30) worden de waterdiepten ingedeeld op een conservatieve manier in klassen van 25 cm. De drempelwaarde bedraagt één klasse voor de personen die in de bebouwde gebieden aanwezig zijn (in werkelijkheid tussen 1 en 25 cm), en 2 klassen voor de personen in Industrie I (drempelwaarde 26-50 cm).



Figuur 11 – Verdrinkingsfactor volgens waterdiepte

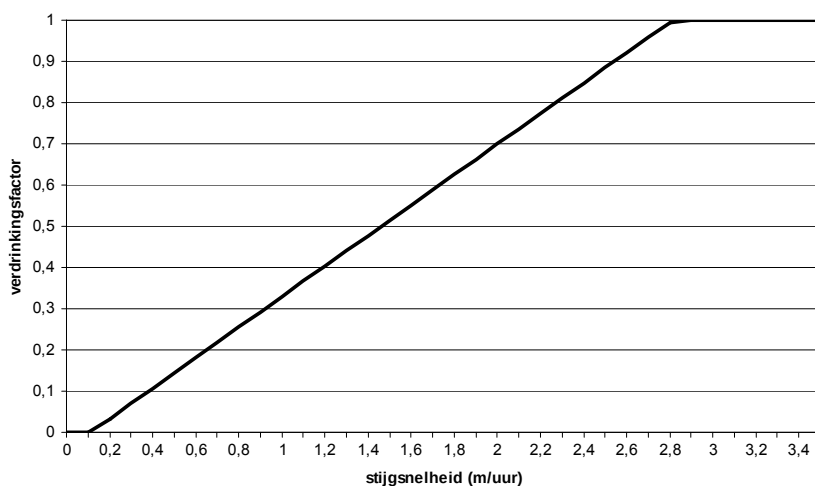
De verdrinkingsfactor op basis van de stijgsnelheid kent een lineair verloop (Vrisou van Eck, 1999b, p. 5-3). Bij een stijgsnelheid van minder dan 0,3 m/uur worden geen slachtoffers verwacht. Wanneer de stijgsnelheid de 3 m/uur overschrijdt, bereikt de verdrinkingsfactor waarde 1. Wiskundig wordt dit:

$$f_w = 0 \quad \text{voor} \quad w \leq 0,3$$

$$f_w = 0,37 * w - 0,11 \quad \text{voor} \quad 0,3 < w < 3,0$$

$$f_w = 1 \quad \text{voor} \quad w \geq 3,0$$

met w = stijgsnelheid in m/uur



Figuur 12 – Verdrinkingsfactor volgens stijgsnelheid

Factor stroomsnelheid

Naast de waterdiepte en de stijgsnelheid van het water kan een derde factor meespelen in het geval een bres ontstaat in de (zee)dijken : de stroomsnelheid. Naar analogie met de schadeberekening kan een functie worden opgesteld waarbij een indicatie wordt gegeven van het aantal personen dat zich bij een bepaalde stroomsnelheid niet meer staande kan houden. Grote stroomsnelheden worden volgens Jonkman en Cappendeijk (2006) gedefinieerd als:

$$d.v \geq 7 \frac{m^2}{s} \quad \text{en} \quad v \geq 2 \frac{m}{s}$$

met d = waterdiepte (m)
 v = stroomsnelheid (m/s)

3 Resultaten risicoberekening

De overstromingsrisico's worden berekend voor een extreme storm onder huidige omstandigheden en onder 2 verschillende scenario's van klimaatsveranderingen tegen 2100 (Ponsar et al., 2007):

- huidige situatie
- gematigd scenario met significante verandering van luchtcirculatie M+
- onwaarschijnlijk worst case scenario WCS

Tabel 5 – Scenario's van klimaatsveranderingen tegen 2100 (Ponsar et al., 2007)

	M	M+	W	W+	WCS
Luchttemperatuur	+ 2° C	+ 2° C	+ 4° C	+ 4° C	+ 4° C
Zeewatertemperatuur	+ 2,5° C	+ 2,5° C	+ 3,5° C	+ 3,5° C	+ 3,5° C
Verandering luchtcirculatie	nee	ja	nee	ja	ja
Windsnelheid	0%	+ 4 %	- 2 %	+ 8 %	+ 8 %
Winterneerslag	+ 8 %	+ 14 %	+ 16 %	+ 28 %	+ 28 %
Zomerneerslag	+ 6 %	- 20 %	+ 12 %	- 40 %	- 40 %
Gemiddeld zeeniveau	+ 60 cm	+ 60 cm	+ 93 cm	+ 93 cm	+ 200 cm

De verwachte stijging van de zeespiegel in de verschillende klimaatscenario's (zowel M+ als WCS) betreft een stijging van het gemiddelde zeewaterniveau. Men kan veronderstellen dat het gemiddelde hoogwater nog meer zou stijgen, zoals blijkt uit de actuele waarnemingen aan de Belgische kust. Volgens Verwaest en Verstraeten (2005) is er actueel een stijgende trend van het gemiddelde hoogwater met 1,80 mm/jaar opgetreden, en volgens Ponsar et al. (2007) is er een stijging van het gemiddelde zeeniveau met +1,67 mm/jaar. De verschillen tussen de trend van het gemiddelde zeeniveau en deze van het gemiddelde hoogwater zijn dus eerder gering. Bovendien vereisen ze bijkomende modelleringen om vanuit de fysica verklaard te kunnen worden. Deze effecten worden daarom niet meegenomen in de huidige risicoberekening.

3.1 Huidige situatie

In een eerste fase worden de berekeningen uitgevoerd voor een extreme storm met een vloedpeil van +8m TAW te Oostende. Deze storm wordt als meest extreme maar toch nog realistische superstorm vastgelegd. Ter vergelijking, de gekende zwaarste storm van de afgelopen 100 jaar, namelijk de storm van 1 februari 1953, bereikte in Oostende een stormvloedpeil van +6.66 m TAW. Dit is dus 1.34 m lager dan de +8 m superstorm. Statistisch heeft deze +8m superstorm een retourperiode van 17000 jaar. Dit is een verwachte waarde die gebaseerd is op de resultaten van de extreme waarde statistiek van stormvloedpeilen (Willems P., 2007). De waterstand wordt bepaald als de som van het actuele gemiddelde springtij zoals afgeleid uit de maregraafmetingen te Oostende en de stormopzet gerelateerd aan een bepaalde retourperiode (zie Figuur 3). Zoals hierboven vermeld is de kust opgedeeld in verschillende zones met telkens een andere tijkromme berekend als het gemiddelde van de tijkrommen van de naburige havens. De stormopzet wordt uniform verondersteld langs de volledige Belgische kust

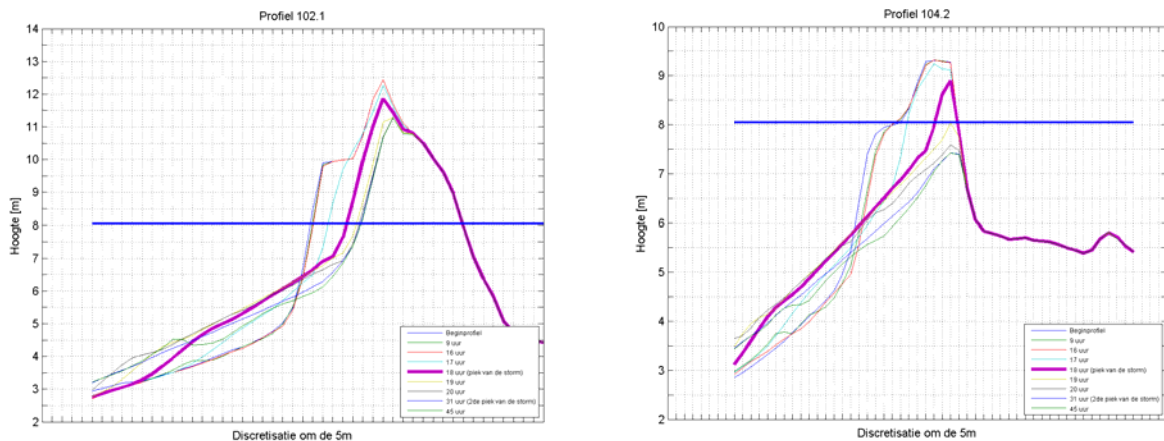
(zie Tabel 1 & Tabel 6).

Tabel 6 – Astronomisch tij en stormopzet voor de verschillende kustdelen bij een extreme storm in het huidige scenario

Tijdstip (u)	Gemiddeld springtij (m)				Stormopzet (m)
	DP - NP	NP - O	O - ZB	ZB-NL	
0	-0.03	0.13	0.48	0.7	0.01
1	0.57	0.725	1	1.15	0.01
2	1.28	1.37	1.56	1.68	0.06
3	2.39	2.385	2.455	2.53	0.16
4	4.3	4.215	4.09	4.01	0.32
5	4.88	4.77	4.64	4.62	0.51
6	4.67	4.57	4.4	4.32	0.74
7	4.11	4.03	3.84	3.74	1
8	3.04	3.03	2.925	2.85	1.28
9	1.96	1.99	1.905	1.82	1.58
10	1.01	1.045	0.965	0.91	1.87
11	0.3	0.345	0.335	0.35	2.16
12	-0.09	0.04	0.19	0.28	2.43
13	-0.03	0.13	0.48	0.7	2.68
14	0.57	0.725	1	1.15	2.89
15	1.28	1.37	1.56	1.68	3.07
16	2.39	2.385	2.455	2.53	3.19
17	4.3	4.215	4.09	4.01	3.27
18	4.88	4.77	4.64	4.62	3.3
19	4.67	4.57	4.4	4.32	3.29
20	4.11	4.03	3.84	3.74	3.26
21	3.04	3.03	2.925	2.85	3.2
22	1.96	1.99	1.905	1.82	3.13
23	1.01	1.045	0.965	0.91	3.04
24	0.3	0.345	0.335	0.35	2.93
25	-0.09	0.04	0.19	0.28	2.8
26	-0.03	0.13	0.48	0.7	2.66

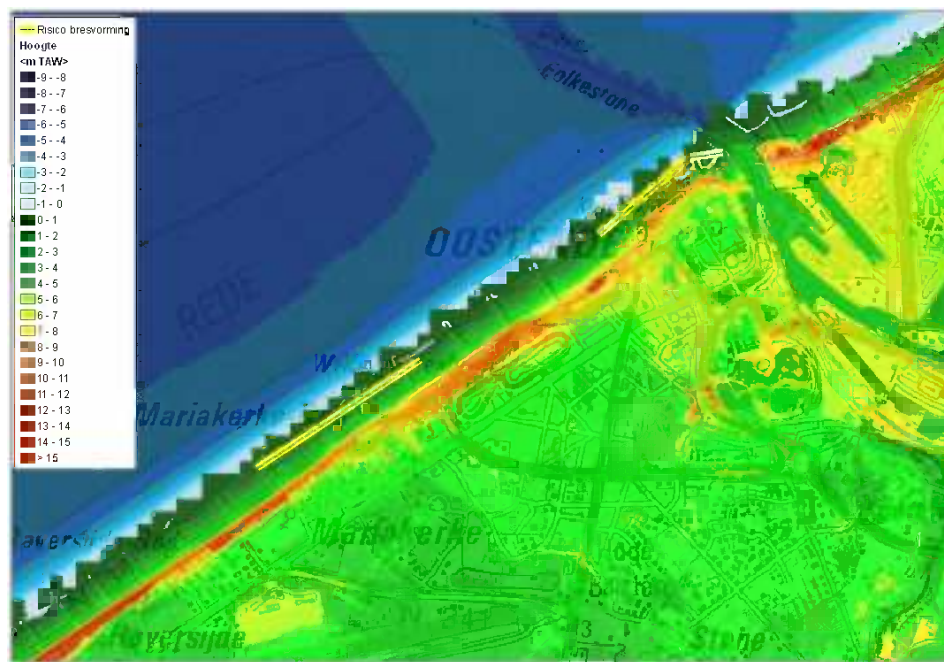
Tijdstip (u)	Gemiddeld springtij (m)				Stormopzet (m)
	DP - NP	NP - O	O - ZB	ZB-NL	
27	0.57	0.725	1	1.15	2.5
28	1.28	1.37	1.56	1.68	2.34
29	2.39	2.385	2.455	2.53	2.16
30	4.3	4.215	4.09	4.01	1.98
31	4.88	4.77	4.64	4.62	1.79
32	4.67	4.57	4.4	4.32	1.6
33	4.11	4.03	3.84	3.74	1.42
34	3.04	3.03	2.925	2.85	1.23
35	1.96	1.99	1.905	1.82	1.05
36	1.01	1.045	0.965	0.91	0.88
37	0.3	0.345	0.335	0.35	0.72
38	-0.09	0.04	0.19	0.28	0.57
39	-0.03	0.13	0.48	0.7	0.43
40	0.57	0.725	1	1.15	0.32
41	1.28	1.37	1.56	1.68	0.21
42	2.39	2.385	2.455	2.53	0.13
43	4.3	4.215	4.09	4.01	0.07
44	4.88	4.77	4.64	4.62	0.02
45	4.67	4.57	4.4	4.32	0

In een eerste fase wordt de verwachte strand- en duinafslag berekend voor alle profielen langs de Belgische kust. In onderstaande figuur wordt als illustratie het resultaat van een dergelijke berekening met DUROSTA weergegeven. In bijlage zijn de significante golfhoogte H_{sig} en de golfperiode T_p voor ieder profiel opgenomen.

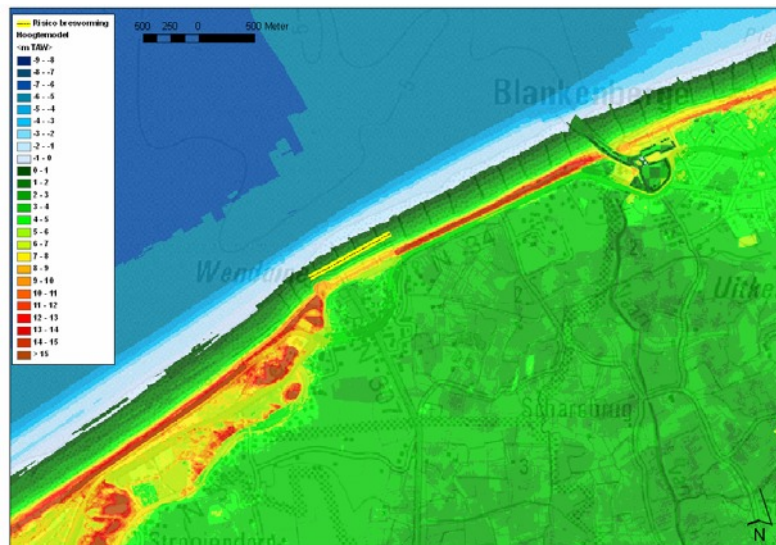


Figuur 13 - Resultaat van strand- en duinafslagberekening met DUROSTA voor een extreme storm van +8m TAW te Oostende, onder huidige klimaatsomstandigheden (links een niet-falend profiel, rechts een profiel waar het kritisch grensvolume overschreden wordt, beide in Mariakerke)

Voor alle profielen wordt het restvolume duin berekend dat nog aanwezig is boven de waterstand (op ieder ogenblik tijdens de storm). Indien dit volume kleiner is dan het grensprofielvolume Agp wordt er verondersteld dat in de natuurlijke zeekering een bres ontstaat. In het huidige scenario worden twee zwakke plekken ontdekt in onze kustverdediging: ter hoogte van Mariakerke – Oostende en ter hoogte van Wenduine (zie Figuur 15).



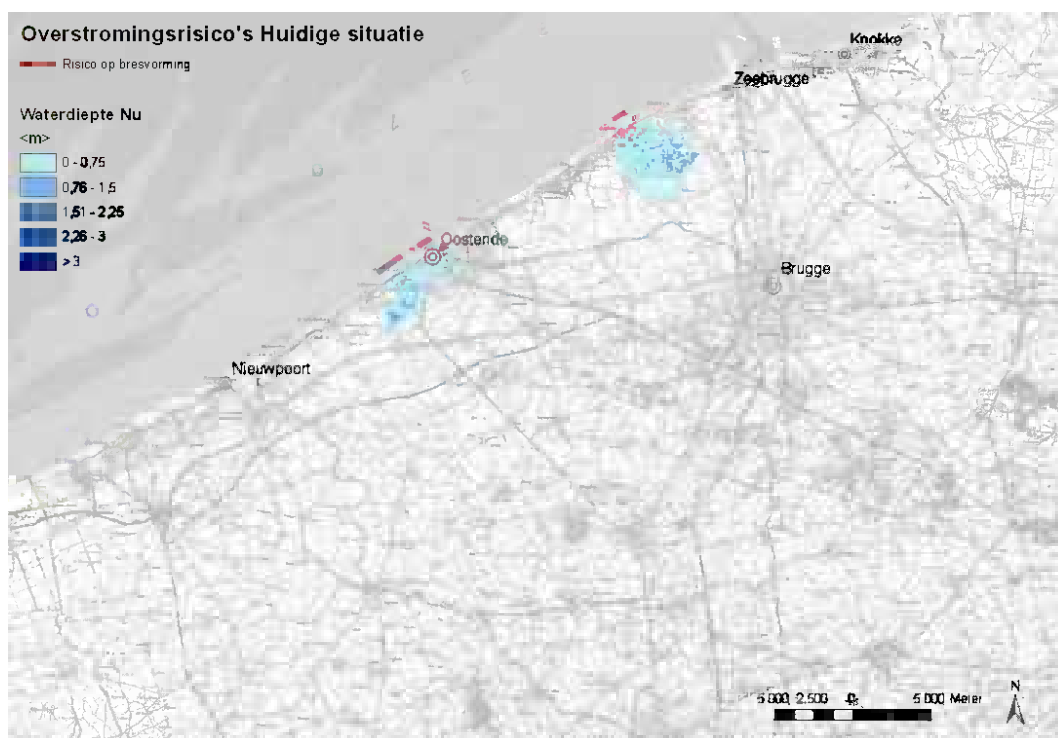
Figuur 14 - Bresvorming door afslag van de natuurlijke zeekering bij een extreme storm (+8m TAW) onder huidige klimatologische omstandigheden (DUROSTA)
Achtergrond: topografische kaart 1: 10000, Nationaal Geografisch Instituut



Figuur 15 – Bresvorming door afslag van de natuurlijke zeewering bij een extreme storm (+8m TAW) onder huidige klimatologische omstandigheden (DUROSTA)

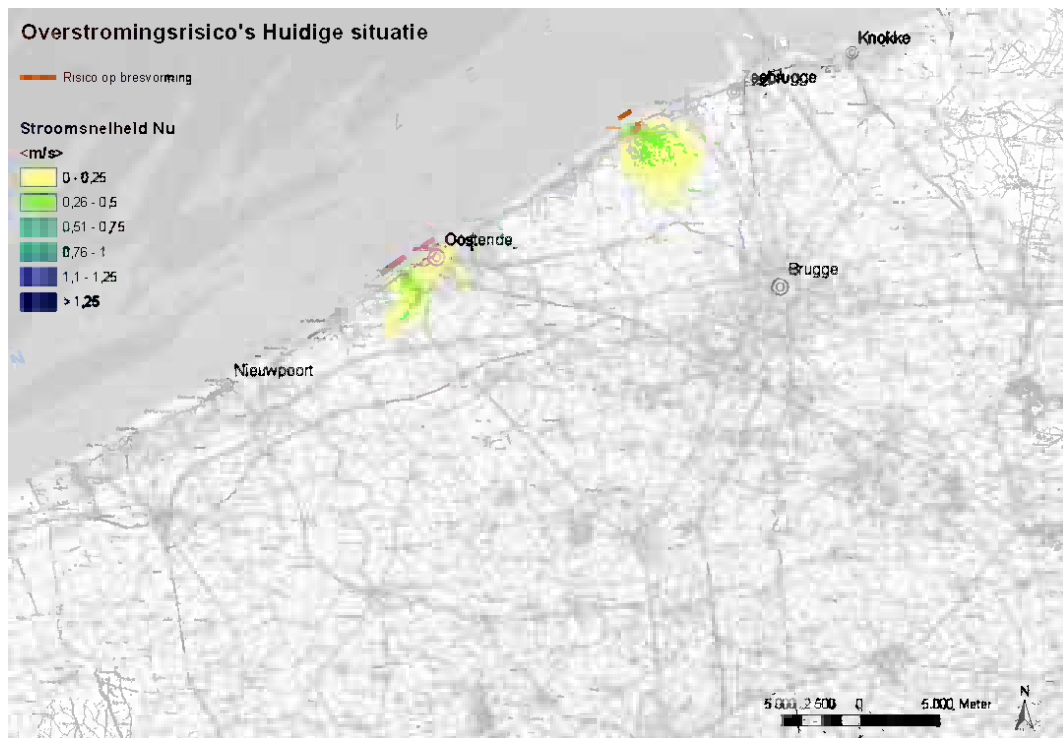
Achtergrond: topografische kaart 1: 10000, Nationaal Geografisch Instituut

De verschillende breslocaties worden vervolgens in het hydraulische overstromingsmodel ingevoerd. Het model simuleert bresgroei en overstroming van de kustvlakte ten gevolge van deze bressen. De berekeningen resulteren in een raster met voor iedere cel een waarde voor de waterdiepte, de stroomsnelheid en de stijgsnelheid van het water. De resultaten zijn geïllustreerd in de onderstaande figuren.

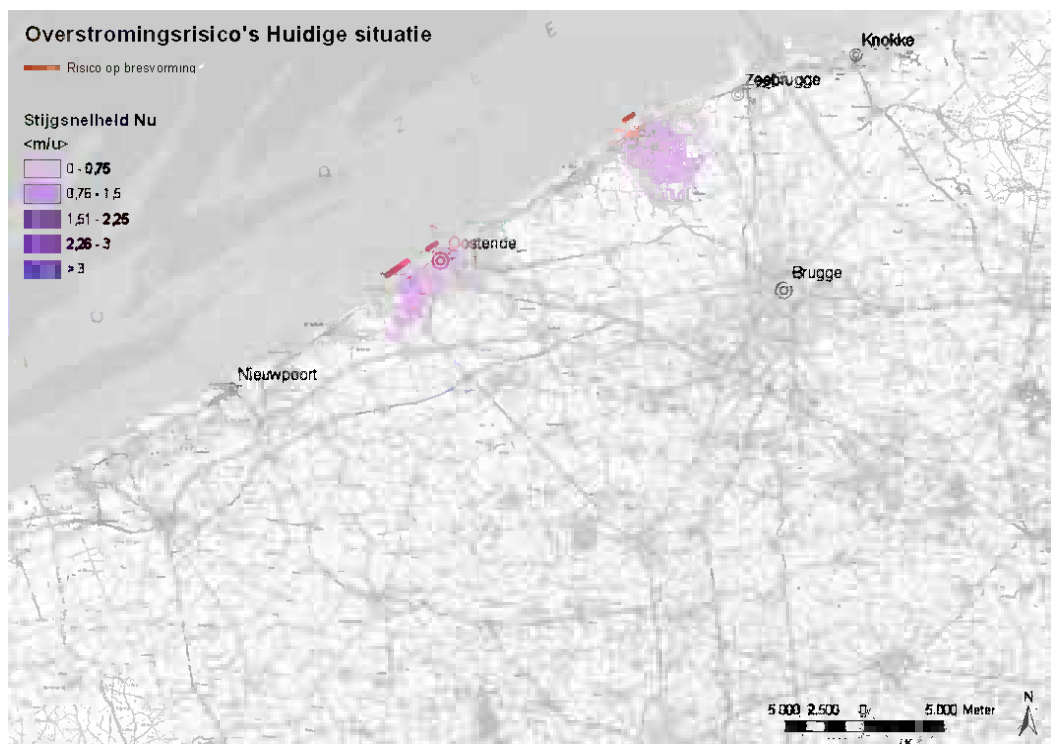


Figuur 16 – Berekening van overstromingsdiepte bij een extreme storm (+8m TAW) onder huidige klimatologische omstandigheden (MikeFlood)

Achtergrond: topografische kaart 1: 10000, Nationaal Geografisch Instituut



Figuur 17 - Berekening van stroomsnelheid overstroming bij een extreme storm (+8m TAW) onder huidige klimatologische omstandigheden (MikeFlood)
 Achtergrond: topografische kaart 1: 10000, Nationaal Geografisch Instituut



Figuur 18 - Berekening van stijgsnelheid overstromingswater bij een extreme storm (+8m TAW) onder huidige klimatologische omstandigheden (MikeFlood)
 Achtergrond: topografische kaart 1: 10000, Nationaal Geografisch Instituut

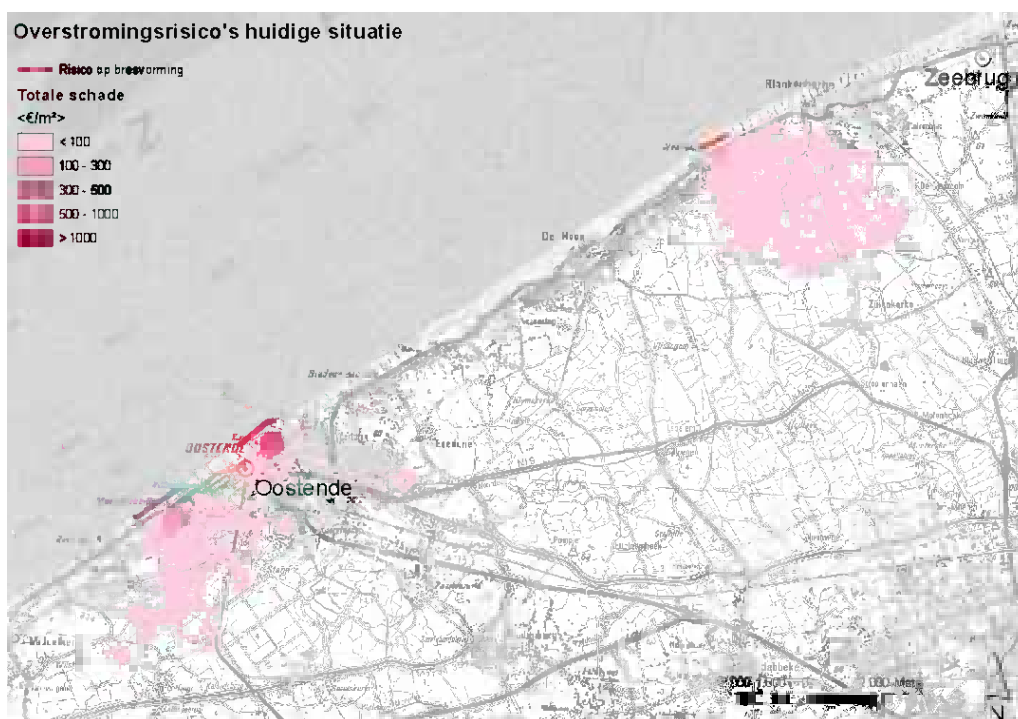
De schade- en slachtofferberekening van de extreme storm onder huidige omstandigheden van

golfcondities en waterstand is samengevat in onderstaande tabel.

Tabel 7 – Schade door bresvorming en slachtoffers zonder evacuatie voor een extreme storm onder huidige hydraulische omstandigheden met waterstand +8m TAW te Oostende (LATIS), voor de volledige kustvlakte

	Totaal
Totale schade [€]	$4,08 \cdot 10^8$
Slachtoffers [#]	~10

Onderstaande figuur stelt de totale schade per m² voor in de overstroomde delen van de Belgische kustvlakte voor het huidige scenario.



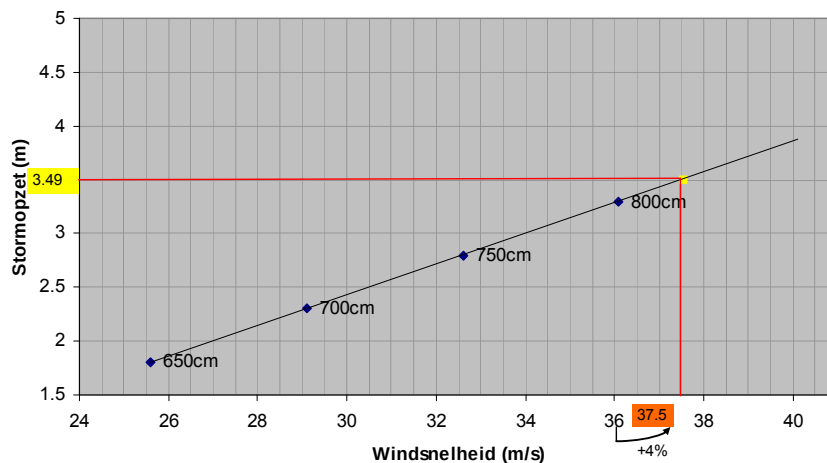
Figuur 19 – Berekening van schade in € bij een extreme storm onder huidige omstandigheden (LATIS)
Achtergrond: topografische kaart 1: 10000, Nationaal Geografisch Instituut

3.2 M + scenario

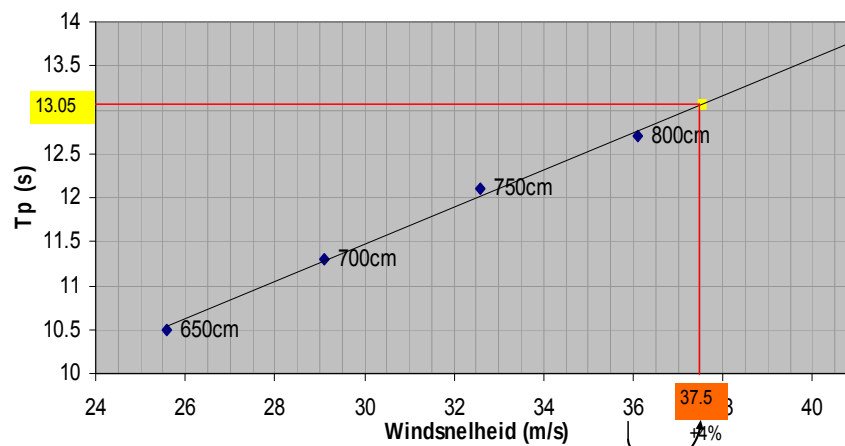
In het gematigde scenario met significante veranderingen in windcirculatie (M+) wordt er een stijging van de zeespiegel met 60cm verwacht en een toename van de windsnelheid met 4% (zie Tabel 5). De invloed van een stijgende windsnelheid op de golven en de stormopzet kan worden afgeleid uit een lineaire regressie tussen de golfbrandvoorwaarde op diep water en de windsnelheid behorende bij de reeks superstormen doorgerekend in het kader van het Geïntegreerd Kustveiligheidsplan: +650cm, +700cm, +750cm en +800cm (Verwaest et al., 2008). De volgens de lineaire regressie verwachte golfcondities op diep water in het M+ scenario worden samengevat in onderstaande tabel. Op basis van deze waarden wordt een nieuwe SWAN2D berekening uitgevoerd voor het transformeren van de golfcondities op diep water naar de -5m-lijn. De significante golfhoogte Hsig en de golfperiode Tp voor ieder profiel op de -5m-lijn zijn opgenomen in bijlage.

Tabel 8 – Voorspelling van de golfrandvoorwaarden op diep water voor het M+scenario tegen 2100. Oranje: toename windsnelheid, geel: H_s , T_p en stormopzet voorspeld op basis van correlatie met windsnelheid

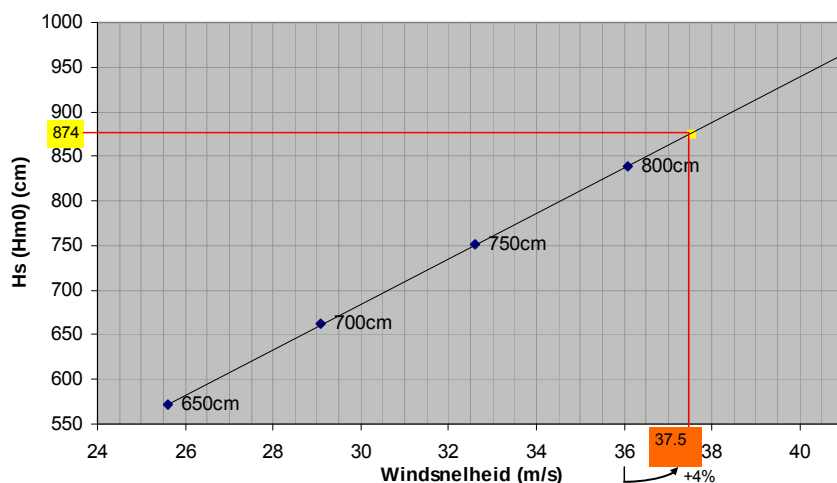
	Waterpeil Oostende [m TAW]	Windsnelheid [m/s]	H_s [cm]	T_p [s]	Stormopzet [m]
<i>Stormklimaat anno 2008</i>	650	25.6	571	10.5	1.8
	700	29.1	662	11.3	2.3
	750	32.6	751	12.1	2.8
	800	36.1	839	12.7	3.3
<i>M+ scenario 2100</i>	879	37.5	874	13.05	3.49



Figuur 20 – Voorspelling stormopzet tegen 2100 (M+) op basis van correlatie met windsnelheid



Figuur 21 – Voorspelling T_p op diep water tegen 2100 (M+) op basis van correlatie met windsnelheid



Figuur 22 – Voorspelling Hs op diep water tegen 2100 (M+) op basis van correlatie met windsnelheid

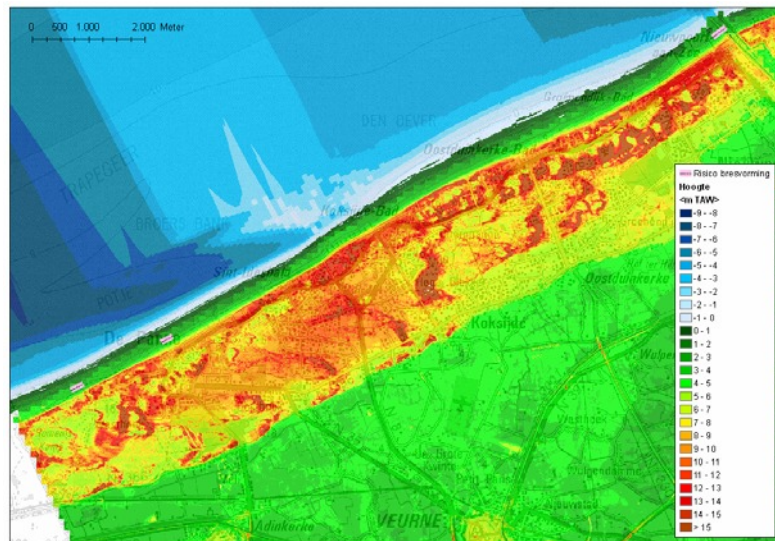
In onderstaande tabel is het verloop van de waterstand in de loop van de storm samengevat per kustdeel. Naast een stijging van de zeespiegel met 0,60m wordt er ook een toename van de stormopzet verwacht van 0,19m (zie Figuur 20). De maximale waterstand op de piek van de storm in Oostende bedraagt in het M+ scenario +879 cm TAW. Deze storm heeft statistisch gezien een terugkeerperiode van 17000 jaar.

Tabel 9 – Astronomisch tij en stormopzet voor de verschillende kustdelen bij een extreme storm in het M+ scenario tegen 2100

Tijdstip (u)	Gemiddeld springtij M+ scenario 2100				Stormopzet (m)
	DP - NP	NP - O	O - ZB	ZB-NL	
0	0.57	0.73	1.08	1.3	0.01
1	1.17	1.325	1.6	1.75	0.01
2	1.88	1.97	2.16	2.28	0.06
3	2.99	2.985	3.055	3.13	0.17
4	4.9	4.815	4.69	4.61	0.33
5	5.48	5.37	5.24	5.22	0.54
6	5.27	5.17	5	4.92	0.78
7	4.71	4.63	4.44	4.34	1.06
8	3.64	3.63	3.525	3.45	1.36
9	2.56	2.59	2.505	2.42	1.67
10	1.61	1.645	1.565	1.51	1.98
11	0.9	0.945	0.935	0.95	2.28
12	0.51	0.64	0.79	0.88	2.57
13	0.57	0.73	1.08	1.3	2.83
14	1.17	1.325	1.6	1.75	3.06

Tijdstip (u)	Gemiddeld springtij M+ scenario 2100				Stormopzet (m)
	DP - NP	NP - O	O - ZB	ZB-NL	
15	1.88	1.97	2.16	2.28	3.24
16	2.99	2.985	3.055	3.13	3.38
17	4.9	4.815	4.69	4.61	3.46
18	5.48	5.37	5.24	5.22	3.49
19	5.27	5.17	5	4.92	3.48
20	4.71	4.63	4.44	4.34	3.44
21	3.64	3.63	3.525	3.45	3.39
22	2.56	2.59	2.505	2.42	3.31
23	1.61	1.645	1.565	1.51	3.21
24	0.9	0.945	0.935	0.95	3.10
25	0.51	0.64	0.79	0.88	2.96
26	0.57	0.73	1.08	1.3	2.81
27	1.17	1.325	1.6	1.75	2.65
28	1.88	1.97	2.16	2.28	2.47
29	2.99	2.985	3.055	3.13	2.28
30	4.9	4.815	4.69	4.61	2.09
31	5.48	5.37	5.24	5.22	1.89
32	5.27	5.17	5	4.92	1.70
33	4.71	4.63	4.44	4.34	1.50
34	3.64	3.63	3.525	3.45	1.30
35	2.56	2.59	2.505	2.42	1.11
36	1.61	1.645	1.565	1.51	0.93
37	0.9	0.945	0.935	0.95	0.76
38	0.51	0.64	0.79	0.88	0.60
39	0.57	0.73	1.08	1.3	0.46
40	1.17	1.325	1.6	1.75	0.33
41	1.88	1.97	2.16	2.28	0.23
42	2.99	2.985	3.055	3.13	0.14
43	4.9	4.815	4.69	4.61	0.07
44	5.48	5.37	5.24	5.22	0.03
45	5.27	5.17	5	4.92	0.00

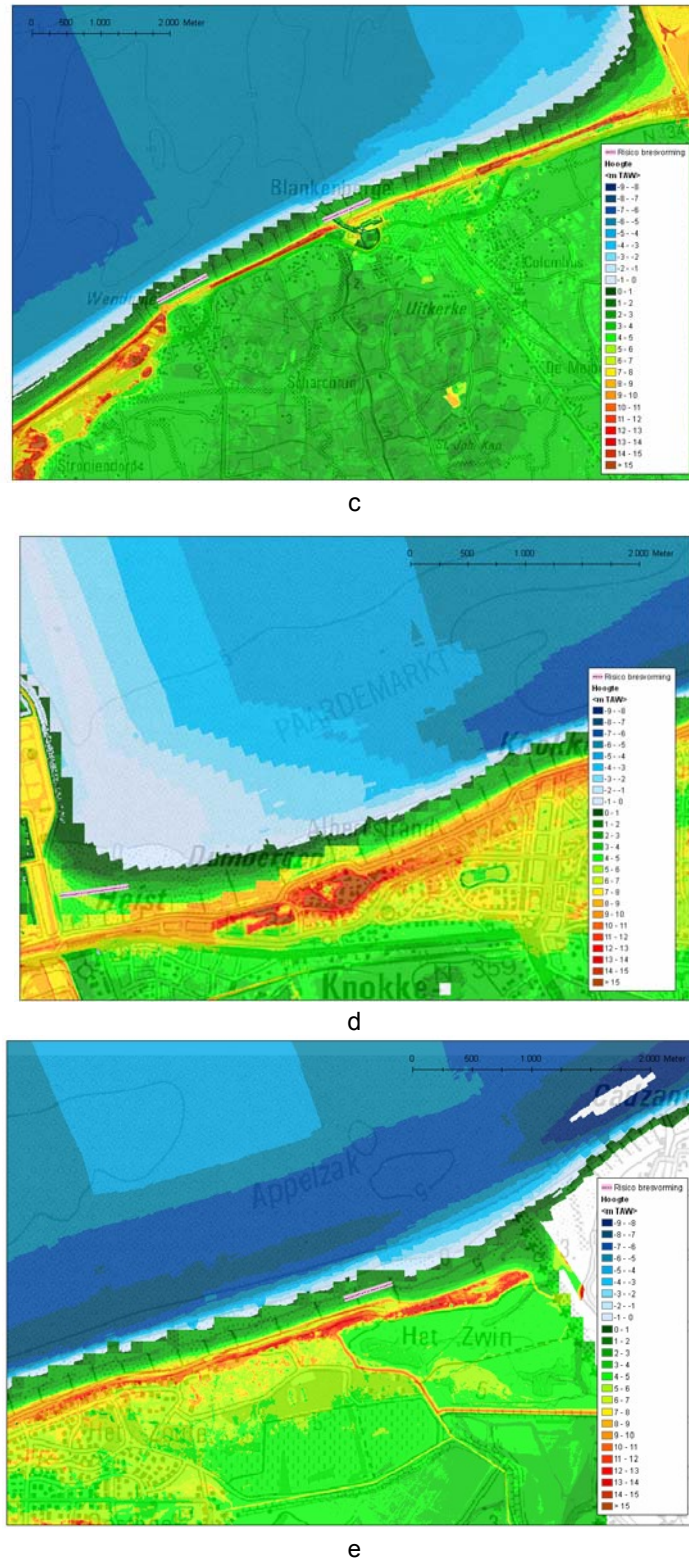
Op basis van de strand- en duinafslagberekening worden er in het M+ scenario meerdere bressen in de kustverdediging verwacht. De zwakste zones bevinden zich voornamelijk ter hoogte van badplaatsen, sommige bressen vormen zich eveneens ter hoogte van duindoorgangen.



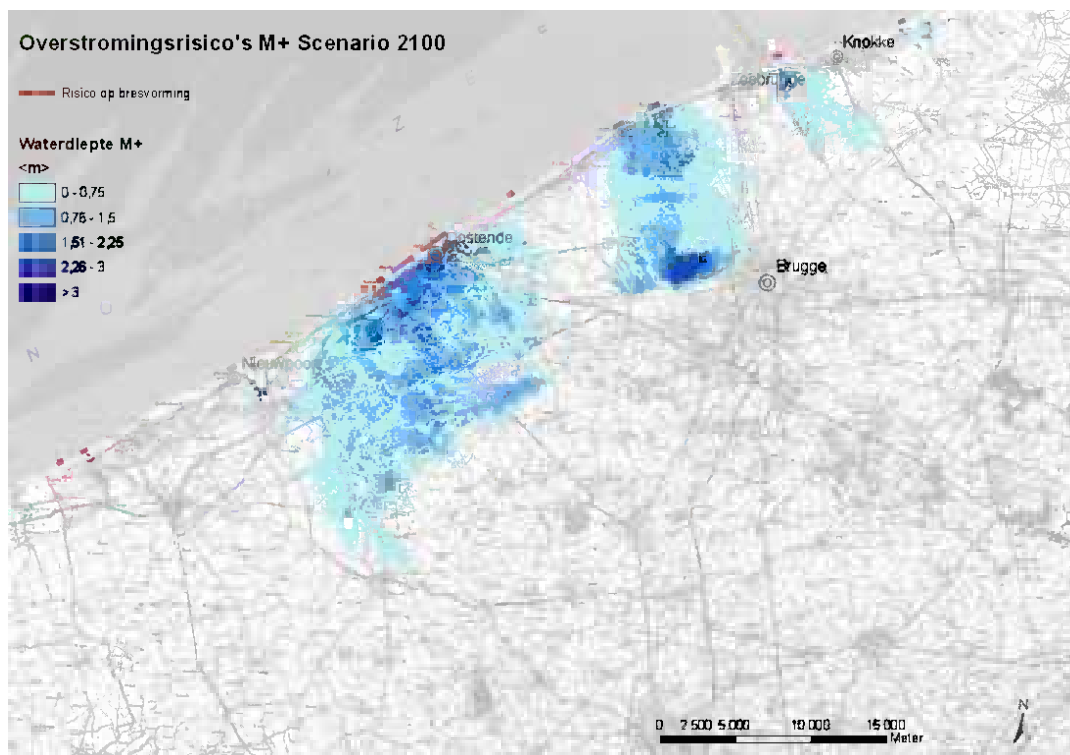
a



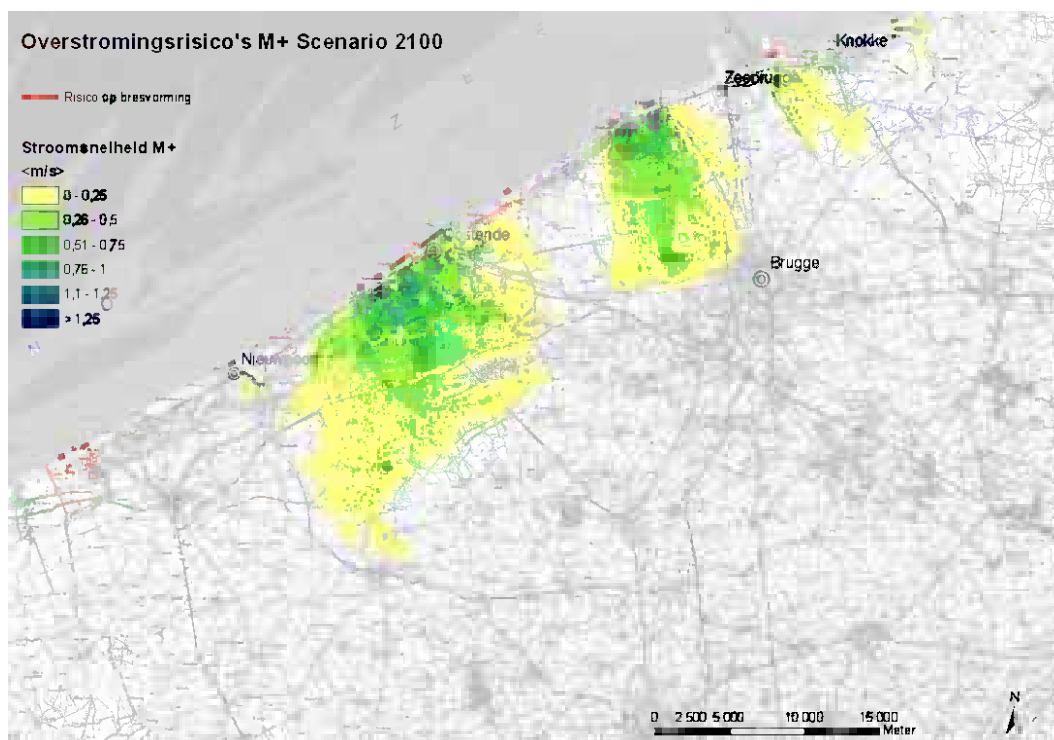
b



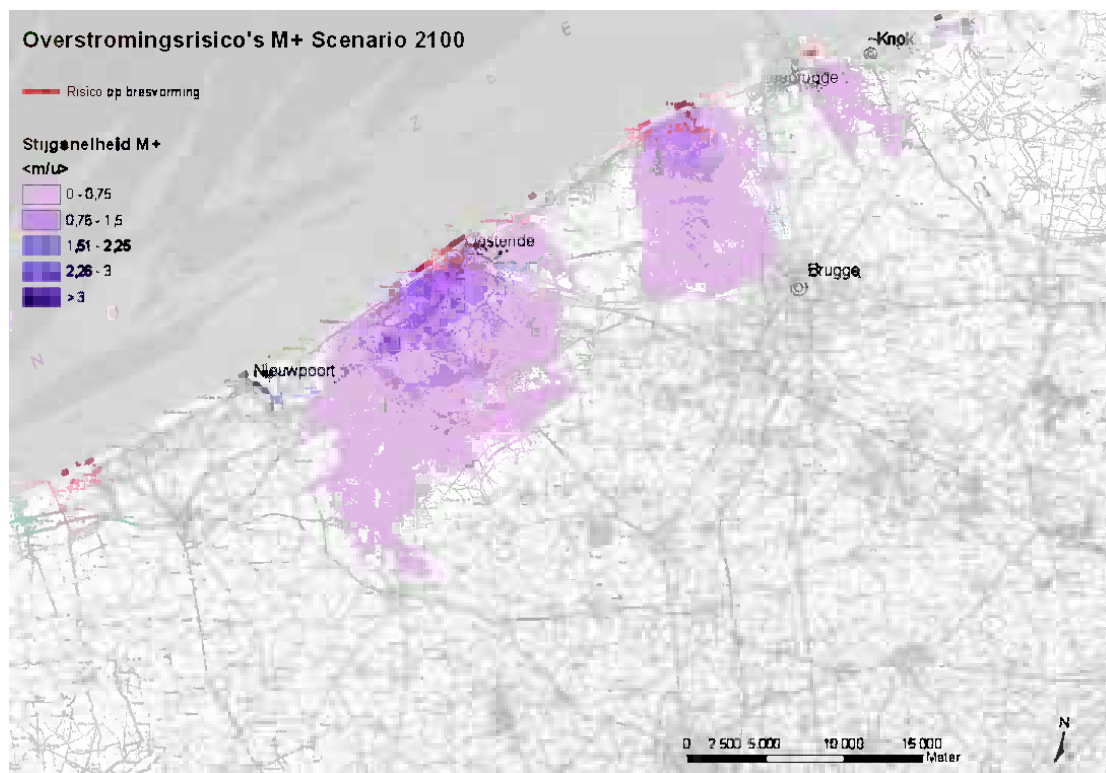
Figuur 23 - Bresvorming door afslag van de natuurlijke zeewering bij een extreme storm onder het gematigde M+ klimaatscenario (gebaseerd op DUROSTA-berekeningen). Zone a: Frankrijk - Nieuwpoort, zone b: Mariakerke – Oostende, zone c: Wenduine – Blankenberge, zone d: Heist, zone e: Zwin
Achtergrond: topografische kaart 1: 10000, Nationaal Geografisch Instituut



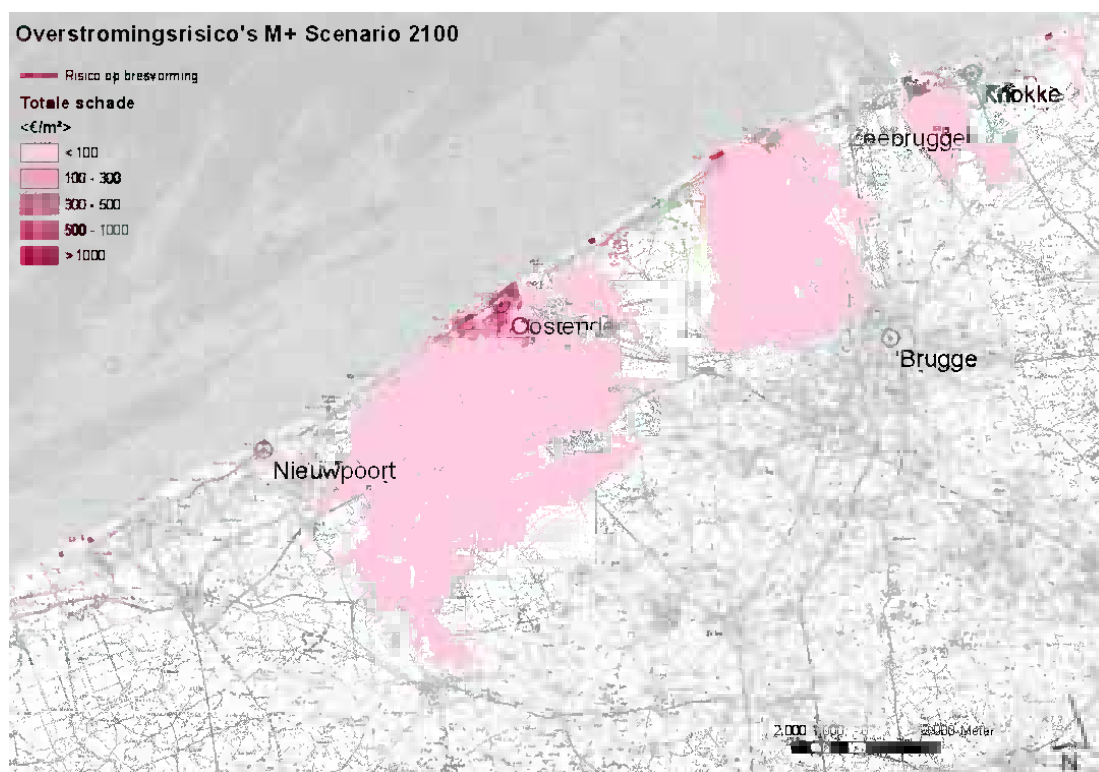
Figuur 24 – Waterdiepte bij overstroming tijdens een extreme storm in het M+ klimaatscenario
Achtergrond: topografische kaart 1: 10000, Nationaal Geografisch Instituut



Figuur 25 – Stroomsnelheid bij overstroming tijdens een extreme storm in het M+ klimaatscenario
Achtergrond: topografische kaart 1: 10000, Nationaal Geografisch Instituut



Figuur 26 – Stijgsnelheid bij overstroming tijdens een extreme storm in het M+ klimaatscenario
Achtergrond: topografische kaart 1: 10000, Nationaal Geografisch Instituut



Figuur 27 - Berekening van de totale schade in €/m² bij een extreme storm onder huidige omstandigheden
Achtergrond: topografische kaart 1: 10000, Nationaal Geografisch Instituut

De totale schade in € en het aantal slachtoffers dat volgens de berekeningen verwacht wordt in het M+ scenario voor 2100 is samengevat in onderstaande tabel.

Tabel 10 – Schade door bresvorming en slachtoffers zonder evacuatie voor een extreme storm in het M+ scenario 2100, voor de volledige kustvlakte

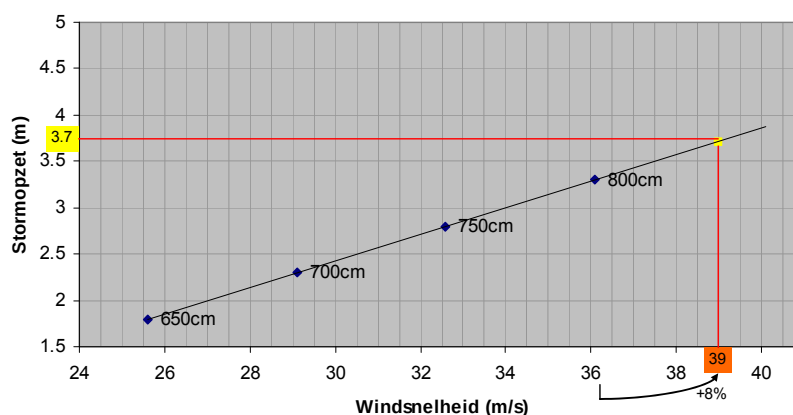
	Totaal
Totale schade [€]	$3,35 \cdot 10^9$
Slachtoffers [#]	~260

3.3 Worst case scenario

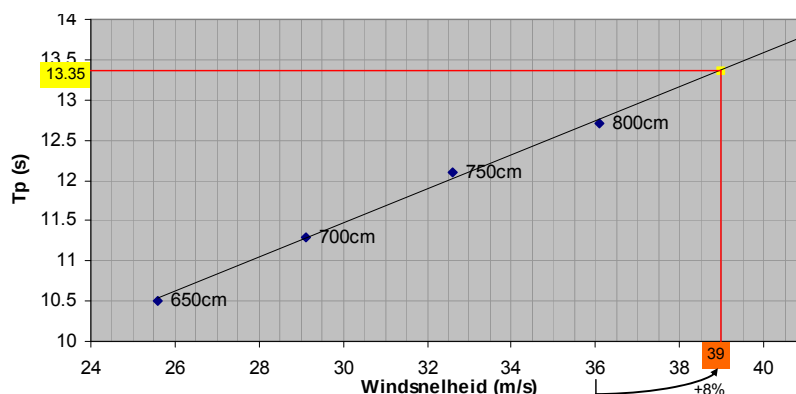
Volgens Ponsar et al. (2007) kan tegen het jaar 2100 een maximale zeespiegelstijging van 2m verwacht worden (worst case scenario). Naast een stijging van de zeespiegel wordt tegen 2100 ook een toename van de maximale gemiddelde windsnelheid ("maximum average daily wind speed per year") met 8% opgegeven in het worst case scenario (Ponsar et al., 2007). De invloed van een stijgende windsnelheid op de golven en de stormopzet kan worden afgeleid uit een lineaire regressie tussen de golfbrandvoorwaarde op diep water en de windsnelheid behorende bij de reeks superstormen doorgerekend in het kader van het Geïntegreerd Kustveiligheidsplan: +650cm, +700cm, +750cm en +800cm (Verwaest et al., 2008). In onderstaande tabel worden de golfcondities op diep water in het worst case scenario samengevat. Op basis van deze waarden werd een nieuwe SWAN2D berekening doorgevoerd voor het transformeren van de golfcondities op diep water naar de -5m-lijn. De significante golfhoogte H_s en de golfperiode T_p voor ieder profiel zijn opgenomen in bijlage.

Tabel 11 - Voorspelling van de golfbrandvoorwaarden op diep water voor WCS tegen 2100. Oranje: toename windsnelheid met 8%, geel: H_s , T_p en stormopzet voorspeld op basis van correlatie met windsnelheid.

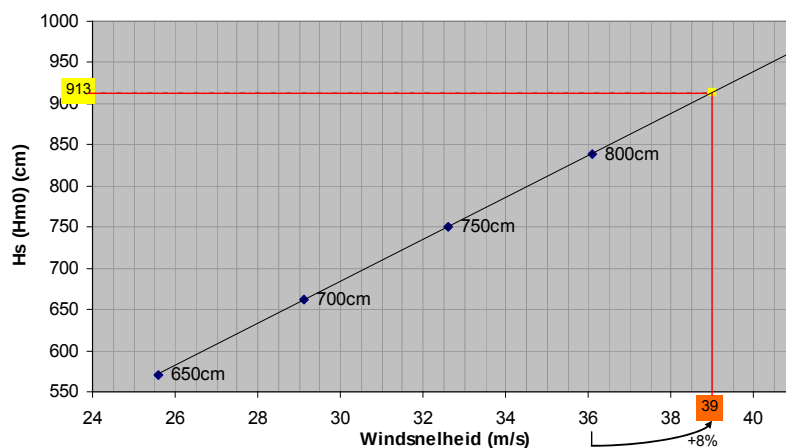
	Waterpeil (cm TAW)	Windsnelheid (m/s)	H_s (cm)	T_p (s)	Stormopzet (m)
<i>Stormklimaat anno 2008</i>	650	25.6	571	10.5	1.8
	700	29.1	662	11.3	2.3
	750	32.6	751	12.1	2.8
	800	36.1	839	12.7	3.3
<i>WCS 2100</i>	~1040	39.0	913	13.3	3.7



Figuur 28 – Voorspelling stormopzet tegen 2100 (WCS) op basis van correlatie met de windsnelheid



Figuur 29 – Voorspelling Tp op diep water tegen 2100 (WCS) op basis van correlatie met windsnelheid



Figuur 30 – Voorspelling Hs op diep water tegen 2100 (WCS) op basis van correlatie met windsnelheid

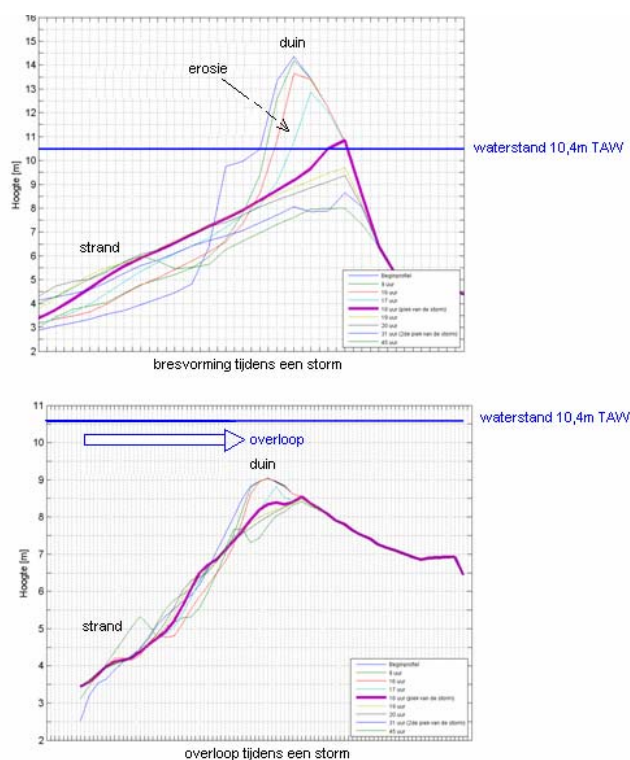
In onderstaande tabel is het verloop van de waterstand in de loop van de storm samengevat per kustdeel. Naast een stijging van de zeespiegel met 200cm wordt er ook een toename van de stormopzet verwacht van 40cm. De maximale waterstand op de piek van de storm in Oostende bedraagt in het worst case scenario +1040 cm TAW. Deze storm heeft statistisch gezien een terugkeerperiode van 17000 jaar.

Tabel 12 - Astronomisch tij en stormopzet voor de verschillende kustdelen voor het worst case klimaat scenario tegen 2100

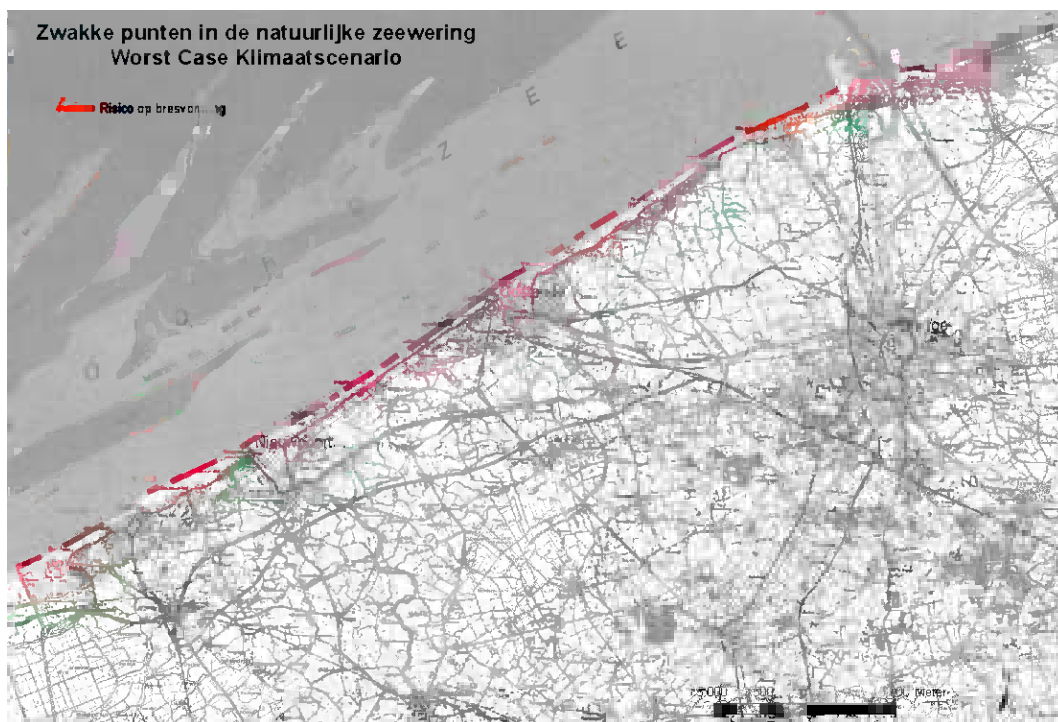
Tijdstip (u)	Gemiddeld springtij +2 m zeespiegelstijging (m)				Stormopzet (m)
	DP - NP	NP - O	O - ZB	ZB-NL	
0	1.97	2.13	2.48	2.70	0.01
1	2.57	2.73	3.00	3.15	0.01
2	3.28	3.37	3.56	3.68	0.07
3	4.39	4.39	4.46	4.53	0.18
4	6.3	6.22	6.09	6.01	0.35
5	6.88	6.77	6.64	6.62	0.57
6	6.67	6.57	6.40	6.32	0.83
7	6.11	6.03	5.84	5.74	1.12
8	5.04	5.03	4.93	4.85	1.44
9	3.96	3.99	3.91	3.82	1.77
10	3.01	3.05	2.97	2.91	2.10
11	2.3	2.35	2.34	2.35	2.42
12	1.91	2.04	2.19	2.28	2.73
13	1.97	2.13	2.48	2.70	3.00
14	2.57	2.73	3.00	3.15	3.24
15	3.28	3.37	3.56	3.68	3.44
16	4.39	4.39	4.46	4.53	3.58
17	6.3	6.22	6.09	6.01	3.67
18	6.88	6.77	6.64	6.62	3.70
19	6.67	6.57	6.40	6.32	3.69
20	6.11	6.03	5.84	5.74	3.65
21	5.04	5.03	4.93	4.85	3.59
22	3.96	3.99	3.91	3.82	3.51
23	3.01	3.05	2.97	2.91	3.41
24	2.3	2.35	2.34	2.35	3.28
25	1.91	2.04	2.19	2.28	3.14
26	1.97	2.13	2.48	2.70	2.98
27	2.57	2.73	3.00	3.15	2.81
28	3.28	3.37	3.56	3.68	2.62
29	4.39	4.39	4.46	4.53	2.42
30	6.3	6.22	6.09	6.01	2.22
31	6.88	6.77	6.64	6.62	2.01
32	6.67	6.57	6.40	6.32	1.80
33	6.11	6.03	5.84	5.74	1.59
34	5.04	5.03	4.93	4.85	1.38
35	3.96	3.99	3.91	3.82	1.18

Tijdstip (u)	Gemiddeld springtij +2 m zeespiegelstijging (m)				Stormopzet (m)
	DP - NP	NP - O	O - ZB	ZB-NL	
36	3.01	3.05	2.97	2.91	0.99
37	2.3	2.35	2.34	2.35	0.81
38	1.91	2.04	2.19	2.28	0.64
39	1.97	2.13	2.48	2.70	0.49
40	2.57	2.73	3.00	3.15	0.35
41	3.28	3.37	3.56	3.68	0.24
42	4.39	4.39	4.46	4.53	0.15
43	6.3	6.22	6.09	6.01	0.07
44	6.88	6.77	6.64	6.62	0.03
45	6.67	6.57	6.40	6.32	0.00

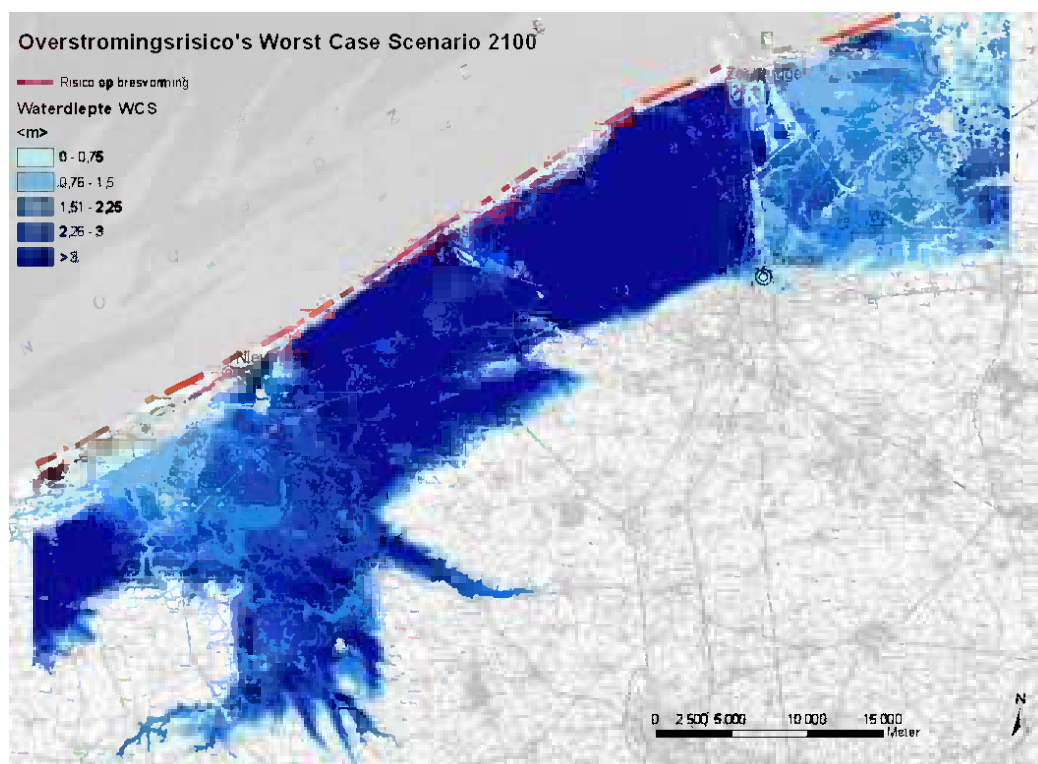
Analoog aan de huidige situatie worden voor het worst case klimaatscenario tegen 2100 de gevolgen van een extreme storm met een retourperiode van 17000 jaar berekend. In het WCS wordt op talrijke plaatsen langs de kust een faling van de natuurlijke zeewering verwacht, niet alleen ter hoogte van badplaatsen maar eveneens in duinen die niet breed of hoog genoeg zijn. De overstromingen worden niet alleen veroorzaakt door bresvorming maar op vele plaatsen treedt er ook overloop op (zie Figuur 31). Het water stroomt de kustvlakte binnen doordat de zeewering onvoldoende hoog is (dus lager dan ongeveer +1040 cm TAW).



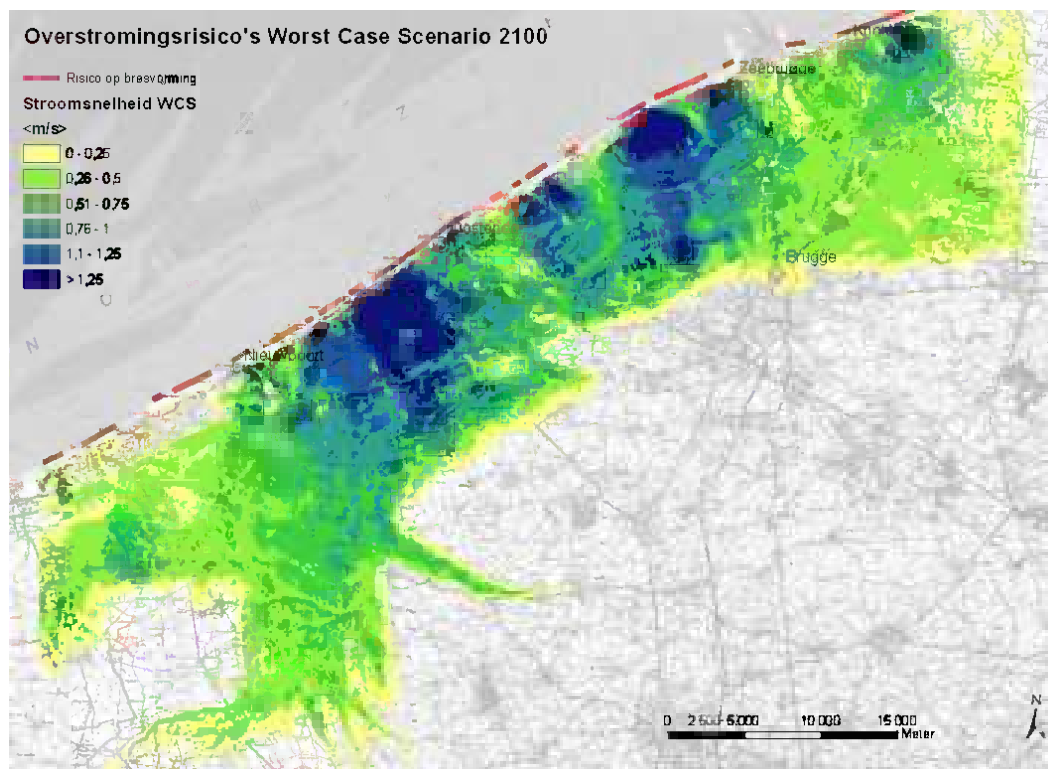
Figuur 31 – Overstroming door bresvorming en door overloop (DUROSTA)



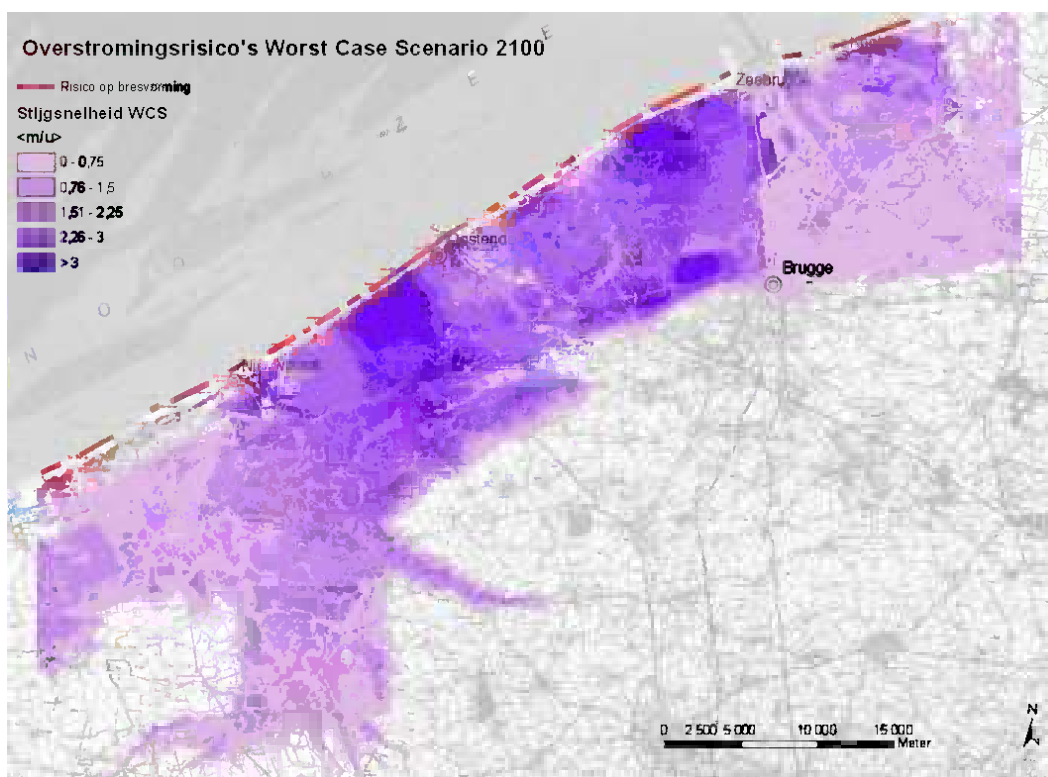
Figuur 32 – Bresvorming door afslag van de natuurlijke zeewering bij een extreme storm voor het WCS tegen 2100 (resultaat van DUROSTA-berekeningen)
Achtergrond: topografische kaart 1: 10000, Nationaal Geografisch Instituut



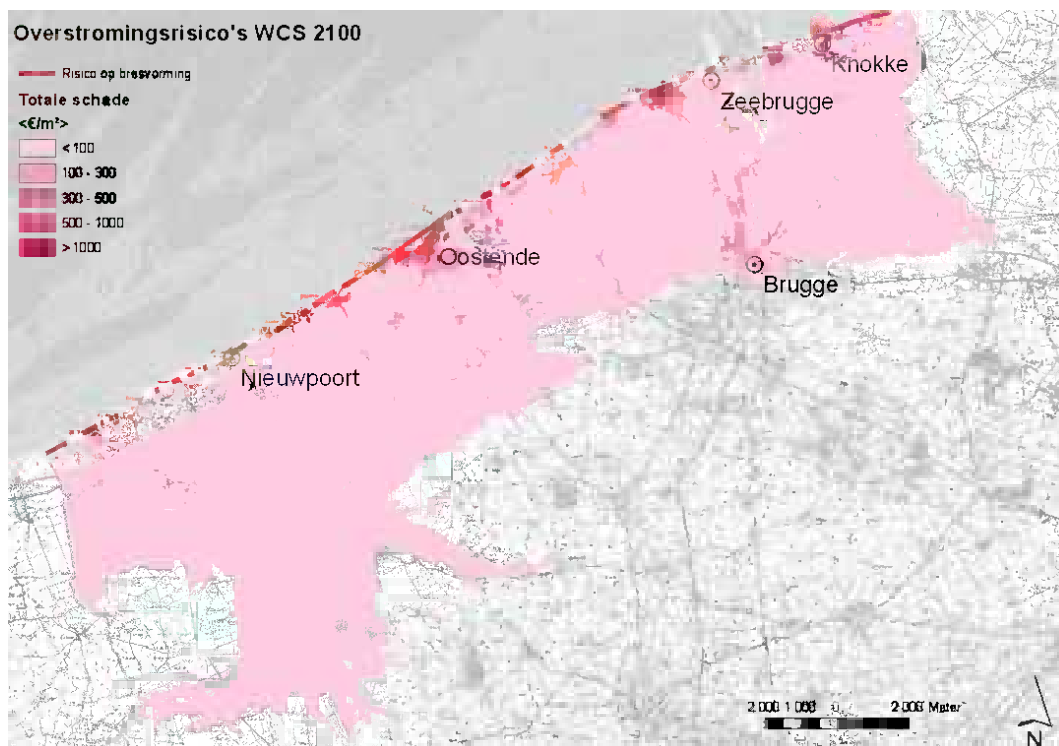
Figuur 33 – Waterdiepte in het overstromingsgebied bij het optreden van een extreme storm in het worst case klimaatscenario tegen 2100
Achtergrond: topografische kaart 1: 10000, Nationaal Geografisch Instituut



Figuur 34 – Stroomsnelheid in het overstromingsgebied bij het optreden van een extreme storm in het worst case klimaatscenario tegen 2100
Achtergrond: topografische kaart 1: 10000, Nationaal Geografisch Instituut



Figuur 35 – Stijgsnelheid in het overstromingsgebied bij het optreden van een extreme storm in het worst case klimaatscenario tegen 2100
Achtergrond: topografische kaart 1: 10000, Nationaal Geografisch Instituut



Figuur 36 – Totale schade in €/m² bij het optreden van een extreme storm in het worst case klimaatscenario tegen 2100

Achtergrond: topografische kaart 1: 10000, Nationaal Geografisch Instituut

De totale schade in € en het aantal slachtoffers dat volgens de berekeningen verwacht wordt in het worst case scenario voor 2100 is samengevat in onderstaande tabel.

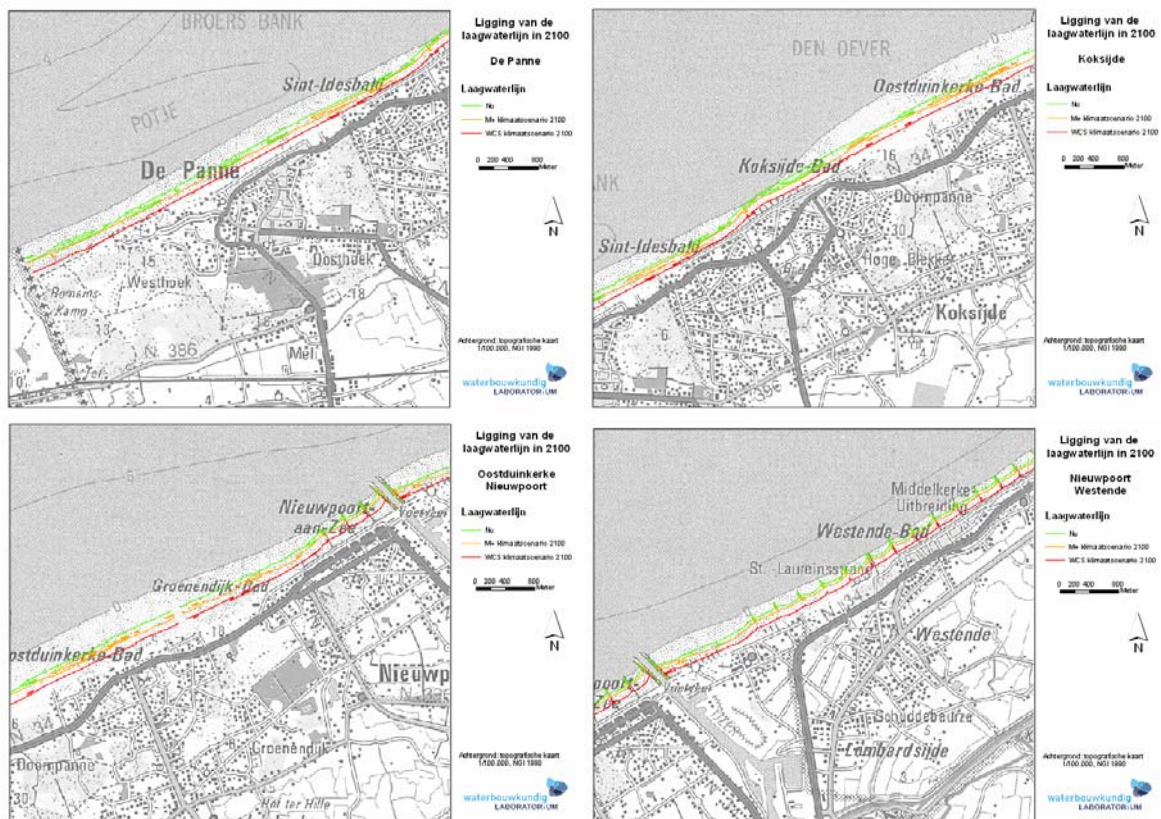
Tabel 13 – Schade door bresvorming en slachtoffers zonder evacuatie voor een extreme storm in het WCS 2100, voor de volledige kustvlakte

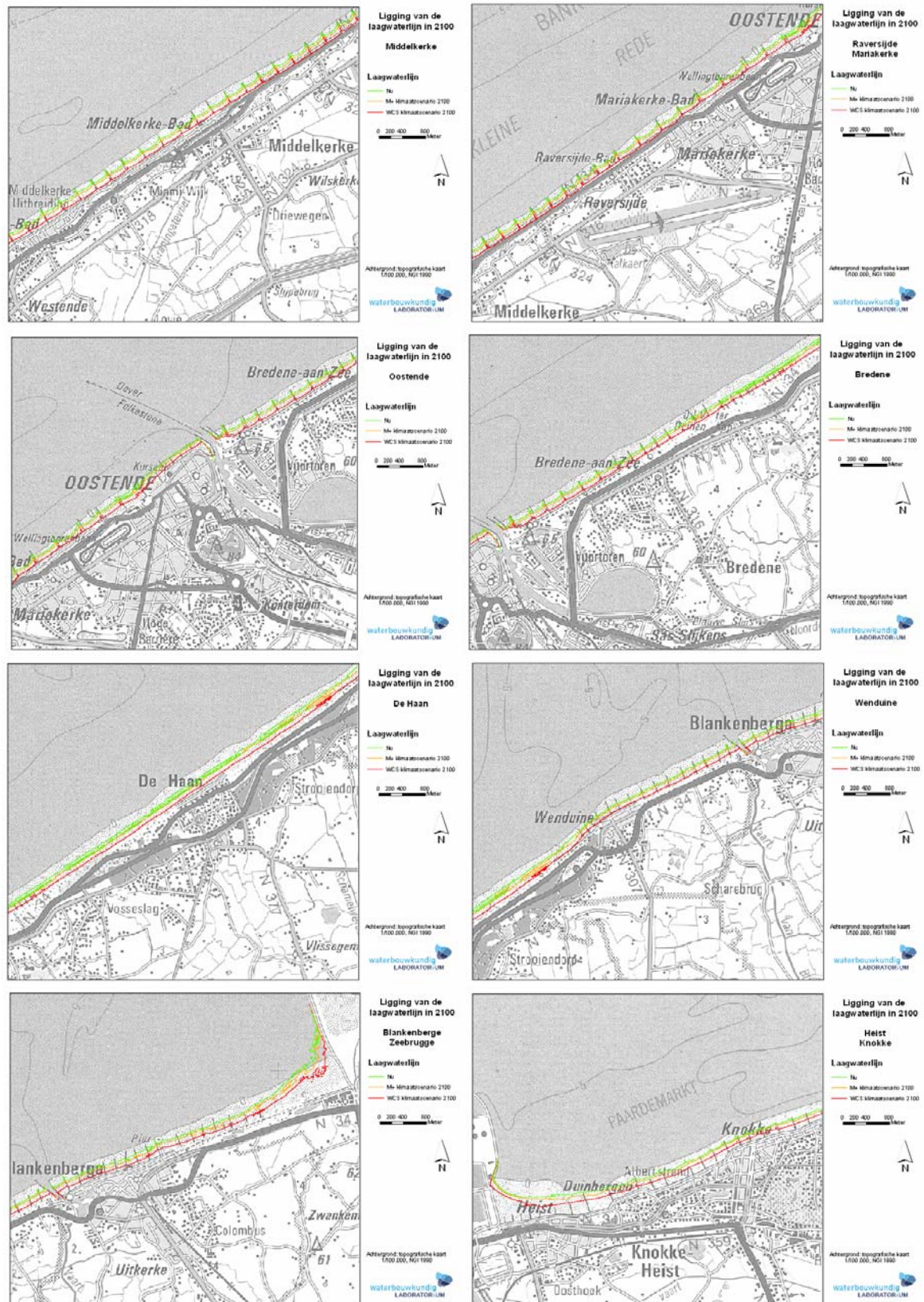
	Totaal
Totale schade [€]	$1,7 \cdot 10^{10}$
Slachtoffers [#]	~6700

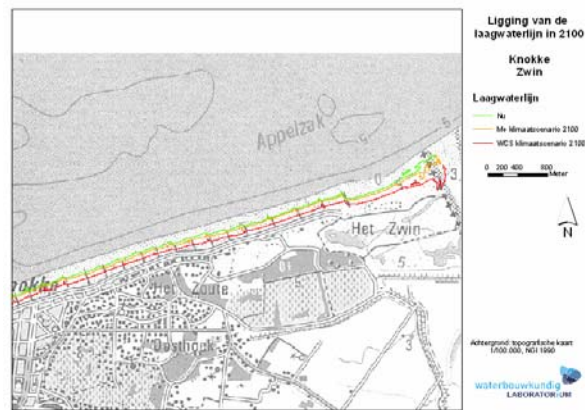
4 Kusterosie

Eén van de belangrijkste secundaire gevolgen van de klimaatwijziging op ecologisch niveau is de toenemende erosie van strand en duinaanzet. Door een stijging van de zeespiegel en een hogere stormfrequentie en –intensiteit zal een deel van het strand weggeërodeerd worden, waardoor ook het risico op overstromingen vergroot. Daarnaast leidt een vermindering van de beschikbare strandoppervlakte ook tot secundaire gevolgen op andere sectoren, zoals het toerisme.

Een inschatting van het verlies aan strandoppervlakte in de verschillende klimaatscenario's kan worden gemaakt op basis van de ligging van de laagwaterlijn. Deze wordt gedefinieerd als de +1,39m TAW-lijn (Kustlijnkaarten Afdeling Kust MDK, 2009). De totale strandoppervlakte is dan de oppervlakte in m² tussen de laagwaterlijn en de duinaanzet (de kruin van de eerste zeereep) of de voet van de dijksglooiing. De ligging van de laagwaterlijn in de verschillende klimaatscenario's wordt bepaald door bij het huidige niveau van +1,39m TAW de verwachte zeespiegelstijging bij te tellen. In het M+ scenario zal de laagwaterlijn ongeveer op een niveau van +1,99m TAW liggen; in het worst case klimaatscenario ligt de laagwaterlijn op +3,39m TAW (zie onderstaande figuren).







Figuur 37 – Ligging van de laagwaterlijn in de verschillende klimaatscenario's, per gemeente

Het verlies aan strandoppervlakte wordt uitgedrukt in % per gemeente (Tabel 14). In het M+ scenario tegen 2100 zal er ongeveer 17% minder strandoppervlakte zijn langs de Belgische kust. In het worst case scenario wordt verwacht dat ongeveer de helft van het strand onder de zeespiegel terecht komt.

Tabel 14 – Verlies aan strandoppervlakte ten gevolge van zeespiegelstijging in 2100

Scenario	Nu (2006)	M+ (2100)	WCS (2100)	M+ (2100)	WCS (2100)
Gemeente	Strandoppervlakte (km ²)			% verlies strand	
De Panne	1.53	1.25	0.75	19	51
Koksijde	2.70	2.20	1.39	18	49
Nieuwpoort	1.06	0.89	0.53	17	50
Middelkerke	1.64	1.38	0.73	16	55
Oostende	1.55	1.25	0.62	19	60
Bredene	0.84	0.70	0.00	17	47
De Haan	2.64	2.15	1.37	19	48
Blankenberge	0.82	0.68	0.43	17	47
Zeebrugge	1.02	0.89	0.66	13	35
Knokke-Heist	2.69	2.37	1.62	12	40

5 Conclusies

De belangrijkste secundaire gevolgen van zeespiegelstijging en verhoogde storminess zijn een toename van de erosie van strand en duinaanzet, een verhoogd risico op overstromingen, en een toename van de monetair schade en het aantal overstromingsslachtoffers. De omvang van de gevolgen van een overstroming tijdens een extreme storm in de verschillende klimaatscenario's wordt gekwantificeerd door middel van een reeks numerieke modellen.

Een eerste model berekent de afslag van strand en duin bij een extreme storm. Op basis hiervan wordt bepaald of er al dan niet een bres ontstaat in de natuurlijke zeewering. Indien een bres ontstaat, zal een deel van de kustvlakte onder water komen te staan. De waterdiepte, stijgsnelheid en stroomsnelheid van de overstroming bepalen hoeveel schade er verwacht kan worden aan infrastructuur en aan landgebruik, en het aantal slachtoffers door verdrinking.

Bij een extreme storm onder huidige klimaatomstandigheden ontstaan er enkel bressen op plaatsen waar de oorspronkelijke natuurlijke zeewering bebouwd is. De zeewering is er lager dan op plaatsen waar de duinen bewaard zijn. De overstroming en dus de schade en het aantal slachtoffers blijven beperkt. In het M+ scenario met een zeespiegelstijging van 60cm ontstaan meerdere bressen, niet alleen ter hoogte van steden maar ook ter hoogte van duindoorgangen. De overstroming strekt zich verder uit in de kustvlakte. De grootste schade wordt wel verwacht nabij de zeewering waar de stroomsnelheid en waterdiepte grootst zijn. In het worst case klimaatscenario stijgt de zeespiegel en overstroomt bijna de volledige kustvlakte. De overstroming is niet alleen het gevolg van bresvorming maar wordt ook veroorzaakt door overloop op plaatsen waar de zeewering lager is dan het stormvloedpeil. Het slachtofferaantal loopt op tot enkele duizenden.

Het verlies aan strandoppervlakte in het M+ scenario wordt geschat op 17%, in het worst case scenario wordt verwacht dat de oppervlakte van het strand halveert.

6 Referentielijst

- Afdeling Kust MDK, 2009. Kustlijnkaarten – Evolutie van het strandvolume en verschuiving van de hoog- en laagwaterlijn tot 2007. Vlaamse Overheid, Agentschap voor Maritieme Dienstverlening en Kust – Afdeling Kust.
- Delft Hydraulics Software, 1995. DUROSTA, Tijdsafhankelijk Dwarstransportmodel voor extreme hydraulische condities
- DHI Software, 2007. MIKE11, MIKE21, MIKEFLOOD.
- International Marine and Dredging Consultants; Waterbouwkundig Laboratorium en Hydrologisch Onderzoek; KULeuven ([S.a.]). Hydraulisch randvoorwaardenboek Vlaamse kust, 2004. Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Departement Leefmilieu en Infrastructuur, Administratie Waterwegen en zeewezen, Afdeling Waterwegen Kust: Oostende, Belgium. 49 pp
- Jonkman, B., Cappendijk, P., 2006. Veiligheid Nederland in Kaart – Inschatting van het aantal slachtoffers ten gevolge van een overstroming, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat DWW
- Kellens W. & Vanneuville W., 2007. Effect van bresgevoeligheid op het overstromingsrisico en verdere verbetering van de risicomethodologie, realisatie van berekeningsmethode geotechnisch falen rivierdijken. WL Rapporten, 779/05. Waterbouwkundig Laboratorium: Borgerhout, België & Universiteit Gent, België. 44 p.
- Ponsar S., Ozer J. & Van den Eynde D., 2007. Impacts of climate change on the physical and chemical parameters of the North Sea (literature study). Report prepared in the framework of the CLIMAR project, Management Unit of the North Sea Mathematical Models, Brussels, 70pp.
- Trouw K., van de Walle B., Suykens K., Wauters P., Keppers Ch. & Martens Ch., 2005. Rapport Toetsing Veiligheid Vlaamse Kust, Deel IV, COMRISK case study Vlaanderen/Zeeuws-Vlaanderen Vrisou Van Eck N., Kok M. & Vrouwenvelder A.C.W.M., 1999. Standaardmethode Schade & Slachtoffers als gevolg van overstromingen – deel 1: Standaardmethode, HKV-Lijn in Water en TNO Bouw in opdracht van RWS-DWW, december 1999
- TUDelft Software, 2007. SWAN2D, Simulating Waves Nearshore.
- Van der Biest, K.; 2007. De natuurlijke zeewering langs de Belgische kust op kwalitatieve wijze. Technische nota in het kader van BELSPO onderzoeksproject CLIMAR
- Van der Biest, K.; Verwaest T.; Vanneuville, W.; Reyns, J.; Mostaert, F., 2008. CLIMAR Section report 1 – Evaluation of climate change impacts and adaptation responses for marine activities. Subdocument coastal flooding. WL Rapporten, 814_01. Flanders Hydraulics Research: Antwerp, Belgium
- Vanneuville W., Maeghe K., De Maeyer Ph., Mostaert F. & Bogaert P., 2002. Risicobenadering bij waterbeheersingsplannen, Methodologie en case-study Denderbekken. Universiteit Gent in opdracht van het Ministerie van de Vlaamse Overheid LIN-AWZ Afdeling Waterbouwkundig Laboratorium en hydrologisch onderzoek
- Vanneuville, W., Maeghe, K., De Maeyer, Ph., Mostaert, F., 2003. Risicobenadering bij waterbeheersingsplannen, aanvulling 1: slachtoffers. Methodologie en case study Denderbekken. Eindrapport van de inschrijving op offerte 16EB/01/15

- Vanneuville W., Maddens R., Collard Ch., Bogaert P., De Maeyer Ph. & Antrop M., 2006. Impact op mens en economie t.g.v. overstromingen bekeken in het licht van wijzigende hydraulische condities, omgevingsfactoren en klimatologische omstandigheden, studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij, MIRA, MIRA/2006/02, UGent
- Verwaest T. & Verstraeten J., 2005. Measurements of relative sea level rise at Oostende (Belgium). WL & Afdeling Kust
- Verwaest, T.; Van Poucke, Ph.; 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 & Soresma-Haecon: Borgerhout, België
- Vrisou Van Eck, N., Kok, M., Vrouwenvelder, A.C.W.M., 1999. Standaardmethode Schade & Slachtoffers als gevolg van overstromingen – deel 1: Standaardmethode, HKV-Lijn in Water en TNO Bouw in opdracht van RWS-DWW, december 1999
- Vrisou Van Eck, N., Kok, M., Vrouwenvelder, A.C.W.M., 1999b. Standaardmethode Schade & Slachtoffers als gevolg van overstromingen – deel 2: Achtergronden, HKV-Lijn in Water en TNO Bouw in opdracht van RWS-DWW, december 1999
- Willems P., 2007. Extreme waarden analyse hoogwaterstanden te Oostende, KUL Afdeling Hydraulica

Bijlage 1: Golfrandvoorwaarden ter hoogte van de -5m TAW lijn voor de verschillende scenario's

Profielnr.	Huidig klimaat			M+ scenario 2100			WCS 2100		
	Hsig	Tp	Agp	Hsig	Tp	Agp	Hsig	Tp	Agp
2.1	4.84	8.17	13.47	5.16	8.30	14.46	5.66	8.92	17.37
2.2	4.84	8.14	13.39	5.15	8.27	14.38	5.65	8.9	17.28
3.1	4.84	8.14	13.39	5.15	8.27	14.38	5.65	8.9	17.28
3.2	4.82	8.16	13.36	5.12	8.28	14.35	5.62	8.91	17.25
4.1	4.83	8.19	13.47	5.13	8.32	14.45	5.64	8.94	17.37
5.1	4.82	8.23	13.57	5.13	8.35	14.53	5.63	8.98	17.48
6.1	4.81	8.26	13.63	5.11	8.38	14.58	5.62	9.01	17.55
7.1	4.79	8.26	13.58	5.09	8.37	14.51	5.59	9.01	17.48
8.1	4.76	8.24	13.47	5.06	8.35	14.39	5.56	8.99	17.35
8.2	4.76	8.24	13.47	5.06	8.35	14.39	5.56	8.99	17.35
9.1	4.74	8.25	13.43	5.04	8.35	14.34	5.54	9	17.32
10.1	4.69	8.25	13.34	4.99	8.35	14.25	5.5	9.01	17.24
11.1	4.67	8.27	13.33	4.97	8.37	14.23	5.48	9.02	17.24
11.2	4.67	8.27	13.33	4.97	8.37	14.23	5.48	9.02	17.24
12.1	4.66	8.30	13.4	4.96	8.40	14.30	5.47	9.06	17.33
13.1	4.65	8.31	13.39	4.95	8.41	14.28	5.46	9.07	17.31
14.1	4.58	8.29	13.19	4.88	8.38	14.08	5.39	9.05	17.1
15.1	4.50	8.24	12.9	4.80	8.34	13.79	5.31	9.01	16.79
15.2	4.50	8.24	12.9	4.80	8.34	13.79	5.31	9.01	16.79
15.3	4.50	8.24	12.9	4.80	8.34	13.79	5.31	9.01	16.79
16.1	4.50	8.29	13.01	4.79	8.39	13.89	5.31	9.06	16.93
16.2	4.50	8.29	13.01	4.79	8.39	13.89	5.31	9.06	16.93
17.1	4.48	8.34	13.08	4.77	8.43	13.95	5.29	9.11	17.02
18.1	4.44	8.35	13.03	4.74	8.44	13.89	5.25	9.12	16.96
18.2	4.44	8.35	13.03	4.74	8.44	13.89	5.25	9.12	16.96
18.3	4.44	8.35	13.03	4.74	8.44	13.89	5.25	9.12	16.96
19.1	4.39	8.37	12.95	4.67	8.45	13.79	5.19	9.14	16.85
20.1	4.33	8.39	12.87	4.61	8.47	13.70	5.12	9.16	16.75
20.2			12.87				5.12	9.16	16.75
	4.33	8.39		4.61	8.47	13.70			

Profielnr.	Huidig klimaat			M+ scenario 2100			WCS 2100		
	Hsig	Tp	Agp	Hsig	Tp	Agp	Hsig	Tp	Agp
21.1	4.33	8.50	13.12	4.61	8.57	13.94	5.13	9.26	17.05
22.1	4.26	8.52	13.01	4.54	8.59	13.81	5.05	9.29	16.92
22.2	4.26	8.52	13.01	4.54	8.59	13.81	5.05	9.29	16.92
22.3	4.26	8.52	13.01	4.54	8.59	13.81	5.05	9.29	16.92
23.1	4.13	8.69	13.1	4.40	8.75	13.88	4.93	9.44	17.03
24.1	4.05	9.06	13.74	4.31	9.10	14.49	4.86	9.75	17.73
24.2	4.05	9.06	13.74	4.31	9.10	14.49	4.86	9.75	17.73
24.3	4.05	9.06	13.74	4.31	9.10	14.49	4.86	9.75	17.73
25.1	3.94	9.19	13.76	4.20	9.22	14.51	4.75	9.86	17.72
25.2	3.94	9.19	13.76	4.20	9.22	14.51	4.75	9.86	17.72
26.1	4.05	9.25	14.18	4.30	9.29	14.94	4.86	9.92	18.18
26.2	4.05	9.25	14.18	4.30	9.29	14.94	4.86	9.92	18.18
27.1	4.15	9.26	14.46	4.40	9.30	15.24	4.95	9.92	18.47
27.2	4.15	9.26	14.46	4.40	9.30	15.24	4.95	9.92	18.47
28.1	4.24	9.26	14.71	4.50	9.30	15.49	5.04	9.91	18.69
29.1	4.24	9.26	14.71	4.50	9.30	15.49	5.04	9.91	18.69
29.2	4.35	9.26	15.02	4.61	9.31	15.82	5.15	9.91	19
30.1	4.39	9.23	15.06	4.65	9.28	15.86	5.19	9.88	19.02
31.1	4.46	9.23	15.22	4.72	9.28	16.03	5.25	9.87	19.2
31.2	4.46	9.23	15.22	4.72	9.28	16.03	5.25	9.87	19.2
32.1	4.46	9.23	15.22	4.72	9.28	16.03	5.25	9.87	19.2
32.2	4.52	9.25	15.43	4.78	9.30	16.26	5.31	9.89	19.42
33.1	4.56	9.28	15.61	4.82	9.34	16.45	5.35	9.92	19.62
33.2	4.56	9.28	15.61	4.82	9.34	16.45	5.35	9.92	19.62
33.3	4.56	9.28	15.61	4.82	9.34	16.45	5.35	9.92	19.62
34.1	4.60	9.33	15.84	4.86	9.39	16.70	5.39	9.96	19.88
34.2	4.60	9.33	15.84	4.86	9.39	16.70	5.39	9.96	19.88
34.3	4.60	9.33	15.84	4.86	9.39	16.70	5.39	9.96	19.88
35.1	4.70	9.41	16.33	4.96	9.47	17.21	5.5	10.03	20.4
36.1	4.89	9.52	17.14	5.15	9.58	18.04	5.69	10.12	21.27
37.1	5.02	9.53	17.54	5.28	9.61	18.48	5.82	10.15	21.74
37.2	5.02	9.53	17.54	5.28	9.61	18.48	5.82	10.15	21.74

Profielnr.	Huidig klimaat			M+ scenario 2100			WCS 2100		
	Hsig	Tp	Agp	Hsig	Tp	Agp	Hsig	Tp	Agp
38.1	5.02	9.53	17.54	5.28	9.61	18.48	5.82	10.15	21.74
38.2	5.13	9.53	17.83	5.39	9.61	18.78	5.92	10.15	22.07
38.3	5.13	9.53	17.83	5.39	9.61	18.78	5.92	10.15	22.07
39.1	5.21	9.53	18.06	5.48	9.61	19.03	6.01	10.15	22.34
40.1	5.37	9.56	18.58	5.65	9.64	19.57	6.17	10.18	22.92
41.1	5.37	9.56	18.56	5.64	9.64	19.55	6.17	10.18	22.89
41.2	5.37	9.56	18.56	5.64	9.64	19.55	6.17	10.18	22.89
42.1	5.33	9.53	18.4	5.61	9.61	19.38	6.13	10.15	22.69
43.1	5.31	9.54	18.38	5.59	9.62	19.34	6.11	10.16	22.65
43.2	5.31	9.54	18.38	5.59	9.62	19.34	6.11	10.16	22.65
44.1	5.34	9.58	18.54	5.61	9.64	19.49	6.14	10.18	22.82
44.2	5.34	9.58	18.54	5.61	9.64	19.49	6.14	10.18	22.82
45.1	5.34	9.61	18.64	5.61	9.67	19.57	6.14	10.21	22.91
46.1	5.34	9.61	18.64	5.61	9.67	19.57	6.14	10.21	22.91
46.2	5.29	9.62	18.54	5.56	9.67	19.44	6.08	10.21	22.78
47.1	5.29	9.62	18.54	5.56	9.67	19.44	6.08	10.21	22.78
47.2	5.29	9.62	18.54	5.56	9.67	19.44	6.08	10.21	22.78
48.1	5.30	9.62	18.56	5.57	9.66	19.45	6.1	10.2	22.78
49.1	5.29	9.62	18.53	5.56	9.66	19.41	6.08	10.2	22.73
50.1	5.27	9.62	18.47	5.54	9.66	19.35	6.06	10.2	22.67
50.2	5.27	9.65	18.57	5.54	9.69	19.45	6.07	10.23	22.79
51.1	5.27	9.65	18.57	5.54	9.69	19.45	6.07	10.23	22.79
52.1	5.27	9.68	18.66	5.53	9.72	19.53	6.06	10.26	22.9
53.1	5.27	9.68	18.66	5.53	9.72	19.53	6.06	10.26	22.9
53.2	5.24	9.67	18.55	5.51	9.71	19.40	6.03	10.25	22.76
53.3	5.24	9.67	18.55	5.51	9.71	19.40	6.03	10.25	22.76
54.1	5.22	9.65	18.44	5.48	9.68	19.27	6.01	10.23	22.62
55.1	5.18	9.61	18.22	5.45	9.64	19.05	5.97	10.2	22.38
56.1	5.18	9.57	18.08	5.44	9.60	18.91	5.96	10.16	22.22
56.2	5.18	9.57	18.08	5.44	9.60	18.91	5.96	10.16	22.22
56.3	5.18	9.57	18.08	5.44	9.60	18.91	5.96	10.16	22.22
57.1	5.16	9.57	18.04	5.43	9.60	18.86	5.95	10.15	22.15

Profielnr.	Huidig klimaat			M+ scenario 2100			WCS 2100		
	Hsig	Tp	Agp	Hsig	Tp	Agp	Hsig	Tp	Agp
57.2	5.16	9.57	18.04	5.43	9.60	18.86	5.95	10.15	22.15
58.1	5.12	9.52	17.77	5.38	9.56	18.59	5.9	10.11	21.84
58.2	5.12	9.52	17.77	5.38	9.56	18.59	5.9	10.11	21.84
58.3	5.12	9.52	17.77	5.38	9.56	18.59	5.9	10.11	21.84
59.1	5.11	9.49	17.68	5.37	9.53	18.51	5.89	10.09	21.75
60.1	5.12	9.57	17.93	5.38	9.58	18.65	5.9	10.12	21.9
61.1	5.12	9.57	17.89	5.39	9.61	18.79	5.91	10.16	22.05
62.1	5.12	9.56	18.03	5.39	9.60	18.75	5.91	10.14	22
63.1	5.14	9.59	17.87	5.40	9.63	18.89	5.93	10.17	22.15
64.1	5.12	9.55	17.99	5.38	9.60	18.72	5.9	10.14	21.97
65.1	5.15	9.56	17.97	5.41	9.61	18.84	5.94	10.15	22.1
66.1	5.16	9.55	17.93	5.43	9.59	18.81	5.95	10.13	22.08
67.1	5.16	9.53	17.88	5.43	9.57	18.76	5.95	10.12	22.03
68.1	5.13	9.55	17.79	5.39	9.58	18.70	5.91	10.13	21.97
69.1	5.10	9.54	17.66	5.37	9.57	18.60	5.89	10.12	21.88
70.1	5.07	9.53	17.7	5.34	9.56	18.47	5.86	10.11	21.74
71.1	5.07	9.54	17.7	5.34	9.57	18.52	5.86	10.12	21.79
71.2	5.07	9.54	17.73	5.34	9.57	18.52	5.86	10.12	21.79
72.1	5.07	9.55	17.76	5.33	9.58	18.54	5.85	10.14	21.83
73.1	5.07	9.57	17.78	5.33	9.60	18.59	5.85	10.16	21.88
74.1	5.06	9.58	17.78	5.32	9.62	18.61	5.84	10.17	21.91
74.2	5.06	9.58	17.78	5.32	9.62	18.61	5.84	10.17	21.91
74.3	5.06	9.58	17.71	5.32	9.62	18.61	5.84	10.17	21.91
75.1	5.04	9.57	17.71	5.31	9.61	18.55	5.83	10.17	21.85
75.2	5.04	9.57	17.71	5.31	9.61	18.55	5.83	10.17	21.85
75.3	5.04	9.57	17.71	5.31	9.61	18.55	5.83	10.17	21.85
75.4	5.04	9.57	17.71	5.31	9.61	18.55	5.83	10.17	21.85
76.1	5.07	9.54	17.71	5.34	9.58	18.54	5.86	10.15	21.86
76.2	5.07	9.54	17.91	5.34	9.58	18.54	5.86	10.15	21.86
77.1	5.09	9.59	17.91	5.36	9.62	18.74	5.88	10.19	22.1
77.2	5.09	9.59	17.91	5.36	9.62	18.74	5.88	10.19	22.1
77.3	5.09	9.59	17.95	5.36	9.62	18.74	5.88	10.19	22.1

Profielnr.	Huidig klimaat			M+ scenario 2100			WCS 2100		
	Hsig	Tp	Agp	Hsig	Tp	Agp	Hsig	Tp	Agp
78.1	5.10	9.60	17.95	5.37	9.63	18.77	5.89	10.2	22.13
78.2	5.10	9.60	17.95	5.37	9.63	18.77	5.89	10.2	22.13
78.3	5.10	9.60	17.99	5.37	9.63	18.77	5.89	10.2	22.13
79.1	5.08	9.63	17.99	5.34	9.66	18.80	5.86	10.23	22.17
79.2	5.08	9.63	18	5.34	9.66	18.80	5.86	10.23	22.17
80.1	5.05	9.66	18	5.31	9.68	18.80	5.84	10.26	22.19
80.2	5.05	9.66	18.04	5.31	9.68	18.80	5.84	10.26	22.19
81.1	5.01	9.71	17.99	5.28	9.73	18.83	5.81	10.3	22.25
82.1	5.19	9.53	17.99	5.46	9.56	18.83	5.97	10.15	22.22
82.2	5.19	9.53	17.97	5.46	9.56	18.83	5.97	10.15	22.22
82.3	5.17	9.54	17.97	5.46	9.56	18.83	5.97	10.15	22.22
83.1	5.17	9.54	17.97	5.44	9.58	18.83	5.95	10.16	22.2
83.2	5.17	9.54	18.1	5.44	9.58	18.83	5.95	10.16	22.2
83.3	5.17	9.54	18.1	5.44	9.58	18.83	5.95	10.16	22.2
84.1	5.14	9.61	18.27	5.41	9.64	18.95	5.93	10.22	22.32
84.2	5.14	9.61	18.27	5.41	9.64	18.95	5.93	10.22	22.32
85.1	5.11	9.70	18.27	5.38	9.72	19.11	5.91	10.29	22.51
85.2	5.11	9.70	18.26	5.38	9.72	19.11	5.91	10.29	22.51
85.3	5.11	9.70	18.26	5.38	9.72	19.11	5.91	10.29	22.51
86.1	5.07	9.73	18.26	5.34	9.76	19.11	5.87	10.32	22.52
86.2	5.07	9.73	18.3	5.34	9.76	19.11	5.87	10.32	22.52
86.3	5.07	9.73	18.04	5.34	9.76	19.11	5.87	10.32	22.52
87.1	5.07	9.75	17.93	5.34	9.77	19.16	5.88	10.34	22.57
88.1	5.03	9.69	18	5.31	9.72	18.89	5.84	10.28	22.27
89.1	5.05	9.64	18.16	5.34	9.66	18.79	5.86	10.23	22.14
90.1	5.10	9.61	18.03	5.38	9.64	18.85	5.9	10.2	22.17
91.1	5.08	9.69	18.31	5.36	9.71	19.02	5.88	10.28	22.37
92.1	5.21	9.52	18.31	5.51	9.55	18.91	6.01	10.13	22.26
93.1	5.22	9.60	18.31	5.52	9.63	19.18	6.02	10.21	22.57
94.1	5.20	9.63	18.22	5.49	9.65	19.17	6	10.23	22.58
95.1	5.20	9.63	18.19	5.49	9.65	19.17	6	10.23	22.58
96.1	5.17	9.63	18.08	5.46	9.64	19.07	5.97	10.23	22.47

Profielnr.	Huidig klimaat			M+ scenario 2100			WCS 2100		
	Hsig	Tp	Agp	Hsig	Tp	Agp	Hsig	Tp	Agp
96.2	5.12	9.66	18.08	5.41	9.67	19.03	5.92	10.25	22.42
97.1	5.04	9.70	18.09	5.33	9.71	18.91	5.85	10.28	22.3
97.2	5.04	9.70	18.23	5.33	9.71	18.91	5.85	10.28	22.3
98.1	4.99	9.75	18.36	5.28	9.76	18.91	5.8	10.33	22.3
99.1	5.00	9.79	18.42	5.29	9.80	19.06	5.81	10.36	22.47
100.1	5.01	9.83	18.49	5.29	9.83	19.19	5.82	10.4	22.62
101.1	5.02	9.83	18.49	5.31	9.83	19.24	5.84	10.4	22.69
102.1	5.07	9.81	17.99	5.36	9.81	19.33	5.88	10.39	22.77
103.1	5.07	9.81	17.99	5.36	9.81	19.33	5.88	10.39	22.77
104.1	5.13	9.58	18.87	5.43	9.60	18.86	5.94	10.18	22.23
104.2	5.13	9.58	18.87	5.43	9.60	18.86	5.94	10.18	22.23
105.1	5.19	9.82	19.3	5.48	9.83	19.70	5.99	10.39	23.13
105.2	5.19	9.82	19.3	5.48	9.83	19.70	5.99	10.39	23.13
106.1	5.15	10.00	19.21	5.42	10.01	20.11	5.95	10.55	23.56
107.1	5.15	10.00	19.3	5.42	10.01	20.11	5.95	10.55	23.56
107.2	5.09	10.03	19.3	5.37	10.02	20.01	5.9	10.56	23.43
108.1	5.12	10.03	19.46	5.39	10.03	20.09	5.91	10.56	23.48
108.2	5.12	10.03	19.46	5.39	10.03	20.09	5.91	10.56	23.48
109.1	5.15	10.06	19.74	5.42	10.05	20.23	5.94	10.56	23.57
109.2	5.15	10.06	20.02	5.42	10.05	20.23	5.94	10.56	23.57
110.1	5.35	9.95	20.15	5.63	9.94	20.49	6.13	10.46	23.8
111.1	5.38	10.01	20.15	5.65	10.00	20.77	6.16	10.51	24.08
112.1	5.39	10.05	20.33	5.66	10.04	20.91	6.16	10.54	24.21
112.2	5.39	10.05	20.27	5.66	10.04	20.91	6.16	10.54	24.21
113.1	5.40	10.10	20.27	5.66	10.09	21.09	6.17	10.59	24.41
114.1	5.39	10.09	20.03	5.65	10.08	21.04	6.16	10.58	24.35
114.2	5.39	10.09	20.03	5.65	10.08	21.04	6.16	10.58	24.35
115.1	5.35	10.05	19.68	5.62	10.04	20.80	6.13	10.55	24.11
115.2	5.35	10.05	19.68	5.62	10.04	20.80	6.13	10.55	24.11
116.1	5.31	9.98	20.61	5.58	9.97	20.46	6.09	10.48	23.74
116.2	5.31	9.98	20.61	5.58	9.97	20.46	6.09	10.48	23.74
117.1	5.31	9.98	20.17	5.58	9.97	20.46	6.09	10.48	23.74

Profielnr.	Huidig klimaat			M+ scenario 2100			WCS 2100		
	Hsig	Tp	Agp	Hsig	Tp	Agp	Hsig	Tp	Agp
118.1	5.15	10.42	19.81	5.41	10.40	21.34	5.94	10.89	24.77
119.1	5.15	10.42	19.7	5.41	10.40	21.34	5.94	10.89	24.77
120.1	5.22	10.22	19.87	5.48	10.20	20.90	6	10.71	24.28
121.1	5.14	10.18	21.02	5.40	10.16	20.54	5.92	10.67	23.9
122.1	5.10	10.18	21.02	5.36	10.16	20.43	5.88	10.67	23.8
123.1	5.11	10.23	21.02	5.36	10.22	20.60	5.89	10.72	23.99
124.1	5.29	10.42	20.67	5.55	10.40	21.78	6.08	10.89	25.21
124.2	5.29	10.42	20.67	5.55	10.40	21.78	6.08	10.89	25.21
124.3	5.29	10.42	20.49	5.55	10.40	21.78	6.08	10.89	25.21
125.1	5.24	10.35	20.49	5.50	10.34	21.45	6.03	10.83	24.84
125.2	5.24	10.35	20.61	5.50	10.34	21.45	6.03	10.83	24.84
126.1	5.22	10.32	20.51	5.48	10.31	21.28	6	10.8	24.65
126.2	5.22	10.32	20.34	5.48	10.31	21.28	6	10.8	24.65
127	5.26	10.32	20.13	5.52	10.31	21.40	6.04	10.8	24.78
127.1	5.26	10.32	20.13	5.52	10.31	21.40	6.04	10.8	24.78
128.1	5.23	10.31	20.02	5.49	10.31	21.29	6.01	10.8	24.67
129.1	5.21	10.28	20.02	5.48	10.27	21.12	6	10.76	24.49
130.1	5.18	10.24	19.77	5.44	10.23	20.90	5.96	10.73	24.27
130.2	5.18	10.24	19.61	5.44	10.23	20.90	5.96	10.73	24.27
131.1	5.19	10.20	19.52	5.45	10.19	20.80	5.97	10.7	24.17
131.2	5.19	10.20	19.47	5.45	10.19	20.80	5.97	10.7	24.17
132.1	5.15	10.16	19.33	5.41	10.15	20.54	5.93	10.66	23.9
133.1	5.14	10.12	19.22	5.40	10.11	20.38	5.92	10.63	23.74
134	5.14	10.07	19.14	5.40	10.08	20.30	5.92	10.61	23.66
134.1	5.14	10.09	19.1	5.40	10.08	20.30	5.92	10.61	23.66
135.1	5.14	10.07	19.13	5.40	10.07	20.25	5.91	10.59	23.61
136.1	5.11	10.05	19.2	5.38	10.05	20.10	5.89	10.57	23.46
137.1	5.09	10.04	19.15	5.35	10.03	19.99	5.87	10.56	23.35
138.1	5.08	10.02	19.15	5.34	10.02	19.92	5.86	10.55	23.28
139.1	5.08	10.01	19.11	5.34	10.01	19.89	5.86	10.54	23.25
140.1	5.09	10.00	19.11	5.36	10.01	19.94	5.87	10.54	23.29
141.1	5.10	10.01	18.97	5.37	10.03	20.01	5.88	10.56	23.38

Profielnr.	Huidig klimaat			M+ scenario 2100			WCS 2100		
	Hsig	Tp	Agp	Hsig	Tp	Agp	Hsig	Tp	Agp
142.1	5.10	10.00	18.73	5.36	10.02	19.98	5.88	10.55	23.32
142.2	5.10	10.00	18.73	5.36	10.02	19.98	5.88	10.55	23.32
143.1	5.11	9.97	18.61	5.38	9.99	19.94	5.89	10.51	23.25
143.2	5.11	9.97	18.66	5.38	9.99	19.94	5.89	10.51	23.25
144.1	5.09	9.95	18.65	5.35	9.97	19.78	5.87	10.49	23.07
145.1	5.06	9.91	18.59	5.32	9.92	19.53	5.83	10.45	22.82
145.2	5.06	9.91	18.58	5.32	9.92	19.53	5.83	10.45	22.82
146.1	5.04	9.87	18.55	5.31	9.88	19.39	5.81	10.42	22.68
147.1	5.05	9.89	18.6	5.32	9.89	19.43	5.82	10.43	22.73
148.1	5.04	9.89	18.6	5.30	9.89	19.41	5.81	10.43	22.7
149.1	5.02	9.89	18.62	5.29	9.89	19.35	5.79	10.43	22.64
150.1	5.02	9.89	18.63	5.28	9.89	19.34	5.78	10.43	22.62
151.1	5.01	9.89	18.76	5.28	9.88	19.30	5.78	10.42	22.59
152.1	5.00	9.91	18.91	5.27	9.90	19.34	5.77	10.45	22.64
152.2	5.00	9.91	18.91	5.27	9.90	19.34	5.77	10.45	22.64
153.1	4.99	9.93	18.85	5.26	9.92	19.35	5.76	10.46	22.67
154.1	4.99	9.94	18.83	5.25	9.93	19.37	5.76	10.47	22.7
155.1	5.01	9.96	18.72	5.28	9.94	19.49	5.79	10.49	22.85
155.2	5.01	9.96	18.38	5.28	9.94	19.49	5.79	10.49	22.85
156.1	5.04	9.98	18.12	5.30	9.97	19.64	5.81	10.52	23.02
156.2	5.04	9.98	18.17	5.30	9.97	19.64	5.81	10.52	23.02
157.1	5.03	9.97	18.24	5.30	9.96	19.60	5.81	10.51	22.97
158.1	5.03	9.96	18.36	5.30	9.95	19.58	5.81	10.5	22.95
159.1	5.00	9.95	18.52	5.26	9.96	19.49	5.77	10.51	22.85
160.1	4.94	9.90	18.47	5.20	9.92	19.17	5.71	10.47	22.51
161.1	4.88	9.87	18.48	5.14	9.89	18.91	5.65	10.44	22.23
162.1	4.86	9.90	18.55	5.12	9.91	18.95	5.64	10.46	22.25
163.1	4.87	9.93	18.55	5.12	9.93	19.02	5.64	10.47	22.31
164.1	4.87	9.96	18.65	5.13	9.96	19.12	5.65	10.49	22.41
165.1	4.89	10.00	18.65	5.15	10.00	19.28	5.67	10.53	22.59
166.1	4.90	9.97	18.59	5.16	9.97	19.23	5.68	10.5	22.53
167.1	4.95	9.93	18.52	5.21	9.93	19.25	5.72	10.46	22.54

Profielnr.	Huidig klimaat			M+ scenario 2100			WCS 2100		
	Hsig	Tp	Agp	Hsig	Tp	Agp	Hsig	Tp	Agp
168.1	4.98	9.92	18.52	5.25	9.92	19.32	5.76	10.46	22.62
168.2	4.98	9.92	18.48	5.25	9.92	19.32	5.76	10.46	22.62
169.1	4.97	9.96	15.87	5.24	9.96	19.42	5.75	10.5	22.74
169.2	4.97	9.96	15.87	5.24	9.96	19.42	5.75	10.5	22.74
170.1	5.06	9.85	15.89	5.33	9.86	19.37	5.83	10.41	22.7
171.1	5.05	9.84	15.89	5.32	9.84	19.30	5.82	10.4	22.63
172.1	5.05	9.84	15.89	5.32	9.84	19.30	5.82	10.4	22.63
172.2	5.05	9.83	15.88	5.32	9.83	19.26	5.82	10.39	22.59
173.1	5.03	8.93	15.97	5.29	9.84	19.20	5.79	10.39	22.51
173.2	5.03	8.93	15.97	5.29	9.84	19.20	5.79	10.39	22.51
173.3	5.01	8.95	16.01	5.27	9.85	19.21	5.78	10.41	22.53
174.1	5.01	8.95	16.01	5.27	9.85	19.21	5.78	10.41	22.53
174.2	5.01	8.95	15.98	5.27	9.85	19.21	5.78	10.41	22.53
175.1	4.99	8.97	16.07	5.25	9.87	19.18	5.75	10.42	22.5
176.1	4.96	9.02	16.15	5.23	9.92	19.26	5.73	10.46	22.58
176.2	4.96	9.02	16.03	5.23	9.92	19.26	5.73	10.46	22.58
177.1	4.97	9.04	15.8	5.23	9.93	19.30	5.74	10.48	22.65
178.1	4.96	9.05	15.8	5.22	9.94	19.31	5.73	10.49	22.65
179.1	4.93	9.06	15.82	5.19	9.95	19.27	5.71	10.5	22.62
180.1	4.94	9.08	15.82	5.20	9.98	19.38	5.71	10.53	22.74
181.1	4.95	9.10	15.82	5.21	10.00	19.49	5.73	10.54	22.85
182.1	4.93	9.08	16.09	5.19	9.98	19.35	5.71	10.52	22.69
183.1	4.89	9.03	15.73	5.15	9.93	19.08	5.67	10.47	22.39
184.1	4.89	9.03	15.73	5.15	9.93	19.08	5.67	10.47	22.39
185.1	4.93	9.00	15.73	5.19	9.89	19.10	5.7	10.44	22.39
185.2	4.93	9.00	15.94	5.19	9.89	19.10	5.7	10.44	22.39
186.1	4.93	9.00	15.94	5.19	9.89	19.10	5.7	10.44	22.39
187.1	4.97	9.06	16.19	5.23	9.96	19.42	5.74	10.49	22.71
187.2	4.90	8.99	16.19	5.16	9.89	19.00	5.67	10.42	22.25
188.1	4.90	8.99	16.46	5.16	9.89	19.00	5.67	10.42	22.25
189.1	4.88	9.02	16.46	5.14	9.91	18.99	5.65	10.44	22.24
189.2	4.89	9.08	16.69	5.15	9.98	19.23	5.67	10.5	22.51

Profielnr.	Huidig klimaat			M+ scenario 2100			WCS 2100		
	Hsig	Tp	Agp	Hsig	Tp	Agp	Hsig	Tp	Agp
190.1	4.89	9.08	16.69	5.15	9.98	19.23	5.67	10.5	22.51
191.1	4.89	9.17	16.98	5.15	10.08	19.52	5.67	10.6	22.84
192.1	4.89	9.17	16.98	5.15	10.08	19.52	5.67	10.6	22.84
193.1	4.91	9.25	17.26	5.17	10.16	19.84	5.7	10.67	23.19
193.2	4.91	9.25	17.26	5.17	10.16	19.84	5.7	10.67	23.19
194.1	4.96	9.29	17.26	5.21	10.21	20.13	5.74	10.72	23.5
195.1	4.96	9.29	17.34	5.21	10.21	20.13	5.74	10.72	23.5
196.1	5.02	9.34	17.44	5.28	10.26	20.47	5.81	10.76	23.85
196.2	5.02	9.34	17.44	5.28	10.26	20.47	5.81	10.76	23.85
197.1	5.11	9.35	17.45	5.36	10.28	20.83	5.89	10.77	24.19
198.1	5.11	9.35	17.56	5.36	10.28	20.83	5.89	10.77	24.19
198.2	5.11	9.35	17.56	5.36	10.28	20.83	5.89	10.77	24.19
199.1	5.14	9.35	17.56	5.39	10.28	20.91	5.92	10.77	24.28
200.1	5.18	9.35	17.56	5.43	10.28	21.04	5.96	10.77	24.4
201.1	5.18	9.35	18.02	5.43	10.28	21.04	5.96	10.77	24.4
201.2	5.20	9.33	18.02	5.43	10.28	21.04	5.96	10.77	24.4
202.1	5.20	9.33	18.02	5.46	10.27	21.05	5.98	10.75	24.39
203.1	5.22	9.35	17.89	5.48	10.29	21.18	6	10.77	24.52
204.1	5.22	9.35	17.89	5.48	10.29	21.18	6	10.77	24.52
204.2	5.22	9.35	17.89	5.48	10.29	21.18	6	10.77	24.52
205.1	5.22	9.35	16.43	5.48	10.29	21.18	6	10.77	24.52
206.1	5.32	9.42	16.43	5.57	10.36	21.74	6.11	10.84	25.13
206.2	5.32	9.42	16.43	5.57	10.36	21.74	6.11	10.84	25.13
207.1	5.32	9.42	16.43	5.57	10.36	21.74	6.11	10.84	25.13
208.1	5.28	9.41	16.43	5.53	10.36	21.61	6.06	10.85	25
209.1	5.28	9.41	16.69	5.53	10.36	21.61	6.06	10.85	25
210.1	5.28	9.41	16.69	5.53	10.36	21.61	6.06	10.85	25
211.1	4.89	9.26	16.69	5.53	10.36	21.61	6.06	10.85	25
212.1	4.89	9.26	17.61	5.13	10.20	19.85	5.62	10.7	23.03
213.1	4.89	9.26	17.61	5.13	10.20	19.85	5.62	10.7	23.03
214.1	4.89	9.26	18.33	5.13	10.20	19.85	5.62	10.7	23.03
215.1	4.89	9.26	18.33	5.13	10.20	19.85	5.62	10.7	23.03

Profielnr.	Huidig klimaat			M+ scenario 2100			WCS 2100		
	Hsig	Tp	Agp	Hsig	Tp	Agp	Hsig	Tp	Agp
216.1	4.89	9.26	17.3	5.13	10.20	19.85	5.62	10.7	23.03
217.1	4.97	9.28	16.76	5.25	9.37	17.69	5.68	9.87	20.41
218.1	4.97	9.28	16.36	5.25	9.37	17.69	5.68	9.87	20.41
219.1	5.16	9.43	16.36	5.25	9.37	17.69	5.68	9.87	20.41
220.1	5.16	9.43	15.97	5.44	9.51	18.62	5.91	10.02	21.57
221.1	5.22	9.61	15.69	5.44	9.51	18.62	5.91	10.02	21.57
222.1	5.22	9.61	15.43	5.50	9.69	19.32	6	10.18	22.39
223.1	4.67	9.80	15.3	5.50	9.69	19.32	6	10.18	22.39
224.1	4.59	9.69	15.3	4.92	9.83	18.12	5.45	10.33	21.25
225.1	4.56	9.56	15.52	4.84	9.71	17.56	5.37	10.23	20.67
226.1	4.56	9.56	15.52	4.82	9.59	17.15	5.34	10.13	20.25
227.1	4.56	9.42	15.51	4.82	9.59	17.15	5.34	10.13	20.25
228.1	4.56	9.31	15.44	4.81	9.45	16.75	5.33	10	19.83
229.1	4.60	9.17	15.44	4.82	9.34	16.47	5.33	9.91	19.53
230.1	4.66	9.06	15.55	4.87	9.21	16.22	5.36	9.78	19.25
231.1	4.66	9.06	15.61	4.93	9.11	16.10	5.42	9.69	19.1
232.1	4.78	9.03	15.61	4.93	9.11	16.10	5.42	9.69	19.1
233.1	4.78	9.03	15.48	5.05	9.08	16.33	5.54	9.66	19.36
233.2	4.79	9.01	15.27	5.05	9.08	16.33	5.54	9.66	19.36
234.1	4.84	8.94	15.09	5.07	9.05	16.32	5.56	9.64	19.35
235.1	4.84	8.94	15.04	5.12	8.99	16.25	5.61	9.58	19.29
235.2	4.57	9.25	14.99	5.12	8.99	16.25	5.61	9.58	19.29
236.1	4.84	8.94	14.89	5.12	8.99	16.25	5.61	9.58	19.29
237.1	4.84	8.94	14.67	5.12	8.99	16.25	5.61	9.58	19.29
238.1	4.57	9.25	14.6	4.84	9.27	16.33	5.37	9.85	19.48
239.1	4.62	9.22	14.39	4.89	9.25	16.40	5.42	9.83	19.56
240.1	4.70	9.14	14.53	4.98	9.18	16.42	5.5	9.77	19.57
241.1	4.79	9.00	15.48	5.07	9.05	16.30	5.58	9.64	19.42
242.1	4.86	8.86	15.27	5.14	8.91	16.10	5.64	9.51	19.17
243.1	4.89	8.77	15.09	5.17	8.83	15.93	5.67	9.43	18.96
244.1	4.92	8.72	15.04	5.20	8.78	15.89	5.7	9.38	18.88
245.1	4.94	8.68	14.99	5.23	8.75	15.84	5.72	9.34	18.82

Profielnr.	Huidig klimaat			M+ scenario 2100			WCS 2100		
	Hsig	Tp	Agp	Hsig	Tp	Agp	Hsig	Tp	Agp
246.1	4.95	8.64	14.89	5.24	8.70	15.74	5.73	9.3	18.71
247.1	4.95	8.56	14.67	5.24	8.62	15.53	5.73	9.22	18.47
248.1	4.97	8.50	14.6	5.27	8.58	15.46	5.75	9.18	18.39
249.1	4.96	8.44	14.39	5.25	8.53	15.27	5.73	9.12	18.17
250.1	4.99	8.46	14.53	5.28	8.55	15.41	5.77	9.15	18.36
251.1	4.97	8.53	14.65	5.25	8.62	15.53	5.75	9.21	18.5
252.1	4.89	8.61	14.67	5.17	8.69	15.56	5.68	9.29	18.55
253.1	4.92	8.58	14.68	5.20	8.67	15.57	5.71	9.26	18.55

Bijlage 2: Methodologie schadeberekening

Uit: Vanneuville W., Maddens R., Collard Ch., Bogaert P., De Maeyer Ph. & Antrop M., 2006. Impact op mens en economie t.g.v. overstromingen bekeken in het licht van wijzigende hydraulische condities, omgevingsfactoren en klimatologische omstandigheden, studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij, MIRA, MIRA/2006/02, UGent

Bepalen van de maximale schade

De volgende stap na het bepalen van de verschillende voorkomende bodemgebruiken is het bepalen van een maximale schade voor ieder object. Deze schade wil men definiëren als vervangingsschade, m.a.w. de prijs om een goed of product te vervangen door een identiek iets en niet door een nieuw product van hetzelfde type.

Er bestaan verschillende manieren om schade in te delen (Vanneuville et al., 2002; Van Damme et al., 2004). Een eerste onderscheid kan gemaakt worden tussen monetair waardeerbare en niet-monetair waardeerbare schade (lees moeilijk eenduidig waardeerbare schade, ook al bestaan er projecten om vergelijkbare indices op te stellen voor verschillende klassen, los van het monetaire, bv. De Nocker et al., 2006; KINT, 2001; MIRA, 2000). In deze studie is enkel de vermindering van gebruikswaarde meegenomen als (monetair waardeerbare) schade, wat wil zeggen dat geen rekening is gehouden met optiewaarden en bestaanswaarden (MIRA, 2000) zoals gevoelsschade, natuurschade, landschappelijke schade,...

Een andere indeling kan gemaakt worden tussen interne en externe schade. Interne schade is schade die optreedt binnen het overstroomde gebied, externe schade is schade die optreedt op een bepaalde plaats (of niet toe te kennen aan een locatie) zonder dat daar wateroverlast is. Externe schade kan ontstaan doordat goederen en/of diensten niet gekregen worden uit een overstroomd gebied (waar interne schade is) of er niet aan kunnen geleverd worden. Het inschatten van de externe schade is in dit project buiten beschouwing gelaten. Deze is immers zeer complex en de schadeverminderende reacties zijn zeer uitgebreid. In MERK (Reese et al., 2003) is getracht hierop een antwoord te leveren door de bruto toegevoegde waarde op jaarbasis in rekening te brengen, maar de resultaten verhogen de onzekerheid van de conclusies sterk, zonder veel bijkomende informatie aan te dragen. Van de complexe interactie tussen bedrijven en het inschatten van externe schade kunnen voorbeelden gegeven worden. Zo is er de manier waarop bedrijven reageren als ze bepaalde goederen en diensten niet kunnen ontvangen omdat de leverancier overstromingsschade heeft. De externe schade van de klant is afhankelijk van de stock die hij nog heeft, de mogelijkheid om bij andere leveranciers gelijkaardige producten te betrekken enz.

Een derde opdeling kan gemaakt worden tussen directe en indirecte schade. Directe schade wordt hier gedefinieerd als de schade aan materiële zaken zoals gebouwen, inboedels, gewassen, voertuigen, ... Onder indirecte schade worden hier productieverliezen en opruimkosten gerekend. Deze studie focust op de directe schade en brengt de indirecte schade in rekening als opslagfactoren voor de klassen bewoning, industrie en landbouw.

Een bijkomende veronderstelling in deze studie is dat de overstroming van korte duur is (maximaal 3 dagen of 72 uur). Voor bepaalde klassen zijn ook schadebedragen voor langdurige overstromingen bekend, maar deze worden verder in de studie niet gebruikt.

a) Schade aan woningen

De maximale schade aan de gebouwen zelf wordt bepaald uit de gemiddelde verkoopswaarden in een bepaalde regio. (...) Hierbij worden verschillende min of meer homogene zones op gebied van woningmarkten afgebakend waarbij er een gemiddelde verkoopprijs berekend wordt. De zones

omvatten 1 tot enkele gemeenten (mogen ook niet te klein zijn om de gemiddelden relevant te maken).

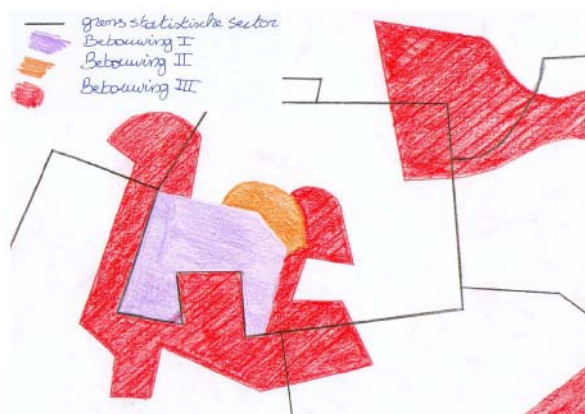
Voor de gemiddelde schade aan inboedels werd navraag gedaan bij verschillende verzekeringsmaatschappijen. (...) De Beroepsvereniging voor Verzekeringsondernemingen stelde voor om gebruik te maken van 50 % van de waarde van de woning zelf. Vertrekkende van het aantal woningen in een statistische sector en de bebouwde oppervlakte in een statistische sector kan een woningdichtheid berekend worden.

Enkele basisassumpties bepalen de verdeling van de woningen over de bebouwde oppervlakte:

- er wordt een opdeling gemaakt in de bodemgebruikkaart tussen 3 klassen bebouwing in functie van de dichtheid van bebouwing
- percelen in de kernstad worden verondersteld eerder klein te zijn in vergelijking met percelen langsheen een lintbebouwing of open bebouwing
- de perceelsgrootte bij verspreide bebouwing is zeer gevarieerd, maar het aandeel zeer grote percelen (> 2000 m²) is relatief laag en dus niet de regel
- de bebouwingsdichtheid in de middelste klasse ligt tussen de bebouwingsdichtheid van de kernstad en de verspreide bewoning.

Er wordt geopteerd om de regel in te voeren dat de percelen gemiddelde genomen 3x kleiner zijn in de kernstad dan bij verspreide bewoning. Er wordt gesteld dat de percelen in de middelste klasse van de bebouwing dubbel zo veel woningen per oppervlakte hebben dan bij de verspreide bewoning. Deze keuze levert geen gemiddelde perceelsgrootte voor gans Vlaanderen, aangezien vertrokken wordt van de oppervlakte berekend in de bodembezettingskaarten. Een voorbeeld verduidelijkt dit.

Stel dat in een statistische sector een gelijke oppervlakte voorkomt van de 3 klassen bebouwing, dan zal de helft van de huizen in de klasse kernstadbebouwing staan, een derde in de overgangsklasse tussen kernstad en verspreide bewoning en slechts een zesde van de huizen in de klasse verspreide bewoning. In praktijk komt de klasse verspreide bewoning duidelijk meer voor dan de andere 2, die voorbehouden blijken voor de stedelijke kernen. Door het werkelijke aantal woningen per statistische sector in rekening te brengen kan zo toch een onderscheid gemaakt worden tussen een dorpskern en een villawijk doordat het aantal woningen per oppervlakte-eenheid verschillend is. Volgend fictief voorbeeld verduidelijkt dit:



Figuur - Fictief voorbeeld berekenen bebouwingsdichtheid

Beschouwen we de middelste statistische sector in bovenstaande figuur en veronderstel dat zich hierin 500 woningen bevinden. Veronderstellen we verder dat van de totale oppervlakte aan bebouwing in deze statistische sector 50% Bebouwing I is, 15% Bebouwing II en 35% Bebouwing III. Voor het berekenen van het aantal woningen kan dan volgende eenvoudige berekening gemaakt worden:

Bebouwing I: $50 \cdot 3 = 150$

Bebouwing II: $15 \cdot 2 = 30$

Bebouwing III: $35 * 1 = 35$

Totaal: som = 215

Dit geeft als aantal woningen in ieder gebied:

Bebouwing I: $(150/215) * 500 = 349$

Bebouwing II: $(30/215) * 500 = 70$

Bebouwing III: $(35/215) * 500 = 81$

Hoewel slechts 50 % van de oppervlakte van de beschouwde statistische sector kernstad bebouwing is (Bebouwing I) staan hier ongeveer 75 % van de woningen wanneer de hier gehanteerde verdeelsleutel toegepast wordt. De woningen in de klasse Bebouwing III staan homogeen verdeeld over de drie oppervlakken met dit bodemgebruik in de statistische sector.

In praktijk doet zich een bijkomend probleem voor indien niet de gehele oppervlakte van een statistische sector zich in het studiegebied bevindt. Hierbij wordt de veronderstelling gemaakt dat voor het gedeelte dat in het studiegebied ligt dezelfde oppervlakteverhoudingen tussen dezelfde bodemgebruiksklassen gelden als in de gehele statistische sector. Een voorbeeld verduidelijkt dit: indien 80 % van een statistische sector in het studiegebied ligt, dan wordt 80 % van de woningen uit die statistische sector verdeeld over de bebouwde oppervlakte in het studiegebied. Aangezien het beschouwde studiegebied een rechthoek is omheen de overstromingskaart, liggen deze statistische sectoren aan de randen waar zich in de meeste gevallen geen wateroverlast voordoet en deze assumptie heeft derhalve niet veel invloed op het eindresultaat.

Twee andere problemen die zich voordoen is het niet voorkomen van woningen in een statistische sector maar wel bebouwde oppervlakte in de bodemgebruikkaart of het omgekeerde geval waarbij er geen bebouwde oppervlakte is, maar wel woningen in de tabellen van het Nationaal Instituut voor de Statistiek. In het eerste geval levert dit een waarde 0 op voor het aantal woningen per oppervlakte-eenheid. In het tweede geval dringt een manuele correctie zich op aangezien anders een deling door 0 ontstaat. Het totaal aantal woningen wordt verdeeld over de verschillende statistische sectoren zonder rekening te houden met de sector waarin geen bebouwde oppervlakte te vinden was in de bodemgebruikkaart. Er dient opgemerkt te worden dat beide situaties hierboven beschreven zich slechts in uitzonderlijke gevallen voordoen en dat de totale oppervlakte en het totaal aantal woningen in deze gevallen beide klein zijn.

Behalve de directe schade wordt voor woningen ook een indirecte schade in rekening gebracht, voornamelijk de opruimkosten. De indirecte schade wordt bepaald als percentage van de directe schade en in functie van de waterdiepte. Bij een kleine schade (lage waterstand) zal het relatieve aandeel van de opruimkosten groter zijn dan bij grote schade (hoge waterstand). De indirecte schade bedraagt 15% van de directe schade bij een initieel kleine schade en 1% van de directe schade wanneer deze gelijk is aan het totale verlies van de woning en inboedel (Grigg et al., 1976). Aangezien er directe schade is aan het gebouw zelf en aan de inboedel, dient hiervan een combinatie gemaakt te worden voor het berekenen van de indirecte schade:

$$\text{indirecte schade (\%)} = b + \left(1 - \frac{2 * \alpha_{\text{won}} + \alpha_{\text{inb}}}{3} \right) * (a - b) \quad \text{met:} \quad \text{formule 3-1}$$

- α een factor die de directe schade weergeeft als fractie van de maximale schade (zie verder bij 3.3 schadefuncties)
- $a = 15$ percentage van de directe schade bij een initieel kleine schade
- $b = 1$ percentage van de directe schade bij totale verlies van woning en inboedel

De redenering achter het gebruik van de coëfficiënten a en b heeft te maken met het feit dat bij een lichte overstroming (beperkte waterdiepte) de opruimkosten een relatief groot aandeel hebben in de totale kosten. Meubels en goederen zijn misschien wel beschadigd, maar niet totaal verloren en kunnen door opkuisen nog (tijdelijk) verder gebruikt worden. Bij grotere waterdiepte is de schade groter, en zullen verschillende goederen totaal verloren zijn, waardoor er niet meer geïnvesteerd moet worden in opruimen maar de goederen volledig weggegooid moeten worden.

b) Schade aan industrie

Voor de risicokaart in de huidige situatie wordt de schade aan industrie op 2 verschillende manieren uitgerekend: in functie van de oppervlakte en met het aantal werknemers als sleutel. Voor de schadeberekeningen van de historische wassen (...) wordt gebruik gemaakt van de schade in functie van de oppervlakte.

Een eerste methode gebruikt de oppervlakte van de industrieterreinen als sleutel voor het berekenen van de maximale schade. Er wordt gewerkt met een waarde van € 100/m². Dit is een aanpassing van de waarden uit Van der Sande (2001). De waarde gevonden in deze studie is aangepast omwille van een algemene prijsindexstijging, maar werkt met een afgeronde waarde.¹² Het heeft ons inziens geen zin om een bedrag te bepalen tot op 0,01 eurocent omwille van de andere onzekerheden die tijdens het modelleren opduiken.

Het aantal werknemers wordt als sleutel gebruikt in een tweede methode. Er zijn verschillende bronnen voor het aantal werknemers, telkens met andere aantallen. Zo worden werknemers toegekend aan het bedrijf (de plaats van tewerkstelling) zelf of aan de hoofdzetel van een bedrijf in België. De minimale grootte van de opgenomen bedrijven verschilt, welke sectoren (bv. wat met kleinhandel), het al dan niet vrijwillig zijn van het leveren van gegevens, ... Twee bronnen werden weerhouden: de tabellen (gegeocodeerd) van het RIZIV en de gegevens uit de Kompas gids. (...) De werknemers worden verdeeld over de oppervlakte toegekend aan industrie, waarbij de 'fictieve dichtheid' dubbel zo groot wordt verondersteld in de klasse Industrie I (echte bedrijven, fabriekshallen, ...) dan in Industrie II (parkeerterreinen, opslag in open lucht, ...). Deze methode is volledig analoog aan het verdelen van woningen over de verschillende klassen van bebouwing. Er wordt gewerkt met het aantal werknemers als sleutel, maar de waardebepaling is geen waarde van een werknemer!

Verder worden dezelfde aannames gemaakt voor gemeenten die slechts gedeeltelijk in het studiegebied vallen en de inconsistentie tussen gegevens uit de telling en het bodemgebruik als bij bebouwing. Het bepalen van een gemiddelde prijs per werknemer (geen relatie met waarde loon of leven) is in de literatuur afhankelijk van de industrietak waarin een bedrijf zich bevindt. De onderscheiden categorieën zijn (Van der Sande, 2001):

- energie en verwerkende nijverheid
- bouw
- verkeer en vervoer

Het totale aantal werknemers per sector voor gans België voor 2002 staat beschreven in Vanneuville et al. (2002) en wordt constant verondersteld in de tijd. Via een regel van 3 met het aantal werknemers en de prijs per werknemer in de verschillende categorieën (Van der Sande, 2001) wordt een gemiddeld bedrag (...) per werknemer bekomen. (...)

Ook bij de industrie worden er indirecte kosten in rekening gebracht. Deze hebben betrekking op productieverliezen en opruimkosten. Volgens Grigg et al. (1976) bedraagt de indirecte schade tussen de 35% (bij volledig verlies) en 45% (bij initieel kleine schade) van de directe schade. Het is moeilijk hiervoor betere cijfers te vinden die voldoende statistisch relevant zijn, daar verondersteld kan worden dat er zeer grote individuele verschillen tussen de verschillende bedrijfssectoren zijn. De indirecte schade uitdrukken (in % van de directe schade) kan door gebruik te maken van formule 3-2.

$$\text{indirecte schade (\%)} = b + (1 - \alpha) * (a - b) \quad \text{met} \quad \text{formule 3-2}$$

- α een factor die de directe schade weergeeft als fractie van de maximale schade
- (zie verder bij 3.3 schadefuncties)
- $a = 45$ percentage van de directe schade bij een initieel kleine schade
- $b = 35$ percentage van de directe schade bij totale verlies van woning en inboedel

De redenering achter het gebruik van een variabele functie voor de indirecte schade is analoog aan deze voor de indirecte schade bij woningen en inboedels. Bij een beperkte waterdiepte kan door opkuis een deel van de goederen nog (tijdelijk) gebruikt worden. Ook voor de productieverliezen geldt dat de

periode waarin niet geproduceerd kan worden slechts beperkt afhankelijk is van de waterhoogte. Relatief gezien is de indirecte schade dus belangrijker bij eerder kleine waterdieptes. De totale schade (directe en indirecte) neemt evenwel toe met de waterdiepte.

De beide methoden (oppervlakte en aantal werknemers) maken ook gebruik van een verschillende schadefunctie. Het nut van 2 methoden voor een zelfde bodemgebruiksklasse (...) heeft te maken met het feit dat het inschatten van schade aan industrie moeilijk te bepalen is wegens zeer complex. Ook in vele buitenlandse studies is het inschatten van de schade en het risico door overstromingen aan industrie een zwak punt. Het is immers zeer moeilijk voldoende, transparante en recente gegevens te verzamelen voor het zoeken van verbanden. (...)

c) Schade aan infrastructuur en luchthavens

Voor de infrastructuur zijn in de internationale literatuur weinig richtwaarden te vinden. Daarom wordt in Vanneuville et al. (2002) voorgesteld om te werken met dezelfde waarden als bij de industrie (methode in functie van de oppervlakte) voor de directe schade. Voor infrastructuur wordt geen indirecte schade in rekening gebracht. (...) Verder dient opgemerkt te worden dat de totale oppervlakte infrastructuur beperkt is en de keuze van de maximale schade de totale schade bij een overstroming of het risico niet sterk beïnvloeden.

Voor de luchthavens wordt een onderscheid gemaakt tussen de 3 grote luchthavens en de kleinere vliegvelden. (...) De schade bij historische wassen is verwaarloosbaar en er is geen risicostijging wanneer overstromingen vanuit de bevaarbare waterlopen beschouwd worden. (...) Er wordt een onderscheid gemaakt tussen de klassen luchthaven I (de eigenlijke gebouwen, landingsbanen etc.) en luchthaven II (terreinen van het vliegveld zonder gebouwen of noemenswaardige infrastructuur). In de klasse Luchthaven II zitten braakliggende terreinen tussen startbanen, maar bijvoorbeeld ook aanvliegroutes en zones die vrijgehouden worden van artificiële constructies, bomen ... Voor de eerste klasse is de maximale schade gelijk gesteld aan deze bij industrie (methode volgens de oppervlakte), zonder indirecte schade. Voor de tweede klasse wordt de economische schade € 0 verondersteld.

d) Schade aan recreatiegebieden

De maximale schade die optreedt bij recreatie is in Vlaanderen klein in vergelijking met bijvoorbeeld Nederland. Dit heeft te maken met de definitie van het bodemgebruik. In dit project bevat de klasse recreatie enkel de recreatiegebieden zelf en zijn de gebouwen en infrastructuren op deze domeinen reeds vervat in de klasse infrastructuur. De schade aan recreatie omvat dan ook in hoofdzaak opruimkosten en kleine herstellingen (bank, infobord, ...) hoewel ze in het rekenschema beschouwd wordt als directe schade. (...)

e) Schade aan akkerland en weiland

Voor de akkerbouw wordt gekeken naar de verschillende gewassen die in een bepaalde landbouwzone voorkomen en hun relatieve oppervlakte. Landbouw was vroeger een federale materie en de statistieken op Belgisch en Vlaams niveau zijn niet volledig aan elkaar te koppelen. Om te komen tot een bedrag per oppervlakte wordt voor iedere teelt de totale ingenomen oppervlakte beschouwd (uit het bestand Landbouwgebruikspercelen – aangemaakt door de Vlaamse Landmaatschappij), de opbrengst per hectare en de prijs per kilogram. Hieruit kan een gewogen gemiddelde bepaald worden dat de prijs per oppervlakte weergeeft voor een bepaald gebied. De opbrengst en prijsgegevens zijn gemiddelden voor heel Vlaanderen en maken geen onderscheid per landbouwstreek.

De verschillende zones die afgebakend worden zijn een doorsnede van de 11 hydrografische bekkens en de landbouwzones (Vanneuville, 2003a). (...) Voor Vlaanderen wordt één gemiddelde maximale schade aangenomen. Deze waarde schommelt sterk, met een tendens die zelfs tegengesteld kan zijn aan de algemene evolutie van de prijsindices.

Voor akkerbouw wordt behalve de directe schade aan de gewassen (verlies van opbrengst) ook een indirecte schade beschouwd voor het verlies aan bodemvruchtbaarheid, opruimkosten, ... Deze waarde

wordt vast gezet op 10 % van de directe schade (Grigg et al., 1976) en is onafhankelijk van de waterdiepte.

De schade aan weiland (als verzamelnaam voor graasland en hooiland) is afgeleid uit de productie hooi per hectare en de prijs voor 100 kg. Ook hier wordt vertrokken van de assumptie dat de maximale schade gelijk is aan het totale inkomensverlies. Dit is een vereenvoudiging aangezien meerdere sneden hooi binnen gehaald worden en het vee de periode voor de overstroming al heeft kunnen grazen. Voor Vlaanderen wordt één gemiddelde maximale schade aangenomen. Ook bij graslanden wordt een indirecte schade van 10 % beschouwd. Reden hiervoor is o.a. dat tijdens en na overstroming het vee tijdelijk niet op het graasland kan en dat hooiland in een periode na overstroming niet gemaaid mag worden omwille van het afgezette slib.

In deze berekeningen, die gebaseerd zijn op de methodologie in Vanneuville et al. (2002), wordt vertrokken van de idee dat er een verband is tussen de schade bij landbouw en de waterdiepte. Deze stelling is discutabel, maar wordt bij gebrek aan betere gegevens momenteel verder gebruikt. (...)

f) Schade aan voertuigen

Het tijdstip waarop een overstroming plaatsvindt kan zowel overdag als 's nachts zijn, in de week of het weekend, in de vakantie of tijdens het schooljaar. Dit is van minder belang voor de andere bodemgebruiksklassen die zich op een vaste plaats bevinden dan voor voertuigen. Het is dan ook moeilijk te zeggen waar auto's zich zullen bevinden op het ogenblik van een overstroming: thuis (waar ze geteld worden in de statistieken van het NIS), op het werk of elders. Om de voertuigen te verdelen over het land dient daarom weer vertrokken te worden van enkele aannames:

- de voertuigen worden homogeen verdeeld over de klassen bebouwing (I, II en III), industrie (I en II) en infrastructuur
- er wordt geen verder gewicht aan de verschillende klassen toegekend
- de statistische sector is een te klein gebied om de voertuigen over te verdelen en er wordt gewerkt met de cijfers op gemeenteniveau
- het aantal voertuigen per statistische sector is gekend en voor die sectoren die gedeeltelijk buiten het studiegebied vallen wordt verdeling over de bodemgebruiksklassen gelijk gesteld als in de totale statistische sector
- voertuigen kunnen het overstroomde gebied verlaten en vooropgesteld dat de overstroming tijdig voorspeld en gecommuniceerd wordt loopt 70% van de voertuigen geen schade op.

Om een gewogen gemiddelde voor voertuigen te berekenen, werd vertrokken van de gemiddelde nieuwprijs van voertuigen voor 2004 en het aantal wagens met een bepaalde ouderdom in België (FEBIAC). Uit de tabellen van Federauto werd een selectie gemaakt van voertuigen waarvoor een indicatie van de nieuwprijs werd opgegeven en een verkoopwaarde voor tweede handsvoertuigen in verschillende jaren. Hierbij werd voorkeur gegeven aan wagens waarvoor zo lang mogelijke reeksen beschikbaar zijn om de functie die de waardedaling in de tijd weergeeft zo accuraat mogelijk te beschrijven. Aangezien de types van wagens zeer snel veranderen is het aantal wagens in de selectie beperkt. De gemiddelde nieuwprijs uit deze selectie werd vergeleken met de gemiddelde nieuwprijs van alle verkochte wagen in 2004 waarbij de verhouding tussen deze getallen ook toegepast werd op de verkoopwaarden van tweedehandsvoertuigen van dat type. (...)

g) Schade aan water, natuur en bossen

De klasse natuur is in dit project een zeer heterogene mix van veel uiteenlopende gebieden die gemeenschappelijk hebben dat ze niet thuis horen in een andere klasse en dat het ingrijpen door de mens beperkt(er) is. Het gaat meestal om kale oppervlakken (zoals strand of slikken) of om gebieden waar planten min of meer ongehinderd door menselijk ingrijpen kunnen groeien. Los van de natuurwaarde of een gevoelswaarde is gekeken naar de economische schade aan deze gebieden

indien ze onder water komen en wordt deze gelijk gesteld aan € 0. Dit vertelt niets over het belang van deze gebieden, aangezien bv. een strand of duin een belangrijke invloed heeft op de kans op overstromen van het achterliggende land.

Voor bossen werd eveneens gekeken naar de economische schade. Ten eerste zijn er in Vlaanderen zeer weinig plaatsen waar bossen een economische functie hebben (houtkap). Verder blijkt dat de groeivertraging die een overstroming teweeg brengt nauwelijks merkbaar is wanneer bomen geveld en verkocht worden. Aangezien deze schade zeer klein was (minder dan € 0,01/m²) werd de economische schade aan bossen gelijk gesteld aan € 0.

De klasse water tenslotte heeft geen schade in dit model. Er wordt van uit gegaan dat de infrastructuur in het water (bv. bediening van sluizen) of boven het water (bv. bediening van bruggen) voorzien is op waterstandvariaties. Dit houdt onder meer ook in dat in deze studie geen rekening gehouden wordt met het stilleggen van commerciële vaart of het opleggen van snelheidsbeperkingen, gegroepeerd schutten, ...

h) Schade aan wegen

De schade aan wegen is afhankelijk van het type. (...) In totaal worden 48 types onderscheiden met een minimale schade voor een plattelandsweg zonder ophoging of afgraving en maximaal 5m breed en een maximale schade voor een brug van meer dan 10m breed met middenberm op een nationale weg of autosnelweg. In de bedragen, afkomstig van de Administratie Wegen en Verkeer, zijn de wegaanhorigheden zoals verkeerslichten, verkeersborden, schilderwerk, ... mee opgenomen.

Er wordt een correctie toegepast op deze schade bij het kruisen van water. Als het bodemgebruik water is, wordt de schade op die plaats € 0 verondersteld aangezien in de overstromingskaart op die locatie in de rivier een grote waterdiepte gekarteerd wordt die niet tot schade aan de bovenliggende brug hoeft te leiden.

i) Schade aan spoorwegen

De schade aan spoorwegen is, net zoals de schade aan wegen, afhankelijk van het type. (...) Bij spoorwegen worden echter slechts 4 types onderscheiden. Voor het bepalen van de kostprijs wordt van volgende veronderstelling uitgegaan (na contact met NMBS, Departement Infrastructuur en Onderhoud Sporen):

- de prijs van de seininrichting is groot in vergelijking met andere kosten
- kosten voor ophoging / afgraving zijn klein in vergelijking met andere kosten
- elektrificatie neemt ongeveer 20 % van de kostprijs in

De 5 types die onderscheiden worden zijn (Vanneuville et al., 2002):

- enkelvoudig spoor, niet geëlektrificeerd
- enkelvoudig spoor, geëlektrificeerd
- meervoudig spoor, niet geëlektrificeerd
- meervoudig spoor, geëlektrificeerd
- hogesnelheidslijnen

De grote maximale schade bij meervoudige sporen wordt verklaard door een veelheid aan wissels en dure seininstallaties die nodig zijn (Vanneuville et al., 2002). Deze blijken daarenboven schadegevoelig bij overstromingen (vaak dicht bij de grond of tussen de sporen).

j) Schade aan waterwingebieden, zuiveringsinstallaties en spaarbekkens

In De Rouck (2005) wordt dieper ingegaan op de methode om waterwingebieden in rekening te brengen naar analogie met de methode zoals beschreven in De Rouck et al. (2004). Er wordt een selectie

gemaakt van de winningputten en zuiveringsinstallaties die in een gebied kunnen liggen dat overstroombaar is vanuit een bevaarbare waterloop. De drinkwatermaatschappijen verwachten dat betrouwbaar met deze gegevens wordt omgegaan.

Bij de bepaling van de schade is enkel uitgegaan van de directe, interne schade zoals beschreven aan het begin van paragraaf 4.2. Dit houdt in dat schade door het uitvallen van levering en de kosten voor alternatieven niet in rekening gebracht worden wegens onmogelijk accuraat te beschrijven. Net zoals bij industrie zijn de mogelijkheden om te anticiperen op een tijdelijke uitval van een productiecentrum divers. In een aantal gevallen zal bijvoorbeeld water uit andere winningen geleverd kunnen worden. Verder is verondersteld dat de constructies zelf geen noemenswaardige schade lijden en dat de schade beperkt blijft tot de elektromechanische installaties. Een ander element dat niet in rekening gebracht wordt is het sluiten van een winning omwille van kwaliteitsproblemen zonder dat de winning zelf getroffen wordt aangezien dit ook valt onder de externe schade.

Elementen die schade kunnen oplopen zijn bepaald in samenspraak met de drinkwatermaatschappijen AWW, PIDPA en VMW. Het gaat hier om pompputten voor oppervlaktewater en een zeer beperkt aantal gebouwen en installaties bovengronds. Schade aan oppervlaktewaterwinning wordt niet meegenomen, behalve wanneer aangegeven werd dat de gebouwen kunnen overstromen.

k) Schade aan kerken, kloosters, abdijen, molens, ziekenhuizen, stad- en gemeentehuizen, schoolgebouwen en kastelen

De maximale schade voor kerken, kloosters, abdijen, ziekenhuizen, stad- en gemeentehuizen en schoolgebouwen zijn afhankelijk van de oppervlakte. Voor kloosters en abdijen, ziekenhuizen, stad- en gemeentehuizen en schoolgebouwen kan deze informatie bekomen worden uit de data laag struicpoly (Top50v-Gis, Nationaal Geografisch Instituut). De oppervlakte van kerken kan bepaald worden aan de hand van de perceelsnummers bij de Administratie van het kadaster. Omdat deze methode te tijdrovend was, is in deze studie gewerkt met een vaste waarde voor de oppervlakte van kerken, namelijk 400m².

Voor de waarde per vierkante meter van deze gebouwen wordt gebruik gemaakt van het Handboek Schatten van onroerende goederen (Avondtstondt & Avondtstondt, 2003). Deze waarden zijn in theorie Abex-afhankelijk. De Abex is een index voor de prijzen in de bouwsector die tweemaal per jaar herzien wordt. In deze studie wordt gewerkt met een Abex-waarde van 579 (mei 2004). (...)

Voor historische molens wordt de schade bepaald op basis van de volledig verzekerde waarde. Een onderscheid tussen molens met een stenen of houten structuur kan niet uit de data afgeleid worden. Daarom wordt gewerkt met het gemiddelde opgegeven door De Rouck et al (2004). (...) Bij dit puntelment is in dit model de schade onafhankelijk van de oppervlakte.

Voor kastelen wordt gewerkt met een indicatieve waarde aangezien geen kastelen meer gebouwd worden en er een zeer grote diversiteit is. De grootste schade is het verlies aan cultuurhistorisch erfgoed. Voor Vlaanderen zijn te weinig gegevens beschikbaar en daarom wordt verder gewerkt met de Nederlandse waarde (Briene et al., 2002).

l) Schade aan elektriciteitscentrales, zendinstallaties en windturbines

Bij elektriciteitscentrales is de schade afhankelijk van een zeer brede waaier aan factoren waaronder het verloop van de overstroming zelf. De structuur van deze centrales is sterk verschillend. Indien bijvoorbeeld water in een machinezaal dreigt te lopen is de grootste kost het stilleggen van de productie om grote schade aan belangrijke elektrische onderdelen zoals bedieningskasten en motoren te beperken. De manier waarop het stilleggen van productie een invloed heeft op het bedieningsgebied is opnieuw zeer divers en valt onder de externe schade. (...) Voor de schade aan elektriciteitscentrales wordt gebruik gemaakt van de studie van De Rouck et al. (2004). Ook is er van uitgegaan dat een kerncentrale voldoende beschermd is om geen schade op te lopen aan het nucleaire gedeelte, zelfs indien deze dicht bij het water staat.

Voor de schade aan windturbines wordt gebruik gemaakt van een Duitse studie die een relatie opstelt

tussen het vermogen en de totale schade (GWEA, 2004). Zij stellen een vaste schade per kW voorop. Het gemiddelde vermogen van het windmolenpark in Vlaanderen is 712 kW, met 200 en 2000 kW als uiterste waarden (MVG-EWBL, antwoord per mail). (...)

Voor de zendinstallaties heeft het Belgisch Instituut voor Postdiensten en Telecommunicatie gegevens van de 3 grote Belgische operatoren verzameld. Er wordt gewerkt met een gemiddelde schade per zendmast (voornamelijk de infrastructuur aan de voet), (De Rouck et al., 2004).

Er zijn 2 soorten pylonen: green-field pylonen en pylonen voor stedelijk gebied. Deze laatste bevinden zich meestal op het dak van een gebouw en worden uit de lijst gefilterd aangezien ze geen schade oplopen. De gegevens over de locaties dienen vertrouwelijk behandeld te worden.

m) Schade aan ondergrondse parkeergarages, winkelcentra en rusthuizen

(...) De gemiddelde waarden voor een parkeergarage, winkelcentrum en rusthuis is terug te vinden in De Rouck et al. (2004) en afgeleid uit informatie verstrekt door Fort Corporate Insurance (FCI Fortis).

Winkelcentra zijn in deze studie de locaties die als dusdanig zijn aangegeven in de digitale topografische kaart. Het gaat hierbij dus niet om losstaande winkels. Warenhuizen en supermarkten zitten in hoofdzaak verval in de klasse infrastructuur. Indien ze gelegen zijn op een industrie terrein is meestal geen onderscheid gemaakt tussen het warenhuis en de andere aanwezige bedrijven en valt het warenhuis mee onder de klasse industrie. Winkels in het straatbeeld zijn mee begrepen in de klasse bebouwing. Het is onmogelijk om deze afzonderlijk te onderscheiden in een studie waarin een beeld voor Vlaanderen geschetst wordt.

n) Schade aan treinstations

Uit gegevens van de directie Patrimonium van de NMBS werden 3 klassen voor treinstations afgeleid. In een eerste groep zitten de grote stations (zoals Gent Sint-Pieters, Antwerpen-Berchem, Brussel-Zuid, Aalst, ...) waarvoor de schade station per station bekeken wordt aan de hand van tabellen. Deze tabellen zijn vertrouwelijk. (...) Verder wordt een onderscheid gemaakt tussen middelgrote en kleine stations (aanpassing en afronding van de gemiddelde waarden in De Rouck et al., 2004).

o) Schade aan brandweer- en politiekazernes, gevangenissen en musea

De maximale schadewaarde voor deze elementen wordt ongeveer 3-jaarlijks overeengekomen door de Commissie voor de inventaris van de Staat en de Regie der gebouwen en worden bepaald op basis van een reconstructiewaarde. (...) Er wordt gewerkt met aangepaste en afgeronde gegevens van de waarden uit De Rouck et al., 2004.

De oppervlakte voor kazernes en gevangenissen is vermeld in *stucpoly* (tabel in top50v-Gis). Voor musea wordt gewerkt met een gemiddelde oppervlakte van 1800m² (dit is de gemiddelde oppervlakte van de politie- en brandweerkazernes en gevangenissen). De schadewaarde is exclusief de waarde voor de collectie. De waarde van de collectie is variabel voor vele musea in functie van de tentoonstelling. Daarenboven kan men veronderstellen dat er voldoende tijd zal zijn om werken te verplaatsen die schade van water ondervinden.

p) Schade aan pretparken en zoos

De schade aan pretparken en dierentuinen wordt geval per geval bepaald. De totale verzekerde waarde is in sommige gevallen te bekomen en wordt samen met de oppervlakte gebruikt om een gemiddelde waarde per m² te berekenen voor de objecten waarvan geen inschatting van de waarde vrijgegeven wordt. De individuele uitbaters hebben schriftelijk laten bevestigen de waarden niet openbaar te maken.

Het aantal objecten in deze klassen dat kan overstromen is zeer beperkt. In de Rouck et al. (2004) worden enkel volgende locaties weerhouden: Zoo van Antwerpen, Planckendael, Zoological Park en Bobbejaanland.

Referenties

- Avondtstondt J. & Avondtstondt W. (2003). *Handboek Schatten van Onroerende Goederen*, Academia Press.
- Briene M., Koppert S., Koopman A. & Verkennis A. (2002). *Financiële onderbouwing kengetallen hoogwaterschade*, NEI B.V. in opdracht van RWS-DWW.
- De Nocker L. (2006). Multifunctionaliteit van overstromingsgebieden: wetenschappelijke bepaling van de impact van waterberging op natuur, bos en landbouw, Tussentijds rapport N°3 Opbouw van de kennistabellen ecologische & economische waardering, VITO, IBW, UA en UGent in opdracht van Aminal. (beperkte verspreiding)
- De Rouck K. (2005). *Schade aan waterwingebieden*, UGent Vakgroep Geografie in samenwerking met Afdeling Waterbouwkundig Laboratorium en Hydrologisch Onderzoek.
- De Rouck K., Vanneuville W., Maeghe K., De Maeyer Ph. & Mostaert F. (2004). *Risicobenadering bij Waterbeheersingsplannen – Methodologie en case studie: Aanvulling 3 Puntelementen*, UGent Vakgroep Geografie in samenwerking met Afdeling Waterbouwkundig Laboratorium en Hydrologisch Onderzoek, Eindrapport inschrijving op bestek 16EB/03/15.
- Grigg N.S., Botham L.H., Rice L., Shoemaker W.J. & Tucker L.S. (1976). *Urban drainage and flood control projects – economic, legal and financial aspects*, In: Hydrology Papers, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, nr. 85.
- KINT (2001). *Hoogwaterstanden en overstromingen in België – Een evaluatie van de niet-tastbare kosten*, Koninklijk Instituut voor het Duurzaam Beheer van de Natuurlijke Rijkdommen en de Bevordering van Schone Technologie.
- MIRA (2000). *Baten van milieumaatregelen en milieubeleid*, MIRA-S2000 Gevolgen voor economie, met medewerking van SERV, VITO, K.U.Leuven Centrum voor economische studieën.
- Reese S., Markau H.-J. & Sterr, H. (2003). *MERK: Mikroskalige Evaluation der Risiken in überflutungsgefährdeten Küstenniederungen*, Forschungsprojekt im Auftrag des BMBF und MLR (unveröffentlichter Endbericht).
- Van Damme, M., Uitdewilligen, D., Cauwenberghs, K., Leemans, I., Peeters, B., Van Daele, T., Vandevelde, D., Vanneuville, W., Van Eerdenbrugh, K., Taverniers, E. en Degans, H., 2003, Verstoring van de waterhuishouding, In: MIRA, Milieu- en Natuurrapport Vlaanderen| thema's, Lannoo nv, p.229-239.
- Van der Sande C. (2001). *River Flood Damage Assessment using IKONOS Imagery*, i.s.m. European Commission, JRC, Space Applications Institute, EGEO Unit, Natural Hazards Project, Flood Damage and Flood Hazard Assessment, Ispra (Italy).
- Vanneuville W., Maeghe K., De Maeyer Ph., Mostaert F. & Bogaert P. (2002). *Risicobenadering bij Waterbeheersingsplannen – Methodologie en case studie*, UGent Vakgroep Geografie in samenwerking met Afdeling Waterbouwkundig Laboratorium en Hydrologisch Onderzoek, Eindrapport inschrijving op bestek 16EB/01/15.
- Vanneuville W., Maeghe K., De Maeyer Ph. & Mostaert F. (2003a). *Risicobenadering bij Waterbeheersingsplannen – Methodologie en case studie: Aanvulling 1 Slachtoffers*, UGent Vakgroep Geografie in samenwerking met Afdeling Waterbouwkundig Laboratorium en Hydrologisch Onderzoek, Eindrapport inschrijving op bestek 16EB/01/15.



Waterbouwkundig Laboratorium

Flanders Hydraulics Research

Berchemlei 115

B-2140 Antwerpen

Tel. +32 (0)3 224 60 35

Fax +32 (0)3 224 60 36

E-mail: waterbouwkundiglabo@vlaanderen.be

www.watlab.be