

Bijlagen bij: De effecten van Zeespiegelstijging en Zandhonger op de Oosterschelde

December 2019



Bijlagen bij:

**De effecten van Zeespiegelstijging en Zand-
honger op de Oosterschelde**

December 2019

Mark Zandvoort

Els van der Zee

Vincent Vuik

In opdracht van Rijkswaterstaat Zee en Delta



Rijkswaterstaat



Tauw

Altenburg & Wymenga



ECOLOGISCH ONDERZOEK

HKV
LIJN IN WATER

Colofon

Utrecht / Middelburg, December 2019

Auteurs

Mark Zandvoort (Tauw BV), Els van der Zee (Altenburg & Wymenga) en Vincent Vuik (HKV Lijn in Water)

Gecontroleerd door

Martijn Gerritsen (Tauw BV)

Opdrachtgever

Rijkswaterstaat Zee en Delta
Eric van Zanten, Veerle Sperber en Gert-Jan Liek

Begeleidingsgroep

Leo Adriaanse (Rijkswaterstaat Z&D), Ruben Akkermans (Provincie Zeeland), Simon Brasser (Rijkswaterstaat Z&D), Arthur Kors (Rijkswaterstaat WVL), Quirijn Lodder (Rijkswaterstaat WVL), Arno Nolte (Deltares), Krijn Saman (Rijkswaterstaat Z&D) en Hans van der Sande (Waterschap Scheldestromen).

Contact

Mark Zandvoort
Tauw BV
Australiëlaan 5, Utrecht

Eric van Zanten
Rijkswaterstaat Zee en Delta
Poelendaelesingel 18, Middelburg

Postbus 3015
3502 GA Utrecht
Mark.zandvoort@tauw.com
T +31 6 1146 3822

Postbus 2232
3500 GE Utrecht
Eric.van.zanten@rws.nl
T +31 6 2299 1545

Referentie

Zandvoort M, van der Zee E & Vuik V (2019) *Bijlagen bij: De effecten van zeespiegelstijging en zandhonger op de Oosterschelde*. Behorend bij het eindrapport van de studie EZZO: Tauw BV, Altenburg & Wymenga en HKV Lijn in Water. I.o.v. Rijkswaterstaat Zee en Delta. Utrecht / Middelburg.

Copyright



Alles uit deze uitgave mag worden gekopieerd, gedistribueerd, vertoont, opgevoerd, gebruikt om afgeleid materiaal te maken en te gebruiken voor commerciële doeleinden, mits de auteurs bij alle werken vermeld worden en afgeleide werken onder identieke voorwaarden worden verspreid.

Disclaimer

Dit rapport is gebaseerd op de meest recente inzichten in het vakgebied. Desalniettemin moeten bij toepassing ervan de resultaten te allen tijde kritisch worden beschouwd. De auteurs (en daarmee Tauw BV, Altenburg & Wymenga, HKV Lijn in Water en Rijkswaterstaat Zee en Delta) kunnen niet aansprakelijk worden gesteld voor eventuele schade die ontstaat door toepassing van het gedachtegoed uit dit rapport.

Inhoud

Bijlage 1. Notitie alternatief sluitregime.....	5
Bijlage 2. Geïnterviewde personen.	28
Bijlage 3. Tabel met kantelpunten en oplossingen.....	29
Bijlage 4. Afname steltlopers.	35
Bijlage 5. Arealontwikkeling kerngebieden uit ANT.	36
Bijlage 6. Hoogtekaarten buitendijkse gebieden.....	38

Bijlage 1. Notitie alternatief sluitregime.

Verkenning sluitregime Oosterscheldekering

Effecten Zeespiegelstijging en Zandhonger
Oosterschelde (EZZO)

Opdrachtgever



Rijkswaterstaat



Verkenning sluitregime Oosterscheldekering



Effecten Zeespiegelstijging en Zandhonger
Oosterschelde (EZZO)

Eindrapport

Auteur
Vincent Vuik

PR3939.10
2 juli 2019

Inhoud

1	Introductie	1
1.1	Aanleiding	1
1.2	Doelstelling	1
1.3	Leeswijzer	2
2	Werkwijze	3
2.1	Sluiten op basis van golfoverslag	3
2.2	Waterstanden op de Oosterschelde	3
2.3	Golven op de Oosterschelde	5
2.4	Golfoverslaggebieden	6
2.5	Geotechnische faalmechanismen	7
2.6	Sluiten van de kering	8
3	Resultaten	11
3.1	Voorbeeld november 1993	11
3.2	Voorbeeld december 2013	15
3.3	Sluitduur en sluitfrequentie	19
3.4	Kwetsbare locaties	20
3.5	Discussie over resultaten	21
4	Conclusies	23
4.1	Conclusies	23
4.2	Aanbevelingen	23
5	Referenties	27

Introductie

Aanleiding

In de huidige situatie sluit de Oosterschelde op basis van de verwachting van de zeewaterstand. Als de zeewaterstand bij meetlocatie Roompot Buiten in de voorspellingen het niveau van 3,0 m+NAP gaat overschrijden, sluit de kering. Het tijdstip waarop de kering sluit wordt zodanig gekozen dat de waterstand op de Oosterschelde na sluiting ongeveer 1,0 m+NAP bedraagt. Als de kering gedurende meerdere hoogwaters gesloten moet worden, wordt een wisselstrategie aangehouden, waarbij gestreefd wordt naar een waterstand van 1, 2 en opnieuw 1 m+NAP tijdens de opeenvolgende sluitingen. Openen van de kering gebeurt als de waterstand aan weerszijden ongeveer gelijk is. Op die manier worden hoge stroomsnelheden voorkomen, omdat die de bodembescherming zouden kunnen aantasten.

Uit verschillende verkenningen volgt dat zeespiegelstijging zal leiden tot steeds vaker en langer sluiten van de Oosterscheldekering, als het sluitcriterium op basis van alleen de waterstand gehandhaafd blijft. Het sluitpeil van 3,0 m+NAP wordt dan steeds vaker overschreden, ook gedurende minder extreme stormen. De verkenning DHV (2007) geeft aan dat de sluitfrequentie van de Oosterschelde zal toenemen van de huidige 1,3 keer per jaar tot 10 keer per jaar over 100 jaar, bij 0,6 m zeespiegelstijging. Ook de recentere IVO-studie van Witteveen+Bos (2017) laat zien dat de kering bij zeespiegelstijging steeds vaker zal moeten sluiten, en bij extreme zeespiegelstijging zelfs min of meer permanent dicht zal moeten zijn (zie [Figuur 14](#)).

Vaak en/of lang sluiten is ongewenst vanuit ecologisch en economisch perspectief. Daarnaast zijn er kosten verbonden aan elke sluiting. Het is daarom zaak om te voorkomen dat de kering sluit wanneer dat niet noodzakelijk is. Dit zou bijvoorbeeld het geval kunnen zijn bij grote zeespiegelstijging in combinatie met springtij, maar met slechts een zwakke wind. Waterstanden zijn dan wel hoog, maar er is geen risico voor de dijken rond de Oosterschelde. Daarom verkennen we in deze studie hoe windsnelheid en windrichting betrokken kunnen worden bij het sluitcriterium.

Deze verkenning is onderdeel van de studie Effecten Zeespiegelstijging en Zandhonger Oosterschelde (EZZO), uitgevoerd door Tauw, HKV en Altenburg & Wymenga in opdracht van Rijkswaterstaat Zee en Delta.

Doelstelling

De doelstelling van deze studie is te verkennen of er vanuit het perspectief van waterveiligheid ruimte aanwezig is om de Oosterscheldekering minder vaak en lang te hoeven sluiten, door het sluitcriterium niet puur te baseren

op de voorspelde zeewaterstand, maar door ook de wind en bijbehorende waterstanden en golven bij de dijken rond de Oosterschelde bij het sluitcriterium te betrekken.

Leeswijzer

Hoofdstuk 2 beschrijft de werkwijze die gehanteerd is. Hoofdstuk 3 toont de resultaten. Hoofdstuk 4 bevat conclusies en aanbevelingen.

Werkwijze

Sluiten op basis van golfoverslag

De werkwijze is gebaseerd op de veronderstelling dat de Oosterscheldekering niet hoeft te sluiten, als er bij een geopende kering geen noemenswaardige golfoverslag optreedt bij de dijken rond de Oosterschelde. In paragraaf 0 zal daarop enige nuance worden aangebracht. De basis van de analyse wordt gevormd door tijdreeksen van wind en waterstand voor de periode vanaf de aanleg van de Oosterscheldekering tot heden, ofwel de jaren 1988 tot en met 2018.

Voor deze periode is de volgende werkwijze gehanteerd:

- Berekenen van tijdreeksen van waterstanden op de Oosterschelde, gegeven gemeten tijdreeksen van de zeewaterstand en wind, gecombineerd met zeespiegelstijging, bij een open Oosterscheldekering.
- Berekenen van tijdreeksen van golven bij locaties rond de Oosterschelde, gegeven de tijdreeksen van waterstand en wind.
- Berekenen van tijdreeksen van het golfoverslagdebiet over de keringen op locaties rond de Oosterschelde, gegeven dijkprofielen, tijdreeksen van waterstand en golven.
- Bepalen van het aantal sluitingen en de totale sluitduur van de Oosterscheldekering, op basis van tijdreeksen van zeewaterstand, waterstanden op de Oosterschelde of golfoverslagdebieten.

Elk van deze stappen wordt in de volgende paragrafen nader toegelicht.

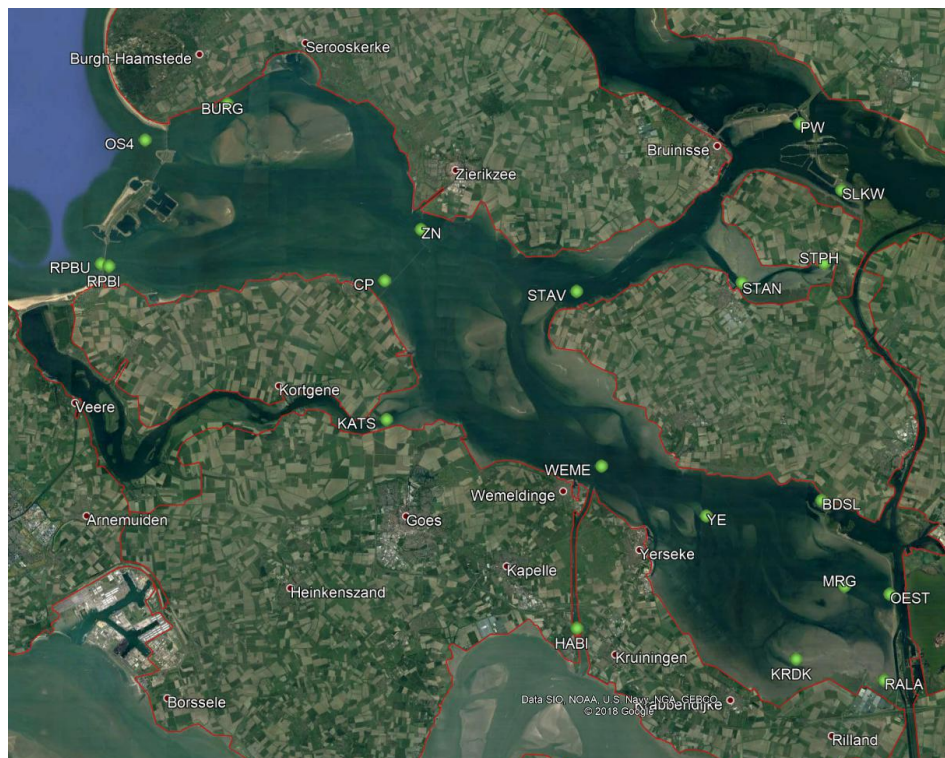
Waterstanden op de Oosterschelde

Tijdreeksen van waterstanden op de Oosterschelde zijn berekend door Rijkswaterstaat met het IMPLIC-model voor de Oosterschelde, waarin de Oosterscheldekering in open toestand is geforceerd, ongeacht de zeewaterstand. Input voor deze berekeningen bestond uit de gemeten zeewaterstand bij locatie Roompot Buiten (RPBU in [Figuur 1](#)), en de gemeten windsnelheid en windrichting bij Oosterschelde 4 (OS4 in [Figuur 1](#)). Vervolgens zijn de waterstanden op de Oosterschelde berekend bij verhoging van de zeewaterstand met zeespiegelstijging. Voor de zeespiegelstijging is het bereik van 0,00 tot 3,00 m aangehouden, met stappen van 0,25 m. [Figuur 1](#) toont de uitvoerlocaties van het IMPLIC-model in de Oosterschelde.

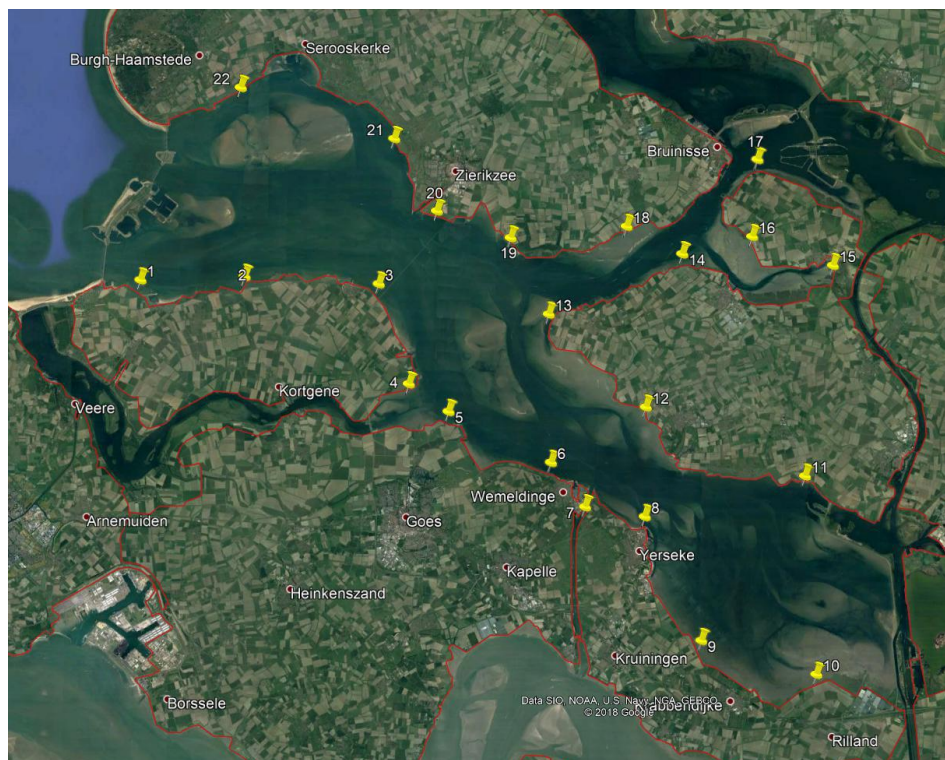
De berekening van golfoverslagdebieten is uitgevoerd voor 22 locaties rond de Oosterschelde, zie [Figuur 2](#) en [Tabel 1](#). De modelresultaten van IMPLIC zijn aan elk van deze 22 locaties gekoppeld door de dichtstbijzijnde IMPLIC uitvoerlocatie te selecteren.

Om rekestijden te beperken, is per uur de maximale waterstand bepaald uit de 10-minutengemiddelde rekenresultaten van IMPLIC. Aan deze waterstand worden in de vervolgstappen golven en golfoverslaggebieden gekoppeld.

*Figuur 1
Uitvoerlocaties van het IMPLIC-model in de Oosterschelde (groene bolletjes)*



*Figuur 2
Locaties rond de Oosterschelde waarvoor de berekening van golfoverslaggebieden is uitgevoerd (gele markers)*



Tabel 1
Beschouwde locaties, bijbehorende coördinaten, normtraject, dijknormaal-richtingen en kruinhoogtes

Locatie	x (RD) [m]	y (RD) [m]	Tra- ject	Dijkpaal [hm]	Dijk-nor- maal [gr.N.]	Kruin- hoogte [m+NAP]
loc01	38459	402130	28-1	1,928	50	7,93
loc02	43475	402326	28-1	1,868	50	8,02
loc03	49609	402032	28-1	1,798	50	6,64
loc04	51056	397595	28-1	1,733	170	6,19
loc05	52931	396099	30-1	1,664	30	6,34
loc06	57730	393738	30-1	1,596	20	7,09
loc07	59403	391706	31-2	1,422	300	5,01
loc08	62177	391263	31-2	1,377	320	7,53
loc09	64750	385501	31-2	1,305	70	6,74
loc10	70234	383924	31-2	1,235	340	7,21
loc11	69650	393443	27-2	1,063	180	5,93
loc12	62330	396440	27-2	962	260	7,29
loc13	57824	400674	27-2	888	300	7,78
loc14	63872	403438	27-2	811	350	6,29
loc15	71051	403022	27-2	719	280	6,30
loc16	67249	404440	27-1	659	250	6,47
loc17	67357	407851	27-1	608	340	6,79
loc18	61209	405019	26-3	342	170	6,04
loc19	56010	404450	26-3	283	220	7,59
loc20	52426	405724	26-3	229	200	7,18
loc21	50619	409013	26-2	154	240	7,74
loc22	43054	411411	26-2	40	150	5,76

Golven op de Oosterschelde

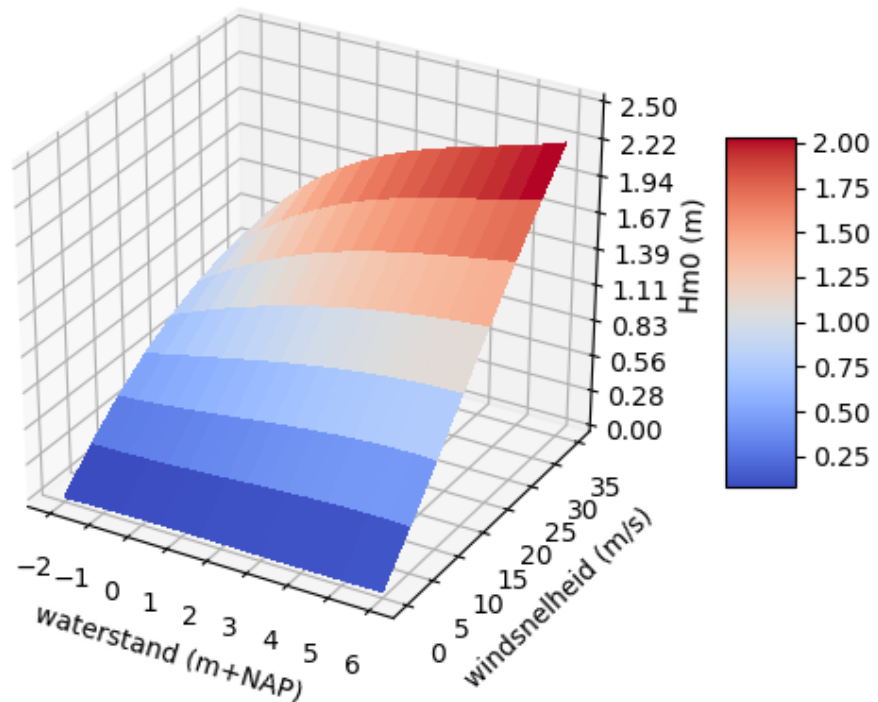
Tijdreeksen van golven bij de 22 locaties uit [Figuur 2](#) zijn bepaald met tijdreeksen van waterstanden (maximum per uur), windsnelheid en windrichting (KNMI, locatie Vlissingen, uurgemiddelden). De wind bij Vlissingen wordt geacht representatief te zijn voor de wind boven de Oosterschelde. Voor het bepalen van golven is gebruik gemaakt van de concept golvendatabase voor WBI-2023, waarin de resultaten van SWAN-berekeningen zijn opgenomen.

De golfhoogte, golfperiode en golfrichting zijn als volgt bepaald:

1. Bepalen van de windrichting in de golvendatabase (stappen van 22,5 graden) die het dichtst bij de windrichting bij Vlissingen ligt;
2. Voor deze windrichting is in Python een bivariate spline gefit door de combinaties van waterstand, windsnelheid en de betreffende golfparameter. Deze operatie geeft bijvoorbeeld de geïnterpoleerde significante golfhoogte, gegeven de waterstand en de windsnelheid, zie [Figuur 3](#).

- Vervolgens zijn de significante golfhoogte H_{m0} , de spectrale gemiddelde golfperiode $T_{m-1,0}$ en de gemiddelde golfrichting bepaald door de windsnelheid en waterstand uit de tijdreeks in te voeren in de bivariate spline.

*Figuur 3
Voorbeeld van een bivariate spline voor het interpoleren tussen golfhoogtes in de golvendatabase*



Na deze stap zijn er voor alle beschouwde waarden voor de zeespiegelstijging tijdreeksen met uurwaarden beschikbaar van de wind (uurgemiddelden), waterstand (maximum per uur), en bijbehorende golven.

Golfoverslaggebieten

Voor de 22 locaties zijn dijkprofielen en dijknormalen toegeleverd door waterschap Scheldestromen. Dijkprofielen zijn gebaseerd op de profielen uit 2010, waarbij voor sommige trajecten geldt dat de dijkprofielen (met name de hoogtes van de buitenberm), zijn aangepast in het project Zeeweringen. Bij deze verkennende studie is hier geen rekening mee gehouden.

Samen met de waterstand en golven is dit voldoende voor het berekenen van een golfoverslagdebiet. Om er rekening mee te houden dat er mogelijk minder gunstige locaties aanwezig zijn tussen de 22 locaties, zijn er twee aanpassingen gedaan:

De kruinhoogte van de dijk is 0,50 m lager gekozen.

De hoek van golfinval is met 45 graden verminderd richting loodrechte golfinval.

Figuur 4 laat zien hoe sterk de dijknormaal kan variëren tussen twee uitvoerlocaties uit *Figuur 2*. Dit houdt in dat de golven wel schuin kunnen invallen bij de locatie zelf, maar mogelijk veel meer loodrecht op de dijk op een

nabijgelegen andere locatie langs de dijk. Op deze manier is enig conservatisme ingebracht.

De golfoverslagdebieten zijn vervolgens berekend door een aanroep van de module (dll-bestand) voor golfoverslag en golfoploop, die ook door Hydra-NL wordt gebruikt. Deze module gebruikt de volgende input: het dijkprofiel, de kruinhoogte, de ruwheid van het talud (glad: 1,0), de dijknormaal, de golf-richting, significante golfhoogte en spectrale gemiddelde golfperiode.

*Figuur 4
Voorbeeld van variatie van de dijknormaal tussen twee beschouwde locaties. De rode lijn toont de locatie van de primaire waterkering.*



Na deze stap is er ook een tijdreeks van golfoverslagdebieten beschikbaar voor de 22 locaties, met een waarde per uur. Uiteindelijk is het maximale golfoverslagdebiet bepaald over de 22 locaties. Op basis van deze maximale waarde per uur is in paragraaf 0 bepaald of de kering gesloten moet worden.

Geotechnische faalmechanismen

De beschouwing in de voorgaande paragrafen is geheel gebaseerd op de veronderstelling dat golfoverslag het maatgevende faalmechanisme is. Als hoge waterstanden gedurende lange tijd worden overschreden, zouden er echter ook problemen kunnen ontstaan voor de faalmechanismen macrostabiliteit en piping. Omdat deze faalmechanismen vooral reageren op langdurige belasting, zijn zij in getijdewater (met sterk fluctuerende waterstanden) niet snel maatgevend. Zeespiegelstijging zou deze situatie echter kunnen veranderen.

Om die reden is in samenspraak met Waterschap Scheldestromen als pragmatische eerste slag een extra facet aan het sluitcriterium toegevoegd,. De kering sluit niet alleen bij een overschrijding van het kritieke golfoverslagdebiet, maar ook als bij een open kering het oude MHW zou worden overschreden bij minimaal één van de locaties (Maatgevend HoogWater, de waterstand bij een overschrijdingsfrequentie van 1/4000^e per jaar volgens de HR2006). Achterliggende gedachte is dat eventuele problemen met stabiliteit en piping

bij de afgekeurde trajecten in 2010 zijn opgelost, waarbij destijds getoetst werd op MHW. Mogelijk zijn de keringen ook in staat om hogere (piek)waterstanden dan MHW te keren, maar hiervoor is een meer gedetailleerde analyse noodzakelijk. Het MHW varieert tussen 3,5 en 4,0 m+NAP op de 22 locaties rond de Oosterschelde, zie [Tabel 2](#). Daar waar het berekende prestatiepeil al dicht bij het MHW ligt, zal bij zeespiegelstijging naar verwachting al snel een overschrijding van het MHW optreden.

*Tabel 2
Verskil tussen het MHW uit 2006 en het berekende prestatiepeil bij een overschrijdingsfrequentie van 1/4000 per jaar voor de 22 locaties uit Tabel 1. (Bron: toelevering Waterschap Scheldestromen)*

Locatie	x (RD) [m]	y (RD) [m]	MHW 2006 [m+NAP]	Prestatiepeil [m+NAP]	Overschot [m]
loc01	38459	402130	3,45	3,14	0,31
loc02	43475	402326	3,45	3,13	0,32
loc03	49609	402032	3,45	3,17	0,28
loc04	51056	397595	3,45	3,14	0,31
loc05	52931	396099	3,45	3,13	0,32
loc06	57730	393738	3,55	3,21	0,34
loc07	59403	391706	3,55	3,26	0,29
loc08	62177	391263	3,75	3,34	0,41
loc09	64750	385501	3,85	3,33	0,52
loc10	70234	383924	3,95	3,85	0,10
loc11	69650	393443	3,75	3,57	0,18
loc12	62330	396440	3,65	3,31	0,34
loc13	57824	400674	3,55	3,26	0,29
loc14	63872	403438	3,55	3,37	0,18
loc15	71051	403022	3,85	3,49	0,36
loc16	67249	404440	3,70	3,42	0,28
loc17	67357	407851	3,70	3,51	0,19
loc18	61209	405019	3,55	3,29	0,26
loc19	56010	404450	3,45	3,15	0,30
loc20	52426	405724	3,45	3,15	0,30
loc21	50619	409013	3,45	3,18	0,27
loc22	43054	411411	3,45	3,19	0,26

Sluiten van de kering

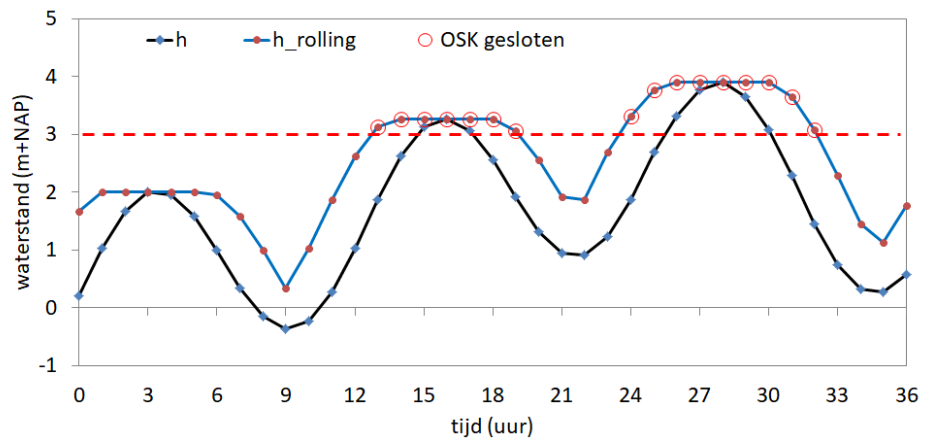
Voor het sluiten van de kering zijn drie verschillende criteria toegepast:

1. Overschrijding van de zeewaterstand van 3,0 m+NAP bij Roompot Buiten (afkorting RPBU in de figuren);
2. Overschrijding van een maximaal toelaatbaar golfoverslagdebiet op één of meer locaties rond de Oosterschelde;
3. Overschrijding van het MHW op één of meer locaties rond de Oosterschelde.

Als criterium voor de maximaal toelaatbare golfverslag is een golfverslag-debiet van 0,1 l/s/m aangehouden. Deze waarde wordt vaak gezien als het begin van golfverslag. Achterliggende gedachte is dat de Oosterscheldekering niet pas gesloten wordt als de achterliggende dijken zich op de grens van falen door golfverslag bevinden, maar dat golfverslag in principe geheel voorkomen moet worden. Ook met het huidige sluitregime treedt er nooit golfverslag op.

Voor de toestand van de kering is eveneens een tijdreeks ontwikkeld, met de waarden 0 (open) of 1 (gesloten). De gesloten toestand wordt toegekend voor de hoogwaters waarin het golfverslagdebiet of de waterstand bij één of meerdere locaties het betreffende criterium overschrijdt. De kering is gesloten gedurende de overschrijding (minimaal 1 uur), en de 2 uren daarvoor en daarna. De sluitduur is daarmee 5 uur of meer, afhankelijk van de tijdsduur van de overschrijding. Het sluiten 2 uur voor en na de overschrijdingen is opgelegd aan de tijdreeksen via een rolling window met een lengte van 5 uur, zie *Figuur 5*. In het centrum van dit window wordt het maximum van de waterstand of golfverslagdebiet over het window [-2, -1, 0, 1, 2 uur] toegepast. Vervolgens wordt op basis van het resultaat van het rolling window de kering geopend of gesloten.

Figuur 5
Voorbeeld van het toepassen van een rolling window met een lengte van 5 uur, voor het sluiten van 2 uur voor tot 2 uur na overschrijdingen van een criterium.



Als de kering tijdens twee opeenvolgende hoogwaters zou sluiten, wordt de kering niet geopend als deze anders slechts 1 of 2 uur open zou zijn, gelet op de traagheid van de procedure van openen en opnieuw sluiten. De kering wordt dus alleen voor 3 of meer opeenvolgende uren geopend. Voor het openingsmoment wordt geen rekening gehouden met verval over de kering.

Resultaten

Voorbeeld november 1993

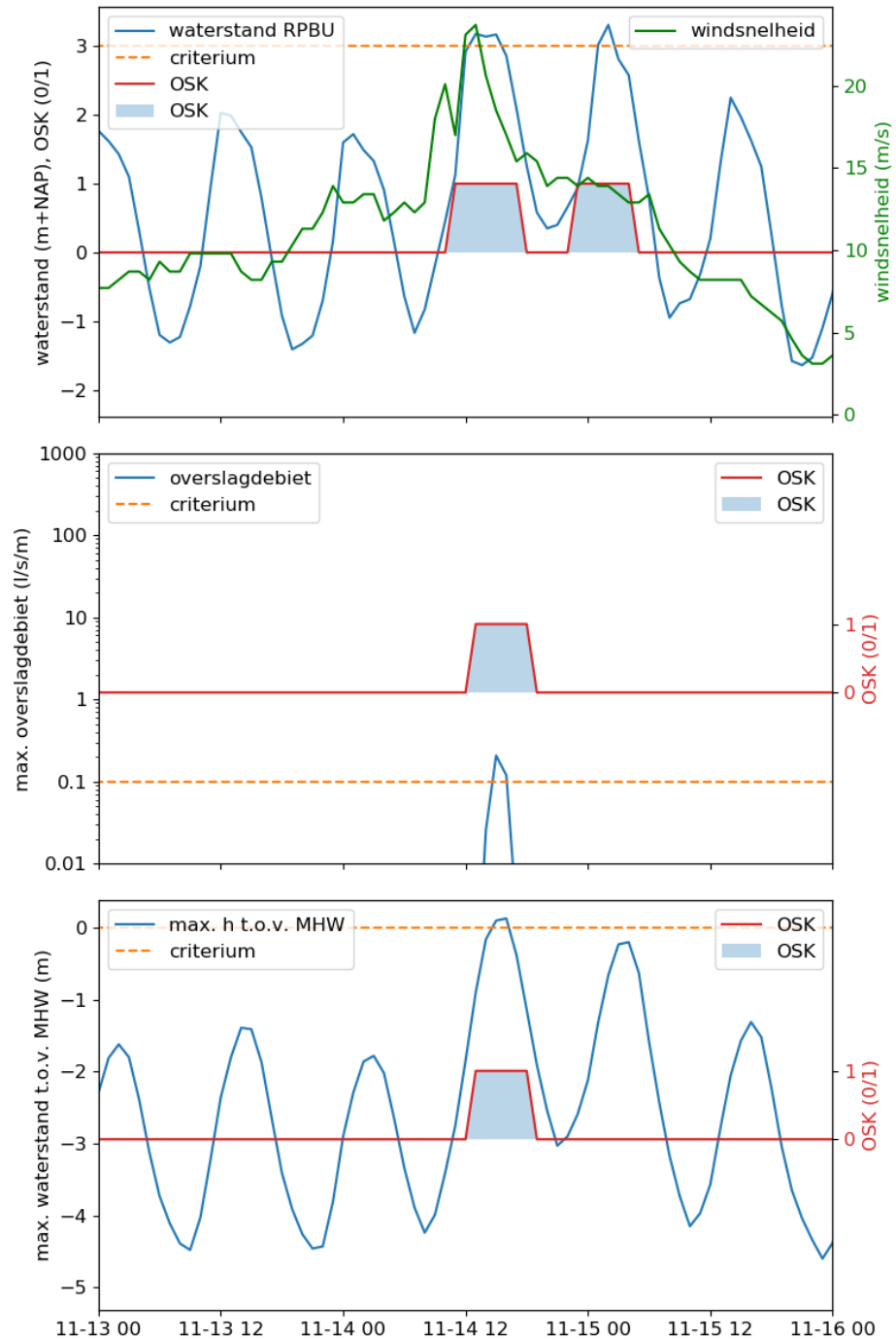
In het bovenste deel van *Figuur 6* is te zien wat de zeewaterstand bij Roompot Buiten is geweest, op basis waarvan de kering op 14-15 november 1993 gedurende twee hoogwaters is gesloten. In deze figuur is ook zichtbaar dat de wind tijdens het tweede hoogwater al sterk was afgenomen. Het middelste deel van de figuur toont het berekende overslagdebiet, waarbij het maximum is genomen over de 22 locaties. Alleen tijdens het eerste hoogwater werd het criterium van 0,1 l/s/m overschreden. Op basis van golfoverslag zou de kering dus maar tijdens 1 getij hoeven te sluiten. Hetzelfde geldt voor sluiten op basis van waterstanden op de Oosterschelde, zoals weergegeven in het onderste deel van de figuur. Alleen tijdens het eerste hoogwater werd op minimaal 1 van de 22 locaties het MHW uit de HR2006 (dat is: de waterstand bij een terugkeertijd van 4000 jaar) overschreden.

Figuur 7 laat zien hoe de situatie wijzigt als de storm van november 1993 was opgetreden na 1 meter zeespiegelstijging. Het 3 m+NAP niveau bij Roompot Buiten zou dan gedurende vier hoogwaters worden overschreden. Op basis van golfoverslag of waterstanden intern op de Oosterschelde zou de kering gedurende twee hoogwaters dicht moeten.

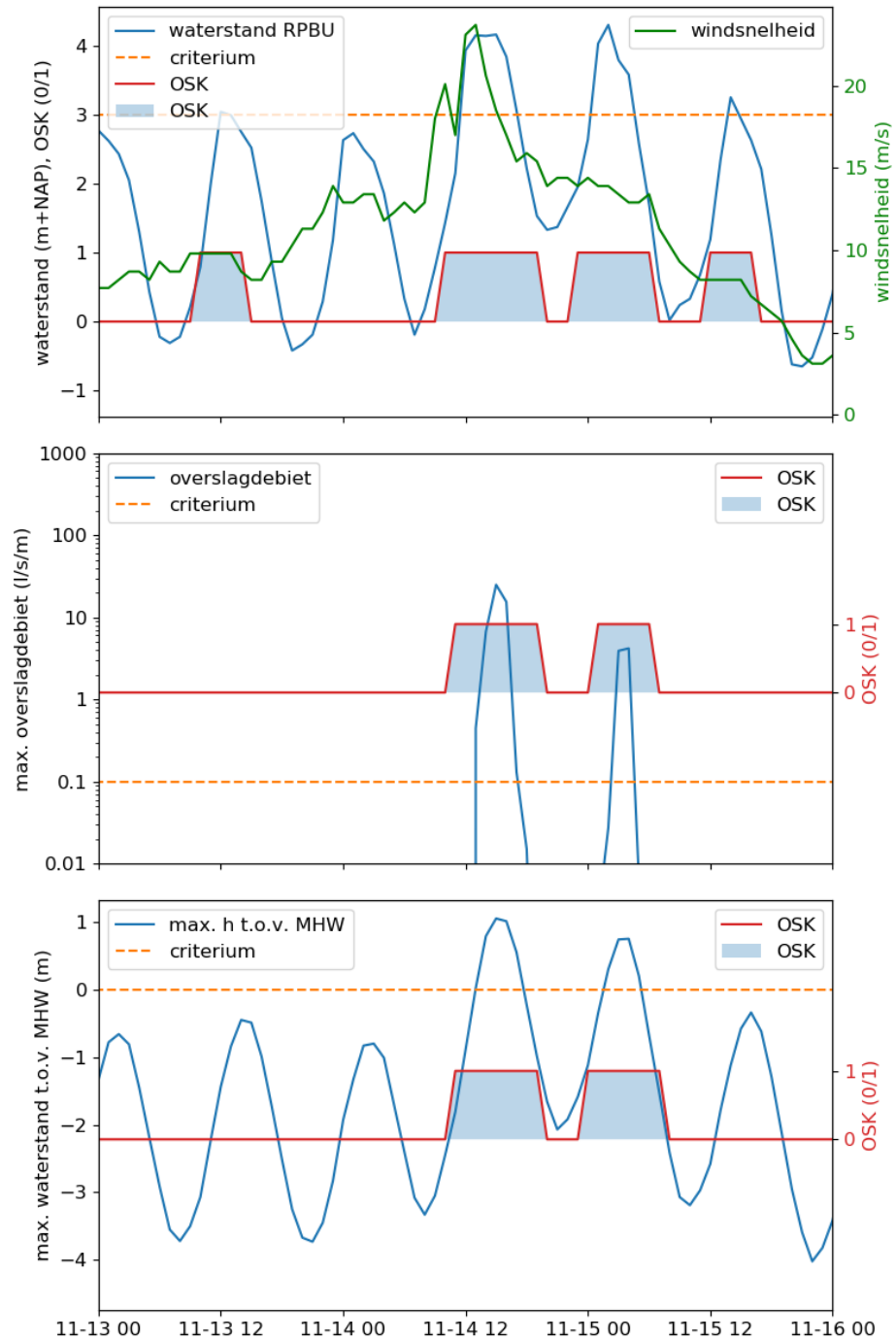
Figuur 8 toont de situatie bij 2 meter zeespiegelstijging. Op basis van zeewaterstanden of waterstanden op de Oosterschelde (criterium 1 of 3 uit paragraaf 0) fungeert de kering in deze periode als een hoogwaterkering, in plaats van als een stormvloedkering. Alleen bij laagwater opent de kering gedurende enkele (minimaal 3) uren. Het golfoverslagcriterium wordt alleen overschreden in situaties met harde wind bij Vlissingen (ongeveer 15 m/s en hoger).

Bij 3 meter zeespiegelstijging is de kering in alle gevallen (nagenoeg) permanent dicht. Daarom zijn er geen figuren met het rekenresultaat bij deze zeespiegelstijging opgenomen.

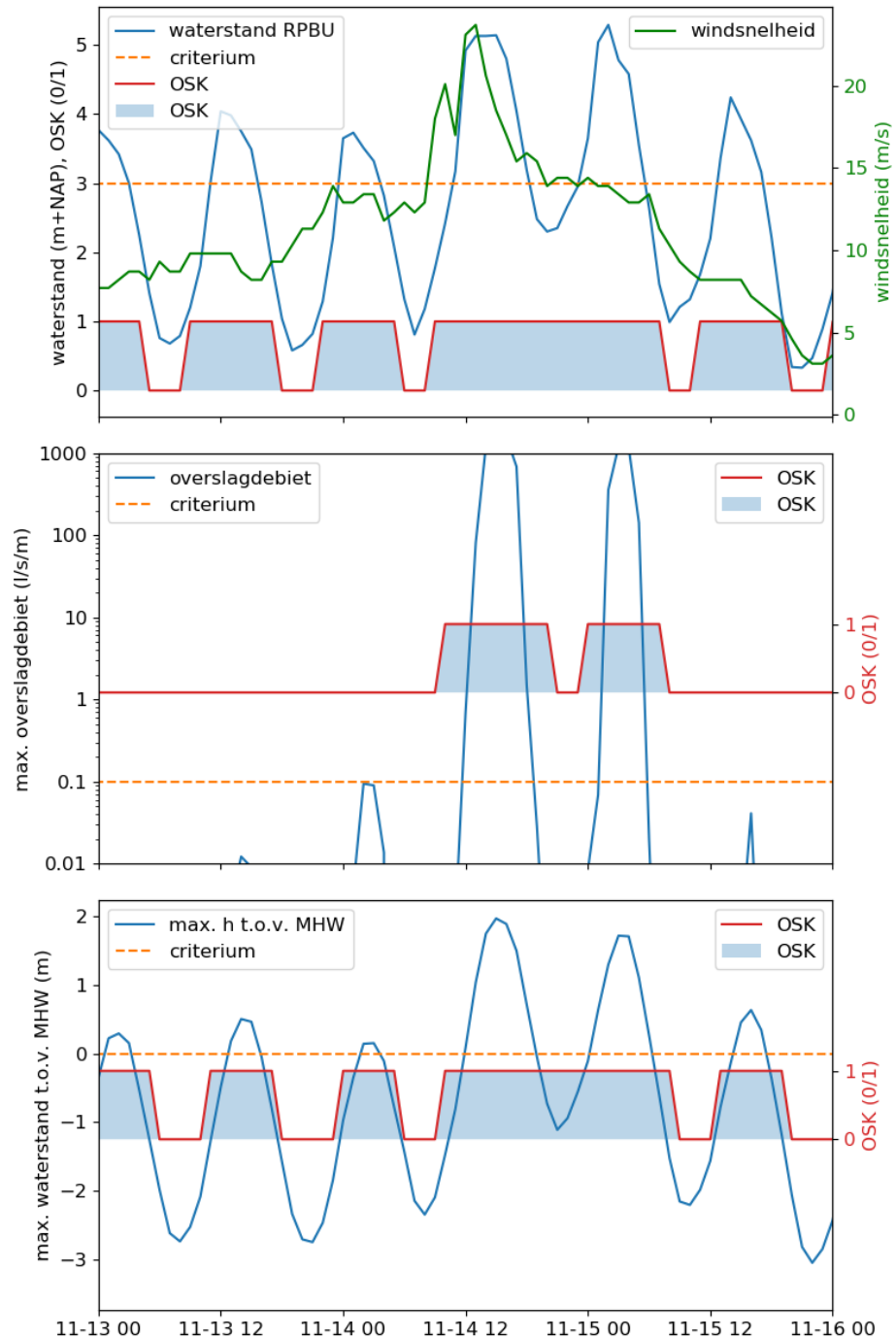
Figuur 6
 Sluiting Oosterschel-
 dekering in novem-
 ber 1993 **zonder**
zeespiegelstijging,
 op basis van water-
 stand (boven), over-
 slagdebiet (midden)
 of waterstand t.o.v.
 MHW (onder).
 Oranje lijnen: crite-
 ria. Rode lijnen: slui-
 ting OSK.



Figuur 7
 Sluiting Oosterschel-
 dekering in novem-
 ber 1993 bij **1 m**
zeespiegelstijging,
 op basis van water-
 stand (boven), over-
 slagdebiet (midden)
 of waterstand t.o.v.
 MHW (onder).
 Oranje lijnen: crite-
 ria. Rode lijnen: slui-
 ting OSK.



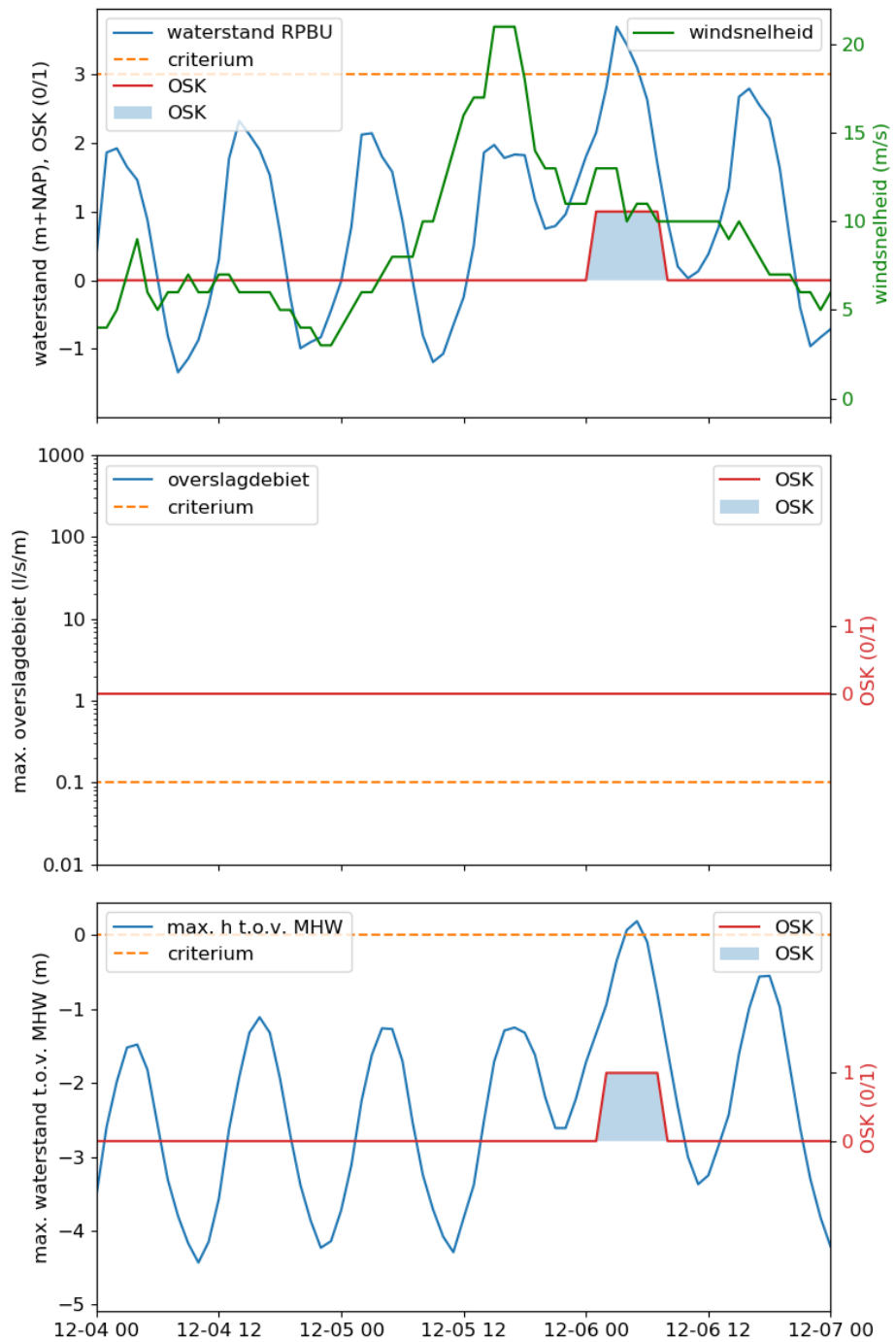
Figuur 8
 Sluiting Oosterschel-
 dekering in novem-
 ber 1993 bij **2 m**
zeespiegelstijging,
 op basis van water-
 stand (boven), over-
 slagdebiet (midden)
 of waterstand t.o.v.
 MHW (onder).
 Oranje lijnen: crite-
 ria. Rode lijnen: slui-
 ting OSK.



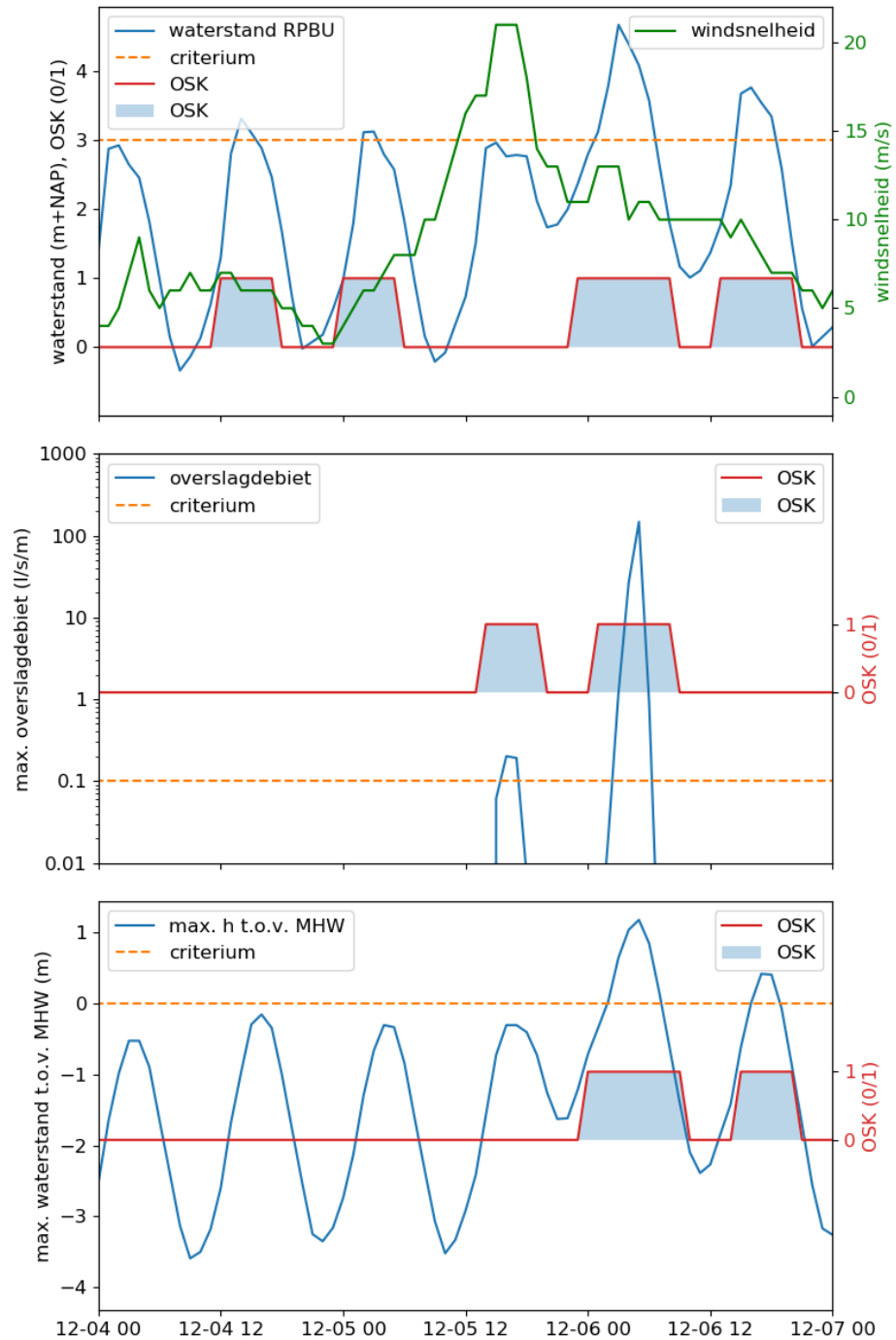
Voorbeeld december 2013

Onderstaande figuren tonen hetzelfde als de figuren in de vorige paragraaf, maar dan voor de storm van 5-6 december 2013. Die storm werd gekenmerkt door een hoge windsnelheid zonder verhoogde waterstand tijdens het eerste hoogwater, en een zeer hoge waterstand in combinatie met een afgezwakte wind tijdens het tweede hoogwater (*Figuur 9*). Beide situaties leiden niet tot golfoverslag. Golfoverslag boven 0,1 l/s/m treedt pas op bij 1 meter zeespiegelstijging (*Figuur 10*). Vanwege de ruimte tussen MHW-niveaus op de Oosterschelde en het sluitcriterium van 3,0 m+NAP zit er wel een verschil in sluiten op basis van zeewaterstand en op basis van waterstanden ten opzichte van MHW.

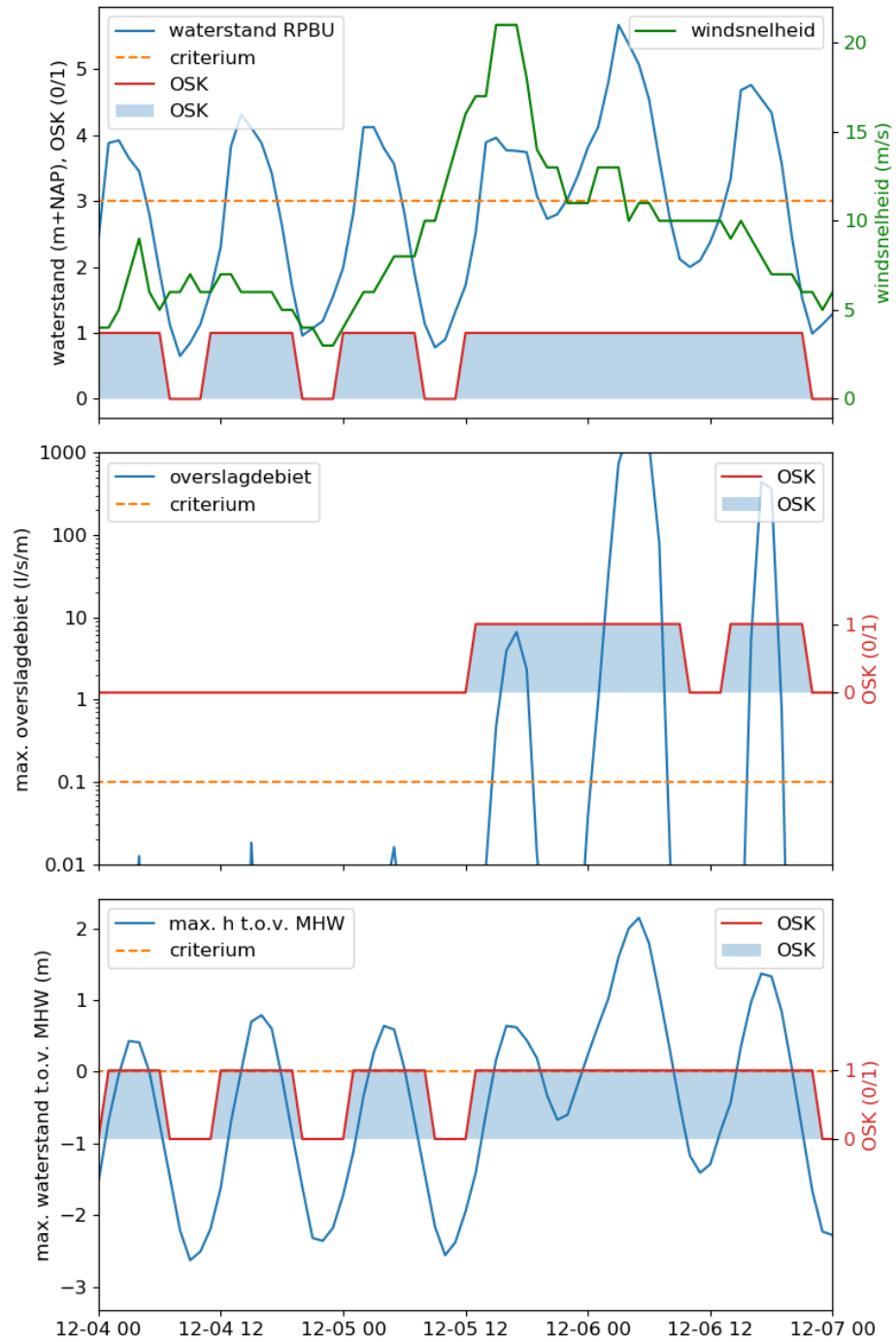
Figuur 9
 Sluiting Oosterscheldeking in december 2013 **zonder zeespiegelstijging**, op basis van waterstand (boven), overslagdebiet (midden) of waterstand t.o.v. MHW (onder). Oranje lijnen: criteria. Rode lijnen: sluiting OSK.



Figuur 10
 Sluiting Oosterschel-
 dekering in decem-
 ber 2013 bij **1 m**
zeespiegelstijging,
 op basis van water-
 stand (boven), over-
 slagdebiet (midden)
 of waterstand t.o.v.
 MHW (onder).
 Oranje lijnen: crite-
 ria. Rode lijnen: slui-
 ting OSK.



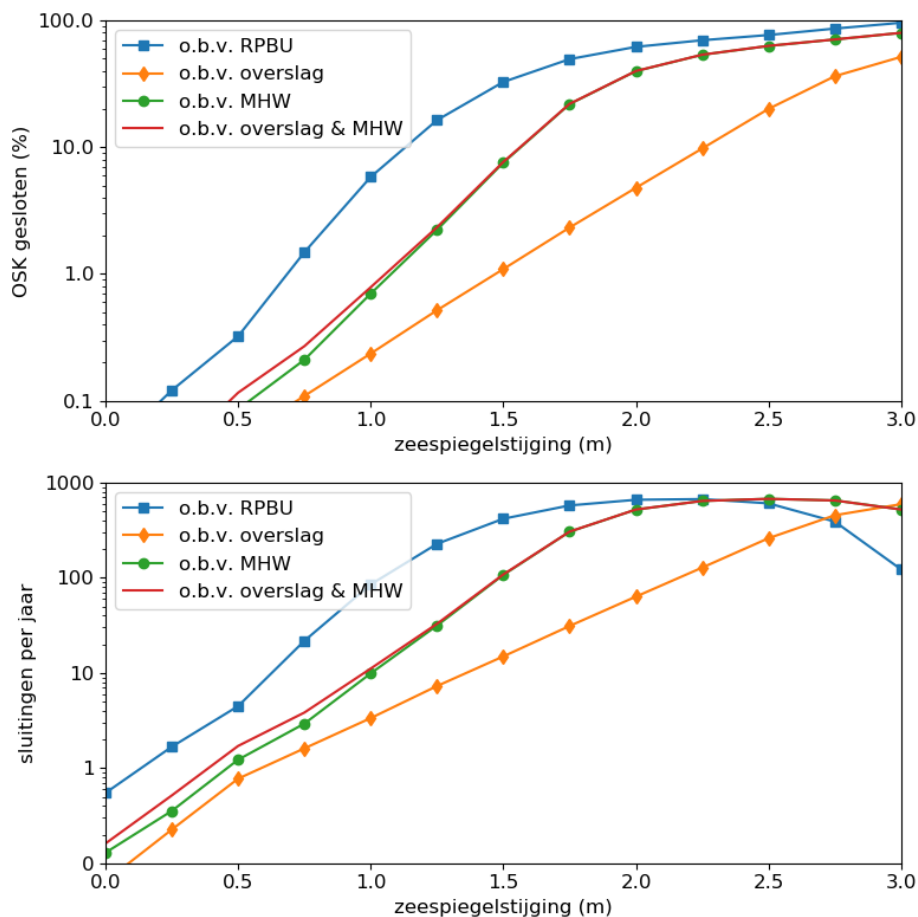
Figuur 11
*Sluiting Oosterschel-
 dekering in decem-
 ber 2013 bij 2 m*
zeespiegelstijging,
 op basis van water-
 stand (boven), over-
 slagdebiet (midden)
 of waterstand t.o.v.
 MHW (onder).
 Oranje lijnen: crite-
 ria. Rode lijnen: slui-
 ting OSK.



Sluitduur en sluitfrequentie

De verschillende sluitcriteria leiden elk tot een ander aantal sluitingen en totale sluitduur per jaar, zie *Figuur 12* en *Tabel 3*.

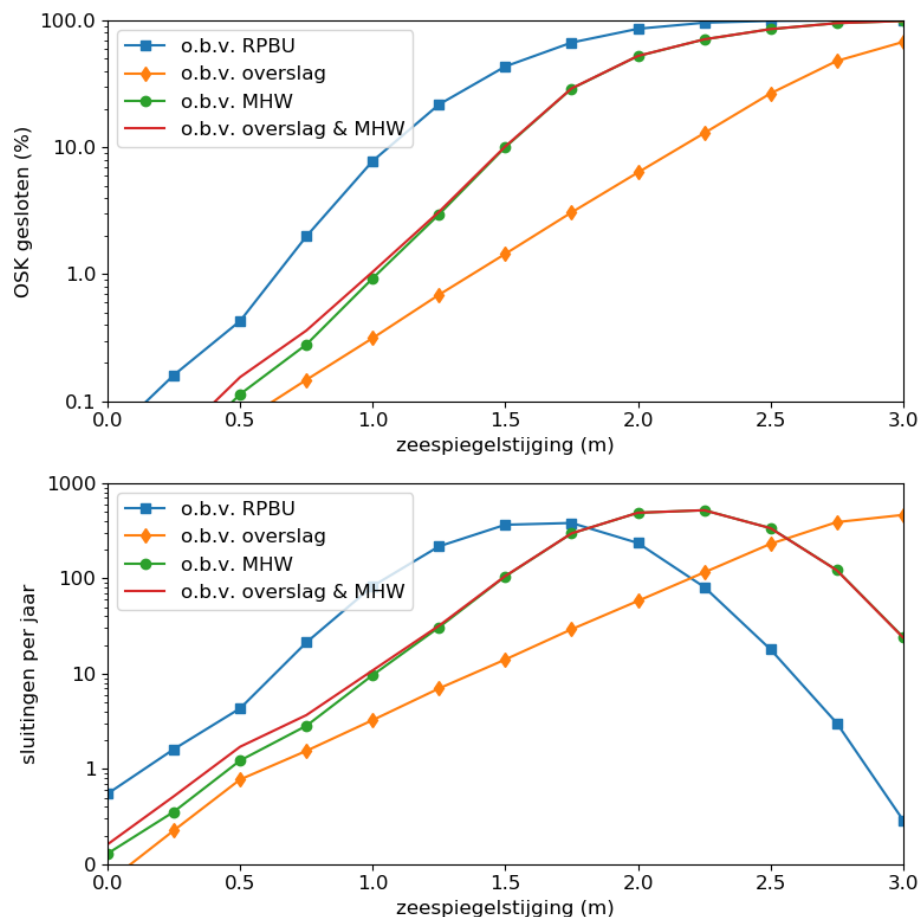
Figuur 12
Percentage van de tijd waarvoor de Oosterscheldekering is gesloten, gebaseerd op criteria voor zeewaterstand, overslagdebiet, MHW of een combinatie daarvan. Sluiten en openen bepaald op basis van rolling window van 5 uur.



Tabel 3
Getalswaarden bij *Figuur 12*. Getallen bij MHW in combinatie met overslag zijn nagenoeg gelijk aan getallen bij alleen het MHW-criterium, en daarom niet opgenomen in de tabel.

zss	Sluitingen per jaar			Percentage van tijd dicht		
	o.b.v. →	RPBU	q _{max}	MHW	RPBU	q _{max}
0,00	0,5	0,1	0,1	0,0%	0,0%	0,0%
0,25	1,7	0,2	0,4	0,1%	0,0%	0,0%
0,50	4,5	0,8	1,2	0,3%	0,1%	0,1%
0,75	22	2	3	1,5%	0,1%	0,2%
1,00	85	3	10	5,8%	0,2%	0,7%
1,25	228	7	31	16,3%	0,5%	2,2%
1,50	418	15	107	32,7%	1,1%	7,5%
1,75	577	31	305	49,5%	2,3%	21,9%
2,00	662	63	522	61,8%	4,8%	39,8%
2,25	674	128	644	69,7%	9,8%	53,5%
2,50	607	261	678	76,6%	20,0%	62,9%
2,75	391	455	652	86,2%	36,3%	70,7%
3,00	123	595	524	95,7%	51,5%	79,7%

Figuur 13
Gevoeligheidsana-
lyse ten opzichte
van Figuur 12 met
een rolling window
van 7 in plaats van 5
uur.



Kwetsbare locaties

In *Tabel 4* is per locatie uit *Figuur 2* te zien in hoeveel uren er in de berekeningen met open kering het golfoverslagcriterium overschreden wordt, en dat bij verschillende waarden voor zeespiegelstijging. Zonder zeespiegelstijging treden de overschrijdingen op bij locatie 11 (zuidzijde van Tholen, nabij de Bergse Diepsluis) en locatie 18 (zuidzijde Schouwen-Duiveland, ter hoogte van Oosterland). Dit blijven ook de locaties waar bij zeespiegelstijging veel golfoverslag plaatsvindt. Vanaf 2 meter zeespiegelstijging wordt locatie 7 ook bepalend. Dit is langs het kanaal door Zuid-Beveland, waarlangs lage dijken liggen. Er is hier nauwelijks sprake van golfwerking, maar bij grote zeespiegelstijging ontstaat overloop, of kunnen lage golven al tot ontoelaatbare golfoverslag leiden. Andere locaties met meer dan 10 uur aan overschrijdingen bij 1 m zeespiegelstijging zijn de locaties 6 (noordzijde Zuid-Beveland, bij Wemeldinge), 14 en 15 (noordzijde van Tholen, langs de Krabbenkreek), 19 en 21 (zuidzijde Schouwen-Duiveland, rond Zierikzee). Bij andere locaties is meer hoogte-overschot aanwezig.

Tabel 4
Aantal uren met een
overschrijding van
het criterium voor
het overslagdebiet
per locatie en per
zeespiegelstijging
(zss) voor de gehele
tijdreeks

zss	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
loc01	0	0	0	0	0	5	72
loc02	0	0	0	0	0	2	46
loc03	0	0	0	5	35	157	566
loc04	0	0	1	20	245	2325	11831
loc05	0	0	5	42	214	1311	6064
loc06	0	2	14	75	267	876	2635
loc07	0	0	29	227	2153	16704	56928
loc08	0	0	6	55	190	746	2531
loc09	0	0	0	9	61	283	1445
loc10	0	0	1	14	85	348	1409
loc11	2	23	116	410	1614	7302	25836
loc12	0	0	3	18	91	467	1909
loc13	0	0	1	10	69	266	987
loc14	0	3	26	141	672	2991	11904
loc15	0	2	25	144	794	3299	10940
loc16	0	0	6	53	262	1170	4175
loc17	0	0	0	2	33	203	1249
loc18	2	15	122	878	4019	12192	27771
loc19	0	6	36	131	452	1256	2951
loc20	0	0	3	16	74	261	780
loc21	0	7	48	192	565	1545	3418
loc22	0	0	6	95	905	5410	17497

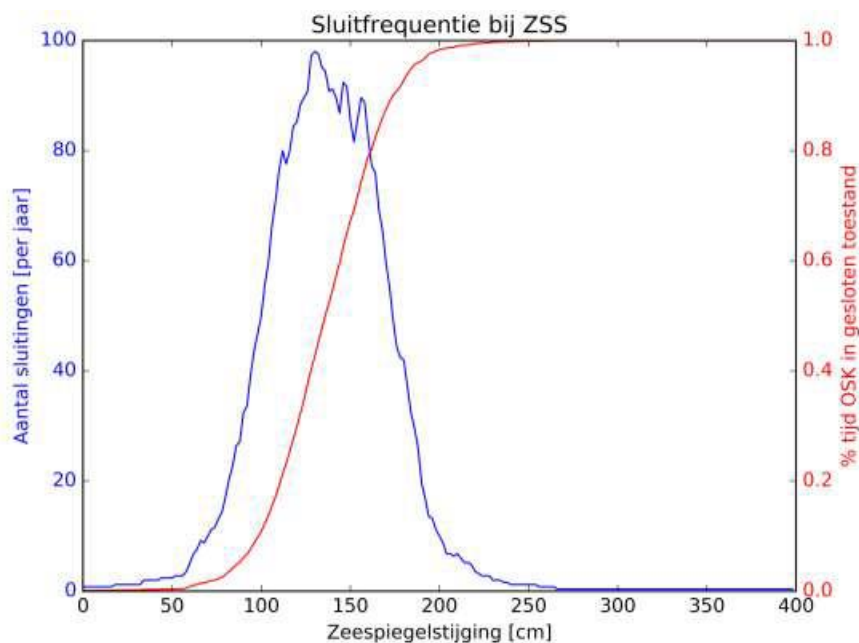
Overschrijdingen van MHW-standen treden bij alle locaties nagenoeg bij dezelfde zeespiegelstijging op. Dit komt doordat MHW-standen (uit de HR2006) geen indicatie zijn van de sterkte, maar alleen van de belasting bij een terugkeertijd van 4000 jaar. Deze getallen geven dus geen indicatie van de geotechnische stabiliteit van de dijken (macrostabiliteit en piping). Daarvoor geldt dat hoofdzakelijk Tholen en Schouwen gevoelige trajecten kennen (informatie waterschap Scheldestromen).

Discussie over resultaten

Op dit moment sluit de kering ongeveer 1 keer per 2 jaar volgens deze berekening. Dit is minder dan de werkelijke aantal sluitingen van 27 keer in 33 jaar, wat onder andere verband houdt met het sluiten op verwachtingen in plaats van metingen, en daarmee samenhangend, de doorwerking van onzekerheid in de voorspellingen van de zeewaterstand. De voorspelkracht is sinds de aanleg van de Oosterscheldekering verbeterd. Vanaf 2000 is de kering 7 maal gesloten in 20 jaar. Bij 0,5 m zeespiegelstijging zou de sluitfrequentie volgens de rekenresultaten 5 keer per jaar zijn, bij handhaven van sluiten bij een zeewaterstand van 3,0 m+NAP. Bij hogere zeespiegelstijging begint het aantal sluitingen sterk op te lopen, met 85 per jaar bij 1,0 m en 418 per jaar bij 1,5 m zeespiegelstijging. Bij zeespiegelstijging boven 2,25 m

begint het aantal sluitingen (wisselingen van open naar gesloten toestand) af te nemen, doordat de kering dan steeds vaker meerdere getijden aaneengesloten dicht moet blijven. De totale sluitduur in Witteveen+Bos (2017) ligt hoger, zie [Figuur 14](#). Volgens die studie is de kering vanaf een zeespiegelstijging van ongeveer 2,0 m permanent dicht. De relatief lange sluitduur en lage sluitfrequentie in deze figuur zijn het gevolg van de gehanteerde 24 uur als sluitduur per sluiting, wat langer is dan de werkelijke situatie.

*Figuur 14
Verband tussen zeespiegelstijging, aantal sluitingen per jaar en totale sluitduur (fractie) volgens Witteveen+Bos (2017).*



Het criterium met MHW-niveaus is duidelijk stringenter dan het criterium met een toelaatbaar golfoverslagdebiet. Deze twee criteria leiden in combinatie namelijk tot vrijwel hetzelfde resultaat als enkel het criterium met MHW-niveaus. Toch bestaan er uitzonderlijke situaties waarbij de kering sluit op basis van golfoverslag, en niet op basis van MHW-niveaus, zie de onderste twee grafieken van [Figuur 10](#). Dit is het geval bij zeer harde wind en beperkte hoogwaterstanden. Toepassing van MHW-niveaus biedt ongeveer ruimte voor 0,5 m zeespiegelstijging, wat logisch is, gezien het verschil tussen de MHW-standen (3,5-4,0 m+NAP) en het sluitcriterium bij Roompot Buiten (3,0 m+NAP).

Mogelijk kunnen de keringen ook hogere waterstanden aan, en zijn er bij bereiken van MHW nog in het geheel geen problemen met piping en macrostabieleit. In dat geval wordt het criterium met een toelaatbaar golfoverslagdebiet bepalend, en is er nog duidelijk minder vaak en lang sluiten van de kering noodzakelijk. Tot 1,0 m zeespiegelstijging hoeft de kering gemiddeld slechts 3 keer per jaar dicht om te hoge golfoverslag te voorkomen. De totale sluitduur blijft tot en met 2,0 m zeespiegelstijging kleiner dan 5% van de tijd. Deze getallen horen zelfs bij een reeks conservatieve uitgangspunten: een verlaagde kruin, een laag kritiek overslagdebiet, en een ongunstig gekozen dijknormalrichting.

Conclusies

1.1 Conclusies

Sluiten op criterium waterstand

Op dit moment wordt de Oosterscheldekering gesloten als de verwachte zee-waterstand bij Roompot Buiten het niveau van 3,0 m+NAP gaat overschrijden. Als dit sluitcriterium gehandhaafd wordt, zal de kering naar verwachting gemiddeld 85 keer per jaar moeten sluiten bij een zeespiegelstijging van 1 m, en 662 keer per jaar bij 2 m. De kering zal dan respectievelijk 6% en 62% van de tijd gesloten zijn (*Figuur 12*).

Sluiten op criterium golfoverslag

De sluitfrequentie zou veel lager zijn, als deze pas gesloten wordt op het moment dat er zonder sluiting enige golfoverslag over de dijken rond de Oosterschelde zou plaatsvinden. Voor golfoverslag is namelijk gelijktijdig een hoge waterstand en harde wind nodig. Bij toepassing van een criterium van 0,1 l/s/m blijft de totale sluitduur tot 2 m zeespiegelstijging lager dan 5% van de tijd, bij een sluitfrequentie oplopend tot 63 keer per jaar.

Sluiting op criterium geotechnische faalmechanismen

Als hoge waterstanden gedurende lange tijd worden overschreden, ontstaan er mogelijk eerder problemen voor de faalmechanismen macrostabiliteit en piping. Er is momenteel nog onvoldoende duidelijk welke waterstanden de dijken rond de Oosterschelde gedurende langere tijd kunnen keren. Om die reden is als eerste pragmatische verkenning het MHW-niveau conform de HR2006 aangehouden als maximale waterstand bij de dijken. Dit criterium staat minder vaak toe om de kering open te laten dan het golfoverslagcriterium, en biedt ongeveer 0,5 m ruimte ten opzichte van het huidige sluitcriterium, waarmee zeespiegelstijging opgevangen zou kunnen worden. Als dit sluitcriterium toegepast wordt, zal de kering naar verwachting gemiddeld 10 keer per jaar moeten sluiten bij een zeespiegelstijging van 1 m, en 522 keer per jaar bij 2 m. De kering zal dan respectievelijk 1% en 40% van de tijd gesloten zijn (*Figuur 12*).

Aanbevelingen

Effecten wijziging sluitregime op prestatiepeilen

Deze verkenning maakt duidelijk dat er ruimte is om bij zeespiegelstijging de Oosterscheldekering minder vaak te sluiten. Eventuele veranderingen in de sluitstrategie hebben implicaties voor de prestatiepeilen op de Oosterschelde, en daarmee op de statistiek van belastingen op de omliggende dijken. Het verdient aanbeveling om deze invloed te kwantificeren, om de haalbaarheid van het oprekken van het sluitregime scherper inzichtelijk te maken. Bij de

sluitduur in de berekeningen is een eenvoudige methode gehanteerd, die recht doet aan de huidige gemiddelde duur van een sluiting. In werkelijkheid wordt niet 2 uur na een overschrijding geopend, maar op het moment waarop het verval over de kering voldoende klein is.

Dichtheid locaties

Deze verkenning is uitgevoerd voor 22 locaties, verspreid langs de keringen rond de Oosterschelde. Mogelijk bevinden zich nog kwetsbare locaties tussen de gekozen locaties. Na beschikbaar komen van de rekenresultaten werden daarbij nog locaties achterin het kanaal door Zuid-Beveland, langs de Philipsdam en langs de Oesterdam genoemd. Hoewel de hoofdconclusies van deze verkenning duidelijk zijn, kunnen dergelijke locaties de resultaten in kwantitatieve zin beïnvloeden. Voor een vervolgstudie verdient het aanbeveling om andere en/of meer locaties bij de berekeningen te betrekken.

Verbetering criterium geotechnische faalmechanismen

De aanwezige rek in het sluitregime wordt in de huidige analyse volledig bepaald door de eis dat waterstanden de MHW-niveaus uit de HR2006 niet mogen overschrijden, waarbij de gedachte is dat de dijken rond de Oosterschelde bij die waterstanden nog geen problemen zullen ondervinden met macrostabiliteit en piping. Peilbuismetingen in de dijken wijzen erop dat waterspanningen in de dijk sterk reageren op de quasi-statische waterstand (de gemiddelde waterstand over bijvoorbeeld twee getijden), maar veel minder sterk op de dynamische component (de werkelijke variaties van de waterstand op de Oosterschelde). Deze informatie zou vertaald kunnen worden richting de huidige verkenning, waarbij de kering niet gesloten wordt als de waterstand kortstondig MHW dreigt te overschrijden, maar als de quasi-statische waterstanden zonder sluiting hoger zouden komen dan een bepaald kritiek niveau. Dat kritieke niveau zou opnieuw gelijk gesteld kunnen worden aan MHW, maar kan ook afgeleid worden uit de peilbuismetingen, of berekend worden op basis van bewezen sterkte van de dijken. Op basis van historische waterstanden kan inzichtelijk gemaakt worden welke quasi-statische waterstanden de dijken reeds hebben bewezen te kunnen keren. Mogelijk kan ook de bewezen sterkte van dijken rond de Westerschelde dienen als voorbeeld, voor zover deze een vergelijkbare opbouw van het dijklichaam kennen als de dijken rond de Oosterschelde. We bevelen aan om de verkenning uit te breiden met een sluitcriterium op basis van quasi-stationaire waterstanden.

Meenemen onzekerheid in de voorspellingen

Alle getallen in dit rapport zijn gebaseerd op gemeten tijdreeksen van waterstanden en windsnelheden. In werkelijkheid is er sprake van sluiten op basis van onzekere voorspellingen. DHV (2007) geeft aan dat 20% van de sluitingen in de periode 1987-2005 achteraf bezien onnodig is geweest, omdat het opgetreden hoogwater lager was dan de vooraf verwachte hoogwaterstand. Hoewel de nauwkeurigheid van de voorspellingen steeds beter wordt, zal dit aspect altijd relevant blijven. De relevantie neemt zelfs toe in het geval dat niet alleen voorspelfouten in de zeewaterstand, maar ook in de windsnelheid

en -richting van belang worden. De in dit rapport gepresenteerde aantallen en totale tijdsduren van de sluitingen zijn dus een relatief lage inschatting. We bevelen aan om een opslag voor onnodige sluitingen toe te passen, na onderzoek over de voorspelfout in zowel wind als waterstand.

Referenties

DHV (2007)

Verkenning Aanpassing Sluitingsregime Stormvloedkering Oosterschelde.
DHV rapport WG-SE20070854, augustus 2007.

Witteveen+Bos (2017)

Integrale Veiligheid Oosterschelde. MIRT onderzoek - knikpunten, oplossingsrichtingen en effecten. Witteveen+Bos rapport, 23 maart 2017.

Bijlage 2. Geïnterviewde personen.

In aanvulling op de expertise in de begeleidingsgroep zijn de volgende specialisten door middel van interviews geconsulteerd.

Tom Ysebaert (NIOZ)

Jeroen Wijsman (NIOZ)

Peter Herman (Deltares)

Willem Stolte (Deltares)

Frank Gijzel (Rijkswaterstaat Zee en Delta)

Yuri de Nooijer (Rijkswaterstaat Zee en Delta)

Ria Geluk (o.a. van de vereniging Stad en Lande van Schouwen Duiveland)

Peter van Sante (gemeente Schouwen – Duivenland)

Bijlage 3. Tabel met kantelpunten en oplossingen.

Thema's	Funcities	Knikpunt Indicatoren	Effect ZSS & ZH	Oplossingen	
Visserij	Mosselen				
	<i>Bodemkweek</i>	Waterdiepte (altijd nat), stroming, voedselbeschikbaarheid, areaalverandering	-/0	Op lange termijn reductie stroming / dynamiek + voedsel verandering. Meer areaal + hogere temperatuur zijn positief	Mosselkwekers adaptief genoeg voor meebewegen ZSS. Flexibel genoeg binnen vergunning.
	<i>Hangende cultuur</i>	Stroming, voedselbeschikbaarheid	0/+	Meer areaal, stroming en voedsel veranderen mogelijk.	Robuuste oplossing die bij dynamische toestand tot >2 meter ZSS meegaat.
	<i>Mosselinvanginstallaties</i>	Conditie idem aan kweek	0	Uit de waterkolom dus geen effecten door ZSS of ZH.	Robuuste situatie tot >2 meter ZSS.
	<i>Verwaterpercelen</i>	Waterdiepte, mate zand / klei	0	Positief is waterdiepte (o.a. makkelijker bereikbaar).	Hard, schoon substraat nodig. Waterdiepte maakt bij >2 meter niet uit.
	Oesters				
	<i>Bodemkweek</i>	Stroming, voedselbeschikbaarheid, intergetijdengebied (droogvalduur)	--	Noodzaak voor droogvalduur, dit neemt af.	Op tafels. Alternatieve kweekmethoden.
	<i>Tafelkweek</i>	Stroming, voedselbeschikbaarheid, intergetijdengebied (droogvalduur)	--	Nog steeds droogvalduur, maar hoger (tafels +/- 1 m). Kwetsbaar voor sluiting OSK door golfaanval.	Kan meegroeien tegen oplopende kosten.
	Kokkels	Stroming, voedselbeschikbaarheid, intergetijdengebied (droogvalduur)	--	Noodzaak voor droogvalduur, dit neemt af.	Suppleties.
	Kreeften	Hard substraat, schuilplaatsen, voedselbeschikbaarheid	0	Geen significante verandering tot >2 meter.	Voldoende alternatief habitat behouden en creëren.
	Sleepnet (Bentisch/pelagisch)	Voedselbeschikbaarheid	0	Geen significante verandering tot >2 meter.	
	Standaard	Diepte, droogvalduur	-	Verlies aan areaal.	Suppleties.
	Weervisserij	Diepte, droogvalduur	-/0	Kan meegroeien door verlengen stokken en verhogen fuiken. Kantelpunt onbepaald, bij x verlies intergetijdengebied.	Adaptief tot onbepaalde ZSS, daarna verplaatsen naar andere locatie.

<i>Scheepvaart</i>	Zeegroente oogst	Intergetijdengebied vergund / recreatiedruk, temperatuur	-	Verlies aan intergetijdengebied leidt tot toenemende druk op overgebleven gebied, toename temperatuur positief.	Beperken verlies intergetijdengebied door suppleties.
	Haventerreinen	Waterdiepte boven terrein, golfaanval	--/-	Afhankelijk van hoogte vroeg of laat problemen. Golfaanval vergroot schade substantieel.	Drijvende stijgers adaptief tot 1,5 meter + hoogwaterlijn, dan hogere pijlers. Aanbrengen kades, integrale verhoging, naar binnendijks verplaatsen.
	Doorvaart	Hoogte t.o.v. NAP, doorvaarthoogte onder brug	-/0	Pas richting >2 meter problemen bij gewone doorvaart bruggen. Meer brugbewegingen, hogere onkosten B&O beheerder, vertraging wegverkeer, oponthoud hoge (recreatie)schepen	Overal zijn al sluisen, bij vervanging hogere bruggen mogelijk. Bloktijden voor recreatievaart (vooral voor staande mast route).
	Sluizen	Waterstand, verval over de tijd (waterstandsfluctuatie)	-	Toename tijd schutten, meer schutbewegingen en brugbewegingen bij keersluizen, hogere onkosten B&O beheerder, druk op deuren (constructief)	Grotere sluisen, sneller schutten. Verhogen waterstand andere zijde.
	<i>Spuifunctie</i>	Hoogte t.o.v. NAP, spuienster	-	Spuienster kreekkraksluis en krammersluizen wordt kleiner.	Hoger peil in achterliggende gebied, grotere spucapaciteit, pompen.
<i>Ecologie</i>	Vaargeulen	Vaardiepte	0	Grotere diepte door ZSS, minder diepte door toename afslag en sedimentatie	Baggeren.
	Zilte pioniersbegroeiing (H3110_A&B)	Aantal ha, verhouding tussen ha vegetatietypen-diversiteit, erosie / afslag randen	--	Zullen op langere termijn verdrinken, wanneer is areaal niet meer 'voldoende'? Gevoelig voor erosie.	-Beschermen tegen erosie -Landaanwinning -Voorlandontwikkeling -Suppleren met slib(mengsel)?
	Slijkgrasvelden (H1320)	Aantal ha, verhouding tussen ha vegetatietypen-diversiteit	--	Zullen op langere termijn verdrinken, wanneer is areaal niet meer 'voldoende'?	-Beschermen tegen erosie -Landaanwinning -Voorlandontwikkeling -Suppleren met slib(mengsel)?
	Schorren en zilte graslanden (H1330_A) Buitendijks	Aantal ha, verhouding tussen ha vegetatietypen-diversiteit	--	Zullen op langere termijn verdrinken, wanneer is areaal niet meer 'voldoende'? Gevoelig voor erosie.	-Beschermen tegen erosie -Landaanwinning -Voorlandontwikkeling - Suppleren met slib(mengsel)?

Grote baaien (H1160) (Deel intergetijdengebied)	-Aantal ha	--	Zal op langere termijn verdrinken, wanneer is areaal niet meer 'voldoende'?	-Sluitregime optimaliseren -Hydro-morfologische condities verbeteren -Suppleties
Grote baaien (H1160) (Deel sublitoraal)	-Aantal ha	+	Aantal ha sublitoraal zal toenemen.	
Droogvallende platen	-Aantal ha -Verhouding hoge/ lage, zandige/ slibrijke delen, -Droogvalduur (kerngebieden)	--	Zullen op den duur verdrinken, wanneer kunnen suppleties nog uit in termen van kosten en tijd (kolonisationsnelheid versus zeespiegelstijging/zandhonger?)	-Zandsuppleties -Sluitregime optimaliseren -Hydro-morfologische condities verbeteren - Meer sediment uit Voordelta naar binnen
(Sub)litoraal Benthos	-Aantal ha platen -Zeewatertemperatuur -Sediment condities -Primaire productie	--/-	Vooral effect op litorale benthos, dat neemt af. Mogelijk ook negatieve effecten door minder primaire productie en hogere temperaturen.	-Voldoende doorstroom water -Sluitregime (hoeveel water gaat er nog in uit)
(Juvenile) vis	-Aantal ha intergetijdengebied, ondiepe geulen -Zeewatertemperatuur - Zuurstofloosheid bij weinig doorstroom en hogere temperatuur?	-/0	Weinig bekend Verschuiving in soortensamenstelling door stijging watertemperatuur. Niet perse slecht. Temperatuurstijging kan o.a. groeilimitatie van jonge vis veroorzaken?	-Voldoende doorstroom water -Sluitregime optimaliseren (hoeveel water gaat er nog in uit in worst case scenario 60% dicht) > voedsel / primaire productie. - Oplossen barrières
Zeehonden	-Aantal ha rustgebied -Droogvalduur rustgebied -Verstoring door verkleining leefgebied?	-	Minder gevoelig dan steltlopers, gaat vooral om ruimtegebruik en kunnen nog lange tijd liggen op alternatieve locaties.	-Zandsuppleties -Sluitregime optimaliseren voor voedsel
Steltlopers (Niet broedvogels)	-Aantal ha foerageergebied -Biomassa voedsel -Droogvalduur (kerngebieden)	-	Wanneer kantelpunt (voor veel soorten nog geen afname tot 2017).	-Zandsuppleties -Sluitregime optimaliseren
Kustbroedvogels (met name vogels die op schorren broeden)	-Aantal ha broedgebied op schorren -Verstoring door verkleining leefgebied?	-	Op den duur te weinig schorren, wanneer is oppervlakte te weinig voor broed vogels, groeien nu bijna niet meer aan.	-Beschermen tegen erosie -Landaanwinning -Voorlandontwikkeling -Predatievrije gebieden -Suppleren met slib(mengsel)?

	Mosselen en oesters	<ul style="list-style-type: none"> - Aantal ha intergetijdengebied - Sediment-condities - dynamiek / erosie - primaire productie (hoeveel uitwisseling is er nog met Noordzee) 	-	Neemt al af i.v.m. boorslak & herpesvirus. Noodzaak voor droogvalduur, dit neemt af. Verschuiving van oppervlak litorale mosselen/oesters naar sublitorale.	<ul style="list-style-type: none"> -Zandsuppleties -Onberoerde bodem -Sluitregime optimaliseren
	Primaire productie	<ul style="list-style-type: none"> - Uitwisseling voordelta en OS - Doorstroming binnen OS zelf (west-oost gradiënt) - Troebelheid water-lichtinval - Nutriënten - Watertemperatuur 	-/?	Onbekend hoe wateruitwisseling Voordelta en OS precies de primaire productie beïnvloedt via wateraanvoer en lichtinval.	<ul style="list-style-type: none"> -Sluitregime optimaliseren -Voldoende doorstroom water: zowel tussen Voordelta en OS, maar ook binnen OS zelf. -Alternatieve kering bij vervanging?
Recreatie	Stranden	Waterhoogte, droogvalduur, golfaanval	--	Neemt af door zandhonger en ZSS. Extra druk op resterende stranden.	Suppletie enige oplossing voor instandhouding. Deels verschuiving op de dijk (grasrecreatie). Max aan suppletie door stijlheid (lange termijn).
	Jachthavens	Zie haventerreinen			
	Watersport (Zeilen, surfen, waterskiën)	Beschikbaar oppervlakte water (verstoringverbod)	+	Er komt meer areaal water vrij t.o.v. intergetijdengebied.	
	<i>Kiten</i>	Opstartgebied (m.n. kiten)	-/0	Strand of open ruimte nodig om de lucht in te komen neemt af + extra druk door andere recreatie/functies.	Verplaatsen naar ruimte om op te starten.
	Dagrecreatie/ wandelen	Intergetijdengebied	-	Beleving van het gebied veranderd door verlies karakteristiek intergetijdengebied. Verlies buitendijkse wandelpaden.	Suppleties.
	Sportvisserij	Locaties	-/0	Veel locaties, watervisserij heeft meer areaal, randen worden drukker.	Slim gecombineerd (recreatief) ruimtegebruik.
	Duiken	Zicht, diepte, hard substraat	0	Mogelijk effect op zicht, waarschijnlijk nihil. Temperatuur mogelijk andere biodiversiteit (is +). Diepte neemt iets toe.	Variatie in substraat aanbrengen.
	Pierensteken/ wadlopen	Intergetijdengebied	--	Gebied neemt af, meer druk op overgebleven locaties, verstoring.	Instandhouding intergetijdengebied.
Energie	Windmolens	Hoogte op kering	0	Op termijn van ZSS vervangen, hoogte al in vergunningplicht.	Adaptief verplaatsbaar op termijn van ZSS.

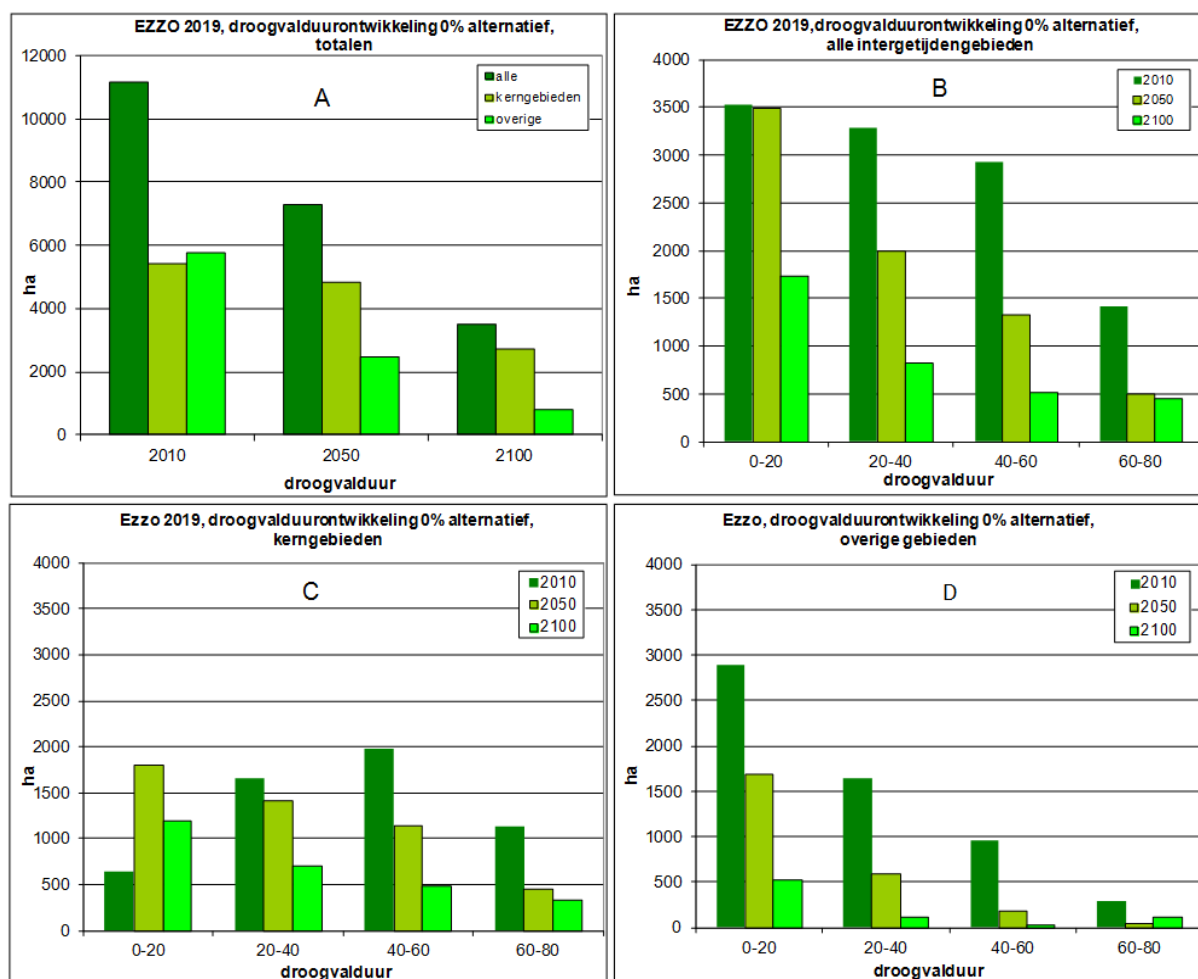
<i>Ruimtelijke kwaliteit</i>	Getijde-energie	Debieten kering	-/0	Nu stop door onbekendheid effecten op zandhonger en faalkans kering.	
	Cultuurhistorie gebouwd	Waterhoogte, golfaanval	-	Schade door water/golfaanval.	Beschermende maatregelen.
	Cultuurhistorie archeologie	Waterhoogte	-/0	Toegankelijkheid neemt af (minder aantrekkelijk voor cultuurhistorie gerelateerde recreatie), bescherming door waterkolom is + (uitgangspunt archeologie is behoud in situ).	
	Landschap	Intergetijdengebied	--	Unieke getijdenlandschap zal langzaam verdwijnen.	Suppleties.
	Weidsheid	Intergetijdengebied	0	Weids blijft behouden, alleen meer monotoon van karakter.	Suppleties.
	Natuurschoon	Intergetijdengebied, biodiversiteit	-/+	Minder diversiteit op land door minder broedvogels/zeehonden. Meer diversiteit onder water door temperatuurverandering.	Suppleties.
<i>Bebouwing</i>	Buitendijkse bebouwing	Waterhoogte, golfaanval	-	Schade aan gebouwen.	Afhankelijk van hoogte zullen beschermende maatregelen of verplaatsing nodig zijn.

Bijlage 4. Afname steltlopers.

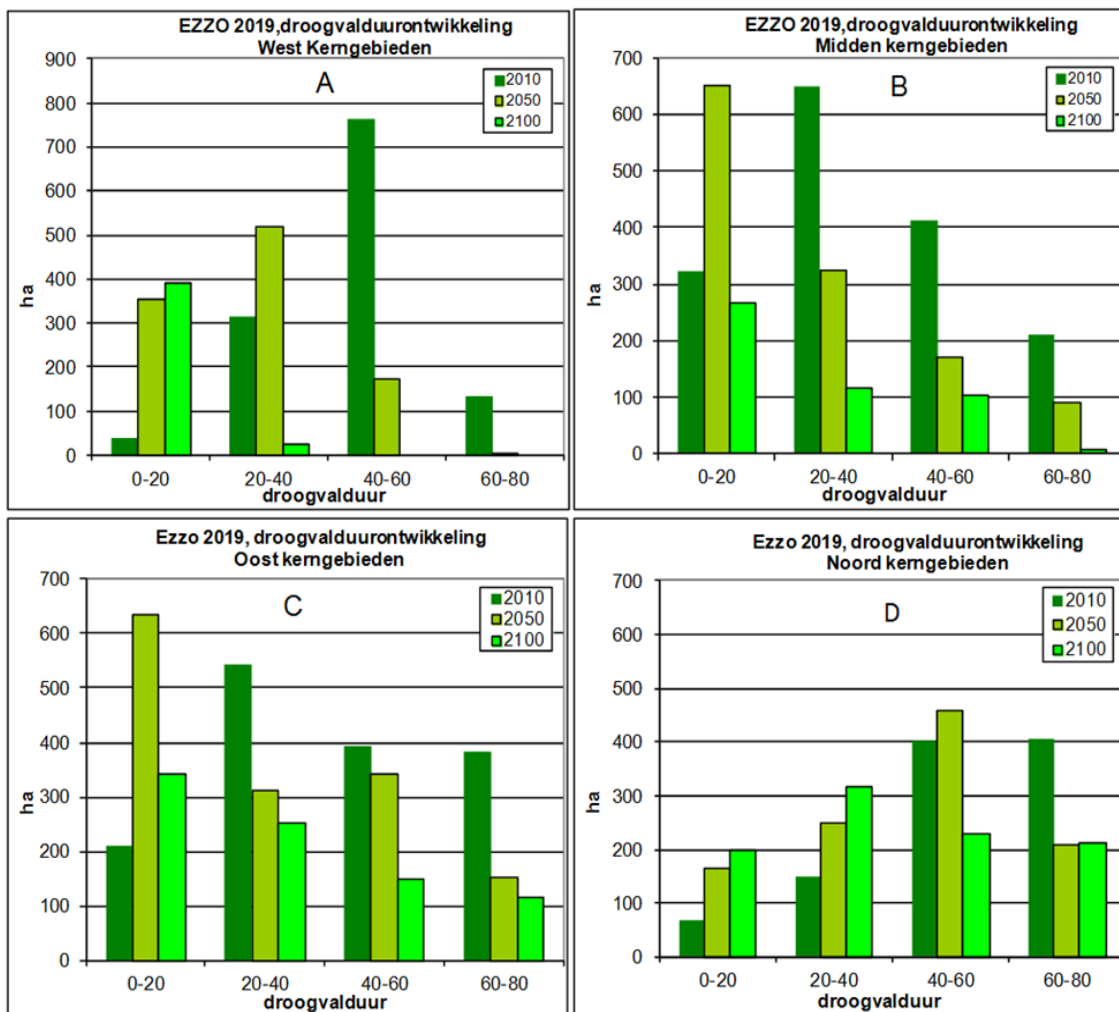
Overzicht doelaantallen, recente aantallen en trends van relevante niet-broedvogels die gevoelig zijn voor zee-spiegelstijging en zandhonger (+ = toename, 0 = stabiel, ~ = wisselend, - = afname).

Code	Naam	SVI	Doel Aantal Ooster- schelde	Meest recente telling (2017)	Oosterschelde Trend Sinds 1987	Oosterschelde Trend sinds 2007/2008	Landelijk Trend sinds 1987	Wordt ishd in Ooster- schelde gehaald?	Opmerkingen
A048	Bergeend	+	2900	2803	+	+	+	nee, wel bijna	neemt na 2012/2013 weer sterk toe in OS
A130	Scholekster	--	24000	21452	-	-	-	nee	neemt ook landelijk af, externe oorzaak?
A132	Kluut	-	510	636	+	0/+	-	ja	neemt na 2012/2013 weer licht toe in OS. Laatste 10 jaar afname broedparen
A137	Bontbek- plevier	+	280	282	-	-/0	+	ja	afname OS lijkt af te vlakken, neemt landelijk toe
A138	Strand- plevier	--	50	9	--	--	--	nee	ook afname broedpopu- latie
A141	Zilverplevier	+	4400	5594	0	0	+	ja	trend is laatste jaren sta- biel in OS
A143	Kanoet	-	7700	5970	0	-/0	+	nee	na 2011/2012 weer lichte stijging in OS, trend neemt landelijk toe
A144	Drieteen- strandloper	-	260	444	+	~/0	+	ja	trend na 2010/11 wisse- lend in OS
A149	Bonte strandloper	+	14100	17571	0	0	+	ja	trend stabiel in OS, ter- wijl landelijk toeneemt
A157	Rosse grutto	+	4200	4515	0	0	+	ja	stabiel in OS, terwijl lan- delijk toeneemt
A160	Wulp	+	6400	14359	+	+	+	ja	neemt enorm toe laatste tijd
A161	Zwarte rui- ter	+	310	161	-	-/0	-	nee	daling vlakt af na 2011/12 in OS, lande- lijke afname
A162	Tureluur	-	1600	1577	0	-/0	-	nee, wel bijna	na 2012/13 weer lichte toename in OS, landelijk afname
A164	Groenpoot- ruiter	+	150	169	+	0	0/-	ja	na 2013/14 weer toe- name OS, landelijk nog afname
A169	Steenloper	--	580	785	-	-	-	ja	afname lijkt af te vlakken in OS, ook bij landelijke afname

Bijlage 5. Areaalontwikkeling kerngebieden uit ANT.



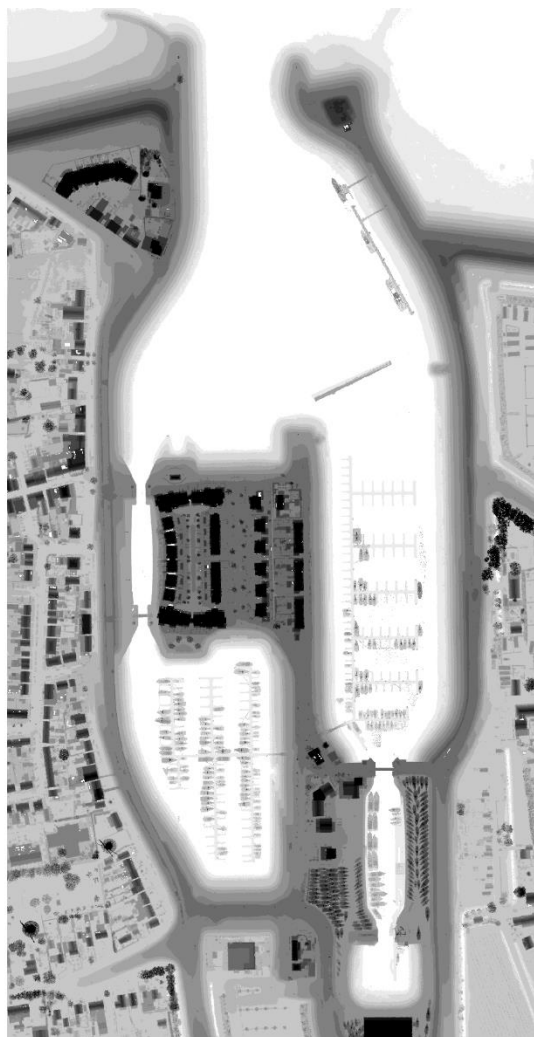
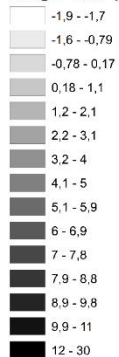
Figuur 1. A) de areaalontwikkeling van de Oosterschelde, verdeeld naar kerngebieden en overige gebieden; B) de droogvalduurontwikkeling van de gehele Oosterschelde en verdeeld naar C) kerngebieden en D) de overige gebieden voor de periode tot 2100.



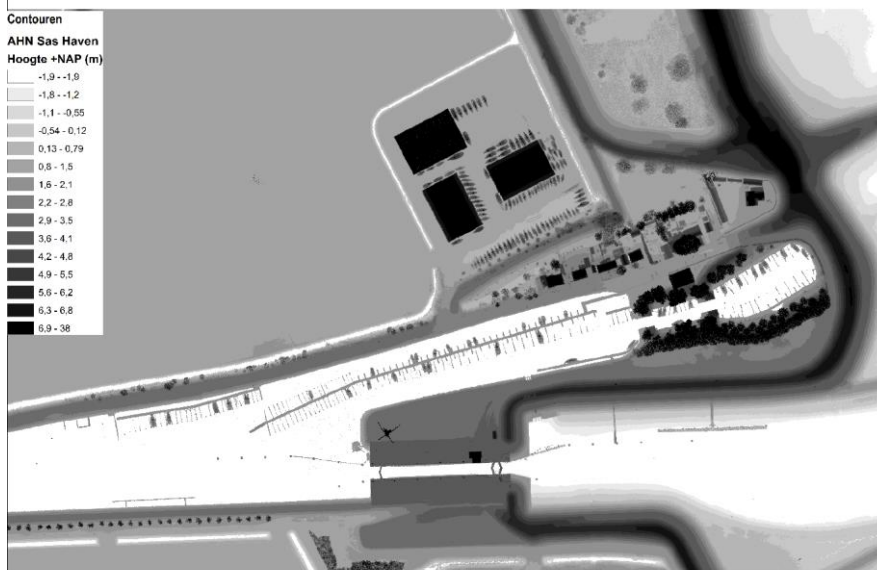
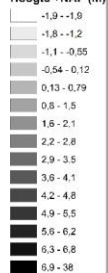
Figuur 2. A) de areaalontwikkeling van de Oosterschelde per droogvalduurpercentage, verdeeld over de kerngebieden in het Westen; B) het Midden; C) het Oosten en D) het Noorden van de Oosterschelde voor de periode tot 2100.

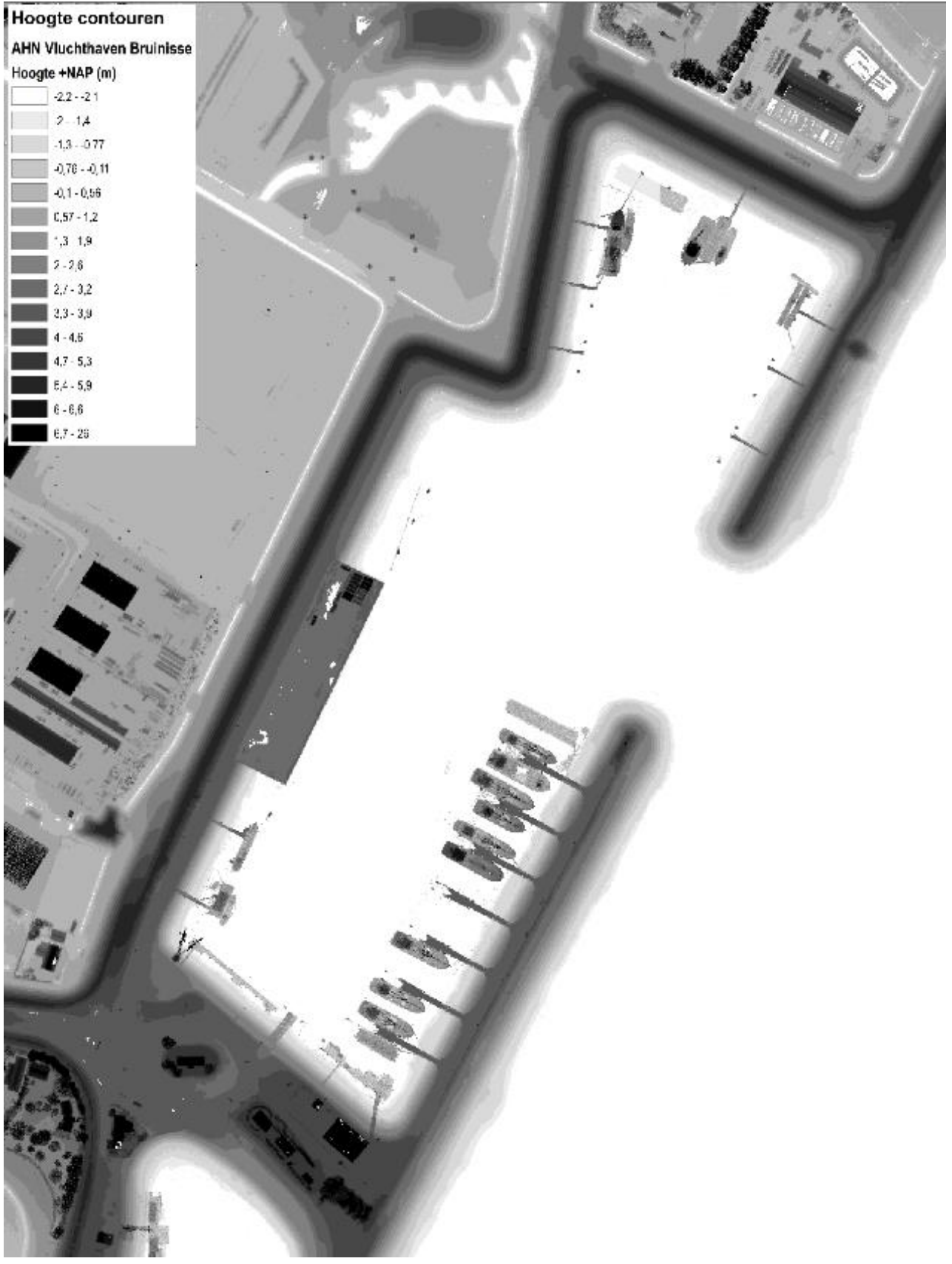
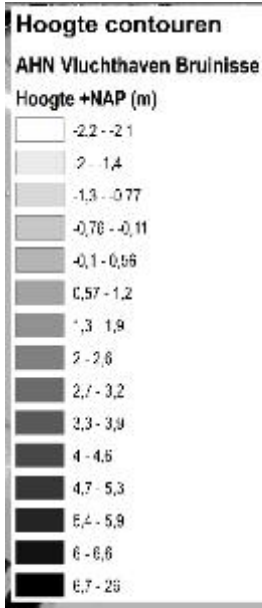
Bijlage 6. Hoogtekaarten buitendijkse gebieden.

Hoogte Contouren
AHN Haven Wemeldinge
Hoogte +NAP (m)



Contouren
AHN Sas Haven
Hoogte +NAP (m)

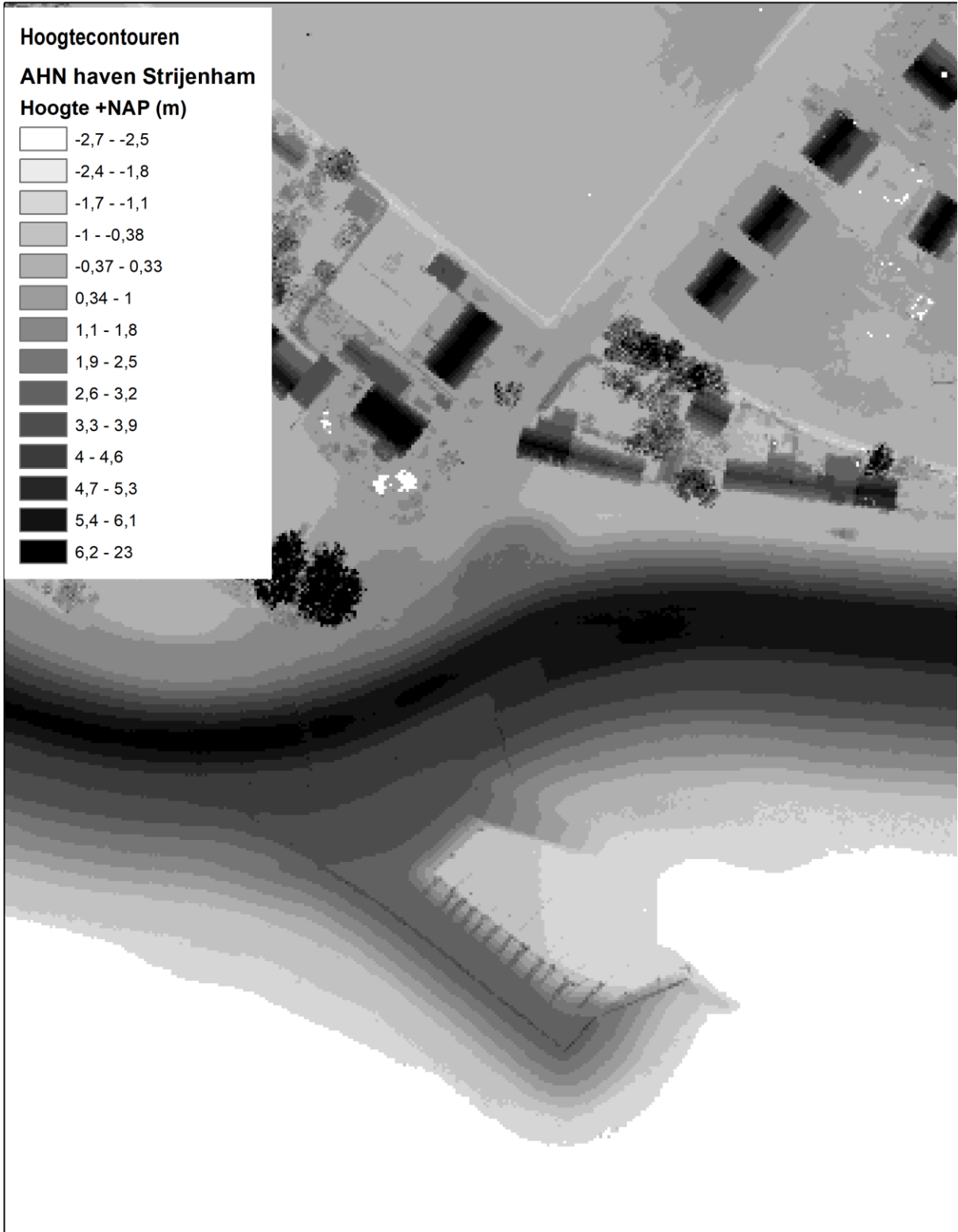
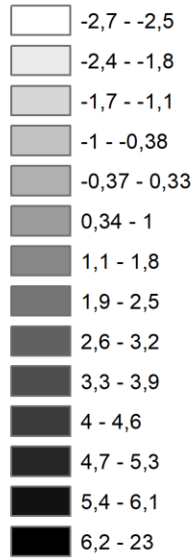




Hoogtecontouren

AHN haven Strijenham

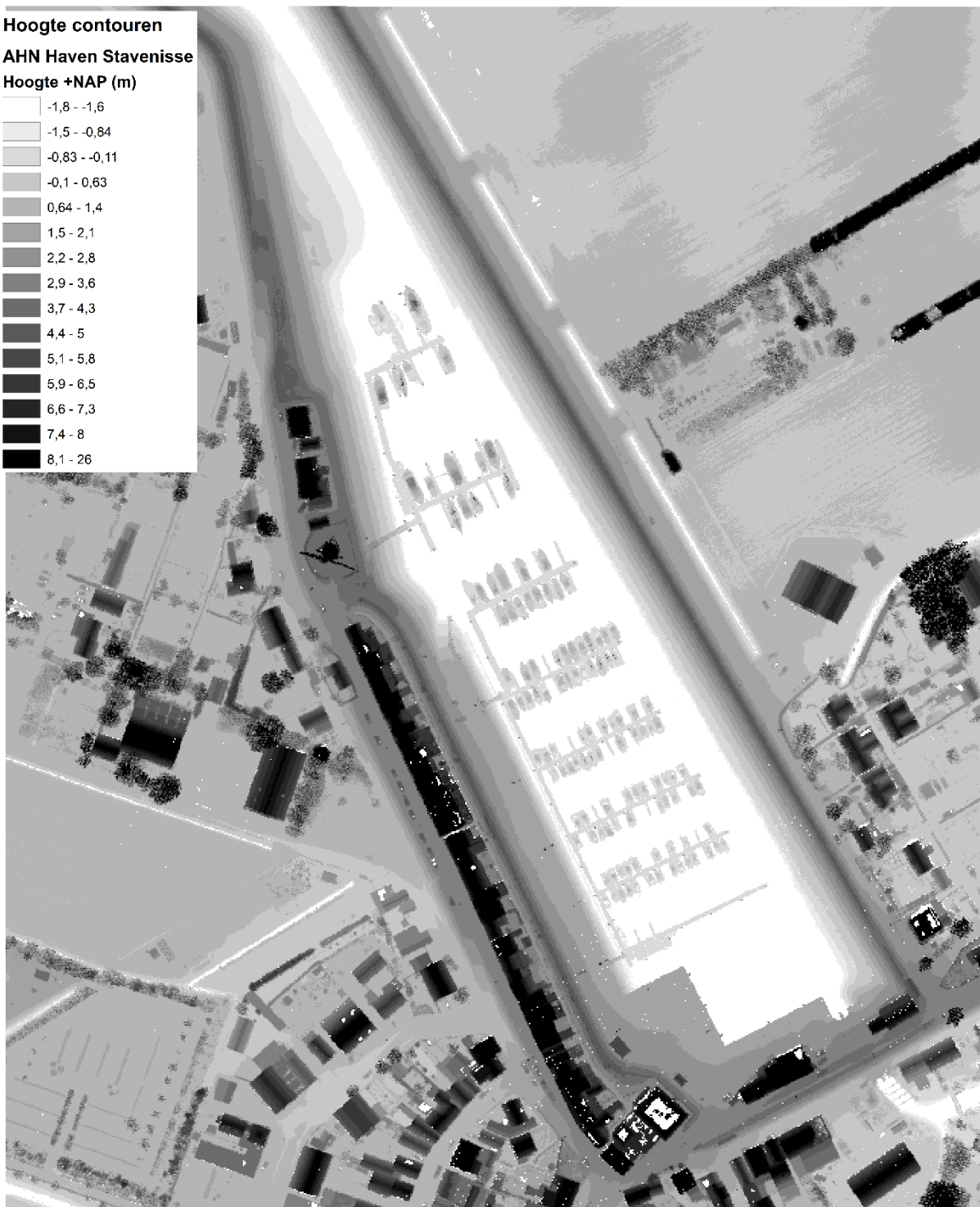
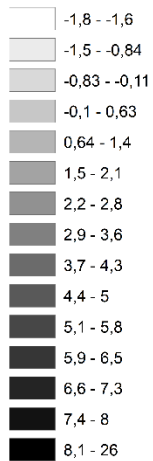
Hoogte +NAP (m)



Hoogte contouren

AHN Haven Stavenisse

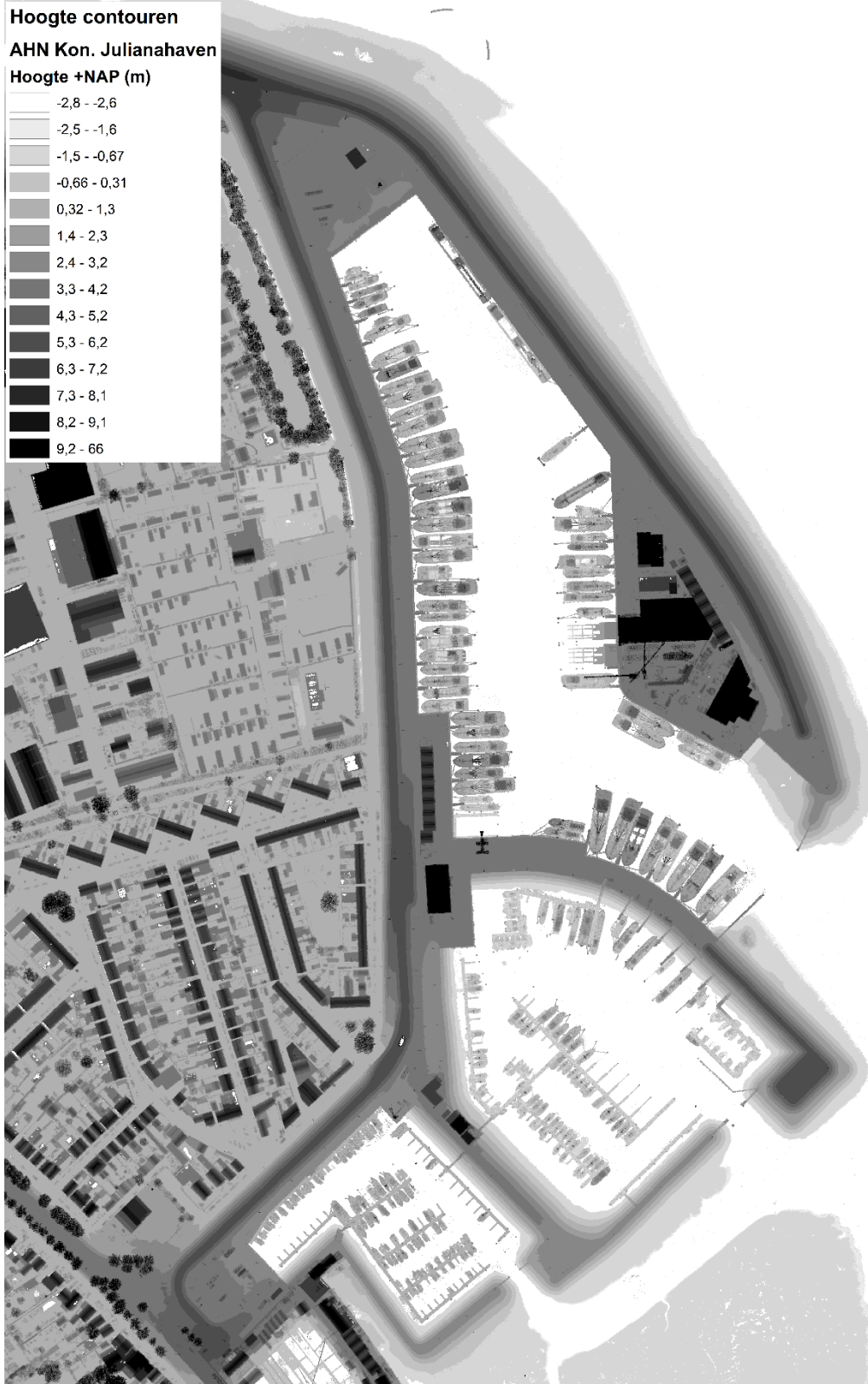
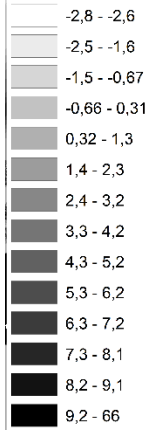
Hoogte +NAP (m)



Hoogte contouren

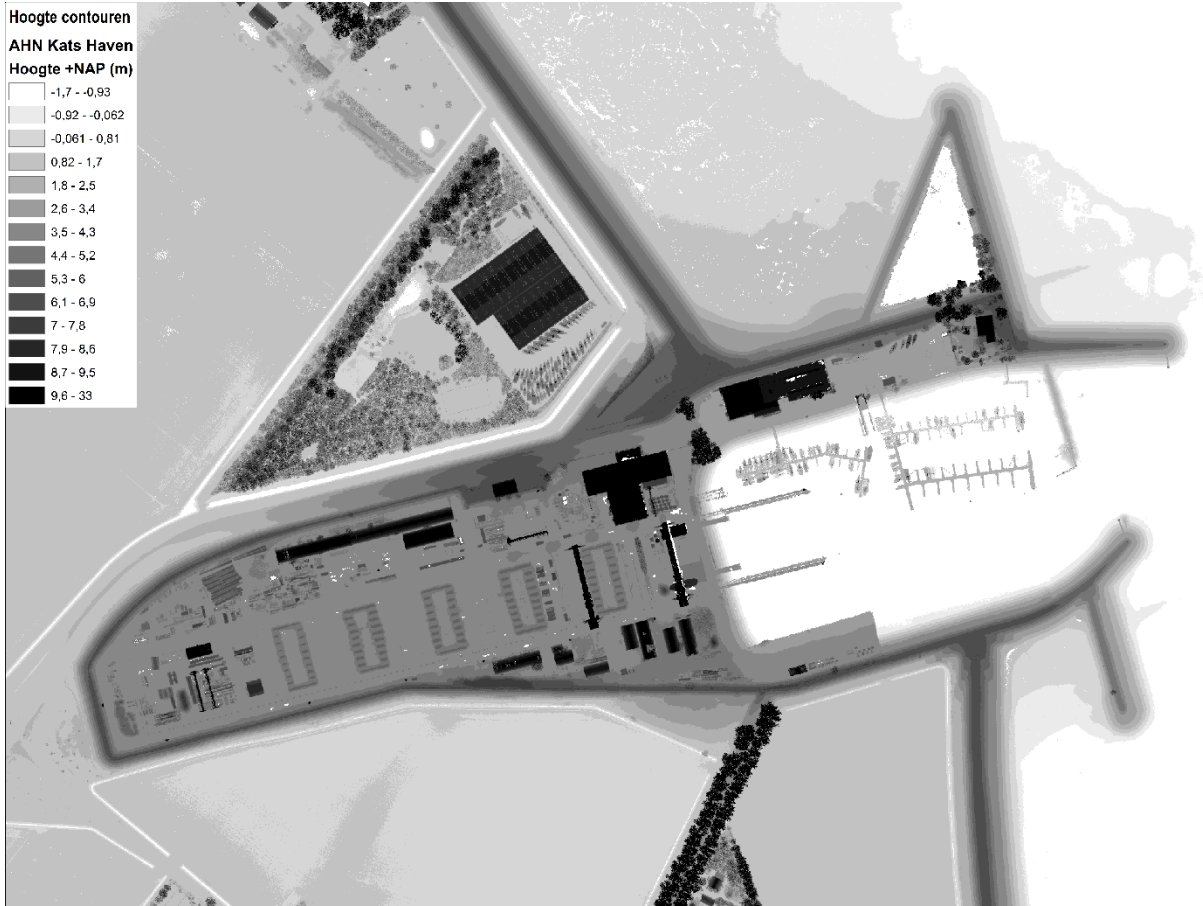
AHN Kon. Julianahaven

Hoogte +NAP (m)



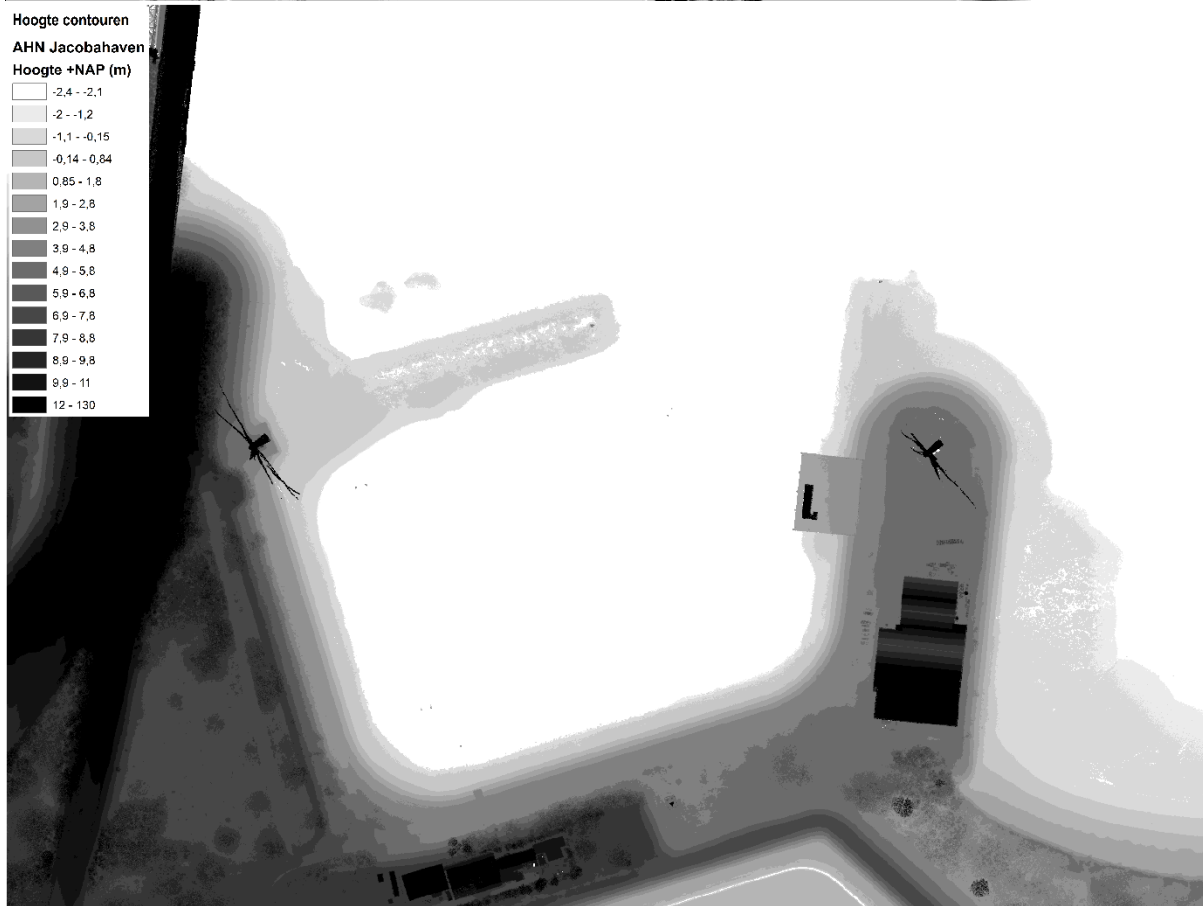
Hoogte contouren
AHN Kats Haven
 Hoogte +NAP (m)

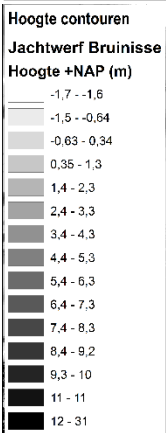
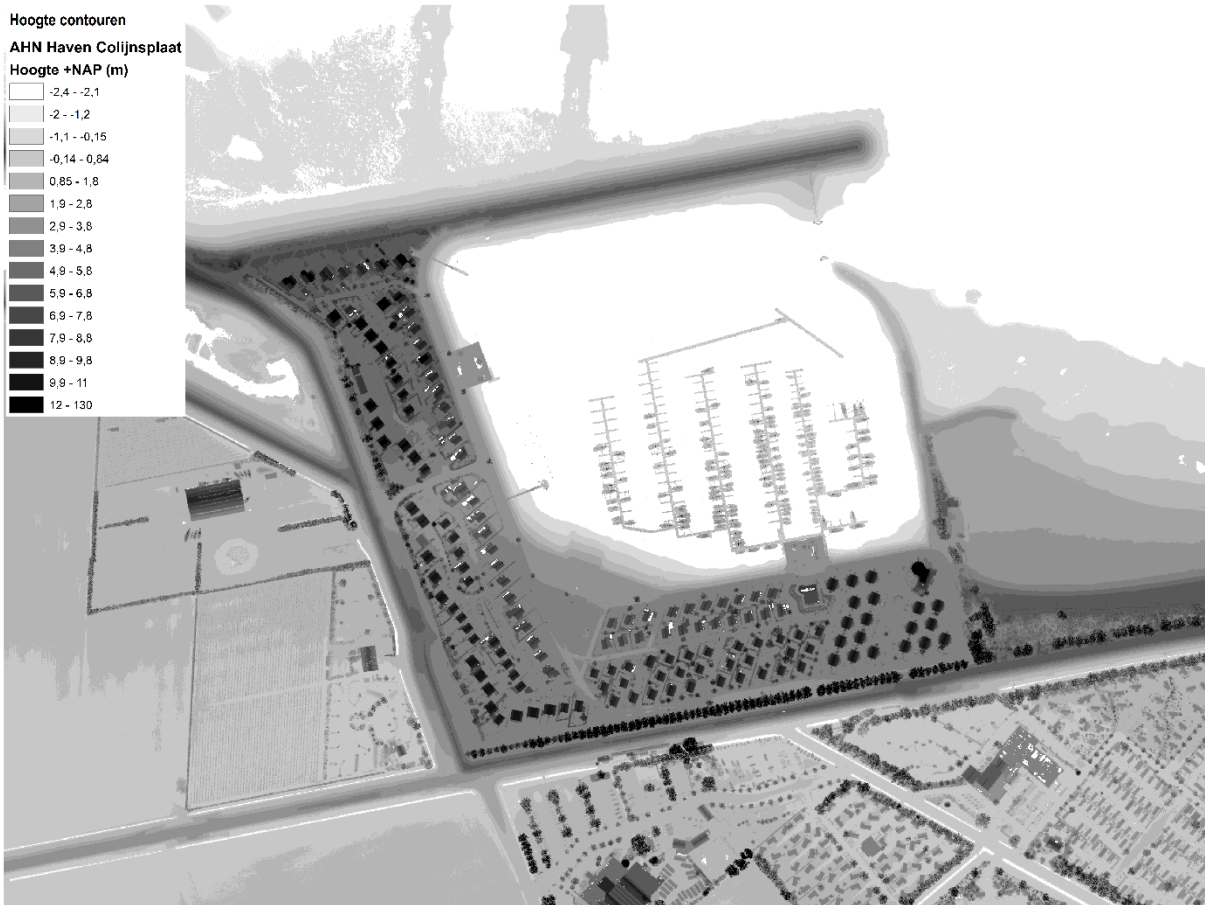
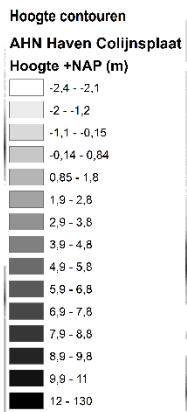
□	-1,7 - -0,93
□	-0,92 - -0,062
□	-0,061 - 0,81
□	0,82 - 1,7
□	1,8 - 2,5
□	2,6 - 3,4
□	3,5 - 4,3
□	4,4 - 5,2
□	5,3 - 6
□	6,1 - 6,9
□	7 - 7,8
□	7,9 - 8,6
□	8,7 - 9,5
□	9,6 - 33



Hoogte contouren
AHN Jacobahaven
 Hoogte +NAP (m)

□	-2,4 - -2,1
□	-2 - -1,2
□	-1,1 - -0,15
□	-0,14 - 0,84
□	0,85 - 1,8
□	1,9 - 2,8
□	2,9 - 3,8
□	3,9 - 4,8
□	4,9 - 5,8
□	5,9 - 6,8
□	6,9 - 7,8
□	7,9 - 8,8
□	8,9 - 9,8
□	9,9 - 11
□	12 - 130







Tauw

Altenburg & Wymenga



ECOLOGISCH ONDERZOEK

HKV
LIJN IN WATER