

Stresstest hoogwater Veluwerandmeren

In kaart brengen gevoeligheden extreme
waterstanden en ijs langs de Veluwerandmeren



Gemeenten Harderwijk, Ermelo, Putten, Elburg en
Nunspeet

Gemeenten Harderwijk, Ermelo, Putten, Elburg en
Nunspeet



Stresstest hoogwater Veluwerandmeren

In kaart brengen gevoeligheden extreme
waterstanden en ijs langs de Veluwerandmeren

Eindrapport



Auteurs

Guus Rongen
Matthijs Duits
Lieke Lokin

PR3918.10
april 2019

Samenvatting

Het voorliggende document beschrijft een stresstest voor wateroverlast door hoogwater voor de buitendijkse gebieden langs de Veluwerandmeren. In deze studie wordt de context geschetst voor wateroverlast door hoogwater. Hoe vaak komt hoogwater voor, wat zijn de oorzaken ervan, en aan welke gevolgen moet men denken. Daarnaast is de kans op schade door kruierend ijs onderzocht.

Klimaatverandering heeft weinig effect op de kans op hoogwater op de Veluwerandmeren. Dit komt doordat het peilbesluit stelt dat het winterpeil niet meestijgt met een eventuele peilstijging van het IJsselmeer. Zolang dit besluit wordt gehandhaafd zal de kans op hoogwater in 2100 dus niet anders zijn dan de kans nu. Vanwege de onzekerheid in klimaatvoorspellingen en het karakter van een stresstest is de situatie met 30 cm peilstijging ook gepresenteerd.

De stresstest laat zien dat een hoogwater dat eens per 100 jaar voorkomt geen of weinig wateroverlast geeft langs de Veluwerandmeren. De waterstanden die hierbij horen liggen voor de meeste locaties ruim onder het niveau waarbij wateroverlast optreedt. Bij Elburg treedt eerder wateroverlast op omdat een flinke zuidwesten storm hier relatief hoge waterstanden geeft.

De wateroverlast is met SSM2017 gekwantificeerd. De schade volgt hetzelfde patroon als de waterdieptes: pas bij zeer hoge terugkeertijden loopt er een significant gebied onder, behalve bij Elburg waar een eens in de 1000 jaar situatie significante schade geeft. De kans dat er een slachtoffer valt door hoogwater is zeer klein, door de aard van een eventuele overstroming. Het gaat niet om een dijkdoorbaak maar om ondergelopen hooggelegen gebied.

Naast wateroverlast door hoogwater is ook overlast door golfoverslag en kruierend ijs onderzocht. Beiden zijn een punt van aandacht voor bebouwing vlak langs de oevers, maar de kans op significante overlast is klein. Voor golfoverslag is dit omdat de oevers over het algemeen hoog genoeg liggen. Voor kruierend ijs omdat de kans op een grote hoeveelheid ijs die in beweging komt klein is, en kleiner wordt door klimaatverandering.

Inhoud

1	Inleiding	1
1.1	Aanleiding	1
1.2	Doel	1
1.3	Leeswijzer	2
2	Uitgangspunten en methode	3
2.1	Inleiding	3
2.2	Stresstest wateroverlast	3
2.3	Gebiedsoverzicht	4
2.4	Klimaatscenario's	4
2.5	Peilbesluit	5
2.6	Waterstanden	6
2.7	Overslagvolumes	7
2.8	Waterdieptekaarten	8
2.9	Schadekaarten	8
2.10	Slachtoffers	10
3	Algemene resultaten	11
3.1	Maatgevende waterstanden	11
3.2	Waterstanden bij overige terugkeertijden	13
3.3	Stormcondities en hoogwaterduren	13
3.4	Overslagvolumes	14
3.5	Slachtoffers	15
4	Uitgesplitste resultaten	17
4.1	Inleiding	17
4.2	Harderwijk	17
4.3	Putten	20
4.4	Ermelo	23
4.5	Nunspeet	26
4.6	Elburg	28
5	Kruiend ijs	33
5.1	Kans op kruiend ijs	33
5.2	Schade door kruiend ijs	35
5.3	Conclusie	36
6	Conclusies	37
7	Referenties	39

1 Inleiding

1.1

Aanleiding

Met het oog op klimaatveranderingen wordt het voor gemeenten belangrijker om inzicht te hebben in kwetsbare plekken voor overstromingen en wateroverlast. Hiervoor laten gemeenten stresstesten uitvoeren, die deze kwetsbare plekken in kaart moeten brengen. Voor de delen van Putten, Ermelo, Harderwijk, Nunspeet en Elburg die aan de Veluwerandmeren liggen, is er behoefte aan inzicht in de kansen op wateroverlast door hoogwater, nu en in de komende decennia. Denk hierbij aan informatie over terugkeertijden van hoge waterstanden en golven, de duur van deze hoogwaters en de kans op kruierend ijs. In deze oevergebieden zijn namelijk diverse ontwikkelingen geweest en gaande, waarvoor deze informatie relevant is. Daarnaast kan het resultaat gebruikt worden bij toekomstige ontwikkelingen.

Het voorliggend document bevat een verdiepende stresstest op het gebied van hoogwaterveiligheid voor de buitendijkse gebieden. Hierbij is aangesloten bij de principes van de gestandaardiseerde stresstesten die zijn ontwikkeld in het kader van Deltaplan Ruimtelijke Adaptatie (2017); Gevolgbeperking overstromingen. Het eindresultaat is daarmee een rapportage waarin voor de gemeenten Putten, Ermelo, Harderwijk, Nunspeet en Elburg een overzicht wordt gegeven van verschillende frequenties van hoge waterstanden langs de oevers van de Veluwerandmeren, de duren en de golfcondities die hierbij horen. Dit is uitgewerkt in de vorm van waterdiepte- en schadekaarten. Aanvullend bevat de studie een analyse naar de kans op kruierend ijs voor de gebieden langs de Veluwerandmeren.

1.2

Doel

Het doel van deze studie is het verschaffen van inzicht in de gevoeligheid van buitendijkse gebieden in de gemeenten Harderwijk, Putten, Ermelo, Nunspeet en Elburg voor hoge (extreme) waterstanden. Daar hoort bij dat we een idee krijgen met wat voor omstandigheden zulke hoge waterstanden gepaard gaan, en tot wat voor wateroverlast dit kan leiden.

Aanvullend doen we een analyse naar de kans op kruierend ijs langs de randmeren. Dit kan potentieel een gevaar vormen voor aanwezige bebouwing bij dooi na een (lange) vorstperiode gecombineerd met ongunstige wind.

Dit rapport bevat geen aanbevelingen voor het nemen van maatregelen om eventuele wateroverlast te beperken. Als hier aanleiding voor is, is het aan de betreffende gemeenten om met het resultaat contact op te nemen met betrokken stakeholders. Samen met hen kan de gemeente bepalen of, hoe en wanneer maatregelen genomen moeten worden.

Leeswijzer

Hoofdstuk 2 beschrijft de uitgangspunten en de methode die is toegepast om tot de resultaten te komen. Hierin worden het bepalen van de waterstanden en schadekaarten uitgelicht. In hoofdstuk 3 worden de waterstanden en hoogwatercondities voor de Veluwerandmeren als geheel beschreven. Hierin wordt nog niet specifiek ingegaan op de individuele gemeenten. Deze wordt namelijk gepresenteerd in hoofdstuk 4 waarin, de waterstanden, waterdieptekaarten en schadekaarten per gemeente beschreven staan. De analyse van het kruierend ijs staat beschreven in hoofdstuk 5. In hoofdstuk 6 worden de conclusies van de stresstest gepresenteerd.

2 Uitgangspunten en methode

2.1 Inleiding

Dit hoofdstuk beschrijft de verschillende methoden die zijn toegepast voor het uitvoeren van de stresstest. Hiervoor gaan we in op de klimaatscenario's, waterstandberekeningen en schadekaarten. De analyse van het kruierend ijs wordt niet in dit hoofdstuk besproken, omdat dit een opzichzelfstaand onderzoek is.

2.2 Stresstest wateroverlast

Deze studie is in essentie een stresstest voor hoogwater. Voor binnendijkse gebieden wordt de waterveiligheid binnen het Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium 2017 behandeld. Op basis van de gevolgen van een eventuele overstroming en de kosten voor het waarborgen van de waterveiligheid krijgt een bepaald gebied een norm, de maximaal toelaatbare overstromingskans. Voor buitendijkse gebieden is dit niet het geval. Deze gebieden mogen overstromen omdat de impact van een overstroming klein is. Daarnaast wordt aangenomen dat inwoners en gebruikers van deze gebieden op de hoogte zijn van de relatief hoge kans op wateroverlast en zich daar dus op aanpassen. Buitendijkse gebieden zijn vaak uiterwaarden van de grotere rivieren of haventerreinen.

De gemeenten aan de Gelderlandse kant van de Veluwerandmeren worden bestempeld als hoge gronden. Ze zijn dus niet beschermd door een primaire kering maar buitendijks gebied is ook niet de juiste omschrijving. De gebieden liggen niet buiten de primaire kering, maar zullen ook niet met enige regelmaat onderlopen. Voor de oevergebieden kan dit anders zijn. Wanneer deze vlak boven het waterpeil worden aangelegd kan het voorkomen dat deze net als uiterwaarden vaker onder water staan. Met het oog op gebiedsontwikkelingen vlak bij het water is het dus zinnig om in kaart te brengen wat de kans op wateroverlast is. Een duidelijke norm voor wateroverlast is er echter niet voor dit soort gebieden. Ook door het Deltaprogramma Ruimtelijke Adaptatie wordt deze niet gegeven. De betrokken partijen moeten hiertoe zelf komen via het risicodialoog. In deze studie zullen we vaak gebeurtenissen beschouwen die gemiddelde eens per 10, 100 of 1000 jaar voorkomen¹. Dit zijn herhalingsstijden van

¹ De kans van voorkomen zegt niets over wanneer de gebeurtenis voorkomt. Dit kan nog 3000 jaar duren, maar ook volgende maand zijn. We kunnen wel uitrekenen wat de kans is dat zulk een gebeurtenis minimaal één keer in een periode van bijvoorbeeld 30 jaar voorkomt. Voor een gebeurtenis met een herhalingsstijd van 10, 100 of 1000 jaar is dit respectievelijk 95%, 26% of 3%.

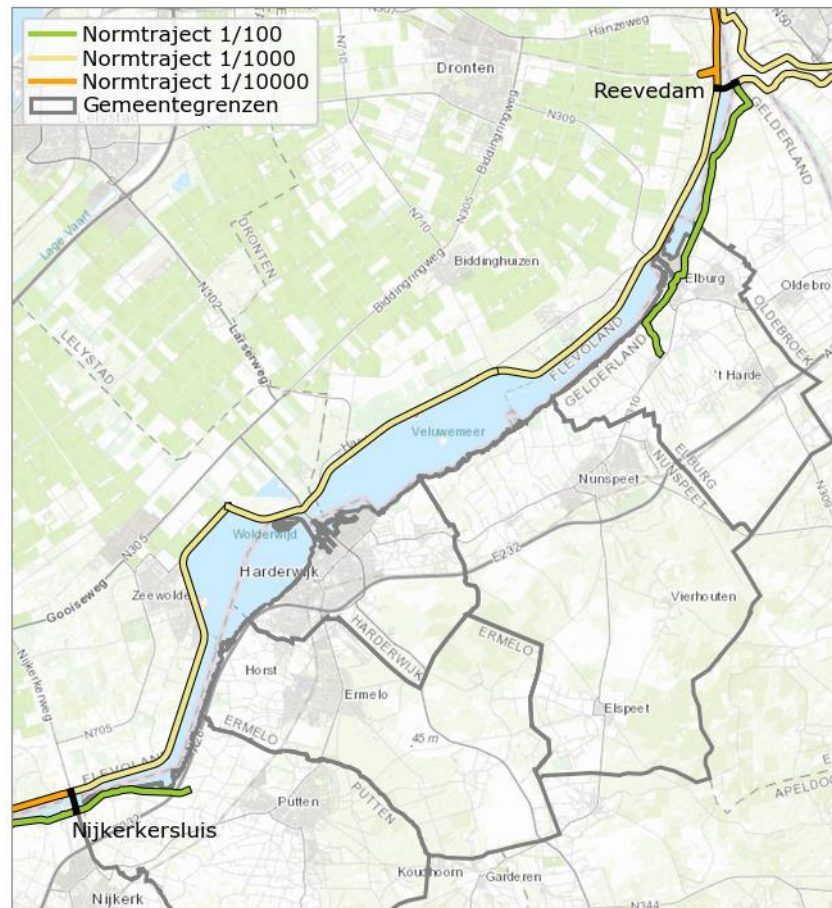
gebeurtenissen waar buitendijkse bebouwing over het algemeen ook aan blootgesteld is. Een wettelijke norm of richtlijn is hiervoor echter niet beschikbaar.

2.3

Gebiedsoverzicht

Een overzicht van het projectgebied is weergegeven in Figuur 1. De vijf gemeenten zijn grijs omlind weergegeven. Van zuid naar noord: Putten, Ermelo, Harderwijk, Nunspeet en Elburg. De primaire keringen zijn met bijbehorende norm weergegeven. Het grootste deel van het projectgebied ligt dus buitendijks. De Veluwerandmeren, bestaande uit het Nuldernauw, Wolderwijd, Veluwemeer en Drontermeer, liggen centraal op de kaart. In het noorden scheidt de Reevedam (met keersluis) de Veluwerandmeren van het IJsselmeer, en in het zuiden vormt de Nijkerkersluis de scheiding met het Markermeer.

*Figuur 1
Overzicht
projectgebied. Grijs
omlijnd de vijf
gemeenten, in kleur
de normtrajecten.*



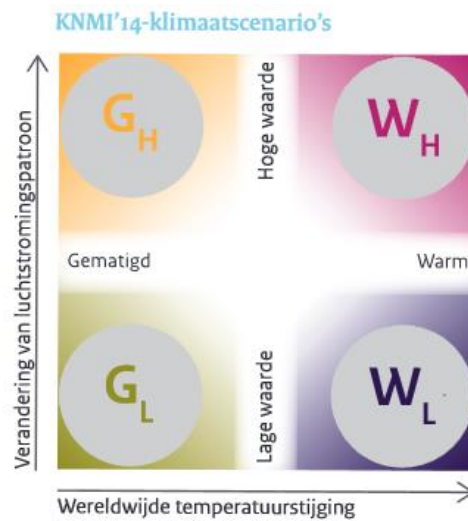
2.4

Klimaatscenario's

Stresstesten richten zich op adaptatie op een veranderend klimaat. Het ontwikkelen van scenario's voor klimaatverandering is een bezigheid van het KNMI. Zij baseren zich hiervoor op internationaal onderzoek van bijvoorbeeld

het IPCC. De meest recente scenario's voor Nederland zijn de KNMI'14-scenario's (KNMI, 2015). Dit zijn 4 scenario's, waarbij 2 temperatuurstijgingen met 2 luchtstromingspatronen zijn gecombineerd, zie Figuur 2.

*Figuur 2
Overzicht KNMI'14-
klimaatscenario's.*



Op de Veluwerandmeren wordt de waterstand bepaald door het meerpeil en de wind. Klimaatverandering kan via zeespiegelstijging en hogere rivierafvoeren effect hebben op het meerpeil. Van grotere invloed is echter hoe hierop wordt ingespeeld, besloten in het peilbesluit. Wat betreft de wind volgt – geven de verschillende scenario's voor luchtcirculatie – een iets andere kans van voorkomen van de windrichtingen. Er is echter veel onzekerheid over de mate van verandering van stormbanen en –depressies boven Europa (KNMI, 2015). Voor deze studie kiezen we om geen aangepaste windstatistiek te gebruiken, aangezien de onzekerheid groot is en het effect beperkt. In de gebruikte WBI2017-windstatistiek is statistische onzekerheid² al verwerkt.

2.5

Peilbesluit

Klimaatverandering heeft dus op verschillende manieren effect op het meerpeil. Hogere zeewaterstanden leiden tot minder spuimogelijkheid, meer neerslag leidt tot meer watertoevoer en langere periodes van droogte juist tot lagere meerpeilen. Wat betreft de waterveiligheid wordt over het algemeen alleen het winterhalfjaar van oktober tot maart beschouwd. Dit is namelijk het seizoen waarin de grootste stormen en afvoeren plaatsvinden. Wat betreft de waterveiligheid en wateroverlast zullen we dan het winterpeil gebruiken.

Als we dus effect van klimaatverandering op het meerpeil willen beschouwen, is het peilbesluit met betrekking tot het winterpeil relevant. Wat betreft de

² Dit is de onzekerheid die volgt uit het afleiden van de statistiek. Vooral extreme gebeurtenissen is het namelijk lastig inschatten hoe vaak ze voorkomen. Het verwerken van deze onzekerheid leidt over het algemeen tot conservatievere (hogere) windsnelheden, ook in dit geval.

waterveiligheid staat in het peilbesluit van 14 juni 2018 het volgende geschreven (Rijkswaterstaat, 2018):

"Als de zeespiegel stijgt, nemen de spuimogelijkheden naar de Waddenzee af en kan het waterpeil in het IJsselmeer stijgen. Dit heeft in de winterperiode een negatief effect op de waterveiligheid. In de deltabeslissing IJsselmeergebied is er voor gekozen het gemiddelde winterpeil van het IJsselmeer in ieder geval tot 2050 gelijk te houden. ... Na 2050 kan, indien nodig, het winterpeil in het IJsselmeer beperkt meestijgen, maar hooguit 10-30 cm en alleen als dit kosteneffectief en noodzakelijk is. Hiervoor is wel een nieuw peilbesluit nodig. In de andere meren in het IJsselmeergebied blijft het gemiddelde winterpeil op grond van de huidige inzichten na 2050 gehandhaafd. ..."

Tabel 1 geeft de stijging van het winterpeil door het veranderd klimaat weer, zoals besloten in het peilbesluit. Merk op dat voor het zichtjaar 2050 ook het IJsselmeerpeil niet stijgt. Stijging vindt wel na 2050 plaatst, want de zeespiegelstijging is (mogelijk) zo groot dat de spuicapaciteit van de afsluitdijk niet voldoende is om de huidige meerpeilen te handhaven.

*Tabel 1
Meerpeilstijging
(winterpeil) door
veranderd klimaat,
volgens peilbesluit.*

	Zichtjaar 2050	Zichtjaar 2100
IJsselmeer	0 cm	10-30 cm
Veluwerandmeren	0 cm	0 cm

Voor het ontwerp van dijken worden de resultaten uit dit recente peilbesluit (nog) niet meegenomen. Hier wordt aangenomen dat het meerpeil op de Veluwerandmeren (gedeeltelijk) meestijgt met het IJsselmeer.

Wanneer het meerpeil met een aantal centimeters stijgt, betekent dit niet dat de waterstanden in dezelfde mate toenemen. Dit komt omdat de lokale waterstand het resultaat is van meerpeil, wind, en modelonzekerheid. Dit kunnen we het beste demonstreren aan de hand van de maatgevende waterstanden bij het huidige klimaat en een meerpeilstijging van 30 cm.

In deze studie wordt geen specifiek klimaatscenario aangehouden, maar worden de resultaten zónder meerpeilstijging en mét 30 cm meerpeilstijging gegeven. Met het oog op de onzekerheid in klimaatvoorspellingen en het karakter van een stresstest is deze conservatieve bovengrens een gepast keuze. Bovendien geven we hiermee een zekere bandbreedte waarbij eventuele toekomstige ontwikkelingen kunnen worden geplaatst.

2.6

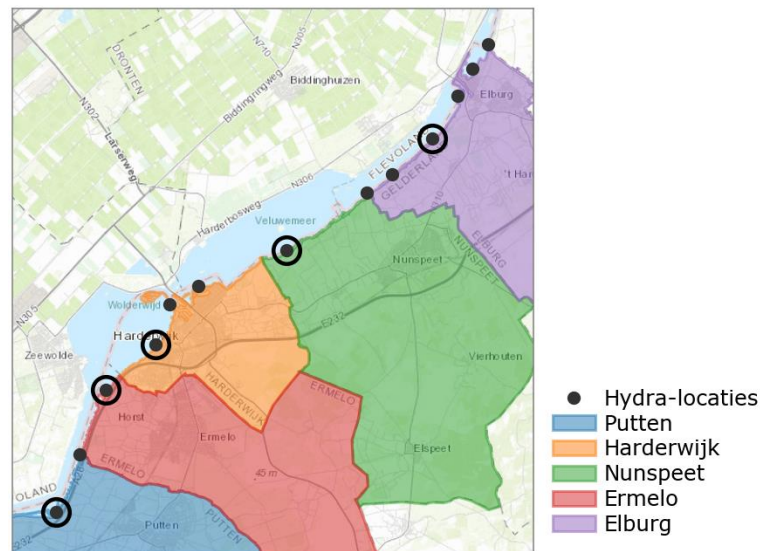
Waterstanden

De waterstand die voorkomt met een bepaalde frequentie kan worden berekend met Hydra-NL. Dit programma combineert statistiek van de belastingen met de invloed daarvan op de waterstand. Voor de randmeren bestaat de belasting uit wind (richting en snelheid) en meerpeil. Deze belastingen worden in stappen opgedeeld (windsnelheid 0, 10, 20, ... m/s;

windrichting N, NNO, NO, enz.) waarna voor elke combinatie van windrichting, windsnelheid en meerpeil de waterstand wordt berekend met een hydrodynamisch model. Hydra-NL koppelt aan deze belastingcombinaties een kans, en beschouwt de resulterende waterstanden. Door alle kansen en waterstanden te combineren kan afgeleid worden welke overschrijdingskansen bij een bepaald waterstandsniveau hoort, en zo dus ook wat de waterstand is bij een terugkeertijd van bijvoorbeeld 100 jaar. Maatgevende waterstanden worden berekend voor het winterhalfjaar. Het uitgangspunt is dat extreme hoogwaters alleen voorkomen van oktober tot maart, omdat in deze periode de grootste stormen en hoogste rivierafvoeren voorkomen.

De rekenpunten die langs de Gelderlandse kant van de Veluwerandmeren beschikbaar zijn, zijn weergegeven in Figuur 3. Voor elk van de punten zijn dus waterstanden bij de verschillende belastingcombinaties beschikbaar. De zwart omcirkelde punten zijn locaties die representatief worden geacht voor de aangrenzende gemeente. Als er dus één locatie gekozen wordt is het deze.

*Figuur 3
Hydra-NL-locaties
langs de
verschillende
gemeenten
aangrenzend aan de
Veluwerandmeren.
De zwart omcirkelde
punten zijn locaties
die representatief
worden geacht voor
de aangrenzende
gemeente.*

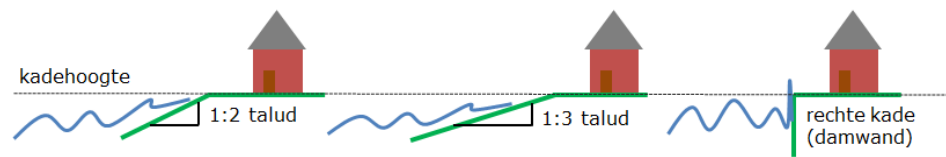


2.7

Overslagvolumes

Naast waterstanden kan ook overslaand water overlast veroorzaken voor bebouwing langs de oever van de Veluwerandmeren. Om dit te bepalen doen we overslagberekeningen voor de verschillende locaties met verschillende profielen en kadehoogten. De manier waarop we de volumes berekenen zijn gelijk aan hoe dit voor een dijk gebeurt. Afhankelijk van het dijkprofiel (de taludhelling) en de hoogte kan Hydra-NL berekenen wat de overslag is voor elke combinatie van wind en waterstand (meerpeil). Hieruit kan vervolgens bepaald worden hoe vaak bepaalde overslagvolumes gemiddeld voorkomen. Figuur 4 laat de verschillende oeverprofielen zien. Dit zijn dus eigenlijk dijkprofielen, maar dan zonder binnentalud. Voor de hoeveelheid overslag geeft dit geen verschil.

*Figuur 4
Schets van de
verschillende
profielen. Van links
naar rechts een 1:2-
talud, een 1:3-talud
en een damwand.*



2.8

Waterdieptekaarten

De in Figuur 3 weergegeven waterstandspunten liggen soms enkele kilometers uit elkaar. Over het algemeen zullen de waterstanden niet al te veel verschillen tussen opeenvolgende locaties langs een gemeente. Bij de uiteinden van de randmeren kan dit verschil echter wel tot enkele decimeters oplopen. Door een hellend vlak tussen de waterstandspunten te trekken, is dit probleem verholpen.

Nadat de waterstanden in het vlak berekend zijn, kunnen de *waterdieptes* worden bepaald. Hiervoor trekken we de bodemhoogte van de waterstand af. De bodemhoogte is voornamelijk met het AHN2 bepaald, om lokaal aangepast aan de hand van toegeleverde gegevens.

De resulterende waterdieptekaarten geven door het hellende vlak en het nauwkeurige AHN2 een redelijk gedetailleerd beeld van de waterdieptes. Ze bevatten echter nog één fout, namelijk dat er overal waar het maaiveld onder het waterniveau ligt een waterdiepte is berekend. Dit kan ook achter een dijk zijn, ondanks dat het water daar niet kan komen. Dit lossen we op door alle waterdieptevlakken die niet in verbinding staan met de Veluwerandmeren te verwijderen. Het resultaat is dat alleen het gebied dat ook daadwerkelijk onder zou lopen (overslag door wind verwaarlozen we) onder water staat.

2.9

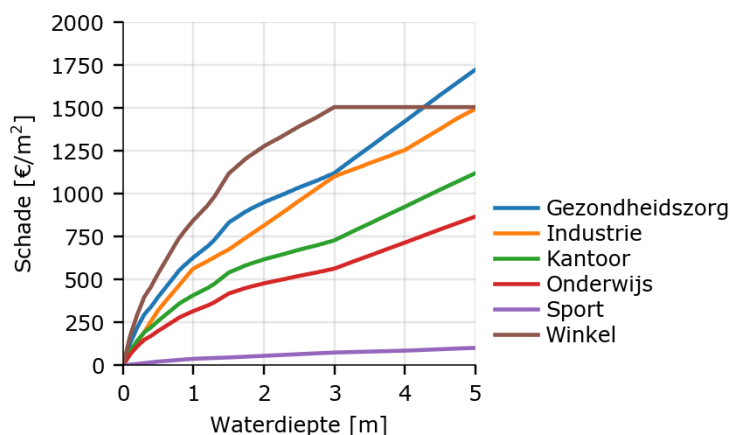
Schadekaarten

De methode die we toepassen om de schadekaarten te maken is SSM-2017 (Schade- en slachtoffermodule 2017). Hiermee kunnen onder andere voor buitendijkse gebieden schades en slachtoffers worden berekend. In het programma wordt gebruik gemaakt van standaard rasters voor landgebruik. Omdat wij in sommige gevallen te maken hebben met ontwikkelingen (en dus veranderend landgebruik), gebruiken we niet de software zelf, maar een afgeleide methode met eventueel aangepast landgebruik.

Het inschatten van de schade voor buitendijkse gebieden gebeurt aan de hand van schadefuncties. Deze geven afhankelijk van de waterdiepte een hoeveelheid schade per eenheid (bijvoorbeeld per hectare of per object). Een voorbeeld van schadefuncties voor verschillende typen bedrijvigheid is weergegeven in Figuur 5. Hierin zien we dat gezondheidszorg bijvoorbeeld een erg hoge schade heeft, terwijl sport een lage heeft. Winkels hebben de hoogste schade tot 3 m waterdiepte, waarna deze niet meer toeneemt

(winkels zijn vaak één verdieping). Je zou de schade voor een bepaald gebouw kunnen uitrekenen door de schade per vierkant meter af te lezen bij de opgetreden waterdiepte, en deze vervolgens te vermenigvuldigen met het oppervlak.

*Figuur 5
Schadefuncties voor
verschillende typen
bedrijvigheden.*



Voor elk type landgebruik zijn schadefuncties aanwezig. Voor binnendijks gebied wordt er ook nog onderscheid gemaakt tussen directe en indirecte schade. De eerste categorie is schade door het water zelf, de tweede als gevolg van langdurige uitval. Zo kan een onderneming enige tijd buiten bedrijf zijn door waterschade.

Voor buitendijks gebied wordt in SSM-2017 aangenomen dat men in zekere mate voorbereid is op (beperkte) wateroverlast, waardoor de schade bij kleine waterstanden (tot 25 cm) verwaarloosbaar klein is. Voor de oeverlocaties langs de Veluwerandmeren geldt dit echter niet. Ondanks dat deze gebieden officieel als buitendijks worden geclassificeerd, is men zich hier niet bewust van de kans op wateroverlast. Voor het overgrote deel van de gebieden is dit terecht omdat wateroverlast door hoogwater hier veel zeldzamer is dan in een haven of uiterwaard. Bij het bepalen van de schades is het daardoor realistischer om de binnendijkse schadefuncties te gebruiken, waarmee bij een paar centimeter water al schade wordt berekend.

De totale schade kan berekend worden door in een bepaald gebied voor elk type landgebruik het oppervlakte/aantal te vermenigvuldigen met de schade per een oppervlakte/aantal (afhankelijk van waterstand) en dit vervolgens te sommeren. Of in formulevorm:

$$S = \sum_{i=1}^n S_i \cdot N_i \quad (1)$$

Waarin:

- S : totale schade (€)
- n : het aantal categorieën in het gebied
- S_i : Schade voor categorie i
- N_i : Aantal eenheden (objecten of vierkante meters) in het gebied

Slachtoffers

Met SSM-2017 kan naast de schade ook het aantal slachtoffers ten gevolge van een overstroming berekend worden. Dit gebeurt aan de hand van slachtofferfuncties, waarin aan de hand van de kenmerken van een overstroming het aantal slachtoffers berekend wordt. Waar de hoeveelheid schade alleen een functie is van de waterdiepte speelt bij een slachtofferfunctie ook de stijgsnelheid van het water en de evacuatiefractie mee. Hierin is een duidelijk onderscheid te maken tussen binnendijks en buitendijks gebied, omdat een binnendijkse overstroming het gevolg is van een dijkdoorbraak, en daardoor veel grotere gevolgen heeft. Om deze reden kiezen we ervoor om voor de slachtofferbepaling de buitendijkse aanpak te volgen. Het type overstromingen waarvoor deze bepaald zijn komt overeen met het type overstromingen dan eventueel op kan treden door hoogwater op de Veluwerandmeren.

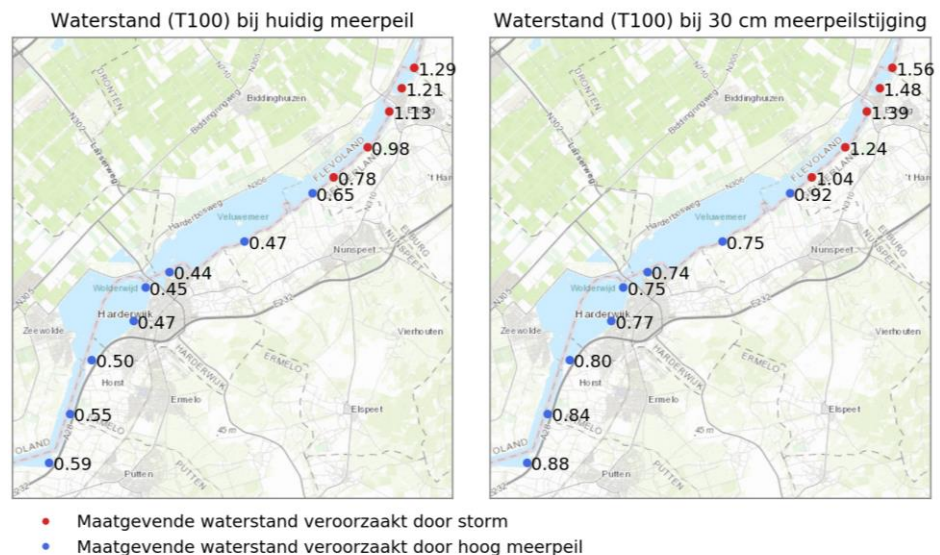
3 Algemene resultaten

Dit hoofdstuk beschrijft de algemene resultaten, dat wil zeggen de resultaten voor de gehele Veluwerandmeren. Voor veel aspecten geeft het meer inzicht om de resultaten als geheel te beschouwen, of ze verschillen simpelweg niet per gemeente. In hoofdstuk 4 worden de resultaten per gemeente specifiek toegelicht.

3.1 Maatgevende waterstanden

De waterstanden die gemiddeld een keer per 100 jaar optreden zijn weergegeven in Figuur 6. Links de waterstand voor het huidige klimaat (en meerpeil), rechts bij 30 cm meerpeilstijging.

*Figuur 6
Waterstanden in m+NAP bij het huidige meerpeil en bij een meerpeilstijging met 30 cm. Het gaat om de waterstanden met een herhalingsijd van 100 jaar.*



Ten eerste valt het op dat de optredende waterstanden relatief laag zijn, terwijl eens per 100 jaar toch een redelijk zeldzame gebeurtenis is. Over het algemeen zullen deze dus geen groot risico vormen voor de aangrenzende (hooggelegen) gebieden. Deze situatie is anders dan aan de overzijde van de randmeren, waar de laaggelegen polder beschermd moet worden door een primaire waterkering.

De verschillen tussen het huidige meerpeil en een meerpeilstijging van 30 cm zijn 26 tot 30 cm. Dit is vrijwel gelijk aan de meerpeilstijging. Dit komt doordat de hoge waterstanden vrijwel altijd voorkomen door hoge meerpeilen, en in mindere mate door grote windsnelheden (storm). We lichten dit verder toe aan de hand van de illustratiepunten die Tabel 2 laat zien (Toelichting onder tabel).

Tabel 2
Illustratiepunten
berekend met
Hydra-NL voor 5
uitvoerlocaties
(1 per gemeente)

Een windsnelheid
van 7 tot 10 m/s
komt overeen met
windkracht 4/5. Een
windsnelheid van
27 m/s is een zware
storm van
windkracht 10.

		Waterstand incl. onzekerheid [m+NAP]	Meerpeil [m+NAP]	Windsnelheid [m/s]	Windrichting	Onzekerheid lokale waterstand [m]	Duur van hoog- water (indicatief in uur)
Huidig meerpeil	Putten	0,59	0,18	8,4	NO	0,26	72
	Harderwijk	0,47	0,17	7,0	ONO	0,26	72
	Nunspeet	0,47	0,18	9,8	WZW	0,26	72
	Ermelo	0,50	0,17	7,0	ONO	0,26	72
	Elburg	0,98	-0,17	26,7	WZW	0,13	12
30 cm peilstijging	Putten	0,88	0,49	7,7	NO	0,26	72
	Harderwijk	0,77	0,47	7,0	ONO	0,26	72
	Nunspeet	0,75	0,47	9,8	WZW	0,26	72
	Ermelo	0,80	0,47	6,8	ONO	0,26	72
	Elburg	1,24	0,13	26,8	WZW	0,13	12

Vijf uitvoerlocaties (de omcirkelde bolletjes in Figuur 3) zijn gekozen, één per gemeente. De eerste kolom geeft de berekende waterstand weer, die overeenkomt met het getal in Figuur 6. De 2^{de} tot en met de 5^{de} kolom is de belastingcombinatie die leidt tot deze waterstand. De laatste kolom geeft aan hoe lang een hoog water ten gevolge van die belasting ongeveer duurt. Een aantal opmerkingen bij de tabel:

- Het meerpeil geeft het basismeerpeil. Een hoog basismeerpeil kan veroorzaakt worden door langdurige neerslag, een hoge IJsselafvoer of bijvoorbeeld een hoge zeewaterstand waardoor spuien niet mogelijk is.
- Een storm (hoge windsnelheid) kan tot scheefstand van het basismeerpeil leiden geven, waardoor de lokale waterstand nog hoger wordt. Deze scheefstand is het grootst als het waait in een richting met een grote afstand van oever tot oever (strijklengte). Daarnaast kan een zuidwesten wind het hele Veluwemeer opzetten richting Elburg³. Dit zie je terug in de tabel door de hoge windsnelheid in de tabel voor de locatie Elburg.
- De voorlaatste kolom geeft de modelonzekerheid weer. Omdat het lastig is om in te schatten wat de waterstand bij extreme condities is (ook met modellen), wordt expliciet de onzekerheid in het model meegenomen. Deze is gedefinieerd als een normale verdeling met een gemiddelde van 0 cm, standaardafwijking 15 cm. Een waterstand bij een hoge terugkeertijd kan dus ook veroorzaakt worden doordat het gebruikte model er naast zit. Het model blijft uiteindelijk een versimpeling van de werkelijkheid, waarbij sommige aspecten niet meegenomen worden. Let op dat de onzekerheid al is opgeteld bij de uiteindelijke waterstand. De onzekerheid hoeft dus niet opgeteld te worden bij de waterstand in de eerste kolom.

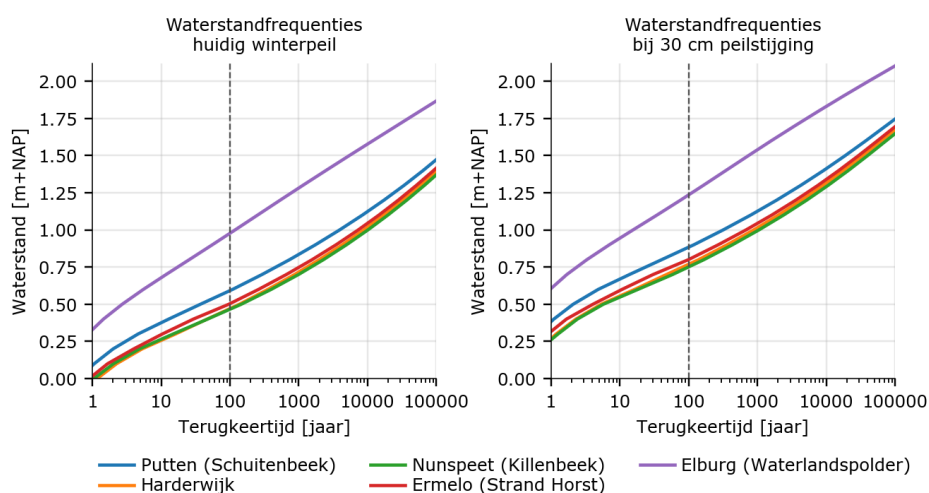
³ Het omgekeerde kan ook gebeuren, namelijk dat een wind vanuit het noordoosten het water richting Putten opzet. Hoge windsnelheden vanuit het Noordoosten zijn echter zeldzamer dan hoge windsnelheden vanuit het Zuidwesten.

Met deze drie punten in het achterhoofd kunnen we nogmaals naar Tabel 2 kijken. Wat dan opvalt is dan voor alle locaties behalve Elburg de waterstanden veroorzaakt worden door een hoog meerpeil gecombineerd met een flinke modelonzekerheid. Voor Elburg wordt de T100-waterstand niet veroorzaakt door een hoog meerpeil, maar vooral een zware zuidwestelijke storm. Deze zet het hele randmeer op richting Elburg.

3.2 Waterstanden bij overige terugkeertijden

Tot nu toe hebben we alleen gekeken naar de eens per 100 jaar waterstand. Als we dit uitbreiden naar lagere en hogere terugkeertijden, krijgen we een totaalbeeld van de optredende waterstanden. Dit is het beste te visualiseren met overschrijdingsfrequentielijnen, zoals weergegeven in Figuur 7. Deze lijnen geven weer eens in de hoeveel jaar gemiddeld een bepaalde waterstand voorkomt. De gestippelde verticale lijn geeft een terugkeertijd van 100 jaar aan. Als we de snijpunten van de 5 lijnen met de gestippelde lijn bekijken vinden we de waterstanden uit Tabel 2.

*Figuur 7
Frequentielijnen van
de waterstanden
voor de 5
uitvoerlocaties.*



Het verschil tussen de linker en rechterfiguur kan wederom vrijwel geheel verklaard worden met de eventuele meerpeilstijging door klimaatverandering. De hoogte van de oevers liggen voor de meeste locaties rond de 2 m+NAP. Bij gemeente Elburg zit er meer variatie in, maar de laaggelegen delen zijn hier beschermd door een primaire waterkering. Uit de frequentielijnen blijkt dus dat zeer extreme waterstanden op de Veluwerandmeren over het algemeen geen probleem vormen voor de waterveiligheid.

3.3 Stormcondities en hoogwaterduren

In de vorige alinea's zijn twee situaties besproken die tot hoog water leiden; een verhoogd meerpeil en een zware storm. Een verhoogd meerpeil zal over het algemeen langer aanhouden (enkele dagen), maar niet gepaard gaan

met storm. Er is namelijk geen afhankelijkheid tussen het langdurig hoog *basismeerpeil* en een storm. Een storm zal veel korter duren (enkele uren), maar gepaard gaan met relatief hoge golven. Deze golven kunnen tegen het buitendijks gebied oplopen en wateroverlast veroorzaken, zie de volgende paragraaf. Dit zal echter niet tot werkelijk overstromingsgevaar leiden, omdat het achterliggend gebied hoog is. Voor de golfhoogtes moet men denken aan significante golfhoogte⁴ eens per 100 jaar van 0,7 tot 0,8 m bij Elburg, en 0,3 tot 0,4 m voor de overige locaties.

3.4

Overslagvolumes

De overslagvolumes die eens per 10 jaar voorkomen zijn gegeven in Tabel 3. Hierin valt af te lezen bij welke combinatie van type kade en kadehoogte welk overslagvolume optreedt. De volumes zijn gegeven in liter per uur. De hoeveelheid overslag hangt af van de waterstand, de golfhoogte en de oriëntatie van de oever. Voor Putten en Elburg zullen daardoor gemiddeld wat hogere volumes berekend worden. Hier zijn de waterstanden namelijk hoger, waardoor er minder golven nodig zijn om een bepaald volume overslag te bereiken. Voor het recreatiepark bij Elburg is dit nog hoger, omdat de windrichting die de meeste overslag geeft (zuid-oost, haaks op de oever) dezelfde windrichting is die veel scheefstand en golfgroei geeft.

De berekende getallen moeten als een orde grote schatting gezien worden. De werkelijkheid is een stuk complexer, waarbij aspecten als bodemligging en de vorm van de oever een remmende invloed hebben. De tabel moet dan ook gezien worden als een hulpmiddel om in te schatten voor welke locaties en kadehoogte overslag een punt is om rekening mee te houden.

⁴ De definitie van de significante golfhoogte is niet geheel eenduidig. Je zou het kunnen zien als de golfhoogte die een (ervaren) schatter aan het golfspectrum toekent. Omdat bij het visueel inschatten van golven vooral de hoogste opvallen, is de significante golfhoogte (wiskundig) gedefinieerd als de gemiddelde hoogte van de 1/3 hoogste golven.

Tabel 3
Overslagvolumes in liter per uur per meter dijk voor verschillende locaties, profielen en hoogte.

Locatie	Profiel	T10 overslagvolume [l/u/m]			
		Kadehoogte [m+NAP]			
		0,5	1	1,5	2
Putten	1op2	31	1	0	0
	1op3	27	1	0	0
	damwand	19	0	0	0
Harderwijk	1op2	8	0	0	0
	1op3	7	0	0	0
	damwand	5	0	0	0
Nunspeet	1op2	10	0	0	0
	1op3	9	0	0	0
	damwand	6	0	0	0
Ermelo	1op2	8	0	0	0
	1op3	8	0	0	0
	damwand	5	0	0	0
Elburg	1op2	380	13	0	0
	1op3	370	12	0	0
	damwand	210	5	0	0
Elburg (recreatiepark)	1op2	2400	190	20	0
	1op3	2300	170	16	0
	damwand	1600	100	9	0

De overslagvolumes in de tabel zijn uitgedrukt in liters per strekkende meter kade per uur. Stel dat een riool in één uur 40 mm water kan verwerken, en dat het overslaande water op de eerste 10 meter kade terecht komt. Bij 100 dm x 10 dm x 0,4 dm = 400 liter water zal er een probleem ontstaan. We zien dat dit alleen bij de laaggelegen oeverlocaties bij Elburg op kan treden. Voor het recreatiepark is dit dus een punt om rekening mee te houden.

3.5

Slachtoffers

Voor alle berekende scenario's (tot een T100.000 gebeurtenis met 30 cm meerpeilstijging) vallen er geen slachtoffers door de overstroming. Voor de hogere waterstanden zal er bij Elburg een aantal getroffen zijn (de huizen op het bedrijventerrein Kruismaten), maar de kenmerken van de overstroming zijn niet dusdanig ernstig dat er slachtoffers door vallen volgens de slachtofferfuncties voor buitendijks gebied in SSM2017.

4 Uitgesplitste resultaten

4.1 Inleiding

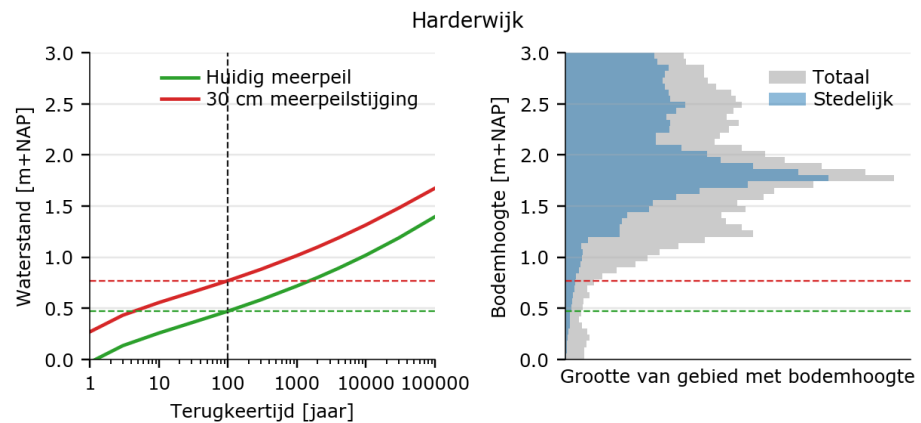
In het vorige hoofdstuk is een globaal beeld geschetst van de waterstanden die op kunnen treden in het buitendijks gebied langs de randmeren. Daarnaast is de methodiek voor het bepalen van de schadefuncties geschetst. Dit hoofdstuk licht de resultaten verder toe per gemeente.

4.2 Harderwijk

Binnen de gemeente Harderwijk vindt veel ruimtelijke ontwikkeling plaats langs de oevers van de randmeren. De ontwikkelingen worden op een niveau rond de 1,5 à 2,5 m+NAP uitgevoerd. Door de ligging zou dit gebied daarmee gevoelig kunnen zijn voor wateroverlast.

Voor locatie 'Harderwijk' van Figuur 3 zijn de frequenties van de waterstanden berekend. Figuur 8 laat deze zien in de linker figuur. De groene lijn geldt voor het huidige meerpeil en de rode lijn illustreert de situatie bij 30 cm meerpeilstijging. De verticale lijn geeft een terugkeertijd van 100 jaar aan, de horizontale lijnen de waterstanden die daarbij horen. In de rechterfiguur zien we de bodemhoogtes in het onderzochte gebied als histogram. De twee uitschieters zijn de vlakken met aangepaste bodemhoogtes (bouwpeil). Als we de groene en rode lijn vergelijken met de bodemhoogtes, zien we al dat er eigenlijk geen probleem optreedt, in ieder geval niet bij een terugkeertijd van 100 jaar.

*Figuur 8
Waterstands-
frequenties en
bodemhoogtes voor
Harderwijk*

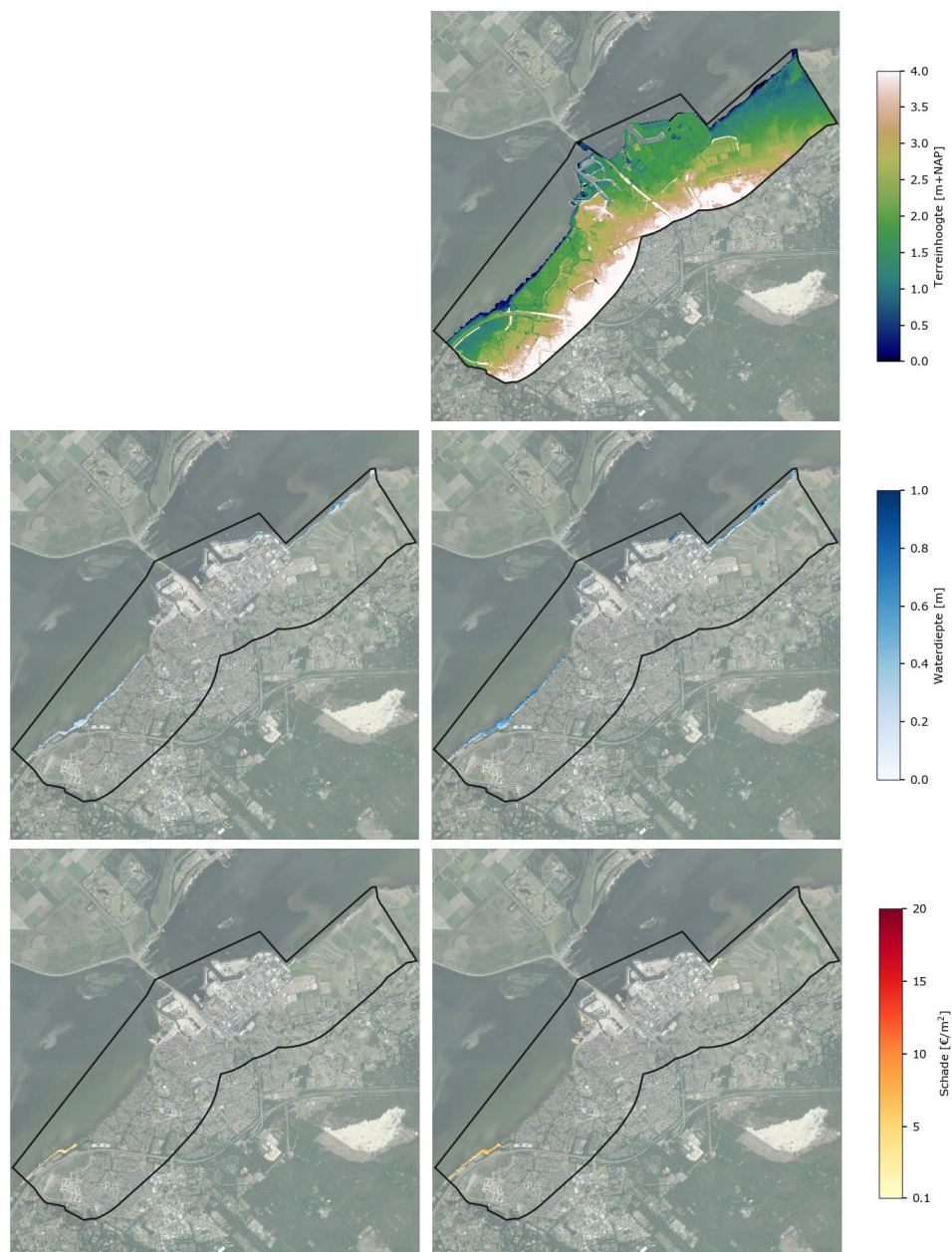


Figuur 9 geeft de resultaten bij een terugkeertijd van 100 jaar in meer detail weer. De bovenste figuur laat de bodemhoogtes zien voor het gebied langs de Veluwerandmeren. De tweede figuur toont de waterdieptes, die eens per 100 jaar optreden, voor het huidige meerpeil en 30 cm meerpeilstijging. De onderste figuur laat de bijbehorende schades zien. Deze zijn erg klein.

Tabel 4 laat de schades zien uitgesplitst naar type landgebruik. Alleen de types waarvoor schade optreedt zijn in deze tabel opgenomen.

*Figuur 9
Bodemhoogte,
waterdiepte en
schades voor
Harderwijk bij een
herhalingstijd van
100 jaar.*

*Voor de water-
dieptes en de
schades geeft de
linker figuur de
situatie met het
huidige meerpeil
weer en de rechter
figuur de situatie
met 30 cm meerpeil-
stijging*

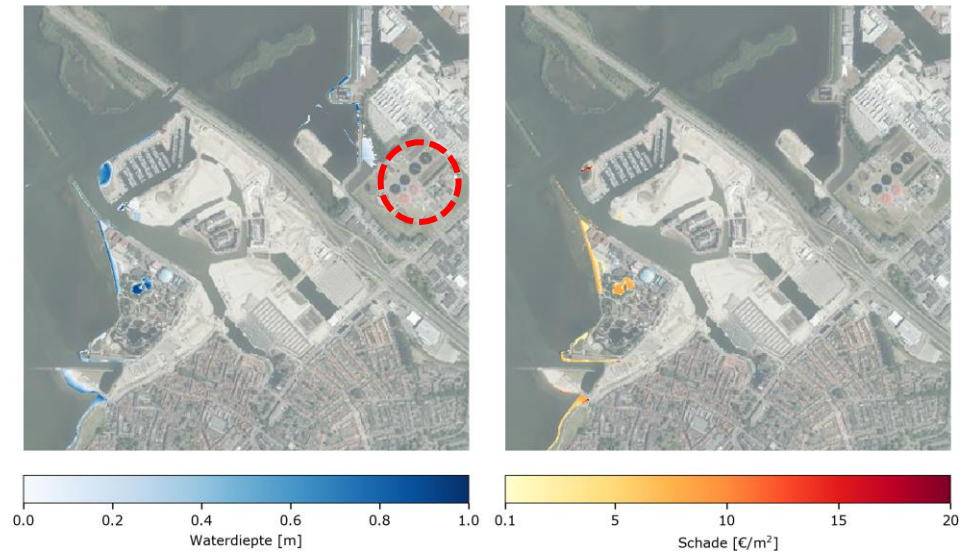


*Tabel 4
Schades uitgesplitst
naar type
landgebruik voor
Harderwijk voor
T100 bij het huidige
meerpeil en bij
30 cm
meerpeilstijging*

Type landgebruik	Huidig meerpeil		30 cm meerpeilstijging	
Infrastructuur				
Overige wegen	k€	3	k€	16
Overig				
Extensieve recreatie	k€	1	k€	9
Intensieve recreatie	k€	123	k€	278
Landbouw	k€	2	k€	7
Totaal	k€	130	k€	309

Voor Harderwijk is er een aantal plaatsen waar de stedelijke bebouwing vlak naast de wateroverlast ligt. In Figuur 9 zien we deze vooral bij de linkeroever en in de buurt van het Dolfinarium. Om de schade die hier optreedt bij een T100 gebeurtenis + 30 cm peilsteiging inzichtelijk te maken is hieronder een aantal detailkaarten weergegeven. De kaarten in Figuur 10 geven de wateroverlast en schade weer. De wateroverlast zit vooral rond het Dolfinarium en de recreatiehavens. Het gaat om gebieden met beperkte omvang. Dit is echter wel de regio waar bij hogere terugkeertijden het eerste overlast op zal treden, al breidt dit zich niet uit naar de aangrenzende woongebieden.

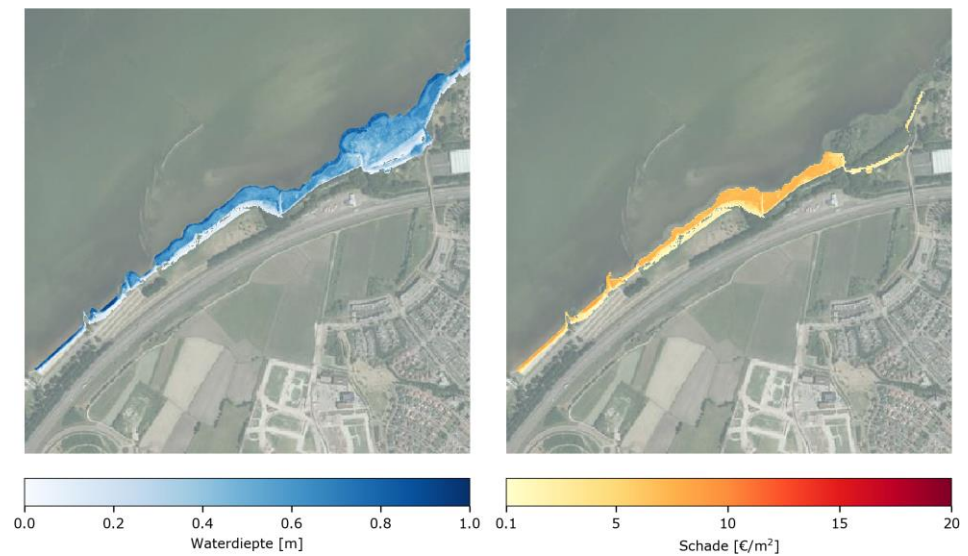
*Figuur 10
Detailkaart
waterdiepte en
schade bij het
centrum van
Harderwijk. De
kaarten horen bij
een T100
gebeurtenis met 30
cm meerpeilstijging.*



De rioolwaterzuiveringsinstallatie Harderwijk, gelegen op het industrieterrein Lorentz (in Figuur 10 weergegeven met een rode cirkel), ligt hoog genoeg om gevrijwaard te zijn van wateroverlast vanuit de Veluwerandmeren. Zelfs bij de T100.000 gebeurtenis met 30 cm meerpeilstijging loopt de RWZI niet onder. Een kanttekening hierbij is dat het gemeentelijk rioolstelsel een overstort heeft met een drempel op 0,50 m+NAP. Zodra het waterpeil op het randmeer hoger wordt zal negatieve overstort plaats vinden, met als gevolg dat het zuiveringsproces verstoord raakt. Omdat hoogwater tijdig voorspeld kan worden kan middels schotbalkspinningen een provisorische barrière voor de overstortlocatie worden aangebracht. In het geval dat een hoogwater samenvalt met zware neerslag, wat niet ondenkbeeldig is bij zulke zware stormen, kan deze noodoplossing een probleem vormen.

De kaarten in Figuur 11 geven de wateroverlast ten zuidwesten van Harderwijk. De gebieden zijn geclassificeerd als (intensieve) recreatie. Ondanks de donkerblauwe waterdieptes tot 1 meter valt de totale schade in het gebied mee, omdat het als recreatieterrein geclassificeerd is.

*Figuur 11
Detailkaart
waterdiepte en
schade ten
zuidwesten van
Harderwijk. De
kaarten horen bij
een T100
gebeurtenis met 30
cm meerpeilstijging.*



4.3

Putten

Het noordelijkste deel van gemeente Putten dat zich langs het Nuldernauw bevindt is niet beschermd door een primaire waterkering. Het aan het meer grenzende deel is mogelijk gevoelig voor hoogwater en golfslag. In Figuur 12 is dit gebied weergegeven met de rode lijn.

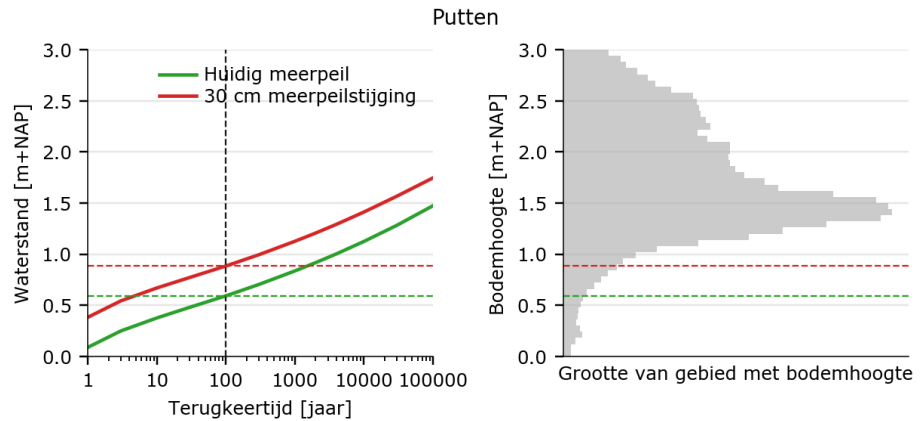
*Figuur 12
Gedeelte van de
gemeente Putten dat
mogelijk gevoelig is
voor golfoverslag*



Voor locatie 'Schuitenbeek' (zie Figuur 3; deze locaties bevindt zich nabij het zuidelijke uiteinde van de rode lijn uit Figuur 12) zijn de frequenties van de waterstanden berekend. Figuur 13 laat deze zien in de linker figuur. De groene lijn geldt voor het huidige meerpeil, en de rode lijn illustreert situatie met 30 cm meerpeilstijging. De verticale lijn geeft een terugkeertijd van 100

jaar aan, de horizontale lijnen de waterstanden die daarbij horen. In de rechterfiguur zien we de bodemhoogtes in het onderzochte gebied als histogram. Als we de groene en rode lijn vergelijken met de bodemhoogtes, verwachten we niet dat er problemen optreden bij waterstanden onder de 1,50 m+NAP. Dit soort waterstanden komen slechts eens in de 10.000 of 100.000 jaar voor, terugkeertijden die voor buitendijkse gebieden niet relevant worden geacht.

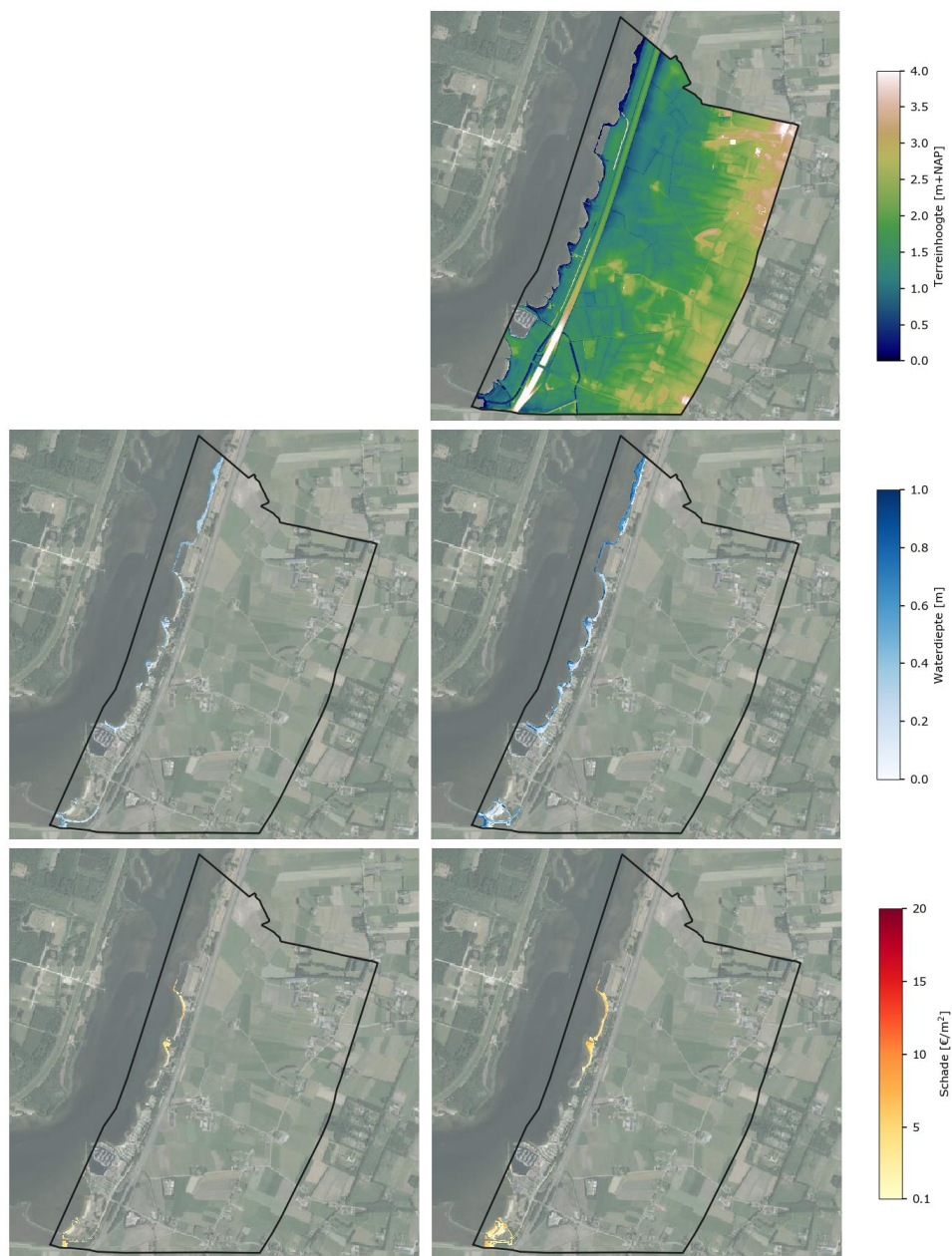
*Figuur 13
Waterstands-
frequenties en
bodemhoogtes voor
Putten*



Figuur 14 geeft de resultaten voor bij een terugkeertijd van 100 jaar in meer detail weer. De bovenste figuur laat de bodemhoogtes zien voor het gebied langs de Veluwerandmeren. De tweede figuur toont de waterdieptes, die eens per 100 jaar optreden, voor het huidige meerpeil en 30 cm meerpeilstijging. De onderste figuur laat de bijbehorende schades zien. Deze zijn verwaarloosbaar. Tabel 5 laat de schades zien uitgesplitst naar type landgebruik. Alleen de types waarvoor schade optreedt zijn in deze tabel opgenomen.

*Figuur 14
Bodemhoogte,
waterdiepte en
schades voor Putten
bij een herhalings-
tijd van 100 jaar.*

*Voor de water-
dieptes en de
schades geeft de
linker figuur de
situatie met het
huidige meerpeil
weer en de rechter
figuur de situatie
met 30 cm meerpeil-
stijging*



*Tabel 5
Schades uitgesplitst
naar type
landgebruik voor
Putten voor T100 bij
het huidige meerpeil
en bij 30 cm
meerpeilstijging*

Type landgebruik	Huidig meerpeil		30 cm meerpeilstijging	
Overig				
Extensieve recreatie	k€	8	k€	18
Intensieve recreatie	k€	41	k€	122
Totaal	k€	49	k€	140

Ermelo

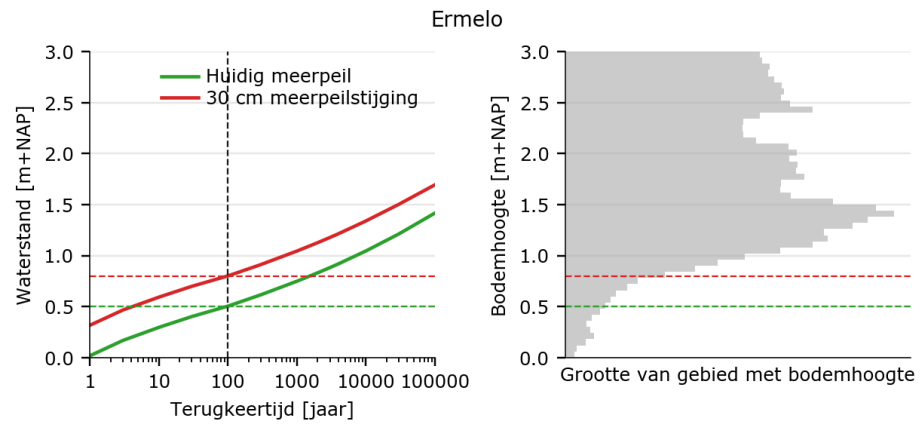
Figuur 15 laat het grensgebied van het ontwerpbestemmingsplan "Strand Horst" van gemeente Ermelo zien. In dit gebied zijn buitendijkse ontwikkelingen voorzien, bijvoorbeeld bij Strand Horst. Dit te ontwikkelen gebied is het roze gebied uit de figuur, waarvoor de bestemming cultuur en ontspanning is. De waarde van het buitendijkse gebied neemt daarmee toe.

*Figuur 15
Grensgebied van het
ontwerp-
bestemmingsplan
"Strand Horst" van
gemeente Ermelo*



Voor locatie 'Strand Horst' van Figuur 3 zijn de frequenties van de waterstanden berekend. Figuur 16 laat deze zien in de linker figuur. De groene lijn geldt voor het huidige meerpeil, en de rode lijn illustreert situatie met 30 cm meerpeilstijging. De verticale lijn geeft een terugkeertijd van 100 jaar aan, de horizontale lijnen de waterstanden die daarbij horen. In de rechterfiguur zien we de bodemhoogtes in het onderzochte gebied als histogram. De oevers liggen relatief hoog vergeleken met aangrenzende gemeenten. Als we de groene en rode lijn vergelijken met de bodemhoogtes, verwachten we niet dat er problemen optreden bij hoog water, niet met het huidige meerpeil en ook niet met een meerpeilstijging van 30 cm.

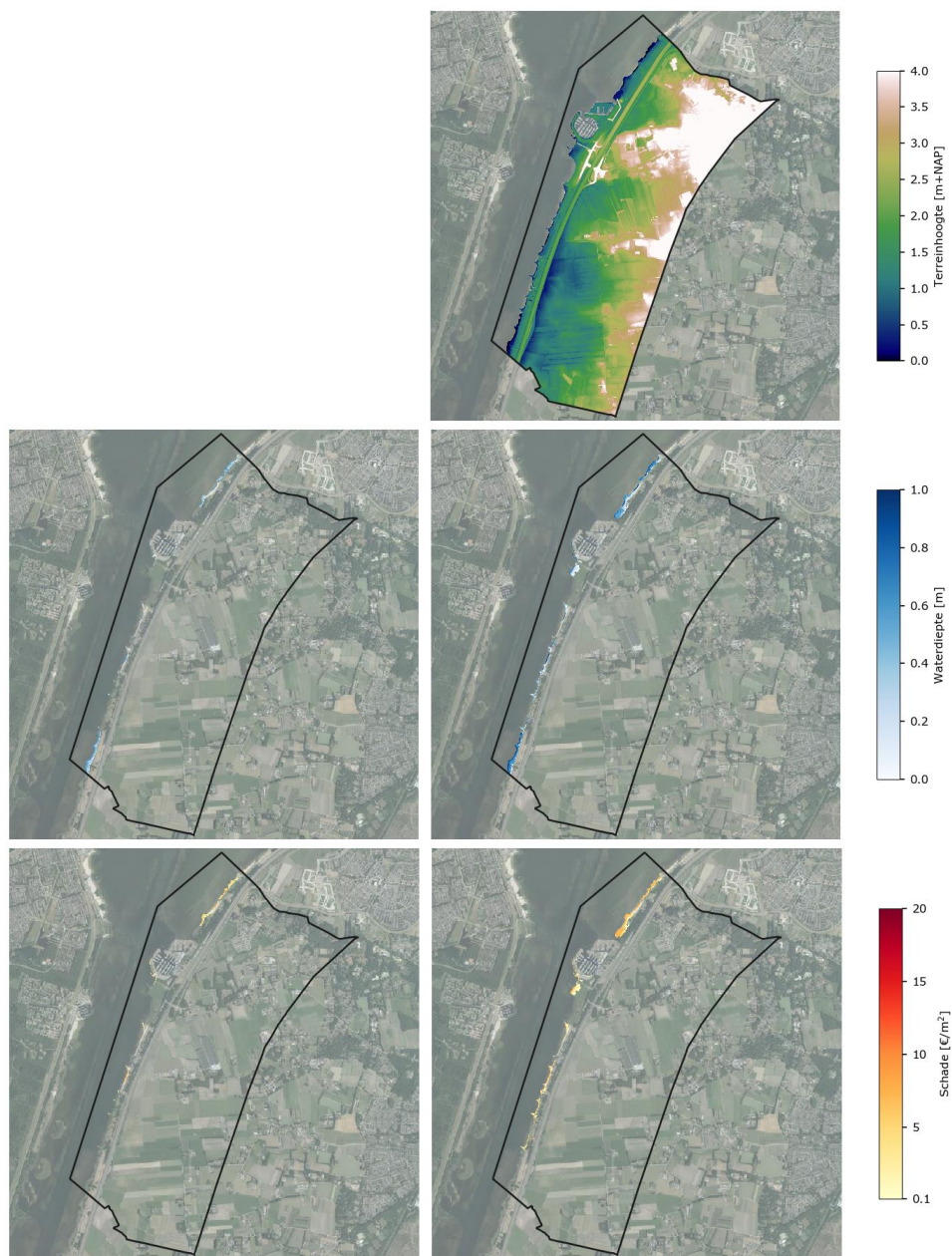
*Figuur 16
Waterstands-
frequenties en
bodemoogtes voor
Ermelo*



Figuur 17 geeft de resultaten voor bij een terugkeertijd van 100 jaar in meer detail weer. De bovenste figuur laat de bodemhoogtes zien voor het gebied langs de Veluwerandmeren. De tweede figuur toont de waterdieptes, die eens per 100 jaar optreden, voor het huidige meerpeil en 30 cm meerpeilstijging. De onderste figuur laat de bijbehorende schades zien. Deze zijn verwaarloosbaar. Eens in de 100 jaar bij het huidige klimaat 103 duizend euro schade. Tabel 6 laat de schades zien uitgesplitst naar type landgebruik. Alleen de types waarvoor schade optreedt zijn in deze tabel opgenomen.

Figuur 17
Bodemhoogte,
waterdiepte en
schades voor Ermelo
bij een herhalingstijd
van 100 jaar.

Voor de water-
dieptes en de
schades geeft de
linker figuur de
situatie met het
huidige meerpeil
weer en de rechter
figuur de situatie
met 30 cm meerpeil-
stijging



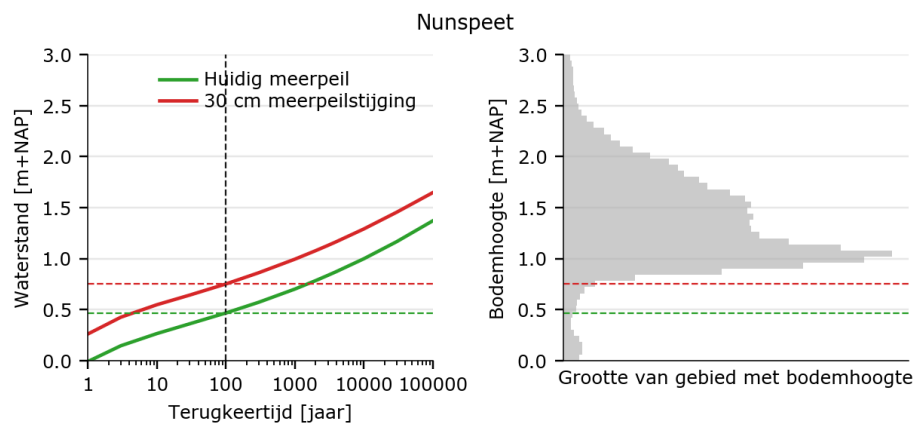
Tabel 6
Schades uitgesplitst
naar type
landgebruik voor
Ermelo voor T100 bij
het huidige meerpeil
en bij 30 cm
meerpeilstijging

Type landgebruik	Huidig meerpeil	30 cm meerpeilstijging	
Infrastructuur			
Overige wegen	-	k€	2
Overig			
Extensieve recreatie	-	k€	7
Intensieve recreatie	k€ 81	k€	275
Totaal	k€ 81	k€	284

Nunspeet

Figuur 18 laat de frequenties van de waterstanden bij Nunspeet zien in de linker figuur. De groene lijn geldt voor het huidige meerpeil, en de rode lijn illustreert situatie met 30 cm meerpeilstijging. De verticale lijn geeft een terugkeertijd van 100 jaar aan, de horizontale lijnen de waterstanden die daarbij horen. In de rechterfiguur zien we de bodemhoogtes in het onderzochte gebied als histogram. Waterstanden van 1,50 m+NAP zouden op basis van de figuur wateroverlast kunnen veroorzaken. Deze zijn echter zeer zeldzaam; bij een meerpeilstijging van 30 cm hoort hier een overschrijdingsfrequentie van 30.000 jaar bij.

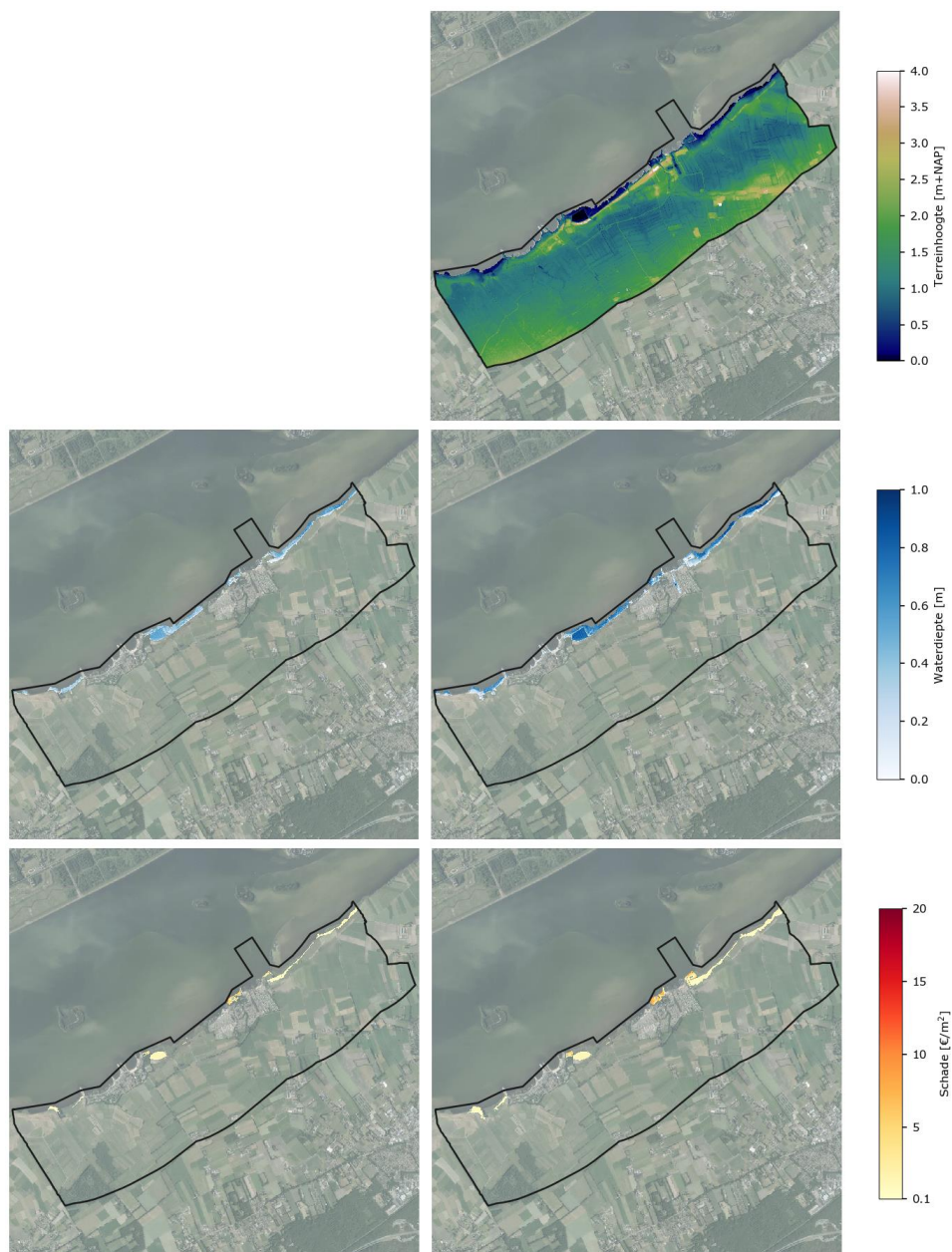
*Figuur 18
Waterstands-
frequenties en
bodemhoogtes voor
Nunspeet*



Figuur 19 geeft de resultaten voor bij een terugkeertijd van 100 jaar in meer detail weer. De bovenste figuur laat de bodemhoogtes zien voor het gebied langs de Veluwerandmeren. De tweede figuur toont de waterdieptes, die eens per 100 jaar optreden, voor het huidige meerpeil en 30 cm meerpeilstijging. De onderste figuur laat de bijbehorende schades zien. Deze zijn verwaarloosbaar. Tabel 7 laat de schades zien uitgesplitst naar type landgebruik. Alleen de types waarvoor schade optreedt zijn in deze tabel opgenomen.

Figuur 19
Bodemhoogte,
waterdiepte en
schades voor
Nunspeet bij een
herhalingstijd van
100 jaar.

Voor de water-
dieptes en de
schades geeft de
linker figuur de
situatie met het
huidige meerpeil
weer en de rechter
figuur de situatie
met 30 cm meerpeil-
stijging



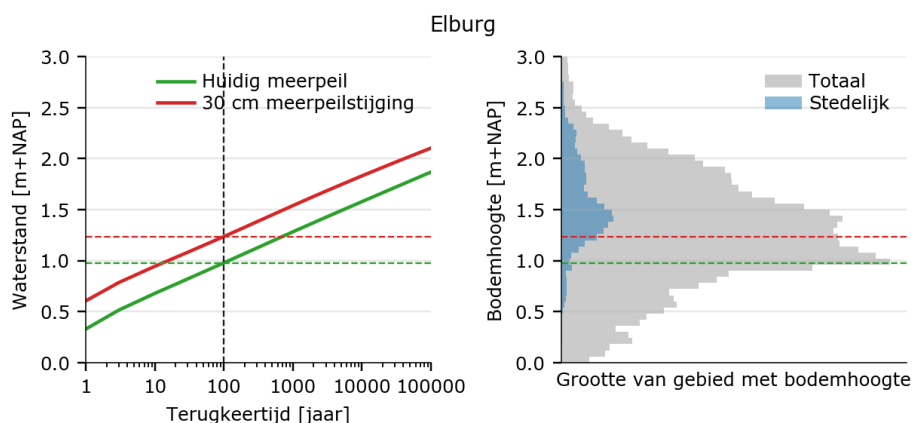
Tabel 7
Schades uitgesplitst
naar type
landgebruik voor
Nunspeet voor T100
bij het huidige
meerpeil en bij
30 cm
meerpeilstijging

Type landgebruik	Huidig meerpeil		30 cm meerpeilstijging	
Infrastructuur				
Overige wegen	-		k€	1
Overig				
Extensieve recreatie	k€	8	k€	23
Intensieve recreatie	k€	57	k€	146
Landbouw	k€	46	k€	88
Totaal	k€	111	k€	258

Elburg

Figuur 20 laat de frequenties van de waterstanden bij Elburg zien in de linker figuur. De groene lijn geldt voor het huidige meerpeil, en de rode lijn illustreert situatie met 30 cm meerpeilstijging. De verticale lijn geeft een terugkeertijd van 100 jaar aan, de horizontale lijnen de waterstanden die daarbij horen. De waterstanden bij Elburg zijn hoger dan voor de andere gemeenten, terwijl het gebied zelf relatief laag gelegen is. Vandaar dat een deel van het gebied ook door een primaire waterkering wordt beschermt. Een eens in de 100 jaar situatie geeft nog weinig problemen, maar voor hogere terugkeertijden kunnen grotere buitendijkse gebieden wateroverlast krijgen.

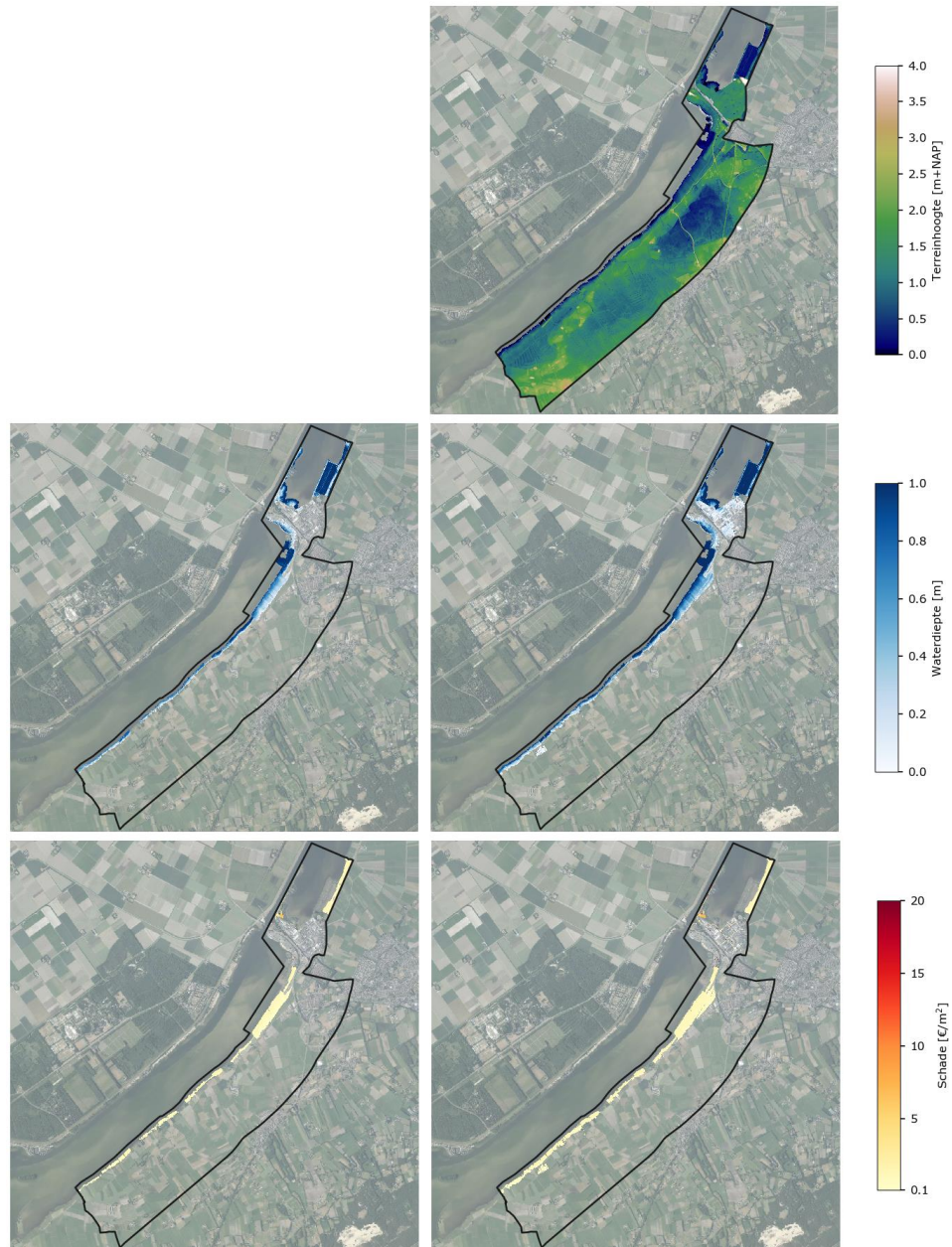
*Figuur 20
Waterstands-
frequenties en
bodemhoogtes voor
Elburg*



Figuur 21 geeft de resultaten voor bij een terugkeertijd van 100 jaar in meer detail weer. De bovenste figuur laat de bodemhoogtes zien voor het gebied langs de Veluwerandmeren. De tweede figuur toont de waterdieptes, die eens per 100 jaar optreden, voor het huidige meerpeil en 30 cm meerpeilstijging. De onderste figuur laat de bijbehorende schades zien. De schades voor Elburg zijn relatief hoog. Bij het huidige meerpeil komt dit voornamelijk door landbouw. Bij 30 cm meerpeilstijging breidt de schade zich ook uit naar aangrenzend bedrijventerrein (met hier en daar een woning), het recreatiepark en de RWZI. Hierdoor kunnen de schades flink oplopen. Deze abrupte toename van schade komt niet door de meerpeilstijging, maar omdat het kantelpunt tussen de 1 en 1,2 m+NAP zit. Voor een T1000 situatie gebeurt dit dus ook zonder meerpeilstijging. Tabel 8 laat de schades zien uitgesplitst naar type landgebruik. Alleen de types waarvoor schade optreedt zijn in deze tabel opgenomen.

*Figuur 21
Bodemhoogte,
waterdiepte en
schades voor Elburg
bij een herhalingstijd
van 100 jaar.*

*Voor de water-
dieptes en de
schades geeft de
linker figuur de
situatie met het
huidige meerpeil
weer en de rechter
figuur de situatie
met 30 cm meerpeil-
stijging*



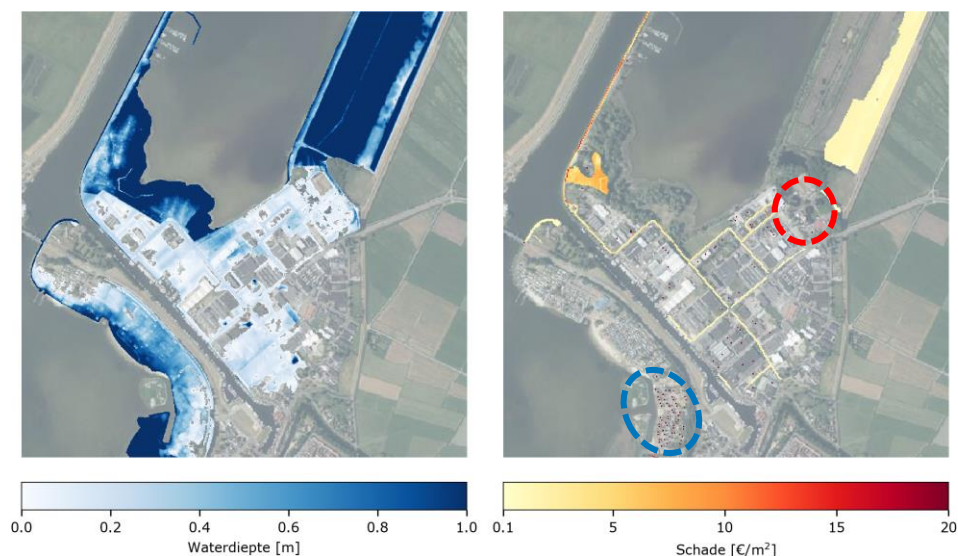
*Tabel 8
Schades uitgesplitst
naar type
landgebruik voor
Elburg voor T100 bij
het huidige meerpeil
en bij 30 cm
meerpeilstijging*

Type landgebruik	Huidig meerpeil	30 cm meerpeilstijging
Woningen		
Eengezinswoningen inboedel	k€ 24	k€ 86
Eengezinswoningen opstal	k€ 2	k€ 11
Eengezinswoningen uitval van woningdiensten	k€ 1	k€ 15
Bedrijven		
Bijeenkomst	k€ 59	k€ 163
Bijeenkomst bedrijfsuitval	k€ 13	k€ 202
Industrie	-	k€ 2439
Industrie bedrijfsuitval	-	k€ 147
Kantoor	-	k€ 97
Kantoorfunctie bedrijfsuitval	-	k€ 42
Infrastructuur		
Autowegen	k€ 2	k€ 3
Overige wegen	k€ 15	k€ 85
Overig		
Extensieve recreatie	k€ 45	k€ 64
Landbouw	k€ 431	k€ 678
Vervoermiddelen	k€ 2	k€ 7
Zuiveringsinstallaties	-	k€ 1959
Totaal	k€ 595	k€ 6.077

Bij Elburg geeft een T100 situatie met 30 cm meerpeilstijging redelijk veel schade. In tegenstelling tot de andere gemeenten is het hier niet gelimiteerd tot recreatiegebied en landbouw, maar zijn vooral het bedrijventerrein en de RWZI bepalend. We lichten het bedrijventerrein en de RWZI specifiek uit in Figuur 22.

*Figuur 22
Detailkaart
waterdiepte en
schade voor het
bedrijventerrein bij
Elburg. De kaarten
horen bij een T100
gebeurtenis met 30
cm meerpeilstijging.*

*De rode cirkel geeft
de locatie van de
RWZI aan. De
blauwe cirkel het
Recreatieoord
Veluwe Strandbad.*



Voor het afgebeelde scenario staat er verspreid over het bedrijventerrein een kleine waterlaag. Over het algemeen leidt dit tot weinig schade, maar voor een paar specifieke locaties (puntjes op de kaart) wel. Een van die punten is de RWZI, die met een rode cirkel is aangegeven. Hier staat een zeer kleine waterdiepte, die direct tot 2 miljoen euro schade leidt. Of deze waterstanden daadwerkelijk een probleem geven zal eerder afhangen van de indeling van de RWZI. Een tweede locatie waar schade optreedt is het recreatieoord Veluwe Strandbad. De puntjes binnen de blauwe cirkel geven de huisjes aan die wateroverlast ondervinden. Verder staat de infrastructuur onder water, wat de bedrijfsvoering kan verhinderen.

5 Kruiend ijs

Dit laatste hoofdstuk beschrijft een globale analyse van kruiend ijs op de Veluwerandmeren. Kruiend ijs komt na een langere periode van vorst, wanneer het dooiën samenvalt met aanlandige wind. Voor dijken of oeverbebouwing kan kruiend ijs schade veroorzaken. Twee afbeeldingen van kruien ijs zijn weergegeven in Figuur 23 afkomstig uit Verheij et al. (2004).

*Figuur 23
Links een foto van flinke ijsschotsen tot de berm van een dijk. Rechts kruiend ijs op de houtribdijk. Merk op dat de steenbekleding los is gekomen door het ijs.*



De analyse in dit hoofdstuk is opgesplitst in twee delen. In het eerste deel schatten we de kans op kruiend ijs. Vervolgens kijken we welke gebieden gevoelig zouden kunnen zijn voor schade door kruiend ijs.

5.1

Kans op kruiend ijs

Hoe vaak komt kruiend ijs (hypothetisch) voor op de zuidoever van de Veluwerandmeren? Voordat kruiend ijs optreedt, zal eerst ijs aanwezig moeten zijn. De vorming van ijs op meren is afhankelijk van meerdere factoren. Dit zijn onder andere: luchttemperatuur (vorst), windsnelheid, watertemperatuur, waterdiepte. Over het oppervlak van een meer zal de ijslaag niet overal even snel ontstaan en aangroeien door ruimtelijke variatie. Omgekeerd geldt dat ook voor de snelheid van het smelten bij dooi.

Wanneer bij dooi een westelijke tot noordwestelijke wind staat kan het ontstane ijs richting de zuidoostelijke oevers van de Veluwerandmeren geduwd worden. Dit is dan ook het moment dat opkruiend ijs een gevaar kan gaan vormen voor deze regio.

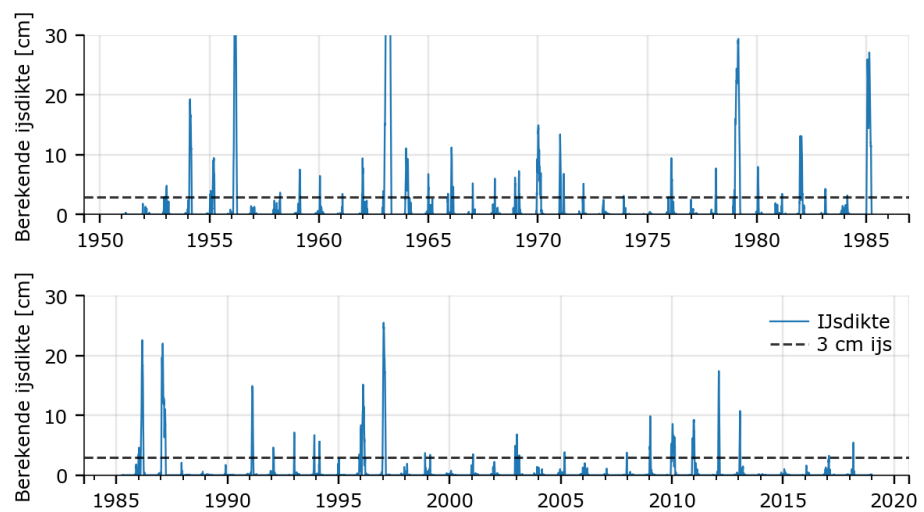
Omdat we niet de beschikking hebben tot metingen van de ijsdikte, maken we gebruik van een simpel ijsgroei-model. Hiermee bepalen we hoe vaak in de afgelopen decennia kruiend ijs een gevaar zou kunnen zijn. Het model werkt als volgt:

- Ijs groeit aan met een snelheid van 1 cm per 6 uur bij -5°C en 0 cm bij 0°C . We gaan uit van een lineair verband tussen deze punten.
- We nemen aan dat hetzelfde verband ook geldig is bij dooi, dus bij 5°C dooit ijs 1 cm per 6 uur.

- De gemeten temperatuur bij de Bilt is representatief voor de temperatuur op de Veluwerandmeren.
- Wanneer de berekende ijslaag 3 cm of dikker is geweest is er kans op kruierend ijs.
- Doordat het water op de Veluwerandmeren niet stilstaand is en gemaal Lovink veel kwelwater loost, is de ijsgroei trager. We verminderen daarom de ijsgroei met een factor 4. Dit is een grove schatting om de berekende ijsdikte overeen te laten komen met 'waarnemingen'.

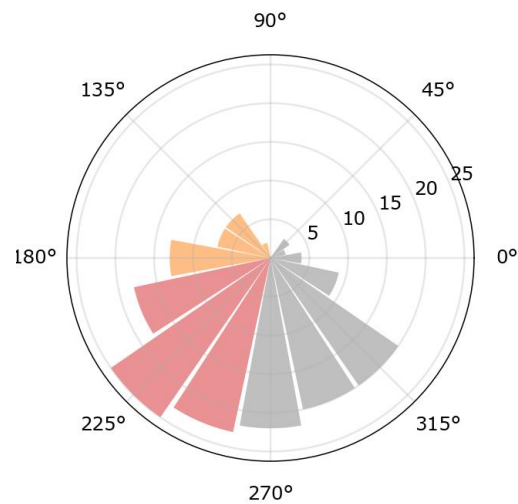
Onder deze aannames is de ijsdikte berekend aan de hand van temperatuurmetingen tussen 1950 tot met 2018 (databron: KNMI). De berekende gemiddelde ijsdikte is weergegeven in Figuur 24. De zwart gestippelde horizontale lijn geeft 3 cm ijs aan.

*Figuur 24
Berekende ijsdikte
volgens simpel
ijsdiktemodel. De
zwart gestippelde
lijn geeft het niveau
van 3 cm ijs aan.*



Tijdens de periodes met een ijsdikte van meer dan 3 cm (boven zwarte stippellijn) is bepaald wanneer de dooi inzet en aanhoudt voor meer dan 24 uur. Over die 24 uur is de windrichting bepaald (data: KNMI). De resultaten zijn weergegeven in de windroos in Figuur 25. De rood gekleurde windrichtingen kunnen gevaarlijk zijn bij Elburg, waar de oranje windrichtingen bij de alle gemeenten tot kruierend ijs kunnen leiden. Voor Elburg is dit 66 keer, voor de andere gemeenten 29 keer.

*Figuur 25
Windrichtingen
tijdens doorperiode
na vorst. De grote
van het 'blad' geeft
het aantal
gebeurtenissen in
die richting weer.*



De berekende waarden betreffen de afgelopen 70 jaar. Op basis van het verleden is de kans op kruierend ijs bij Elburg dus gemiddeld eens per jaar; bij de andere gemeentes is dat minder dan eens per twee jaar. Onder invloed van klimaatverandering zullen in alle KNMI-scenario's minder lange vorstperiodes voorkomen. Hierdoor zal de kans op opkruierend ijs in de toekomst verder afnemen.

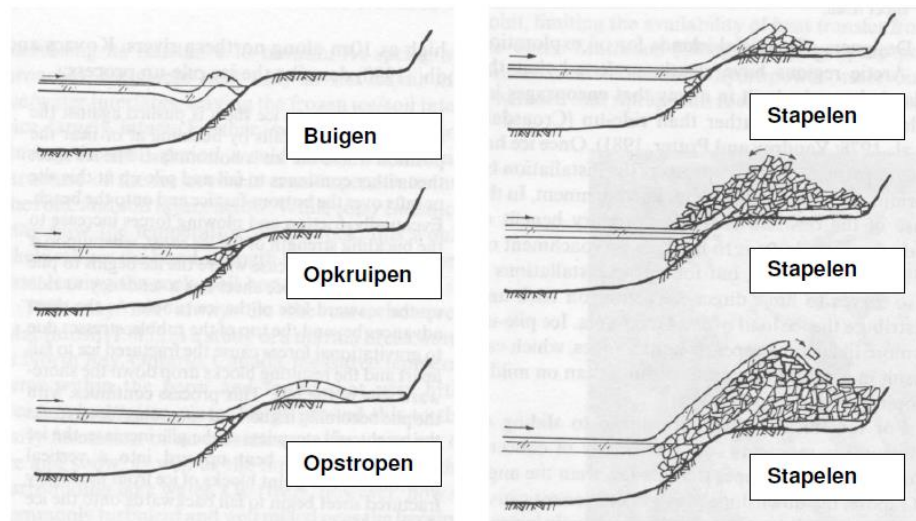
In deze paragraaf is een inschatting gegeven hoe vaak kruierend ijs voor kan komen op basis van een simpel ijsgroeimodel en een analyse van de windrichting tijdens dooi. Voordat het ijs daadwerkelijk gaat verplaatsen moet er ook nog enige windsnelheid zijn.

5.2

Schade door kruierend ijs

Over schade aan objecten die blootgesteld worden aan kruierend ijs is veel onderzoek gedaan voor rivierconstructies. Voor kruierend ijs langs meren is echter minder bekend. Om een inschatting te maken van de impact, beschouwen we eerste hoe kruierend ijs zich opstapelt bij een dijk. Figuur 26 geeft de verschillende fases van opstapelend kruierend ijs weer.

*Figuur 26
Verschillende fasen
in het opstapelen
van kruierend ijs tegen
een dijk.*



Deze fasen zijn getekend voor een dijk met een berm, waarbij het ijs tegen een berm drukt. Zou je de berm vervangen door een gebouw, dan krijg je een idee van de situaties waarin kruierend ijs tot schade kan leiden. Over het algemeen is dit dus een probleem voor bebouwing vlak langs de oevers.

Het overgrote deel van de oevers van de Veluwerandmeren is van zuidwest naar noordoost georiënteerd. Kruierend ijs is dus bij wind vanuit het westen tot noorden een potentieel gevaar. Bij Elburg ligt Recreatieoord Veluwe Strandbad dwars op het Veluwemeer. Hier is dus bij zuidwestelijke windrichtingen kans op kruierend ijs. Deze windrichtingen komen over het algemeen vaker voor, zie Figuur 25. Daarnaast zijn de strijklengtes in deze richting veel groter, zodat de hoeveelheid ijs die in beweging komt veel groter is.

5.3

Conclusie

Als we de besproken aspecten met betrekking tot kruierend ijs opsommen:

- De kans op een flinke ijslaag gevolgd door een periode van dooi met een ongunstige windrichting komt met enige regelmaat voor, de afgelopen 70 jaar enkele tientallen keren. Om tot kruierend ijs te komen is echter ook nog enige wind nodig.
- Het Veluwerandmeer is redelijk smal, waardoor er niet veel ijs in beweging komt. Voor het recreatiepark bij Elburg is dit echter niet het geval, omdat deze in het verlengde van de randmeren ligt.
- Door klimaatverandering komen steeds minder ijsperiodes voor, waardoor de kans op kruierend ijs afneemt.
- Kruierend ijs vormt alleen direct langs de oever een probleem.

Deze aspecten in beschouwing nemend verwachten we niet dat kruierend ijs een reëel gevaar vormt voor bebouwing rond de Veluwerandmeren. Bij het ontwikkelen van bouwplannen moet men er echter rekening mee houden dat het in de directe omgeving van de oever kan voorkomen.

6 Conclusies

In deze studie is onderzocht wat het effect van hoogwater op de buitendijkse gebieden langs de Veluwerandmeren is, nu en bij klimaatverandering. Uit deze studie kunnen we de volgende conclusies trekken:

- De stresstest laat zien dat een hoogwater dat eens per 100 jaar voorkomt geen of weinig wateroverlast geeft langs de Veluwerandmeren. De waterstanden die hierbij horen liggen voor de meeste locaties ruim onder het niveau waarbij wateroverlast optreedt. Significante wateroverlast treedt pas op bij zeer extreme gebeurtenissen die gemiddeld eens per 10.000 of 100.000 jaar voorkomen.
- Elburg is hierop een uitzondering, omdat een flinke zuidwesten storm hier relatief hoge waterstanden geeft. Wanneer een waterstand hoger dan 1,20 m+NAP (T1000 bij huidig peil) optreedt ontstaat bij Elburg significante wateroverlast.
- Doordat de wateroverlast beperkt is, valt de economische schade in de meeste gevallen ook laag uit. Wederom is Elburg hierop een uitzondering, waarbij vanaf T1000 grote schade kan optreden.
- De kans op slachtoffers door hoogwater op de Veluwerandmeren is zeer klein. In de berekende scenario's vallen geen slachtoffers. Dit komt door de aard van een eventuele overstroming. Het gaat niet om een dijkdoorbraak, eerder om water op straat.
- In het huidige peilbesluit wordt uitgegaan van 0 cm meerpeilstijging van het winterpeil bij klimaatverandering. Hoogwaters treden op in het winterhalfjaar, waardoor alleen het effect van klimaatverandering op het winterpeil van belang is. Voor de context is ook de situatie bij 30 cm peilstijging bepaald. Deze stijging maakt dat een waterstand of schade die nu eens per 1000 jaar voorkomt gemiddeld eens per 100 jaar voor gaat komen en een eens per 100 jaar situatie eens per 10 jaar.
- Naast hoge waterstanden kan ook golfoverslag bij tot wateroverlast leiden. Over het algemeen liggen de oevers hoog genoeg om dit geen probleem te laten zijn. Voor het recreatiegebied bij Elburg is dit wel een punt van aandacht.
- De kans op schade door kruierend ijs schatten we niet hoog in voor de Veluwerandmeren. Hiervoor is een significante ijsdikte nodig, in combinatie met een ongunstige wind en bebouwing vlak langs de oever. Door klimaatverandering neemt de kans hierop af. Kruierend ijs is net als golfoverslag wel een punt van aandacht voor bebouwing langs de oevers, vooral bij Elburg.

Dit rapport bevat geen aanbevelingen voor het nemen van maatregelen om eventuele wateroverlast te beperken. Als hier aanleiding voor is, is het aan de betreffende gemeenten om met het resultaat contact op te nemen met betrokken stakeholders. Samen met hen kan de gemeente bepalen of, hoe en wanneer maatregelen genomen moeten worden.

7 Referenties

KNMI, 2015

KNMI'14-klimaatscenario's voor Nederland - Leidraad voor professionals in klimaatadaptatie. KNMI, De Bilt, 34 pp.

Rijkwaterstaat, 2018

Peilbesluit IJsselmeergebied. Rijkwaterstaat, RWS-2018/16279, 14 juni 2018.

Verheij, H., E. Mosselman & C. Stolker, 2004

Kribben en ijsdammen. WL|Delft Hydraulics, Q3630, april 2004.

**Hoofdkantoor**

HKV lijn in water BV
Botter 11-29
8232 JN Lelystad
Postbus 2120
8203 AC Lelystad

Nevenvestiging

Informaticalaan 8
2628 ZD Delft

0320 29 42 42
info@hkv.nl
www.hkv.nl