

Rapportage nader onderzoek DODH

HWBP-Verkenning Den Oever - Den Helder

Opdrachtgever



Rapportage nader onderzoek DODH

HWBP-Verkenning Den Oever - Den Helder

Definitief



Auteurs

Marit Zethof
Lars Hoogduin
Gerbert Pleijter
Jasper Jansen
Clara Spoorenberg
Arjan van Wachtendonk
Jan Tigchelaar
Mick van Montfoort

PR3870.30

april 2019

Samenvatting

De Verkenningfase Den Oever - Den Helder is gestart met een (voorlopige) veiligheidsopgave, waarmee de voorverkenningfase is afgerond. Bij de start van de verkenningfase zijn verschillende dominante onzekerheden geselecteerd die ten tijde van de voorverkenning veilig zijn geschematiseerd en (WBI2017) omdat aanvullende informatie ontbrak om dit nader te onderbouwen. Om de onzekerheden te verkleinen is in de winter van 2018 / 2019 een nader veldonderzoek uitgevoerd om tot een betrouwbaarder schematisering van de (geohydrologische) uitgangspunten te komen. Ten tweede zijn de hydraulische belastingen geüpdatet zodat ze overeenkomen met de vigerende leidraden. Daarnaast is voor de hydraulische belastingen een toets op maat uitgevoerd om te voorkomen dat te hoge golven berekend worden. Op basis van deze herziene geohydrologische uitgangspunten en de nieuwe hydraulische belastingen (alleen de golfbelasting) is de veiligheidsopgave opnieuw vastgesteld.

De herziening van de veiligheidsopgave is uitgevoerd voor het zichtjaar 2073 bij een maximaal toelaatbare overstromingskans van 1/1.000 per jaar. De volgende faalmechanismen zijn herzien: binnenwaartse macrostabiliteit (STBI), buitenwaartse macrostabiliteit (STBU), golfklappen op asfaltbekleding (AGK), wateroverdrukken bij asfaltbekleding (AWO), grasbekleding erosie buitentalud (GEBU) en stabiliteit steenzetting (ZST).

*Tabel 1:
Veiligheidsopgave
voor 2073 nader
onderzoek.*

Faal- mechanisme	Veiligheidsopgave			Dijkvakken
	BZD	ADD	WZW	
	DP	DP	DP	
	4.5 - 12.6	12.6 - 14.8	14.8 - 25.67	
STBI	3,05 km	-	-	DP8.7 tot 11.7+50
STBU	-	-	-	Geen veiligheidsopgave
AWO/AGK	1,35 km	2,2 km	0,35 km	DP11.3 tot DP15.0; DP20.0
GEBU	-	-	3,8 km	DP16.0; DP16.2 tot 16.4; DP16.8 tot 17.0; DP18.5 tot 18.7; DP19.8; DP 20.0 tot 20.8; DP21.0 tot 21.5; DP21.7; DP22.1; DP22.2; DP22.4 tot 22.5; DP22.7 tot 23.2; DP24.2
ZST	0,8 km	0,4 km	0,7 km	DP7.6 tot 7.7; DP8.5 tot 8.6; DP9.5 tot 9.8; DP11.1 tot 11.2; DP11.3 tot 11.4; DP12.2 tot 12.3; DP12.9 tot 13.1; DP13.4 tot 13.6; DP 16.2 tot 16.3; DP18.4 tot DP19.0.

In Figuur 1 tot en met Figuur 5 is de veiligheidsopgave DODH voor zichtjaar 2073 weergegeven.

*Figuur 1:
Veiligheidsopgave
STBI voor 2073.*



*Figuur 2
Veiligheidsopgave
STBU voor 2073.*



Figuur 3:
Veiligheidsopgave
AWO en AGK voor
2073.



Figuur 4:
Veiligheidsopgave
GEBU voor 2073.



Figuur 5:
Veiligheidsopgave
ZST voor 2073.



Inhoud

1	Inleiding	1
1.1	Aanleiding	1
1.2	Doelstelling	6
1.3	Aanpak op hoofdlijnen	7
1.4	Uitgangspunten	7
1.5	Leeswijzer	8
2	Hydraulische belastingen	9
2.1	Inleiding	9
2.2	Resultaten op hoofdlijnen	9
3	Geohydrologie	15
3.1	Inleiding	15
3.2	Aanpak op hoofdlijnen	16
3.3	Resultaten op hoofdlijnen	17
4	Macrostabiliteit	19
4.1	Inleiding	19
4.2	Aanpak op hoofdlijnen	19
4.3	Resultaten op hoofdlijnen	20
4.4	Impact nader onderzoek op veiligheidsopgave	20
5	Asfaltbekleding	23
5.1	Inleiding	23
5.2	Aanpak op hoofdlijnen	23
5.3	Resultaten op hoofdlijnen	23
5.4	Impact nader onderzoek op veiligheidsopgave	25
6	Grasbekleding buitentalud	27
6.1	Inleiding	27
6.2	Aanpak op hoofdlijnen	27
6.3	Resultaten op hoofdlijnen	28
6.4	Impact nader onderzoek op veiligheidsopgave	28
7	Steenzetting	31
7.1	Inleiding	31
7.2	Aanpak op hoofdlijnen	31
7.3	Resultaten op hoofdlijnen	31

7.4	Impact nader onderzoek op veiligheidsopgave	32
8	Conclusie veiligheidsopgave	34
9	Referenties	39
	Bijlagen	43
A	Hydraulische belastingen	45
B	Beschrijving geohydrologisch model t.b.v. opstellen van de freatische lijn	47
C	Bepaling van de respons van de stijghoogte in de watervoerende zandlaag	49
D	Bepaling freatische lijn en stijghoogte t.b.v. veiligheidsanalyse	50
E	Veiligheidsanalyse macrostabiliteit (STBI en STBU)	51
F	Veiligheidsanalyse asfaltbekleding (AGK en AWO)	53
G	Veiligheidsanalyse grasbekleding erosie buitentalud (GEBU)	54
H	Veiligheidsanalyse stabiliteit steenzetting (ZST)	55

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

De Verkenningfase Den Oever - Den Helder is gestart met een (voorlopige) veiligheidsopgave, waarmee de voorverkenningfase is afgerond (Figuur 6). De veiligheidsbeoordeling van de Balgzanddijk en de Amsteldiepdijk is conform WBI2017 uitgevoerd. De Wieringerzeewering is in Verlengde derde toetsronde (LRT-3+) afgekeurd. Voor de Wieringerzeewering is een nadere consequentieanalyse uitgevoerd, waarbij is bepaald wat de impact van de huidige veiligheidsnormen en huidige beoordelingssystematiek van het WBI is t.o.v. de oude norm en oude toetssystematiek.

De veiligheidsopgave bij de maximaal toelaatbare overstromingskans van 1/1.000 per jaar voor de situatie in 2023, waarmee de voorverkenningfase is afgerond, is het uitgangspunt voor het nader onderzoek. De veiligheidsopgave heeft betrekking op de faalmechanismen binnenwaartse macrostabiliteit (STBI), buitenwaartse macrostabiliteit (STBU), golfklappen op asfaltbekleding (AGK), wateroverdrukken bij asfaltbekleding (AWO), grasbekleding erosie buitentalud (GEBU) en stabiliteit steenzetting (ZST).

Bij de start van de verkenningfase zijn verschillende dominante onzekerheden geselecteerd die ten tijde van de (WBI2017) voorverkenning conservatief zijn geschematiseerd, omdat aanvullende informatie ontbrak om een realistischere schematisatie nader te onderbouwen. Dit betrof voor binnenwaartse macrostabiliteit, bijvoorbeeld de respons van de stijghoogte onder de deklaag, breedte van de opbarstzone en de afwezigheid van de deklaag in de kanaalbodem. Voor buitenwaartse macrostabiliteit en de asfaltbekleding was de ligging van de freatische lijn tijdens de piek van de storm en bij de val van de waterstand bij de norm (voorheen MHW)¹ naar laagwater een belangrijke bron van onzekerheid.

Om de onzekerheden te verkleinen is in de winter van 2018/2019 een nader veldonderzoek uitgevoerd om tot een betrouwbaarder schematisering van de (geohydrologische) uitgangspunten te komen [RHDHV & HKV, 2018a]. Ten tweede zijn de hydraulische belastingen geüpdatet zodat ze overeenkomen met de vigerende leidraden².

Op basis van deze herziene geohydrologische uitgangspunten en de nieuwe hydraulische belastingen is de veiligheidsopgave opnieuw vastgesteld voor de faalmechanismen binnenwaartse macrostabiliteit (STBI), buitenwaartse macrostabiliteit (STBU), golfklappen op asfaltbekleding (AGK), wateroverdrukken bij asfaltbekleding (AWO), grasbekleding erosie

¹ Dit betreft de waterstand bij de maximaal toelaatbare kans.

² Dit betreft enkel de bijgestelde golfbrandvoorwaarden voor bekledingen op basis van het advies voor een toets op maat van Mark Klein Breteler [Deltares, 2018b].

buitentalud (GEBU) en stabiliteit steenzetting (ZST). Dit zijn faalmechanismen die op delen van het dijktraject in de voorgaande analyses niet voldeden aan de norm.

Tabel 2:
Veiligheidsopgave
voor 2073
voorverkenningfase

Faal- mechanisme	Veiligheidsopgave 2073 voorverkenningfase			Dijkvakken
	BZD	ADD	WZW	
	DP	DP	DP	
	4.5 - 12.6	12.6 - 14.8	14.8 - 25.67	
STBI	7,8 km	-	-	DP4.5 tot 12.2+50
STBU	2,0 km ³	-	-	DP6.6+40 tot 7.1+50; DP9.2 tot 9.7; DP11.2+50 tot 12.2+50
AWO/AGK	7,8 km ⁴	2,6 km ⁴	- ⁵	DP4.5 tot 14.8
GEBU	-	-	6,1 km	DP14.8 tot 14.9; DP18.3 tot 24.1.
ZST	0,4 km ⁶	1,7 km ⁶	3,8 km ⁷	DP11.1 tot 11.2; DP11.3 tot 11.4; DP11.8 tot 11.9; DP12.0 tot 12.1; DP12.6 tot 12.8; DP12.9 tot 13.1; DP13.5 tot 14.8; DP14.8 tot 14.9; DP15.7 tot 17.5; DP17.6 tot 17.7; DP17.8 tot 19.6

- De veiligheidsopgave voor AWO/AGK en GEBU is per dijkpaal afgeleid. Dit betekent dat de veiligheidsopgave voor DP20.0 van toepassing is op het dijkvak met grenzen DP19.9+50 tot DP20.0+50.
- De veiligheidsopgave voor ZST is per dijkvak afgeleid, waarbij elk dijkvak grenst tussen twee dijkpalen (bijv. DP7.6 - 7.7).

³ In de "Notitie veiligheidsanalyse ontwerpogave 18.0132239 26-03-2018 WAB definitief HHNK" is vak 13006.4 ook onderdeel van de veiligheidsopgave 2073 o.b.v. de signaleringswaardenorm. Dit vak voldoet wel aan de eis bij de maximaal toelaatbare kans. Daarom is voor de veiligheidsopgave STBU in de Voorverkenningfase uitgegaan van 2,5 km, i.p.v. 2,0 km.

⁴ Voor de veiligheidsopgave asfaltbekleding voor de BZD/ADD was het niet mogelijk om een "harde uitspraak" te doen t.a.v. de veiligheidsopgave, vanwege het niet geldig zijn van de toepassingsvoorwaarden van de gedetailleerde toets (WBI2017) voor de AGK en AWO.

⁵ De veiligheidsopgave asfaltbekleding voor de WZW is o.b.v. LTR3+ vastgesteld.

⁶ De veiligheidsopgave steenzetting BZD en ADD is o.b.v. de notitie "Scope (veiligheidsopgave) steenzetting Balgzanddijk en Amsteldiepdijk 18.0133201 29-03-2018 definitief HHNK" vastgesteld. Hierin is voor enkele vakken een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd naar de dieptelimitering van de golftrandvoorwaarden (notitie "Beoordeling enkele aspecten steenzetting op Balgzanddijk en Amsteldiepdijk").

⁷ De veiligheidsopgave steenzetting voor de WZW is o.b.v. LTR3+ vastgesteld.

*Figuur 6:
Veiligheidsopgave
STBI voor 2073
voorverkenningfase.*



*Figuur 7:
Veiligheidsopgave
STBU voor 2073
voorverkenningfase.*



*Figuur 8:
Veiligheidsopgave
AWO en AGK voor
2073
voorverkenningfase.*



*Figuur 9:
Veiligheidsopgave
GEBU voor 2073
voorverkenningfase.*



*Figuur 10:
Veiligheidsopgave
ZST voor 2073
voorverkenningfase.*



1.2

Doelstelling

Het doel van dit onderzoek is:

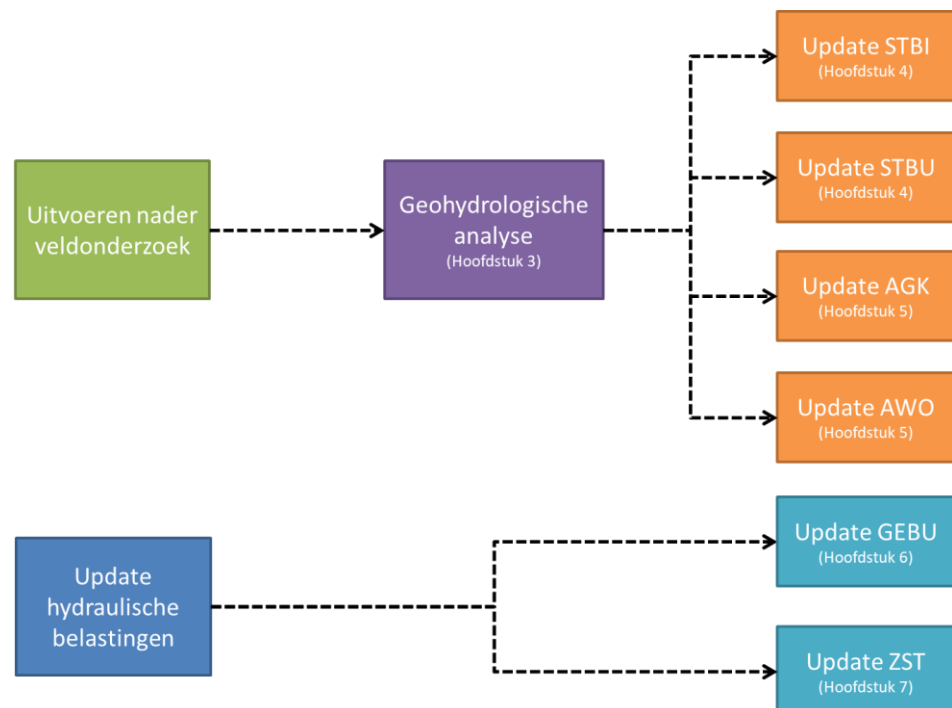
Het vaststellen van de herziene veiligheidsopgave voor de faalmechanismen binnenwaartse macrostabiliteit (STBI), buitenwaartse macrostabiliteit (STBU), golfklappen op asfaltbekleding (AGK), wateroverdrukken bij asfaltbekleding (AWO), grasbekleding erosie buitentalud (GEBU) en stabiliteit steenzetting (ZST) op basis van nader veldonderzoek dat in de winter van 2018/2019 is uitgevoerd en de update van de hydraulische belastingen.

De veiligheidsopgave voor het zichtjaar 2073 wordt vastgesteld bij de maximaal toelaatbare kans (1/1.000 per jaar).

1.3 Aanpak op hoofdlijnen

Figuur 11 geeft weer hoe de veiligheidsopgave voor de verschillende faalmechanismen wordt aangescherpt. De veiligheidsopgave voor GEBU en ZST wordt aangescherpt door de hydraulische belastingen te updaten. De veiligheidsopgave voor STBI, STBU, AWO en AGK wordt aangescherpt op basis van het nader veldonderzoek. De geohydrologische uitgangspunten voor STBU, STBI, AGK en AWO worden met een geohydrologische analyse afgeleid op basis van de peilbuismetingen uit het nader onderzoek.

Figuur 11: Aanpak op hoofdlijnen.



1.4 Uitgangspunten

Het nader onderzoek is uitgevoerd conform de uitgangspunten zoals beschreven in de Integrale uitgangspuntennotitie [RHDHV & HKV, 2018b].

Een wijziging hierop is de gehanteerde faalkansbegroting voor de Balgzanddijk en de Amsteldiepdijk. De faalkansbegroting is geoptimaliseerd t.o.v. van de standaard faalkansbegroting OI2014 versie 4 [RWS WVL, 2017b], door 3% van de faalkansruimte van Piping (STPH) toe te kennen aan de faalkansruimte voor binnenwaartse macrostabiliteit (STBI). De gehanteerde faalkansbegroting staat in Tabel 3. Door de standaard faalkansbegroting te optimaliseren is het mogelijk om de veiligheidsopgave

voor STBI te reduceren (vak 13006.4 en vak 13006.6), doordat deze vakken met de geoptimaliseerde faalkansbegroting voldoen aan de faalkanseis STBI.

*Tabel 3:
aangepaste
faalkansbegroting.*

Type waterkering	Faalmechanisme	Faalkans-ruimte
Dijk	Overloop en overslag	24%
	Opbarsten en piping	21%
	Macrostabiliteit binnenwaarts	7%
	Beschadiging bekleding en erosie buitentalud - Grasbekleding - Harde bekleding	5% 5%
Kunstwerk	Niet sluiten	4%
	Piping	2%
	Constructief falen	2%
Overig		30%
Totaal		100%

1.5

Leeswijzer

Dit rapport beschrijft de herziene veiligheidsopgave voor de faalmechanismen binnenwaartse macrostabiliteit (STBI), buitenwaartse macrostabiliteit (STBU), golfklappen op asfaltbekleding (AGK), wateroverdrukken bij asfaltbekleding (AWO), grasbekleding erosie buitentalud (GEBU) en stabiliteit steenzetting (ZST) op basis van nader veldonderzoek dat in de winter van 2018/2019 is uitgevoerd en de update van de hydraulische belastingen.

In de hoofdrapportage staat per faalmechanisme op hoofdlijnen de aanpak, resultaten en de impact op de veiligheidsopgave beschreven. In Figuur 11 staat per faalmechanisme een verwijzing naar het betreffende hoofdstuk. In de bijlagen volgt een nadere toelichting per analyse per faalmechanisme.

2 Hydraulische belastingen

2.1 Inleiding

Het uitgangspunt voor de veiligheidsopgave is het zichtjaar 2073 [RHDHV & HKV, 2018b]. De hydraulische belastingen zijn voor het zichtjaar 2070 afgeleid (Hoofdstuk 2 en Bijlage A). Het verschil in hydraulische belastingen tussen 2070 en 2073 valt binnen de marge, waardoor het geen effect heeft op de veiligheidsopgave.

In [HKV, 2018c] zijn de hydraulische belastingen afgeleid op basis van de destijds vigerende werkwijze. Die analyse is uitgevoerd met versie 2.4.0 van Hydra-NL. Bij de start van de verkenningfase is versie 2.4.1 van Hydra-NL beschikbaar gekomen⁸. Daarnaast is in [HKV, 2018c] geconstateerd dat de golfrandvoorwaarden voor bekleding bij profielen zonder voorland beperkt gereduceerd wordt door een ondiepe bodem. Daardoor kan de situatie zich voordoen dat de golfhoogte, die Hydra-NL als uitvoer levert, onrealistisch groot wordt. In deze analyse zijn de Hydra-NL rekenresultaten voor bekledingen daarom achteraf bijgesteld op basis van het advies voor een toets op maat van Mark Klein Breteler [Deltares, 2018b].

Dit hoofdstuk geeft in het kort de nieuwe hydraulische belastingen weer op basis van de vigerende versie van Hydra-NL, 2.4.1 en de bijgestelde golfrandvoorwaarden op basis van het advies voor een toets op maat van Mark Klein Breteler. In Bijlage A is een uitgebreide beschrijving opgenomen.

De aanpassingen in Hydra-NL 2.4.1 t.o.v. 2.4.0 hebben geen invloed op de rekenresultaten voor traject 12-1 en 13-5. De verschillen in rekenresultaten in paragraaf 2.2 t.o.v. [HKV, 2018c] zijn dus enkel het effect van de bijgestelde golfrandvoorwaarden op basis van het advies voor een toets op maat van Mark Klein Breteler [Deltares, 2018b].

2.2 Resultaten op hoofdlijnen

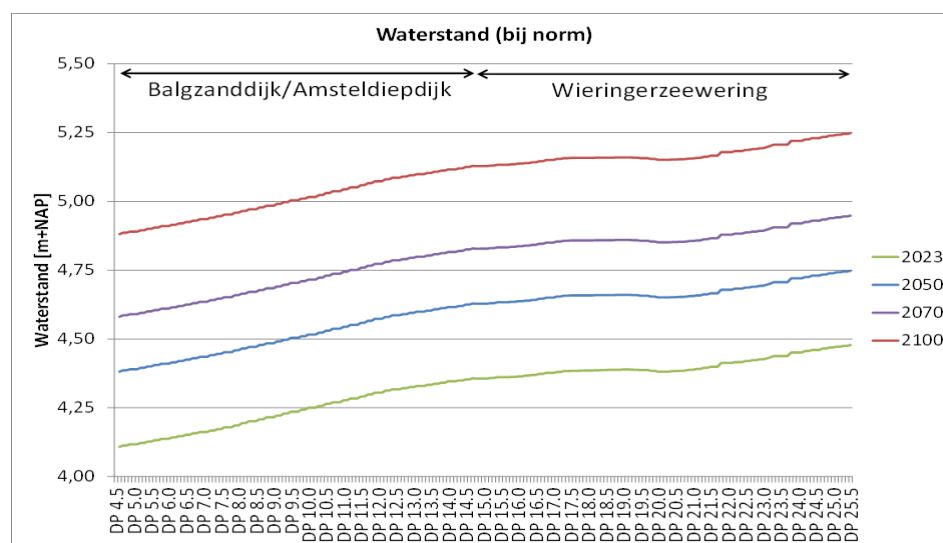
2.2.1 Hydraulische belastingen voor situatie met dieptelimitering

De waterstanden langs traject 12-1 en 13-5 bij de maximale toelaatbare overstromingskansen (1/1.000 per jaar) zijn weergegeven in Figuur 12. Zowel de waterstand als het hydraulisch belastingniveau (alleen weergegeven in Bijlage A) wijzigt niet door toepassing van een nieuwe versie van Hydra-NL.

⁸ Release Hydra 2.4.1 d.d. 17 mei 2018.

De reductie van de golfhoogte in een toets op maat (ToM) zijn voor de berekening van de waterstand en het hydraulisch belastingniveau niet relevant.

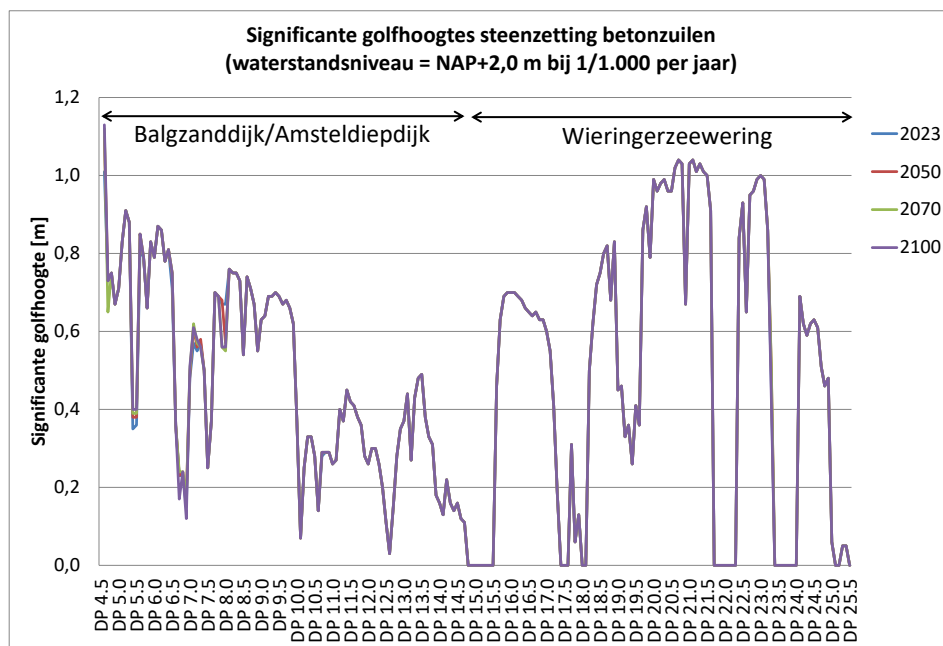
*Figuur 12:
Waterstand bij de
max. toelaatbare
overstromingskans
(1/1.000 per jaar).*



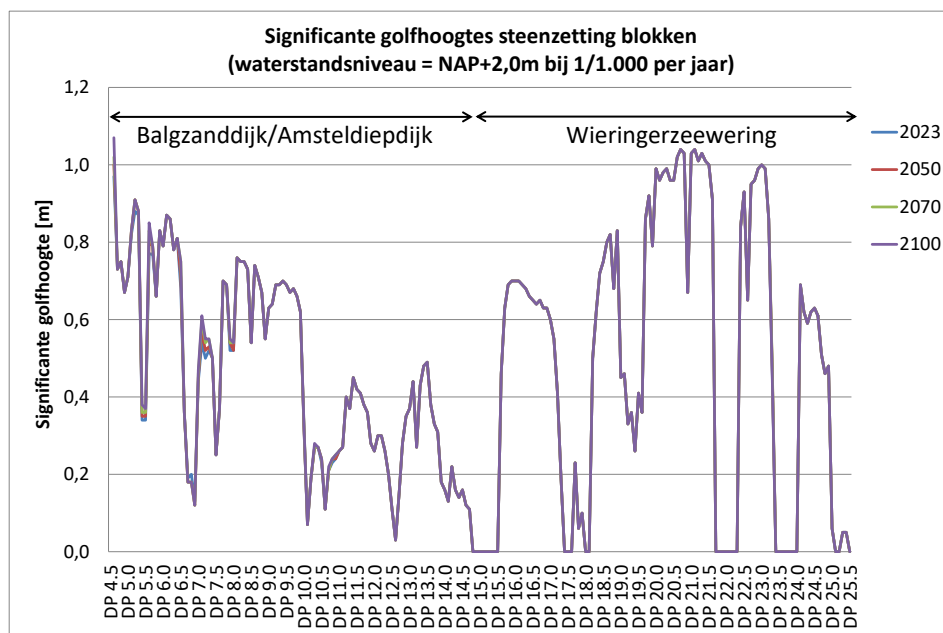
Voor de bekledingen is gerekend met vier soorten bekleding⁹: steenzetting van betonzuilen (T = 1.000 jaar - Figuur 13), steenzetting van blokken (T = 1.000 jaar - Figuur 14), asfalt (T = 1.000 jaar - Figuur 15) en gras (T = 66.667 jaar - Figuur 16). Per type bekleding is voor één relevant waterstandsniveau de significante golfhoogte weergegeven. Naarmate het waterstandsniveau toeneemt en de terugkeertijd afneemt, neemt de significante golfhoogte toe. Daarom is de significante golfhoogte bij het gepresenteerde waterstandsniveau voor grasbekleding (Figuur 16) hoger, dan bij asfalt (Figuur 15) en steenzetting van betonzuilen en blokken (Figuur 13 en Figuur 14).

⁹ Per type bekleding is de golfbelasting berekend voor verschillende waterstandsniveaus van NAP+0 m tot NAP+5 m, met een stapgrootte van 0,5m.

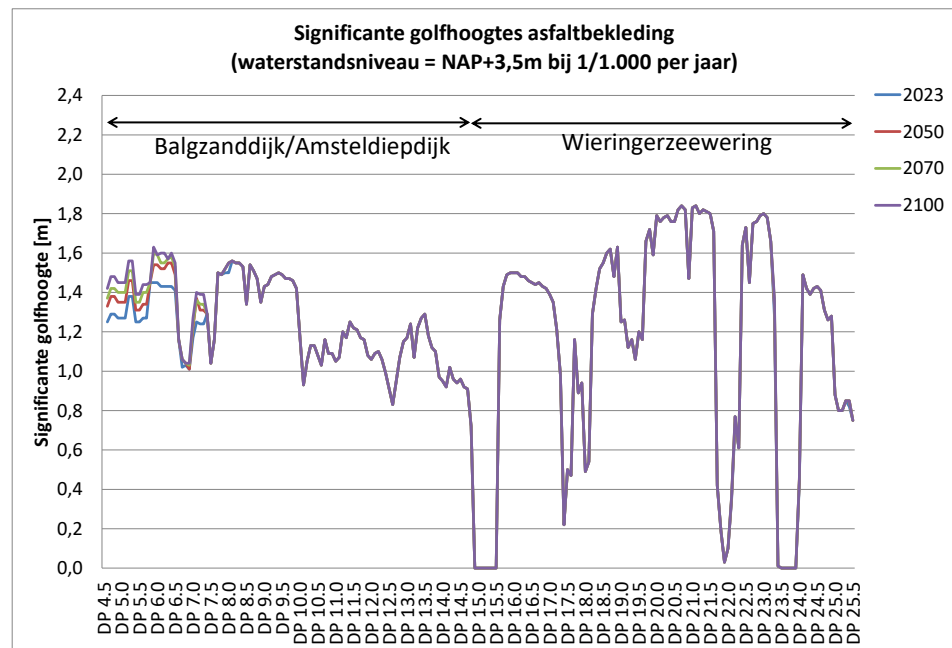
Figuur 13:
Significante
golfhoogtes voor de
Balgzanddijk, de
Amsteldiepdijk en de
Wieringerzeewering
bij een steenzetting
van betonzuilen voor
het waterstands-
niveau NAP+2 m en
de terugkeertijd
1.000 jaar.



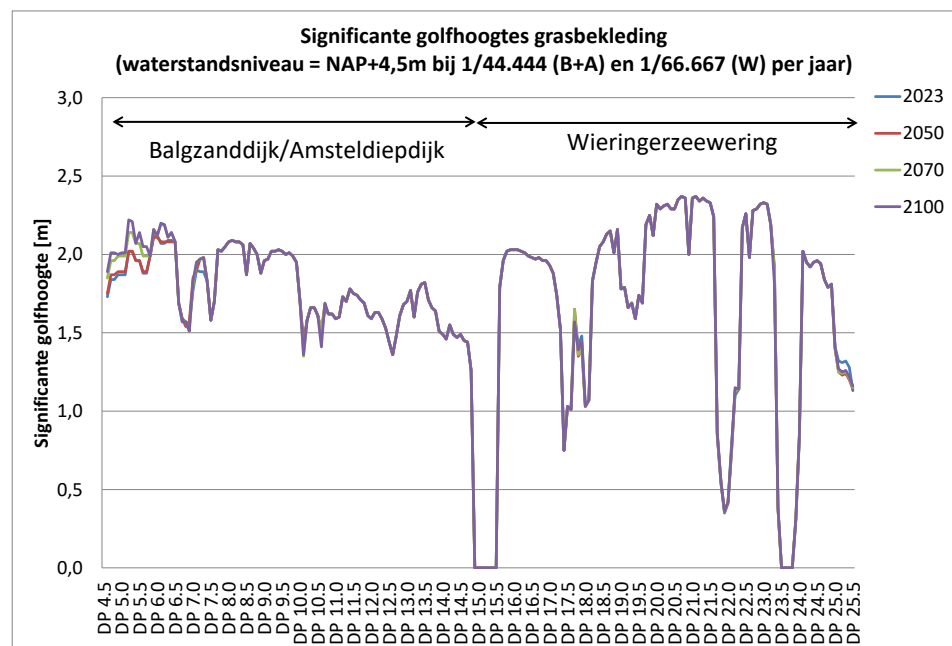
Figuur 14:
Significante
golfhoogtes voor de
Balgzanddijk, de
Amsteldiepdijk en de
Wieringerzeewering
bij een steenzetting
van blokken voor
het waterstands-
niveau NAP+2 m en
de terugkeertijd
1.000 jaar.



Figuur 15:
Significante
golfhoogtes voor de
Balgzanddijk, de
Amsteldiepdijk en de
Wieringerzeewering
bij asfalt voor het
waterstandsniveau
NAP+3,5 m en de
terugkeertijd
1.000 jaar.



Figuur 16:
Significante
golfhoogtes voor de
Balgzanddijk (B), de
Amsteldiepdijk (A)
en de
Wieringerzeewering
(W) bij gras voor het
waterstandsniveau
NAP+4,5 m en de
terugkeertijden
44.444 jaar (B+A)
en 66.667 (W).

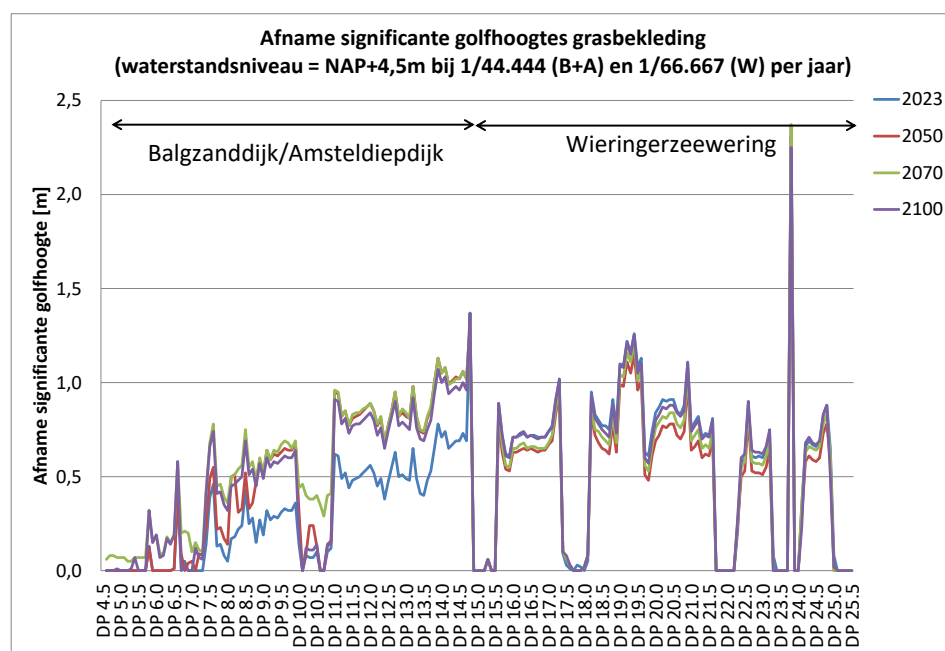


2.2.2

Impact op golfrandvoorwaarden bij situatie met dieptelimitering t.o.v. situatie zonder dieptelimitering

Door de dieptelimitering nemen de golfrandvoorwaarden af. De absolute afname van de golfhoogte neemt toe met de frequentie en de relevante waterstandsniveaus voor de bekledingstype waarbij de golfhoogte wordt berekend. De grasbekleding is het hoogst gelegen op het buitentalud, hiervoor is de afname van de golfhoogte het grootste .

Figuur 17:
Afname significante golfhoogtes voor de Balgzanddijk (B), de Amsteldiepdijk (A) en de Wieringerzeewering (W) bij gras voor het waterstandsniveau NAP+4,5 m en de terugkeertijden 44.444 jaar (B+A) en 66.667 (W).



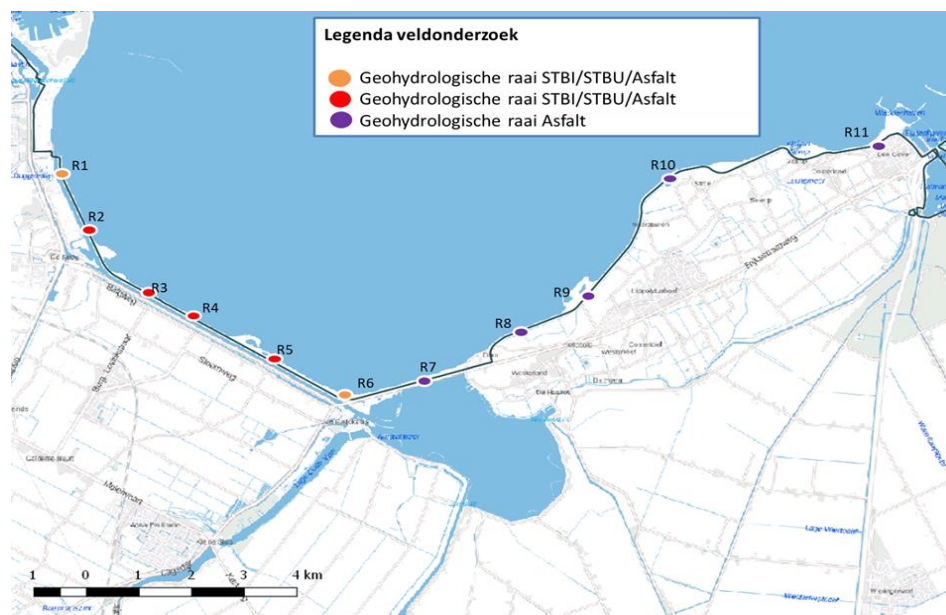
Voor meer informatie en voor de verschillen van de andere bekledingstypen wordt verwezen naar Bijlage A.

3 Geohydrologie

3.1 Inleiding

Voor het dijktraject Den Oever - Den Helder zijn hydrologische metingen uitgevoerd op een aantal locaties (zie Figuur 18). Per locatie zijn één of meerdere peilbuizen/ filters geplaatst waar de freatische lijn en de stijghoogte in de ondergrond gedurende enkele weken zijn gemeten (eind december 2018 t/m eind januari 2019). Vervolgens zijn op basis van deze metingen de respons van de stijghoogte op de fluctuaties in de buitenwaterstand van de Waddenzee en de ligging van de freatische lijn bij de maatgevende beoordelings- en/of ontwerpcondities bepaald. Bij raai 1 en raai 6 zijn meerdere filters geplaatst om de hydrologische uitgangspunten voor macrostabiliteit buiten- en binnenwaarts te bepalen. De raaien 1 t/m 11 zijn gebruikt om de hydrologische uitgangspunten voor de beoordeling van de asfaltbekleding te bepalen. Voor raai 2 t/m 5 geldt dat zowel voor macrostabiliteit als voor asfaltbekleding dat de hydrologische uitgangspunten zijn geïnterpoleerd o.b.v. raai 1 en 6.

Figuur 18: Locatie raaien voor bepaling stijghoogte bij MHW.



Dit hoofdstuk beschrijft de aanpak en resultaten op hoofdlijnen. Details van de analyse zijn beschreven in Bijlage B (geohydrologisch model t.b.v. opstellen van de freatische lijn), Bijlage C (bepaling van de respons van de stijghoogte) en Bijlage D (bepaling freatische lijn en stijghoogte t.b.v. veiligheidsanalyse).

3.2

Aanpak op hoofdlijnen

De freatische lijn is bepaald met het geohydrologisch model Plaxflow en de stijghoogte in de watervoerende zandlagen is bepaald met zogenaamde responscurves.

3.2.1

Freatische lijn

Voor de bepaling van de freatische lijn zijn vier stappen doorlopen:

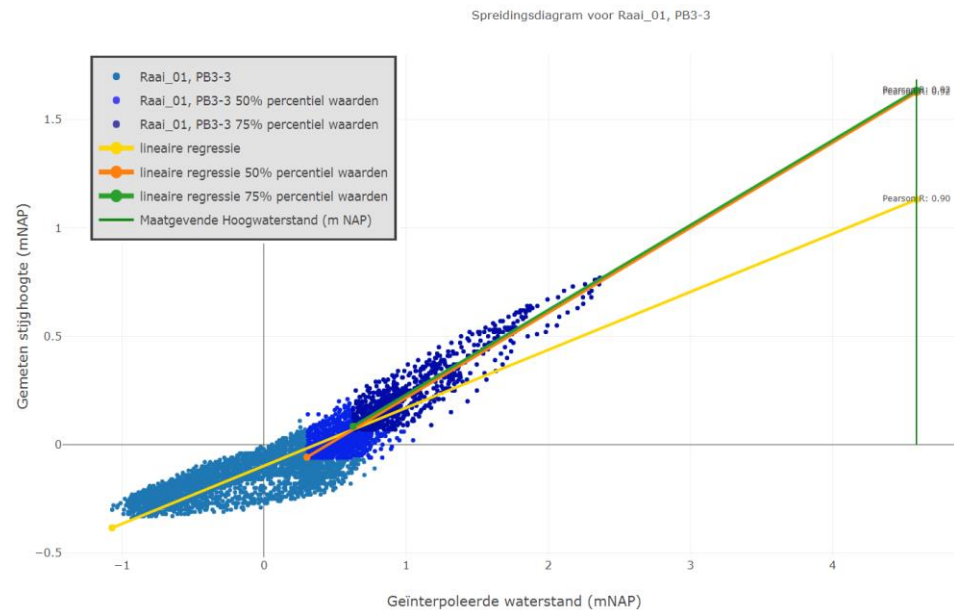
1. Opzet van een geohydrologisch model met Plaxflow. De geometrie van de waterkering, de geotechnische opbouw met bijbehorende eigenschappen en de hydraulische belastingen (buitenwaterstand, polderpeil en neerslag) zijn hierin de belangrijkste invoer parameters.
2. Kalibratie van het geohydrologische model aan de storm in januari 2019.
3. Simulatie van het freatisch vlak tijdens maatgevende omstandigheden (waterstand bij de norm in 2073 – T = 1.000 jaar).
4. Afleiden en schematiseren van de freatische lijn tijdens maatgevende omstandigheden en bij de val van waterstand bij de norm (MHW) naar springtij laagwater. Dit is de uiteindelijke input voor de veiligheidsanalyses die de veiligheidsopgave van het HWBP-project bepalen.

3.2.2

Stijghoogte

De stijghoogte in de watervoerende zandlaag is voor raai 1 tot en met 11 bepaald met responscurves. Deze responscurves beschrijven de relatie tussen de buitenwaterstand en de stijghoogte. De gemeten reactie van de stijghoogte op de buitenwaterstand wordt met de responscurve in de analyse geëxtrapoleerd naar stijghoogte tijdens omstandigheden bij de norm, o.b.v. de 75% percentielwaarden. Ter illustratie wordt in Figuur 20 de responsecurve voor raai 1 (peilbuis 3) weergegeven, waarbij de blauwe punten de gemeten stijghoogtes en de verticale groene lijn de waterstand bij de norm betreft.

Figuur 19:
Responsecurve
gemeten stijghoogte
en geïnterpoleerde
oppervlakte-
waterstand voor
Raai 01, peilbuis 3,
diepe filter.



3.3 Resultaten op hoofdlijnen

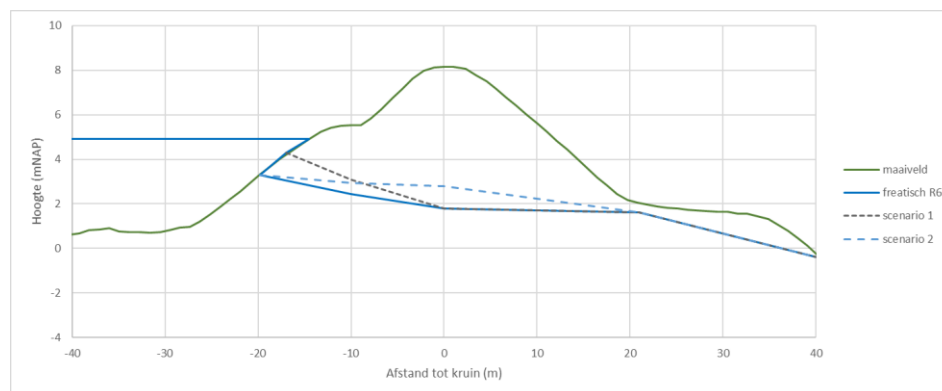
3.3.1 Freatische lijn

Uit de peilbuisanalyses en het geohydrologische model blijkt dat de freatische lijn beperkt reageert op fluctuaties in de buitenwaterstand. De geringe respons op het buitenwater hangt hoogstwaarschijnlijk samen met een grote intredeweerstand in het voorland. Om te anticiperen op onzekerheden omtrent de ligging van de freatische lijn de volgende scenario's opgesteld:

- Basisscenario zoals gemodelleerd met Plaxflow. Dit scenario heeft een kans van optreden van 80%.
- Scenario 1 anticipeert op onzekerheden in de ligging en de hierbij behorende intredeweerstand van het voorland. De freatische waterstand ter plaatse van het buitentalud neemt met +1,0 m toe, de schematisering aan de binnenteen is ongewijzigd. Dit scenario heeft een kans van optreden van minder dan 10%.
- Scenario 2 brengt onzekerheden door extra infiltratie door golfoploop en golfoverslag in rekening. De freatische waterstand ter plaatse van de kruin neemt +1,0 m toe en de schematisering aan de buiten- en binnenteen blijft ongewijzigd. Dit scenario heeft een kans van optreden van minder dan 10%.

Alle resultaten zijn beschreven in Bijlage B (geohydrologische model) en Bijlage D (afleiding freatische lijn).

Figuur 20: Indicatie van freatische lijn en de twee scenario's. Alle resultaten zijn beschreven in Bijlage B en D.



3.3.2

Stijghoogte

Op basis van de responsmetingen is aangetoond dat het stijghoogteverloop bij de waterstand bij de norm (MHW) gunstiger is, dan de schematisatie op basis van het Technisch Rapport Waterspanningen bij Dijken [TAW,2004]. Over het algemeen is de gevonden respons eenduidig en is de correlatie tussen de buitenwaterstand en de stijghoogte dus goed. Bij de diepe filters is een sterkere respons (rond de 30%) van de stijghoogte op de buitenwaterstand. Voor de middeldiepe filters ligt de respons rond de 19%. De gemiddelde berekende respons voor de filters bij de Balgzanddijk (raai 1 t/m 6) komt goed overeen met de door Fugro afgeleide respons van circa 20 tot 30% [Fugro, 1999]¹⁰. Bovendien zijn meerdere raaien gemonitord, op basis waarvan nog een nadere indeling in hydrologische vakken gemaakt is. De stijghoogte zoals is toegepast in de veiligheidsanalyse is beschreven in Bijlage D.

Bij het opstellen van de spreidingsdiagrammen en het bepalen van de correlatie tussen de buitenwaterstand en de stijghoogte zijn bij drie meetpunten afwijkingen gevonden (Raai 6 - PB5-2, Raai 11 - PB4-2 en Raai 4 - PB3-2). Deze punten zijn als onbetrouwbaar aangemerkt en niet gebruikt in deze studie. Zie bijlage C, paragraaf 2.1.2.

¹⁰ METINGEN BIJ STORMOPZET (DEC. 1999) BALGZANDDIJK OP 6.850 EN OP 8.850

4 Macrostabiliteit

4.1 Inleiding

De definitieve veiligheidsopgave voor macrostabiliteit is bepaald door de oorspronkelijke veiligheidsanalyse te herzien met extra informatie over de ligging van de freatische lijn, de respons van de stijghoogte in de diepere ondergrond op het buitenwater en het opbarsten van de deklaag onder en achter de dijk. Daarnaast zijn enkele nieuwe inzichten, informatiebronnen en reviewresultaten beschikbaar gekomen die verwerkt kunnen worden in de geotechnische schematiseringen. Uit de eerdere fase is gebleken dat het niet zinvol is om meer informatie te verzamelen over de opbouw van de diepere ondergrond voor het verder aanscherpen van de ondergrondscenario's.

Dit nadere onderzoek voor macrostabiliteit heeft alleen betrekking op dijktracé Balgzanddijk omdat enkel deze dijkstrekking niet voldeed aan de eisen uit de Waterwet ten aanzien van dit beoordelingsspoor. Dit betrof voor het zichtjaar 2023 7,8 km voor de binnenwaartse macrostabiliteit (STBI) en 2,0 km voor de buitenwaartse macrostabiliteit (STBU). Voor zichtjaar 2073 neemt alleen de lengte voor buitenwaartse macrostabiliteit toe tot 2,5 km.

De aanpak, het resultaat en de impact op de veiligheidsopgave zijn op hoofdlijnen beschreven in dit hoofdstuk. De details over de werkwijze, uitgangspunten en resultaten zijn beschreven in Bijlage E.

4.2 Aanpak op hoofdlijnen

De geohydrologische schematisering (zoals beschreven in Hoofdstuk 3 en Bijlage D) is de basis voor de herziene veiligheidsanalyse voor STBI en STBU. De overige uitgangspunten komen overeen met de restlevensduuranalyse [HKV, 2018c]. Op basis van de stijghoogte uit Bijlage D is als eerste de controle op opbarsten opnieuw uitgevoerd. Daarna de D-Geo Stability schematisatie geüpdatet met de nieuwe freatische lijn, stijghoogte en controle op opbarsten.

De analyse is in twee stappen uitgevoerd. Eerst zijn de geohydrologische uitgangspunten gebaseerd op alleen raai 6 uit het geohydrologisch onderzoek. In een tweede slag zijn de resultaten gebaseerd op raai 1 t/m 6 (waarbij de freatische grondwaterstand voor raai 2 t/m 5 is geïnterpoleerd tussen raai 1 en 6).

4.3

Resultaten op hoofdlijnen

De resultaten voor STBI laten zien dat het grootste deel van de Balgzanddijk in 2073 voldoet aan de maximaal toelaatbare overstromingskans. De resultaten zijn gebaseerd op de peilbuizen uit raai 1 t/m 6. Ondanks dat de betrouwbaarheid van de peilbuismetingen in raai 1 iets lager is dan in raai 6 worden de resultaten voldoende betrouwbaar geacht om de veiligheidsopgave op te baseren.

Voor STBU voldoen alle vakken aan de maximaal toelaatbare overstromingskans in 2073.

De resultaten voor STBI en STBU zijn uitvoerig beschreven in Bijlage D.¹¹

4.4

Impact nader onderzoek op veiligheidsopgave

De oorspronkelijke veiligheidsopgave voor STBI bestond uit de hele Balgzanddijk met een lengte van 7,8 km. De nadere analyses voor STBI laten zien dat de opgave meer dan halveert en dat met name het noordelijke deel van de Balgzanddijk tussen DP 4.5 en DP 8.7 (4,1 km) en het meest zuidelijke dijkvak tussen DP 11.7+50 en DP 12.2+50 (0,5 km) aan de eis voldoen. Dit wordt veroorzaakt door lagere ligging van freatische lijn en een lagere stijghoogte in de aquifer als gevolg van een lagere invloed van de buitenwaterstand die met behulp van de peilbuismetingen is vastgesteld. Er blijft een veiligheidsopgave voor STBI van 3,1 km tussen DP 8.7 en DP 11.7+50. De dijkvakken tussen DP 8.7 en DP 10.7+50 hebben een factor 30 – 90 afstand tot de eis bij de maximaal toelaatbare kans. De dijkvakken van DP 10.7+50 tot DP 11.7+50 hebben een factor 5 afstand tot de eis bij de maximaal toelaatbare kans.

De oorspronkelijk veiligheidsopgave voor STBU bestond uit 2,0 km van de Balgzanddijk¹². Het nader onderzoek leidt ertoe dat er geen veiligheidsopgave voor STBU is. De peilbuismetingen laten zien dat de freatische lijn lager ligt dan initieel was aangenomen.

*Tabel 4:
Veiligheidsopgave
STBI voor zichtjaar
2073 voor-
verkenningfase en
nader onderzoek.*

Vakken		Veiligheidsopgave 2073 Voorverkenningfase	Veiligheidsopgave 2073 Nader onderzoek
BZD	DP4.5 tot 8.7	Veiligheidsopgave 2073	Geen opgave
	DP8.7 tot 11.7+50	Veiligheidsopgave 2073	Veiligheidsopgave 2073
	DP11.7+50 tot 12.2+50	Veiligheidsopgave 2073	Geen opgave
	DP12.2+50 tot 12.6	Geen opgave	Geen opgave

¹¹ In Bijlage D zijn ook de resultaten voor alle vakken op basis van de freatische lijn voor de raai 6 beschreven.

¹² Daarnaast behoorden ook de vakken 13006.8 en 13007.1 tot de oorspronkelijke veiligheidsopgave voor STBU, omdat deze niet voldoen aan de signaleringswaarde in 2073. Deze vakken voldeden in de eerdere analyse wel aan de eis bij de maximaal toelaatbare overstromingskans in 2073.

Vakken		Veiligheidsopgave 2073 Voorverkenningfase	Veiligheidsopgave 2073 Nader onderzoek
ADD	DP12.6 tot 14.8	Geen opgave	Geen opgave
WZW	DP14.8 tot 25.67	Geen opgave	Geen opgave
Totale lengte		7,8 km	3,05 km

Tabel 5:
Veiligheidsopgave
STBU voor zichtjaar
2073 voor-
verkenningfase en
nader onderzoek.

Vakken		Veiligheidsopgave 2073 Voorverkenningfase	Veiligheidsopgave 2073 Nader onderzoek
BZD	DP4.5 tot 6.6+40	Geen opgave	Geen opgave
	DP6.6+40 tot 7.1+50	Veiligheidsopgave 2073	Geen opgave
	DP7.1+50 tot 9.2	Geen opgave	Geen opgave
	DP9.2 tot 9.7	Veiligheidsopgave 2073	Geen opgave
	DP9.7 tot 11.2+50	Geen opgave	Geen opgave
	DP11.2+50 tot 12.2+50	Veiligheidsopgave 2073	Geen opgave
	DP12.2+50 tot 12.6	Geen opgave	Geen opgave
ADD	DP12.6 tot 14.8	Geen opgave	Geen opgave
WZW	DP12.6 tot 25.67	Geen opgave	Geen opgave
Totale lengte		2,0 km	0 km

5 Asfaltbekleding

5.1 Inleiding

In de WBI-beoordeling [HKV,2017c] is geen veiligheidsoordeel gegeven over de asfaltbekleding omdat niet werd voldaan aan de toepassingsvoorwaarden van golfklappen op asfaltbekleding (AGK) en wateroverdrukken bij asfalt (AWO). Op basis van het nader veldonderzoek is deze toepassingsvoorwaarde verder onderzocht.

De aanpak, het resultaat en de impact op de veiligheidsopgave zijn op hoofdlijnen beschreven in dit hoofdstuk. De details over de werkwijze, uitgangspunten en resultaten zijn beschreven in Bijlage F.

5.2 Aanpak op hoofdlijnen

Voor het faalmechanisme golfklappen op asfaltbekleding is de geldigheid van de toepassingsvoorwaarde onderzocht op basis van de freatische lijnen die zijn afgeleid op basis van het nader veldonderzoek (Hoofdstuk 3 en Bijlage D). Er is getoetst of de grondwaterstand onder omstandigheden bij de norm wel of niet tegen de onderrand van de asfaltbekleding staat. Als de grondwaterstand niet tegen de asfaltbekleding staat wordt voldaan aan de toepassingsvoorwaarden. Als de grondwaterstand wel tegen de asfaltbekleding staat (en dus hoger ligt dan de onderrand van het asfalt) wordt niet voldaan aan de toepassingsvoorwaarden. Onder omstandigheden bij de norm is voor de freatische waterstand een rekenwaarde aangehouden door de freatische lijn met een toeslag van 0,1 m te verhogen volgens Scenario 1 (beschreven in paragraaf 3.3.1).¹³

Voor het faalmechanisme wateroverdrukken bij asfaltbekleding geldt dat de geldigheid van de toepassingsvoorwaarde betrekking heeft op de ondergrondopbouw. Alleen bij een zand-op-zand ondergrondopbouw of een volledig dichte bekleding op een kleiondergrond zijn de rekenregels uit het WBI2017 toepasbaar.

5.3 Resultaten op hoofdlijnen

De veiligheidsopgave voor AWO/AGK is per dijkpaal afgeleid. Dit betekent dat de veiligheidsopgave voor DP20.0 van toepassing is op het dijkvak met grenzen DP19.9+50 tot DP20.0+50.

¹³ In scenario1 wordt uitgegaan van een kans van 10% op 1 meter stijging van de freatische waterstand in het buitentalud. Als rekenwaarde voor de freatische waterstand wordt aangehouden dat de freatische lijn wordt verhoogd met 0,1m (10% x 1,0m).

Figuur 21 t/m Figuur 23 laat de ligging van de freatische lijn t.o.v. de onderkant van het asfalt zien. In de beschrijving van de resultaten wordt onderscheid gemaakt tussen Balgzanddijk ter hoogte van DP4.5 t/m DP11.3, Balgzanddijk en Amsteldiepdijk ter hoogte van DP11.3 t/m DP15.0 en de Wieringerzeewering.

De asfaltbekleding van de Balgzanddijk ter hoogte van DP4.5 t/m DP11.3 voldoen aan de toepassingsvoorwaarden voor AGK. Voor deze locaties wordt voldaan de maximaal toelaatbare overstromingskans. Uit de WBI-beoordeling [HKV, 2017c] volgt namelijk de asfaltbekleding minimaal voldoet aan de maximaal toelaatbare overstromingskans voor AGK, indien wordt voldaan aan de toepassingsvoorwaarden. Ook op de Wieringerzeewering ligt de onderrand van de asfaltbekleding, waar aanwezig, hoger dan de grondwaterstand (met uitzondering van DP20.0). Hier wordt daarom ook voldaan aan de toepassingsvoorwaarden voor AGK. De asfaltbekleding van de Wieringerzeewering is beoordeeld conform het WBI. Hieruit volgt dat wordt voldaan aan de maximaal toelaatbare overstromingskans voor het zichtjaar 2073.

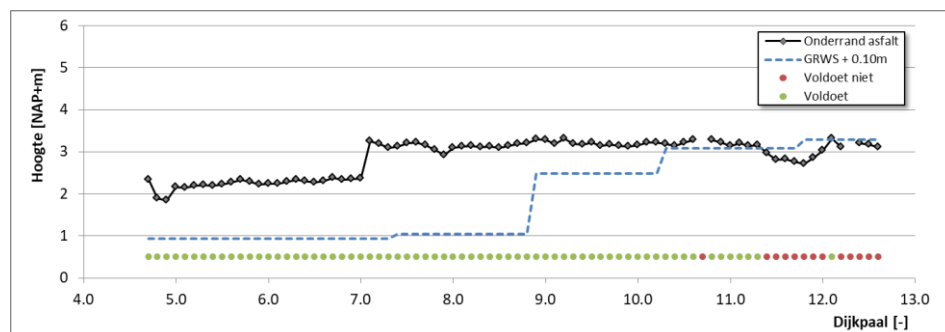
Vanuit de eisen van de Waterwet is er daarom geen reden om de asfaltbekleding op de Balgzanddijk van DP4.5 t/m DP11.3 en de asfaltbekleding op de Wieringerzeewering te vervangen en dus op te nemen in de veiligheidsopgave. Op basis van de restlevensduur van het asfalt die beschreven staat in het KOAC rapport [KOAC, 2018] kan een afweging worden gemaakt om het groot onderhoud aan het asfalt eventueel mee te koppelen met het huidige versterkingsproject.

De asfaltbekleding van de Balgzanddijk en Amsteldiepdijk ter hoogte van DP11.3 t/m DP15.0 voldoen niet aan de toepassingsvoorwaarden voor AGK. Daarnaast wordt voor een locatie op de Wieringerzeewering (DP20.0) niet voldaan aan de toepassingsvoorwaarden voor AGK, de oorsprong van deze lokale uitschieter van de asfaltrand op deze locatie is onduidelijk en wordt nog onderzocht. Als de freatische lijn tegen het asfalt staat is sprake van een verzadigde ondergrond onder de asfaltbekleding die kan leiden tot verwekingsverschijnselen of lokale afschuiving. Ook kan de in rekening te brengen stijfheid van de ondergrond niet op de gebruikelijke manier worden vastgesteld. In de expertsessie asfalt (juni 2017) is aangegeven dat nog onvoldoende inzicht is in het gedrag van de asfaltbekleding in de verzadigde zone om deze te beoordelen. Daarom wordt aangeraden deze asfaltbekleding bij gebrek aan een beoordelingsmethode op te nemen in de veiligheidsopgave.

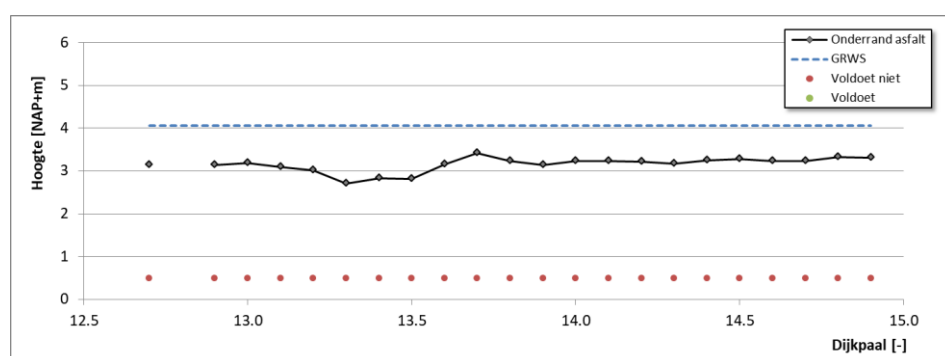
Als de freatische lijn tijdens omstandigheden bij de norm niet hoger ligt dan de onderrand van het asfalt kan ook geen sprake zijn van wateroverdrukken bij de asfaltbekleding (AWO). De strekkingen die voldoen aan de maximaal toelaatbare overstromingskans voor AGK, voldoen daarom ook aan de maximaal toelaatbare overstromingskans voor AWO (BZD t/m DP11.3 en WZW behalve DP20.0). Omdat de asfaltbekleding van DP11.3 t/m DP15.0 (BZD en ADD) niet voldoet aan de maximaal toelaatbare overstromingskans

voor AGK heeft eventueel goedkeuren van AWO geen impact op de veiligheidsopgave voor de asfaltbekleding. De beoordeling van AWO is daarom niet aangescherpt voor locaties waar voor AGK niet wordt voldaan. Alle resultaten zijn beschreven in Bijlage F.

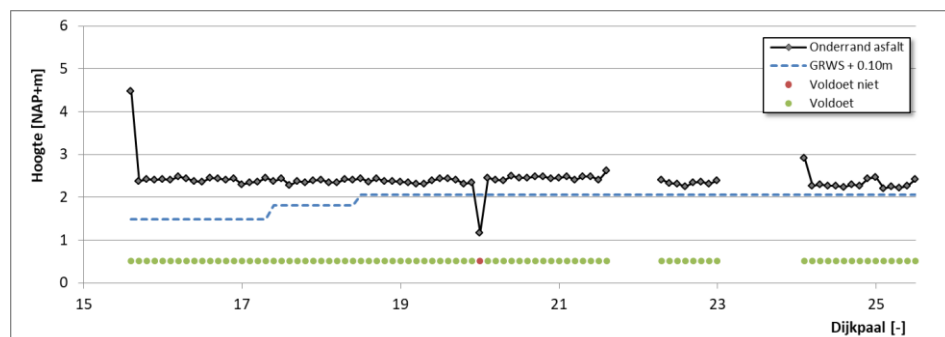
*Figuur 21:
Resulterende
vergelijking tussen
onderrand van het
asfalt en de GRWS +
0,10 m van de
Balgzanddijk.*



*Figuur 22:
Resulterende
vergelijking tussen
onderrand van het
asfalt en de GRWS
van de
Amsteldiepdijk.*



*Figuur 23:
Resulterende
vergelijking tussen
onderrand van het
asfalt en de GRWS +
0,10 m van de
Wieringerzeewering.*



5.4

Impact nader onderzoek op veiligheidsopgave

Door de aanvullende informatie uit het nader veldonderzoek valt de asfaltbekleding op de Balgzanddijk tussen DP4.5 t/m 11.3 uit de veiligheidsopgave en op de Wieringerzeewering in zijn geheel uit de veiligheidsopgave (met uitzondering van DP20.0). Bij gebrek aan een goede methode om een asfaltbekleding in de verzadigde zone te beoordelen wordt aangeraden de strekking tussen DP11.3 t/m DP15.0 (Balgzanddijk en Amsteldiepdijk) in de veiligheidsopgave op te nemen.

Voor de dijkvakken die niet tot de veiligheidsopgave behoren kan op basis van het KOAC rapport over de restlevensduur van het asfalt [KOAC, 2018]

kan een afweging worden gemaakt om het groot onderhoud aan het asfalt eventueel mee te koppelen met het huidige versterkingsproject.

De oorspronkelijke veiligheidsopgave bestond uit de hele Balgzanddijk en de Amsteldiepdijk (totaal 10,35 km). Voor de Wieringerzeewering geldt dat op basis van LTR3+ is vastgesteld dat er geen veiligheidsopgave is (totaal 10,9 km). Het nader onderzoek heeft geleid dat de veiligheidsopgave is gereduceerd tot 3,9 km.

*Tabel 6:
Veiligheidsopgave
AWO/AGK voor
zichtjaar 2073 voor-
verkenningfase en
nader onderzoek.*

Vakken		Veiligheidsopgave 2073 Voorverkenningfase	Veiligheidsopgave 2073 Nader onderzoek
BZD	DP4.5 tot 11.2+50	Nader onderzoek nodig	Geen opgave
	DP11.2+50 tot 12.6	Nader onderzoek nodig	Veiligheidsopgave 2073
ADD	DP12.6 tot 14.8	Nader onderzoek nodig	Veiligheidsopgave 2073
WZW	DP14.8 tot 15.0+50	Geen opgave	Veiligheidsopgave 2073
	DP15.0+50 tot 19.9+50	Geen opgave	Geen opgave
	DP19.9+50 tot 20.0+50	Geen opgave	Veiligheidsopgave 2073
	DP20.0+50 tot 25.67	Geen opgave	Geen opgave
Totale lengte		10,35 km	3,9 km

6 Grasbekleding buitentalud

6.1 Inleiding

Naar aanleiding van de update van de hydraulische belastingen is de beoordeling van het faalmechanisme grasbekleding erosie buitentalud (GEBU) herzien. Dit hoofdstuk beschrijft de aanpak, het resultaat en de impact op de veiligheidsopgave op hoofdlijnen. De details over de werkwijze, uitgangspunten en resultaten zijn beschreven in Bijlage G.

6.2 Aanpak op hoofdlijnen

De veiligheidsopgave voor GEBU is bepaald conform de aanpak in WBI-beoordeling van de Balgzanddijk en de Amsteldiepdijk [HKV, 2017b] en de nadere veiligheidsanalyse van de Wieringerzeewering [HKV, 2017a]. Het uitgangspunt voor het nader onderzoek is een grasbekleding met een open zoden, conform de integrale uitgangspuntennotitie [RHDHV & HKV, 2018b]. Uit afstemming met de dijkbeheerder is gebleken dat het tot op heden niet mogelijk is geweest om gesloten zoden te realiseren/beheren over het gehele dijktraject. Ten aanzien van de veiligheidsopgave wordt daarom voor de voor het faalmechanisme GEBU (Gras Erosie Buitentalud) uitgegaan van de opgave conform open zoden.

In deze herziene analyse zijn de gereduceerde golfrandvoorwaarden (o.b.v. het advies voor een toets op maat van Mark Klein Breteler – zie Hoofdstuk 2) gebruikt.

Daarnaast zijn conform [HKV,2017b] voor de Balgzanddijk en de Amsteldiepdijk die locaties zijn beschouwd die representatief zijn voor hele dijk (zes locaties in totaal). Voor de Wieringerzeewering is de beoordeling bij alle dijkpalen uitgevoerd (conform [HKV,2017a]). De analyse is uitgevoerd bij de maximaal toelaatbare overstromingskans voor de zichtjaren 2023 en 2073¹⁴.

¹⁴ Het uitgangspunt voor de veiligheidsopgave is het zichtjaar 2073 [RHDHV & HKV,2018b]. De hydraulische belastingen zijn voor het zichtjaar 2070 afgeleid (Hoofdstuk 2 en Bijlage A). Het verschil in hydraulische belastingen tussen 2070 en 2073 valt binnen de marge, waardoor het geen effect heeft op de veiligheidsopgave.

6.3

Resultaten op hoofdlijnen

De veiligheidsopgave voor GEBU is per dijkpaal afgeleid. Dit betekent dat de veiligheidsopgave voor DP20.0 van toepassing is op het dijkvak met grenzen DP19.9+50 tot DP20.0+50.

De Balgzanddijk en de Amsteldiepdijk voldoen in zijn geheel tot en met 2070 aan de eisen voor GEBU t.a.v. golfloop en golfklap (zowel open als gesloten zode).

Ongeveer 40 procent van de Wieringerzeewering voldoet tot en met 2070 niet aan de eisen voor GEBU bij een grasbekleding met een open zode als gevolg voor het falen door golfloop. De veiligheidsopgave t.a.v. golfloop betreft 35 van de 88 dijkpalen die verspreid zijn gelegen (3,5 km):

- DP 16.0
- DP 16.2 – DP 16.4
- DP 16.8 – DP 17.0
- DP 18.5 – DP 18.7
- DP 19.8
- DP 20.0 – DP 20.8
- DP 21.0 – DP 21.5
- DP 22.4 – DP 22.5
- DP 22.7 – DP 23.2
- DP 24.2

Bij de dijkpalen DP21.7, DP22.1 en DP22.2 (betreft 0,3 km) is in 2070 sprake van falen door golfklap (ongeacht de kwaliteit van de graszode). Dit zijn de locaties op de overgang van de reguliere waterkering naar de hooggelegen voorlanden. Bij deze hooggelegen voorlanden is geen asfalt meer aanwezig. Hier is het hooggelegen voorland nog te kort om de golven te reduceren. Omdat de asfaltbekleding niet meer aanwezig is, is de grasmat kwetsbaar voor golfklap (zie Bijlage F).

Figuur 24: Ligging van de dijkpalen van DP21.4 t/m 22.4. De satellietfoto toont ook de ligging van het voorland en de locaties van de asfaltbekleding (grijze vlakken).



6.4

Impact nader onderzoek op veiligheidsopgave

De veiligheidsopgave voor GEBU voor zichtjaar 2073 is vastgesteld op basis van een grasbekleding met een open zoden. T.a.v. golfloop en golfklap is

er geen veiligheidsopgave voor de Balgzanddijk en Amsteldiepdijs. Voor de Wieringerzeewering geldt een veiligheidsopgave voor ongeveer 40 procent van het traject (3,8 km).

De oorspronkelijke veiligheidsopgave besloeg 6,1 km (DP 14.8 – DP 14.9 en DP 18.3 – DP 24.1) van de Wieringerzeewering bij een grasbekleding met een open zoden. Het nader onderzoek heeft geleid tot een reductie van de veiligheidsopgave met 2,3 km.

*Tabel 7:
Veiligheidsopgave
GEBU voor zichtjaar
2073 voor-
verkenningfase en
nader onderzoek.*

Vakken		Veiligheidsopgave 2073 Voorverkenningfase	Veiligheidsopgave 2073 Nader onderzoek
BZD	DP4.5 tot 12.6	Geen opgave	Geen opgave
ADD	DP12.6 tot 14.8	Geen opgave	Geen opgave
WZW	DP14.8 tot 14.9+50	Veiligheidsopgave 2073	Geen opgave
	DP14.9+50 tot 15.9+50	Geen opgave	Geen opgave
	DP15.9+50 tot 16.0+50	Geen opgave	Veiligheidsopgave 2073
	DP16.0+50 tot 16.1+50	Geen opgave	Geen opgave
	DP 16.1+50 tot 16.4+50	Geen opgave	Veiligheidsopgave 2073
	DP 16.4+50 tot 16.8	Geen opgave	Geen opgave
	DP 16.7+50 tot 17.0+50	Geen opgave	Veiligheidsopgave 2073
	DP 17.0+50 tot 18.2+50	Geen opgave	Geen opgave
	DP18.2+50 tot 18.4+50	Veiligheidsopgave 2073	Geen opgave
	DP18.4+50 tot 18.7+50	Veiligheidsopgave 2073	Veiligheidsopgave 2073
	DP18.7+50 tot 19.7+50	Veiligheidsopgave 2073	Geen opgave
	DP19.7+50 tot 19.8+50	Veiligheidsopgave 2073	Veiligheidsopgave 2073
	DP19.8+50 tot 19.9+50	Veiligheidsopgave 2073	Geen opgave
	DP19.9+50 tot 20.8+50	Veiligheidsopgave 2073	Veiligheidsopgave 2073
	DP20.8+50 tot 20.9+50	Veiligheidsopgave 2073	Geen opgave
	DP20.9+50 tot 21.5+50	Veiligheidsopgave 2073	Veiligheidsopgave 2073
	DP21.5+50 tot 21.6+50	Veiligheidsopgave 2073	Geen opgave
	DP21.6+50 tot 21.7+50	Veiligheidsopgave 2073	Veiligheidsopgave 2073
	DP21.7+50 tot 22.0+50	Veiligheidsopgave 2073	Geen opgave
	DP22.0+50 tot 22.1+50	Veiligheidsopgave 2073	Veiligheidsopgave 2073
	DP22.1+50 tot 22.2+50	Veiligheidsopgave 2073	Veiligheidsopgave 2073
	DP22.2+50 tot 22.3+50	Veiligheidsopgave 2073	Geen opgave
	DP22.3+50 tot 22.5+50	Veiligheidsopgave 2073	Veiligheidsopgave 2073
	DP22.5+50 tot 22.6+50	Veiligheidsopgave 2073	Geen opgave
	DP22.6+50 tot 23.2+50	Veiligheidsopgave 2073	Veiligheidsopgave 2073
	DP23.2+50 tot 24.1+50	Veiligheidsopgave 2073	Geen opgave
	DP24.1+50 tot 24.2+50	Geen opgave	Veiligheidsopgave 2073
	DP24.2+50 tot 25.67	Geen opgave	Geen opgave
Totale lengte		6,1 km	3,8 km

De veiligheidsopgave voor GEBU voor zichtjaar 2073 op basis van een grasbekleding met een gesloten zoden staat beschreven in Bijlage G.

7 Steenzetting

7.1 Inleiding

Naar aanleiding van de update van de hydraulische belastingen is de beoordeling van het faalmechanisme stabiliteit steenzetting (ZST) herzien. Dit hoofdstuk beschrijft de aanpak en de resultaten op hoofdlijnen plus de impact op de veiligheidsopgave. De details van de analyse zijn beschreven in Bijlage H.

7.2 Aanpak op hoofdlijnen

Voor het vaststellen van de veiligheidsopgave van de steenzetting op het buitentalud zijn de uitgangspunten van de Balgzanddijk en de Amsteldiepdijk overgenomen uit [HKV,2017b]. De uitgangspunten voor de Wieringerzeewering zijn overgenomen uit [HKV,2018b]. In de beoordeling is gebruik gemaakt van Steentoets v17.1.1.1. Daarnaast zijn de gereduceerde golfrandvoorwaarden (o.b.v. het advies voor een toets op maat van Mark Klein Breteler – zie Hoofdstuk 2) gebruikt voor de voorliggende analyse.

N.B.: De veiligheidsopgave van de steenzetting, waarmee de voorverkenningfase is afgerond [Deltares, 2018b], is voor enkele strekkingen gebaseerd op de gereduceerde golfrandvoorwaarden (o.b.v. het advies voor een toets op maat van Mark Klein Breteler – zie Hoofdstuk 2).

7.3 Resultaten op hoofdlijnen

De veiligheidsopgave voor ZST is per dijkvak afgeleid, waarbij elk dijkvak grenst tussen twee dijken (bijv. DP7.6 - 7.7).

De resultaten laten zien dat de steenbekleding op zowel de Balgzanddijk, Amsteldiepdijk en de Wieringerzeewering ten dele niet voldoet aan de maximaal toelaatbare overstromingskansen voor het zichtjaar 2073. De veiligheidsopgave voor de Balgzanddijk bestaat grotendeels uit losse secties van 100 m. Voor de veiligheidsopgave voor de Amsteldiepdijk en de Wieringerzeewering concentreert zich tot enkele secties met een grotere lengte.

Voor de Balgzanddijk voldoet 0,8 km niet aan de maximaal toelaatbare overstromingskansen, verspreid over 6 secties:

- DP7.6-7.7
- DP8.5-8.6
- DP9.5-9.8
- DP11.1-11.2

- DP11.3-11.4
- DP12.2-12.3

Voor de Amsteldiepdijk voldoet 0,4 km niet aan de maximaal toelaatbare overstromingskans, verspreid over 2 secties:

- DP12.9-13.1
- DP13.4-13.6

Voor de Wieringerzeewering voldoet 0,7 km niet aan de maximaal toelaatbare overstromingskans, verspreid over 2 secties:

- DP16.2 – 16.3
- DP18.4 – 19.0

De resultaten laten zien dat voor een aantal dijkvakken in [HKV,2018c] het oordeel 'Stabiel' is gegeven, terwijl uit de voorliggende analyse het oordeel 'Niet stabiel' volgt bij de maximaal toelaatbare overstromingskans in 2070. Een toelichting hierop wordt gegeven in Bijlage H.

7.4

Impact nader onderzoek op veiligheidsopgave

De herziene veiligheidsopgave voor ZST voor zichtjaar 2073 op basis van de gereduceerde golfrandvoorwaarden (o.b.v. het advies voor een toets op maat van Mark Klein Breteler – zie Hoofdstuk 2) wordt vergeleken met de (voorlopige) veiligheidsopgave, waarmee de voorverkenningfase is afgerond [HKV,2018c].

De veiligheidsopgave voor ZST voor zichtjaar 2073 bestaat totaal uit 1,9 km: voor de Balgzanddijk uit 0,8 km, voor de Amsteldiepdijk uit 0,4 km en voor de Wieringerzeewering uit 0,7 km.

De veiligheidsopgave voor ZST voor zichtjaar 2073 die is vastgesteld in de voorverkenningfase bedraagt 5,9 km. Hierbij is in de voorverkenningfase het effect van de dieptelimitering op de reductie van de golfrandvoorwaarden voor enkele vakken beschouwd. Dit betekent dat het nader onderzoek heeft geleid tot een netto afname van de veiligheidsopgave met 4,0 km: toename van de veiligheidsopgave voor de Balgzanddijk met 0,4 km¹⁵ en een reductie van de veiligheidsopgave voor de Amsteldiepdijk met 1,3 km en de Wieringerzeewering met 3,1 km. Indien het effect van de dieptelimitering op de reductie van de golfrandvoorwaarden voor alle dijkvakken wordt beschouwd, leidt dit tot een netto afname van de veiligheidsopgave met 4,6 km.

¹⁵ Hiervoor geldt voor 0,6 km dat o.b.v. het nader onderzoek een veiligheidsopgave wordt vastgesteld. Voor 0,2 km is o.b.v. het nader onderzoek geen veiligheidsopgave meer van toepassing. Een toelichting wordt gegeven in Bijlage H.

Tabel 8:
Veiligheidsopgave
STBU voor zichtjaar
2073 voor-
verkenningfase en
nader onderzoek.

Vakken		Veiligheidsopgave 2073 Voorverkenningfase	Veiligheidsopgave 2073 Nader onderzoek
BZD	DP4.5 tot 7.6	Geen opgave	Geen opgave
	DP7.6 tot 7.7	Geen opgave	Veiligheidsopgave 2073
	DP7.7 tot 8.5	Geen opgave	Geen opgave
	DP8.5 tot 8.6	Geen opgave	Veiligheidsopgave 2073
	DP8.6 tot 9.5	Geen opgave	Geen opgave
	DP9.5 tot 9.8	Geen opgave	Veiligheidsopgave 2073
	DP9.8 tot 11.1	Geen opgave	Geen opgave
	DP11.1 tot 11.2	Veiligheidsopgave 2073	Veiligheidsopgave 2073
	DP11.2 tot 11.3	Geen opgave	Geen opgave
	DP11.3 tot 11.4	Veiligheidsopgave 2073	Veiligheidsopgave 2073
	DP11.4 tot 11.8	Geen opgave	Geen opgave
	DP11.8 tot 11.9	Veiligheidsopgave 2073	Geen opgave
	DP11.9 tot 12.0	Geen opgave	Geen opgave
	DP12.0 tot 12.1	Veiligheidsopgave 2073	Geen opgave
	DP12.1 tot 12.2	Geen opgave	Geen opgave
	DP12.2 tot 12.3	Geen opgave	Veiligheidsopgave 2073
	DP12.3 tot 12.6	Geen opgave	Geen opgave
ADD	DP12.6 tot 12.8	Veiligheidsopgave 2073	Geen opgave
	DP12.8 tot 12.9	Geen opgave	Geen opgave
	DP12.9 tot 13.1	Veiligheidsopgave 2073	Veiligheidsopgave 2073
	DP13.1 tot 13.4	Geen opgave	Geen opgave
	DP13.4 tot 13.5	Geen opgave	Veiligheidsopgave 2073
	DP13.5 tot 13.6	Veiligheidsopgave 2073	Veiligheidsopgave 2073
	DP13.6 tot 14.8	Veiligheidsopgave 2073	Geen opgave
WZW	DP14.8 tot 14.9	Veiligheidsopgave 2073	Geen opgave
	DP14.9 tot 15.7	Geen opgave	Geen opgave
	DP15.7 tot 16.2	Veiligheidsopgave 2073	Geen opgave
	DP16.2 tot 16.3	Veiligheidsopgave 2073	Veiligheidsopgave 2073
	DP16.3 tot 17.5	Veiligheidsopgave 2073	Geen opgave
	DP17.5 tot 17.6	Geen opgave	Geen opgave
	DP17.6 tot 17.7	Veiligheidsopgave 2073	Geen opgave
	DP17.7 tot 17.8	Geen opgave	Geen opgave
	DP17.8 tot 18.4	Veiligheidsopgave 2073	Geen opgave
	DP18.4 tot 19.0	Veiligheidsopgave 2073	Veiligheidsopgave 2073
	DP19.0 tot 19.6	Veiligheidsopgave 2073	Geen opgave
	DP19.6 tot 25.67	Geen opgave	Geen opgave
Totale lengte		5,9 km	1,9 km

8

Conclusie veiligheidsopgave

De Verkenningfase Den Oever - Den Helder is gestart met een (voorlopige) veiligheidsopgave, waarmee de voorverkenningfase is afgerond. Bij de start van de verkenningfase zijn verschillende dominante onzekerheden geselecteerd die ten tijde van de voorverkenning veilig zijn geschematiseerd en (WBI2017) omdat aanvullende informatie ontbrak om dit nader te onderbouwen. Om de onzekerheden te verkleinen is in de winter van 2018 / 2019 een nader veldonderzoek uitgevoerd om tot een betrouwbaarder schematisering van de (geohydrologische) uitgangspunten te komen. Ten tweede zijn de hydraulische belastingen geüpdatet zodat ze overeenkomen met de vigerende leidraden. Daarnaast is voor de hydraulische belastingen een toets op maat uitgevoerd om te voorkomen dat te hoge golven berekend worden. Op basis van deze herziene geohydrologische uitgangspunten en de nieuwe hydraulische belastingen is de veiligheidsopgave opnieuw vastgesteld.

Macrostabiliteit (STBI en STBU)

De analyse voor STBI en STBU is alleen uitgevoerd langs de Balgzanddijk omdat de Amsteldiepdijk en de Wieringerzeewering niet binnen de veiligheidsopgave vielen, waarmee de voorverkenningfase is afgerond.

*Figuur 25:
Veiligheidsopgave
STBI voor 2073.*



De veiligheidsopgave voor STBI waarmee de voorverkenningfase is afgerond betreft de gehele Balgzanddijk à 7,8 km. Door het aanvullend veldonderzoek is de veiligheidsopgave op de Balgzanddijk voor STBI tot 3,05 km

gereduceerd. Het grootste deel van de Balgzanddijk in 2073 voldoet aan de maximaal toelaatbare overstromingskans.

*Figuur 26:
Veiligheidsopgave
STBU voor 2073.*



De veiligheidsopgave voor STBU waarmee de voorverkenningfase is afgerond betreft 2,0 km van de Balgzanddijk. Met het aanvullend veldonderzoek is aangetoond dat er geen veiligheidsopgave voor STBU.

Asfaltbekleding (AGK en AWO)

Met de informatie uit het nader veldonderzoek voldoet de asfaltbekleding op de Wieringerzeewering (DP20.0 uitgezonderd) en op de Balgzanddijk tussen DP4.5 t/m 11.3 aan de maximaal toelaatbare overstromingskans. Deze secties vallen daarom buiten de veiligheidsopgave. Op basis van de huidige inzichten behoort de sectie tussen DP11.3 t/m DP15.0 (Balgzanddijk en Amsteldiepdijk) tot de veiligheidsopgave.

Figuur 27:
Veiligheidsopgave
AWO en AGK voor
2073.



Voor de dijkvakken die niet tot de veiligheidsopgave behoren kan op basis van het KOAC rapport over de restlevensduur van het asfalt [KOAC, 2018] een afweging worden gemaakt om het groot onderhoud aan het asfalt eventueel mee te koppelen met het huidige versterkingsproject. Dit wordt verder onderzocht in de verkennings- en planuitwerkingsfase.

De oorspronkelijke veiligheidsopgave bestond uit de hele Balgzanddijk en de Amsteldiepdijk (totaal 10,35 km). Voor de Wieringerzeewering geldt dat op basis van LTR3+ is vastgesteld dat er geen veiligheidsopgave is (totaal 10,9 km). Het nader onderzoek heeft geleid dat de veiligheidsopgave is gereduceerd tot 3,9 km.

Grasbekleding buitentalud (GEBU)

De veiligheidsopgave voor GEBU waarmee de voorverkenningfase is afgerond betreft 6,1 km van de Wieringerzeewering, uitgaande van een grasbekleding op het buitentalud met een open zoden. Het nader onderzoek heeft geleid tot een herziene veiligheidsopgave voor GEBU voor zichtjaar 2073 van 3,8 km, verspreid gelegen over Wieringerzeewering.

Dit betekent dat het nader onderzoek heeft geleid tot een totale reductie van de veiligheidsopgave van 2,3 km. Deze reductie wordt veroorzaakt door de dieptelimitering van de golfhoogte volgens het advies voor een toets op maat van Mark Klein Breteler.

*Figuur 28:
Veiligheidsopgave
GEBU voor 2073.*



Stabiliteit steenzetting (ZST)

Het nader onderzoek heeft geleid tot een herziene veiligheidsopgave voor ZST voor zichtjaar 2073 van 1,9 km, verspreid over de Balgzanddijk (0,8 km), Amsteldiepdijk (0,4 km) en de Wieringerzeewering (0,7 km). Dit betekent dat het nader onderzoek heeft geleid tot een totale reductie van de veiligheidsopgave van 4,0 km. Deze reductie wordt veroorzaakt door de dieptelimitering van de golfhoogte volgens het advies voor een toets op maat van Mark Klein Breteler.

Figuur 29:
Veiligheidsopgave
ZST voor 2073.



9 Referenties

Deltares, 2017.

Hoogte van overgang van harde dijkbekleding naar gras. M. Klein Breteler, D. Kaste en A. Smale. Deltares, december 2017.

Deltares, 2018a.

Methodische bepaling ontwerpogave WAB. H. de Bruin. Deltares, maart 2018.

Deltares, 2018b.

Beoordeling van enkele aspecten van een deel van de steenzetting op de Balgzanddijk en Amsteldiepdijk. M. Klein Breteler. Deltares, maart 2018.

FUGRO, 1999.

Metingen bij stormopzet (dec. 1999) Balgzanddijk op 6.850 en op 8.850. FUGRO, december 1999.

HHNK, 2016.

Veiligheidsopgave traject Wieringer Zeewering. HHNK – N.J. van Veen, maart 2016.

HHNK, 2018.

WAB piping aanvullende analyses definitief. HHNK – B. Hardeman, februari 2018.

HKV, 2015.

Hertoets Hertoets hoogte en bekledingen Wieringer Zeewering - Actualisatie Veiligheidsopgave Wieringer Zeewering. HKV lijn in water, oktober 2015.

HKV, 2017a.

Actualisatie Veiligheidsopgave Wieringer Zeewering. HKV lijn in water, augustus 2017.

HKV, 2017b.

Veiligheidsbeoordeling WBI2017 Balgzanddijk en Amsteldiepdijk – Fase 2. HKV lijn in water en Tauw, juni 2017.

HKV, 2018a.

Aanvullende analyses WAB – Fase 1. HKV lijn in water, februari 2018.

HKV, 2018b.

Memorandum Nadere beoordeling gras Wieringer Zeewering. HKV lijn in water, maart 2018.

HKV, 2018c.

Restlevensduur WAB – Wieringer Zeewering, Amsteldiepdijk en Balgzanddijk. M. Zethof, G. Pleijter, K. van der Giessen en J. Tigchelaar. HKV lijn in water, PR3748.10, maart 2018.

KOAC, 2018.

Continue inzicht waddenzeedijken. Projectnummer e170015901. 19 juli 2018.

KPR, 2017.

KPR Review PvA Verkenning WAB. KPR – J. Blinde en R. Vos, 2017.

RHDHV & HKV, 2018a.

Plan van Aanpak nader onderzoek Den Oever - Den Helder (DODH). M. Zethof, C. Spoorenberg, J. Tigchelaar, D. van Haaren, J.W. Nell, L. Hoogduin. Definitief. 23 Augustus 2018.

RHDHV & HKV, 2018b.

Integrale uitgangspuntennotitie Den Oever - Den Helder (DODH). Concept P3.0. 17 April 2019.

RWS –WVL, 2017a.

Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017, Bijlage III Sterkte en veiligheid.

RWS –WVL, 2017b.

Ontwerpen met overstromingskansen, Veiligheidsfactoren en belastingen bij nieuwe overstromingskansnormen (OI2014), versienummer 4. Definitief. Rijkwaterstaat –Water, Verkeer en Leefomgeving. Februari 2017.

RWS - WVL, 2016a.

Schematiseringshandleiding hoogte. Rijkwaterstaat –Water, Verkeer en Leefomgeving. december 2016.

RWS - WVL, 2016b.

Schematiseringshandleiding hydraulische condities bij de dijkteen. Rijkwaterstaat –Water, Verkeer en Leefomgeving. december 2016.

RWS - WVL, 2016c.

Schematiseringshandleiding grasbekleding. Rijkwaterstaat –Water, Verkeer en Leefomgeving. december 2016.

RWS - WVL, 2016d.

Schematiseringshandleiding asfaltbekleding. Rijkwaterstaat –Water, Verkeer en Leefomgeving. december 2016.

TAW,2004

Technisch Rapport Waterspanningen bij Dijken (TRWD). Technische
Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW), september 2004.

Bijlagen

A Hydraulische belastingen

B Beschrijving geohydrologisch model t.b.v. opstellen van de freatische lijn

C Bepaling van de respons van de stijghoogte in de watervoerende zandlaag

D Bepaling freatische lijn en stijghoogte t.b.v. veiligheidsanalyse

E Veiligheidsanalyse macrostabiliteit (STBI en STBU)

F

Veiligheidsanalyse asfaltbekleding (AGK en AWO)

G Veiligheidsanalyse grasbekleding erosie buitentalud (GEBU)

H Veiligheidsanalyse stabiliteit steenzetting (ZST)

**Hoofdkantoor**

HKV lijn in water BV
Botter 11-29
8232 JN Lelystad

Nevenvestiging

Informaticalaan 8
2628 ZD Delft

0320 29 42 42

info@hkv.nl

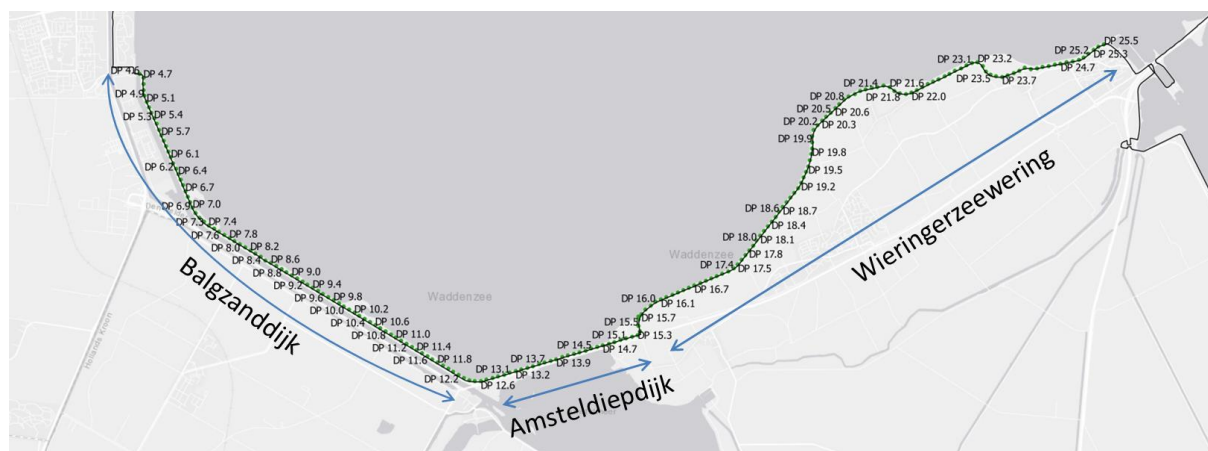
www.hkv.nl

Project : HWBP-Verkenning Den Oever Den Helder
Datum : 15 april 2019
Onderwerp : Bepaling hydraulische belastingen
Van : Gerbert Pleijter en Matthijs Duits

Bepaling Hydraulische Belastingen

1. Inleiding

De waterkeringen Wieringerzeewering/Amsteldiepdijk/Balgzanddijk (WAB) liggen in het beheergebied van Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (HHNK). Het traject loopt van oost naar west tussen Den Oever en Spuisluis Oostoever (zie Figuur 1). De Balgzanddijk en de Amsteldiepdijk vormen samen normtraject 13-5. Voor normtraject 13-5 is de maximaal toelaatbare kans gelijk aan 1/1.000 per jaar en de signaalwaarde van de norm is gelijk aan 1/3.000 per jaar. De Wieringerzeewering vormt normtraject 12-1, waarvoor geldt dat de maximaal toelaatbare kans en de signaalwaarde van de norm beide gelijk zijn aan 1/1.000 per jaar.



Figuur 1: Overzicht traject

Deze notitie beschrijft hoe de hydraulische belastingen voor deze trajecten zijn afgeleid. De beschouwde waterkeringen lopen gezamenlijk van dijkpaal DP 4.6 (in het westen) tot en met dijkpaal DP 25.5 (in het oosten). Dit zijn 210 dijkpalen. De Balgzanddijk loopt van dijkpaal DP 4.6 t/m dijkpaal DP 12.5; de Amsteldiepdijk loopt tussen de dijkpalen DP 12.6 t/m DP 14.7 en de Wieringerzeewering tussen de dijkpalen DP 14.8 t/m DP 25.5. De hydraulische belastingen zijn per dijkpaal berekend.

In [HKV, 2018] is deze analyse eveneens uitgevoerd, maar die analyse is uitgevoerd met versie 2.4.0 van Hydra-NL. Nu is de analyse uitgevoerd met versie 2.4.1 van Hydra-NL.

Context aanvullende analyse

Voor de berekening van de golfrandvoorwaarden voor bekleding worden golven bij profielen zonder voorland namelijk niet gereduceerd door een ondiepe bodem. Daardoor kan de situatie zich voordoen dat de golfhoogte, die Hydra-NL als uitvoer levert, onrealistisch groot wordt. In deze analyse zijn de Hydra-NL rekenresultaten voor bekledingen daarom achteraf bijgesteld op basis van het Toets-op-Maat-advies van Mark Klein Breteler [Deltares, 2018]. Meer hierover in paragraaf 3.

2. Uitgangspunten

De berekeningen zijn gemaakt voor de zichtjaren 2023, 2050, 2070 en 2100. Daarbij zijn de volgende grootheden afgeleid:

- Waterstand bij de norm (maximaal toelaatbare overstromingskans en de signaleringswaarde van de norm);
- Hydraulische belastingniveaus bij $q = 0,1, 1, 5$ en 10 l/s/m (HBN);
- Golfcondities voor bekledingen (steenzetting van betonzuilen, steenzetting van blokken, asfalt en gras) per waterstandsniveau van $0,5 \text{ m}$

De hydraulische belastingen zijn afgeleid op basis van de standaard faalkansbegroting zoals opgenomen in [RWS - WVL, 2017]. Dit betekent dat voor de bepaling van het HBN een faalkansruimte van 24% is aangehouden (paragraaf 1.2 van [RWS - WVL, 2017]) en 4,5% voor grasbekleding, die faalt door erosie (paragraaf 7.2 van [RWS - WVL, 2017]: 90% van 5%). Verder is voor de bepaling van de faalkanseisen op doorsnedeniveau de lengte-effectfactor van 2 voor normtraject 13-5 en 3 voor normtraject 12-1 aangehouden, conform bijlage A van [RWS - WVL, 2017]. Steenzettingen en asfalt worden – zoals voorgeschreven door het OI2014 – doorgerekend bij de maximaal toelaatbare kans ($1/1.000$) en dus niet zoals grasbekleding op doorsnedeniveau.

Daarnaast is uitgegaan van onderstaande uitgangspunten.

Uitgangspunten software en database fysica

- De hydraulische belastingen zijn afgeleid met Hydra-NL versie 2.4.1 (testmodus) op basis van WBI2017-database fysica zoals beschikbaar op de Helpdesk Water (*WBI2017_Waddenzee_West_13-5_v03.sqlite* & *WBI2017_Waddenzee_West_12-1_v03.sqlite*).
- Zeewaterstandstatistiek (incl. statistische onzekerheden), windstatistiek (incl. statistische onzekerheden) en modelonzekerheid zijn conform WBI2017. Dit betekent dus dat de modelonzekerheden niet aangepast zijn.

Uitgangspunten klimaatverandering:

- Voor de zichtjaren 2023, 2050 en 2100 is uitgegaan van een zeespiegelstijging van respectievelijk 0 cm , 27 cm en 77 cm o.b.v. het KNMI'14 W^+ -scenario conform het KPR-advies [KPR, 2017]. De zeespiegelstijging in 2070 is bepaald op basis van lineaire interpolatie en bedraagt 47 cm . Deze interpolatie is voorafgaand aan de Hydra-NL berekeningen uitgevoerd en als invoer gebruikt. Dit is overeenkomstig de methode in [HKV, 2018].

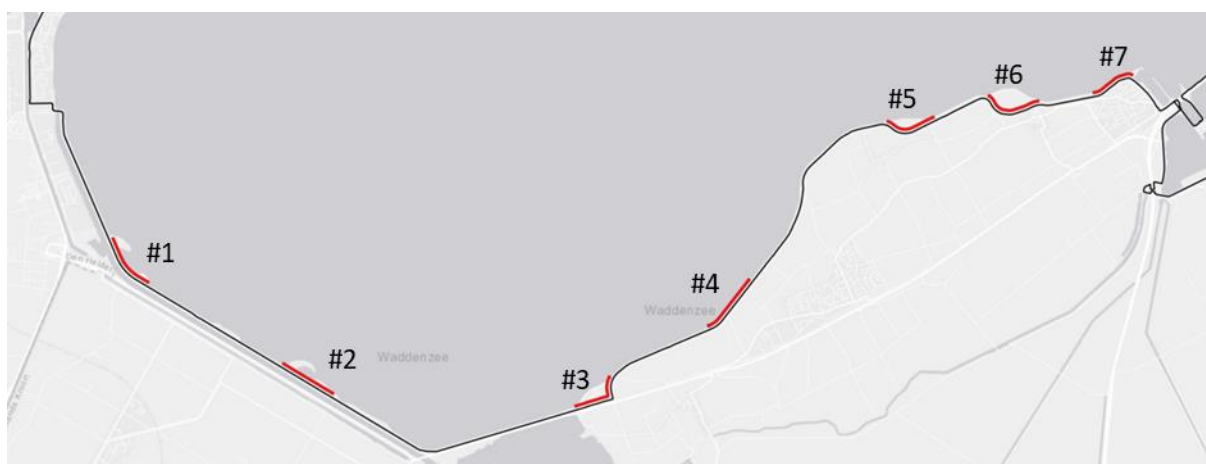
Uitgangspunten onzekerheden (waterstands-, golfrandvoorwaarden- en HBN-berekening):

- De waterstanden zijn berekend zonder modelonzekerheden, omdat de (model)onzekerheid in de waterstand al aanwezig is in de statistische onzekerheid van de zeewaterstand.

- De HBN zijn berekend inclusief modelonzekerheid in de golfcondities en statistische onzekerheid in de (zee)waterstand.
- De golfrandvoorwaarden zijn eveneens berekend inclusief modelonzekerheid in de golfcondities en statistische onzekerheid in de (zee)waterstand.
- De modelonzekerheden zijn aanwezig in de database fysica. Statistische onzekerheden zijn verwerkt in de wind- en zeewaterstandsstatistiek. Hiermee rekent Hydra-NL standaard.

Uitgangspunten dijk- en voorlandprofielen

- Dijkprofielen zijn afgeleid conform de Schematiseringshandleiding Hoogte [RWS – WVL, 2016a] bij de dijkenpalen.
- Voorlandprofielen zijn afgeleid conform de Schematiseringshandleiding Hydraulische Condities bij de dijken [RWS – WVL, 2016b]. Figuur 2 laat zeven gebieden zien waarvoor berekeningen met een voorland zijn uitgevoerd. Voor de overige delen is zonder voorland gerekend.
- Dijkprofielen zijn afgeleid op basis van het AHN2. Het zijn dezelfde profielen als gebruikt in [HKV, 2018]. Detailinformatie over de profielen is ook te vinden in paragraaf 3.
- De ruwheidsfactoren zijn voor alle profieldelen gelijk aan 1,0 [-].
- Aan elke dijkpaalallocatie is de dichtstbijzijnde uitvoerlocatie gekoppeld.



Figuur 2: Overzicht van de locaties met voorland (rode lijn)

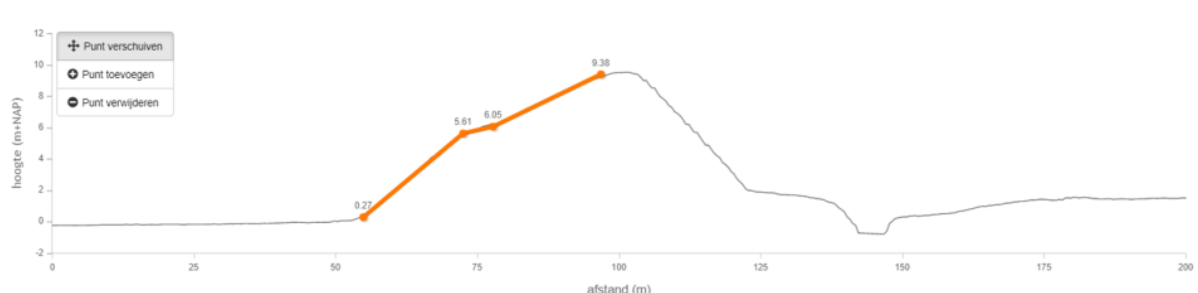
#1	6.7 t/m 7.0
#2	10.0 t/m 10.9
#3	14.9 t/m 15.5
#4	17.4 t/m 18.1
#5	21.7 t/m 22.3
#6	23.3 t/m 24.0
#7	25.0 t/m 25.5

3. Schematisatie dijkprofielen

Voor het schematiseren van de werkelijke profielen ten behoeve van Hydra-NL is de Profielen-generator gebruikt (zie Figuur 3), zodat de profielen middels een GIS-applicatie automatisch geschematiseerd worden op basis van het AHN2. Hierin wordt ter hoogte van de dijkpaal een lijn loodrecht op de waterkering getrokken van 100 m in lengte aan beide zijden. Op basis van het AHN2 worden op deze lijn, met een dichtheid van een halve meter, waardes getrokken en wordt een ruw profiel gecreëerd. De applicatie bepaalt vervolgens de kruinhoogte en op basis van de

gecreëerde lijn met punten voert de tool een aantal optimalisaties uit die resulteren in het Hydra-profiel. De bepaalde kruinhoogte is het hoogste punt binnen 5 m van de buitenkruinlijn. Binnen de tool is rekening gehouden met de beperkingen in Hydra-NL. Zo mag de helling bijvoorbeeld niet steiler zijn dan 1:1 en niet flauwer dan 1:8.

De automatisch geschematiseerde profielen zijn vervolgens visueel gecontroleerd met het AHN2 en zo nodig zijn de profielen handmatig aangepast.



Figuur 3: Afleiding van profielen o.b.v. het AHN2 met de Profielengenerator

Bij de berekening van de golfbrandvoorwaarden voor bekleding worden golven bij profielen zonder voorland niet gereduceerd door een ondiepe bodem. Daardoor kan de golfhoogte uit Hydra-NL onrealistisch groot worden, omdat die ondiepte er wel is. Daarom zijn in deze analyse de Hydra-NL golfhoogtes voor bekledingen achteraf bijgesteld. Dit is gedaan aan de hand van een realistische bodemhoogte. Bij bekledingen wordt gerekend met een opgegeven waterstandsniveau. Samen met de realistische bodemhoogte is daarmee de waterdiepte bekend. Binnen het WBI2017 geldt het Toets-op-Maat-advies van Mark Klein Breteler [Deltares, 2018] dat de golfhoogte niet groter mag zijn dan $0,532 \times$ de waterdiepte. Dit limiteren zal vooral bij lage waterstandsniveaus gebeuren; bij hogere niveaus is de waterdiepte al snel voldoende.

Daarmee ligt het recept vast, maar moeten de realistische bodemhoogtes nog bepaald worden voor de profielen zonder voorland. Een voor de hand liggende keuze is de teenhoogte uit het profiel. Controles met de Profielengenerator en het AHN2 laten zien dat deze teenhoogtes regelmatig lager liggen dan de bodemhoogte. Dat zou een te grote waterdiepte geven en vervolgens een te grote golfhoogte. Daarom zijn de bodemhoogtes uit het AHN2 gebruikt. Hiertoe moet een punt ter plaatse van de dijkteen gekozen worden. Voor profielen zonder voorland is hierbij uitgegaan van de locatie van de dijkpaal en de uitwendige dijknormaal uit het profielbestand. In deze richting is op een afstand van 35 m vanaf de dijkpaallocatie de bodemhoogte uitgelezen op een plek, die dan wordt gedefinieerd als de teenlocatie. Vanwege de uniforme geometrie van de waterkering blijkt dat dit een goede inschatting is van de bodemhoogte bij de buitenteen. Visueel is vervolgens nagegaan of deze teenlocaties inderdaad te beschouwen zijn als dijktenen. Voor negen dijkpalen bleek dit niet het geval te zijn. Daarvoor bleek de gekozen 35 meter te kort. Voor die locaties is handmatig een betere teenlocatie gekozen en de bodemhoogte is op die plek uitgelezen uit het AHN2. Het betreft allemaal dijkpalen langs de Wieringerzeewering en veelal dijkpalen aan de randen van de gedeelten, waar zich een voorland bevindt (Figuur 2): DP 15.6, DP 18.9, DP 19.7, DP 19.8, DP 21.0, DP 21.6, DP 24.1, DP 24.2 en DP 24.9. Bij dijkpaal DP 24.0 eindigt bijvoorbeeld een voorland en bij dijkpaal DP 25.0 begint een volgend voorland. Alle bodemhoogtes bevinden zich boven NAP met uitzondering van de meest westelijke dijkpaal DP 4.6. Voor deze dijkpaal is de bodemhoogte NAP-0,4 m. Deze dijkpaal heeft overigens een duidelijk afwijkende oriëntatie ten opzichte van de naastgelegen dijkpaal. Nergens is er langs de Balgzanddijk tussen twee opeenvolgende dijkpalen een dergelijk verschil in oriëntatie.

Met betrekking tot voorlanden blijkt Hydra-NL voor de zoute wateren bij de berekening van de golfrandvoorwaarden voor bekledingen een onjuistheid te bevatten. Aan de voorlandmodule wordt een waterstand meegegeven. Bij de bekledingberekeningen moet het gekozen waterstandsniveau worden meegegeven. Dit blijkt niet het geval te zijn. De meegegeven waterstand is een hogere waterstand, waardoor de golven over het voorland onvoldoende gereduceerd worden. Situaties waarbij het opgegeven waterstandsniveau lager is dan het voorland zijn ook doorgerekend. Dan moet de golven volledig worden gereduceerd. Dit blijkt niet het geval te zijn, omdat in dergelijke situaties toch een golfhoogte door Hydra-NL wordt berekend. Ook dit is achteraf gecorrigeerd. Dezelfde correctie als bij de profielen zonder voorland is aangehouden: $0,532 \times$ de waterdiepte. Hierbij is echter niet de hoogte uit het AHN2 gebruikt, maar de teenhoogte. Deze wordt immers ook in de voorlandmodule gebruikt.

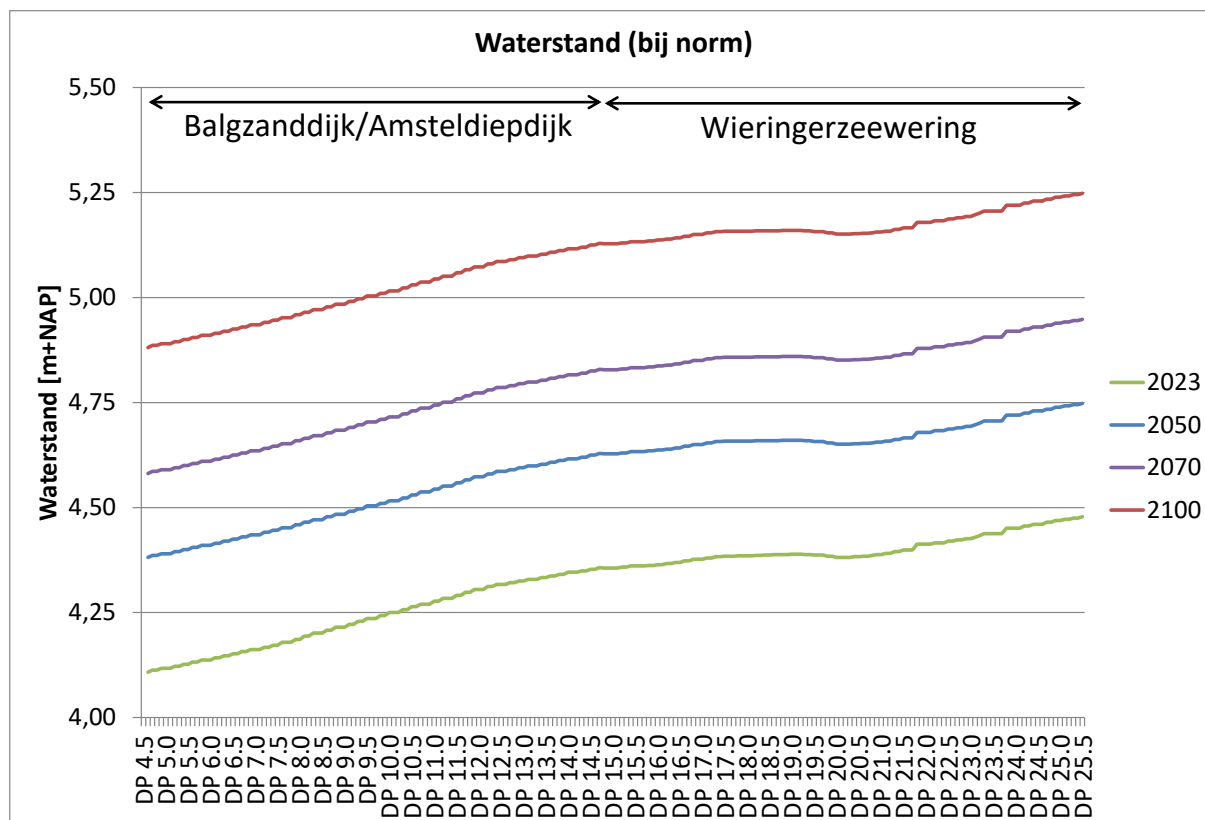
Dan is er nog één bijzonderheid en dat betreft dijkpaal DP 23.8. Afgaande op Figuur 2 ligt hier een voorland. Het bijbehorende profielbestand bevat echter geen voorland. Dit is in [HKV,2018] ook gedaan, en daarbij is dus zonder voorland gerekend. In de huidige analyse rekenen we opnieuw zonder. Het rekenen zonder voorland lijkt in de HBN-berekeningen in eerste instantie een probleem, maar dat is het niet. Dit komt omdat de teen van de dijk in het profielbestand gelegen is op NAP+5,21 m. Bij golfoverslagberekeningen mogen de golven niet groter zijn dan de waterdiepte ter plaatse van de dijkteen. Als ze wel groter zijn, dan worden de golven in de golfoverslagmodule gereduceerd tot de waterdiepte. Bij bekledingen wordt de golfhoogte gelimiteerd op $0,532 \times$ de waterdiepte. Uit het AHN2 is bij dijkpaal DP 23.8 de bodemhoogte gelijk gekozen aan NAP+5,323 m en bij waterstanden lager dan deze bodemhoogte worden alle golven tot 0 m gereduceerd (geen verschil dus tussen situatie met of zonder voorland).

4. Resultaten

Deze paragraaf presenteert de rekenresultaten. In afzonderlijke paragrafen volgen grafieken voor achtereenvolgens de waterstanden, de hydraulische belastingniveaus en de golfrandvoorwaarden voor de bekledingen.

4.1 Waterstanden

De waterstanden langs traject 12-1 en 13-5 bij de maximale toelaatbare overstromingskans (= 1/1.000 per jaar) zijn weergegeven in Figuur 4. De waterstanden variëren tussen NAP+4,1 m en NAP+4,5 m voor zichtjaar 2023 en tussen NAP+4,9 m en NAP+5,25 m voor zichtjaar 2100. De waterstandsstijging voor zichtjaren 2050, 2070 en 2100 ten opzichte van 2023 correspondeert met de zeespiegelstijging voor de verschillende zichtjaren.

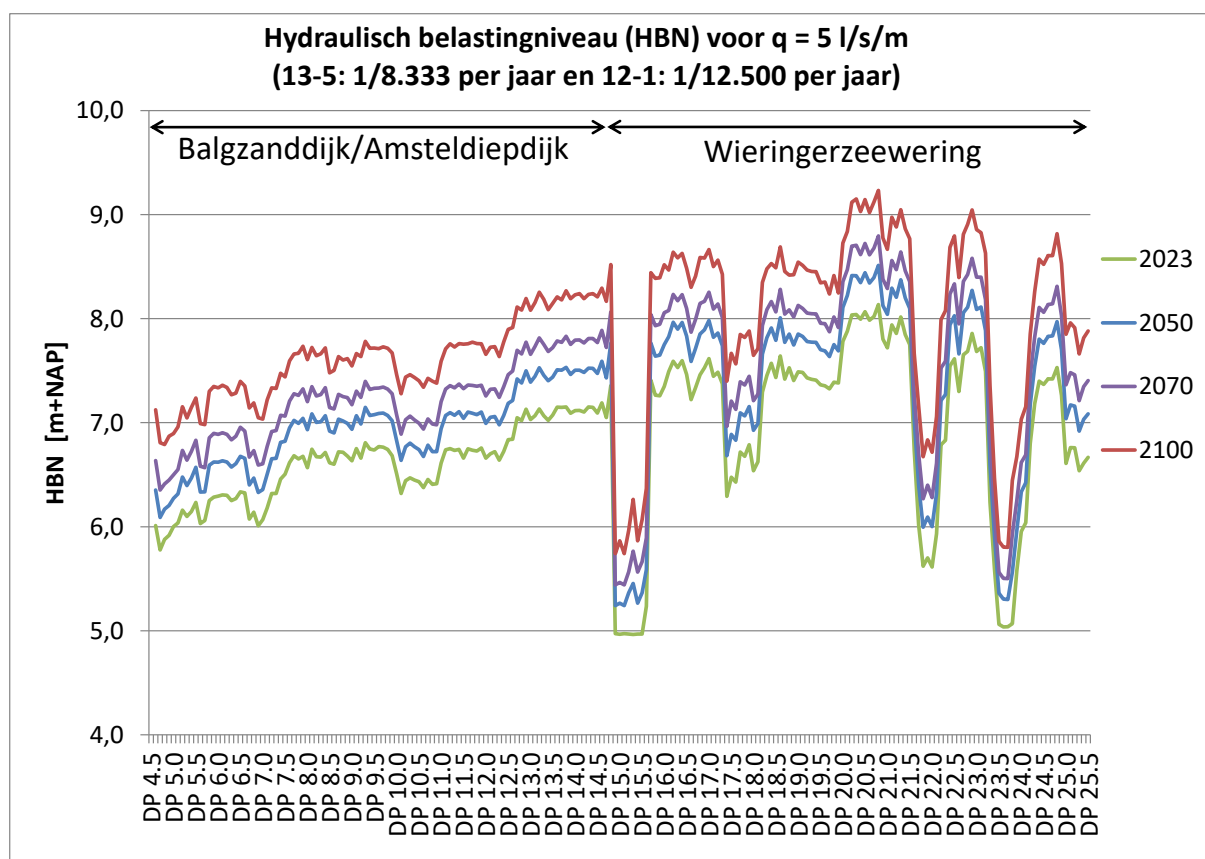


Figuur 4: Waterstand bij de max. toelaatbare overstroomingskans (1/1.000 per jaar)

4.2 Hydraulische belastingniveaus

De hydraulische belastingniveaus zijn afgeleid voor een doorsnede-eis van het mechanisme GEKB. Voor normtraject 13-5 is de doorsnede-eis gelijk aan 1/8.333 per jaar (de maximale toelaatbare overstroomingskans is immers 1/1.000 per jaar, de faalkansruimte is 24% en de lengte-effectfactor is 2). Voor normtraject 12-1 is de doorsnede-eis gelijk aan 1/12.500 per jaar, de lengte-effectfactor is hier 3. Figuur 5 geeft de hydraulische belastingniveaus bij een kritiek overslagdebiet van 5 l/s/m voor de zichtjaren 2023, 2050, 2070 en 2100.

De HBN's variëren tussen ca. NAP+5,00 m en NAP+8,15 m voor zichtjaar 2023 en tussen NAP+5,75 m en NAP+9,25 m voor zichtjaar 2100. Ter plaatse van de hooggelegen voorlanden wordt een beduidend lager HBN berekend dan zonder de hooggelegen voorlanden.



Figuur 5: HBN bij de doorsnede-eis voor GEKB behorende bij max. toelaatbare overstromingskans voor $q = 5 \text{ l/s/m}$ voor verschillende zichtjaren

4.3 Golfvandvoorwaarden voor bekleding

Voor de bekledingen is gerekend met vier soorten bekleding: steenzetting van betonzuilen, steenzetting van blokken, asfalt en gras. Per type bekleding is voor één relevant waterstandsniveau de significante golfhoogte en de piekperiode weergegeven.

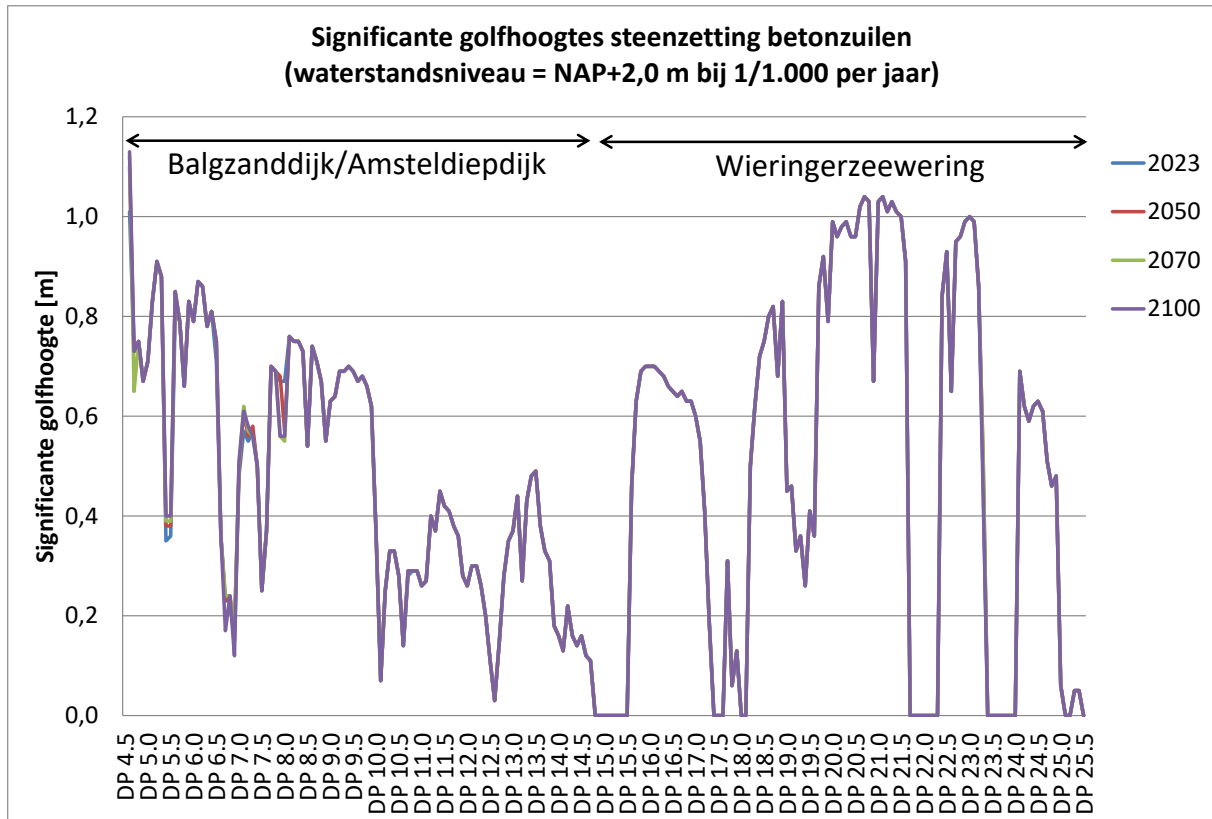
Steenzetting betonzuilen

Steenzettingen bevinden zich laag op de dijk. Daarom zijn de berekende golfparameters bij een steenzetting weergegeven voor een laag waterstandsniveau. Gekozen is voor het waterstandsniveau NAP+2,0 m. Figuur 6 laat de significante golfhoogtes zien en Figuur 7 de piekperiodes voor een steenzetting, die bestaat uit betonzuilen. In beide figuren is de frequentie 1/1.000 per jaar. Bij hooggelegen voorlanden zijn de golfhoogtes gelijk aan 0 m. De golfhoogtes zijn vrijwel allemaal lager dan 1,0 m. Bij dijkpaal DP 4.6 wordt de hoogste significante golfhoogte berekend. Hier is de bodemhoogte het laagst en kan de golfhoogte dus het grootst worden. Bij een waterstandsniveau van 2,0 m+NAP is dit inderdaad de locatie waar de grootste golfhoogte berekend wordt. De aangebrachte limitering van de golfhoogte maakt dat de golfhoogte van deze dijkpaal hierdoor dus goed zichtbaar is. In de piekperiode zit geen limitering. Bij dijkpaal DP 4.6 wordt dan ook niet de grootste piekperiode gevonden. Golfhoogte en golfperiode zijn weliswaar niet 1-op-1 gekoppeld, maar een zekere mate van koppeling is zeker aanwezig. Door de aangebrachte limitering wordt de koppeling minder. Dit is zichtbaar in de twee figuren, waaruit volgt dat de limitering is aangebracht.

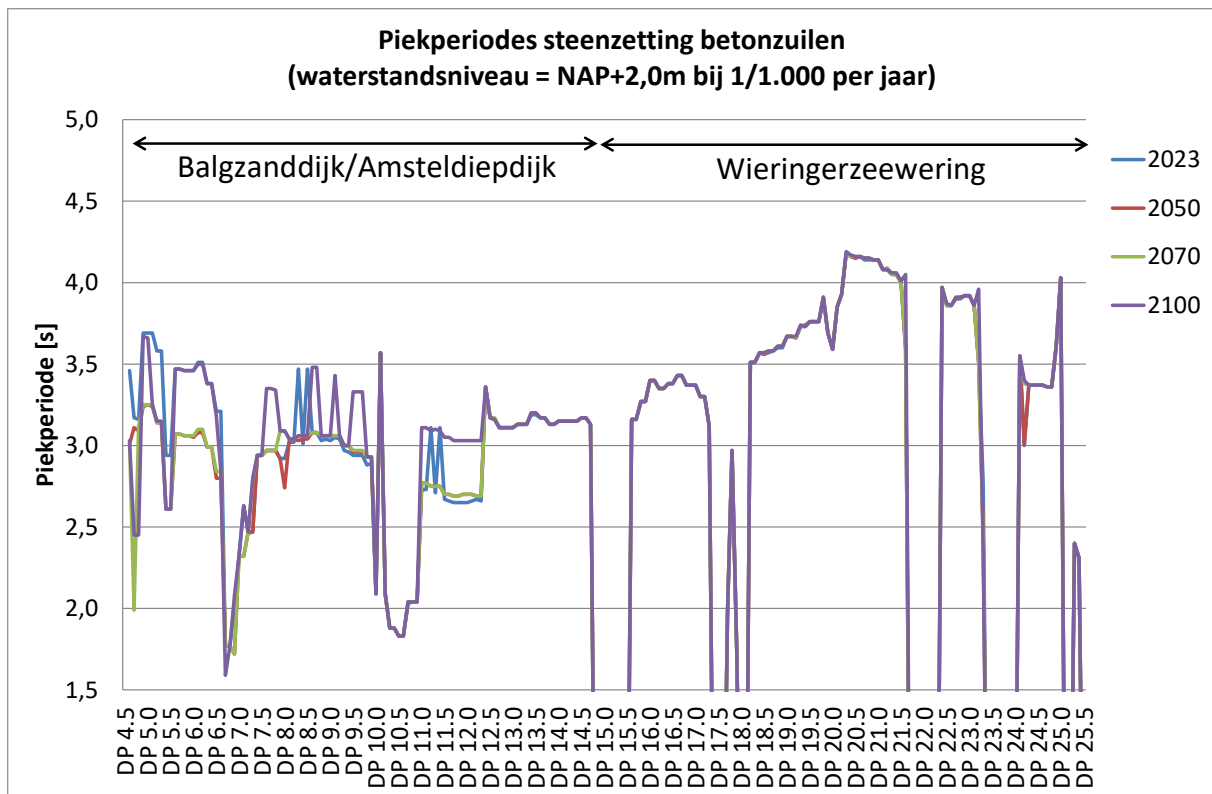
Als de significante golfhoogte door de limitering gelijk wordt aan 0 m, dan wordt de piekperiode gelijk gezet aan 0 s, als de significante golfhoogte door de limitering sterk gelimiteerd wordt, maar

net groter blijft dan 0 m, dan wordt de piekperiode niet aangepast. Een voorbeeld hiervan is bijvoorbeeld duidelijk zichtbaar bij dijkpaal DP 12.6.

Verder valt in de twee figuren op dat bij elk zichtjaar nagenoeg dezelfde golfparameters berekend worden. Dit geldt zeker voor de golfhoogte.



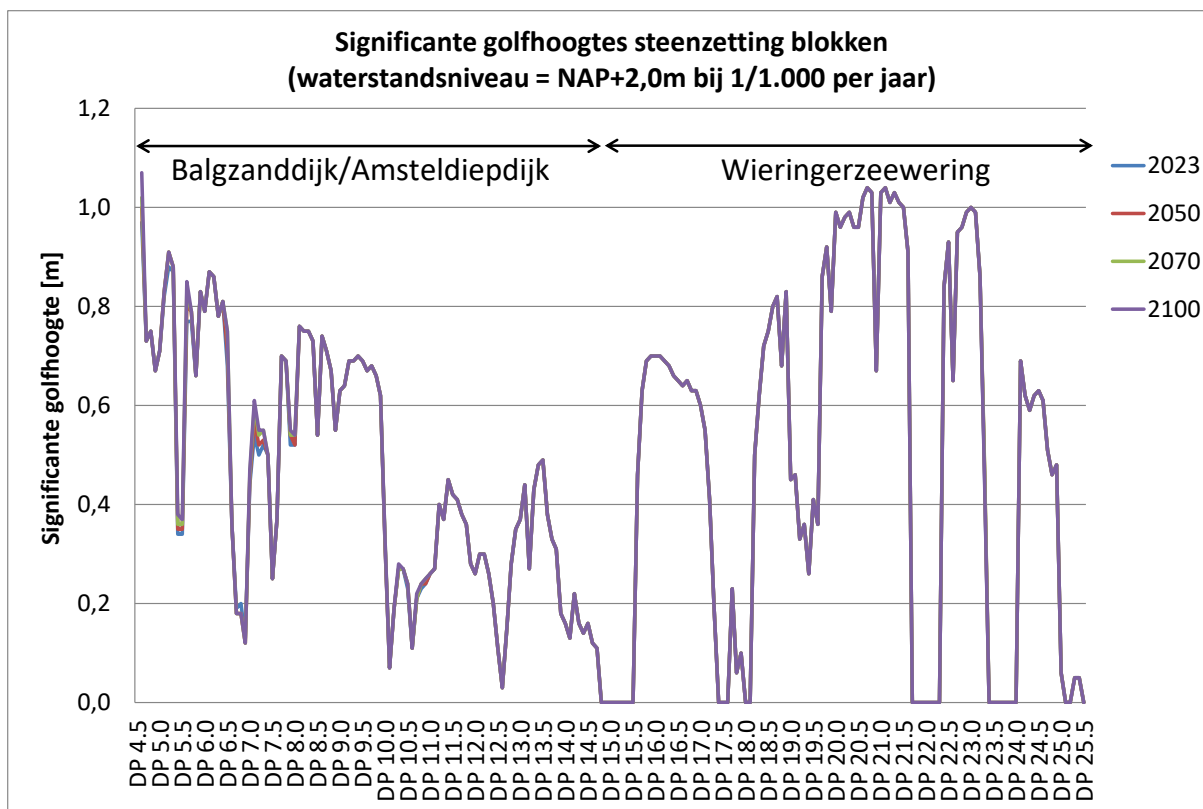
Figuur 6: Significante golfhoogtes voor de Balgzanddijk, de Amsteldiepdijk en de Wieringerzeewering bij een steenzetting van betonzuilen voor het waterstandsniveau NAP+2 m en de terugkeertijd 1000 jaar.



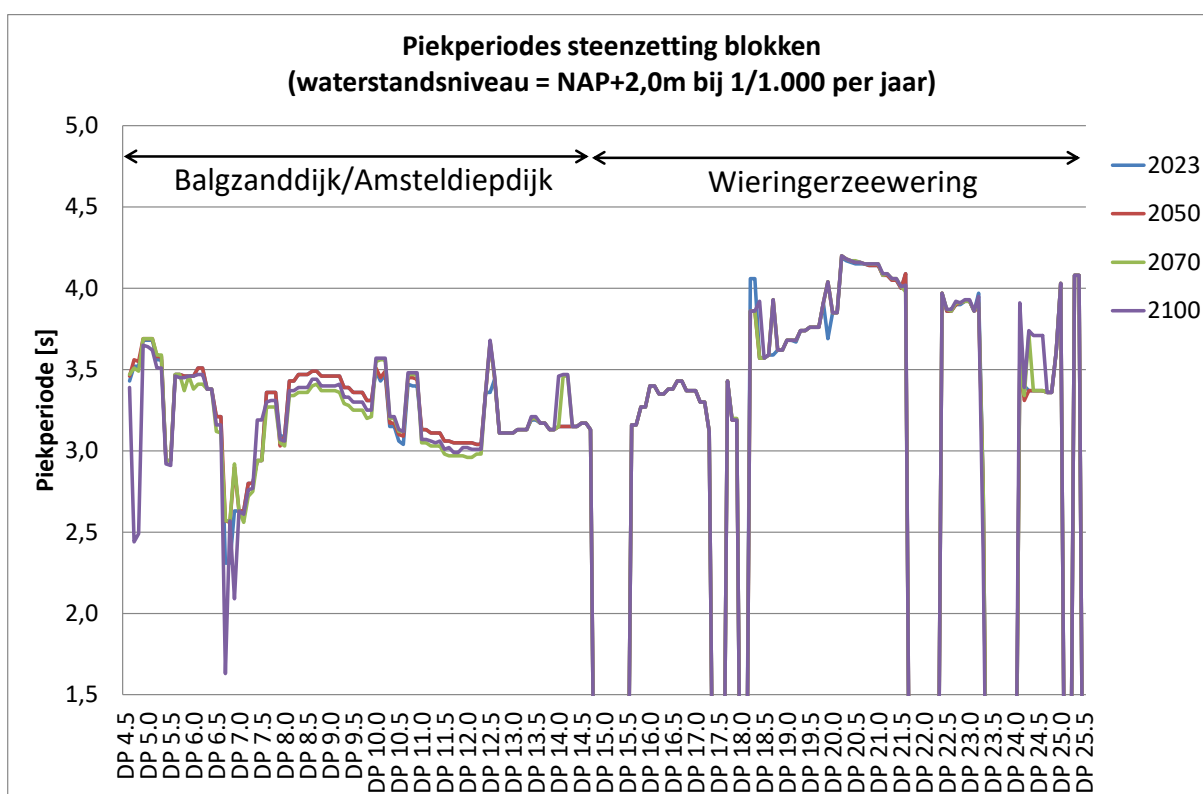
Figuur 7: Piekperiodes voor de Balgzanddijk, de Amsteldiepdijk en de Wieringerzeewering bij een steenzetting van betonzuilen voor het waterstandsniveau NAP+2 m en de terugkeertijd 1000 jaar.

Steenzetting blokken

Ook voor een steenzettingen van blokken is gekozen voor het waterstandsniveau NAP+2 m. Ook deze bekleding wordt namelijk laag op de dijk aangetroffen. Figuur 8 laat de significante golfhoogtes zien en Figuur 9 de piekperiodes. In beide figuren is de frequentie 1/1.000 per jaar. Deze figuren komen erg overeen met de overeenkomstige figuren voor betonzuilen (Figuur 6 en Figuur 7). De opmerkingen die gemaakt zijn over de betonzuilen gelden ook voor de blokken.



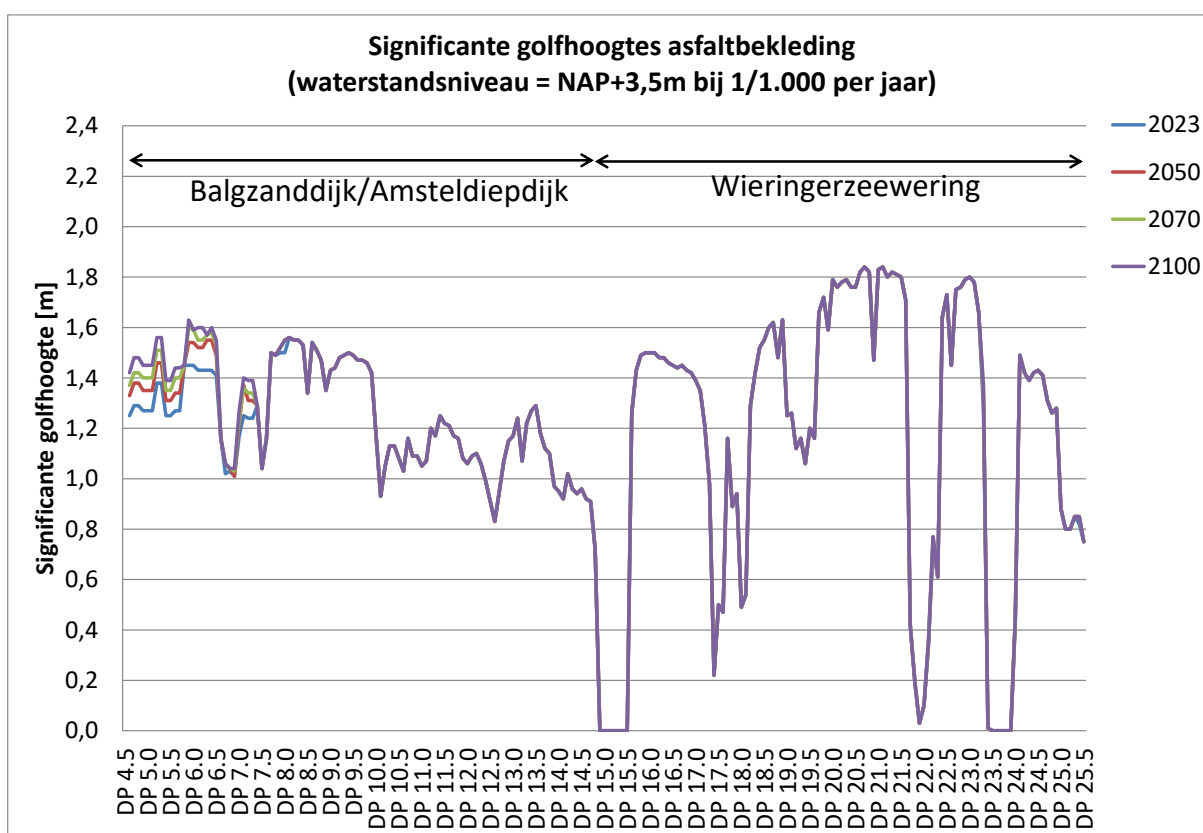
Figuur 8: Significante golfhoogtes voor de Balgzanddijk, de Amsteldiepdijk en de Wieringerzeewering bij een steenzetting van blokken voor het waterstandsniveau NAP+2 m en de terugkeertijd 1000 jaar.



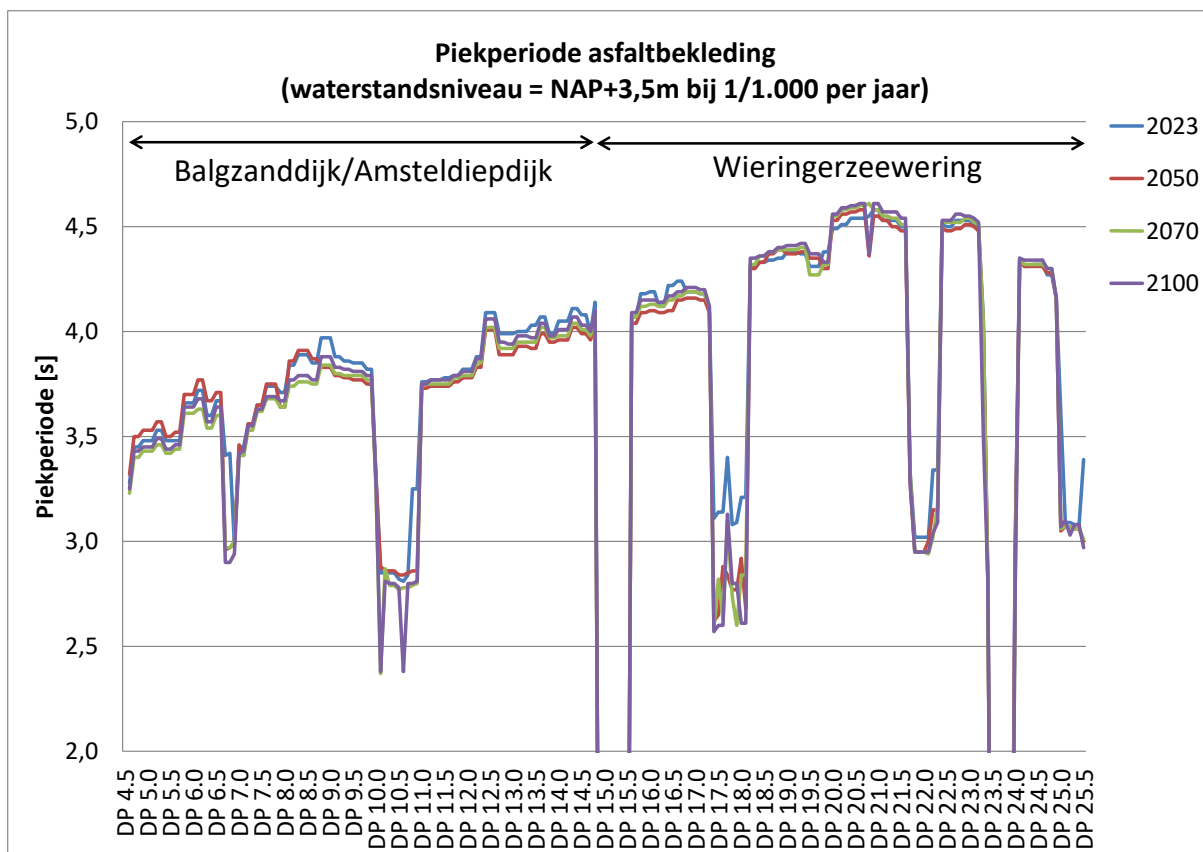
Figuur 9: Piekperiodes voor de Balgzanddijk, de Amsteldiepdijk en de Wieringerzeewering bij een steenzetting van blokken voor het waterstandsniveau NAP+2 m en de terugkeertijd 1000 jaar.

Asfalt

Asfalt bevindt zich doorgaans op het middengedeelte van de dijk, bijvoorbeeld op de berm. Daarom zijn de berekende golfparameters bij asfalt weergegeven voor een waterstandsniveau in het middensegment. Gekozen is voor het waterstandsniveau NAP+3,5 m. Figuur 10 laat de significante golfhoogtes zien en Figuur 11 de piekperiodes. In beide figuren is de frequentie 1/1.000 per jaar. Het waterstandsniveau is hoger dan bij de steenzettingen, waar het waterstandsniveau NAP+2 m was, maar bij hooggelegen voorlanden zijn de golfhoogtes nog steeds gelijk aan 0 m. De berekende golfhoogtes zijn allemaal hoger dan bij steenzettingen. Dit is goed te verklaren door de hogere waterstand, waardoor de waterdiepte groter wordt. Omdat de limitering op de golfhoogte gelijk is aan $0,532 \times$ de waterdiepte zijn grotere golfhoogtes mogelijk. Bij dijkpaal DP 4.6 wordt niet langer de grootste significante golfhoogte berekend. Die bevindt zich nu bij dijkpaal DP 21.0. Hier berekent Hydra-NL de grootste golven en de limitering verandert dit niet, wat bij de steenzettingen nog wel gebeurde. De verschillen tussen de verschillende zichtjaren zijn nog steeds erg beperkt.



Figuur 10: Significante golfhoogtes voor de Balgzanddijk, de Amsteldiepdijk en de Wieringerzeewering bij asfalt voor het waterstandsniveau NAP+3,5 m en de terugkeertijd 1000 jaar.

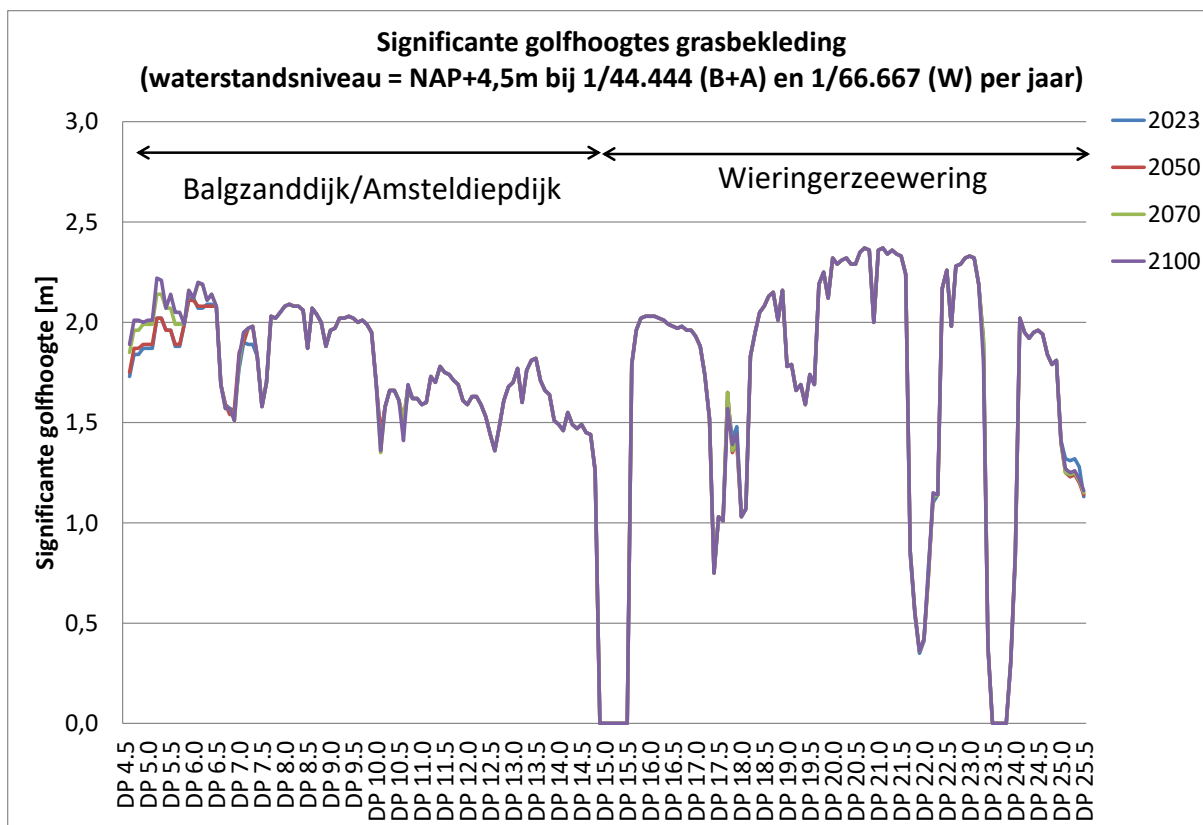


Figuur 11: Piekperiodes voor de Balgzanddijk, de Amsteldiepdijk en de Wieringerzeewering bij asfalt voor het waterstandsniveau NAP+3,5 m en de terugkeertijd 1000 jaar.

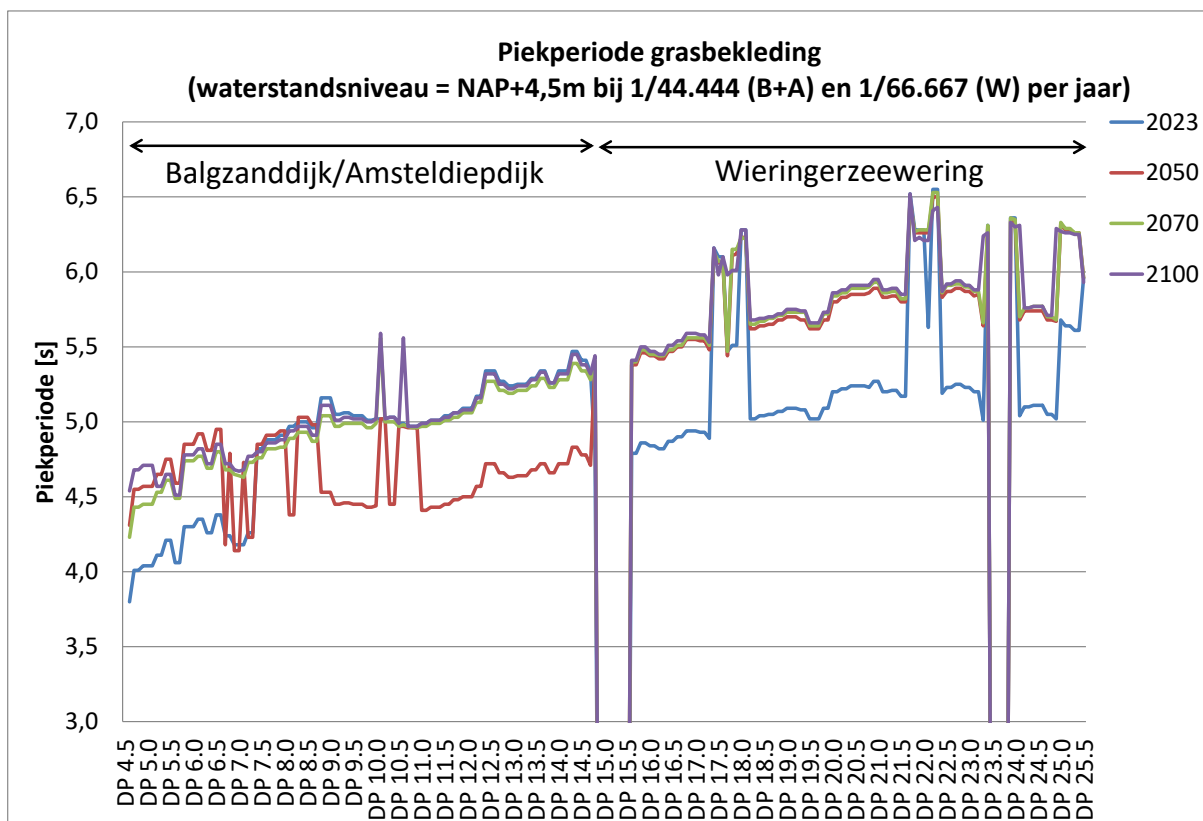
Grasbekleding

Gras bevindt zich doorgaans hoog op de dijk en daarom zijn de berekende golfparameters voor een hoog waterstandsniveau weergegeven bij gras. Gekozen is voor het waterstandsniveau NAP+4,5 m. Figuur 12 laat de significante golfhoogtes zien en Figuur 13 de piekperiodes. De weergegeven frequentie verschilt met die van steen en asfalt. Voor normtraject 13-5 is de frequentie gelijk aan 1/44.444 en voor normtraject 12-1 is die 1/66.667. De faalkansruimte voor gras is namelijk 4,5% en de lengte-effectfactor voor normtraject 13-5 is 2 en die van normtraject 12-1 is 3.

De combinatie van hogere frequenties en een hoger waterstandsniveau heeft tot gevolg dat grotere golfhoogtes berekend worden dan bij steenzetting en asfalt. Voor de golfhoogte worden nagenoeg geen verschillen berekend tussen de verschillende zichtjaren. Bij de piekperiode zijn meer verschillen zichtbaar tussen de verschillende zichtjaren. Vermoedelijk wordt de golfhoogte ook bij het hoge waterstandsniveau van NAP+4,5 m toch gereduceerd door de aangebrachte limitering ($0,532 \times \text{de waterdiepte}$). Dit komt door de combinatie met de grote frequentie, waarbij – zonder de limitering – erg grote golfhoogtes berekend worden.



Figuur 12: Significante golfhoogtes voor de Balgzanddijk (B), de Amsteldiepdiijk (A) en de Wieringerzeewering (W) bij gras voor het waterstandsniveau NAP+4,5 m en de terugkeertijden 44.444 jaar (B+A) en 66.667 (W).



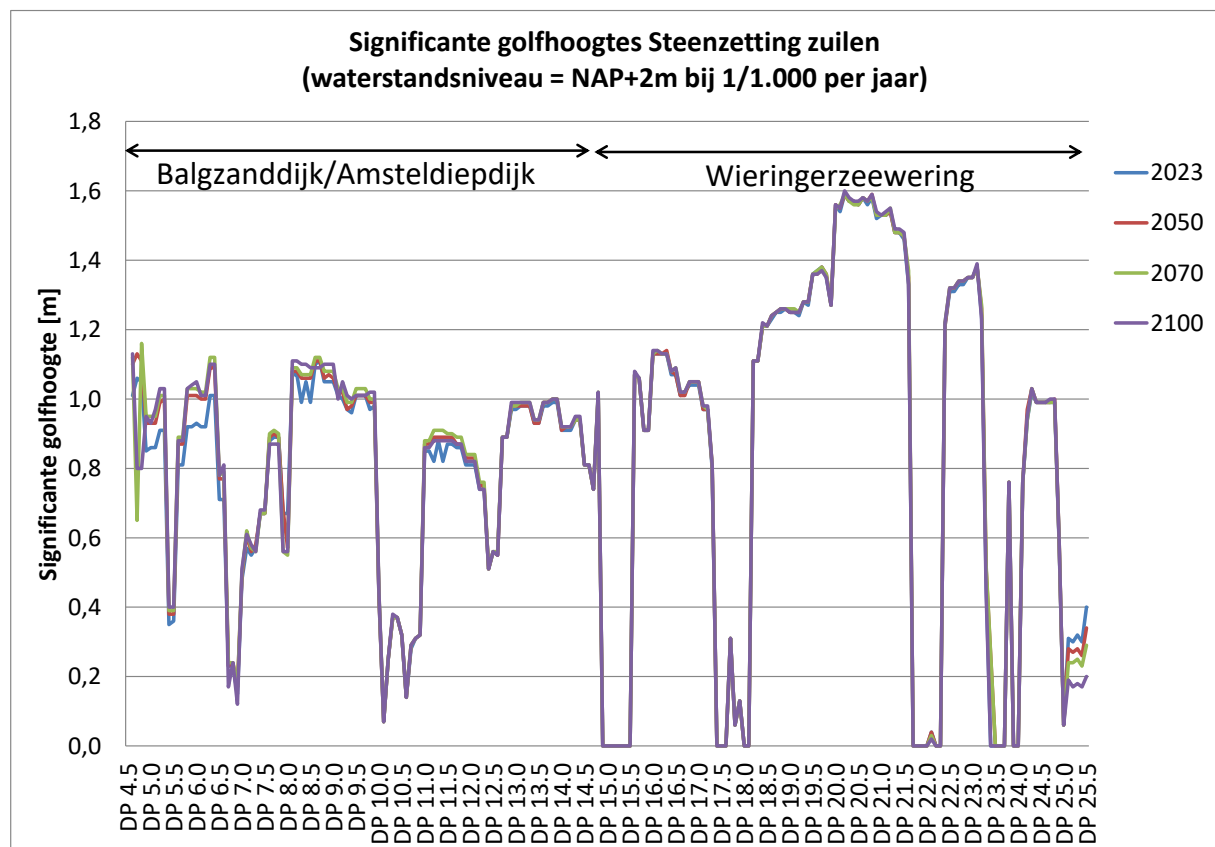
Figuur 13: Piekperiodes voor de Balgzanddijk (B), de Amsteldiepdiijk (A) en de Wieringerzeewering (W) bij gras voor het waterstandsniveau NAP+4,5 m en de terugkeertijden 44.444 jaar (B+A) en 66.667 (W).

5. Verschilanalyse golfrandvoorwaarden

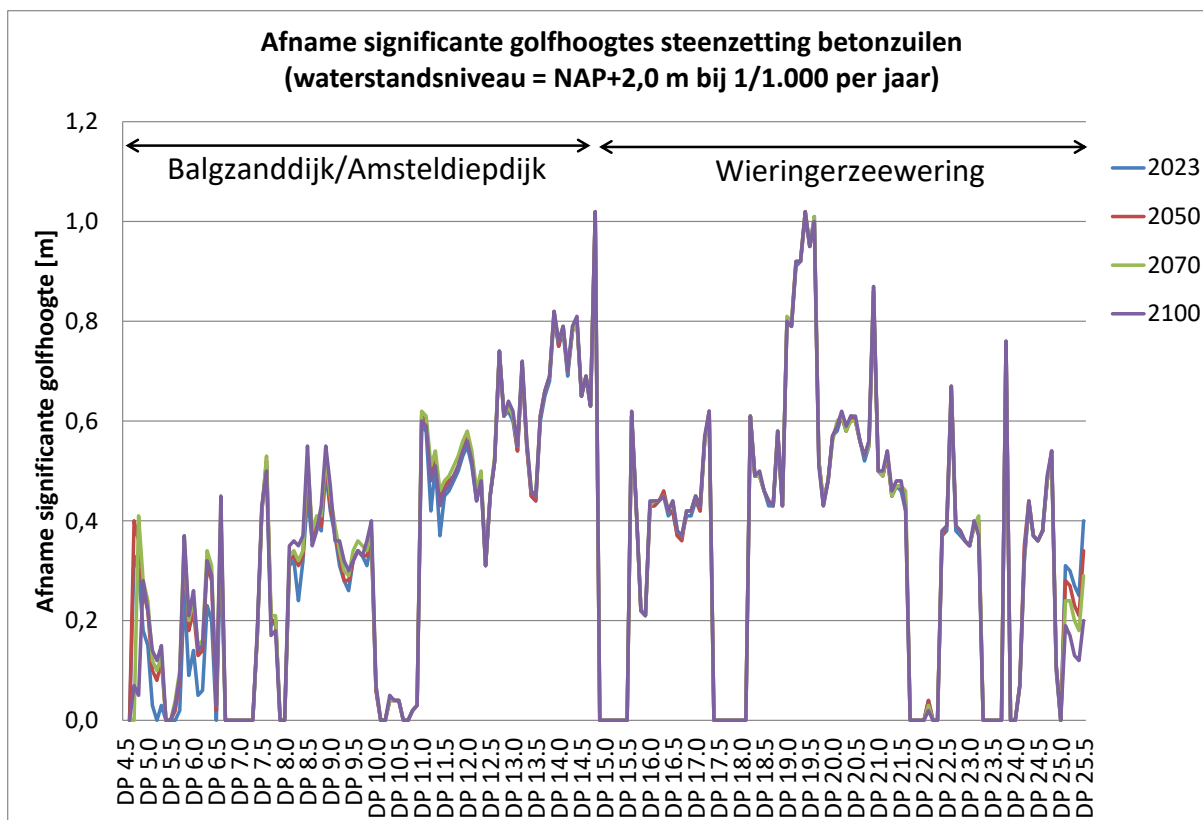
De berekeningsresultaten uit deze analyse zijn vergeleken met de rekenresultaten uit [HKV, 2018]. Tussen de twee analyses is het enige verschil de Hydra-NL versie (versie 2.4.0 om 2.4.1). Voor waterstanden en hydraulische belastingniveaus (HBN's) worden dezelfde rekenresultaten gevonden. De golfrandvoorwaarden zijn verschillend. In de nieuwe analyse zijn de berekende golfhoogte gelimiteerd op $0,532 \times$ de waterdiepte conform het Toets-op-Maat-advies van Mark Klein Breteler (2018). In deze paragraaf worden de verschillen getoond.

5.1 Steenzetting betonzuilen

In [HKV, 2018] zijn golfparameters voor steenzetting gepresenteerd op een hoogte van NAP+3,5 m, terwijl voor deze analyse gekozen is voor een realistischere hoogte van NAP+2,0 m. Daarom zijn de significante golfhoogte uit [HKV, 2018] in Figuur 14 weergegeven bij dit aangepaste niveau. De afname van de significante golfhoogte is weergegeven in Figuur 15. De afname varieert van dijkpaal tot dijkpaal. De grootste afname wordt gevonden bij de dijkpaal DP 14.8 en DP 19.4 en is 1.02 m.



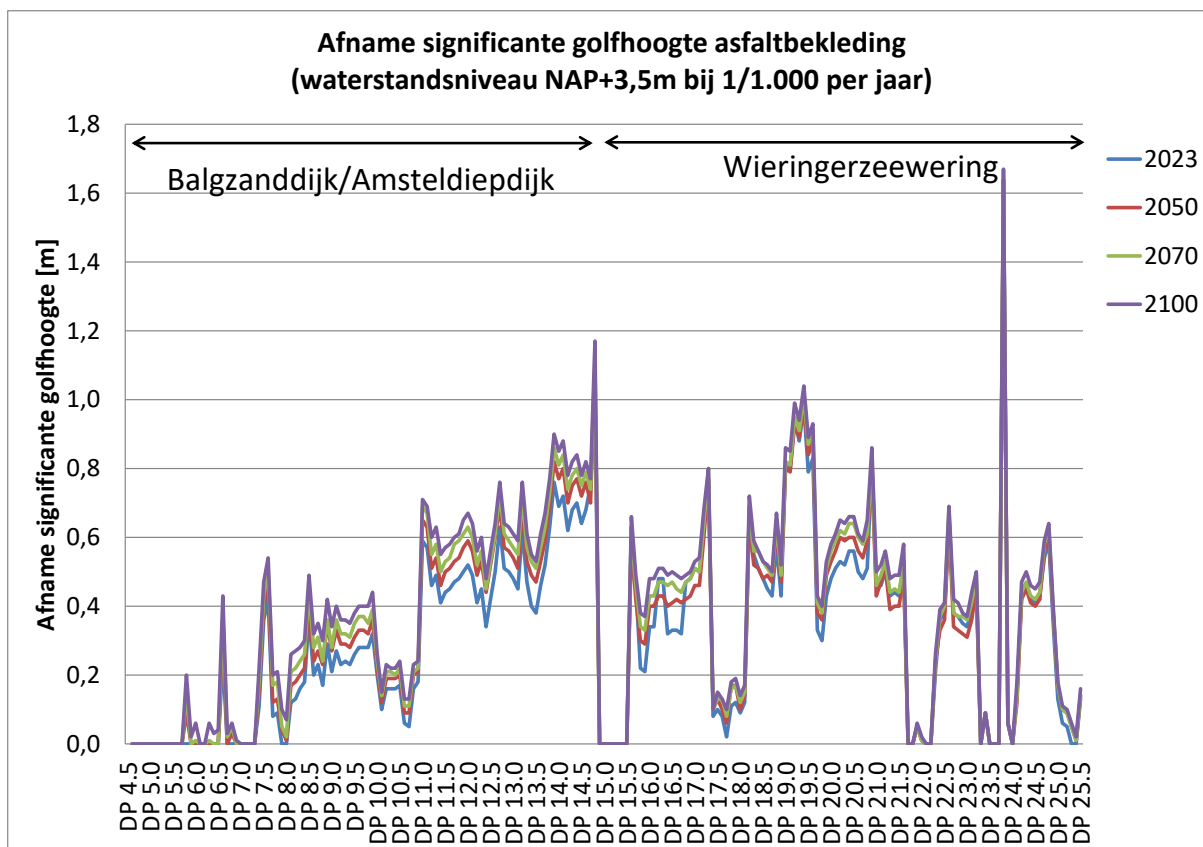
Figuur 14: Significante golfhoogtes voor de Balgzanddijk, de Amsteldiepdijk en de Wieringerzeewering bij een steenzetting van betonzuilen voor het waterstandsniveau NAP+2 m en de terugkeertijd 1000 jaar behorende bij de resultaten van [HKV, 2018] berekend met versie 2.4.0 van Hydra-NL.



Figuur 15: Afname significante golfhoogtes voor de Balgzanddijk, de Amsteldiepdijk en de Wieringerzeewering bij een steenzetting van betonzuilen voor het waterstandsniveau NAP+2 m en de terugkeertijd 1000 jaar door de golfhoogte te limiteren en over te stappen op versie 2.4.1 van Hydra-NL

5.2 Asfalt

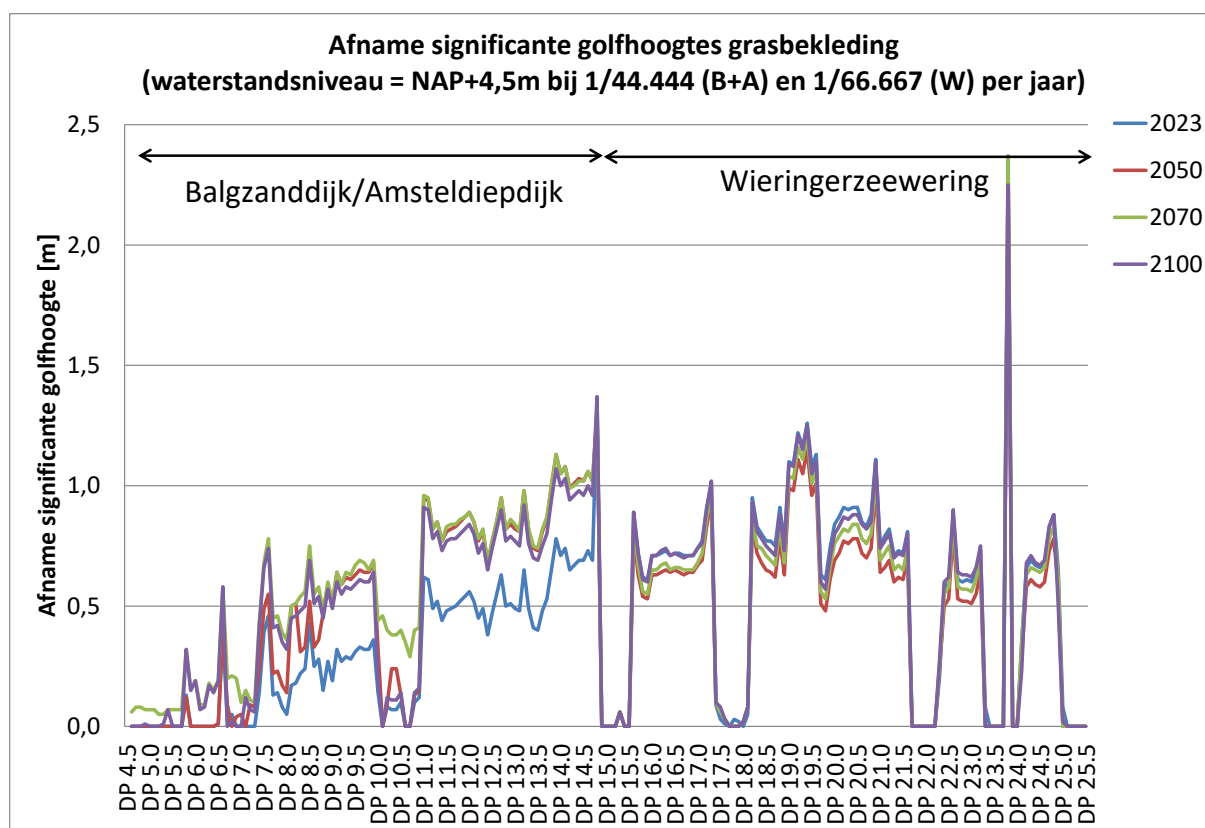
In [HKV, 2018] zijn ook golfparameters voor asfalt gepresenteerd op een hoogte van NAP+3,5 m. Dit maakt een vergelijking met de resultaten uit de huidige analyse eenvoudig. Figuur 16 laat de afname van de significante golfhoogte zien tussen [HKV, 2018] en de nieuwe analyse. De afname varieert van dijkpaal tot dijkpaal. De grootste afname wordt gevonden bij dijkpaal DP 23.8. Hier is in de nieuwe berekeningen rekening gehouden met het voorland, waar dat in [HKV, 2018] niet aanwezig was. Dit is de verklaring voor de uitschieter in het verschil tussen de twee analyses.



Figuur 16: Afname significante golfhoogtes voor de Balgzanddijk, de Amsteldiepdijk en de Wieringerzeewering bij asfalt voor het waterstandsniveau NAP+3,5 m en de terugkeertijd 1000 jaar door de golfhoogte te limiteren en over te stappen op versie 2.4.1 van Hydra-NL

5.3 Grasbekleding

In [HKV, 2018] zijn ook golfparameters voor grasbekleding gepresenteerd op een hoogte van NAP+4,5 m. Dit maakt een vergelijking met de resultaten uit de huidige analyse eenvoudig. Figuur 17 laat de afname van de significante golfhoogte zien tussen [HKV, 2018] en de nieuwe analyse. De afname varieert van dijkpaal tot dijkpaal. De grootste afname wordt gevonden bij dijkpaal DP 23.8. Hier is in de nieuwe berekeningen rekening gehouden met het voorland, waar dat in [HKV, 2018] niet aanwezig was.



Figuur 17: Afname significante golfhoogtes voor de Balgzanddijk (B), de Amsteldiepdijk (A) en de Wieringerzeewering (W) bij gras voor het waterstandsniveau NAP+4,5 m en de terugkeertijden 44.444 jaar (B+A) en 66.667 (W).

Referenties

Deltares, 2018.

Beoordeling van enkele aspecten van een deel van de steenzetting op de Balgzanddijk en Amsteldiepdijk. M. Klein Breteler. Deltares, maart 2018.

HKV, 2018.

Restlevensduur WAB – Wieringer Zeewering, Amsteldiepdijk en Balgzanddijk. M. Zethof, G. Pleijter, K. van der Giessen en J. Tigchelaar. HKV lijn in water, maart 2018.

KPR, 2017.

KPR-Review PVA Verkenning WAB. J. Blinde en R. Vos. Kennisplatform Risicobenadering, 2017.

RWS - WVL, 2016a.

Schematiseringshandleiding hoogte. Rijkwaterstaat –Water, Verkeer en Leefomgeving. december 2016.

RWS - WVL, 2016b.

Schematiseringshandleiding hydraulische condities bij de dijkteen. Rijkwaterstaat –Water, Verkeer en Leefomgeving. december 2016.

RWS –WVL, 2017.

Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017, Bijlage III Sterkte en veiligheid. Rijkwaterstaat – Water, Verkeer en Leefomgeving, 2017

RAPPORT

Geohydrologie Dijkversterking Den Oever-Den Helder

Berekening freatische lijn bij waterstand bij norm (2073)

Klant: Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier

Referentie: BF9084WATRP1904111719

Status: 2.0/Finale versie

Datum: 11 maart 2019

HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

Contactweg 47
1014 AN AMSTERDAM
Water
Trade register number: 56515154
+31 88 348 95 00 **T**
info@rhdhv.com **E**
royalhaskoningdhv.com **W**

Titel document: Geohydrologie Dijkversterking Den Oever-Den Helder

Ondertitel: Freatische lijn DODH
Referentie: BF9084WATRP1904111719
Status: 2.0/Finale versie
Datum: 11 maart 2019
Projectnaam: DODH Dijkversterking
Projectnummer: BF9084
Auteur(s): Arjan van Wachtendonk, Jasper Jansen en Björn Bolhuis

Opgesteld door: Arjan van Wachtendonk

Gecontroleerd door: Jasper Jansen

Datum/Initialen: 4-3-2019 / JJ



Goedgekeurd door: Lars Hoogduin

Datum/Initialen: 4-3-2019 / LH



Classificatie

Projectgerelateerd



Disclaimer

No part of these specifications/printed matter may be reproduced and/or published by print, photocopy, microfilm or by any other means, without the prior written permission of HaskoningDHV Nederland B.V.; nor may they be used, without such permission, for any purposes other than that for which they were produced. HaskoningDHV Nederland B.V. accepts no responsibility or liability for these specifications/printed matter to any party other than the persons by whom it was commissioned and as concluded under that Appointment. The integrated QHSE management system of HaskoningDHV Nederland B.V. has been certified in accordance with ISO 9001:2015, ISO 14001:2015 and OHSAS 18001:2007.

Inhoud

1	Inleiding	1
2	Methode	2
2.1	Bepalen bodemopbouw en geometrie dijk	2
2.2	Afleiden bodemeigenschappen	3
2.3	Hydrologische randvoorwaarden	3
2.4	Kalibratie model	4
3	Resultaten	6
3.1	Bodemopbouw	6
3.2	Bodemeigenschappen	6
3.3	Hydrologische randvoorwaarden	7
3.4	Kalibratie	10
3.5	Freatische lijn bij de waterstand bij norm (2073)	12
3.6	Bepaling freatische lijn bij raaien 2 t/m 5	13
4	Bronnen	16

Tabellen

Tabel 3-1: k-waardes van de bodemmaterialen in het model.	7
Tabel 3-2: Uitgangpunten voor de tijdreeksen van de waterstanden en de stijghoogte tijdens MHW.	9
Tabel 3-3: k-waardes van de gekalibreerde modellen per raai. De dikgedrukte getallen zijn veranderd ten opzichte van de eerder gekozen k-waardes (Tabel 3-1).	11
Tabel 3-4 Wijze van bepaling freatische grondwaterstand bij de waterstand bij norm (2073) voorraai 1 t/m 6	15

Figuren

Figuur 1-1: Locatie Raaien voor bepaling freatische lijn.	1
Figuur 2-1: Maaiveldhoogte raaien.	3
Figuur 2-2: schematische weergave van de ingevoerde hydrologische randvoorwaarden in de modellen voor de raaien.	4
Figuur 3-1: Korrelgrootteverdeling van de categorie “grof zand” in Plaxis. Elke as geeft de fractie van zand (50 μ m-2mm), klei (<2 μ m) en silt (2 μ m-50 μ m), de locatie van de punt de geeft weer wat de fractie zand, klei en silt is voor de categorie “grof zand” in Plaxis.	6

Figuur 3-2: Ingevoerde waterstanden op basis van gemeten waardes in Den Oever en Den Helder tijdens een storm in januari 2019. Deze waterstanden zijn gebruikt voor de kalibratie van het model. 8

Figuur 3-3: Stijghoogte in het pleistocene zand dat als onderste randvoorwaarde is gebruikt voor de raaien tijdens de storm van januari 2019. 8

Figuur 3-4: Waterstand bij norm per doorgerekende raai voor 2073. 9

Figuur 3-5: Stijghoogte eerste watervoerende pakket voor de raaien tijdens de waterstand bij norm (2073). De stijghoogte in Raai 10 en 11 zijn identiek. 10

Figuur 3-6: Ligging PB1 en PB2B in raai 11. Hierin is de verhoogde kade voor PB1 goed te zien. 12

Figuur 3-7. Hoogste ligging van de freatische lijn bij de waterstand bij norm (2073) op basis van de maximumwaarde in PB2. 13

Figuur 3-8 Overzicht metingen freatische grondwaterstand bij peilbuizen raai 1 t/m 6. 14

Figuur 3-9 Overzicht metingen freatische grondwaterstand bij peilbuizen raai 1 t/m 6, detail bij hoogwater 8 en 9 januari 2019. 14

Figuur 3-10 Berekende freatische grondwaterstand bij de waterstand bij norm (2073) voor raai 1 t/m 6. Bij raai 1 en 6 is de grondwaterstand berekend met behulp van PlaxFlow. Bij raai 2 t/m 5 is de grondwaterstand afgeleid op basis van de resultaten voor raai 1 en 6 aangevuld met de metingen voor raai 2 t/m 5. 15

Bijlagen

Bijlage 1: Bodemopbouw raaien

Bijlage 2: Verschil gemeten en berekende grondwaterstand tijdens januaristorm 2019

Bijlage 3: Freatische lijn bij MWH

Bijlage 4: Tijdreeks peilbuizen bij MWH (berekend)

1 Inleiding

In het kader van het nader onderzoek voor Asfalt en Macrostabiliteit voor het dijktraject Den Oever-Den Helder is voor zeven raaien de freatische lijn tijdens de waterstand bij de norm (MHW) voor zichtjaar 2073 bepaald (Figuur 1-1). Het dijktraject bestaat uit drie deeltrajecten. Van west naar oost zijn dat de Balgzanddijk (BZD), Amsteldiepdijk (ADD) en de Wieringerzeewering (WZW). Deze bijlage beschrijft hoe de freatische lijn voor de raaien in Figuur 1-1 is bepaald.



Figuur 1-1: Locatie Raaien voor bepaling freatische lijn.

2 Methode

De freatische lijn tijdens waterstand bij de norm (MHW) voor zichtjaar 2073 is berekend met de grondwatermodule van het geotechnische 2D model Plaxis. Voor elke raai is een apart model opgebouwd. Hiervoor zijn acht stappen doorlopen die in deze paragraaf zijn toegelicht.

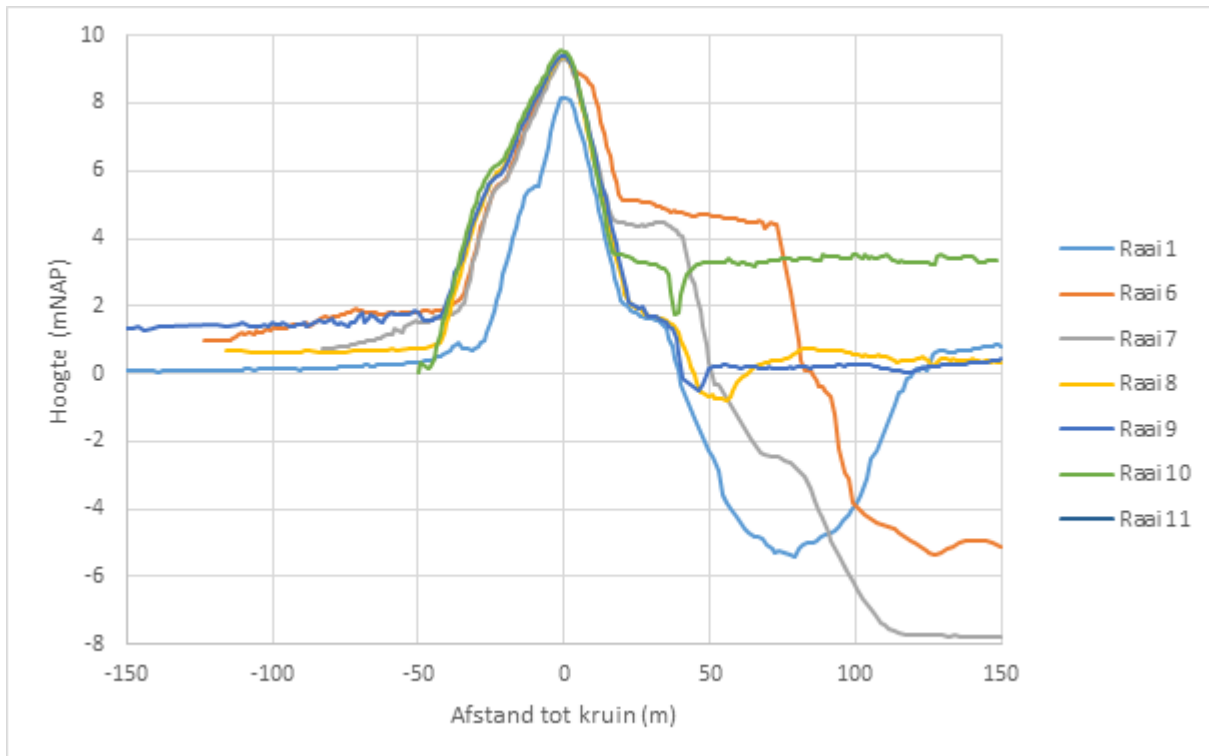
2.1 Bepalen bodemopbouw en geometrie dijk

Voor alle raaien is de maaiveldhoogte ingemeten (Figuur 2-1), deze maaiveldhoogte is gebruikt als bovenrand van het model. De bodemopbouw is op basis van de volgende gegevens bepaald:

- Boorbeschrijvingen van de voor dit onderzoek gezette peilbuizen (Inpijn-Blokpoel, 2019)
- Boorbeschrijving uit Dinoloket (www.dinoloket.nl)
- Historie van de dijk (Fugro, 1998; Fugro, 2015)
- Profielen uit eerdere onderzoeken (Fugro, 2015; Royal HaskoningDHV, 2013)

Hieruit volgt de volgende algemene bodemopbouw van de raaien van diep naar ondiep:

Laag	Beschrijving
Pleistoceen zand	De onderste laag van de modellen bestaat uit de (pleistocene) zanden van het eerste regionale watervoerende pakket. Deze zanden behoren tot meerdere geologische formaties (Boxtel, Drachten, Drenthe, Eem, Urk, Appelscha en Peize-Waalre) en lopen door tot een diepte van 210 meter onder NAP. Bij de BZD maakt de bovenste zandlaag deel uit van de formatie van Boxtel, bij de BZD en de WZE is dit de formatie van Drenthe of Urk.
Klei of keileem	Boven het eerste watervoerende pakket ligt bij de meeste raaien een slecht doorlatende laag bestaande uit klei of keileem. Bij de WZW bestaat deze laag uit keileem (formatie van Gieten) en bij de BZD en de ADD bestaat deze slecht doorlatende laag uit klei en veen (Holocene deklaag). Bij de WZW is de keileemlaag lokaal afwezig tussen Stroe en Den Oever (raai 11).
Dijkzand	Het dijkzand is het zand dat is gebruikt voor de constructie van de dijk. Voor de BZD bestaat zowel de oude als de nieuwe kern uit zand.
Klei/keileem oude dijk	Voor de BZD liggen tussen het dijkzand resten van de kleibekleding van de oude dijk. Bij de ADD ligt er een oude keileemkern. Bij de WZW zijn er nauwelijks resten van de oude dijk aanwezig.
Bekleding (asfalt en klei)	De bekleding bestaat voor alle raaien uit Asfalt aan de buitenzijde, op de kruin en aan de binnenzijde bestaat de bekleding uit klei.



Figuur 2-1: Maaiveldhoogte raaien.

2.2 Afleiden bodemeigenschappen

Om de freatische lijn in Plaxis te bepalen is het van belang dat de verzadigde doorlatendheid (k-waarde) en de korrelgrootteverdeling van de grondsoorten goed in het model zitten. De k-waarde bepaald de verzadigde grondwaterstroming terwijl de korrelgrootteverdeling de stroming in de onverzadigde zone bepaald. Voor de zandlagen zijn de k-waarden en korrelgrootteverdelingen gemeten ter hoogte van de peilbuizen die in het kader van dit project zijn geplaatst (Inpijn, 2019). Deze meetgegevens vormen het uitgangspunt voor de bodemeigenschappen van de zandlagen. De bodemeigenschappen van klei, veen, keileem en asfalt zijn ingeschat op basis van literatuur.

2.3 Hydrologische randvoorwaarden

Er zijn 4 hydrologische randvoorwaarden ingevoerd in het model (Figuur 2-2).

Bovenzijde model

Aan de bovenzijde van het model is een constante grondwateraanvulling (neerslag min verdamping) ingevoerd. De grondwateraanvulling bepaalt in hoeverre de grondwaterstand opbolt tussen de Waddenzee en de binnendijkse sloten. Ook bepaalt de grondwateraanvulling hoeveel water in de onverzadigde zone aanwezig is. Dit heeft een grote invloed op de reactie van de freatische lijn tijdens hoogwater. De gemiddelde grondwateraanvulling in Nederland is 0,7 mm/dag, maar omdat deze aanvulling belangrijk is voor de reactie van de freatische lijn tijdens maatgevende omstandigheden is ervoor gekozen een constante grondwateraanvulling van 1,5 mm/dag in te voeren. Deze grondwateraanvulling komt overeen met een wintersituatie. Tijdens maatgevende omstandigheden kan de grondwateraanvulling tijdelijk hoger zijn, dit heeft echter vrijwel geen effect op de berekende freatische lijn tijdens maatgevende omstandigheden.

Zeezijde dijk

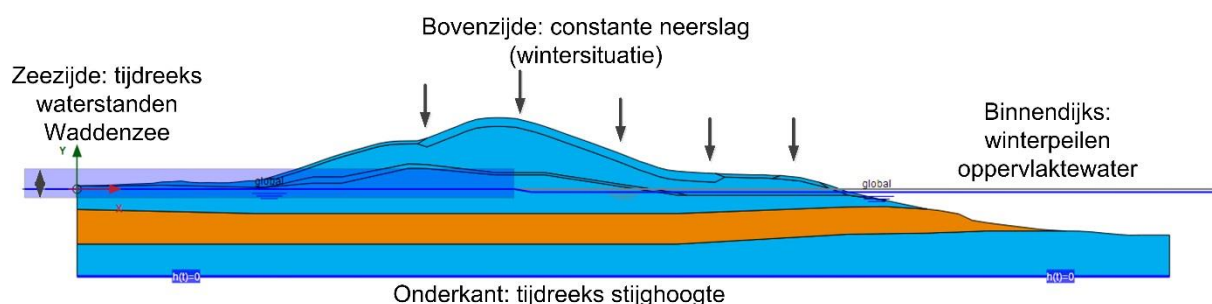
Aan de zeezijde van de dijk zijn twee tijdreeksen ingevoerd: een tijdreeks met de gemeten waterstanden in Den Oever en Den Helder tijdens een storm in januari 2019 en een tijdreeks met de waterstanden bij norm (2073). De reeksen met gemeten waterstanden zijn bepaald op basis van de ligging van de raai ten opzichte van de meetpunten in Den Oever-Den Helder (Royal HaskoningDHV, 2019). De waterstanden bij norm (2073) zijn bepaald conform de WBI2017 zoals beschreven in de SH Asfalt.

Binnendijks

Binnendijks zijn is het winterpeil van de dichtstbijzijnde waterloop als hydrologische randvoorwaarde ingevoerd. Voor de BZD is dat het Balgzandkanaal en hiervan is bekend dat het winterpeil op een maximum van 0,35 m onder NAP staat in de winter. Dit geldt ook voor de ADD en het Amsteldiep. Er is gekozen om het maximumpeil te hanteren omdat dit uiteindelijk tot een hogere ligging van de freatische lijn zorgt. Dit is gedaan voor een betere toetsing op asfalt. Voor de toetsing van macrostabiliteit zou eigenlijk het laagste peil gehanteerd moeten worden, dit is echter niet doorgerekend. Langs de WZW liggen kleinere sloten. De peilen van deze sloten zijn bepaald op basis van het Algemeen Hoogtebestand Nederland (AHN3), de ingemeten slootbodems (Figuur 2-1) en gevalideerd met door het waterschap aangeleverde peilgegevens. Voor raai 9 en 10 blijkt dat de ingemeten hoogte van de slootbodem boven de het aangeleverde peil van het waterschap ligt. Hier is dan ook de bodemhoogte als binnendijks peil gegeven. De peilen van de sloten binnendijks aan de WZW hebben maar een beperkte invloed op de grondwaterstand, aangezien deze sloten boven de grondwaterstand liggen en nauwelijks infiltreren. Het is vooral belangrijk dat niet een te laag peil wordt gebruikt want dan kunnen de sloten in het model ten onrechte drainerend werken waardoor een te lage freatische grondwaterstand wordt berekend.

Pleistocene zand

Het pleistocene zand begrenst het model aan de onderzijde van het model. De regionale grondwaterstroming bepaalt de stijghoogtes in deze laag. Deze stijghoogtes moeten daarom opgelegd worden aan de onderzijde van het model om de stroming door de Holocene klei en keileem lagen goed te kunnen modelleren. Ook voor deze randvoorwaarde zijn twee reeksen ingevoerd: een tijdreeks met de gemeten stijghoogte van de meest ondiepe peilbuis in het pleistocene zand tijdens de storm van januari 2019 en een tijdreeks met de stijghoogte tijdens de waterstand bij norm voor 2073. Deze stijghoogte is berekend op basis van lineaire regressieparameters (Royal HaskoningDHV, 2019).



Figuur 2-2: schematische weergave van de ingevoerde hydrologische randvoorwaardes in de modellen voor de raaien.

2.4 Kalibratie model

Het model is gekalibreerd op basis van de hydrologische randvoorwaarden van de januaristorm in 2019. Het doel van de kalibratie is om de gemodelleerde piek zo goed mogelijk overeen te laten komen met de gemeten piek in de freatische peilbuizen. Om de fit van deze piek te verbeteren zijn de volgende aanpassingen aan het model gedaan:

- De k-waardes van de holocene klei en keileem: De k-waardes van klei en keileem zijn gebaseerd op literatuur en niet gemeten. Dit geeft onzekerheid aan het model. De onzekerheid in deze parameterwaardes kan door middel van modelkalibratie worden verkleind. De grondwaterstroming in de klei- of keileemlaag tussen het dijkzand en het pleistocene zand is voornamelijk verticaal. De k-waarde van het klei en het keileem bepaald dus hoeveel grondwater wegstroomt naar het eerste watervoerende pakket. Omdat deze wegstroomsnelheid afhankelijk is van het verschil tussen de freatische grondwaterstand en stijghoogte is deze parameter goed te kalibreren. Immers, zowel de freatische grondwaterstand als de stijghoogte zijn gemeten. De k-waardes van het dijkzand: Het is ook mogelijk dat de gemeten k-waardes van het dijkzand niet representatief zijn voor de hele dijk. Dit kan komen doordat de stroming door het dijkzand wordt bepaald door de dikte van het zandpakket maal de k-waarde van dit pakket. Vooral in de dikte van het pakket zit onzekerheid. Dit kan ondervangen worden met een aanpassing van de k-waarde. Daarnaast is bij een aantal raaien een vegetatierijk voorland aanwezig. De infiltratiecapaciteit van zeewater naar het dijkzand wordt (indirect) sterk beïnvloed door deze vegetatie, omdat deze veel slib vasthoudt. De afname in infiltratiecapaciteit door vegetatie is ook ondervangen door de k-waarde van het dijkzand te kalibreren.
- De interactie van het voorland met de waterstanden aan zeezijde: De hoogte van het voorland heeft een duidelijke invloed op de hoogte van de grondwaterstand in normale omstandigheden. Het grondwater bolt namelijk van nature op tussen twee watervoerende oppervlaktewaterlichamen. Doordat het voorland bij sommige raaien enkele honderden meters is kan deze opbolling meer dan een meter oplopen (1,4 m voor raai 6 en 7).

3 Resultaten

3.1 Bodemopbouw

De bodemopbouw van de raaien in weergegeven in Bijlage 1. Raai 1 en 6 maken beide deel uit van de BZD. Deze heeft oorspronkelijk een kern van zand met daarop een laag kleibekleding van 0,4 tot 1 meter (Fugro, 1998). Deze oude kern komt duidelijk naar voor in de boorbeschrijvingen van de peilbuizen. Eind jaren tachtig is deze dijk verzwaaard en op Deltahoogte gebracht. Dit is gedaan met zand en een bekleding van klei en asfalt.

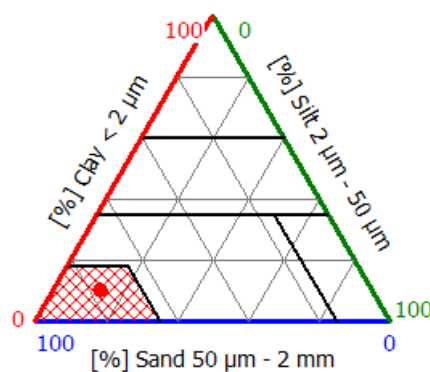
Raai 7 ligt over de ADD. De ADD is een afsluitdijk die de verbinding tussen het Amsteldiep en de Waddenzee onderbreekt. Oorspronkelijk bestond deze dijk uit keileem met daarachter een zandlichaam. Ook deze dijk is in de jaren 80 versterkt en op Deltahoogte gebracht met zand en een bekleding van klei en asfalt. Hierbij was de eis dat de oever van het Amstelmeer ongewijzigd zou blijven, dit is gedaan door een versterking aan zeezijde.

Raai 8 tot en met 11 maken deel uit van de WZW. Deze dijk bestaat enkel uit zand met een bekleding van klei en asfalt. De variatie tussen deze raaien zit vooral in de ondergrond. De WZW ligt voor een groot deel op keileem. Deze keileemlaag is ter hoogte van raai 11 afwezig, hier bestaat de ondergrond enkel uit zand.

3.2 Bodemeigenschappen

Korrelgrootteverdelingen

Uit de geanalyseerde grondmonsters blijkt dat de meeste zandlagen een grove korrelgrootteverdeling hebben, dat wil zeggen dat meer dan 90 procent van de bodemdeeltjes een diameter groter dan 50 μm heeft. De zandlagen in alle raaien zijn daarom ingedeeld in de Plaxis korrelgrootteverdeling categorie “grof zand” (Figuur 3-1). De korrelgrootteverdelingen van de klei- en keileemlagen zijn overgenomen uit de Staring-reeks (Alterra, 2001), deze is ingebouwd in Plaxis. Voor holocene klei is grondtype O12 (zwarte klei), voor keileem grondtype O6 (keileem) en voor de dijkbekleding grondtype B10 (lichte klei) gebruikt om de korrelgrootteverdeling te bepalen.



Figuur 3-1: Korrelgrootteverdeling van de categorie “grof zand” in Plaxis. Elke as geeft de fractie van zand (50 μm -2mm), klei (<2 μm) en silt (2 μm -50 μm), de locatie van de punt geeft weer wat de fractie zand, klei en silt is voor de categorie “grof zand” in Plaxis.

Verzadigde doorlatendheid (k-waarde)

De k-waarden van de zandige modellagen zijn bepaald op basis van de uitgevoerde doorlatendheidsmetingen (Inpijn, 2019). Voor dijkzand ligt de k-waarde tussen 6,24 tot 32,67 m/dag en

voor het pleistoceen zand tussen 0,19 en 9,49 m/dag (Tabel 3-1). In raai 11 is de k-waarde van het pleistoceen opvallend laag, mogelijk is dit filter per ongeluk in een kleiige laag geplaatst. Voor de slecht doorlatende lagen zijn de k-waardes in eerste instantie geschat op basis van literatuur (www.grondwaterformules.nl). Vervolgens zijn deze k-waardes aangepast tijdens de modelkalibratie.

Tabel 3-1: k-waardes van de bodemmateriële in het model.

Raai	Asfalt	Klei toplaag	Dijkzand	Klei tussenlaag	Klei	Keileem	Zand pleistoceen
Raai 1	0	0,07	6,24	0,01	0,01	0,05	9,49
Raai 6	0	0,07	13,69	0,01	0,01	0,05	3,22
Raai 7	0	0,07	7,62	0,01	0,01	0,05	1,10
Raai 8	0	0,07	25,99	0,01	0,01	0,05	4,82
Raai 9	0	0,07	25,64	0,01	0,01	0,05	2,27
Raai 10	0	0,07	27,08	0,01	0,01	0,05	2,10
Raai 11	0	0,07	32,67	0,01	0,01	0,05	0,19

3.3 Hydrologische randvoorwaarden

Januaristorm 2019

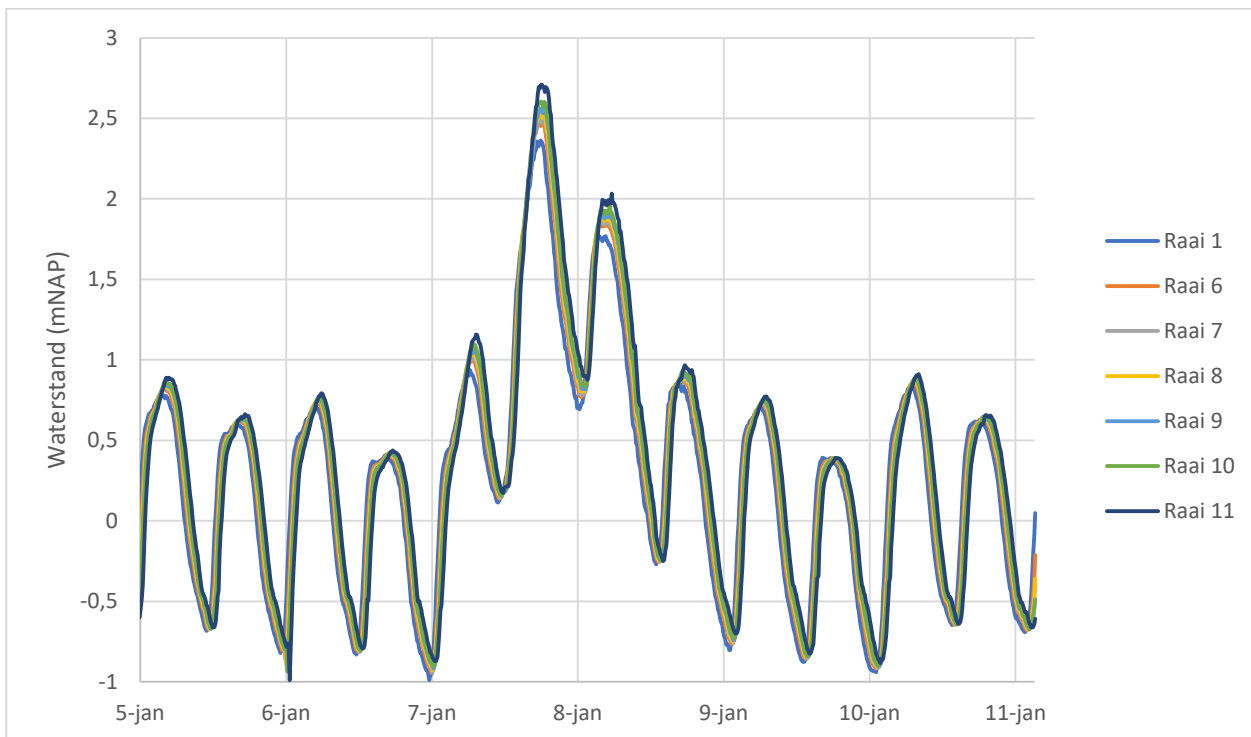
Voor de januari storm van 2019 zijn de waterstanden bepaald op basis van de ligging van de raai ten opzichte van meetpunt Den Helder en Den Oever (Figuur 3-2). De hoogste piek is gemeten bij raai 11 en de laagste bij raai 1, waarbij de piek bij raai 1 eerder optreedt dan bij raai 11. De maximale waterstand ligt bij deze storm tussen 2,3 en 2,7 m boven NAP.

Als ondergrens zijn gemeten stijghoogtes net onder het holocene zand ingevoerd (Figuur 3-3). Deze stijghoogtes tonen meer ruimtelijke variatie dan de waterstanden. In raai 1 en raai 10 zijn de hoogste stijghoogtes gemeten en in raai 7 de laagste. Raai 6, 8 en 9 tonen een vergelijkbare respons. De stijghoogte ligt behalve in raai 1 altijd onder het peil van de Waddenzee. Dit betekent dat het grondwater van de dijk naar het pleistocene zand stroomt. Ten slotte is in raai 11 PB4-2 een bijzonder hoge stijghoogte gemeten. Na nadere analyse blijkt dit een onbetrouwbare meting te zijn (Royal HaskoningDHV, 2019).

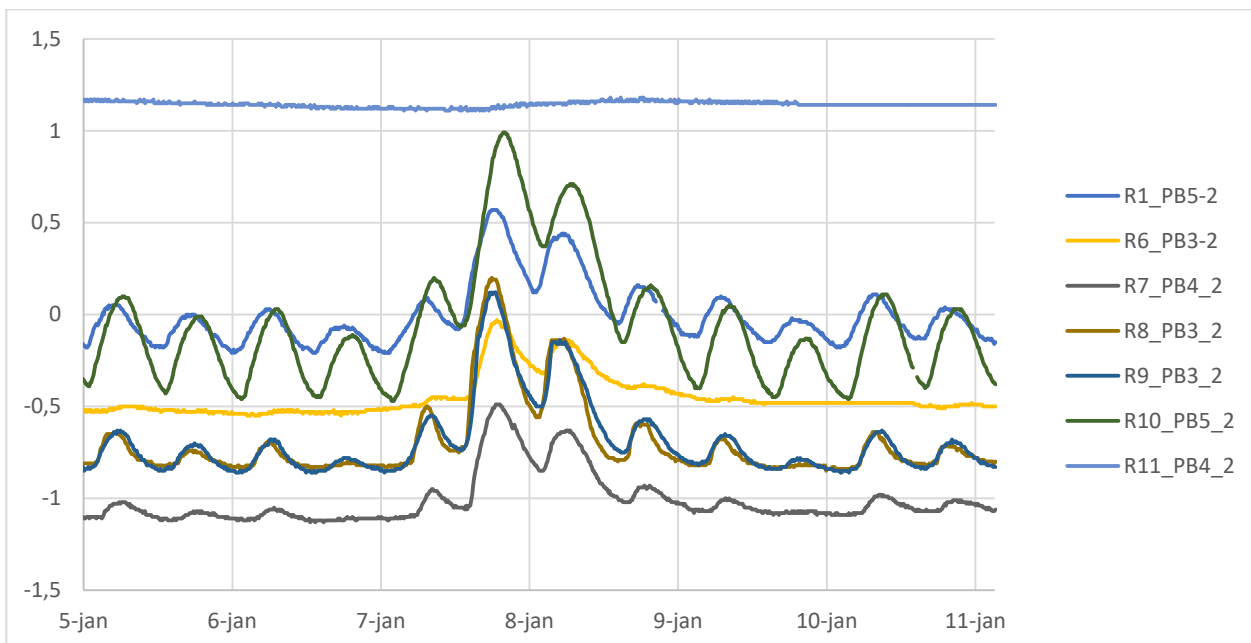
Maatgevend hoogwater

De waterstanden bij norm (2073) in de Waddenzee zijn bepaald op basis van de WBI2017zoals beschreven in de SH Asfalt (Figuur 3-4, Tabel 3-2). Ook hier geldt dat de maximale waterstand in de Waddenzee het hoogst is bij raai 11 en het laagst bij raai 1. De maxima liggen bij deze golven tussen 4,6 en 4,9 meter.

De stijghoogtes in het eerste watervoerende pakket hebben dezelfde ligging ten opzichte van elkaar als tijdens de januaristorm. Omdat meting in PB4-2 van raai 11 niet betrouwbaar is, is voor raai 11 de stijghoogte van raai 10 ingevoerd. De maxima in stijghoogtes liggen tussen 0 en 1,5 meter.



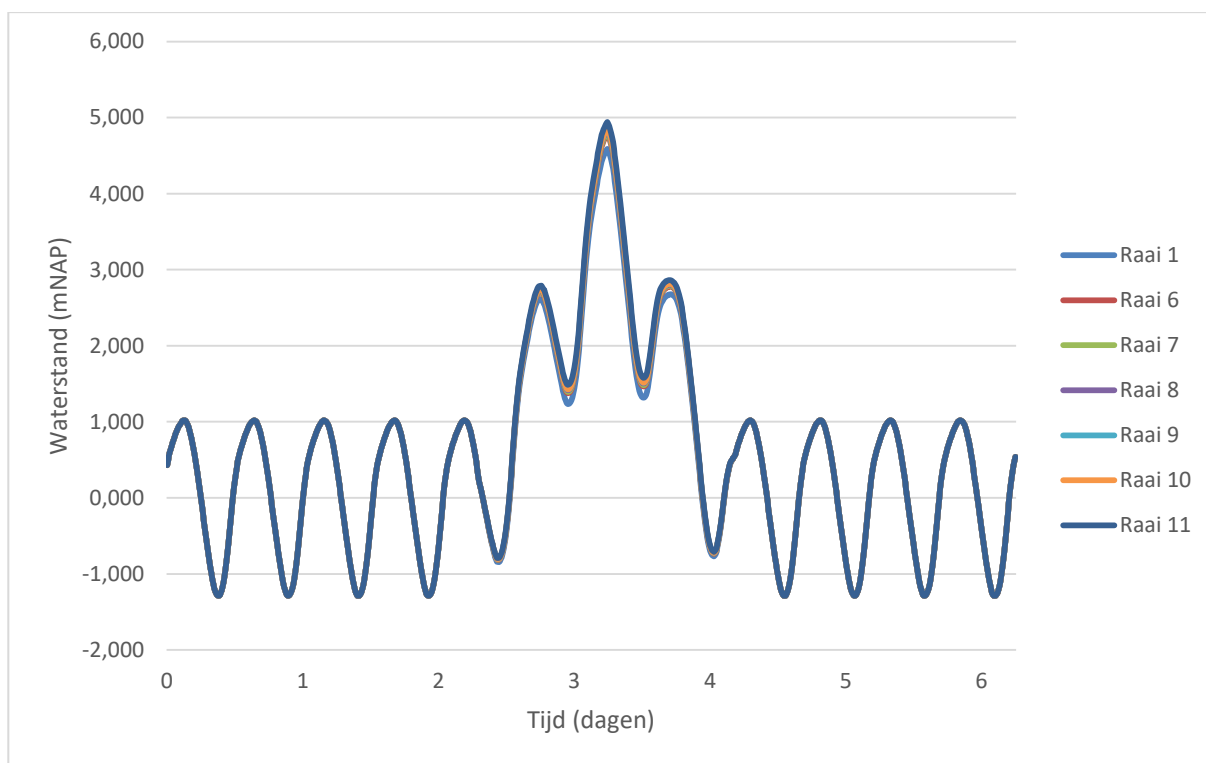
Figuur 3-2: Ingevoerde waterstanden op basis van gemeten waarden in Den Oever en Den Helder tijdens een storm in januari 2019. Deze waterstanden zijn gebruikt voor de kalibratie van het model.



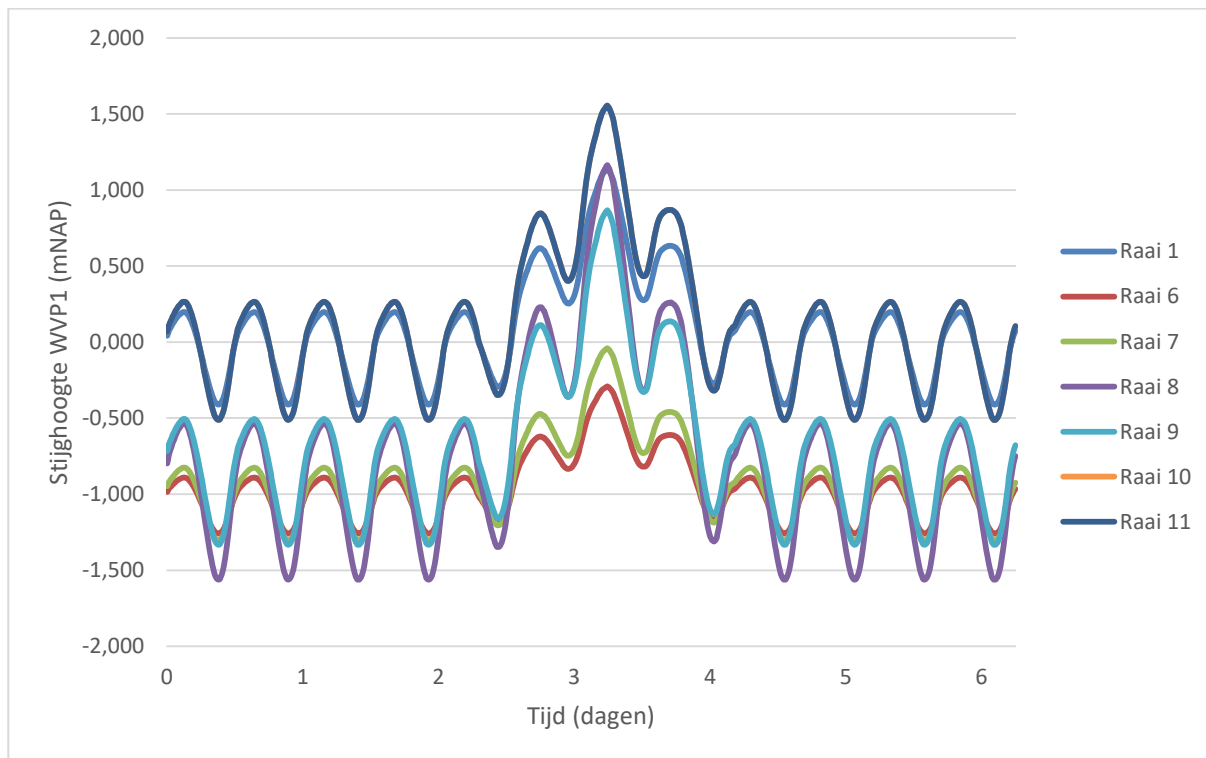
Figuur 3-3: Stijghoogte in het pleistocene zand dat als onderste randvoorwaarde is gebruikt voor de raaien tijdens de storm van januari 2019.

Tabel 3-2: Uitgangspunten voor de tijdreeksen van de waterstanden en de stijghoogte tijdens MHW.

Raai	Dijkpaal	Waterstand bij norm (2023)	Waterstand bij norm 2073	Pb-lineaire regressie	a-stijghoogte	b-stijghoogte
Raai 1	5	4,1	4,590	PB5-2	-0,07	0,26
Raai 6	12,5	4,35	4,786	PB3-2	-1,05	0,16
Raai 7	13,8	4,4	4,812	PB4-2	-1,04	0,21
Raai 8	16,3	4,4	4,839	PB3-2	-0,99	0,44
Raai 9	17,9	4,4	4,858	PB3-2	-0,87	0,36
Raai 10	20,8	4,4	4,858	PB5-2	-0,08	0,34
Raai 11	25,1	4,5	4,942	PB5-2 (raai 10)	-0,08	0,34



Figuur 3-4: Waterstand bij norm per doorgerekende raai voor 2073.



Figuur 3-5: Stijghoogte eerste watervoerende pakket voor de raaien tijdens de waterstand bij norm (2073). De stijghoogte in Raai 10 en 11 zijn identiek.

3.4 Kalibratie

Tabel 3-3 toont de k-waarden van de gekalibreerde modellen:

- De k-waarde van het dijkzand is verhoogd voor raai 6 en raai 7. Dit zijn de raaien waar in de metingen de respons in PB2 het grootst is, namelijk 40 cm in raai 6 en 80 cm in raai 7. Om deze reactie goed te kunnen modelleren is daarom de k-waarde van het dijkzand verhoogd.
- Het voorland van raai 6 en 7 strekt zich enkele honderden meters uit voordat deze zich onder de normale waterstanden van de Waddenzee bevindt. Als gevolg hiervan bolt het grondwater ter hoogte van de dijk op tot ongeveer 1,4 meter boven NAP. Om niet een voorland van enkele honderden meter te hoeven modelleren is het model bij deze raaien bij te teen van de dijk afgekapt. In plaats van het peil in de Waddenzee is aan de teen van de dijk een waterstand van 1,4 meter boven NAP opgelegd, tenzij de waterstand in de Waddenzee hierboven uitkomt. Dan is de waterstand in de Waddenzee opgelegd.
- Het model benaderd in raai 1 en 6 de tweede piek in de gemeten grondwaterstand niet goed. Dit komt mogelijk doordat het peil in het Balgzandkanaal tussen deze eerste en tweede piek verlaagd is. PB6-1 in raai 1 laat deze mogelijke peilverlaging goed zien. Bij de kalibratie van deze twee raaien is daarom vooral gefocust op het goed modelleren van de eerste piek in PB2.
- De k-waarde van de scheidende klei- of keileemlaag in raai 1, 6, 7, 8, en 9 is met ongeveer een factor 10 verlaagd. Deze zijn verlaagd omdat de freatische grondwaterstanden met de initiële bodemparameters verder uitzakken dan in de peilbuizen is gemeten.
- In raai 10 is de k-waarde van het dijkzand verlaagd. Bij deze raai was de respons van het model met de initiële k-waarde hoger dan gemeten in de peilbuizen.
- Voor Raai 11 is geen goed kalibratieresultaat gevonden. De gemeten reactie in PB1 (ruim 1 meter) op de hoogwatergolf van januari 2019 is niet te vatten met realistische bodemparameters. Ook aangezien de gemeten reactie van PB2B vele malen kleiner is terwijl deze peilbuis enkele

tientallen meter van PB1 af ligt (Figuur 3-6). Mogelijk speelt het voorland in deze raai een belangrijke rol in de dynamiek van de peilbuizen, er ligt hier namelijk een verhoogde kade. Op basis van de metingen is dit echter niet te achterhalen.

De resultaten van de kalibratie ter hoogte van de freatische peilbuizen zijn weergegeven in Bijlage 2. Met uitzondering van raai 1 kan geconcludeerd worden dat de gekalibreerde modellen de pieken van de januaristorm in 2019 goed (minder 5 cm verschil tussen gemeten en gemodelleerde piek) benaderen. Het blijft echter onzeker of deze benadering klopt voor de berekening bij de waterstand bij norm (2073) of dat er processen gaan spelen die nu niet in het model zijn verwerkt. Om dit te ondervangen dient er een veiligheidsmarge ingebouwd te worden bij het toetsen van de dijk. Bij het opstellen van de geohydrologische uitgangspunten (bijlage C bij hoofdrapport) is daarom gewerkt met verschillende scenario's.

NB Bij raai 1 wordt de eerste piek goed benaderd terwijl de tweede piek door het model circa 10 cm wordt overschat. Voor de freatische grondwaterstand bij waterstand bij norm (2073) is de berekende freatische grondwaterstand bij de 2^e piek gebruikt.

Tabel 3-3: *k-waardes van de gekalibreerde modellen per raai. De dikgedrukte getallen zijn veranderd ten opzichte van de eerder gekozen k-waardes (Tabel 3-1).*

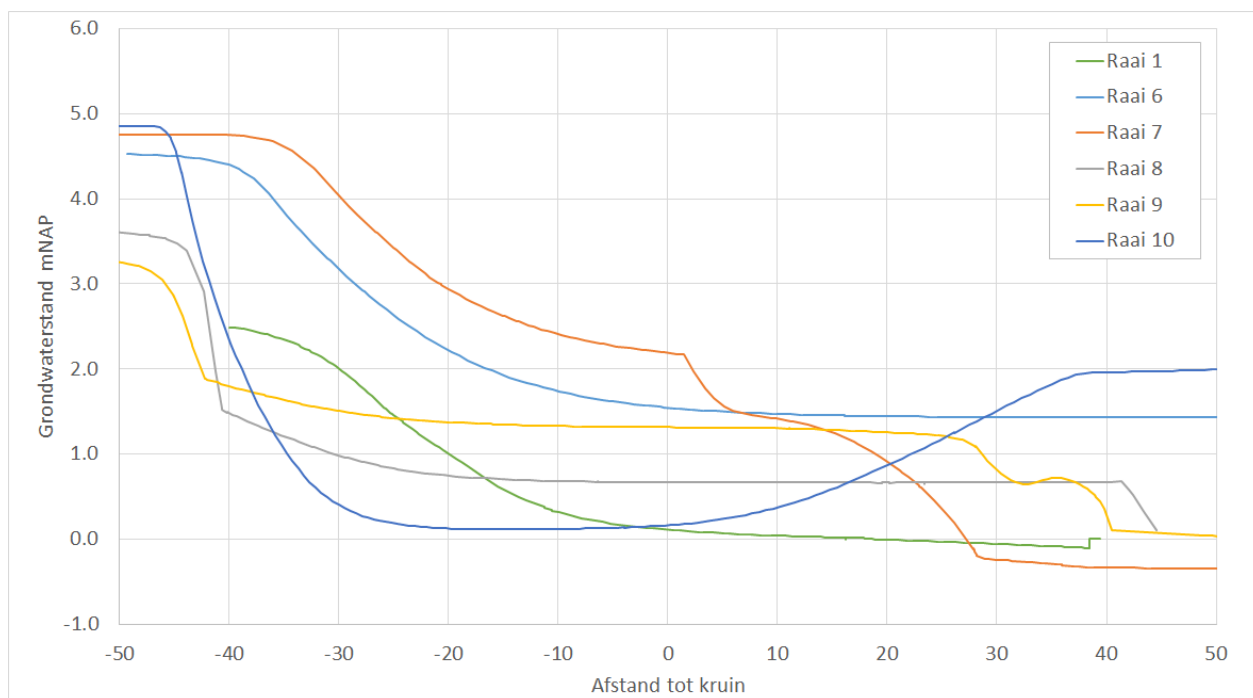
Raai	Asfalt	Klei toplaag	Dijkzand	Klei tussenlaag	Klei	Keileem	Zand pleistoceen
Raai 1	0	0,07	6,24	0,01	0,001	0,5	10,00
Raai 6	0	0,07	25,00	0,01	0,001	0,05	3,22
Raai 7	0	0,07	30,00	0,01	0,001	0,005	1,10
Raai 8	0	0,07	25,99	0,01	0,01	0,008	4,82
Raai 9	0	0,07	25,64	0,01	0,01	0,0078	2,27
Raai 10	0	0,07	10,00	0,01	0,01	0,05	2,10
Raai 11	0	0,07	32,67	0,01	0,01	0,05	0,19



Figuur 3-6: Ligging PB1 en PB2B in raai 11. Hierin is de verhoogde kade voor PB1 goed te zien.

3.5 Freatische lijn bij de waterstand bij norm (2073)

De ligging van de freatische lijn bij de waterstand bij norm (2073) onder het asfalt is weergegeven in Figuur 3-7 en bijlage 3. Bijlage 4 toont de gemodelleerde tijdreeksen bij de waterstand bij norm (2073) in de peilbuizen. Hierin is ook te zien hoe snel de grondwaterstand na het hoogwater weer zakt.



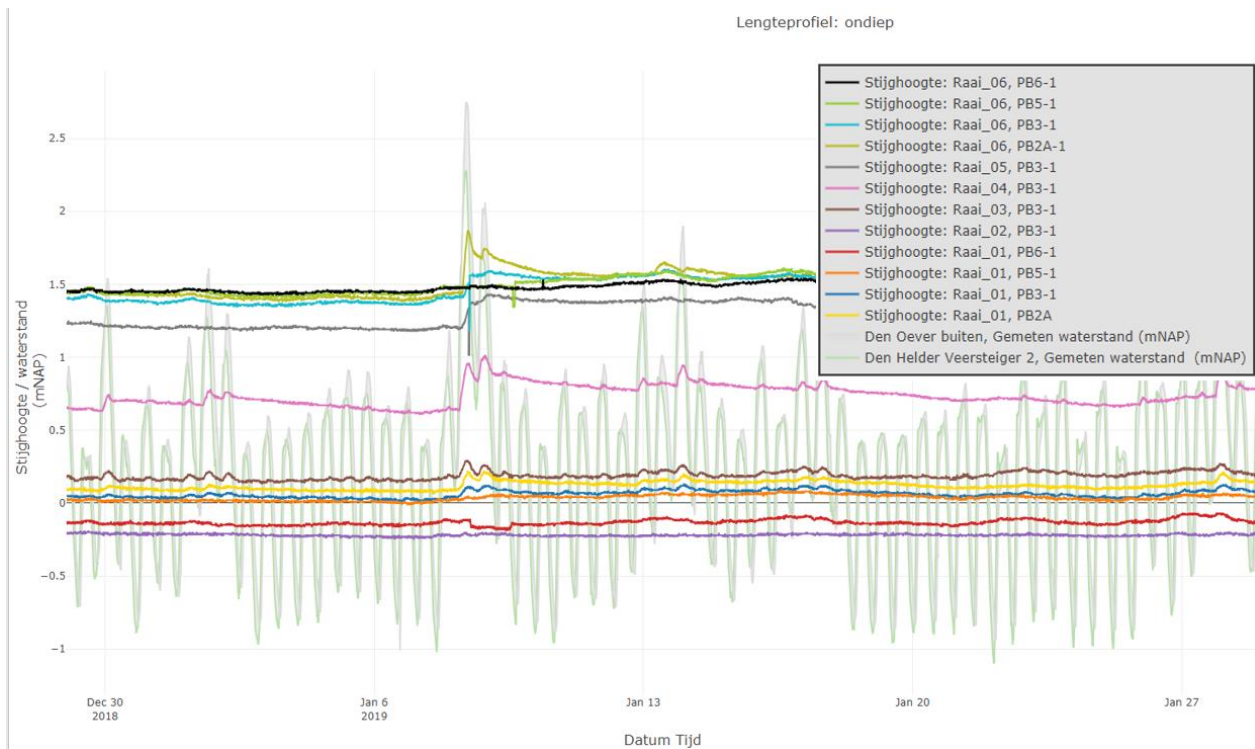
Figuur 3-7. Hoogste ligging van de freatische lijn bij de waterstand bij norm (2073) op basis van de maximumwaarde in PB2.

3.6 Bepaling freatische lijn bij raaien 2 t/m 5

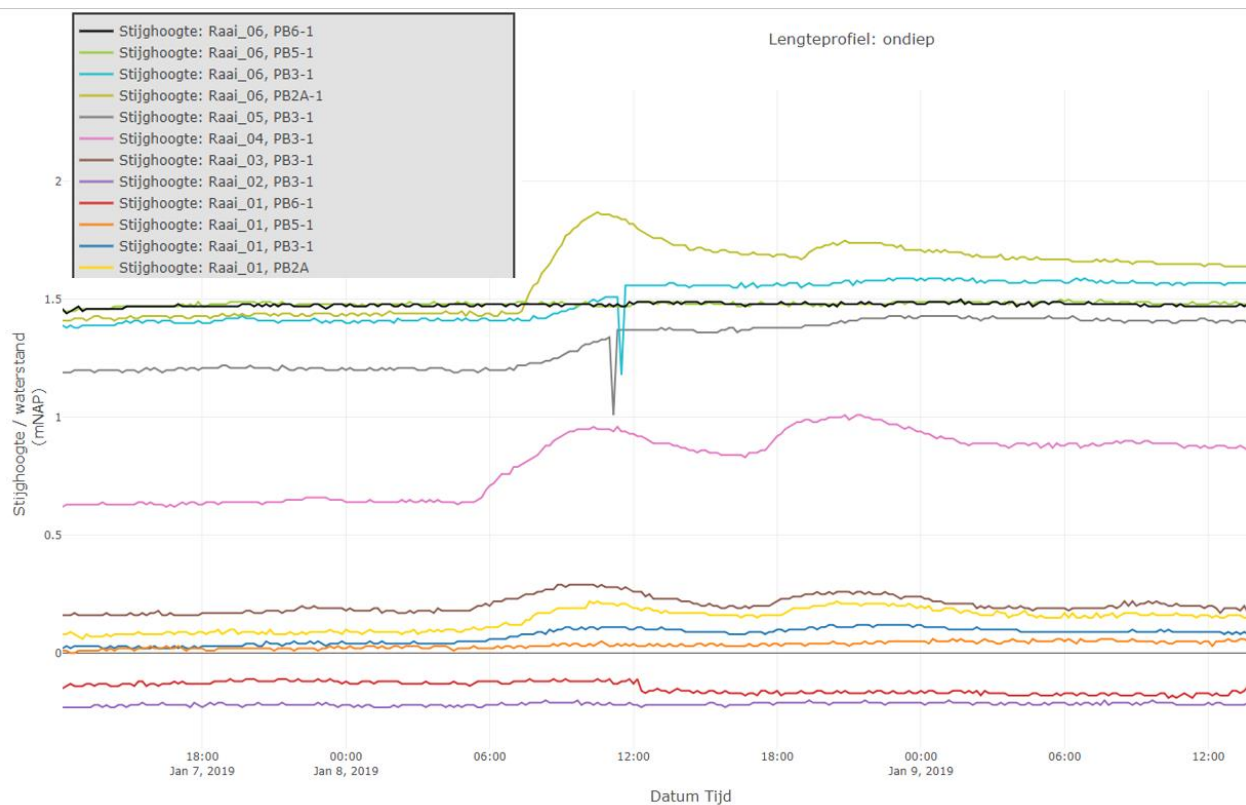
Voor de raaien 2 t/m 5 is geen PlaxFlow model opgesteld. De bodemopbouw van deze raaien is zeer vergelijkbaar aan raai 1 en 6. Voor deze raaien is daarom de ligging van de freatische lijn bij de waterstand bij norm (2073) bepaald aan de hand van de resultaten van de PlaxFlow berekeningen voor raai 1 en 6. Op basis van de beschikbare metingen van de freatische grondwaterstand ter plaatse van raai 2 t/m 5 en de reactie tijdens het hoogwater van januari 2019 is bepaald hoe de resultaten van de PlaxFlow berekeningen voor raai 1 en raai 6 geïnterpoleerd kunnen worden naar raai 2 t/m 5.

Uit de metingen blijkt dat er van noord (raai 1) naar zuid (raai 6) een duidelijk verhang is in de freatische grondwaterstand (onder dagelijkse condities). Bij raai 1 is de freatische grondwaterstand relatief laag, circa -0.2 tot 0.1 m +NAP. Bij raai 2 en raai 3 is een vergelijkbaar beeld te zien waarbij de freatische grondwaterstand iets oploopt naar 0.2 m +NAP bij raai 3. Bij raai 4 ligt de freatische grondwaterstand duidelijk hoger, circa 0.7 m +NAP. Bij raai 5 loopt de freatische grondwaterstand verder op tot circa 1.2 m +NAP en bij raai 6 is dit 1.5 m +NAP. Dit wordt weergegeven in Figuur 3-8.

Daarnaast blijkt uit de metingen dat de freatische grondwaterstand bij raai 1, 2 en 3 minder sterk reageert op het hoogwater van januari 2019 dan bij raaien 4 t/m 6. Bij raai 1 t/m 3 is de verhoging van de freatische grondwaterstand circa 0.1 tot 0.15 meter (bij raai 2 vrijwel 0). Bij raai 4 t/m 6 is de verhoging circa 0.3 tot 0.4 m. Dit wordt weergegeven in Figuur 3-9. Raai 2 en 3 reageren vergelijkbaar op hoogwater condities als raai 1. Raai 4 en 5 reageren vergelijkbaar met raai 6.



Figuur 3-8 Overzicht metingen freatische grondwaterstand bij peilbuizen raai 1 t/m 6.



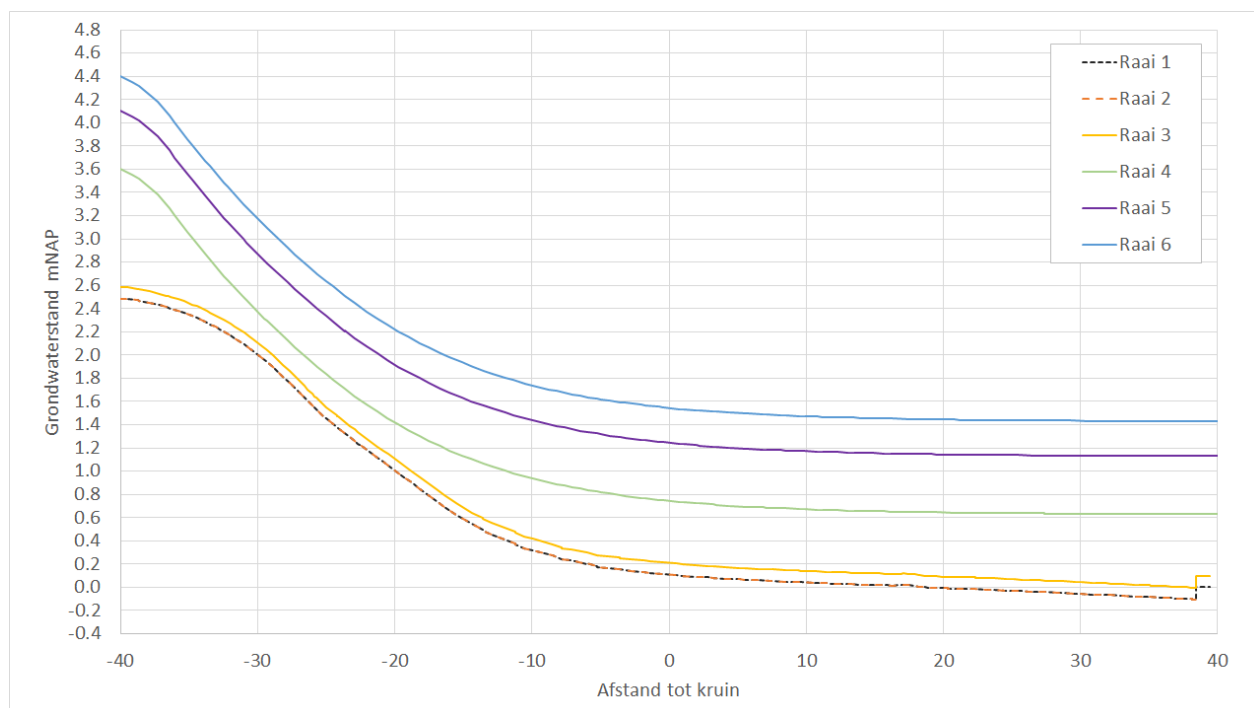
Figuur 3-9 Overzicht metingen freatische grondwaterstand bij peilbuizen raai 1 t/m 6, detail bij hoogwater 8 en 9 januari 2019.

Op basis van deze constatering is de freatische grondwaterstand tijdens de waterstand bij norm (2073) condities voor raai 2 t/m 5 berekend als de dagelijkse freatische grondwaterstand ter plaatse van de raai plus de opzet bij de waterstand bij norm (2073) zoals die is berekend met PlaxFlow voor raai 1 (0.75 m) of raai 6 (1.8 m). Bij raai 2 en 3 is de berekende opzet bij raai 1 gebruikt, bij raai 4 en 5 is de berekende opzet bij raai 6 gebruikt.

Tabel 3-4 geeft weer op welke wijze de freatische grondwaterstand bij de waterstand bij norm (2073) is bepaald. Figuur 3-10 geeft de berekende freatische grondwaterstand weer.

Tabel 3-4 Wijze van bepaling freatische grondwaterstand bij de waterstand bij norm (2073) voorraai 1 t/m 6

Raai	Methode	Gebaseerd op	Freat. gws normaal (m +NAP)	Toegepaste verschuiving freat gws normaal t.o.v. basis raai (m)	Verhoging freat gws bij (m)
1	PlaxFlow	NVT	0.1	NVT	0.75
2	Interpolatie	Raai 1	-0.2	0	0.75
3	Interpolatie	Raai 1	0.2	raai 1 + 0.1	0.75
4	Interpolatie	Raai 6	0.7	raai 6 - 0.8	1.8
5	Interpolatie	Raai 6	1.3	raai 6 - 0.2	1.8
6	PlaxFlow	NVT	1.5	NVT	1.8



Figuur 3-10 Berekende freatische grondwaterstand bij de waterstand bij norm (2073) voor raai 1 t/m 6. Bij raai 1 en 6 is de grondwaterstand berekend met behulp van PlaxFlow. Bij raai 2 t/m 5 is de grondwaterstand afgeleid op basis van de resultaten voor raai 1 en 6 aangevuld met de metingen voor raai 2 t/m 5.

4 Bronnen

Inpijn-Blokpoel Ingenieursbureau, 30 Januari 2019. HWBP - HWBP - Verkenning Wieringer Zeewering, Balgzanddijk en Amsteldiepdijk tussen De Kooy en Den Oever. Document: 6P004659-RG-01.

Fugro, 5 oktober 1998. Hoofdonderzoek Fase 10, Balgzanddijk. Deel 2: Advies. Document: BK1103179_K_BK11.03179_1

Fugro, 3 juli 2015. Onderzoek microstabiliteit verkenningenfase nhwbp - Wieringer zeewering. Document: 1212-0092-008.R01v1

Royal HaskoningDHV, 8 juli 2013. Nader onderzoek nHWBP. Amsteldiepdijk (dijk 89). Documentnr. MW-AF20130035

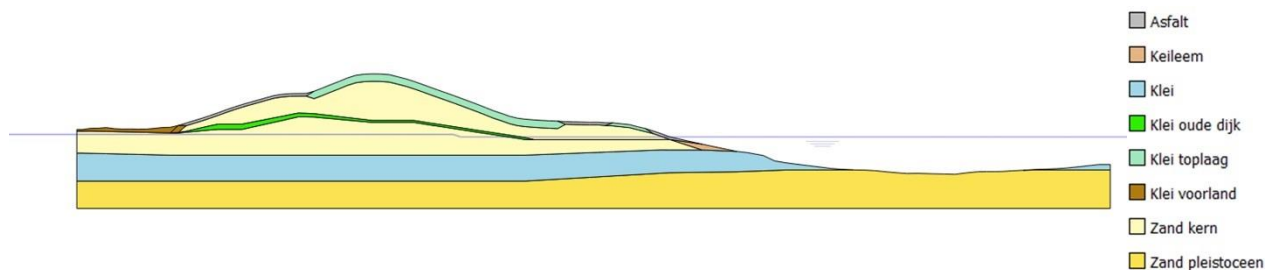
Alterra, 2001. Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks. Alterra-rapport 153

Royal HaskoningDHV, 15 februari 2019. Dijkversterking Den Oever-Den Helder: Berekening stijghoogte bij MHW.

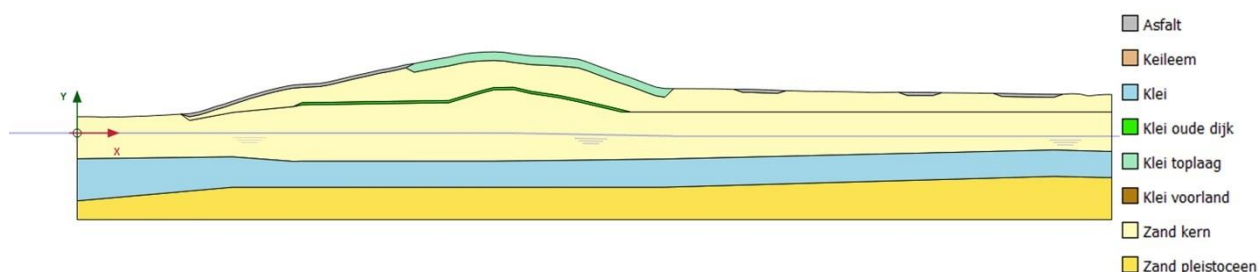
Bijlages

Bijlage 1: Bodemopbouw raaien

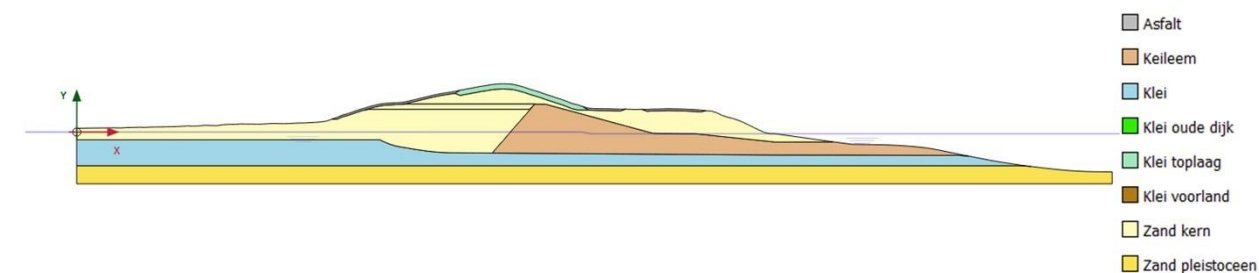
Raai 1



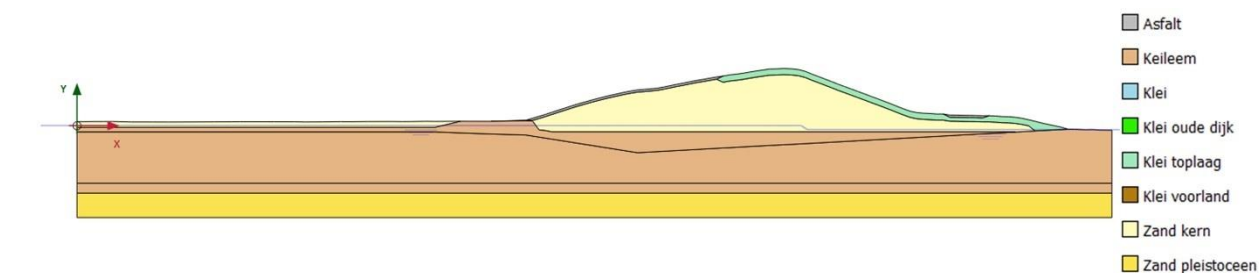
Raai 6



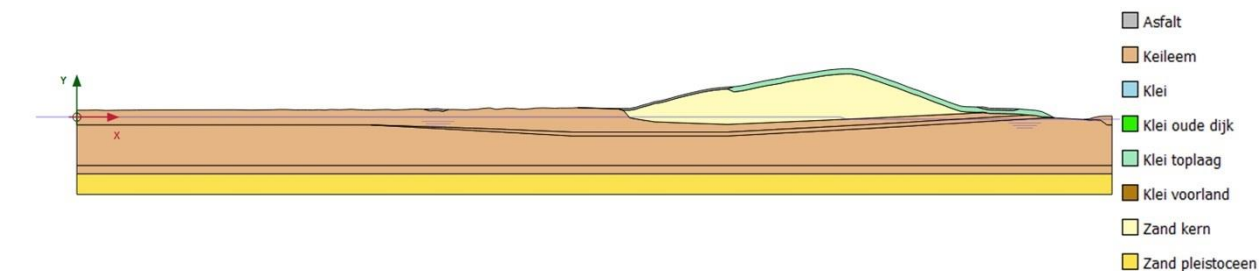
Raai 7

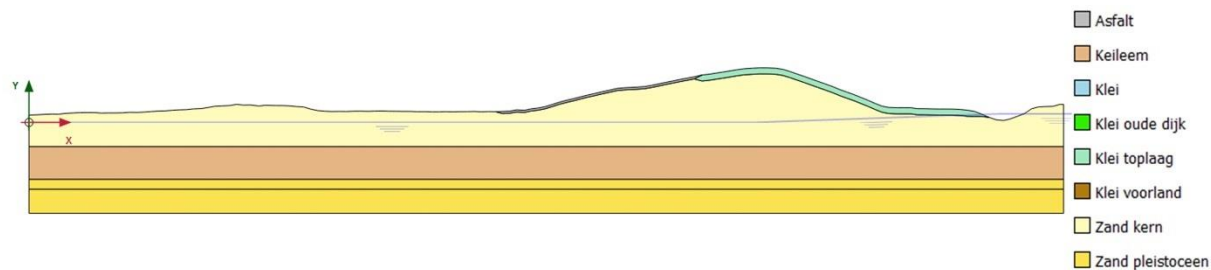
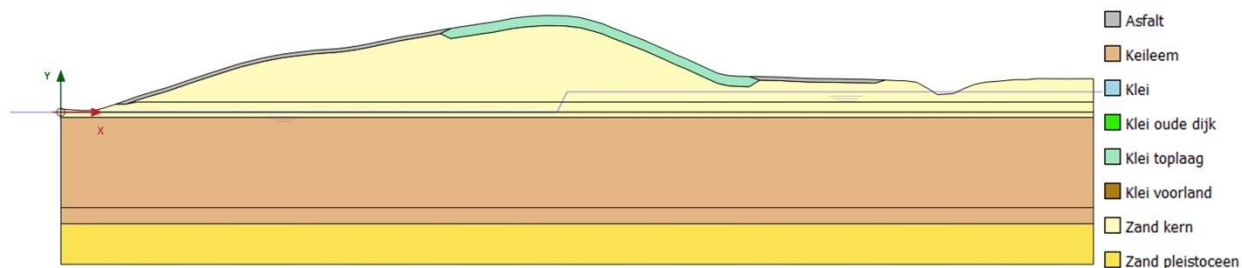


Raai 8

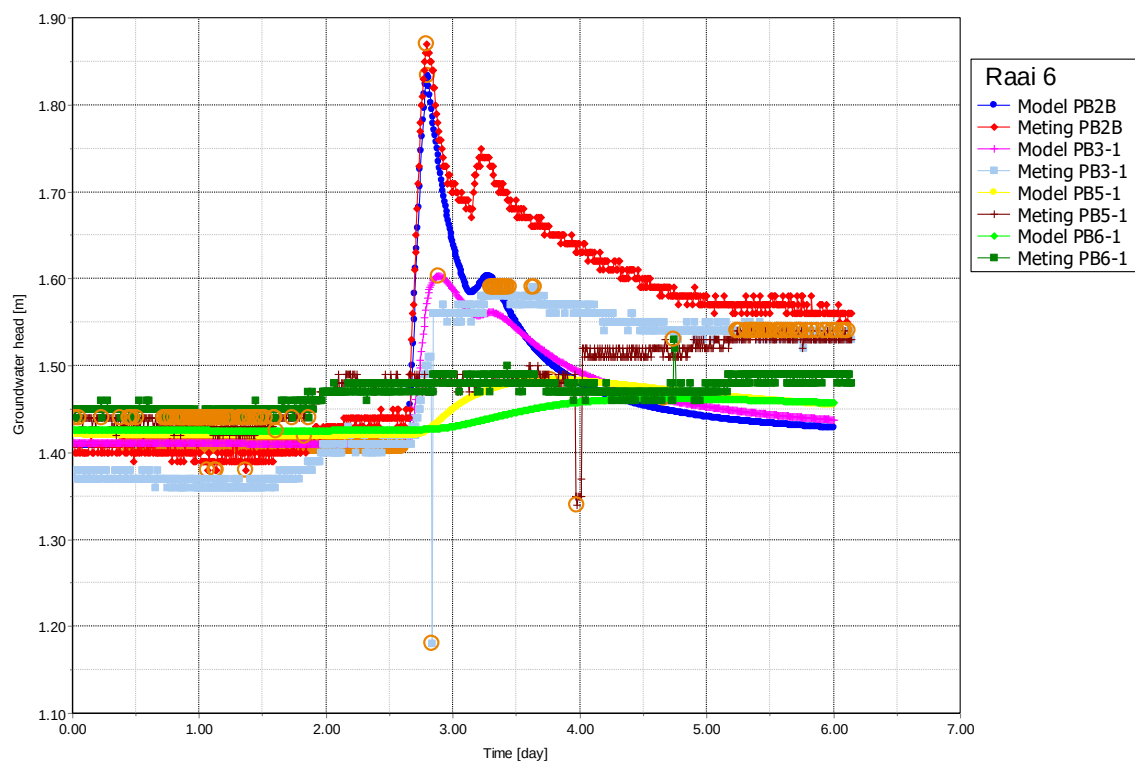
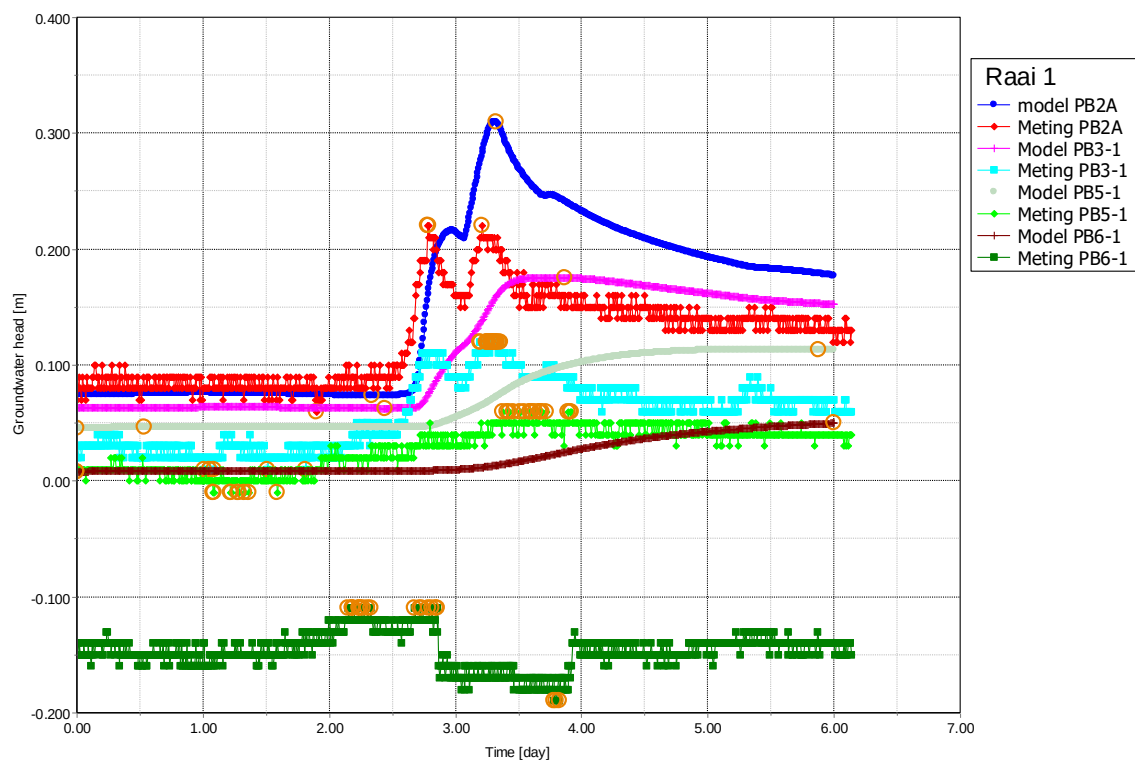


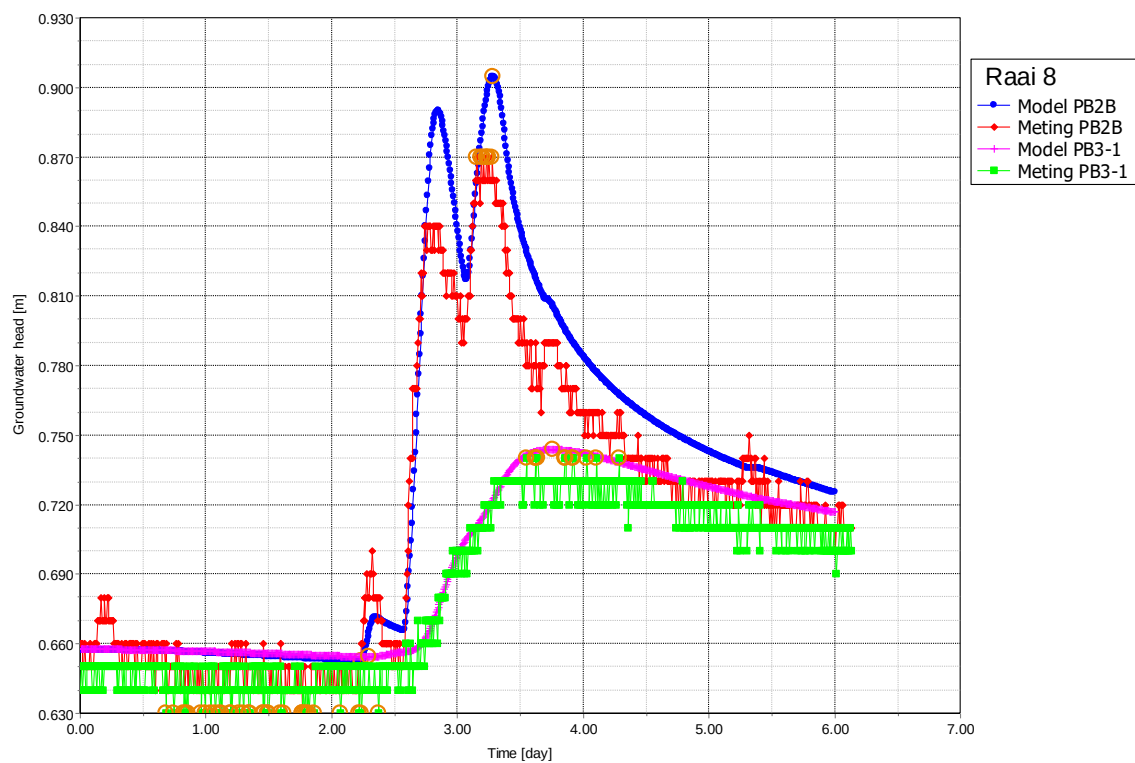
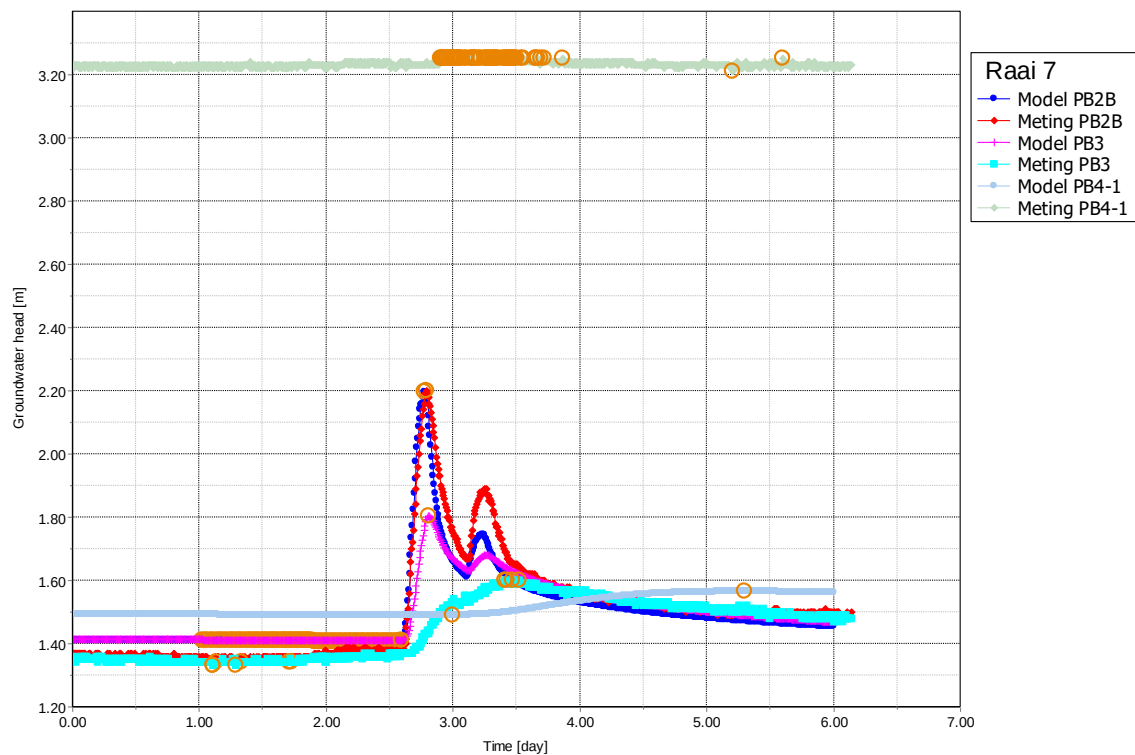
Raai 9

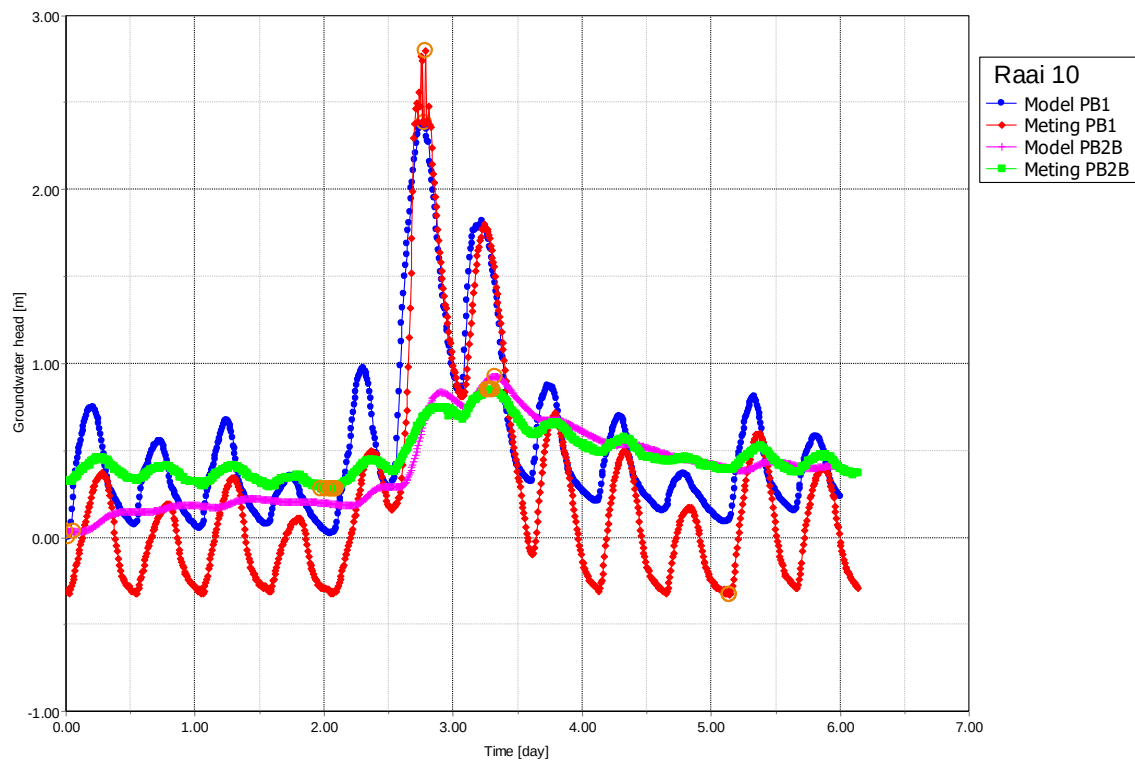
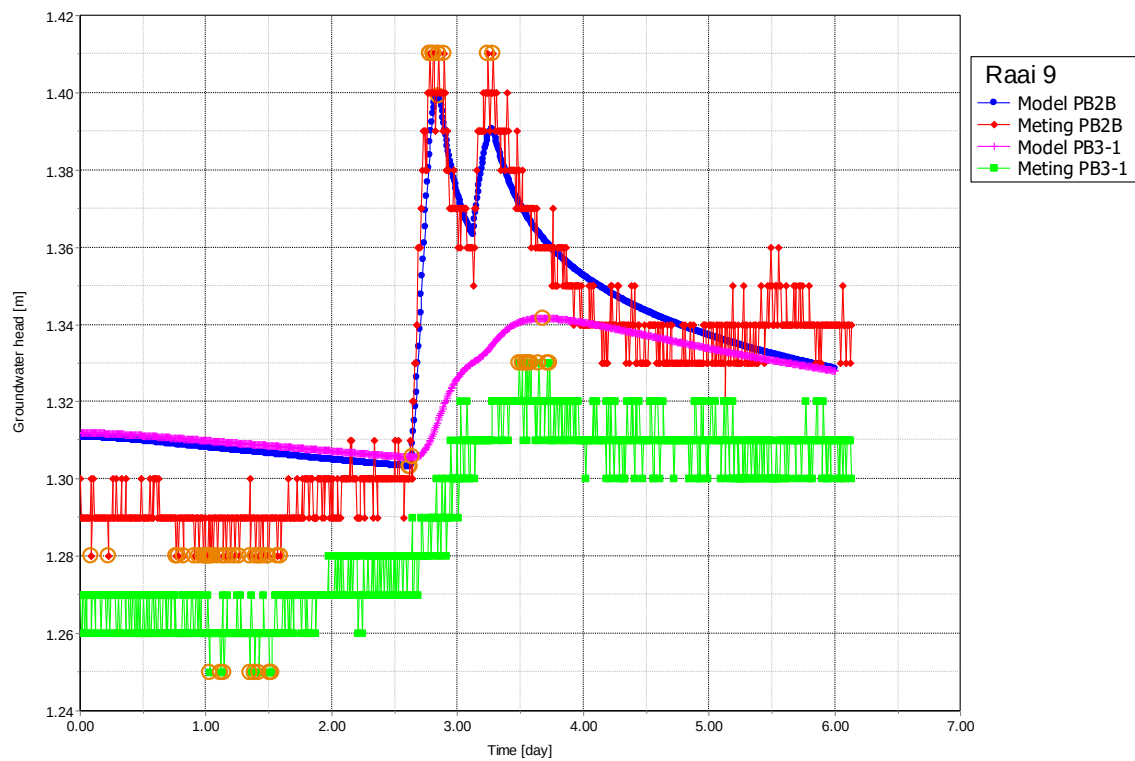




Bijlage 2: Verschil gemeten en berekende grondwaterstand tijdens januaristorm 2019

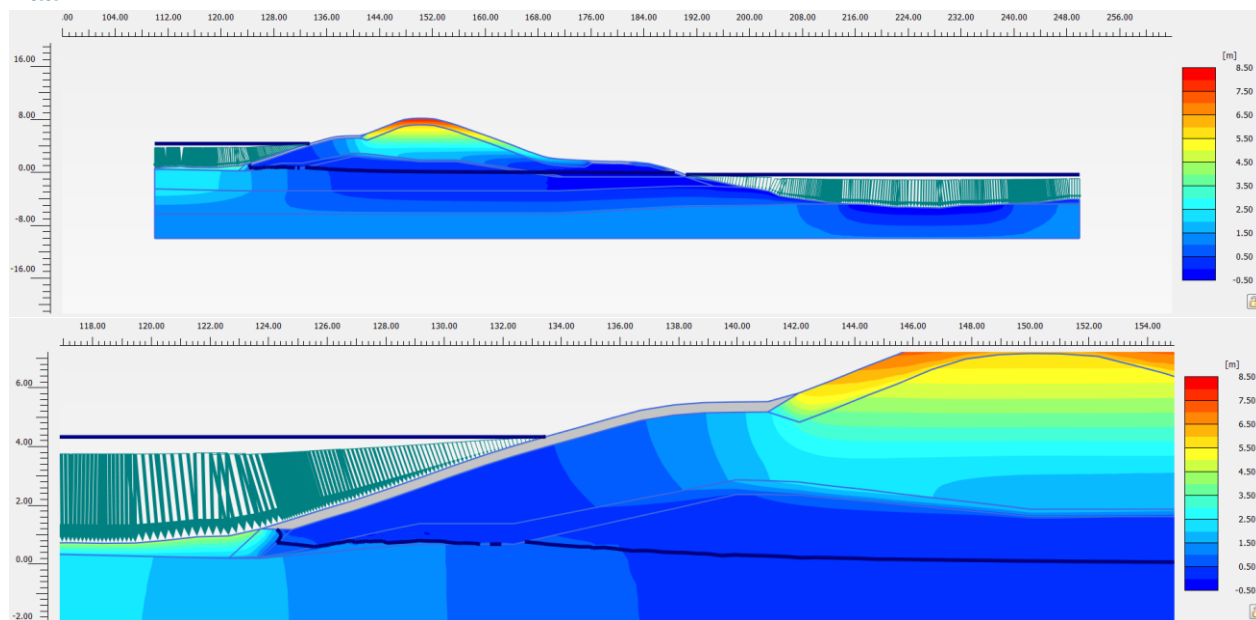




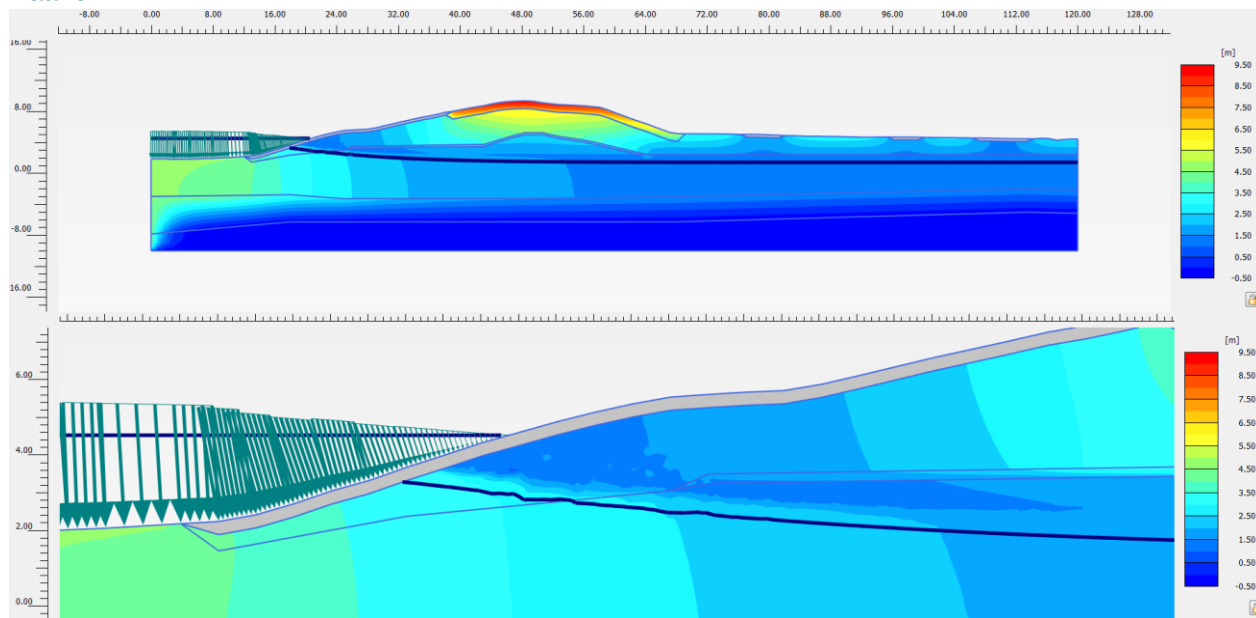


Bijlage 3: Freatische lijn bij de waterstand bij norm (2073)

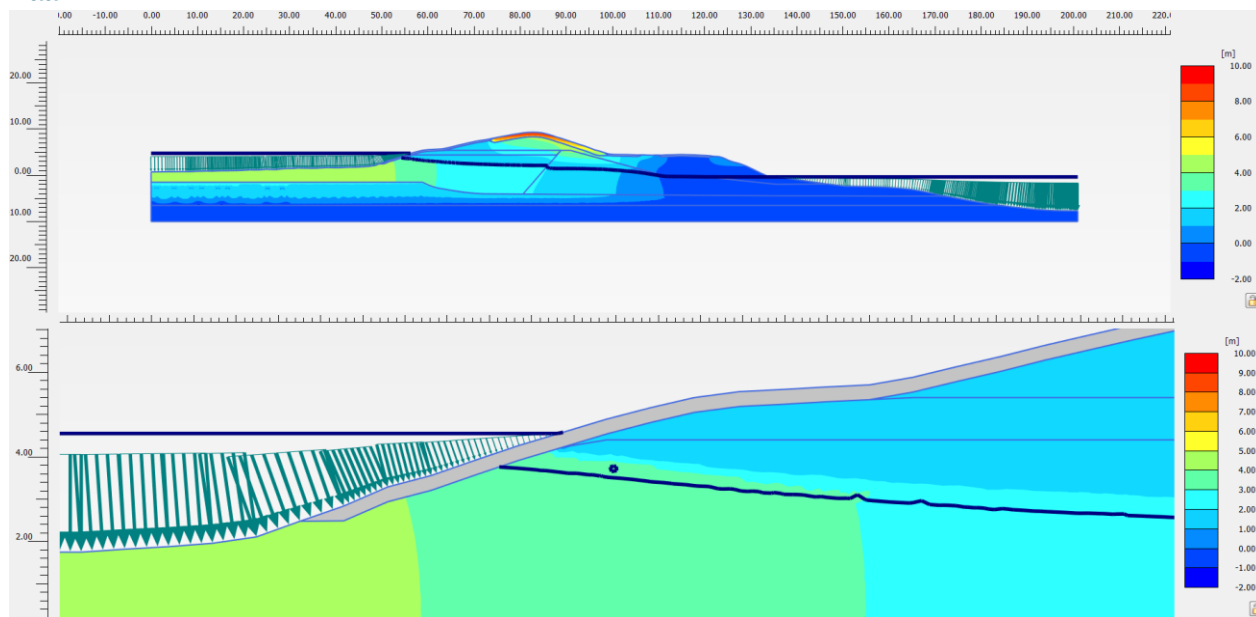
Raai 1



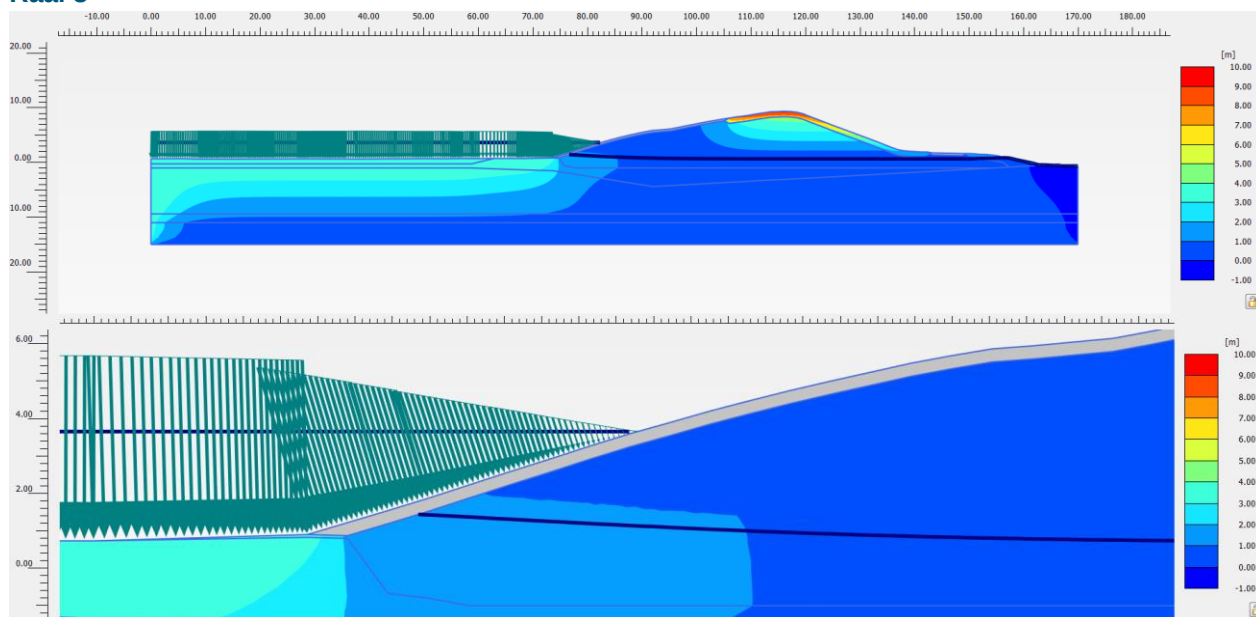
Raai 6



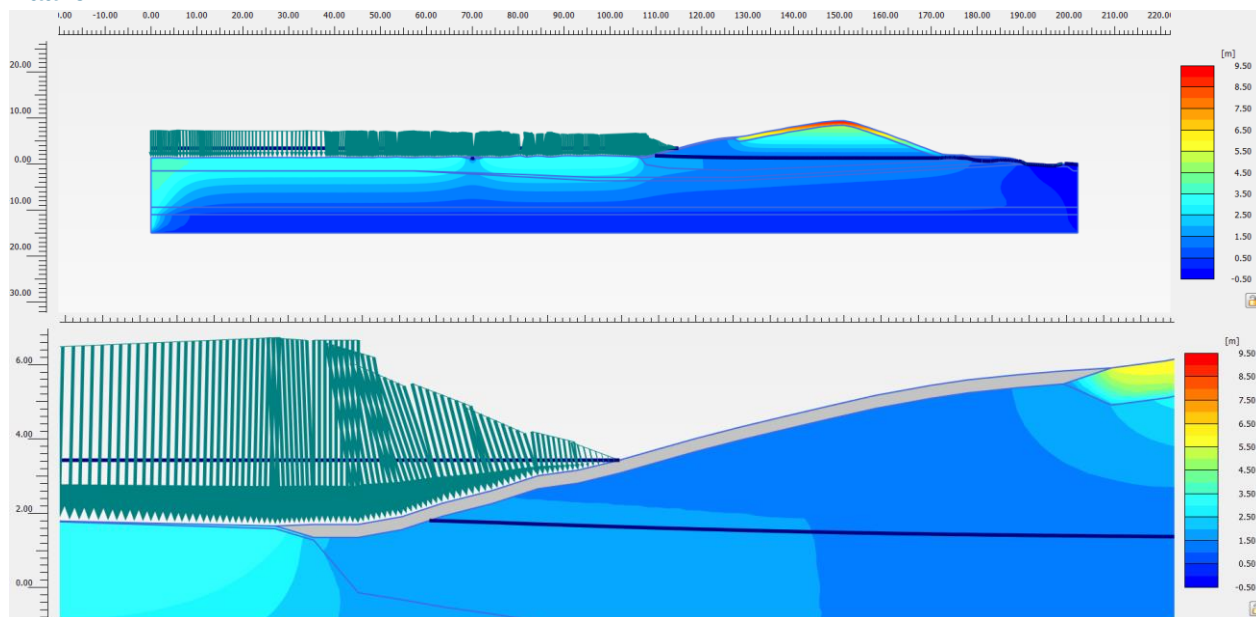
Raai 7



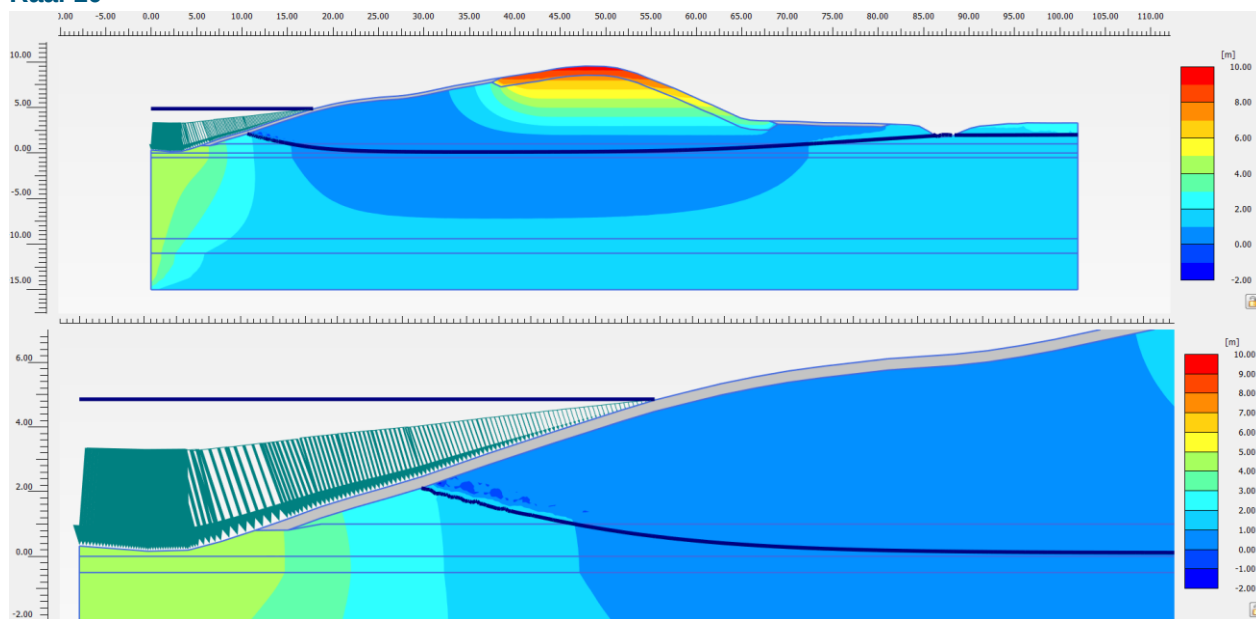
Raai 8



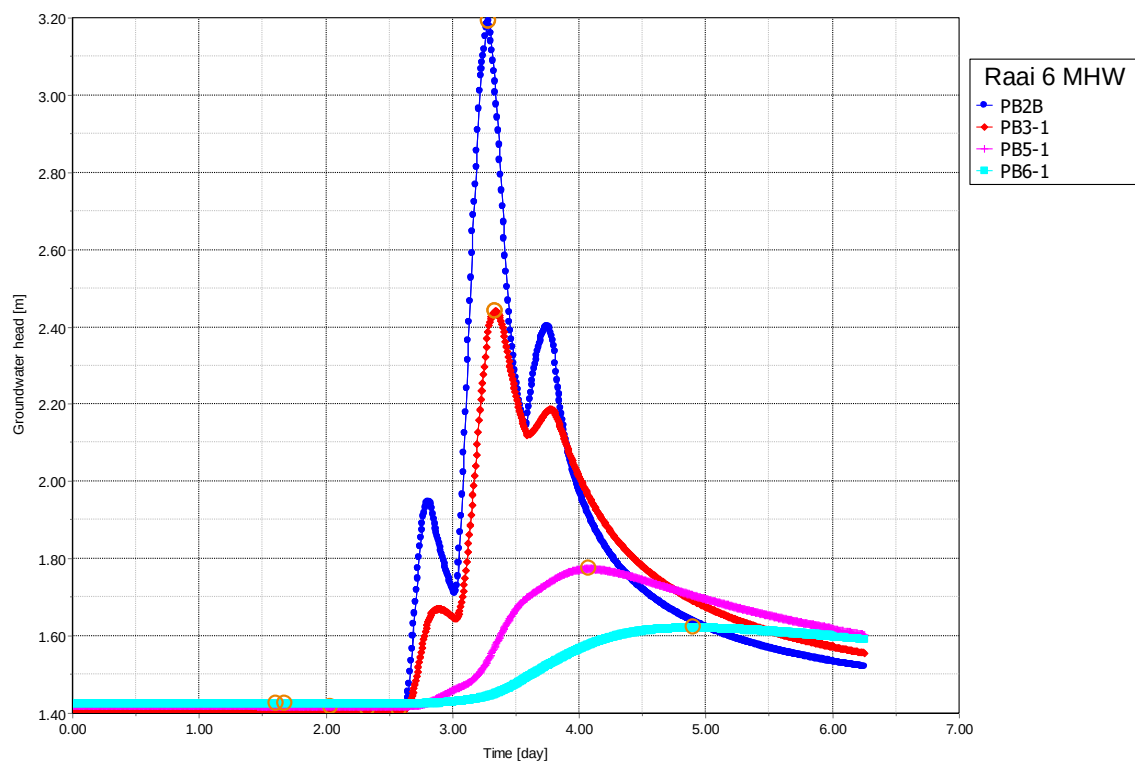
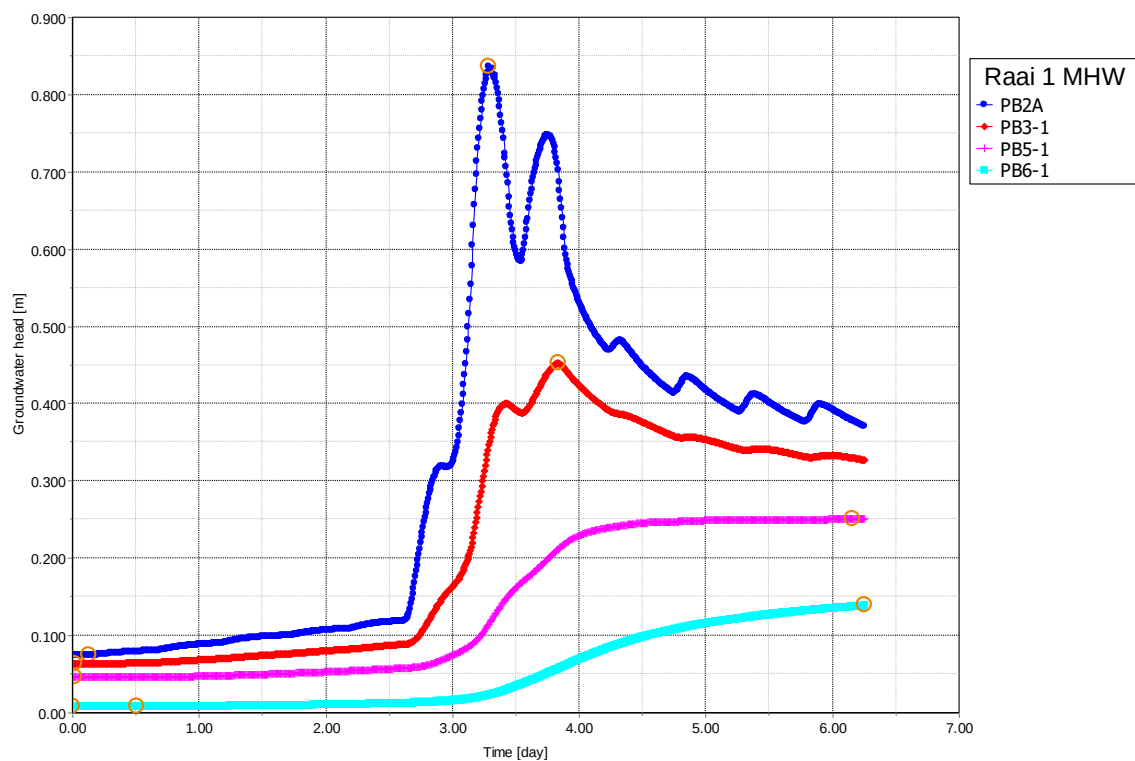
Raai 9

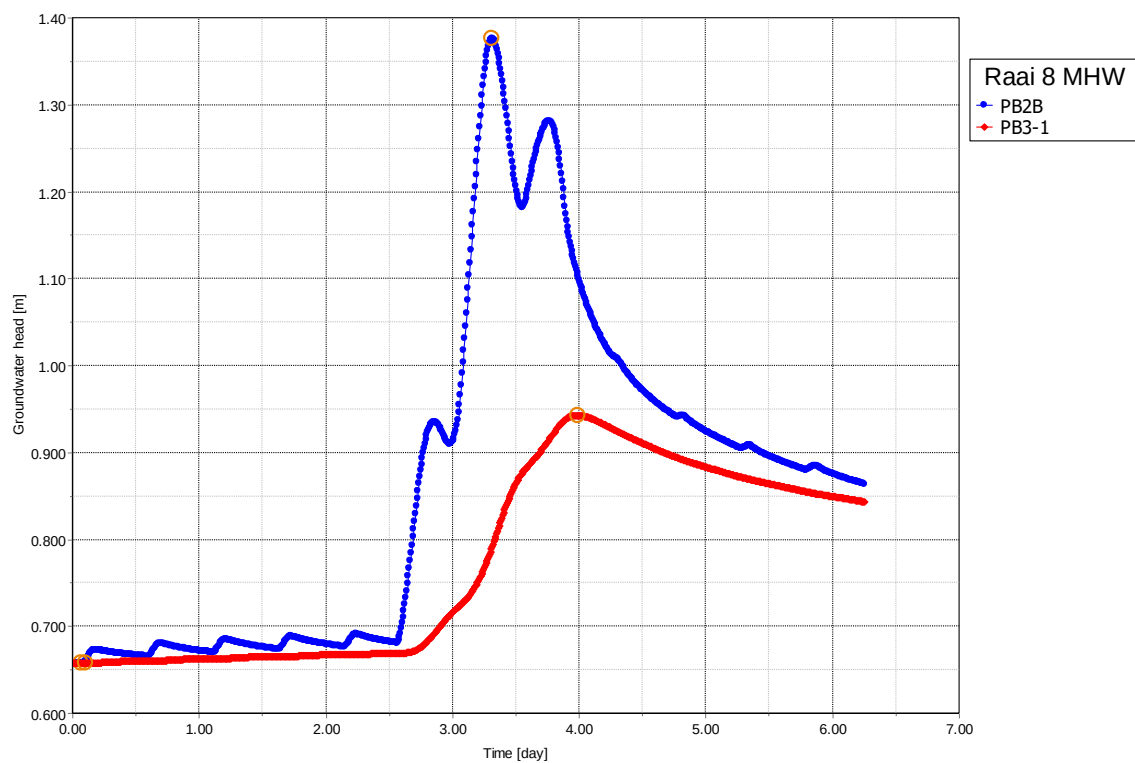
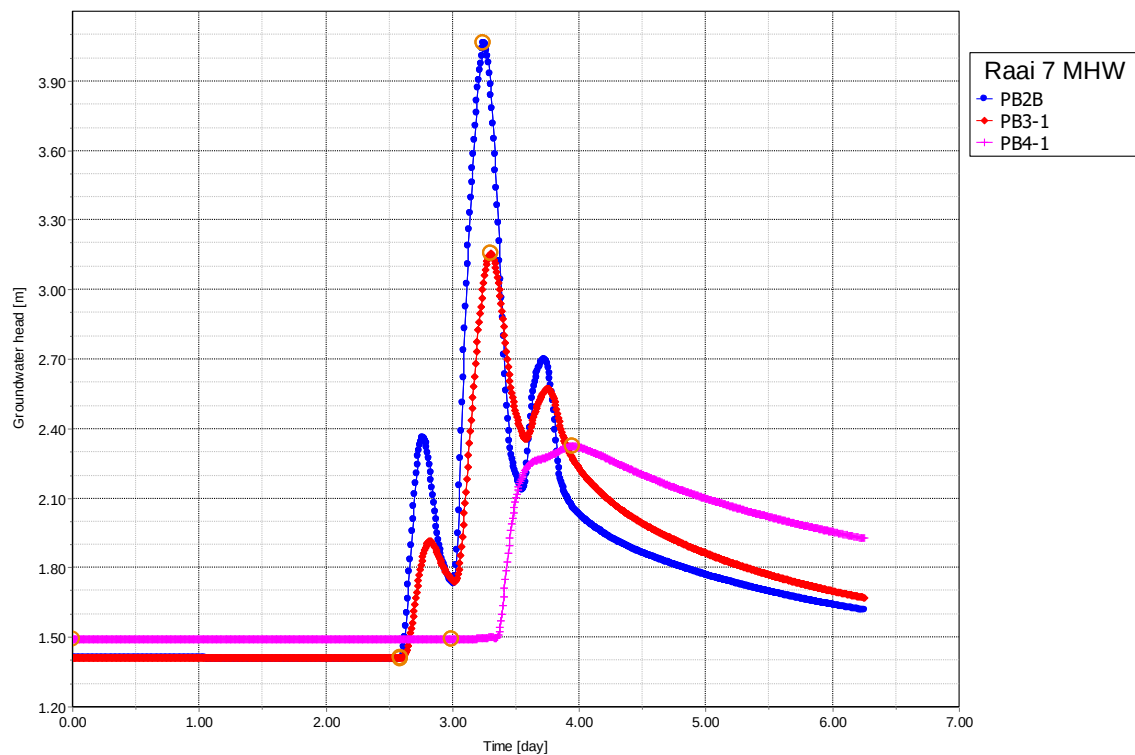


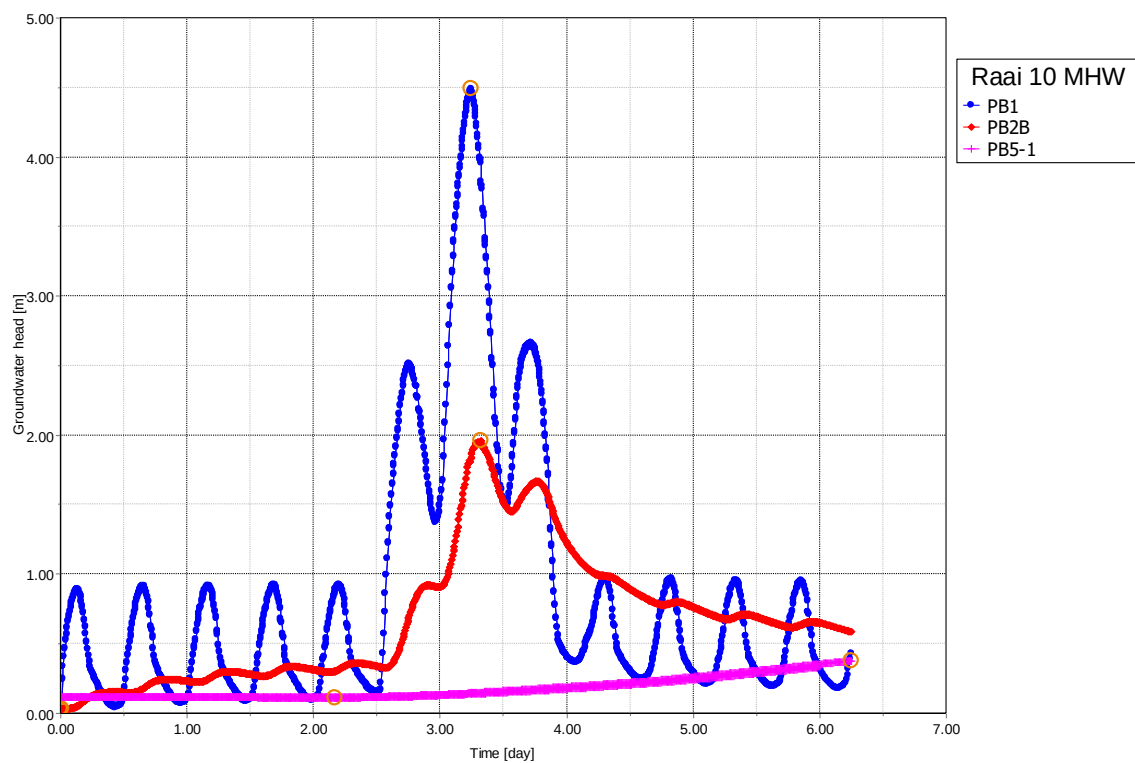
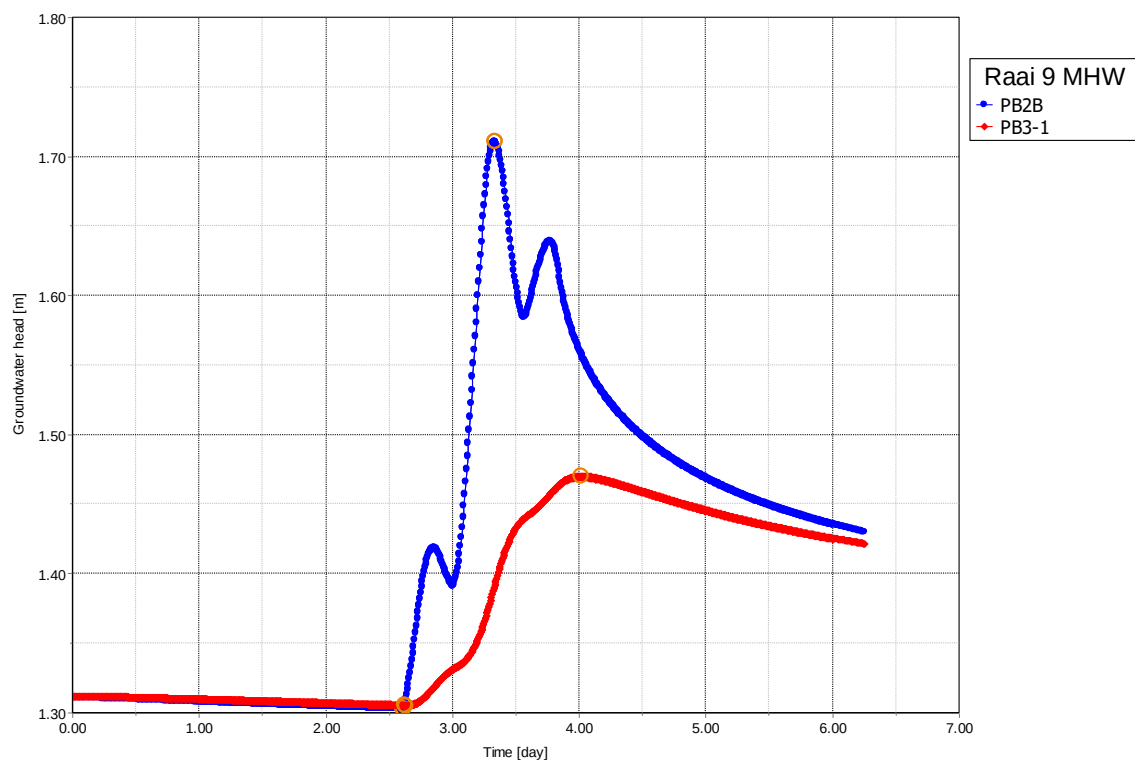
Raai 10



Bijlage 4: Tijdreeks peilbuizen bij de waterstand bij norm (2073) (MHW, berekend)







Notitie / Memo

HaskoningDHV Nederland B.V.
Maritime & Aviation

Aan: Lars Hoogduin
Van: Clara Spoorenberg
Datum: 9 april 2019
Kopie: Jan Tigchelaar
Ons kenmerk: BF9084-RHD-ZZ-XX-NT-Z-0005
Classificatie: Projectgerelateerd

Onderwerp: Product G4 - Geohydrologische uitgangspunten

1 Inleiding

Dit project bestaat uit de versterking van drie aansluitende dijktracés Wieringerzeewering, Amsteldiepdijk en Balgzanddijk met een opgave vanuit de 3e (verlengde) toetsronde. De veiligheidsopgave bestaat uit macrostabiliteit (STBI en STBU), zetsteenbekleding (ZST), grasbekleding (GEBU) en asfaltbekleding (AGK en AWO). Momenteel bevindt het project zich in de verkenning. Het doel van deze verkenning is om het voorkeursalternatief (VKA) vast te stellen voor de drie dijktracés.

Ten behoeve van de berekeningen voor het vaststellen van het VKA vindt momenteel een peilbuisonderzoek plaats. Het doel van het peilbuisonderzoek is tweeledig en omvat:

1. Het vaststellen van de hydrologische uitgangspunten voor de stabiliteitsberekeningen voor het dijktracé Balgzanddijk;
2. Het vaststellen van de hydrologische uitgangspunten voor het ontwerp van de bekleding van alle drie tracés.

De peilbuismeetreeksen van december 2018 tot en met januari 2019 zijn geanalyseerd, de resultaten hiervan zijn vastgelegd in de volgende rapportages:

- Dijkversterking Den Oever – Den Helder: Berekening freatische lijn, rapport met kenmerk BF9084WATRP1902080939;
- Dijkversterking Den Oever – Den Helder: Berekening stijghoogte bij MHW, rapport met kenmerk BF9084WATRP1902150921.

In voorliggende notitie zijn de analyseresultaten uitgewerkt tot hydrologische uitgangspunten ten behoeve van de nadere beoordeling van de Balgzanddijk, de Amsteldiepdijk en de Wieringerzeewering. In lijn met de aanpak volgens het Ontwerp Instrumentarium is hierbij onderscheid gemaakt in een basisschematisering en scenario's, waarbij aan de hand van een kansverdeling de onzekerheidsmarge in deze uitgangspunten is weergegeven. In combinatie met de ondergrondscenario's per dijkvak (HKV) vormen deze hydrologische uitgangspunten de basis voor de berekeningen en beoordelingen. Bij de geohydrologische schematisering is uitgegaan van een nieuwe ondergrondschematisatie waarbij rekening is gehouden met nieuwe ondergrondinformatie.

Het doel van deze notitie behelst het eenduidig vastleggen van de hydrologische scenario's per dijkvak voor de schematisatie van zowel de freatische lijn als het stijghoogteverloop in de zandondergrond voor berekeningen ten behoeve van de binnen- en de buitenwaartse stabiliteit (uitsluitend Balgzanddijk) en de beoordeling van de (asfalt)bekleding in alle tracés.

Achtereenvolgens wordt ingegaan op:

- Een algemene beschrijving van de basisgegevens en uitgangspunten die bij de analyses en het afleiden van de hydrologische uitgangspunten zijn gehanteerd;
- Hydrologische uitgangspunten stabiliteitsberekeningen Balgzanddijk:
 - Schematisering freatische lijn bij MHW (STBI);
 - Schematisering freatische lijn bij val na MHW (STBU);
 - Schematisering stijghoogteverloop bij MHW (STBI) in relatie tot opbarsten;
- Hydrologische uitgangspunten asfaltbekleding alle dijktracés:
 - Schematisering freatische lijn in het buitentalud bij MHW.

Opgemerkt wordt dat de resultaten en analyses betrekking hebben op de huidige configuratie van de dijk en ondergrond. Eventuele aanpassingen aan dit systeem (vervangen bekleding buitentalud, geometrie dijk en/of materialisatie van bepaalde onderdelen van de dijk) kunnen consequenties hebben op het hydrologische systeem en daarmee op de in dit document afgeleide hydrologische uitgangspunten. Deze resultaten zijn dan ook uitsluitend bruikbaar voor de huidige situatie, eventuele consequenties van aanpassingen aan het systeem om deze uitgangspunten dienen dan ook (kwalitatief of kwantitatief) beschouwd te worden bij de ontwerpberekeningen.

2 Basisgegevens en uitgangspunten

Bij het vaststellen van de hydrologische scenario's is gebruik gemaakt van alle relevante informatie zoals vastgelegd in de "Integrale uitgangspuntennotitie" (kenmerk BF9084WAT1810010930). De geanalyseerde meetreeksen uit het onlangs uitgevoerde peilbuisonderzoek vormen de basis voor de hydrologische uitgangspunten.

Daarnaast is gebruik gemaakt van de resultaten van het in 1999 door Fugro uitgevoerde peilbuisonderzoek. Onderstaand is een toelichting opgenomen van de gebruikte meetreeksen, waarbij een korte samenvatting is opgenomen van de visuele interpretatie van de data.

2.1 Peilbuismeetreeksen december 2018 – januari 2019

2.1.1 Algemene beschrijving opzet onderzoek

In totaal zijn op 11 locaties peilbuizen geplaatst conform de onderstaande specificaties:

- Balgzanddijk: 2 raaien ten behoeve van STBI/STBU en asfalt met een meetpunt op het voorland, de buitenberm, kruin en het binnentalud. De peilbuizen op het voorland betreffen ondiepe freatische peilfilters, alle overige peilbuizen zijn met 3 peilfilters uitgerust, waarbij het hoogste filter in bovenste topzandpakket is geplaatst om de freatische waterstand te monitoren. De 2 diepe filters zijn geplaatst in het dieper gelegen watervoerende zandpakket om de stijghoogte te meten. Hierbij is het bovenste filter juist onder de waterremmende laag geplaatst en het diepste filter enkele meters lager;
- Balgzanddijk: 4 locaties zijn peilbuizen op de buitenberm ten behoeve van STBI/STBU en asfalt. Alle peilbuizen zijn uitgerust met drie peilfilters, waarbij de filters zijn geplaatst conform bovenstaande beschrijving;
- Amsteldiepdijk en de Wieringerzeewering: in totaal 5 meetraaien (Raai 7 tot en met 11). Per raai zijn peilbuizen geplaatst op het voorland, de buitenberm en het buitentalud of de kruin. Evenals bij de Balgzanddijk zijn soms meerdere filters per peilbuis geplaatst.

In Figuur 1 en Figuur 2 zijn de locaties van de meetpunten opgenomen en is de een principeschets van een geohydrologische meetraai ter plaatse van de Balgzanddijk getoond.

Het doel van de geohydrologische analyse is het bepalen van de freatische lijn en de stijghoogte in de watervoerende lagen onder maatgevende (hoogwater) omstandigheden en de onzekerheden hierin. Door het gelijktijdig en periodiek meten van de grondwaterstand (freatische lijn), de stijghoogte in de diepere zandlaag en de buitenwaterstand (getijdewerking op de Waddenzee) kan een indruk worden verkregen van de respons van de grondwaterstand en stijghoogte op de (fluctuaties in) de buitenwaterstand.

Gedurende de meetperiode is een tweetal verhogingen van de buitenwaterstand opgetreden, rond 8 en 9 december 2018 en op 8 januari 2019. De responsmetingen van deze perioden zijn gebruikt om de gemeten respons in de stijghoogte te extrapoleren naar MHW condities. Daarnaast is op basis van de niet-stationaire berekening met Plaxflow de freatische lijn bij MHW en bij een val na MHW geschematiseerd.

2.1.2 Onbruikbare tijdreeksen

Een aantal tijdreeksen is niet beschouwd in de analyses, omdat op basis van visuele kenmerken getwijfeld wordt aan de metingen. Het betreft:

- Het ondiepe en middelste peilfilter bij Raai 04. In eerste instantie lijken de metingen betrouwbaar, echter op 6 december 2018 laat filter R04_PB3-2 een plotselinge sprong in de meetreeks zien. Na dit punt lijkt dit filter de freatische lijn te meten in plaats van de stijghoogte. Voor het afleiden van de stijghoogte is daarom op deze raai gebruik gemaakt van het diepe filter: R04_PB3-3;
- Peilfilter R06_PB5-2 laat na 9 januari 2019 een plotselinge sprong in de metingen zien, welke kan worden verklaard doordat de logger op de verkeerde hoogte is terghingehangen na de slugtesten. Na enkele dagen is de logger op de juiste hoogte terug gehangen. De meetreeks na dit tijdstip is niet gebruikt bij de bepaling van de stijghoogte ter plaatse van dit meetpunt. Ook de data voor 6 december 2018 is onbruikbaar door de installatiewijze en is niet beschouwd bij de analyses.

2.1.3 Aanvullende gegevens bodemopbouw

Om de peilbuizen te plaatsen zijn boringen uitgevoerd. De boorbeschrijvingen zijn vergeleken met het geotechnisch lengteprofiel en dwarsprofielen van de Balgzanddijk¹. Hieruit komt naar voren dat de bodemopbouw geen afwijkingen laat zien ten opzichte van de oude gegevens.

2.2 Peilbuismeetreeksen eind februari – april en begin december 1999

2.2.1 Beschrijving metingen

In 1999 heeft een vergelijkbaar peilbuisonderzoek plaats gevonden door Fugro. Hierbij zijn twee meetraaien geplaatst, bij DP6,85 en DP8,85 ter plaatse van de Balgzanddijk. Beide meetpunten liggen halverwege het dijktracé van de Balgzanddijk. Ook in 1999 heeft een verhoging van de buitenwaterstand plaats gevonden. De resultaten van de analyses van de respons op het hoogwater van december 1999 zijn gebruikt bij zowel de opzet van het recente peilbuisonderzoek, als ook bij de interpretatie van de meetresultaten en het afleiden van de hydrologische uitgangspunten.

¹ Respectievelijk rapportage “Hoofdonderzoek fase 10 Balgzanddijk – deel 2: Advies” (bijlage 5), juli 1998 en “Hoofdonderzoek fase 10 Balgzanddijk – deel 2: Advies stijghoogtemeting” (bijlage 1.2 en 1.3), januari 2000.

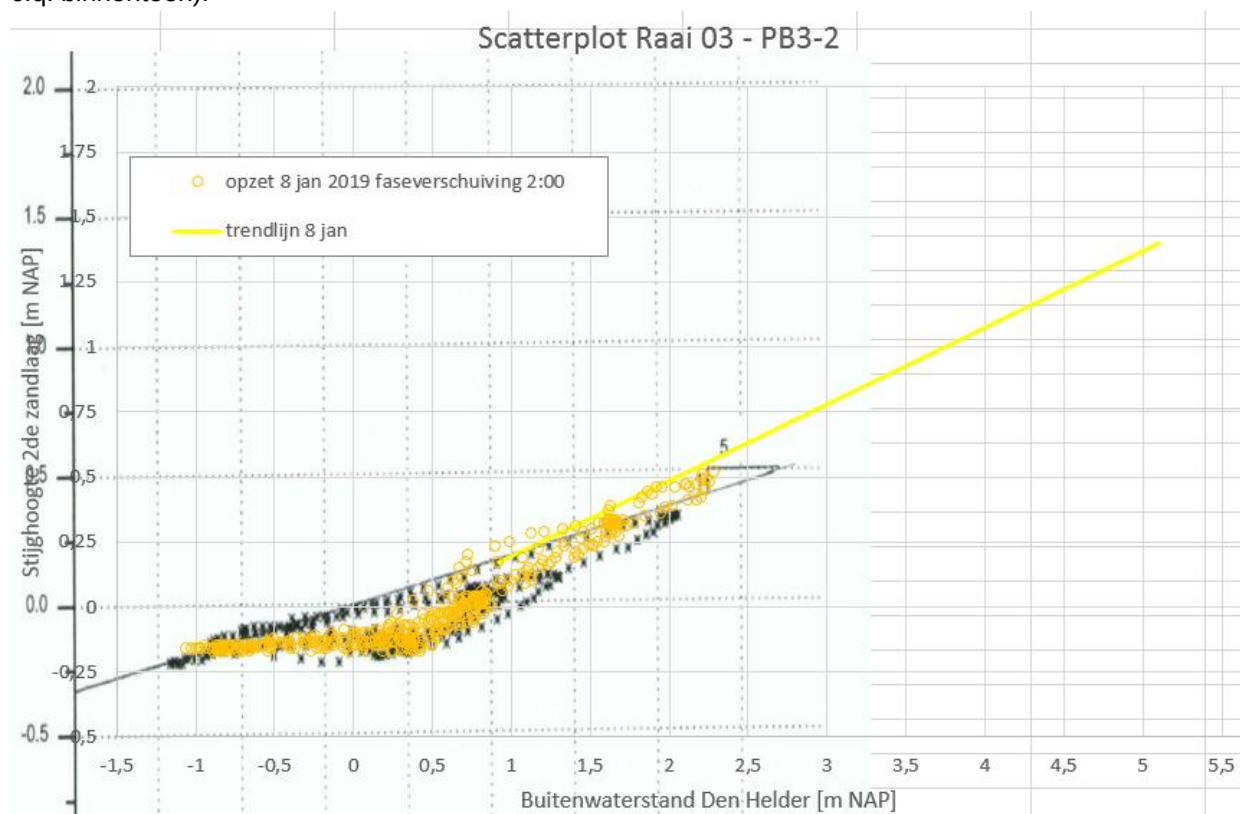
2.2.2 Beoordeling vergelijkbaarheid meetresultaten 1999 en 2018/2019

De piekwaterstand op 4 december 1999 bedroeg NAP +2,12 m². De maximale waterstand tijdens de storm van januari 2019 ligt tussen NAP +2,3 en +2,7 m (N.B. in 2018/2019 is in een groter traject metingen uitgevoerd.). De buitenwaterstand is dus in 2019 iets hoger geweest dan in 1999.

In 1999 zijn twee meetraaien gemeten, deze liggen nabij raai 2 en 3 uit voorliggend onderzoek. De locaties zijn niet volledig vergelijkbaar, omdat er variaties in bodemopbouw, voorlandhoogte etc. zijn. De vergelijking van de meetresultaten is dan ook op hoofdlijnen uitgevoerd, waarbij hoofdzakelijk op trends en algemene overeenkomsten en verschillen gelet is.

Evenals in 2019 is in 1999 geconstateerd dat de freatische lijn nauwelijks reageert op verhoging van de buitenwaterstand. Ook de respons in de zandondergrond is vergelijkbaar in beide onderzoeken, deze reageert wel op veranderingen in de buitenwaterstand, dit is onderstaand nader toegelicht.

In Figuur 3 zijn de scatterplots van meetraai 3 (gele punten, buitenberm 2018/2019) en DP8.850 (zwarte kruisjes - binnenteen, 1999) over elkaar heen geplott. In beide grafieken is te zien dat dat het effect van de verhoging bij een buitenwaterstand van circa NAP +0,5 m begint. De respons is in 2019 (circa 30%) hoger dan in 1999 (20%), dit kan evenwel ook samenhangen met de locaties van de meetpunten (buiten- c.q. binnenteen).

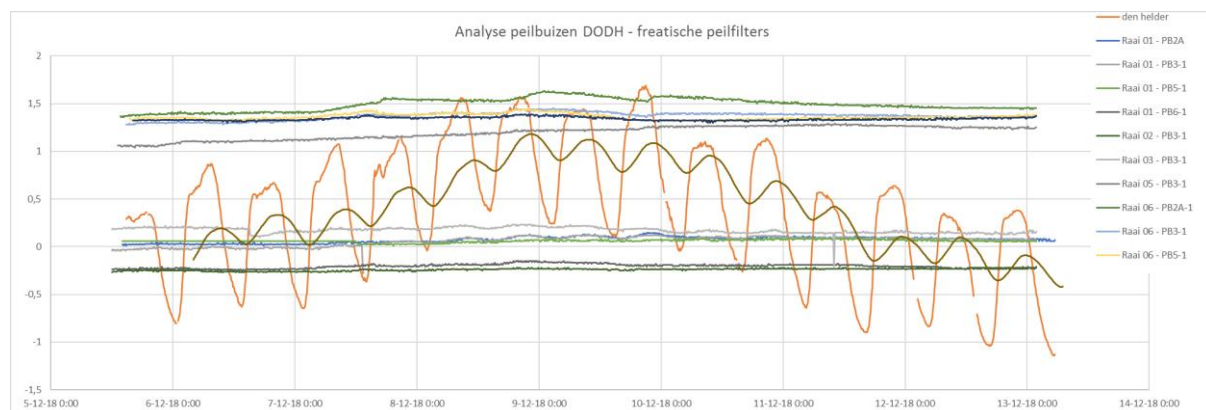


Figuur 3: Overlay scatterplots metingen 1999 en 2018/2018

² Fugro rapportage "Metingen bij stormopzet (dec. 1999) Balgzanddijk DP 6.850 en DP 8.850", december 1999

2.3 Conclusies visuele interpretatie

De freatische waterstand lijkt niet of nauwelijks te reageren op fluctuaties in de buitenwaterstand. Opvallend bij de Balgzanddijk is wel dat er een tweedeling lijkt te bestaan tussen Raai 01 tot en met 04 en Raai 05 en 06. De gemeten freatische lijn ter plaatse van de meest zuidoostelijke meetpunten (R05 en R06) is gemiddeld 1 à 1,5 m hoger dan in de rest van het dijktracé. De gemeten freatische waterstand ter plaatse van deze meetpunten ligt hoger dan het gemiddeld buiten- en binnenwaterpeil. Er lijkt hier sprake te zijn van opbolling. In Figuur 4 is een overzicht van de freatische peilfilters in de Balgzanddijk getoond ten opzichte van de buitenwaterstand (Den Helder).



Figuur 4: Freatische peilfilters Balgzanddijk

De stijghoogte in de watervoerende zandlaag reageert, zij het met enige vertraging en demping, op fluctuaties van de buitenwaterstand. Hierbij valt op dat de amplitude van de metingen in het diepste peilfilter groter is dan in het peilfilter bovenin het onderste zandpakket. Het middelste peilfilter (dus net onder de deklaag) is daarom gebruikt voor het afleiden van de respons, met uitzondering van Raai 04. Hier is peilfilter PB3-2 niet betrouwbaar bevonden (zie 2.1.2) en is filter PB3-3 gebruikt.

Ook in de meetreeksen van het stijghoogteverloop in de zandlaag onder de deklaag lijkt er sprake te zijn van een tweedeling. Hoewel de respons op de buitenwaterstand vergelijkbaar is, is de hoogte van de gemeten stijghoogte in het noordwestelijk deel hoger dan in het zuidoostelijk deel van het tracé. Voor de meetraaien geldt dat ter plaatse van meetraai R01 nauwelijks sprake is van een verhang van buiten- naar binnendijs, terwijl bij meetraai R06 er een groot verhang lijkt te zijn. Dit hangt vermoedelijk samen met het lokaal ontbreken van de waterremmende klei- en veenlagen bij R06, waardoor bij meetraai R06 de invloed van het peil in het Amstelmeer te zien is in de meetreeksen.

In de nabijheid van deze meetreeksen is er sprake van kortsluiting van de watervoerende zandlaag met ofwel het Balgzandkanaal ofwel het Amstelmeer. In het geotechnisch lengteprofiel is te zien dat tussen DP11,9 en DP12,1 kortsluiting mogelijk is.

De overige meetreeksen tonen aan dat een dergelijke kortsluiting niet aan de orde is bij de opgetreden buitenwaterstanden. Dit wil niet zeggen dat onder maatgevende omstandigheden geen kortsluiting op kan treden, bijvoorbeeld door het op grote schaal opbarsten van de kanaalbodem.

3 Hydrologische uitgangspunten stabiliteit (STBI en STBU)

Gezien de opgave voor binnen- en buitenwaartse macrostabiliteit ter plaatse van dijktracé Balgzanddijk, zijn de betreffende hydrologische uitgangspunten ten behoeve van deze berekeningen uitsluitend afgeleid voor de Balgzanddijk

3.1 Schematisering freatische lijn bij MHW

Uit de peilbuisanalyses blijkt dat de freatische peilfilters niet of nauwelijks reageren op fluctuaties in de buitenwaterstand (zie Figuur 4). Deels hangt dit samen met de hoogteligging van het intredepunt op het buitentalud, waardoor het buitenwater pas vanaf een bepaalde hoogte infiltreert in het dijklichaam. Zowel met het hoogwater van december 1999 als januari 2019 is de buitenwaterstand hoger geweest van de onderzijde van de asfaltbekleding, waarbij het infiltratiepunt overschreden is.

De meetreeksen zijn daarom geschikt voor de modellering van de freatische lijn tot een maximale waterstand, al dan niet in combinatie met golfoploop, waarbij infiltratie boven de asfaltbekleding kan plaatsvinden. Voor de situatie waarbij de buitenwaterstand boven dit niveau komt, zijn scenario's opgesteld.

3.2 Scenario's freatische lijn en onzekerheden

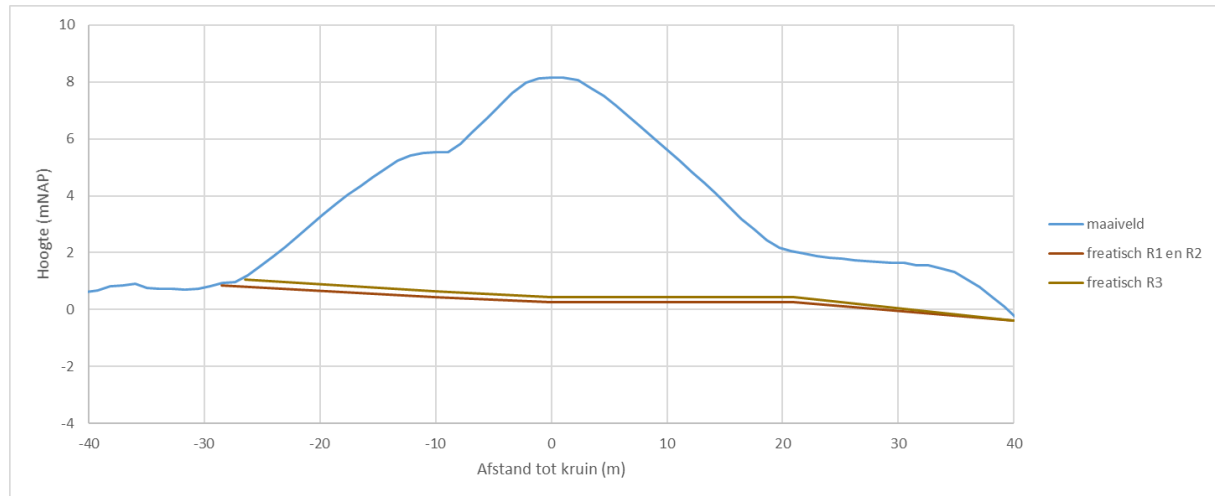
Uit de freatische peilbuismetingen en de hierop uitgevoerde analyses blijkt dat de freatische lijn bij MHW 'gedifferentieerd kan worden naar twee componenten:

1. Een basisniveau van de freatische lijn onder dagelijkse condities dat afhankelijk is van de locatie. Dit is gebaseerd op de peilbuismetingen, waarin een verhang te zien is tussen raai 1 en raai 6. Het verhang is niet geheel lineair, maar vertoont wel een eenduidige trend;
2. Een opzet behorend bij MHW condities waarin onderscheid is gemaakt in twee hydrologische vakken. Dit onderscheid is gebaseerd op het gedrag bij het gemeten hoogwater, raai 1 tot en met 3 reageren op een andere wijze dan raai 4 tot en met 6.

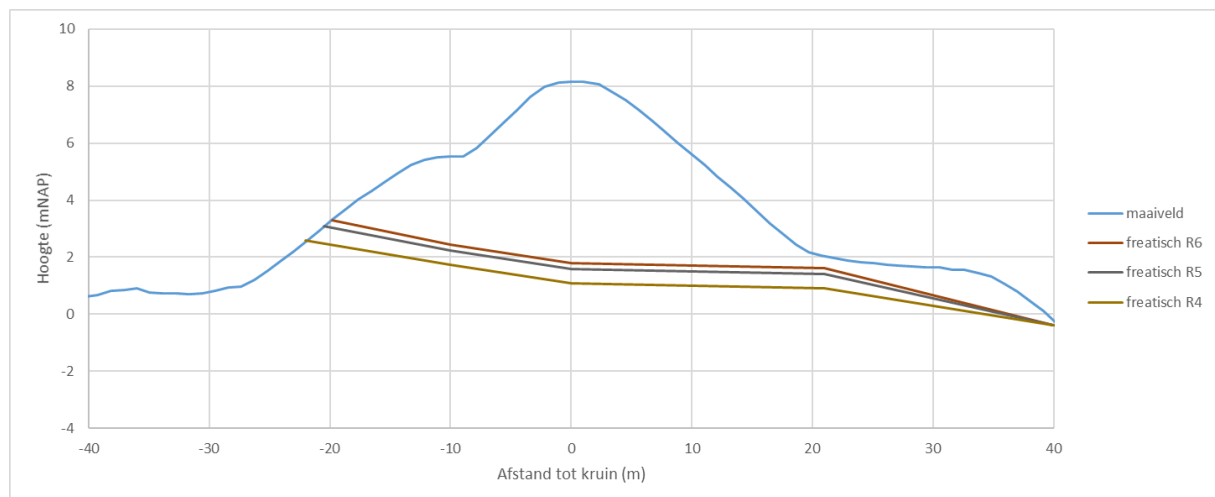
Op basis van het analyserapport van de freatische lijn is de basisschematisering per raai opgesteld.

Hierbij is de freatische lijn ter plaatse van het buitentalud afgeleid uit tabel 3.4 van

BF9084WATRP1902080939. Voor het verloop van de freatische lijn door de dijk (ter plaatse van kruin en binnentalud) is gebruik gemaakt van het tijdsverloop zoals met Plaxflow is vastgesteld voor Raai 1 en 6. Omdat hierin een faseverschuiving te zien is, valt het hoogste punt van de freatische lijn niet op elk punt (buitentalud, kruin en binnentalud) op hetzelfde tijdstip. Gekozen is om de omhullende op te stellen ten behoeve van de freatische lijn onder MHW condities. De basisschematisering is per raai opgenomen in onderstaande figuren.



Figuur 5: Basisschematisering freatische lijn Raai 1 t/m 3



Figuur 6: Basisschematisering freatische lijn Raai 4 t/m 6

Twee onzekerheden zijn geconstateerd met betrekking tot deze basisschematisering van de freatische lijn bij MHW:

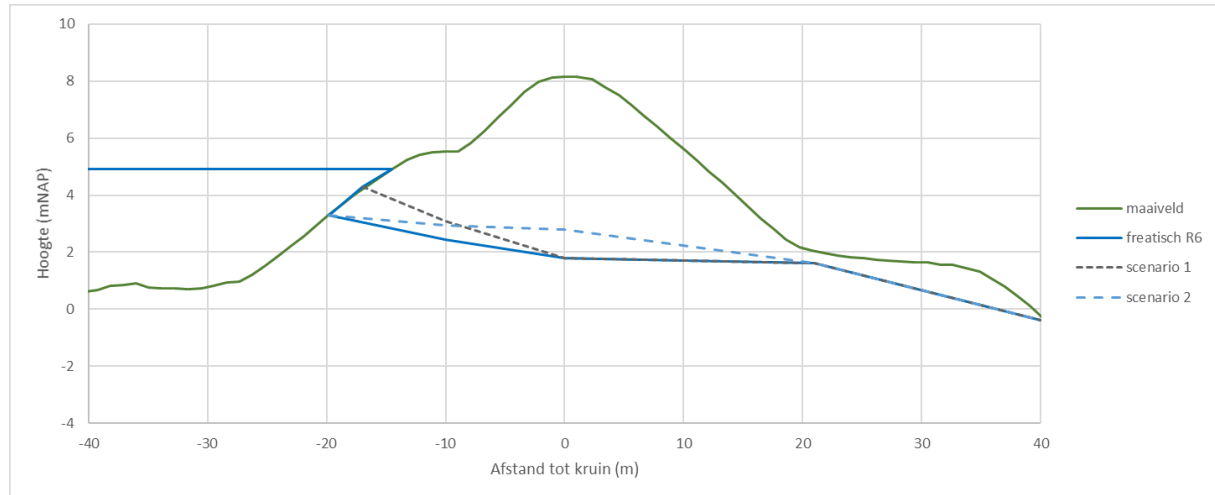
- De geringe respons op het buitenwater hangt hoogstwaarschijnlijk samen met een grote intredevaerstand in het voorland. Onzeker is in hoeverre dit voorland in stand blijft onder MHW condities. Door erosie van het voorland is het mogelijk dat weerstandsbiedende wadplaten die momenteel aanwezig zijn voor de teen van de dijk (gedeeltelijk) eroderen, waardoor het intredepunt dicht bij de buitenteen komt te liggen (scenario 1);
- Bij golfoploop boven de bovenzijde van de asfaltbekleding vindt infiltratie plaats, waardoor de freatische lijn in de dijk verder stijgt dan op basis van de meetreeksen is te voorspellen (scenario 2).

Onderstaand is per onzekerheid aangegeven welk scenario hiervoor is afgeleid, in combinatie met een kans van optreden.

Scenario 1: Opbolling buitentalud - Freatische waterstand ter plaatse van het buitentalud +1,0 m, schematisering aan de binnenteen ongewijzigd. Dit scenario heeft een kans van optreden <10%.

Scenario 2: Opbolling kruin - Freatische waterstand ter plaatse van de kruin +1,0 m, schematisering aan de buiten- en binnenteen ongewijzigd. Dit scenario heeft een kans van optreden van <10%.

Beide scenario's zijn ter illustratie opgenomen in Figuur 7.

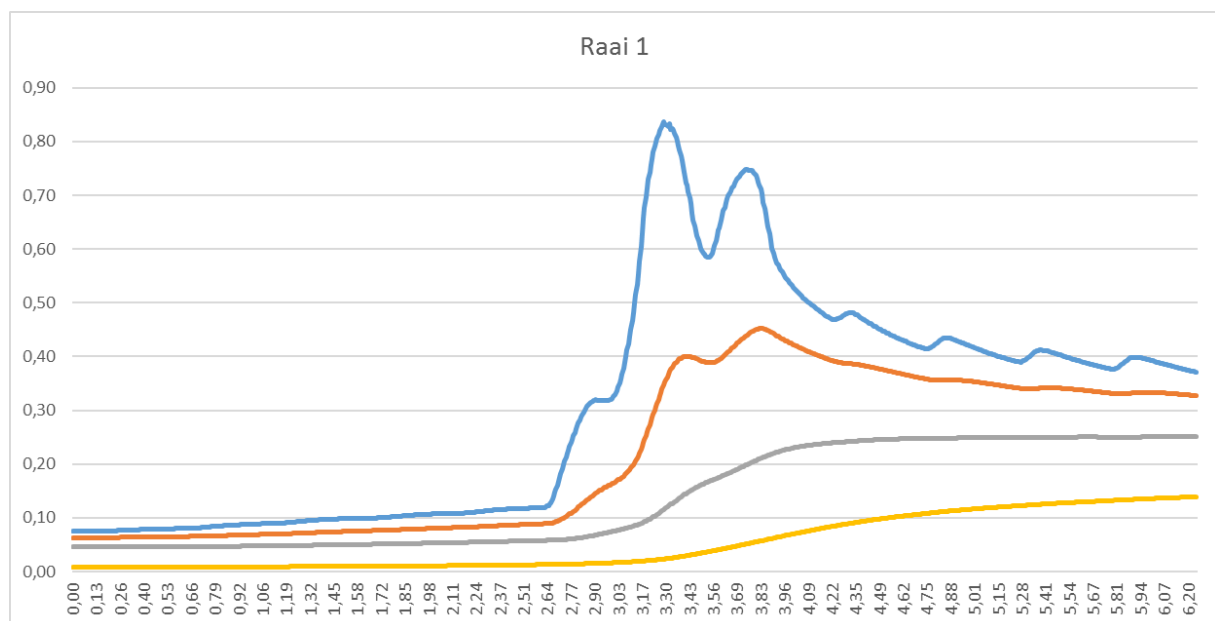


Figuur 7: Scenario's freatische lijn

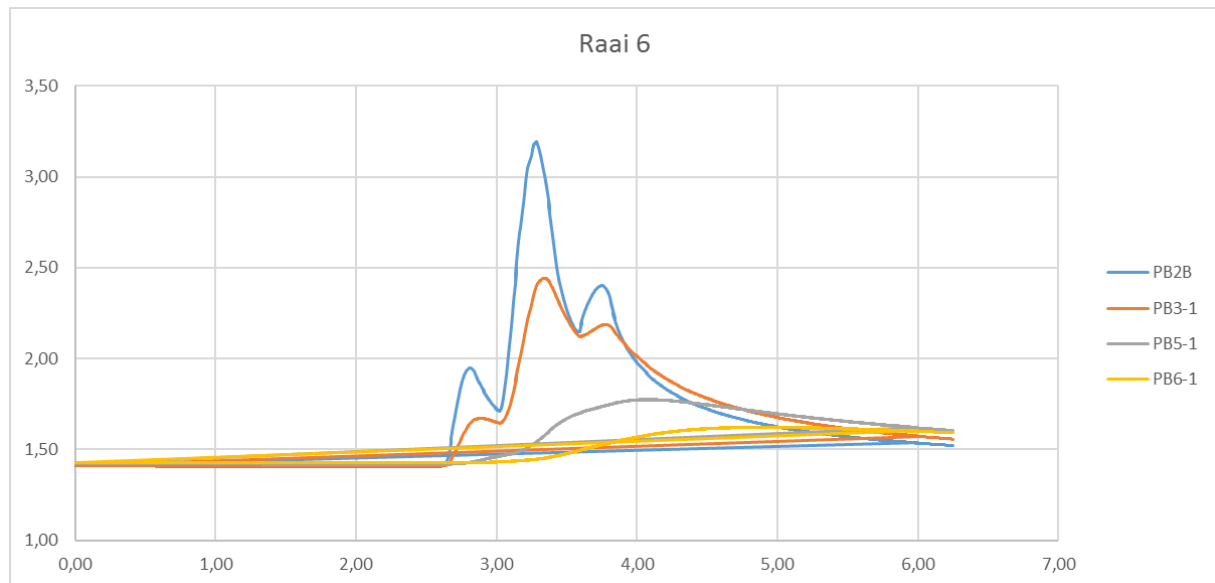
3.3 Schematisering freatische lijn val na MHW

Voor de schematisering van de freatische lijn bij een val na MHW zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- De te schematiseren situatie betref de val van MHW naar springtij laag (circa NAP -0,8 m). Er is op basis van de waterstandsverlooptlijn van uitgegaan dat deze val in circa 24 uur op treedt, na het optreden van MHW;
- De freatische lijn bij MHW vormt het vertrekpunt bij de val. Op basis van de tijdverlooptlijnen uit Plaxflow (opgenomen in onderstaande grafieken), is de verlaging van de freatische waterstand na 24 uur afgeleid.



Figuur 8: Tijdsverloop peilfilters R1 buitentalud (blauw), buitenberm (oranje), kruin (grijs) en binnenberm (geel)



Figuur 9: Tijdsverloop peilfilters R6 buitentalud (blauw), buitenberm (oranje), kruin (grijs) en binnenberm (geel)

Op basis van deze grafieken wordt bij val na MHW de volgende schematisering van de freatische lijn voorgesteld:

- Raai 1 tot en met 3: De freatische lijn in de buitenteen (oranje lijn, PB3-1) vertoont nauwelijks daling nadat de hoogwatergolf voorbij is. Voor deze raaien wordt de freatische lijn bij MHW aangehouden;
- Raai 4 tot en met 6: Ter plaatse van de buitenteen (oranje lijn, PB3-1) is een verlaging van 0,5 m berekend met Plaxflow in 24 uur na MHW. Deze verlaging mag worden meegenomen ter plaatse van het buitentalud. De overige meetpunten (kruin en binnentalud) vertonen een dergelijke verlaging niet, op deze punten blijft de freatische lijn geschematiseerd zoals bepaald voor de situatie MHW.

De scenario's zoals bepaald voor de freatische lijn bij MHW zijn ook van toepassing op de val na MHW.

3.4 Schematisering stijghoogte

Voor de schematisering van de stijghoogte is een onderverdeling gemaakt in twee hydrologische dijkvakken:

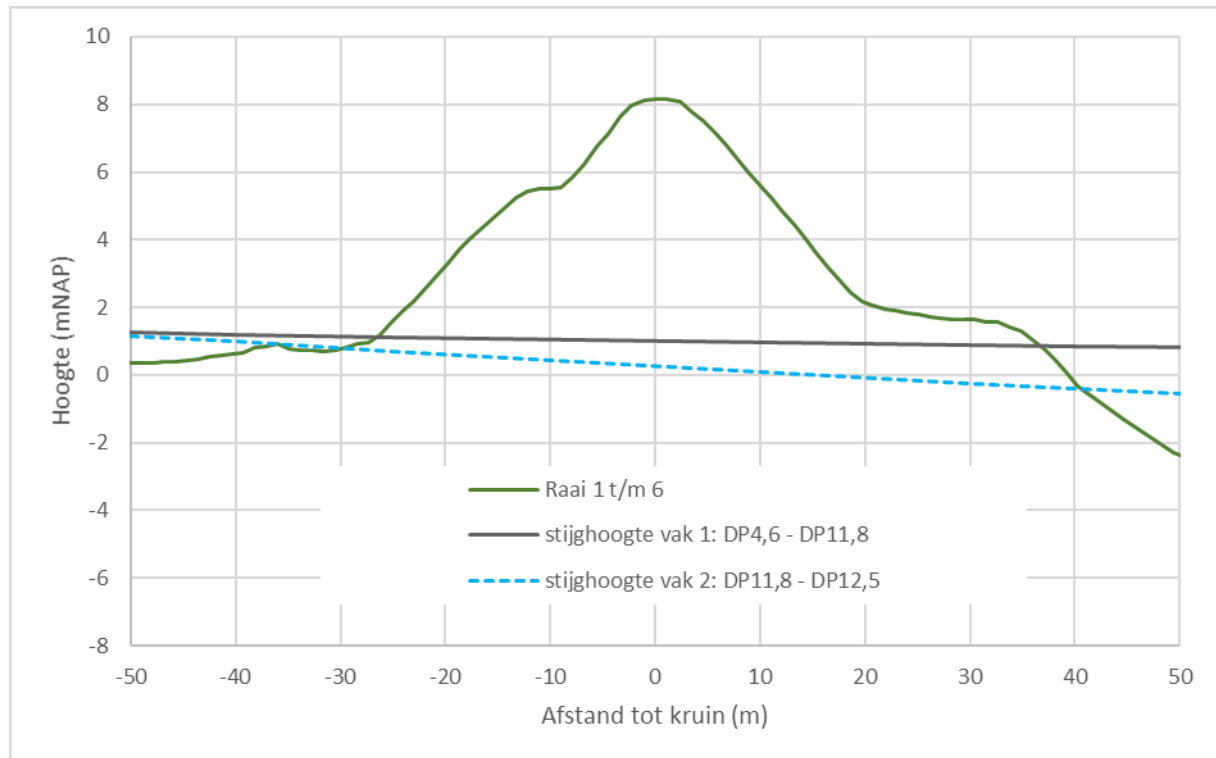
- Stijghoogte vak 1 - DP4,6 tot DP11,8: geen kortsluiting van watervoerend zandpakket met kanaalbodem;
- Stijghoogte vak 2 - DP11,8 tot DP12,5: kortsluiting met kanaalbodem door lokale insnijding.

Aan de hand van de hysteresis grafieken, en de correlaties tussen buitenwater en stijghoogtemeetreeksen worden voor de hydrologische dijkvakken de volgende basisscenario's opgesteld:

Vak 1: Stijghoogte ter plaatse van de binnenberm bij MHW NAP +1,1 m (respons 25 à 30%). Het effect van opbarsten op de stijghoogtelijn wordt uitsluitend in rekening gebracht in de opdrijfzone (grenspotentiaal), de stijghoogtelijn verloopt vrijwel horizontaal vanaf de buitenteen naar NAP +0,9 m ter plaatse van de binnenteen;

Vak 2: Stijghoogte ter plaatse van de binnenberm bij MHW NAP -0,24 m (respons 5 à 15%). De stijghoogte aan de buitenteen bedraagt bij MWH NAP +0,7 m, waarbij het verloop tussen beide punten lineair wordt verondersteld.

De schematisering van de stijghoogte voor vak 1 en vak 2 is opgenomen in Figuur 10.



Figuur 10: Schematisering stijghoogte vak 1 en 2

Bij vak 1 wordt opgemerkt dat er een nader onderscheid gemaakt zou kunnen worden tussen R01 tot en met R03 en R04 + R05. Het verschil is gering en bedraagt circa 0,5 m in stijghoogte aan de binnenteen bij HMW condities. Wanneer uit de stabiliteitsberekeningen blijkt dat dit een groot verschil maakt, zal vak 1 nader onderverdeeld worden in vak 1a en 1b.

3.5 Scenario's stijghoogte en onzekerheden

Een grote onzekerheid bij de schematisering van vak 1 heeft betrekking op de stijghoogte bij grootschalig opbarsten van de kanaalbodem. Omdat dit een gunstig effect zal hebben op het verloop van de stijghoogte, is dit niet als scenario onderscheiden voor de hoogte van de stijghoogtelijn. In de volgende paragraaf wordt nader ingegaan op onzekerheden met betrekking tot opbarsten en de schematisering van de sterkte van grondlagen in de opbarstzone.

De grootste onzekerheid bij het afleiden van de stijghoogte hangt samen met de interpretatie van de metingen (faseverschuiving en demping) en de extrapolatie naar MHW. Voor onzekerheden in de extrapolatie wordt een scenario opgesteld.

Scenario 1: Stijghoogte ter plaatse van de binnenteen 0,5 m hoger dan op basis van interpretatie en extrapolatie is vastgesteld om rekening te houden met onzekerheden. Dit scenario heeft een kans van optreden van <10%.

3.6 Scenario's opbarsten en onzekerheden

Aan de hand van de verschillende scenario's voor de stijghoogte, worden opbarstberekeringen uitgevoerd op basis waarvan de scenario's voor sterkte in de opbarstzone worden afgeleid. Dit is een iteratief proces tussen de uitgangspunten en scenario's voor de schematisering met betrekking tot de stabiliteitsberekeringen (HKV) en de hydrologische schematisering (RHDHV).

4 Hydrologische uitgangspunten asfaltbekleding

4.1 Schematisering freatische lijn Balgzanddijk

Voor de beoordeling van het asfalt op de Balgzanddijk kan gebruik worden gemaakt van de schematisering voor macrostabiliteit bij MHW (zie 3.2).

4.2 Schematisering freatische lijn Amsteldiepdijk en Wieringerzeewering

De hoogte van de freatische lijn is afgeleid uit de hydrologische analyses (BF9084WATRP1902080939), waarbij de gemeten waarden zijn gefit met behulp van Plaxflow en vervolgens geëxtrapoleerd naar MHW. Dit is gedaan voor alle meetpunten binnen een dwarsprofiel. Binnenwaarts is een logisch drainagepunt gekozen. Dit punt wordt minder relevant geacht, gezien de toepassing voor de beoordeling van de asfaltbekleding. Hierbij is de hoogst denkbare waterstand ter plaatse van het buitentalud maatgevend. Vanzelfsprekend kunnen de meetpunten (bijvoorbeeld ter plaatse van de kruin) wel beïnvloedt worden door het drainagepunt. Dit is per dwarsprofiel toegelicht indien noodzakelijk.

De freatische lijn met bijbehorende scenario's is per dwarsprofiel opgesteld. Voor de scenario's is gekozen om in eerste instantie dezelfde scenario's aan te houden welke voor de Balgzanddijk zijn aangehouden.

Scenario 1: Freatische waterstand in het buitentalud +1,0 m ten gevolge van grotere infiltratie aan de buitenteen, schematisering aan de binnenteen ongewijzigd. Dit scenario heeft een kans van optreden <10%.

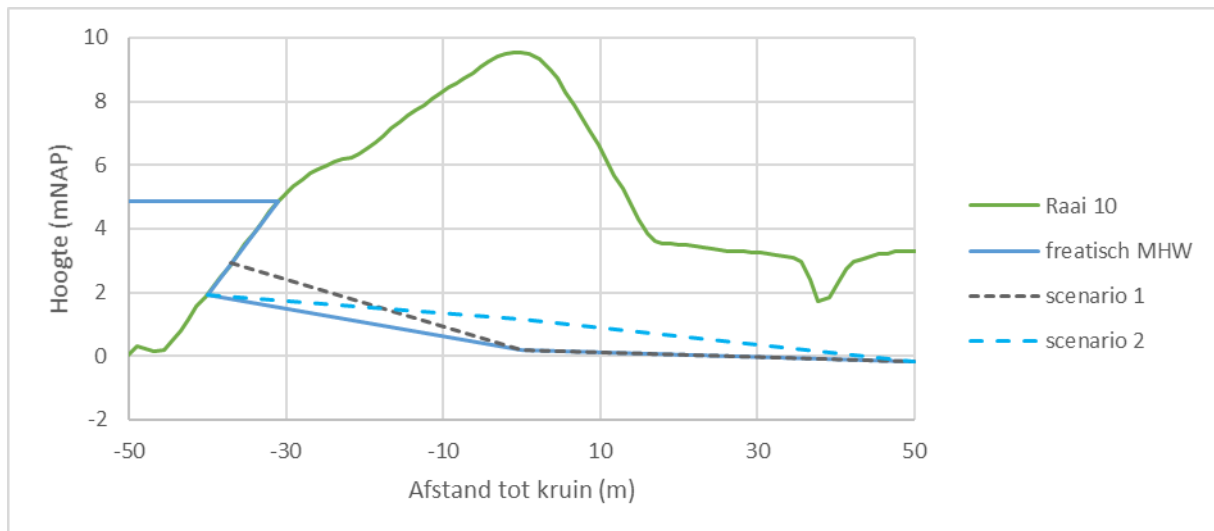
Scenario 2: Freatische waterstand ter plaatse van de kruin +1,0 m ten gevolge van infiltratie bij golfoploop boven het niveau van het asfalt, schematisering aan de buiten- en binnenteen ongewijzigd. Dit scenario heeft een kans van optreden van <10%.

Per dwarsprofiel levert dit onderstaande schematisering op.

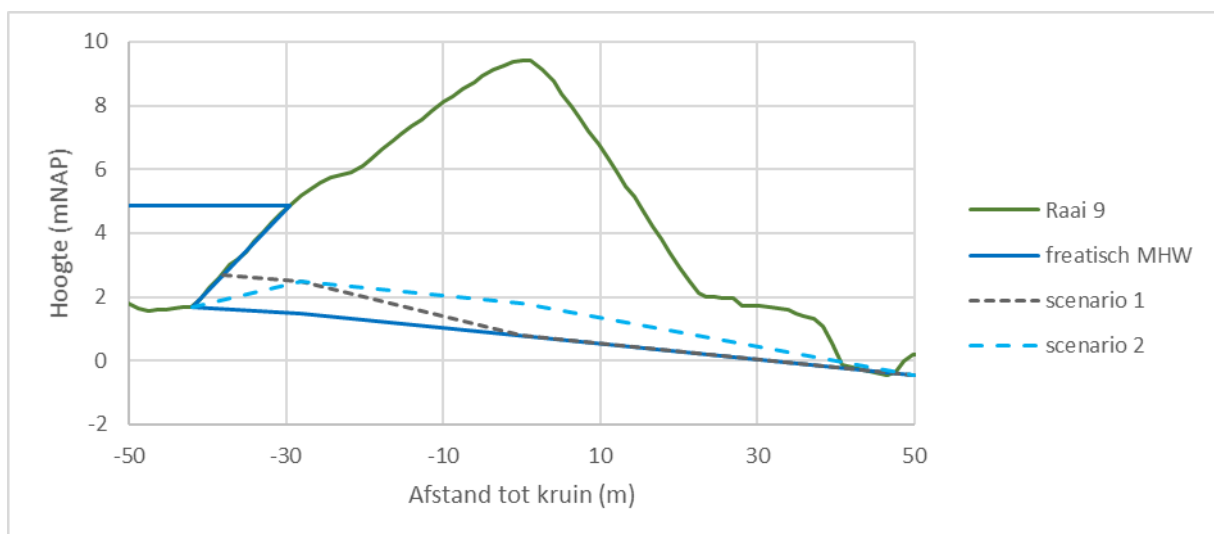
Raai 8, 9 en 10 geven een zeer vergelijkbare schematisering van de freatische lijn. Ook het grondonderzoek geeft in grote lijnen hetzelfde beeld. Overwogen kan worden om deze profielen samen te voegen en hiervoor de hoogste freatische lijn te gebruiken.

Raai 7 laat een afwijkend verloop van de freatische lijn zijn ten opzichte van voorgaande profielen. In het grondonderzoek is te zien dat ter plaatse van de kruin van de dijk op circa NAP +3,0 m een oude bekleding aanwezig is. Mogelijk kan het freatisch water dat bij MHW in de dijk infiltreert hier opgesloten raken tussen de nieuwe buitenbekleding en de oude bekleding. Hiermee is rekening gehouden bij de scenario's. Verder is er van uitgegaan dat dit "bakje" bij circa NAP +3,0 m overloopt (draineert). Daarnaast is de hoogste freatische lijn begrensd op MHW. Hieruit blijkt dat er weinig verschil is tussen

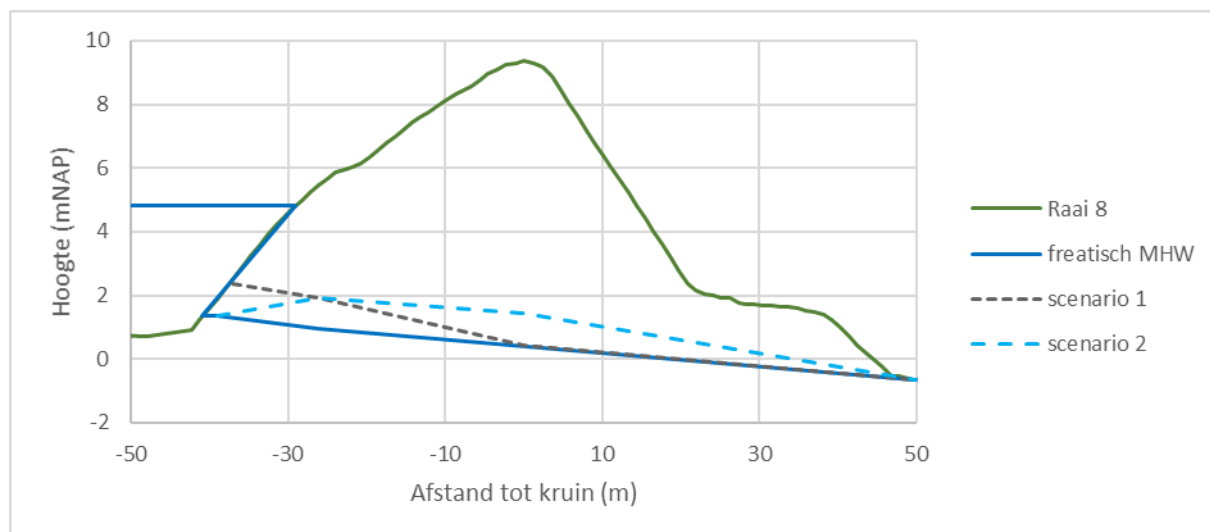
scenario 1 en 2. Overwogen kan worden om hier uitsluitend scenario 1 te hanteren, met een kans van optreden van 10% met als overweging dat het een vrij conservatieve schematisering is.



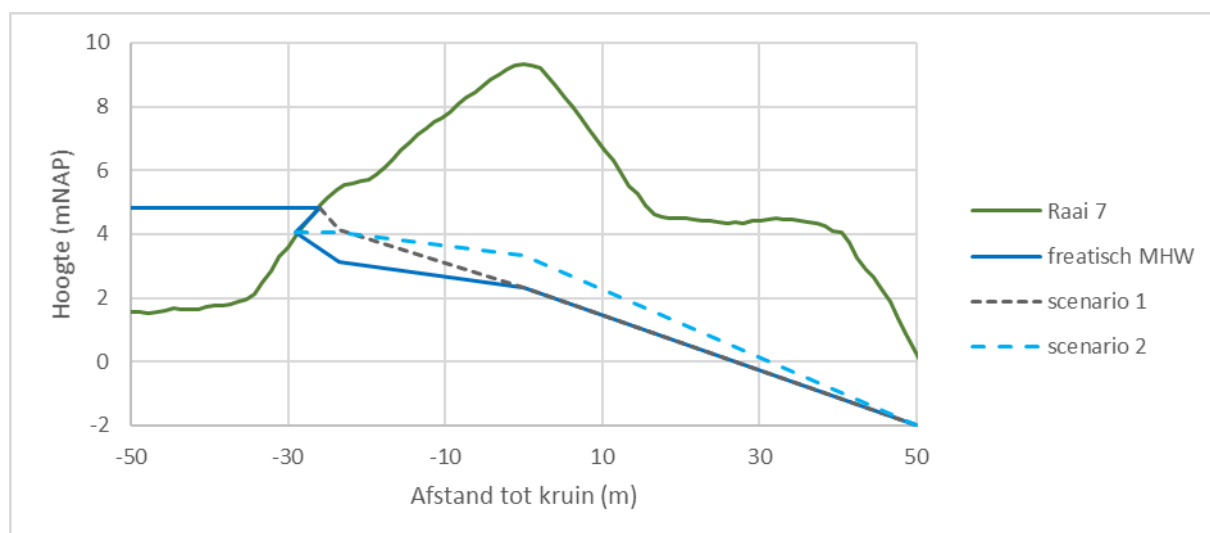
Figuur 11: Scenario's freatische lijn raai 10



Figuur 12: Scenario's freatische lijn raai 9



Figuur 13: Scenario's freatische lijn raai 8



Figuur 14: Scenario's freatische lijn raai 7

RAPPORT

Geohydrologie Dijkversterking Den Oever-Den Helder

Berekening stijghoogte bij waterstand bij norm (2073)

Klant: Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier

Referentie: BF9084WATRP1904111716

Status: 2.0/Finale versie

Datum: 11 maart 2019

HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

Contactweg 47
1014 AN AMSTERDAM
Water
Trade register number: 56515154

+31 88 348 95 00 **T**
info@rhdhv.com **E**
royalhaskoningdhv.com **W**

Titel document: Geohydrologie Dijkversterking Den Oever-Den Helder

Ondertitel: DODH - Stijghoogte waterstand bij norm (2073)
Referentie: BF9084WATRP1904111716
Status: 2.0/Finale versie
Datum: 11 maart 2019
Projectnaam: DODH Dijkversterking
Projectnummer: BF9084
Auteur(s): Jasper Jansen en Jan Jaap Pape

Opgesteld door: Jan Jaap Pape

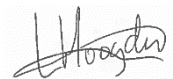
Gecontroleerd door: Jasper Jansen

Datum/Initialen: 4-3-2019 / JJ



Goedgekeurd door: Lars Hoogduin

Datum/Initialen: 4-3-2019 / LH



Classificatie

Projectgerelateerd



Disclaimer

No part of these specifications/printed matter may be reproduced and/or published by print, photocopy, microfilm or by any other means, without the prior written permission of HaskoningDHV Nederland B.V.; nor may they be used, without such permission, for any purposes other than that for which they were produced. HaskoningDHV Nederland B.V. accepts no responsibility or liability for these specifications/printed matter to any party other than the persons by whom it was commissioned and as concluded under that Appointment. The integrated QHSE management system of HaskoningDHV Nederland B.V. has been certified in accordance with ISO 9001:2015, ISO 14001:2015 and OHSAS 18001:2007.

Inhoud

1	Inleiding	1
1.1	Algemeen	1
1.2	Leeswijzer	2
2	Lokale en regionale geohydrologie	3
3	Methodiek en uitgangspunten	7
3.1	Buitenwaterstand	7
3.2	Meetpunten stijghoogte	7
3.3	Responsecurves	8
3.4	Berekening stijghoogte bij waterstand bij norm (2073)	10
3.5	Verklaring aan de hand van geohydrologische opbouw	12
4	Resultaten	13
4.1	Buitenwaterstanden in meetperiode	13
4.2	Gemeten stijghoogte in meetperiode	15
4.3	Stijghoogte response in meetperiode	17
4.4	Berekende stijghoogte bij waterstand bij norm (2073)	17
4.5	Ruimtelijk beeld	19
4.6	Verhang van de stijghoogte over de dijk	19
4.7	Vergelijking met eerdere onderzoeken	21
4.8	Verklaring op basis van geohydrologische profielen	21
4.9	Inschatting betrouwbaarheid	22
5	Conclusies	24
5.1	Overzicht resultaten	24
5.2	Inschatting betrouwbaarheid	25

Tabellen

Tabel 1	Overzicht meetpunten stijghoogte	7
Tabel 2	Overzicht van berekende stijghoogte bij waterstand bij norm (2073) 2070 per meetpunt / filter.	18
Tabel 3	Overzicht respons percentages bij filters raai 1 t/m 6 (Balgzanddijk)	21
Tabel 4	Overzicht van berekende stijghoogte bij waterstand bij norm (2073) 2070 per meetpunt / filter.	24

Figuren

Figuur 1: Locatie Raaien voor bepaling stijghoogte bij waterstand bij norm (2073).	1
Figuur 2: Lengteprofiel REGIS II.2 (bron: Dinoloket, 2018)	3
Figuur 3: Lengteprofiel GeoTOP (bron: Dinoloket, 2018)	4
Figuur 4: Lengteprofiel GeoTOP (bron: Dinoloket, 2018)	4
Figuur 5: Geologische kaart (bron: RGD, 1977)	4
Figuur 6: Typisch boorprofiel voorland Balgzanddijk	5
Figuur 7: Hoogtekaart (bron AHN3)	5
Figuur 8: Isohyphenkaart kop van Noord-Holland	6
Figuur 9 Voorbeeld van een relatief traag reagerend meetpunt waarbij grote lussen te zien zijn.	9
Figuur 10 Voorbeeld van een stijghoogte meetreeks waarbij een 'baseline' te zien is.	10
Figuur 11 Waterstandsverloop storm januari 2019.	11
Figuur 12 Waterstandsverloop bij norm (2073)	12
Figuur 13 Meetreeksen buitenwaterstand Den Helder en Den Oever	13
Figuur 14 Detail van meetreeksen buitenwaterstand Den Helder en Den Oever bij hoogwater begin januari 2019	14
Figuur 15: Gemeten stijghoogtes diepe filters voor de hoogwatergolf begin januari 2019.	15
Figuur 16 Gemeten stijghoogte in de middeldiepe filters en de gemeten buitenwaterstand bij Den Helder en Den Oever	16
Figuur 17 Gemeten stijghoogte in de middeldiepe filters en de gemeten buitenwaterstand bij Den Helder en Den Oever bij hoogwater begin januari 2019.	16
Figuur 18: spreidingsdiagram gemeten stijghoogte en geïnterpoleerde oppervlaktewaterstand voor Raai 01, peilbuis 3, diepe filter.	17
Figuur 19 Berekende stijghoogte bij waterstand bij norm (2073) diepe filters (D, rood) en middeldiepe filters (M, blauw)	19
Figuur 20 Doorsnede GeoTop over Amstelmeer met indicatie van de meest waarschijnlijke lithoklasse.	22

Bijlagen

Spreidingsdiagrammen per filter

- Raai 01
- Raai 02
- Raai 03
- Raai 04
- Raai 05
- Raai 06



Raai 07

Raai 08

Raai 09

Raai 10

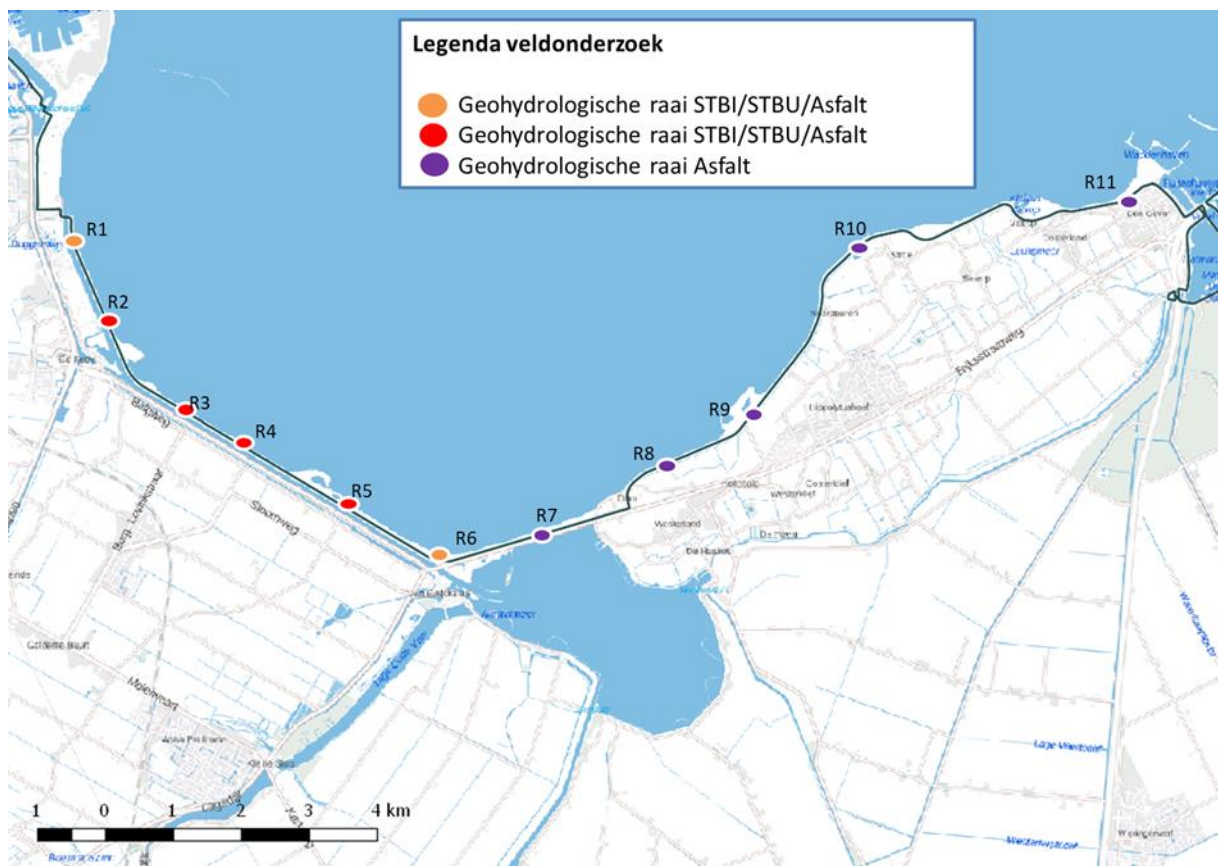
Raai 11

1 Inleiding

1.1 Algemeen

Voor het dijktraject Den Oever-Den Helder is de stijghoogte bij maatgevend hoogwater bepaald op een aantal locaties (zie onderstaand figuur). Op deze locaties zijn een of meerdere peilbuizen/filters geplaatst waar de stijghoogte gedurende enkele weken is gemeten (eind december 2018 t/m eind januari 2019). Op basis van de gemeten stijghoogte in deze peilbuizen en de buitenwaterstand in de Waddenzee is bepaald wat de respons is van de stijghoogte bij fluctuaties in de buitenwaterstand. Op basis van een extrapolatie van deze respons onder normale omstandigheden is een schatting gedaan van de stijghoogte bij maatgevend hoogwater (waterstand bij norm (2073)) op de Waddenzee. Bij raai 1 en raai 6 zijn meerdere filters geplaatst op een tracé over de dijk. Op basis van deze metingen is bepaald hoe groot het verhang van de stijghoogte is ter plaatse van de dijk.

Deze rapportage beschrijft de metingen en de werkwijze om deze te verwerken tot responscurves en uiteindelijk de schatting van de stijghoogte bij waterstand bij norm (2073). Daarbij is ook een vergelijking gemaakt met de resultaten van een eerder door Fugro uitgevoerd onderzoek (Fugro, 1999)¹



Figuur 1: Locatie Raaien voor bepaling stijghoogte bij waterstand bij norm (2073).

¹ METINGEN BIJ STORMOPZET (DEC. 1999) BALGZANDDIJK OP 6.850 EN OP 8.850

1.2 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt kort ingegaan op de lokale geohydrologie en het stijghoogtepatroon onder gemiddelde omstandigheden. Hoofdstuk 3 beschrijft de gehanteerde werkwijze en uitgangspunten voor dit onderzoek. In hoofdstuk 4 worden de meetreeksen en de afgeleide responsecurves besproken. Hoofdstuk 5 geeft een overzicht van de berekende stijghoogte bij waterstand bij norm (2073) en een vergelijking met eerder onderzoek. Tenslotte worden in hoofdstuk 6 de conclusies weergegeven.

2 Lokale en regionale geohydrologie

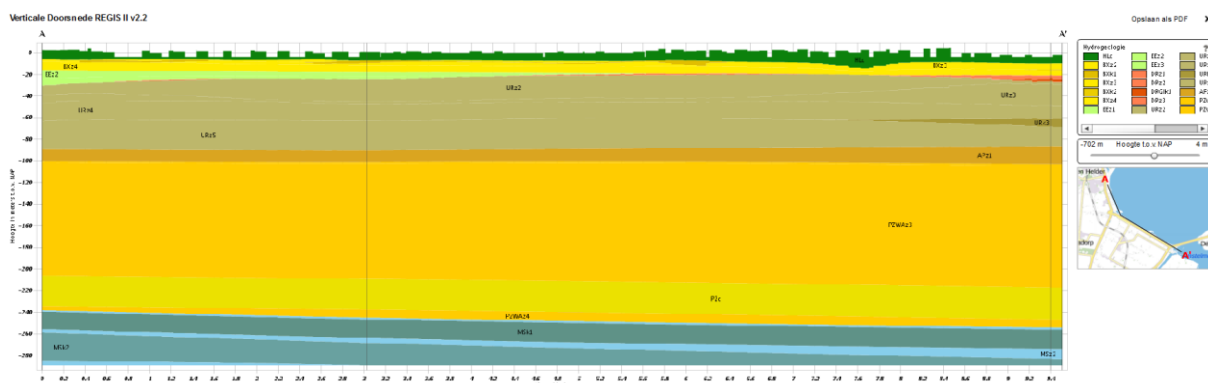
Dit hoofdstuk geeft op hoofdlijnen een beschrijving van de lokale en regionale geohydrologie. Op basis van het uitgevoerde bodemonderzoek (boringen) en de metingen in geplaatste peilbuizen is voor het huidige onderzoek gedetailleerdere informatie verwerkt in de gebruikte modellen. Deze informatie past goed bij onderstaande algemene beschrijving.

In Figuur 2 is een lengteprofiel opgenomen van de ondergrond uit REGIS II.2 (bron: Dinoloket², 2018). In Figuur 3 en Figuur 4 staat een lengteprofiel van de ondergrond uit GeoTOP (bron: Dinoloket, 2018). In Figuur 5 is de geologische kaart van het gebied weergegeven (bron: Rijks Geologische Dienst, 1977).

Vanaf maaiveld is de laagopbouw als volgt:

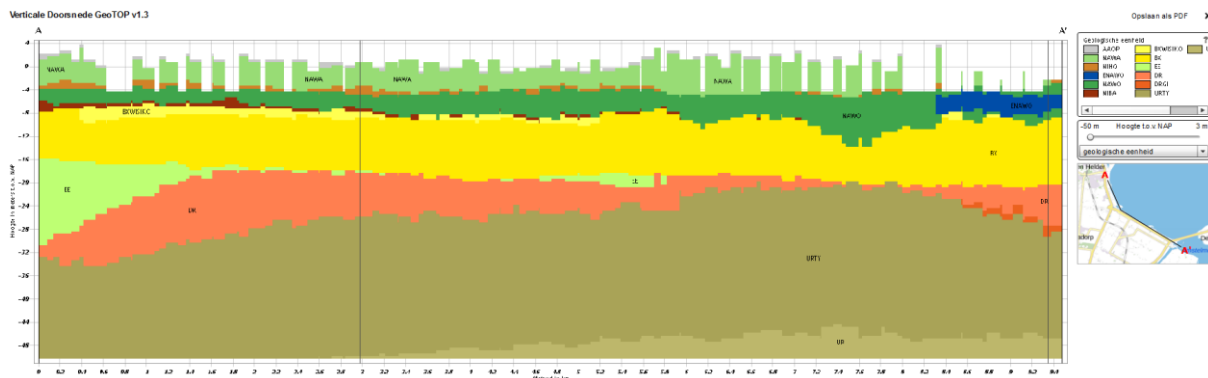
- De bovenste paar meter lokaal een Antropogeen laag (door mensen aangebracht);
- Daaronder tot circa NAP – 8 m Holocene. Deze laag vormt de deklaag. In het Holocene ligt van boven naar onder de:
 - Formatie van Naaldwijk (zand);
 - Formatie van Nieuwkoop (Hollandveen);
 - Formatie van Naaldwijk (kleiig zand). Dit is de Wadzandlaag;
 - Formatie van Nieuwkoop (Basisveen);
- Daaronder tot > NAP - 700 m Pleistocene zanden en kleien. Dit pakket vormt een geheel van meerdere watervoerende en scheidende lagen. Voor de studie WAB zijn alleen het eerste watervoerende pakket en de eerste scheidende laag relevant. Het eerste watervoerende pakket loopt tot circa NAP – 210 m en wordt aan de onderzijde begrensd door de Formatie 'Peize complex' (PZc). Het eerste watervoerende pakket bestaat van boven naar onder uit de Formatie van Bortel, Eem Formatie, Formatie van Urk, Formatie van Appelscha en Formatie van Peize-Waalre.

In Figuur 5 is te zien dat de gehele ondergrond onder de Balgzanddijk behoort tot geologische eenheid A.3: Afzettingen van Duinkerke III op Hollandveen op afzettingen van Calais. Aan de noord- en zuidzijde van de dijk kunnen de Holocene afzettingen ontbreken. De top van het Pleistoceen bevindt zich onder de Balgzanddijk op circa NAP -8 m. In het voorland kan de top van het Pleistoceen lokaal geërodeerd zijn.

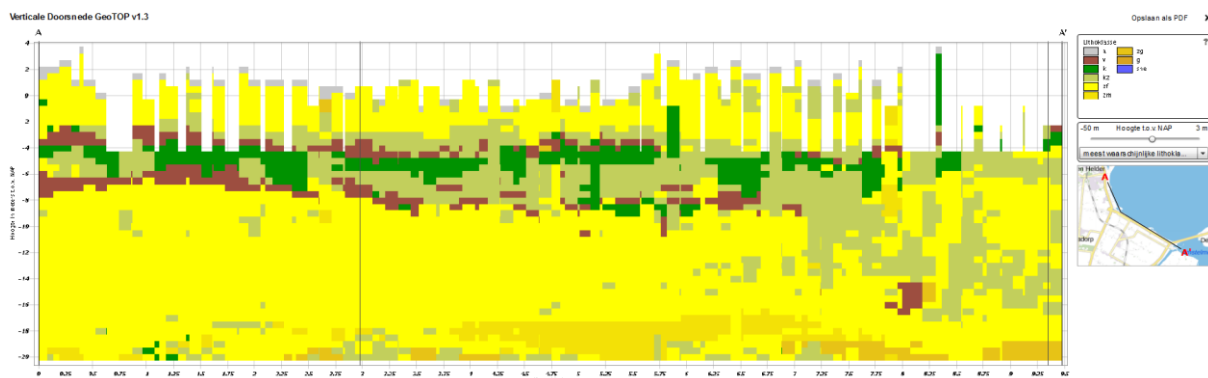


Figuur 2: Lengteprofiel REGIS II.2 (bron: Dinoloket, 2018)

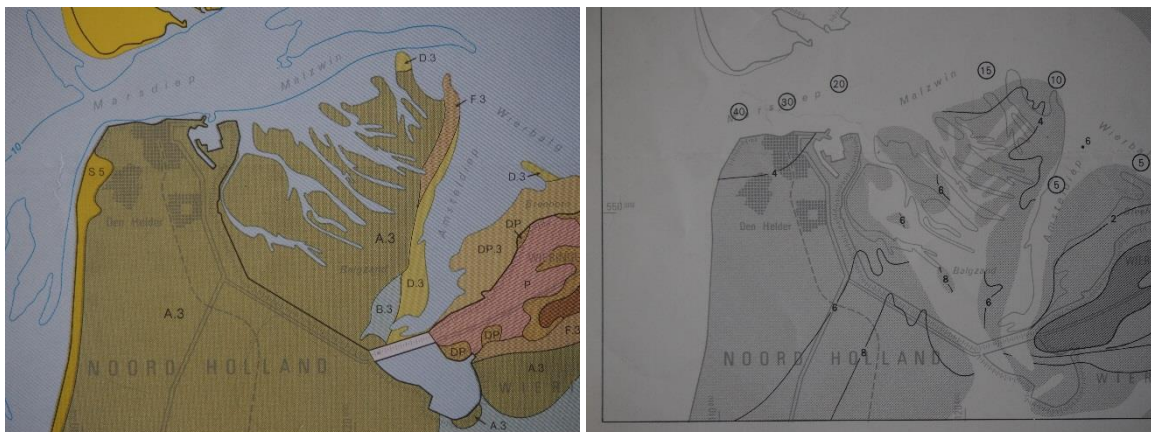
² Ten overvloede wordt opgemerkt dat de boringen die zijn opgenomen in het DINO-loket, gebaseerd zijn op dezelfde grondgegevens als welke in het SOS zijn opgenomen. Echter geeft het SOS een interpretatie van de gegevens, evenals REGIS en GeoTOP en zijn in het DINO-loket de oorspronkelijke boringen beschikbaar.



Figuur 3: Lengteprofiel GeoTOP (bron: Dinoloket, 2018)



Figuur 4: Lengteprofiel GeoTOP (bron: Dinoloket, 2018)

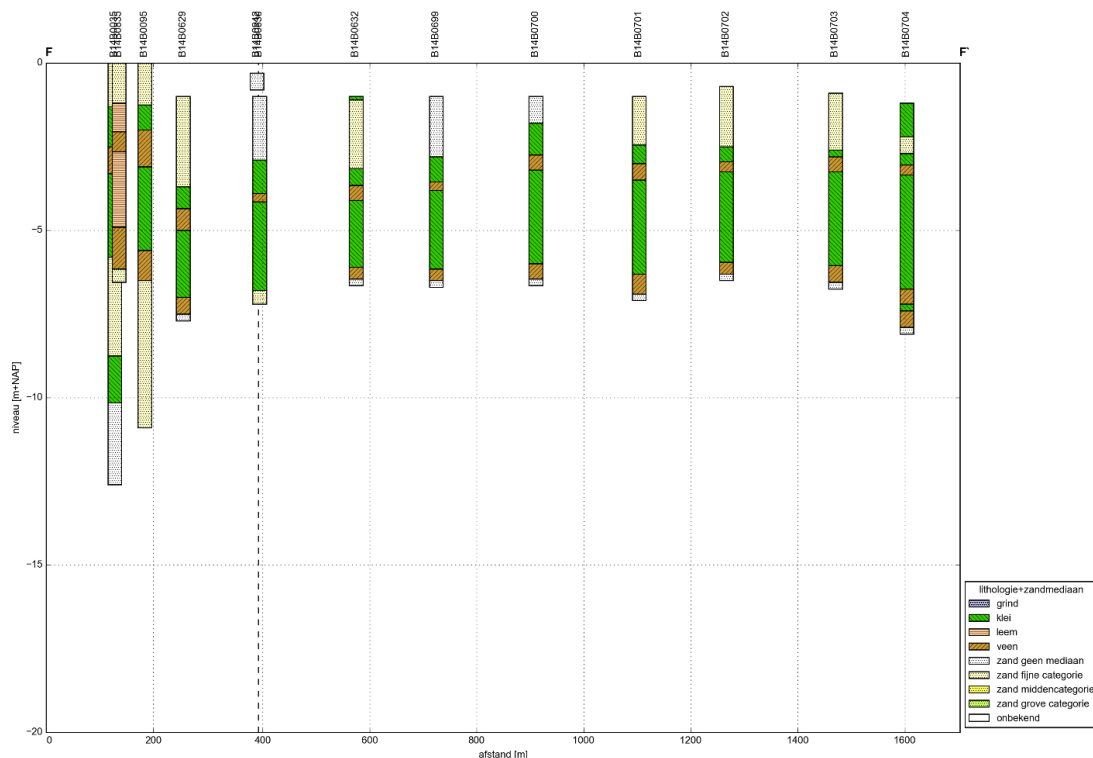


Figuur 5: Geologische kaart (bron: RGD, 1977)

Op basis van de geologische kaart, REGIS II.2 en GeoTOP wordt geconcludeerd dat de Holocene deklaag in het overgrote deel van het traject van de Balgzanddijk zowel in het voor- als achterland aanwezig is. Ter plaatse van het Balgzandkanaal dat in 1923 gegraven is ontbreekt de Holocene deklaag mogelijk lokaal.

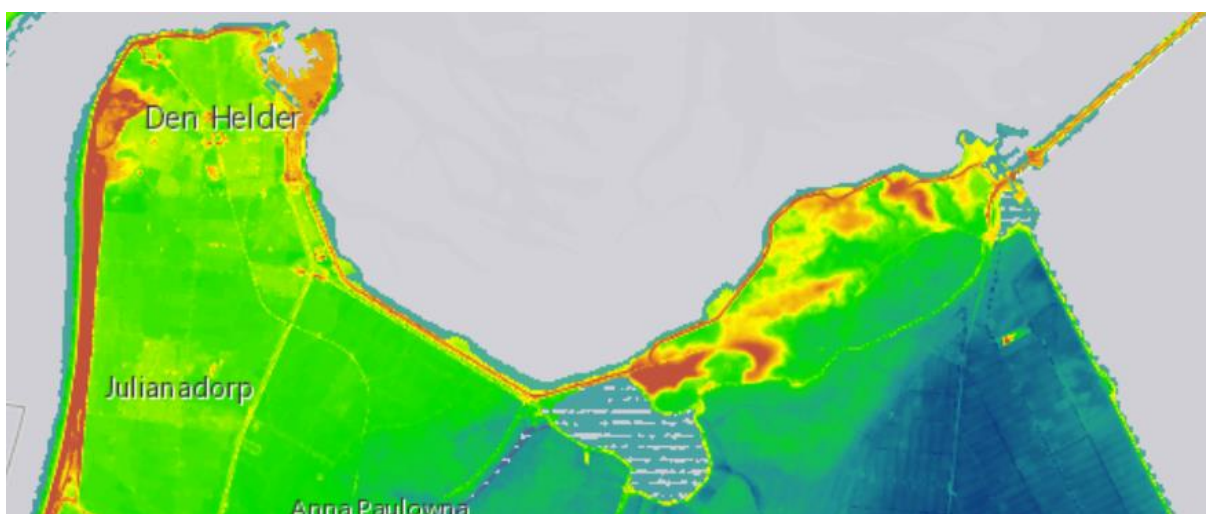
In Figuur 6 is een typisch dwarsprofiel over ruim 1 km voorland te zien. Het profiel is gebaseerd op boringen uit het DINO-loket. In het profiel is te zien dat zowel de bovenste als de onderste zandlaag aaneengesloten aanwezig zijn. Ook is te zien dat de intredeweerstand voor de bovenste zandlaag gering

is en dat de waterremmende tussenlaag (Holoceen klei- en veenpakket) over het gehele voorland aanwezig is.



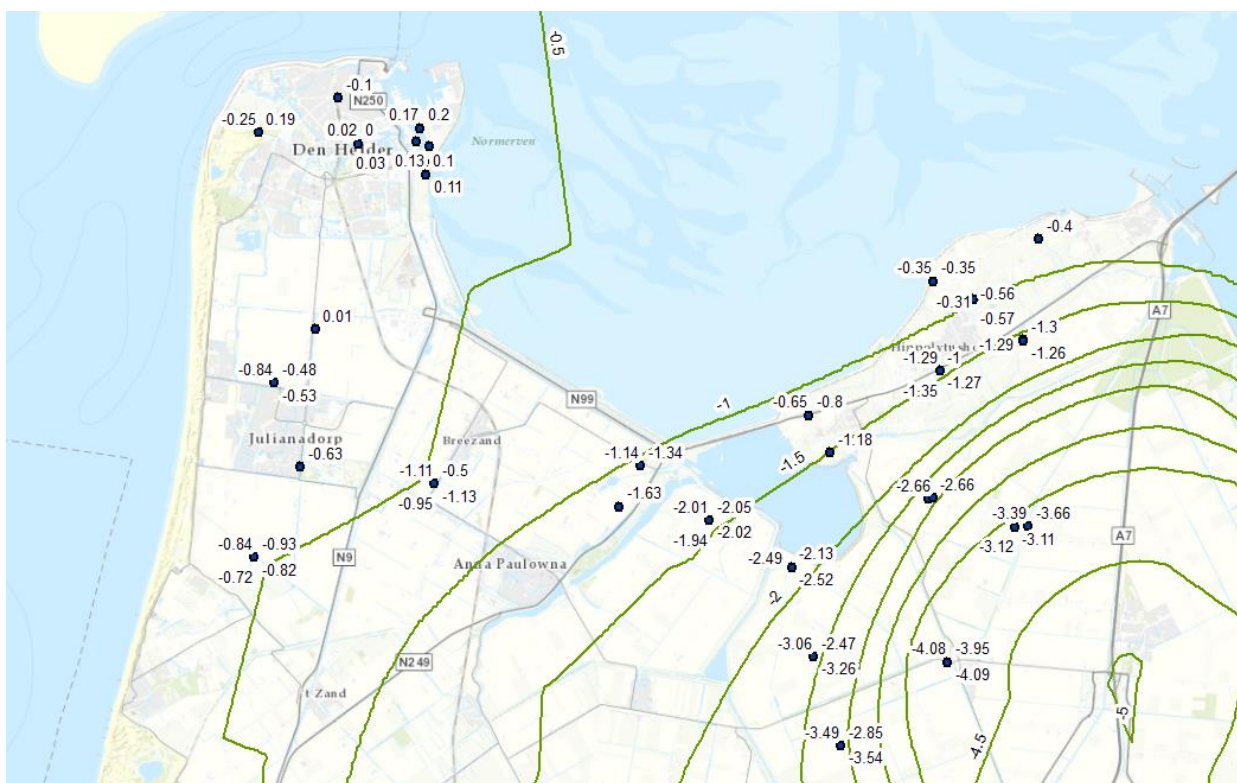
Figuur 6: Typisch boorprofiel voorland Balgzanddijk

In Figuur 7 staat de hoogtekaart van de kop van Noord-Holland (bron: Digitaal Hoogtebestand Nederland, AHN3). Er zijn verschillende polders met een variërende maaiveldhoogte en hiermee samenhangend polderpeil. De Anna Paulownapolder (ten zuidwesten van de Balgzanddijk) heeft een maaiveldhoogte van gemiddeld NAP (lichtgroen). De Wieringermeerpolder (ten zuidoosten van het Amstelmeer) heeft een maaiveldhoogte van circa NAP -5 m in het laagste gedeelte (donkerblauw).



Figuur 7: Hoogtekaart (bron AHN3)

Deze maaiveldhoogten leveren, in combinatie met de daarbij behorende polderpeilen en het intredepunt in de Waddenzee, de randvoorwaarde voor de stijghoogte in de zandondergrond. Onder dagelijkse omstandigheden zal zich hierbij een verhanglijn instellen in de (Pleistocene) zandondergrond vanaf circa gemiddeld waterpeil op de Waddenzee naar circa gemiddeld polderpeil in het achterland. Dit is indicatief weergegeven op de isohypsenkaart in Figuur 8. De invloed van de Wieringermeerpolder op de stijghoogte in het zandpakket onder dagelijkse omstandigheden valt hier duidelijk uit waar te nemen. Voor de Balgzanddijk betekent dit dat onder dagelijkse omstandigheden de stijghoogte in de watervoerende zandlaag verloopt van zuidoost naar noordwest van circa NAP -1,0 m naar circa NAP -0,5 m.



Figuur 8: Isohypsenkaart kop van Noord-Holland

3 Methodiek en uitgangspunten

3.1 Buitenwaterstand

Voor deze studie worden de gemeten buitenwaterstanden op de meetlocaties Den Helder en Den Oever gebruikt. Het verloop van de buitenwaterstand is niet over het gehele dijktraject gelijk. De gebruikte meetlocaties liggen aan beide uiteinden van het dijktraject. Op basis van het gemeten verloop van de buitenwaterstand op deze meetlocaties kan een goede inschatting gemaakt worden van het verloop van de buitenwaterstand ter plaatse van de stijghoogte meetpunten.

3.2 Meetpunten stijghoogte

De stijghoogte wordt op 11 raaien langs het dijktraject gemeten. De metingen worden uitgevoerd in het eerste watervoerende pakket en/of de tussenzandlaag die zich daar net boven bevindt. Bij raai 1 en bij raai 6 wordt de stijghoogte op meerdere punten over de dijk gemeten. Daarmee wordt ook inzicht verkregen in het verhang van de stijghoogte over de dijk. Onderstaande tabel geeft een overzicht van de stijghoogte meetpunten, inclusief de gehanteerde filterstelling.

Tabel 1 Overzicht meetpunten stijghoogte

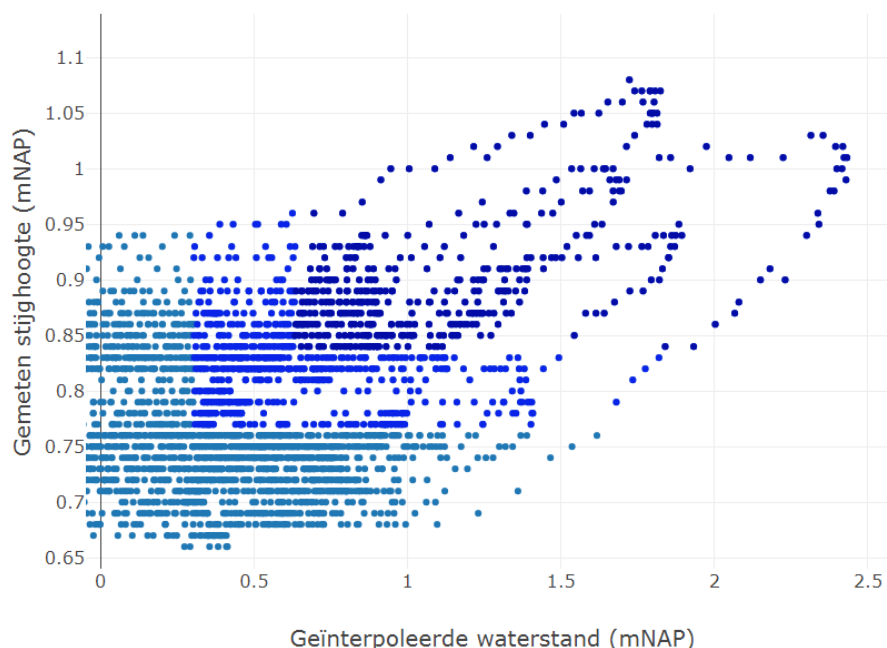
code	x	y	TopFiltNAP	BotFiltNAP	Diepte
Raai_01_PB3-2	115147	549285	-7.50	-8.50	midden
Raai_01_PB3-3	115147	549285	-13.00	-14.00	diep
Raai_01_PB5-2	115138	549282	-8.52	-9.52	midden
Raai_01_PB5-3	115138	549282	-13.02	-14.02	diep
Raai_01_PB6-2	115125	549277	-8.51	-9.51	midden
Raai_01_PB6-3	115125	549277	-13.01	-14.01	diep
Raai_02_PB3-2	115624	548162	-6.51	-7.51	midden
Raai_02_PB3-3	115624	548162	-13.01	-14.01	diep
Raai_03_PB3-2	116831	546799	-7.51	-8.51	midden
Raai_03_PB3-3	116831	546799	-13.01	-14.01	diep
Raai_04_PB3-2	117694	546271	-6.68	-7.68	midden
Raai_04_PB3-3	117694	546271	-11.93	-12.93	diep
Raai_05_PB3-2	119147	545388	-7.64	-8.64	midden
Raai_05_PB3-3	119147	545388	-13.04	-14.04	diep
Raai_06_PB3-2	120507	544616	-6.41	-7.41	midden
Raai_06_PB3-3	120507	544616	-13.01	-14.01	diep
Raai_06_PB5-2	120506	544594	-6.74	-7.74	midden

Raai_06_PB5-3	120506	544594	-12.99	-13.99	diep
Raai_06_PB6-2	120505	544575	-7.61	-8.61	midden
Raai_06_PB6-3	120505	544575	-13.01	-14.01	diep
Raai_07_PB4-2	121835	544945	-7.92	-8.92	midden
Raai_08_PB3-2	123821	546021	-10.69	-11.69	diep
Raai_09_PB3-2	125143	546824	-11.50	-12.50	diep
Raai_10_PB5-2	126638	549162	-11.52	-12.52	diep
Raai_11_PB4-2	130610	549847	-5.25	-6.25	midden

3.3 Responsecurves

De stijghoogte bij waterstand bij norm (2073) is bepaald aan de hand van de gemeten respons van de stijghoogte op fluctuaties in de buitenwaterstand. Hierbij is eerst per meetpunt (filter) de gemeten stijghoogte uitgezet tegen de gemeten buitenwaterstand. Op basis daarvan is een responsecurve afgeleid. Door deze curve te extrapoleren voor de buitenwaterstand bij waterstand bij norm (2073) wordt de bijbehorende stijghoogte verkregen. De gebruikte methode sluit aan bij de door Fugro gebruikte methode in [Metingen bij stormopzet (dec. 1999) Balgzanddijk op 6.850 en op 8.850. FUGRO, december 1999.]. Het resultaat kan daardoor goed vergeleken worden.

Bij het maken van de responsecurven zijn er een aantal aandachtspunten. Ten eerste is er meestal een verschuiving te zien in de reactie van de stijghoogte op de buitenwaterstand op een bepaald meetpunt. Doordat er een verschuiving is in de reactie van de stijghoogte in het filter op de buitenwaterstand zoals die wordt gemeten geeft het direct uitzetten van de stijghoogte tegen de buitenwaterstand op een bepaald meetpunt een grafiek met een groot aantal lussen. Bij een grote verschuiving in de reactie worden de lussen steeds breder en is het daardoor lastig om een goede relatie (response) te vinden tussen de stijghoogte en de waterstand.



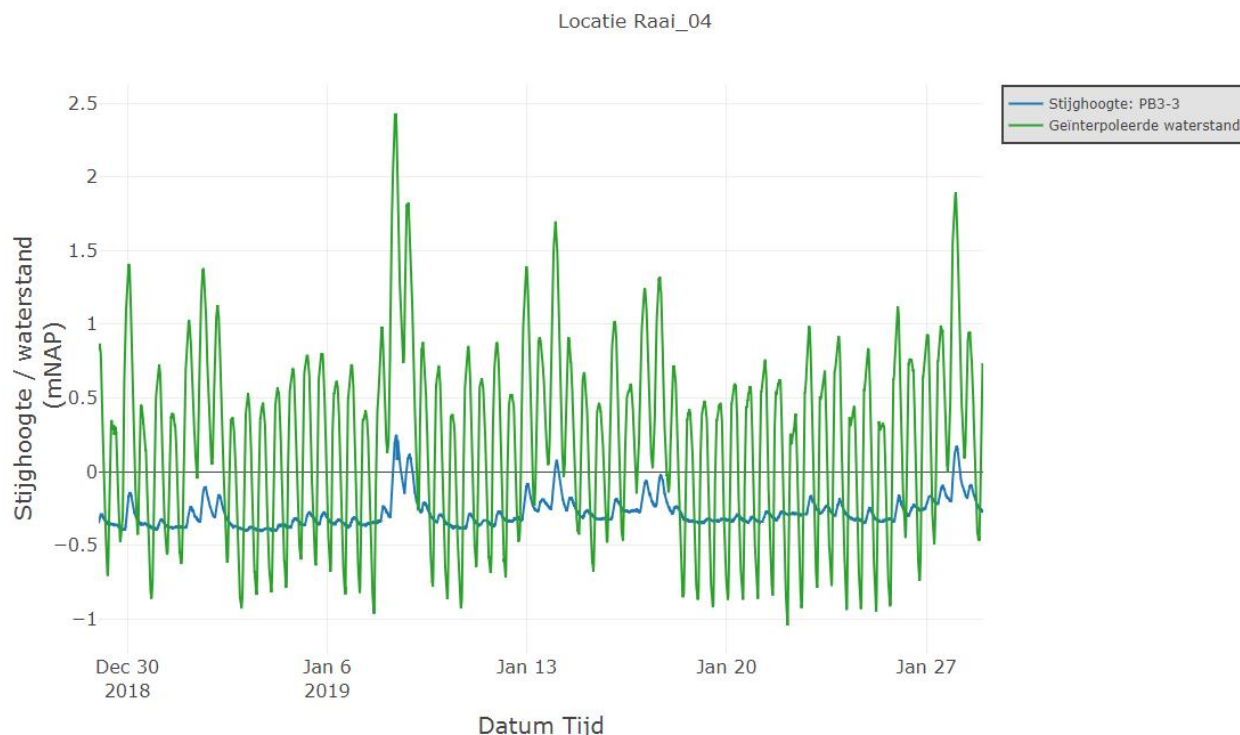
Figuur 9 Voorbeeld van een relatief traag reagerend meetpunt waarbij grote lussen te zien zijn.

De verschuiving wordt veroorzaakt door twee dingen:

- De pieken in de buitenwaterstand treden langs de dijk niet overal gelijktijdig op. De buitenwaterstand wordt gemeten bij Den Helder en bij Den Oever. Tussen deze meetpunten is een duidelijk verschil te zien. Bij Den Oever treden de pieken in de waterstand ongeveer 1 uur later op dan bij Den Helder. Langs het dijktraject zit er dus verschil in het moment waarop de pieken optreden.
- De stijghoogte reageert iets vertraagd op een verandering van de buitenwaterstand

Door rekening te houden met de verschuiving worden de lussen 'platter' en is er een duidelijkere responsecurve af te leiden.

Het tweede aandachtspunt is dat de stijghoogte bij normale omstandigheden/ bij buitenwaterstanden onder het gemiddelde peil sterk wordt beïnvloed door het regionale grondwatersysteem. Bij relatief lage buitenwaterstanden is daardoor vrijwel geen reactie van de stijghoogte te zien op fluctuaties in de buitenwaterstand. In de metingen is dan een soort 'baseline' te zien. Dit deel van de metingen moet niet meegenomen worden in de bepaling van de responsecurve. Figuur 10 geeft een voorbeeld van een dergelijke meetreeks.



Figuur 10 Voorbeeld van een stijghoogte meetreeks waarbij een 'baseline' te zien is.

In deze studie is met de bovengenoemde twee aandachtspunten rekening gehouden:

- De meetreeksen van de buitenwaterstand bij Den Helder en Den Oever zijn gebruikt om per stijghoogte meetpunt een representatieve reeks van de buitenwaterstand te genereren. Hierbij is het verschil in amplitude en het verschil in verschuiving tussen de pieken verwerkt op basis van de relatieve afstand van het meetpunt tot Den Helder en Den Oever.
- De responsecurves zijn gemaakt op basis van alle metingen, met alleen de 50% hoogste metingen en met alleen de 75% hoogste metingen. Op basis van een visuele beoordeling en op basis van de gevonden correlatiecoëfficiënt (Pearson R) tussen de stijghoogte en de buitenwaterstand is ervoor gekozen om de responsecurves op basis van de 75% hoogste metingen te gebruiken.

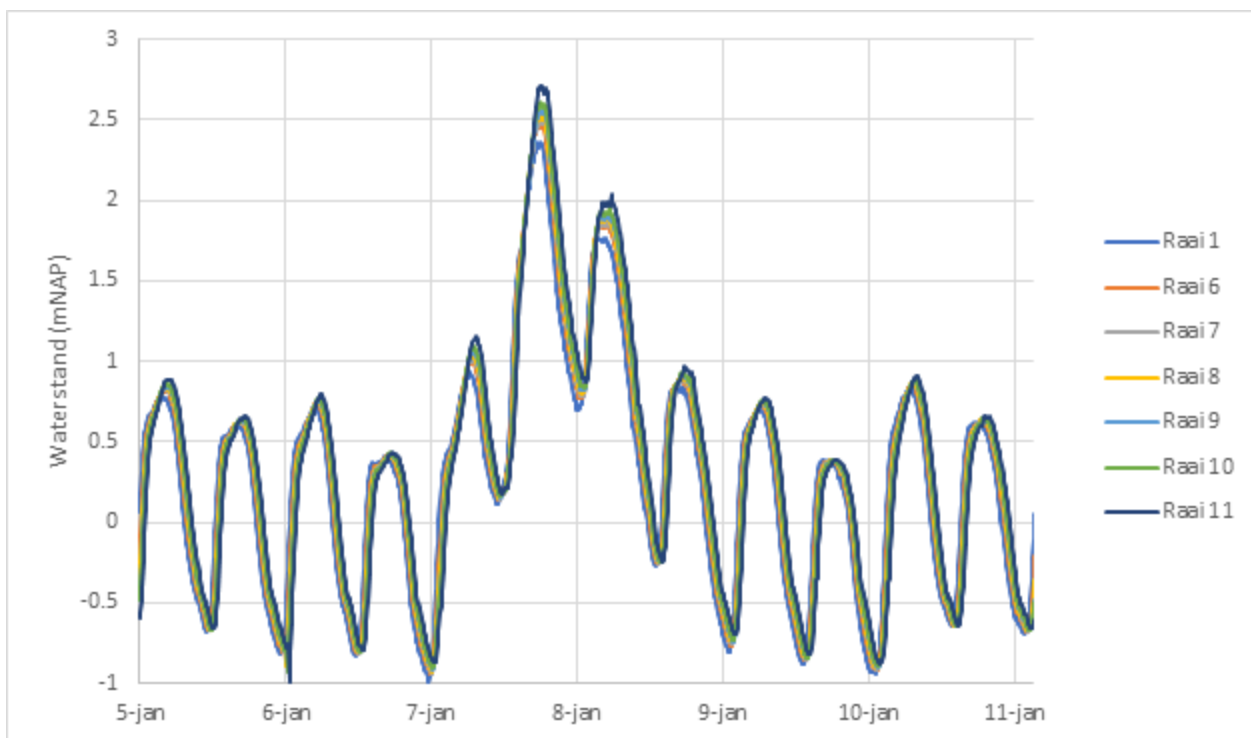
3.4 Berekening stijghoogte bij waterstand bij norm (2073)

De stijghoogte bij waterstand bij norm (2073) is berekend door de afgeleide responsecurves die zijn gemaakt op basis van de 75% hoogste meetwaarden te extrapoleren naar de waterstand bij norm (2073). Hiervoor is de waterstand bij norm 2073 gebruikt. Onderstaande tabel geeft per raai de gebruikte waterstand.

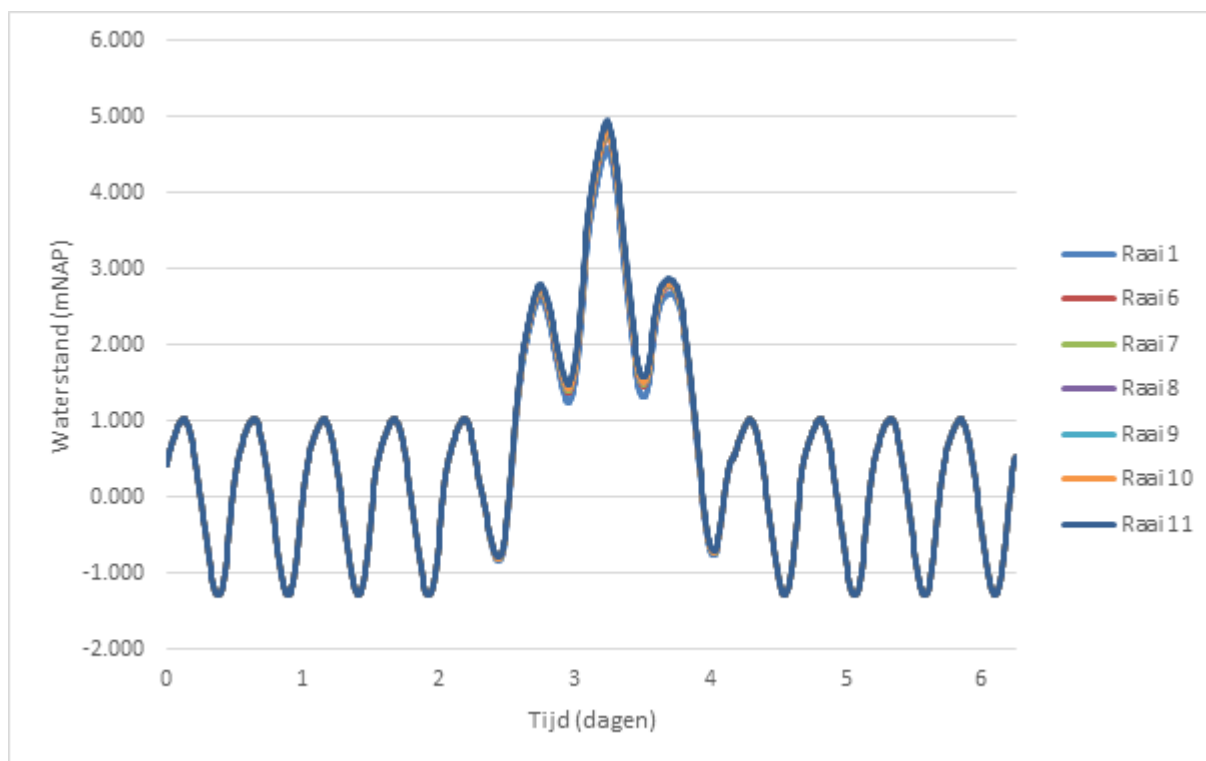
Raai	waterstand bij norm (2073) (m +NAP)
Raai_01	4.59
Raai_02	4.62
Raai_03	4.67

Raai_04	4.69
Raai_05	4.74
Raai_06	4.79
Raai_07	4.81
Raai_08	4.84
Raai_09	4.86
Raai_10	4.86
Raai_11	4.94

De extrapolatie op basis van lineaire regressie kan alleen worden gebruikt als de hoogwatergolf bij norm ongeveer dezelfde vorm en duur heeft als het hoogwater dat is gebruikt voor het opstellen van de lineaire regressie. Onderstaande figuren geven het waterstandsverloop weer voor de storm in januari 2019 en voor waterstand bij norm 2073. De vorm en duur is goed vergelijkbaar (1 maal vloed met verhoogde waterstand, dan 1 maal vloed met de hoogste piek en dan nog 1 maal vloed met verhoogde waterstand, in totaal dus circa 18 tot 24 uur).



Figuur 11 Waterstandsverloop storm januari 2019.



Figuur 12 Waterstandsverloop bij norm (2073)

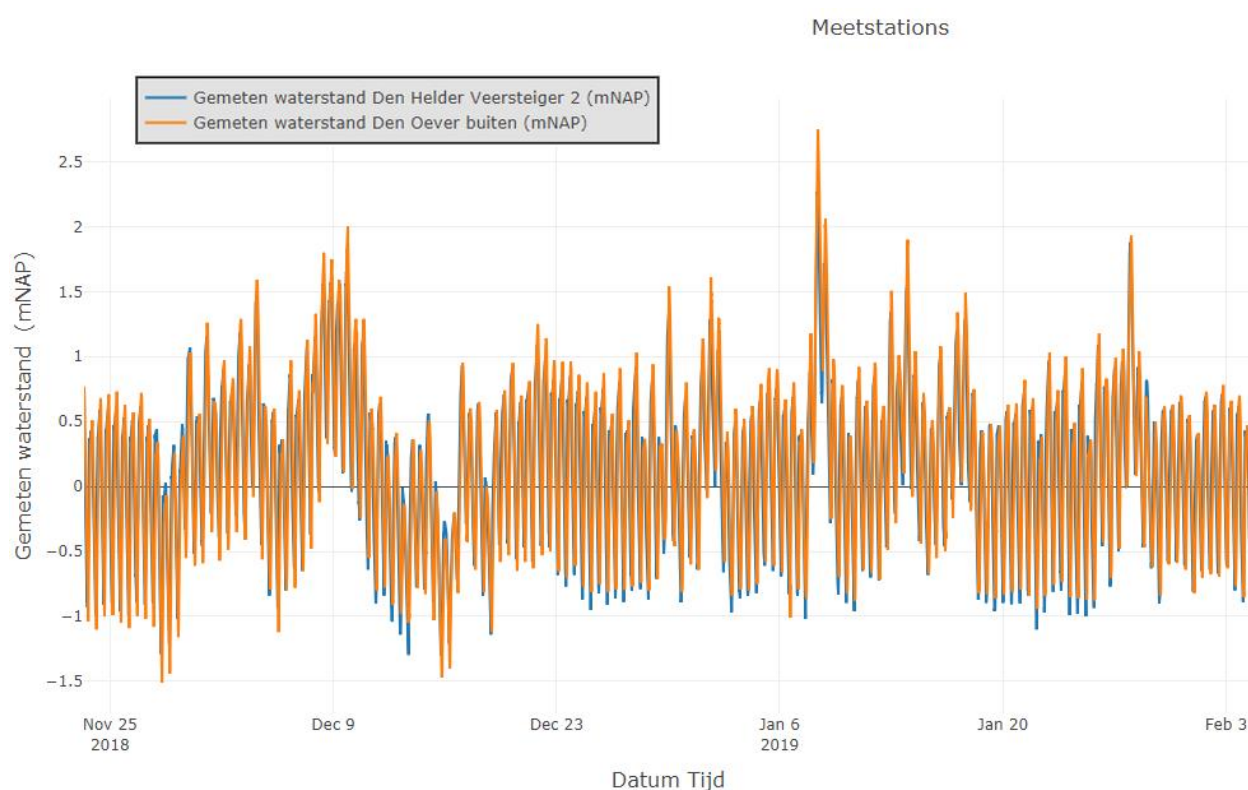
3.5 Verklaring aan de hand van geohydrologische opbouw

De metingen van de stijghoogte en de afgeleide responsecurves zijn vergeleken met de beschikbare kennis over de geohydrologische opbouw van het gebied. Hiermee is gecontroleerd of de meetreeksen en de gevonden respons verklaarbaar zijn.

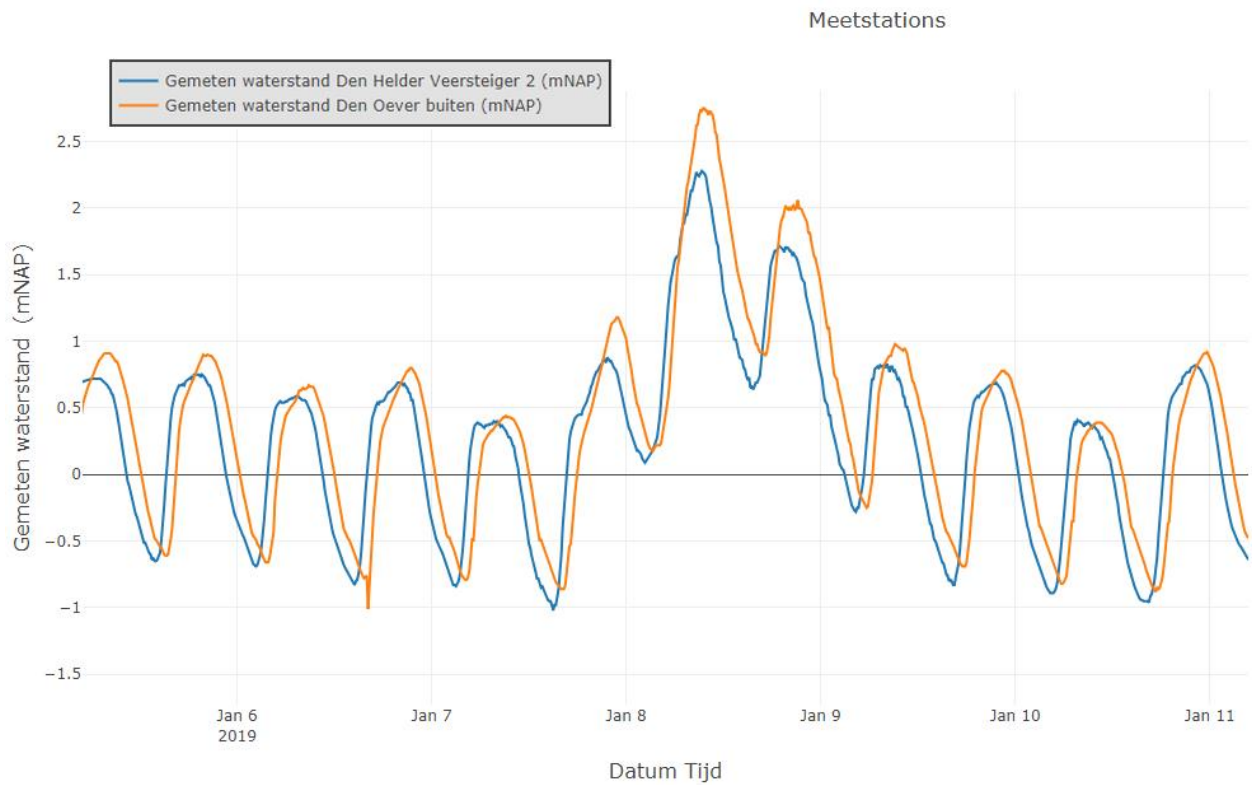
4 Resultaten

4.1 Buitenwaterstanden in meetperiode

Voor deze studie is gebruik gemaakt van de uitgevoerde metingen in de periode 28 december 2018 t/m 28 januari 2019 (zie Figuur 13). In deze periode valt het hoogwater dat optrad rond 8 en 9 januari waarbij springvloed samenviel met noordwesterstorm. De hoogst gemeten waterstand was circa 2.7 m +NAP bij Den Oever en 2.2 m +NAP bij Den Helder. Een detail van het gemeten verloop van de waterstanden bij het hoogwater van begin januari 2019 wordt weergegeven in Figuur 14. Hier is ook duidelijk het verschil in amplitude en de verschuiving tussen de pieken en de dalen in de gemeten buitenwaterstand te zien.



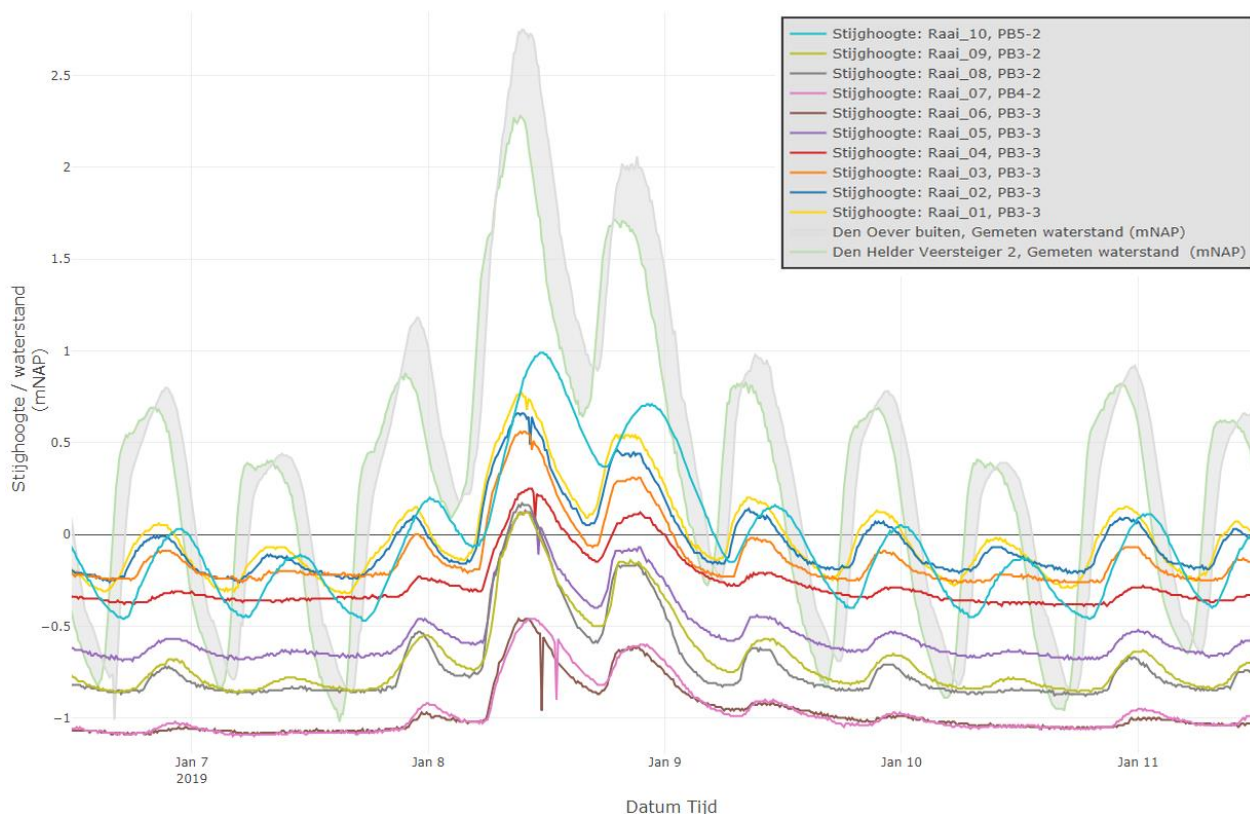
Figuur 13 Meetreeksen buitenwaterstand Den Helder en Den Oever



Figuur 14 Detail van meetreeksen buitenwaterstand Den Helder en Den Oever bij hoogwater begin januari 2019

4.2 Gemeten stijghoogte in meetperiode

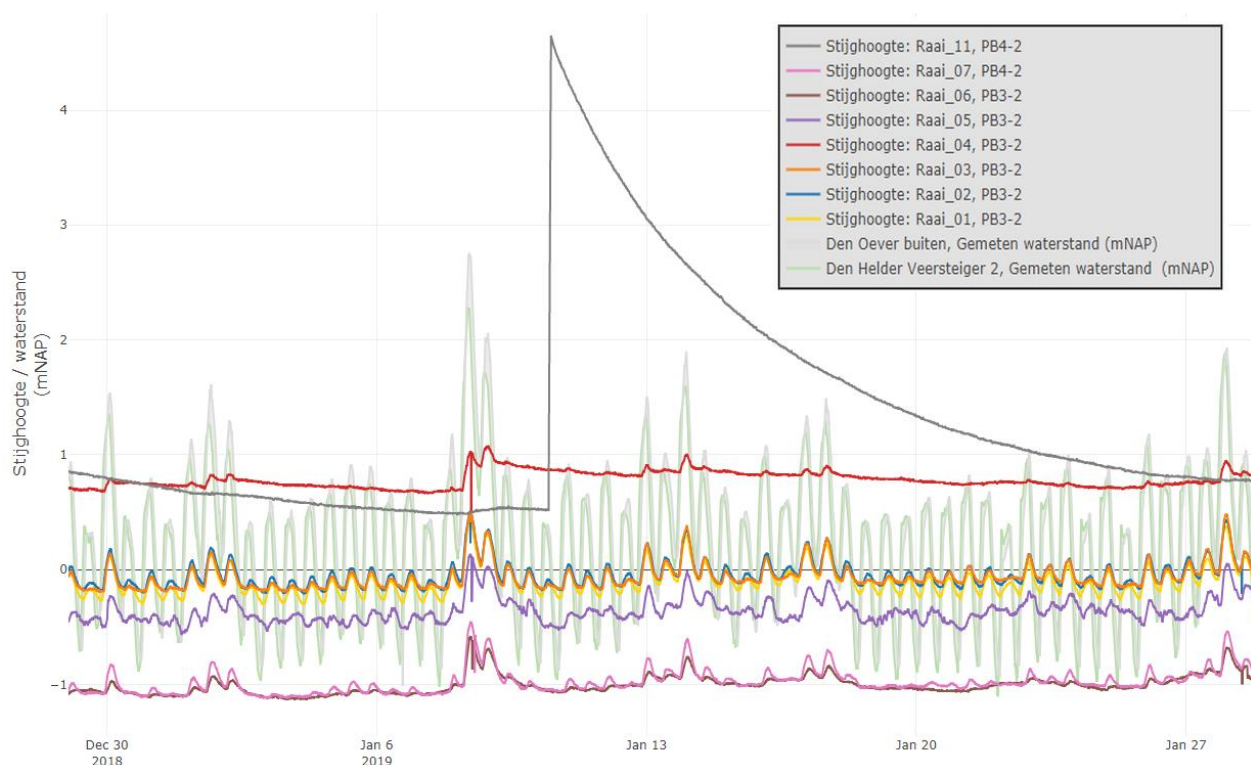
De gemeten stijghoogtes voor de diepe filters zijn samen met de gemeten oppervlaktewaterstanden weergegeven in Figuur 15. Hierin is te zien dat de gemeten stijghoogtes bij de raaien met een lager nummer dichterbij de gemeten waterstanden bij de Helder liggen en de raaien met een hoger nummer dichterbij de waterstanden gemeten bij den Oever. Ook is hier de eerdergenoemde 'baseline' te zien bij raaien 6 en 7. Hieruit blijkt dat het achtergelegen Amstelmeer zorgt voor een dempende werking op de dalen van de stijghoogte. In de reeksen zijn enkele zeer korte afwijkingen te zien die worden veroorzaakt doordat op die momenten handpeilingen zijn uitgevoerd.



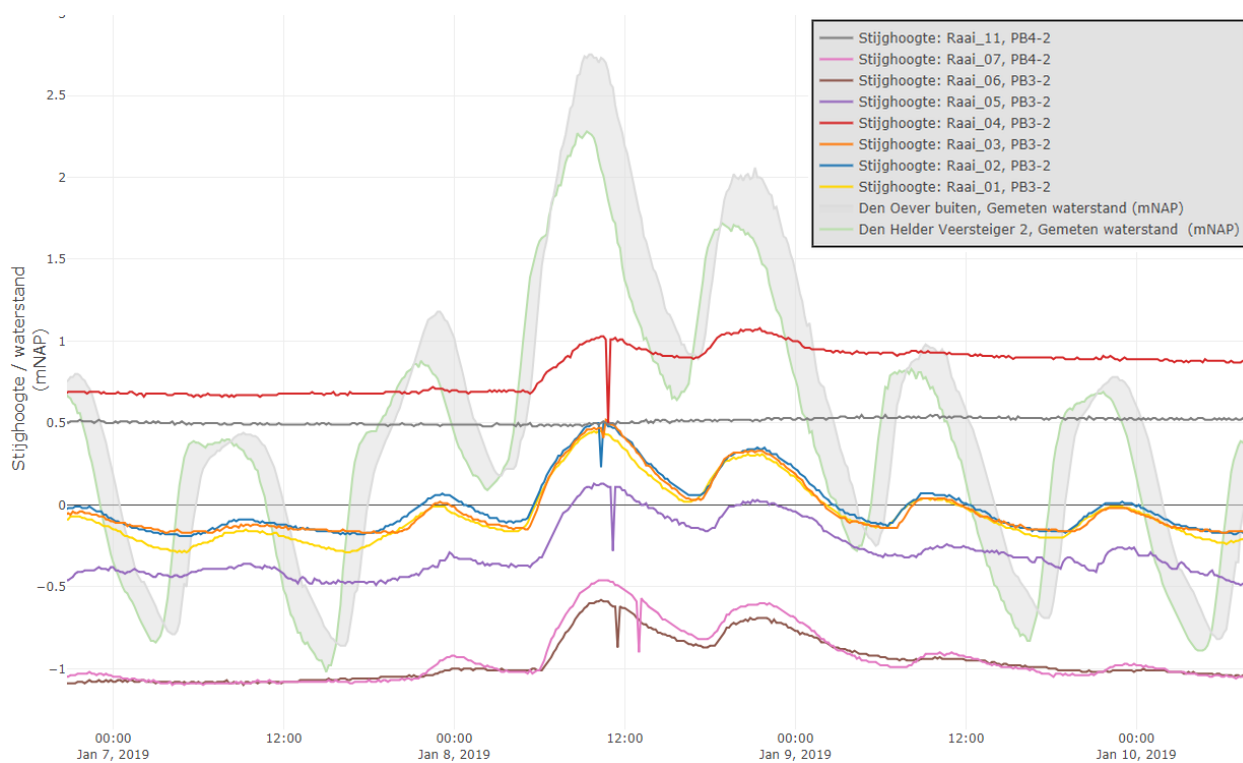
Figuur 15: Gemeten stijghoogtes diepe filters voor de hoogwatergolf begin januari 2019.

Bij de middeldiepe filters (in de tussenzandlaag) is bij enkele reeksen een onverklaarbaar verloop te zien:

- Bij Raai 11 – PB4-2 wordt een erg hoge stijghoogte gemeten. Op 10 januari is hier een slugtest uitgevoerd waarbij het waterniveau in de peilbuis sterk is verhoogd. Blijkbaar is het filter in een slecht doorlatende laag geplaatst waardoor het water zeer langzaam weg stroomt. De metingen in dit filter zijn niet bruikbaar voor deze studie.
- Bij Raai 4 – PB3-2 wordt een zeer hoge stijghoogte gemeten. Bij verdere analyse van de meetreeksen op deze locaties valt op dat de meetreeksen van het ondiepe filter PB3-1 en het middeldiepe filter PB3-2 vlak na de start van de metingen opeens vrijwel gelijk gaan lopen. In de voorgaande periode is de meetreeks van PB3-2 duidelijk lager. Vermoedelijk is deze lage waarde correct en is er na enkele dagen kortsluiting ontstaan tussen het ondiepe en het middeldiepe filter. Raai 4 – PB3-2 is niet bruikbaar voor deze studie. Op deze locatie is wel een diep filter aanwezig met een bruikbare meetreeks: Raai 4 – PB3-3.



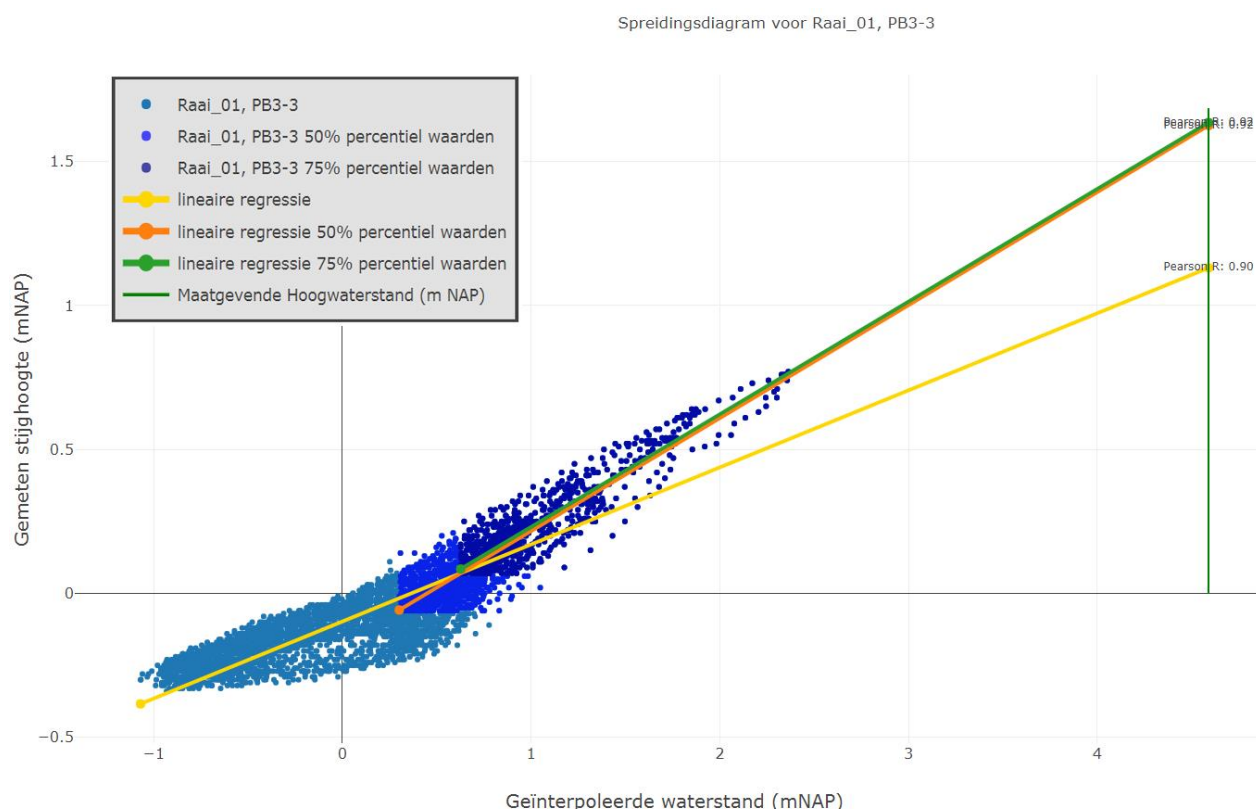
Figuur 16 Gemeten stijghoogte in de middeldiepe filters en de gemeten buitenwaterstand bij Den Helder en Den Oever



Figuur 17 Gemeten stijghoogte in de middeldiepe filters en de gemeten buitenwaterstand bij Den Helder en Den Oever bij hoogwater begin januari 2019.

4.3 Stijghoogte response in meetperiode

De gemeten stijghoogtes zijn uitgezet tegen de ruimtelijk geïnterpoleerde oppervlaktewaterstand. Voor elke meetreeks geeft dit een spreidingsdiagram zoals in Figuur 18. Op basis van het spreidingsdiagram zijn voor elk meetpunt drie lijnen opgesteld die de lineaire regressie weergeven tussen buitenwaterstand en de stijghoogte. Dit is gedaan voor alle meetpunten (gele lijn), de 50 percentiel waarden (oranje lijn) en de 75 percentiel waarden (groene lijn). Het gebruik van de 75 percentiel waarden (dus de 25% hoogste meetwaardes) wordt de beste fit gekregen. Hiermee wordt voor hogere waterstanden het best de relatie tussen buitenwaterstand en stijghoogte vastgelegd. In bijlage 1 worden de spreidingsdiagrammen voor alle stijghoogte meetpunten weergegeven. In de spreidingsdiagrammen is ook aangegeven hoe groot de gevonden correlatie is, weergegeven als Pearson R. Bij onderstaand voorbeeld is dat 0.92 voor de 50 en 75 percentiel waarden. De respons is als percentage toegevoegd in Tabel 2.



Figuur 18: spreidingsdiagram gemeten stijghoogte en geïnterpoleerde oppervlaktewaterstand voor Raai 01, peilbuis 3, diepe filter.

4.4 Berekende stijghoogte bij waterstand bij norm (2073)

Op basis van de gevonden lineaire regressie bij de 75 percentiel waarden is voor elk meetpunt berekend wat de stijghoogte is bij waterstand bij norm (2073). Onderstaande tabel geeft de resultaten hiervan weer. In de tabel is de gebruikte waterstand bij norm (2073) op de locatie van het meetpunt en de berekende stijghoogte bij waterstand bij norm (2073) weergegeven. In de tabel is ook de Pearson R van de gebruikte lineaire regressielijn opgenomen. Dit is een maat voor de mate van correlatie en voor de betrouwbaarheid van de extrapolatie naar waterstand bij norm (2073)-condities. Voor de meeste filters wordt een redelijke correlatie berekend tussen de buitenwaterstand en de stijghoogte. Bij meetpunt Raai_06_PB5-2 wordt duidelijk een lagere correlatie berekend. De stijghoogte reageert hier relatief weinig op de

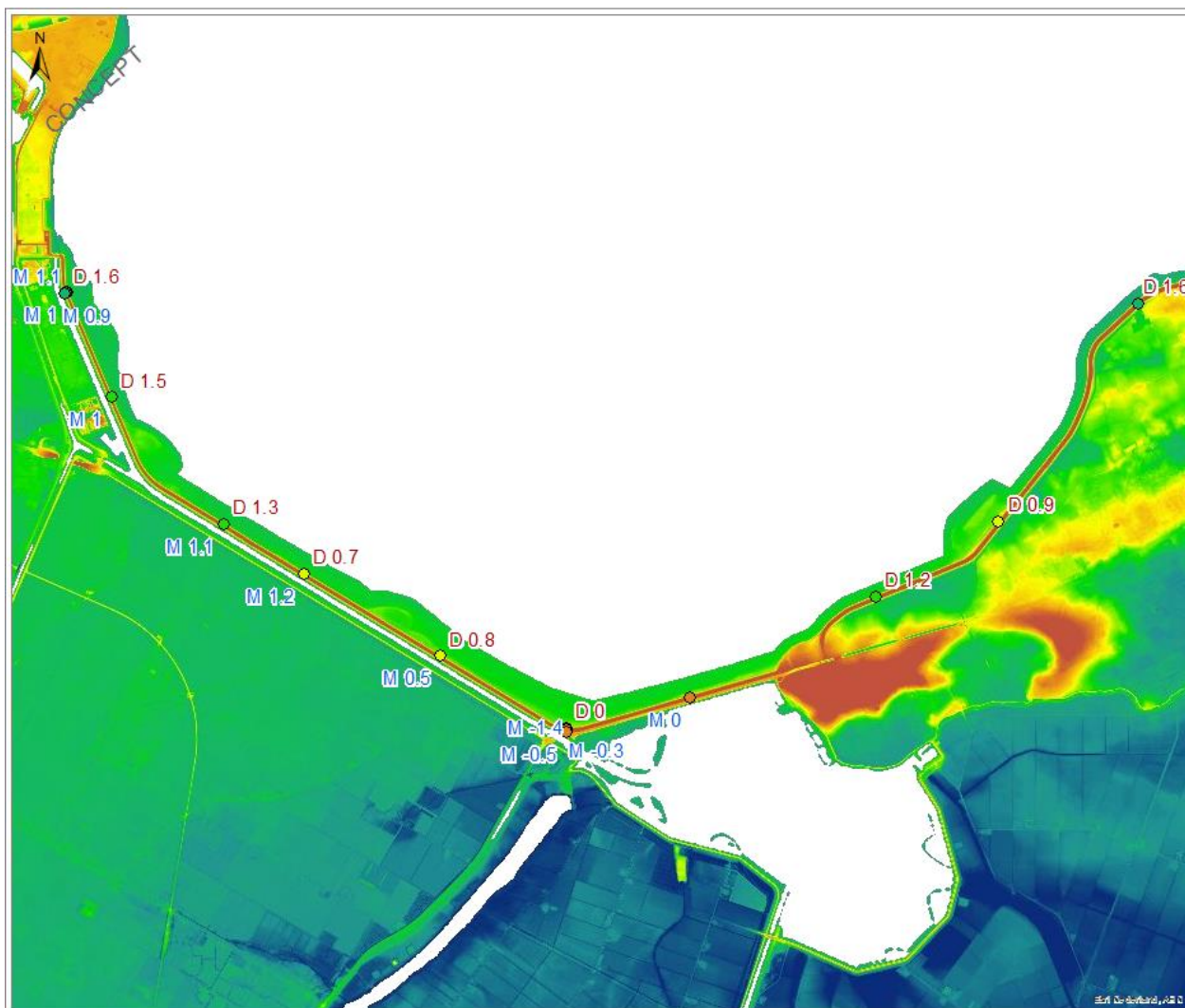
buitenwaterstand. Bij het diepe filter op deze locaties is de reactie van de stijghoogte groter en wordt ook een redelijk hoge correlatie berekend.

Tabel 2 Overzicht van berekende stijghoogte bij waterstand bij norm (2073) 2070 per meetpunt / filter.

Meetpunt	waterstand bij norm (2073) 2070 (m +NAP)	bij waterstand bij norm (2073) 2070 (m +NAP)	Pearson R	x	y	TopFitNAP	BotFitNAP	Dieptelabel	Respons
Raai_01_PB3-2	4.59	0.97	0.81	115147	549285	-7.50	-8.50	midden	25%
Raai_01_PB3-3	4.59	1.64	0.92	115147	549285	-13.00	-14.00	diep	39%
Raai_01_PB5-2	4.59	1.14	0.80	115138	549282	-8.52	-9.52	midden	26%
Raai_01_PB5-3	4.59	1.56	0.89	115138	549282	-13.02	-14.02	diep	36%
Raai_01_PB6-2	4.59	0.89	0.72	115125	549277	-8.51	-9.51	midden	21%
Raai_01_PB6-3	4.59	1.58	0.88	115125	549277	-13.01	-14.01	diep	34%
Raai_02_PB3-2	4.62	1.00	0.79	115624	548162	-6.51	-7.51	midden	24%
Raai_02_PB3-3	4.62	1.47	0.92	115624	548162	-13.01	-14.01	diep	36%
Raai_03_PB3-2	4.67	1.07	0.78	116831	546799	-7.51	-8.51	midden	26%
Raai_03_PB3-3	4.67	1.32	0.88	116831	546799	-13.01	-14.01	diep	34%
Raai_04_PB3-3	4.69	0.74	0.77	117694	546271	-11.93	-12.93	diep	24%
Raai_05_PB3-2	4.74	0.47	0.65	119147	545388	-7.64	-8.64	midden	18%
Raai_05_PB3-3	4.74	0.79	0.84	119147	545388	-13.04	-14.04	diep	31%
Raai_06_PB3-2	4.79	-0.29	0.69	120507	544616	-6.41	-7.41	midden	16%
Raai_06_PB3-3	4.79	-0.01	0.79	120507	544616	-13.01	-14.01	diep	22%
Raai_06_PB5-2	4.79	-0.24	0.33	120506	544594	-6.74	-7.74	midden	6%
Raai_06_PB5-3	4.79	-0.17	0.75	120506	544594	-12.99	-13.99	diep	21%
Raai_06_PB6-2	4.79	-0.48	0.61	120505	544575	-7.61	-8.61	midden	10%
Raai_06_PB6-3	4.79	-0.23	0.73	120505	544575	-13.01	-14.01	diep	18%
Raai_07_PB4-2	4.81	-0.04	0.71	121835	544945	-7.92	-8.92	midden	21%
Raai_08_PB3-2	4.84	1.16	0.94	123821	546021	-10.69	-11.69	diep	44%
Raai_09_PB3-2	4.86	0.87	0.87	125143	546824	-11.50	-12.50	diep	36%
Raai_10_PB5-2	4.86	1.56	0.64	126638	549162	-11.52	-12.52	diep	34%

4.5 Ruimtelijk beeld

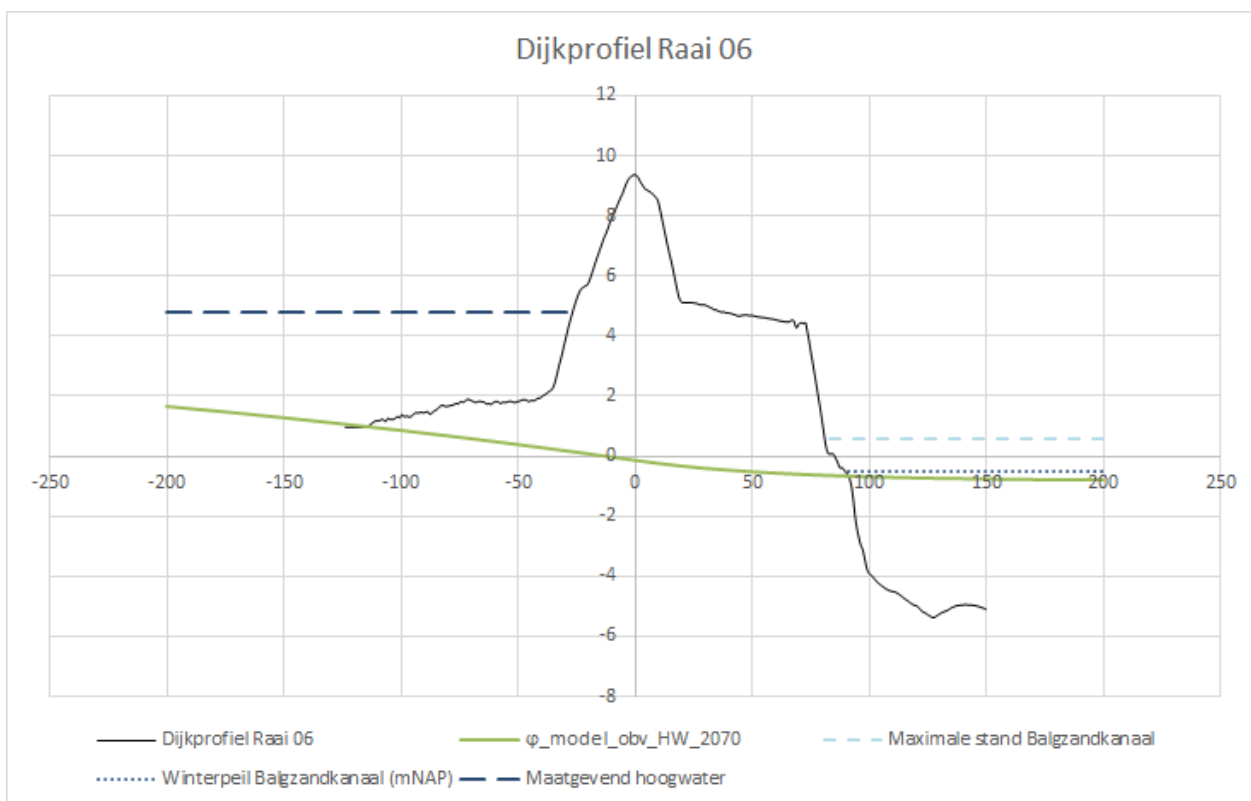
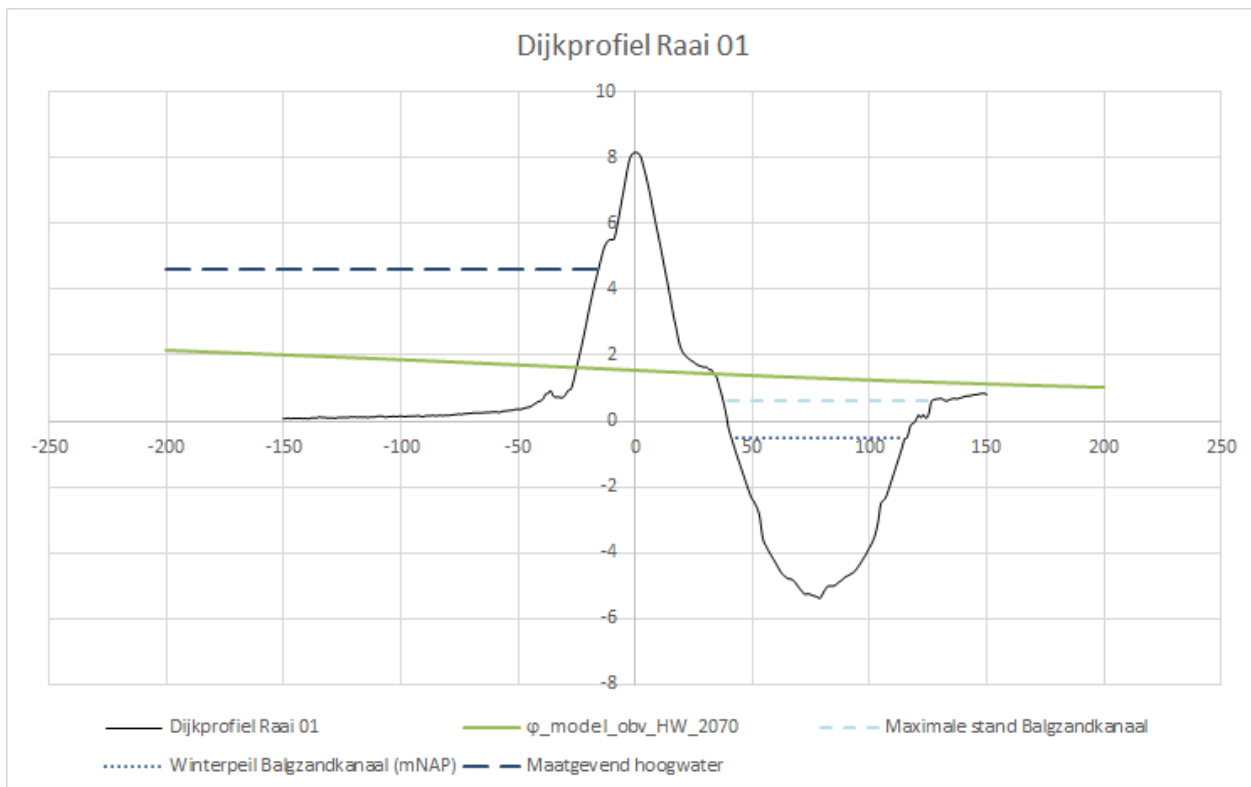
Ruimtelijk is er een duidelijk verloop te zien in de berekende stijghoogte bij waterstand bij norm (2073). De hoogste stijghoogte wordt berekend bij Raai 1, circa 1.6 m +NAP. Vanaf Den Helder (raai 1) loopt de berekende stijghoogte of richting raai 6. Daar lijkt de stijghoogte sterk beïnvloed door het naastgelegen Amstelmeer. Richting Den Oever loopt de berekende stijghoogte langzaam weer op tot circa 1 m +NAP.



Figuur 19 Berekende stijghoogte bij waterstand bij norm (2073) diepe filters (D, rood) en middeldiepe filters (M, blauw)

4.6 Verhang van de stijghoogte over de dijk

Het verhang van de stijghoogte over de dijk is bepaald voor raai 1 en raai 6. Bij beide raaien is het verschil in de berekende stijghoogte bij waterstand bij norm (2073) beperkt.



4.7 Vergelijking met eerdere onderzoeken

Uit het Fugro onderzoek uit 1999 kwam een respons van 20 tot 30%.

Uit de scatterplot van DP 6.850 (bijlage 5.1) blijkt dat de respons bij hogere buitenwaterstanden enigszins toeneemt. De respons is bij de hogere buitenwaterstanden gelijk aan $R_{\text{Pleisto, DP 6.850}} = \text{ca. } 33\%$ (raaklijn 1:3).

Uit de scatterplot van DP 8.850 (bijlage 5.3) blijkt dat de respons bij hogere en bij lagere buitenwaterstanden vrijwel gelijk is. De respons bedraagt $R_{\text{Pleisto DP 8.850}} = \text{ca. } 20\%$ (raaklijn 1:5).

Bij de stabiliteitsberekeningen is voor beide profielen uitgegaan van een respons $R_{\text{Pleisto}} = 33\%$.

Op basis daarvan is de stijghoogte bij waterstand bij norm (2073) bepaald. De destijds berekende stijghoogte is 1.2 tot 1.5 m +NAP. NB Hierbij is niet gerekend met dezelfde waterstand bij norm (2073)-buitenwaterstand. In de huidige studie wordt gerekend met waterstand bij norm (2073) 2070 buitenwaterstand.

rekenprofiel	representatief voor dijkvak	
		MHW met 33% respons
DP 6.850, (zonder zandaanvulling)	1 t/m 7, 9 en 12	1,20
DP 8.850, (zonder zandaanvulling)	8, 10 en 11 (ook lokaal op 6 en 7)	1,50

Uit het nu uitgevoerde onderzoek volgt voor de raaien bij de Balgzanddijk (raai 1 t/m 6) voor de diepe filters een respons van 30%. Voor de middeldiepe filters in de tussenzandlaag ligt dit iets lager, rond de 19%. De bepaalde responsen komen dus overeen met de eerder bepaalde responspercentages bepaald door Fugro. Bij enkele filters is de respons wat hoger, bij andere juist wat lager, zie Tabel 3 (gemiddelde en min/max per diepte) en Tabel 2 (laatste kolom, respons percentage per filter).

De berekende stijghoogte bij waterstand bij norm (2073) (2070) varieert van circa 1.7 tot 0.6 m +NAP bij de diepe filters.

Tabel 3 Overzicht respons percentages bij filters raai 1 t/m 6 (Balgzanddijk)

Filterdiepte	Average of Respons (%)	Max of Respons (%)	Min of Respons (%)
diep	30	39	18
midden	19	26	6

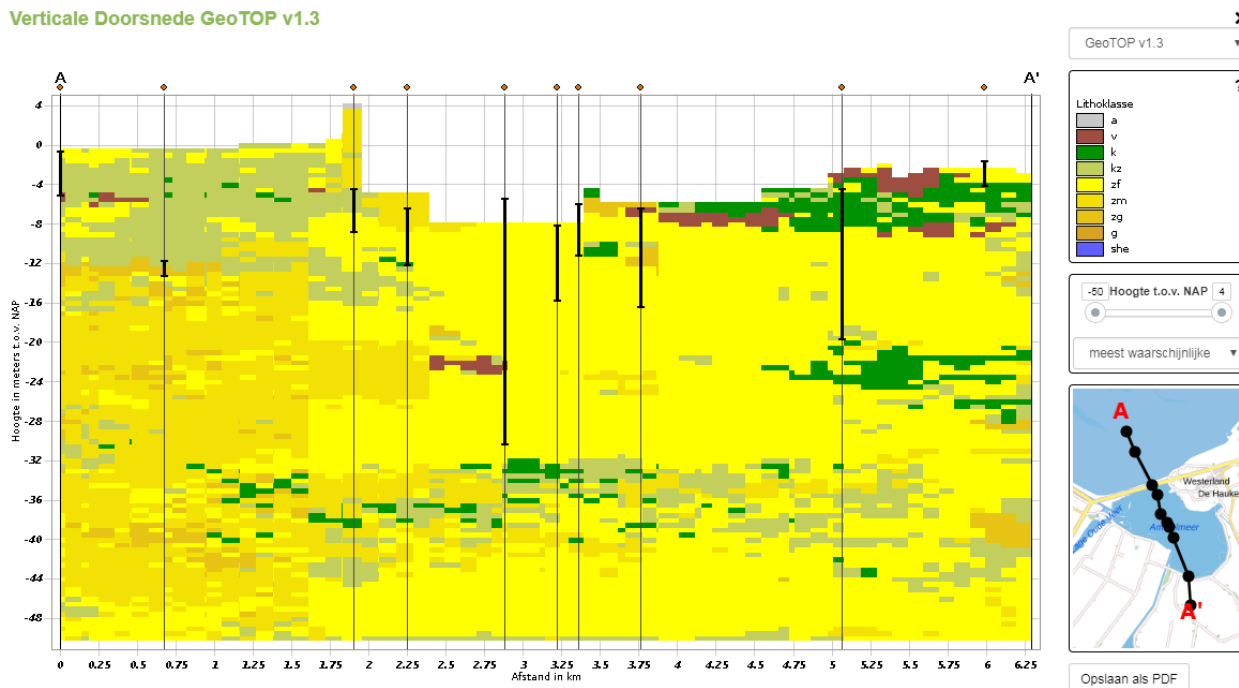
4.8 Verklaring op basis van geohydrologische profielen

De respons van de stijghoogte op de buitenwaterstand is groter bij de diepe filters in het watervoerende pakket dan bij de filters in de tussenzandlaag. Op basis van de geohydrologische opbouw is dit goed verklaarbaar. Het watervoerende pakket bestaat uit een relatief dikke laag goed doorlatend zand. De

tussenzandlaag is dunner en heeft een lagere doorlatendheid. Daarnaast wordt de respons in de tussenzandlaag gedempt door kwel naar het bovenliggende pakket en/of naar oppervlaktewater.

Bij het Amstelmeer is de respons duidelijk minder groot dan meer richting Den Helder en Den Oever. Hier heeft het aanwezige oppervlaktewater een dempende werking op de respons. Dit werkt ook door in het watervoerende pakket doordat het Amstelmeer insnijdt in het watervoerende pakket. Dit is bijvoorbeeld te zien in doorsneden op basis van GeoTop, zie Figuur 20.

Verticale Doorsnede GeoTOP v1.3



Figuur 20 Doorsnede GeoTop over Amstelmeer met indicatie van de meest waarschijnlijke lithoklasse.

4.9 Inschatting betrouwbaarheid

Er zijn twee meetreeksen die een onverklaarbaar verloop van de meetreeksen laten zien. Dit zijn de punten Raai 11 – PB4-2 en Raai 4 – PB3-2. Deze punten zijn als onbetrouwbaar aangemerkt en niet gebruikt in deze studie.

Bij het opstellen van de spreidingsdiagrammen en het bepalen van de correlatie tussen de buitenwaterstand en de stijghoogte valt op dat bij meetpunt Raai_06_PB5-2 duidelijk een lagere correlatie wordt berekend. De geëxtrapoleerde stijghoogte bij waterstand bij norm (2073) is hier niet betrouwbaar. Op deze locatie is wel een diep filter aanwezig waarvoor een betrouwbare stijghoogte bij waterstand bij norm (2073) kan worden berekend.

Voor de overige meetpunten is de gevonden correlatie redelijk goed (Pearson R hoger dan 0.7). Bij de diepe filters is een sterkere respons van de stijghoogte op de buitenwaterstand. De berekende correlatie is voor deze diepe filters ook hoger.

De gevonden respons van circa 20% tot 30% komt ook goed overeen met de resultaten van het Fugro onderzoek uit 1999 [Metingen bij stormopzet (dec. 1999) Balgzanddijk op 6.850 en op 8.850. FUGRO, december 1999].

Bij het opstellen van de geohydrologische uitgangspunten is rekening gehouden met de onzekerheid in de berekende stijghoogte bij waterstand bij norm (2073) door verschillende scenario's op te stellen (zie bijlage C bij het hoofdrapport).

5 Conclusies

5.1 Overzicht resultaten

Tabel 4 Overzicht van berekende stijghoogte bij waterstand bij norm (2073) 2070 per meetpunt / filter.

Meetpunt	waterstand bij norm (2073) 2070 (m + NAP)	bij waterstand bij norm (2073) 2070 (m + NAP)	Pearson R	x	y	TopFitNAP	BotFitNAP	Dieptelabel	Respons
Raai_01_PB3-2	4.59	0.97	0.81	115147	549285	-7.50	-8.50	midden	25%
Raai_01_PB3-3	4.59	1.64	0.92	115147	549285	-13.00	-14.00	diep	39%
Raai_01_PB5-2	4.59	1.14	0.80	115138	549282	-8.52	-9.52	midden	26%
Raai_01_PB5-3	4.59	1.56	0.89	115138	549282	-13.02	-14.02	diep	36%
Raai_01_PB6-2	4.59	0.89	0.72	115125	549277	-8.51	-9.51	midden	21%
Raai_01_PB6-3	4.59	1.58	0.88	115125	549277	-13.01	-14.01	diep	34%
Raai_02_PB3-2	4.62	1.00	0.79	115624	548162	-6.51	-7.51	midden	24%
Raai_02_PB3-3	4.62	1.47	0.92	115624	548162	-13.01	-14.01	diep	36%
Raai_03_PB3-2	4.67	1.07	0.78	116831	546799	-7.51	-8.51	midden	26%
Raai_03_PB3-3	4.67	1.32	0.88	116831	546799	-13.01	-14.01	diep	34%
Raai_04_PB3-3	4.69	0.74	0.77	117694	546271	-11.93	-12.93	diep	24%
Raai_05_PB3-2	4.74	0.47	0.65	119147	545388	-7.64	-8.64	midden	18%
Raai_05_PB3-3	4.74	0.79	0.84	119147	545388	-13.04	-14.04	diep	31%
Raai_06_PB3-2	4.79	-0.29	0.69	120507	544616	-6.41	-7.41	midden	16%
Raai_06_PB3-3	4.79	-0.01	0.79	120507	544616	-13.01	-14.01	diep	22%
Raai_06_PB5-2	4.79	-0.24	0.33	120506	544594	-6.74	-7.74	midden	6%
Raai_06_PB5-3	4.79	-0.17	0.75	120506	544594	-12.99	-13.99	diep	21%
Raai_06_PB6-2	4.79	-0.48	0.61	120505	544575	-7.61	-8.61	midden	10%
Raai_06_PB6-3	4.79	-0.23	0.73	120505	544575	-13.01	-14.01	diep	18%
Raai_07_PB4-2	4.81	-0.04	0.71	121835	544945	-7.92	-8.92	midden	21%
Raai_08_PB3-2	4.84	1.16	0.94	123821	546021	-10.69	-11.69	diep	44%
Raai_09_PB3-2	4.86	0.87	0.87	125143	546824	-11.50	-12.50	diep	36%
Raai_10_PB5-2	4.86	1.56	0.64	126638	549162	-11.52	-12.52	diep	34%

5.2 Inschatting betrouwbaarheid

Er zijn twee meetreeksen die een onverklaarbaar verloop van de meetreeksen laten zien. Dit zijn de punten Raai 11 – PB4-2 en Raai 4 – PB3-2. Deze punten zijn als onbetrouwbaar aangemerkt en niet gebruikt in deze studie.

Bij het opstellen van de spreidingsdiagrammen en het bepalen van de correlatie tussen de buitenwaterstand en de stijghoogte valt op dat bij meetpunt Raai_06_PB5-2 duidelijk een lagere correlatie wordt berekend. De geëxtrapoleerde stijghoogte bij waterstand bij norm (2073) is hier niet betrouwbaar. Op deze locatie is wel een diep filter aanwezig waarvoor een betrouwbare stijghoogte bij waterstand bij norm (2073) kan worden berekend.

Voor de overige meetpunten is de gevonden correlatie redelijk goed (Pearson R hoger dan 0.7). Bij de diepe filters is een sterkere respons (rond de 30%) van de stijghoogte op de buitenwaterstand. De berekende correlatie is voor deze diepe filters ook hoger. Voor de middeldiepe filters ligt de respons rond de 19%.

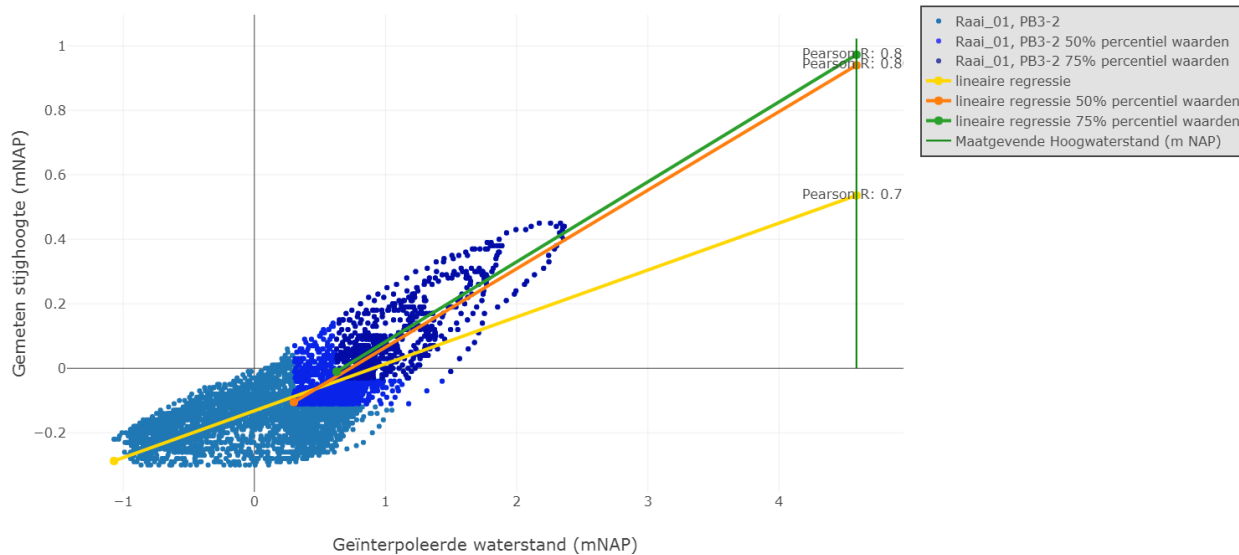
De gemiddelde berekende respons voor de filters bij de Balgzanddijk (raai 1 t/m 6) komt goed overeen met de door Fugro afgeleide respons van circa 20 tot 30%. Bij enkele filters is de respons wat hoger of lager, variërend van 18% tot 39% in de diepe filters en 6% tot 26% in de middeldiepe filters in de tussenzandlaag.

Bijlage 1

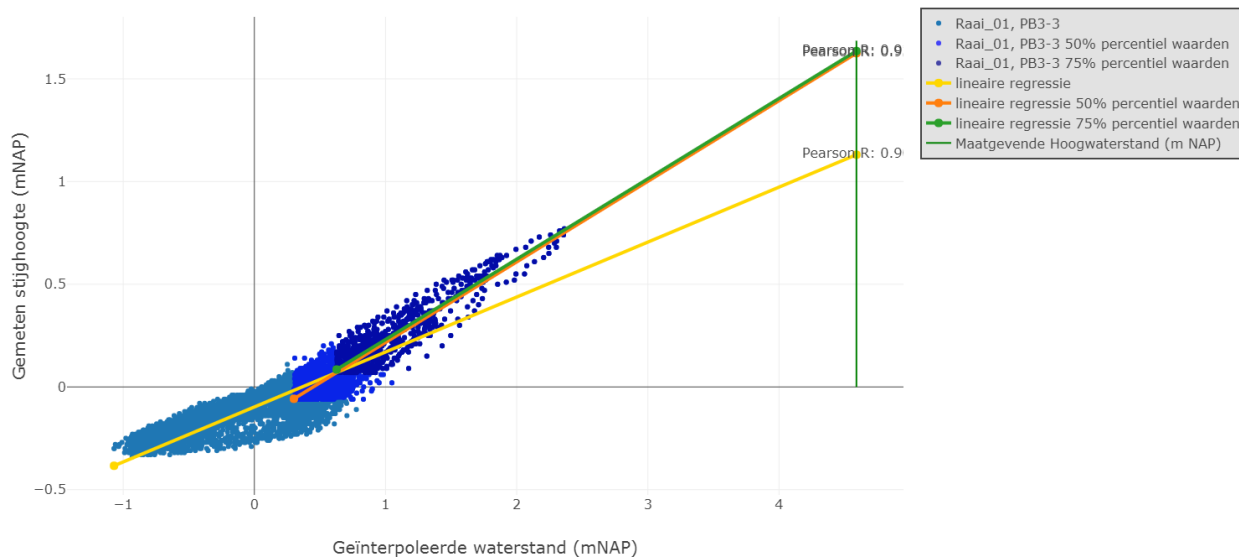
Spreidingsdiagrammen per filter

Raai 01

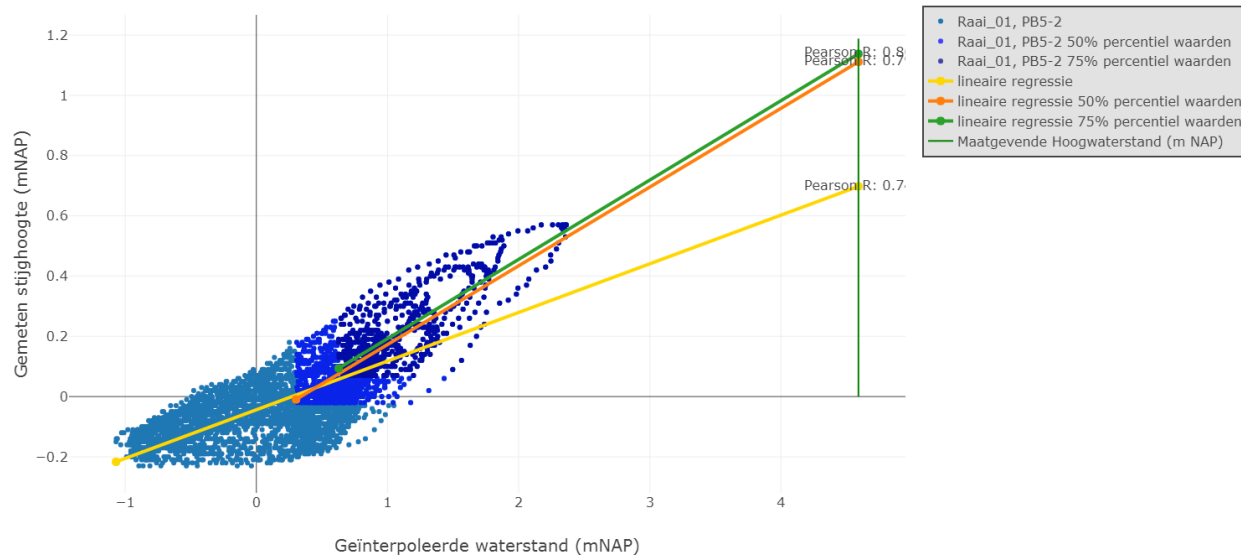
Spreidingsdiagram voor Raai_01, PB3-2



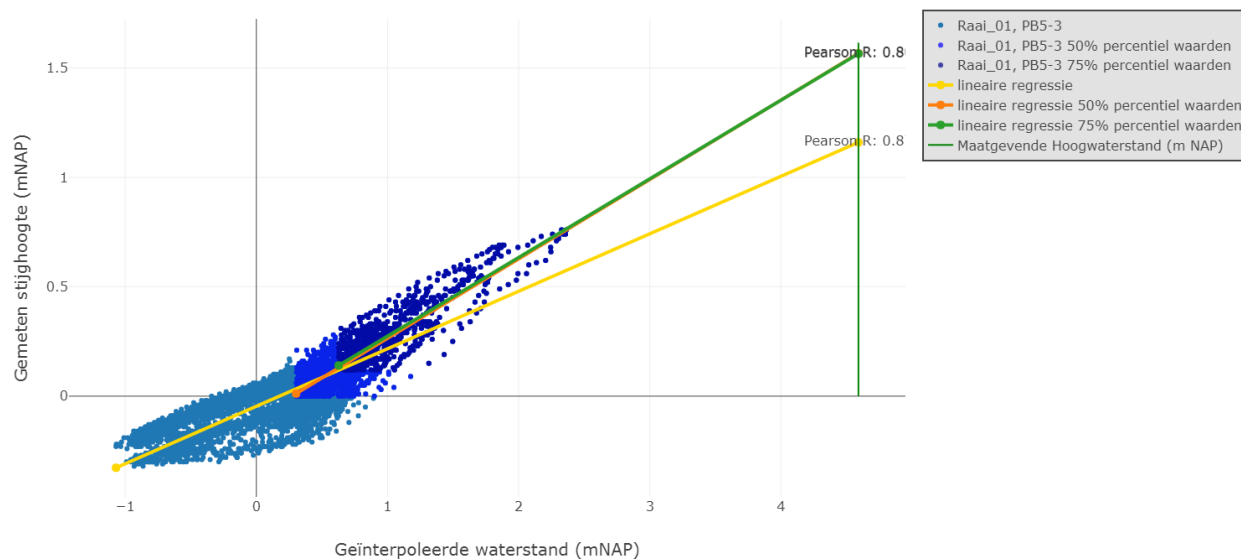
Spreidingsdiagram voor Raai_01, PB3-3



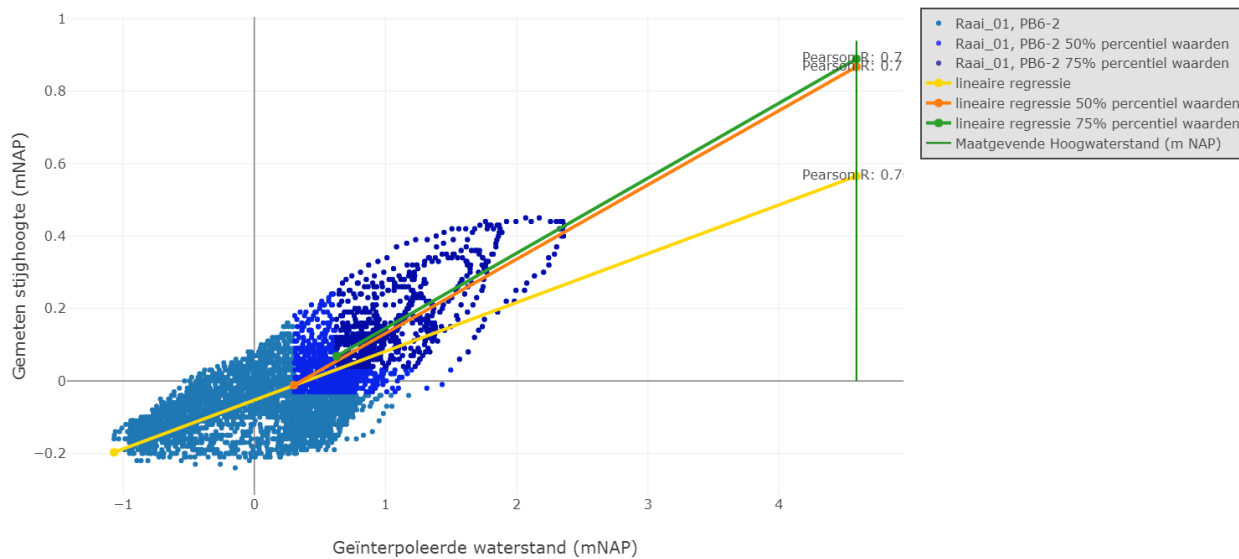
Spreidingsdiagram voor Raai_01, PB5-2



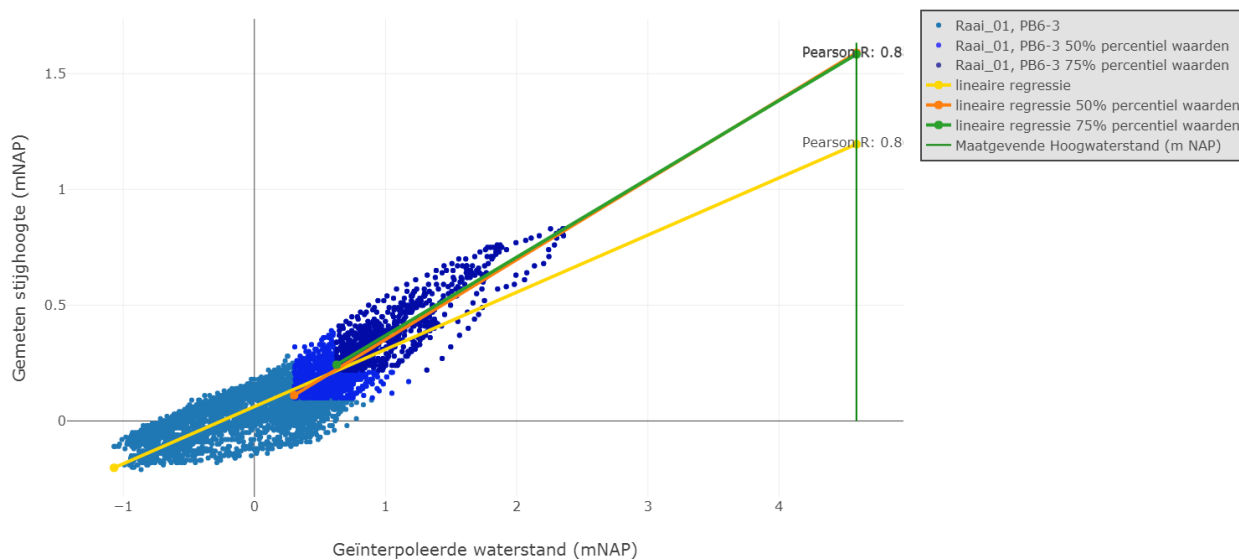
Spreidingsdiagram voor Raai_01, PB5-3



Spreadingsdiagram voor Raai_01, PB6-2

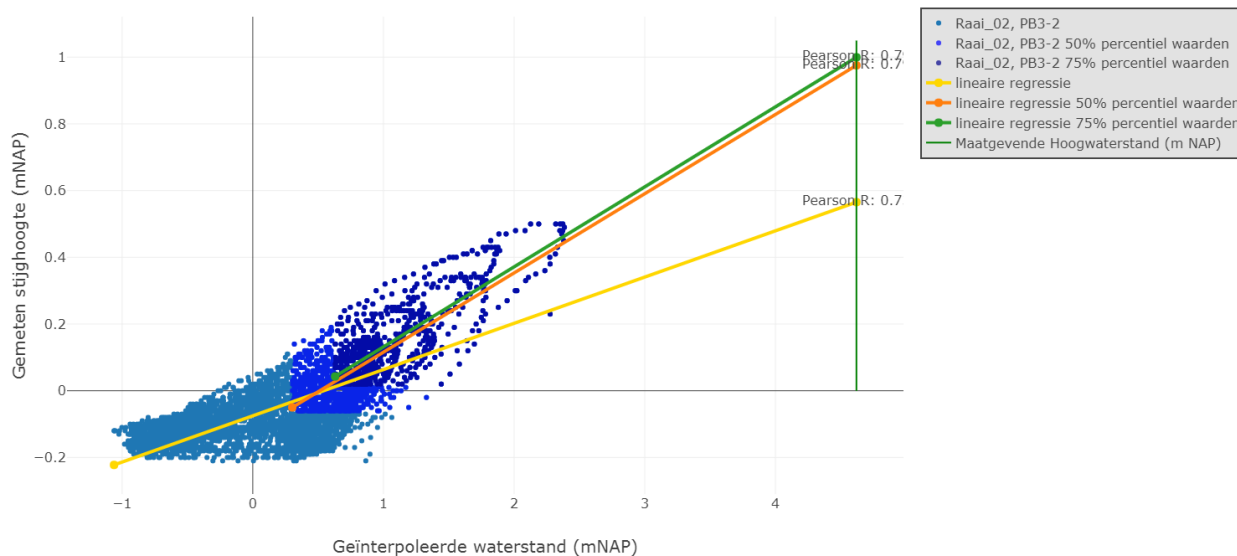


Spreadingsdiagram voor Raai_01, PB6-3

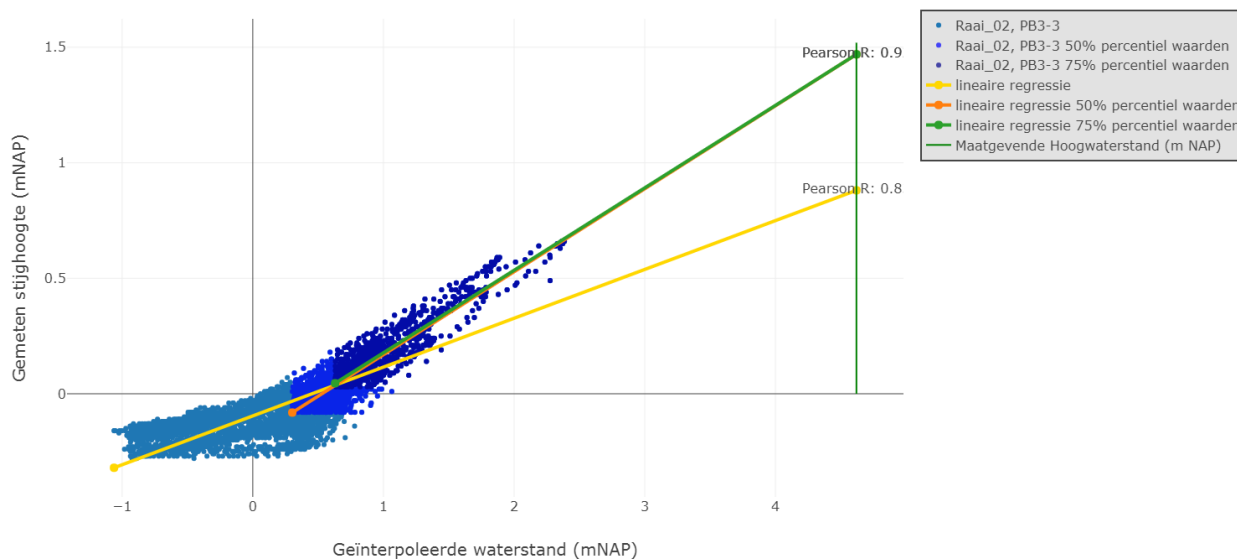


Raai 02

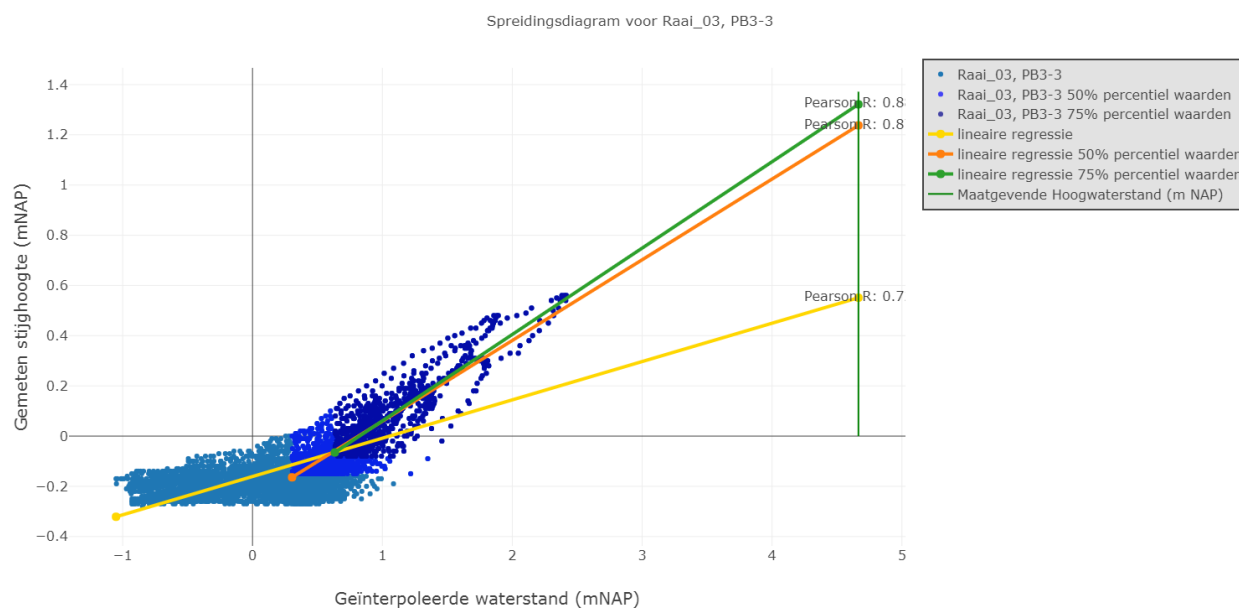
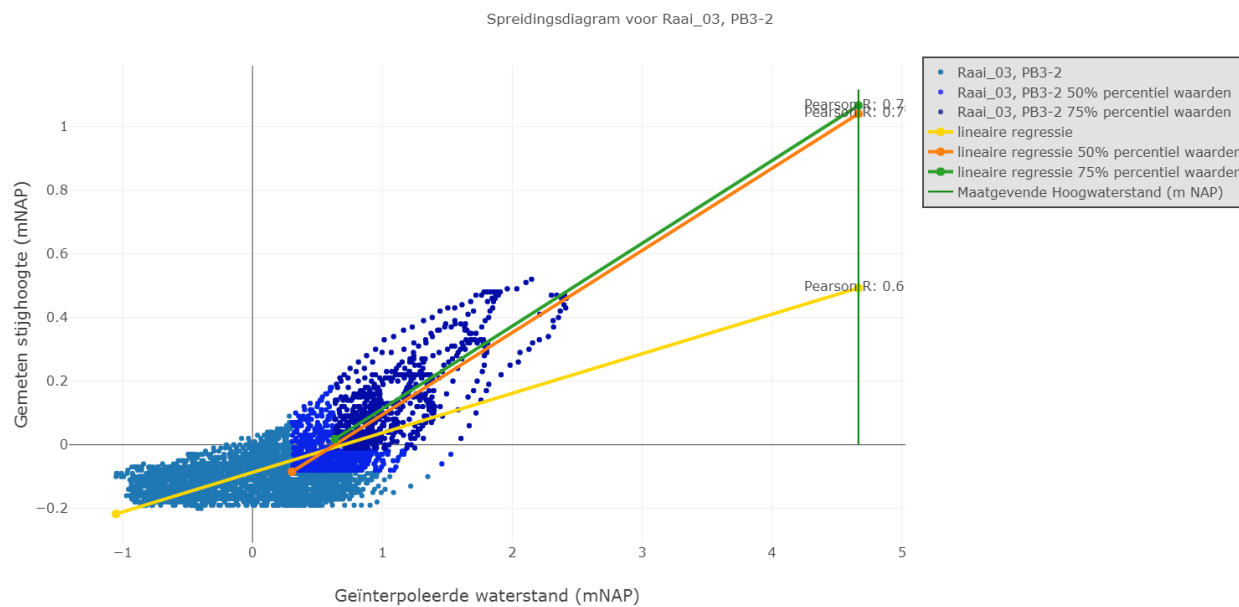
Spreidingsdiagram voor Raai_02, PB3-2



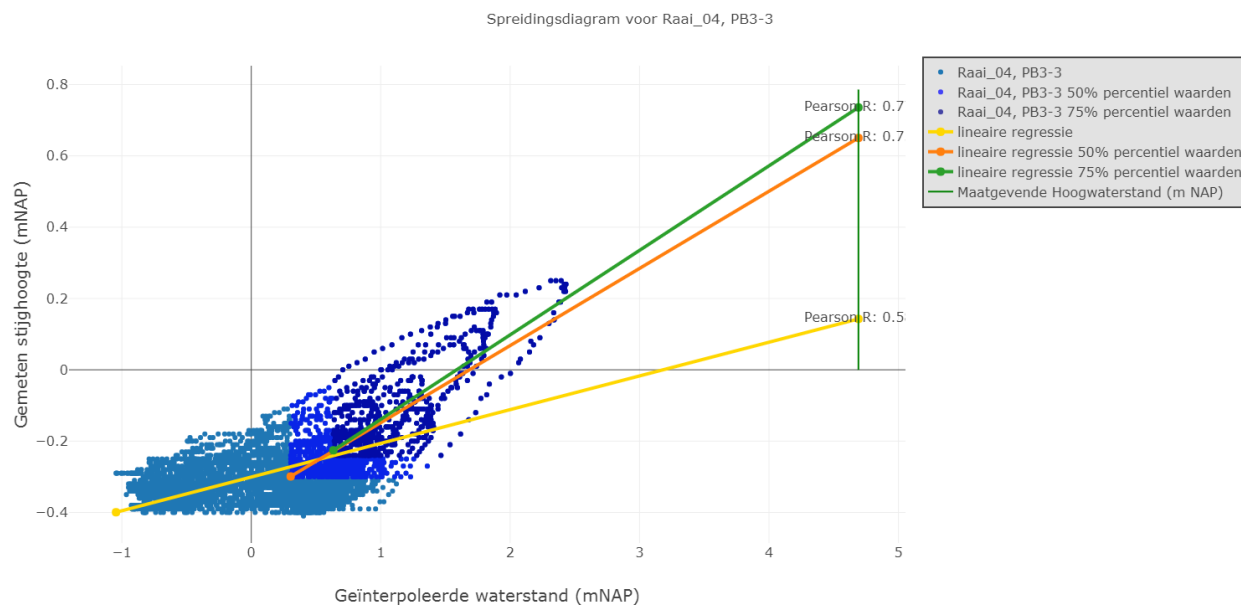
Spreidingsdiagram voor Raai_02, PB3-3



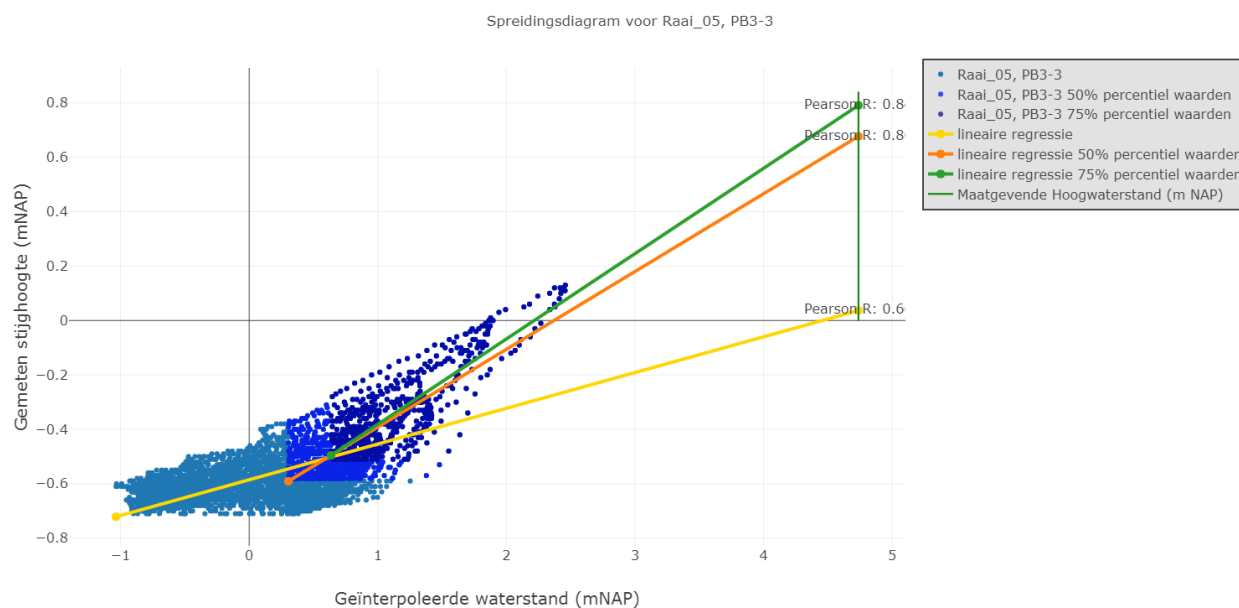
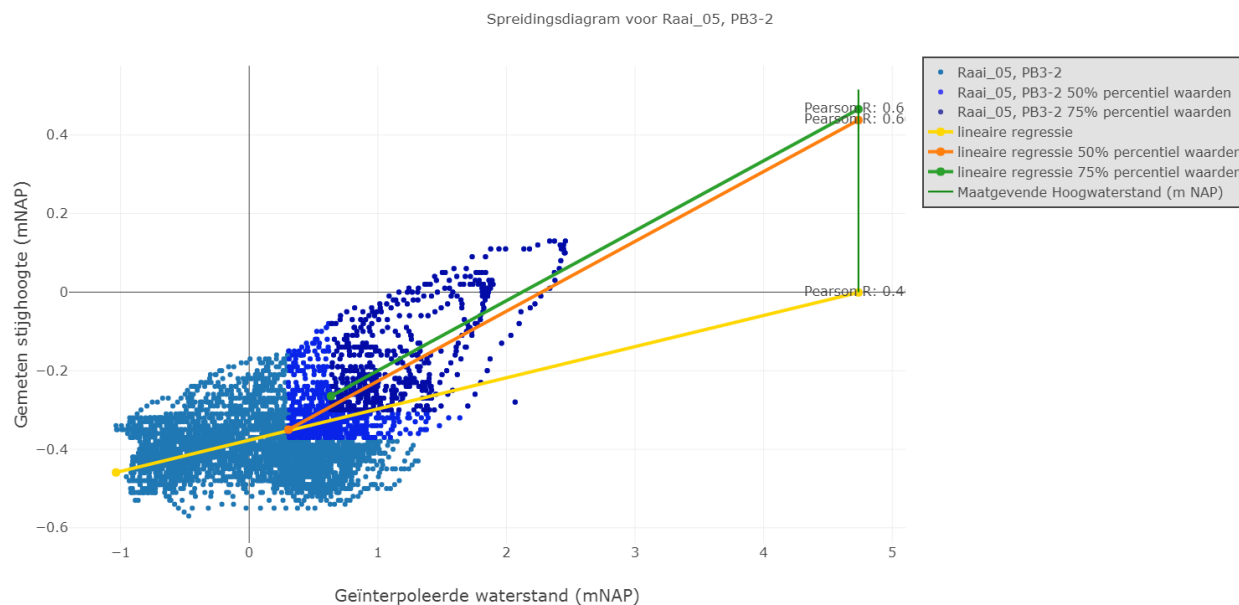
Raai 03



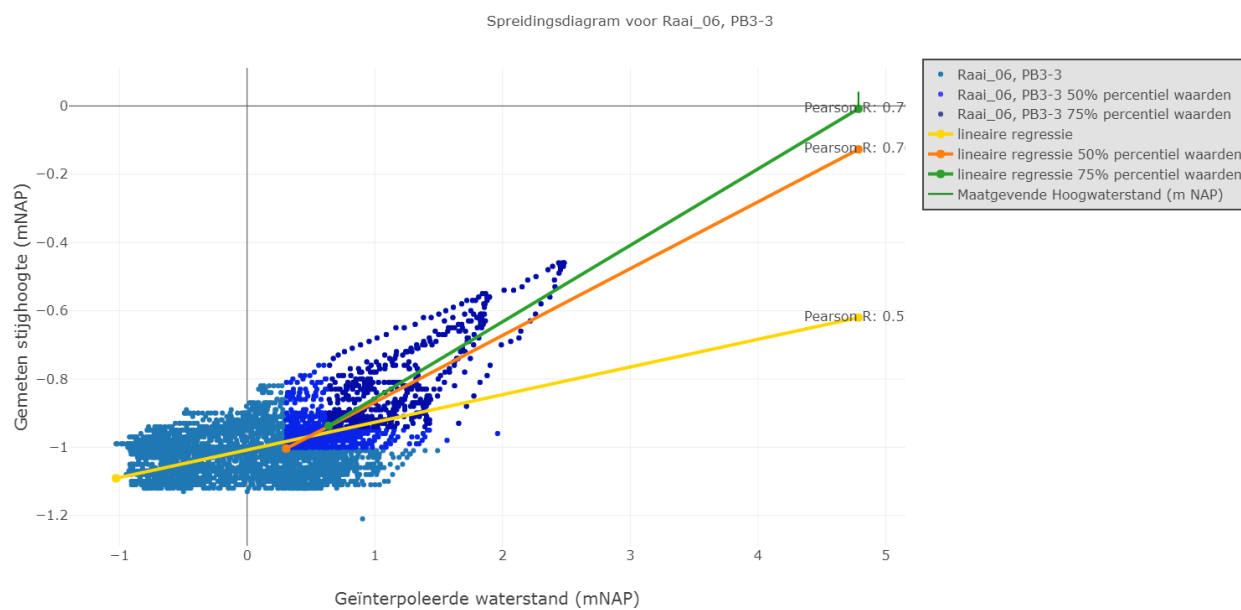
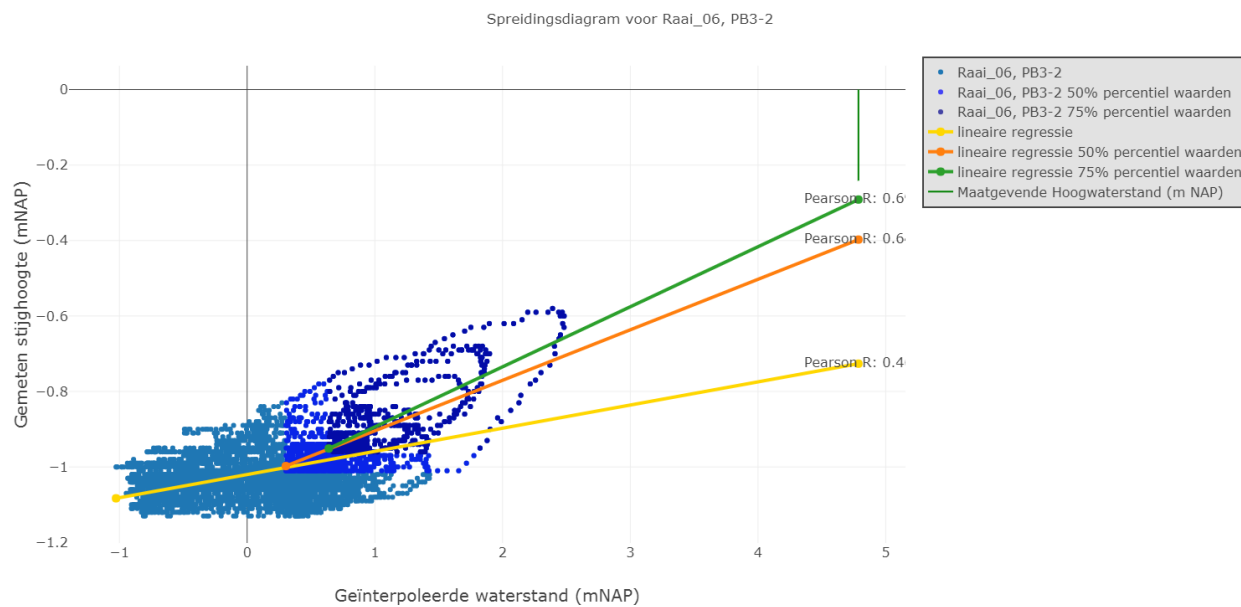
Raai 04



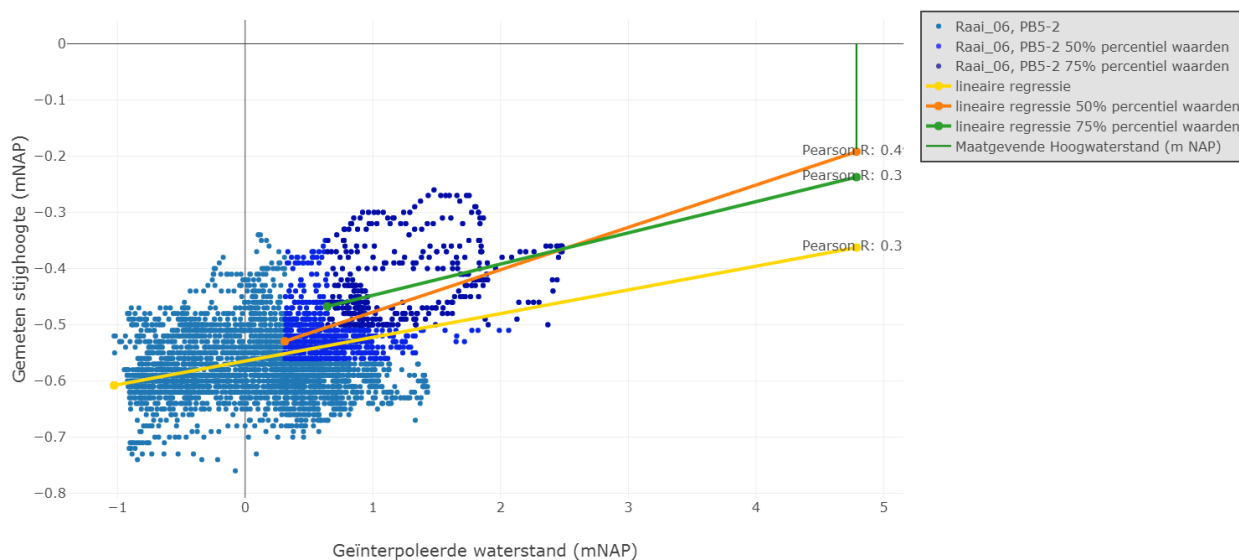
Raai 05



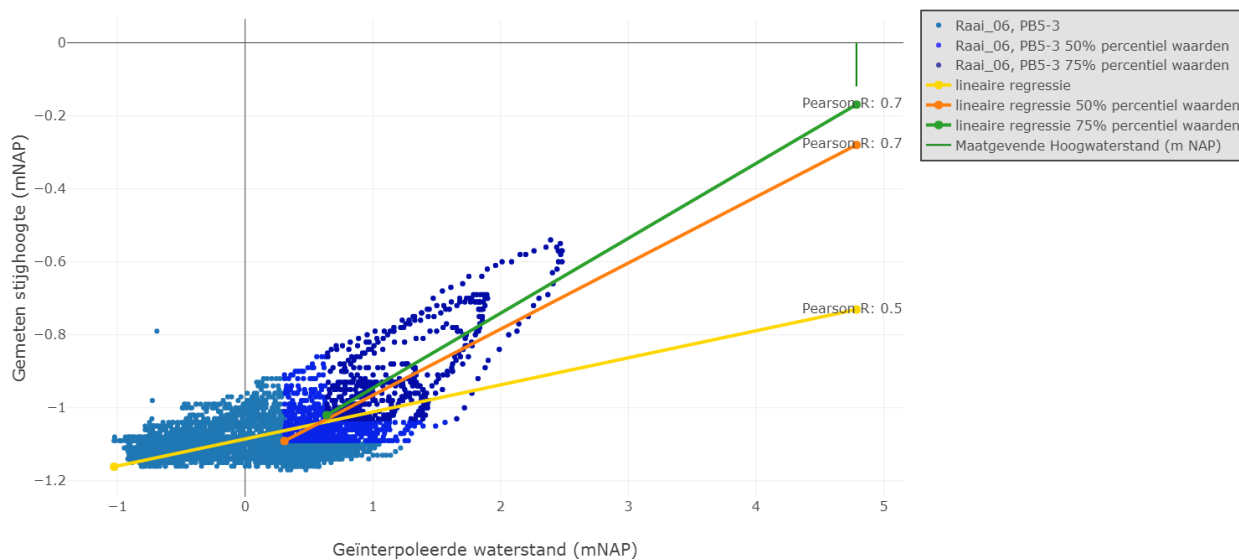
Raai 06



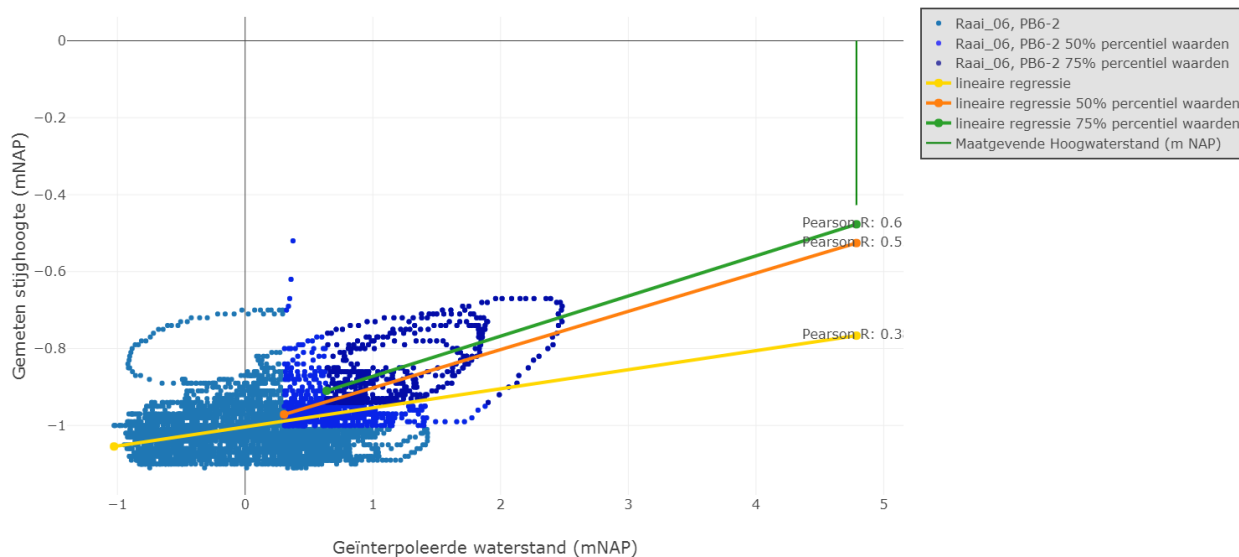
Spreadingsdiagram voor Raai_06, PB5-2



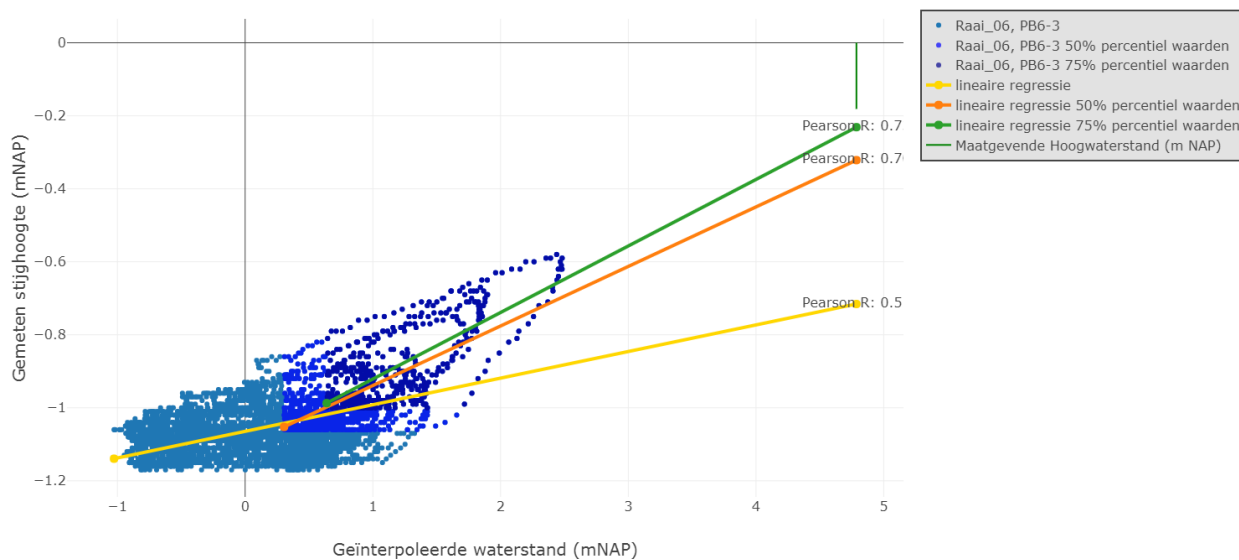
Spreadingsdiagram voor Raai_06, PB5-3



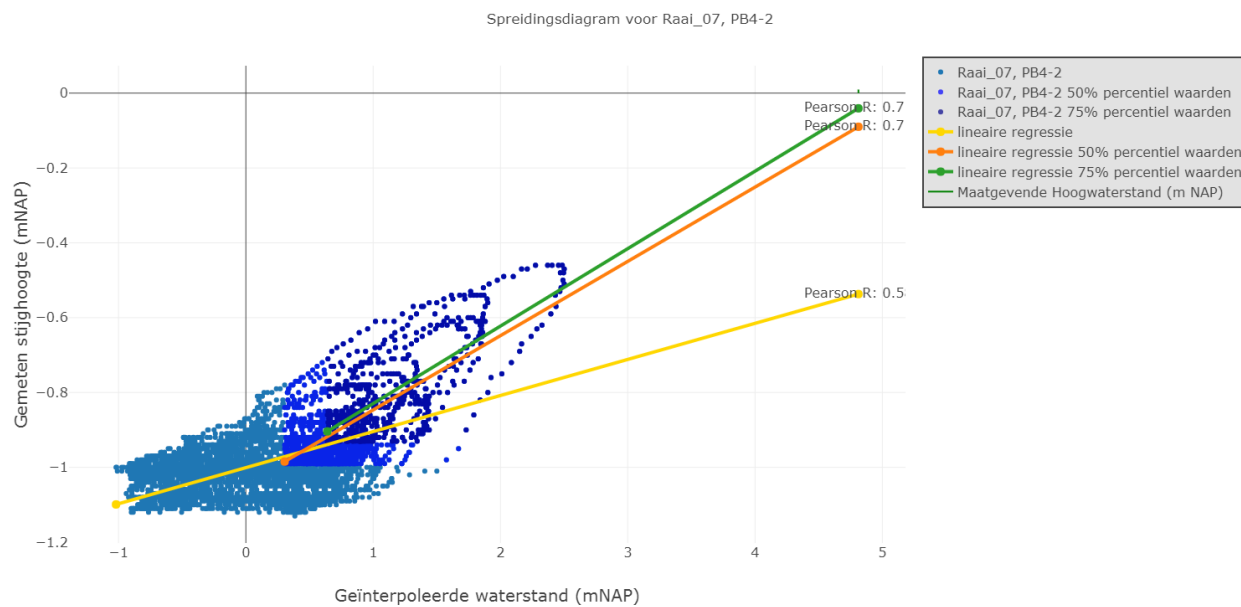
Spreadingsdiagram voor Raai_06, PB6-2



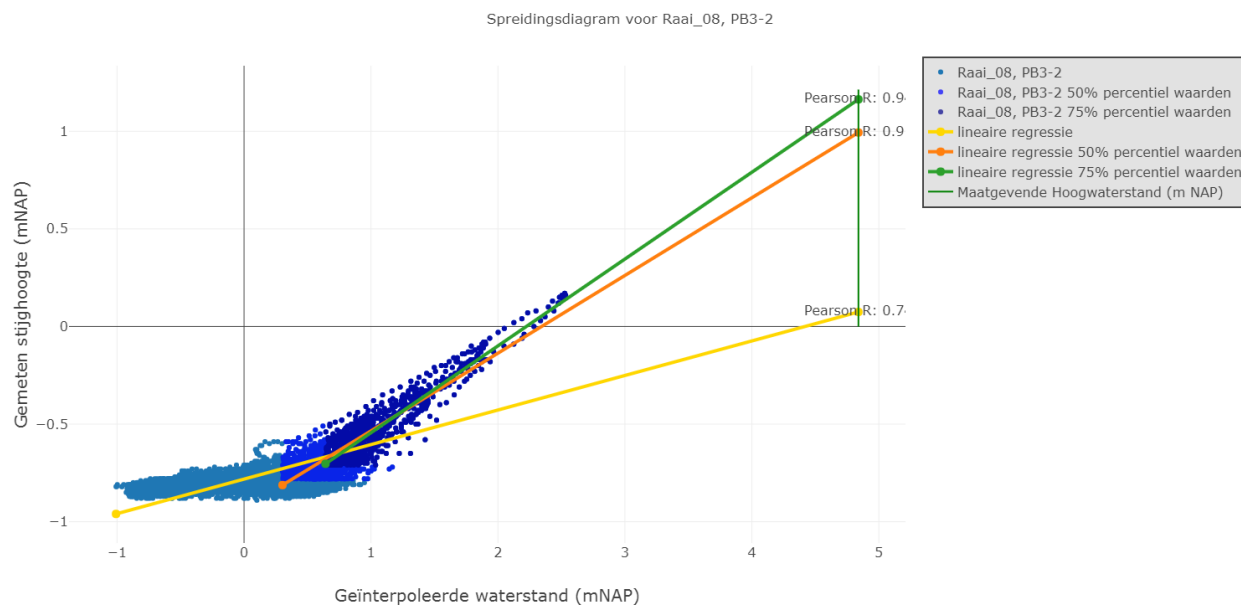
Spreadingsdiagram voor Raai_06, PB6-3



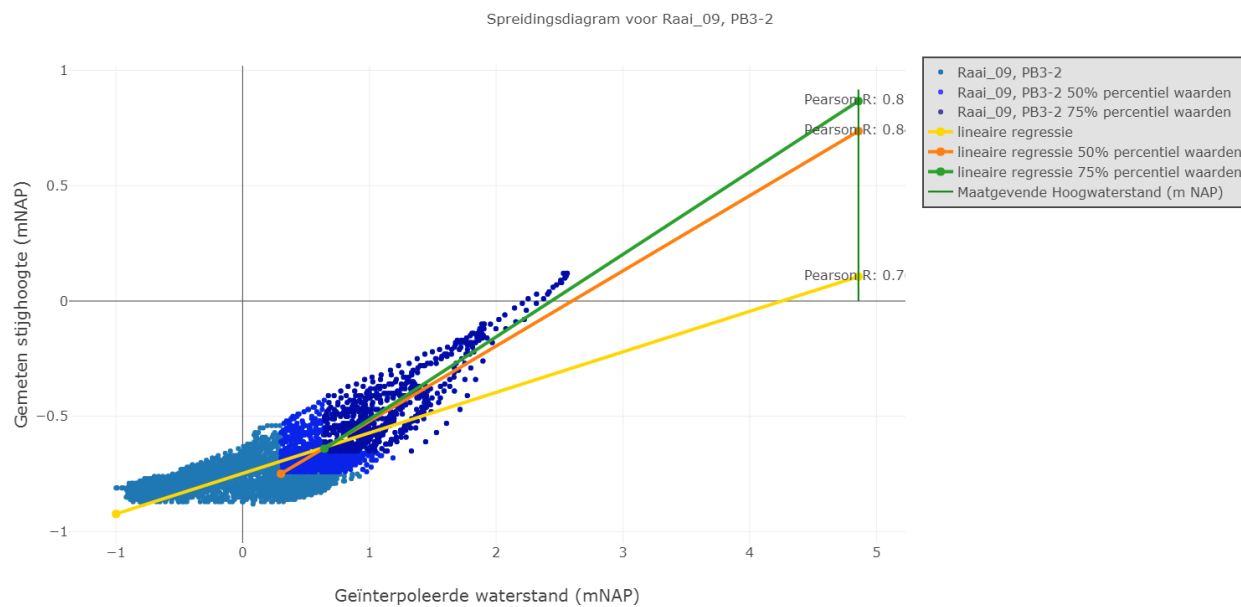
Raai 07



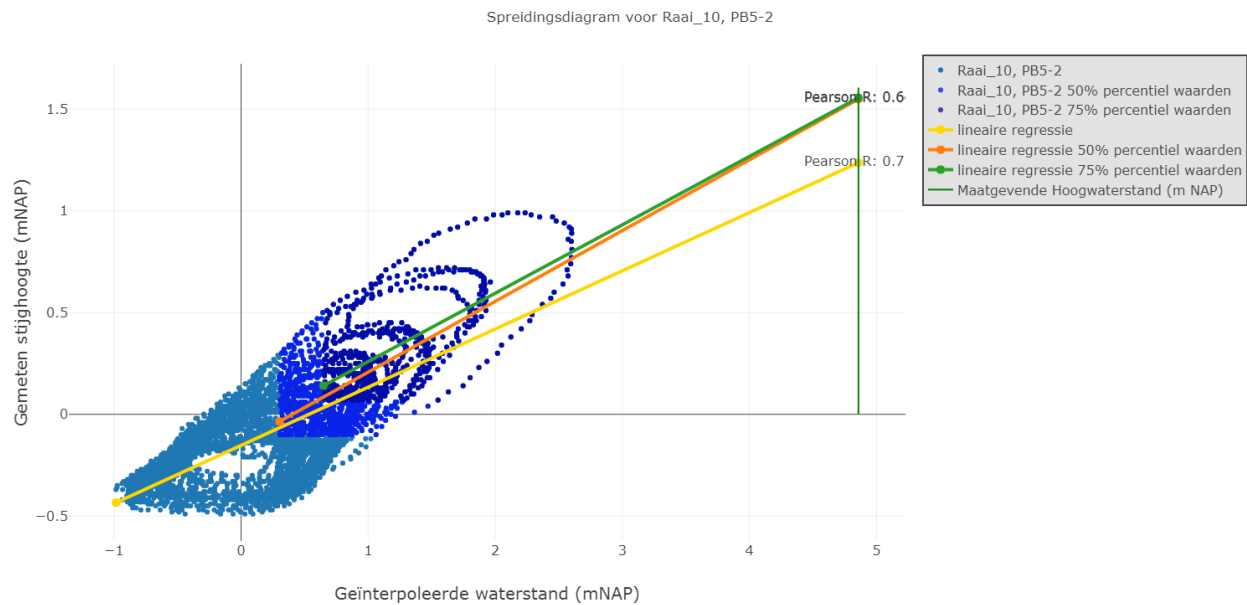
Raai 08



Raai 09



Raai 10





Raai 11

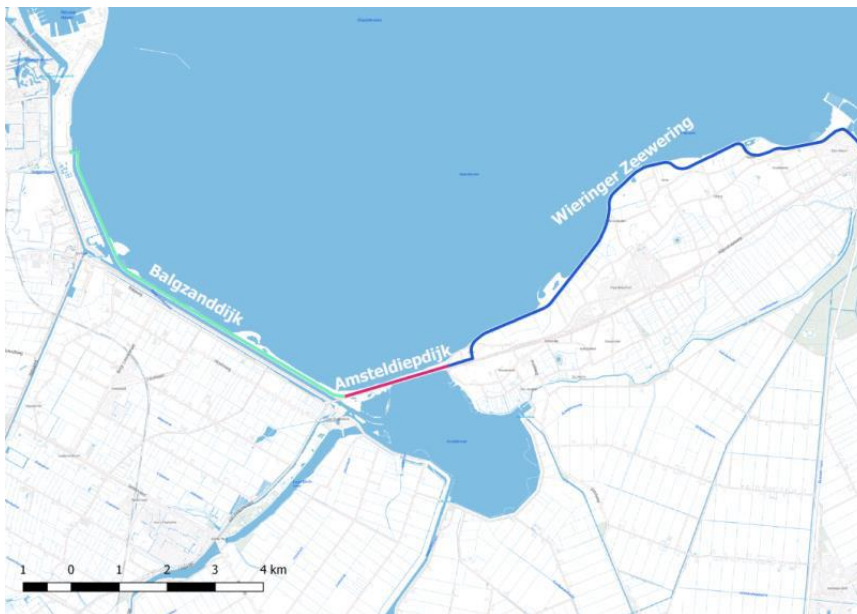
N.v.t.

Project : HWBP-Verkenning Den Oever Den Helder
Datum : 15 april 2019
Onderwerp : Veiligheidsanalyse macrostabiliteit (STBI en STBU)
Van: Jan Tigchelaar, Mick van Montfoort en Guy Dupuits

Veiligheidsanalyse macrostabiliteit (STBI en STBU)

1. Inleiding

Het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (HHNK) is als beheerder gestart met de verkenningfase van het HWBP-project Den Oever Den Helder (DODH). In dit traject liggen de drie aansluitende dijkvakken: Wieringerzeewering, Amsteldiepdijk en Balgzanddijk (Figuur 1). In de verkenningfase dient de definitieve veiligheidsopgave te worden bepaald.



Figuur 1: Ligging traject Den Oever Den Helder.

Om de definitieve veiligheidsopgave te bepalen is een voorstel voor nader onderzoek voor macrostabiliteit (en asfalt) gemaakt [1] op basis van gevoeligheidsanalyses. Het nader onderzoek naar macrostabiliteit focust zich met name op de onderbouwing van de ligging van de freatische lijn, de respons van de stijghoogte in de diepere ondergrond op het buitenwater en het opbarsten van de deklaag onder en achter de dijk. Daarnaast zijn enkele nieuwe inzichten, informatiebronnen en reviewresultaten beschikbaar gekomen die verwerkt kunnen worden in de geotechnische schematiseringen. Uit de eerdere fase is gebleken dat het niet zinvol is om meer informatie te verzamelen over de opbouw van de diepere ondergrond voor het verder aanscherpen van de ondergrondscenario's.

Dit nadere onderzoek voor macrostabiliteit heeft alleen betrekking op dijktracé Balgzanddijk omdat enkel deze dijkstrekking niet voldeed aan de eisen uit de Waterwet ten aanzien van dit beoordelingsspoor. Dit betrof voor het zichtjaar 2023 7,8 km voor de binnenwaartse macrostabiliteit (STBI) en 2,0 km voor de buitenwaartse macrostabiliteit (STBU). Voor zichtjaar 2073 neemt alleen de lengte voor buitenwaartse macrostabiliteit toe tot 2,5 km. Voor een gedetailleerd beeld van de voorlopige veiligheidsopgave wordt verwezen naar Hoofdstuk 1 van [1] en [3].

Voorliggende notitie beschrijft het uitgevoerde nadere onderzoek ter aanscherping van de veiligheidsopgave voor de macrostabiliteit van de Balgzanddijk.

2. Aanpak

De definitieve veiligheidsopgave is bepaald door de dijkvakken die niet voldoen aan de binnenwaartse macrostabiliteit (STBI) en buitenwaartse macrostabiliteit (STBU) nogmaals te beoordelen aan de hand van de eerdere schematisaties, berekeningen en beoordelingen en nieuw verzamelde of niet eerder gebruikte informatie [4], [5] met betrekking tot de geotechnische grondopbouw en het geohydrologisch gedrag van de waterkering [6].

3. Uitgangspunten

Bij de uitwerking van de binnenwaartse en buitenwaartse stabiliteit zijn de volgende generieke uitgangspunten aangehouden:

- Alleen de dijkvakken die in eerdere fases niet aan de eisen voldoen zijn nader beschouwd. Aangenomen is dat de dijkvakken die wél voldoen ook met de nieuwe informatie aan de eis zullen voldoen, vanwege de conservatieve insteek van de eerder opgestelde schematisering.
- Uit eerdere beschouwingen is gebleken dat het niet zinvol was om meer informatie te verzamelen over de opbouw van de diepere ondergrond ten behoeve van het aanscherpen van de ondergrondscenario's. Desondanks is nieuwe ondergrondinformatie beschikbaar gekomen vanuit de andere informatiebehoeftes. Per dijkvak is daarom de grondopbouw op details aangepast. Bij significante verschillen zijn extra ondergrondscenario's aangemaakt.
- Op basis van een geohydrologische analyse van uitgevoerde peilbuismetingen zijn de geohydrologische uitgangspunten voor de stabiliteitsberekeningen opnieuw bepaald. Op basis hiervan zijn verschillende scenario's ontwikkeld [2] voor de stijghoogte in de watervoerende zandlaag en voor de ligging van de freatische lijn voor een groot aantal meettraaien. Uit de analyse is gebleken dat de stijghoogte en de freatische lijn niet gecorreleerd zijn. Per dijkvak is één meetraai representatief gekozen op basis van afstand tot het dijkvak (visueel). Zie bijlage III.
- Bij de bepaling van de faalkans van de doorsnedes is gebruik gemaakt van expliciete ondergrondscenario's met een kans van voorkomen. Een schematiseringsfactor is niet toegepast. De keuze hiervoor is gemaakt vanwege het feit dat hier nog steeds om een opgavebepaling gaat. Feitelijk is hiermee de werkwijze vanuit de beoordeling doorgezet.
- Bij de berekeningen is de stabiliteit beschouwd in het zichtjaar 2073 waarbij de eisen zijn afgeleid van de maximale overstromingskans van de norm. De faalkansbegroting is aangescherpt en opzichte van de standaard begroting. De bijdrage van STPH aan de totale faalkans is verkleind van 24% naar 21%. Dit levert 3% extra kansruimte op voor STBI,

waarmee de bijdrage van STBI van 4% naar 7% gaat. Deze verschuiving in de faalkansbegroting heeft geen invloed op het veiligheidsoordeel voor STPH. Per beoordelingsspoor zijn aanvullende uitgangspunten gekozen en aannames gedaan. Deze zijn in de betreffende paragrafen beschreven.

Binnenwaartse macrostabiliteit (STBI)

Bij de nadere uitwerking van de binnenwaartse macrostabiliteit zijn de volgende specifieke nadere keuzes/schematisaties gemaakt ten opzichte van vorige fases:

- **Scenario ontwikkeling.** In dit beoordelingsspoor zijn expliciete scenario's doorgerekend in D-Geo Stability, versie 18.1. De scenario's zijn als volgt afgeleid:
 - Voor de ondergrond zijn extra scenario's toegevoegd waar dit nodig is geacht op basis van nieuwe ondergrondinformatie. Als gevolg daarvan zijn er per vak één of twee ondergrondscenario's gedefinieerd. Bij twee ondergrondscenario's is voor beide een kans van 50% aangehouden.
 - Voor de stijghoogte in de watervoerende zandlaag zijn twee scenario's met bijbehorende kansen ontwikkeld [2]
 - Voor de ligging van de freatische lijn zijn drie scenario's met bijbehorende kansen ontwikkeld [2]. Dit betreft de volgende scenario's:
 - Basis,
 - Scenario 1: Opbolling buitentalud - Freatische waterstand ter plaatse van het buitentalud +1,0 m, schematisering aan de binnenteen ongewijzigd. Dit scenario heeft een kans van optreden <10%.
 - Scenario 2: Opbolling kruin - Freatische waterstand ter plaatse van de kruin +1,0 m, schematisering aan de buiten- en binnenteen ongewijzigd. Dit scenario heeft een kans van optreden van <10%.Als rekenwaarde voor de freatische lijn wordt aangehouden dat de freatische lijn wordt verhoogd met 0,1m (10% x 1,0m) ."
- Het stijghoogteverloop over de bekleding is gemodelleerd als een verloop over 0,5m (in dwarsrichting op de dijk)

De expliciete rekenscenario's voor STBI bestaan uit combinaties van bovenstaande scenario's. Zo zijn er per vak 6 (bij één ondergrondscenario) of 12 (bij twee ondergrondscenario's) expliciete scenario's berekend. De scenario's zijn niet gecorreleerd verondersteld en sluiten elkaar uit. De kansen van voorkomen van de gecombineerde scenario's zijn het product van de kansen op de afzonderlijke scenario's (ondergrond, stijghoogte, freatische lijn). In bijlage I zijn alle scenario's voor STBI weergegeven.

- **Opbarsten.** Voorafgaand aan de stabiliteitsberekeningen is, uitgaande van de geohydrologische schematisering, getoetst of en waar opbarsten in de doorsnede kan optreden (veiligheid <1,2). Indien dit het geval was, en de locaties duidelijk waren, is beoordeeld welke locatie in de doorsnede maatgevend is voor het opbarsten van de deklaag. Op deze locatie is de grenspotential berekend. Vanaf dit punt is de stijghoogte lineair oplopend naar het eerste punt van opbarsten geschematiseerd. Dit geeft bij korte afstanden tussen dit maatgevend punt en het eerste punt van opbarsten een relatief hoge stijghoogte (en lagere sterkte) in de indringingslaag. De schematisatie wordt wel aannemelijk geacht vanwege de weerstand als gevolg van het radiale uitstromen van grondwater uit de acquifer in de opbarstzone. Tenslotte is de breedte van de opbarstzone getoetst aan een minimale waarde van 20m. Sterktereductie van grondlagen heeft alleen plaatsgevonden indien de deklaag dunner was dan 4m. De resultaten van de opbarstberekeningen zijn beschreven in Bijlage IV.
- **Faalkans doorsnede.** De faalkans van de beschouwde doorsnedes is berekend aan de hand van de kalibratieformule uit de schematiseringshandleiding voor macrostabiliteit (en

de maximale overstromingskans). De faalkans van de doorsnede is bepaald uit een gewogen sommatie over de verschillende scenario's.

- **Rekenprocedure.** Bij de berekening van de stabiliteit is getrapt gewerkt. Alle dijkvakken zijn eerst doorgerekend met de schematisatie van de waterspanningen op basis van raai 6 (R6) vanwege onduidelijkheden over de waarde van bepaalde metingen in combinatie met de beperkte beschikbare doorlooptijd voor analyse. Vervolgens bleek een nadere verfijning haalbaar voor de raaien R1 t/m R5 haalbaar en is vervolgens ook uitgevoerd. Dit leidt tot het eindresultaat van de berekeningen.

Onderstaande tabel geeft de berekende kansen per vak weer. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen de oorspronkelijke kans op basis van de WBI beoordeling fase 2 [7], de faalkans bij een eerste generieke schematisering (R6) en de faalkans bij een verfijnde schematisering van de waterspanningen. De verfijnde schematisering is leidend voor de opgave. De laatste kolom geeft de faalkanseis op doorsnedeniveau bij de ondergrens weer.

Dijkvak	Was $P_{f,dsn}$ [-]	Huidig (o.b.v. R6) $P_{f,dsn}$ [-]	Huidig $P_{f,dsn}$ [-]	Faalkanseis (ondergrens) $P_{eis;ond;dsn}$ [-]
13005.1	5.95E-04	3.18E-06	1.52E-06	8.97E-06
13005.2	3.09E-03	1.10E-06	5.39E-07	8.97E-06
13006.1	4.48E-03	2.16E-06	6.39E-07	8.97E-06
13006.2	5.95E-04	8.98E-07	2.31E-07	8.97E-06
13006.3	9.09E-02	8.08E-07	8.81E-08	8.97E-06
13006.4	1.75E-02	1.65E-05	8.19E-06	8.97E-06
13006.5	9.09E-03	3.20E-06	1.20E-06	8.97E-06
13006.6	4.48E-03	2.10E-05	5.22E-06	8.97E-06
13006.7	3.57E-02	6.26E-04	4.76E-04	8.97E-06
13006.8	2.09E-03	5.02E-04	3.89E-04	8.97E-06
13006.9	5.95E-04	3.99E-04	3.89E-04	8.97E-06
13006.10	4.17E-02	1.66E-04	1.65E-04	8.97E-06
13006.11	1.88E-04	3.51E-05	3.04E-05	8.97E-06
13007.1	1.43E-01	3.92E-05	3.33E-05	8.97E-06
13007.2	1.75E-02	2.39E-06	2.10E-06	8.97E-06

Tabel 1: Berekende stabiliteitsfactoren Balgzanddijk STB.I

Buitenwaartse macrostabiliteit (STBU)

Bij de nadere uitwerking van de buitenwaartse macrostabiliteit zijn de volgende specifieke nadere keuzes/schematisaties gemaakt ten opzichte van vorige fases:

- **Schematisatie ondergrond en dijkopbouw.** De schematisatie per dijkvak is identiek aan de aangepaste schematisatie bij binnenwaartse macrostabiliteit.
- **Belastingcombinaties.** In de analyse is alleen de belastingcombinatie val van buitenwaterstand (waterstand bij de norm) naar springtij laagwater (NAP-0,8m) met verhoogde freatische lijn doorgerekend. Deze combinatie wordt als bepalend voor de faalkans beschouwd. Bij de schematisatie van de freatische lijn is uitgegaan van een val die in circa 24u optreedt. Aan de hand van een PlaxFlow berekening is de schematisatie hiervoor afgeleid. Dit vormt input voor deze berekeningen.
- **Respons freatische lijn.** De freatische lijn in de dijk is identiek aan de situatie bij hoog water.

- **Scenario ontwikkeling.** In dit beoordelingsspoor zijn expliciete scenario's doorgerekend in D-Geostability, versie 18.1. De scenario's zijn als volgt afgeleid:
 - Voor de ondergrond zijn extra scenario's toegevoegd waar dit nodig is geacht op basis van nieuwe ondergrondinformatie. Als gevolg daarvan zijn er per vak één of twee ondergrondscenario's gedefinieerd. Bij twee ondergrondscenario's is voor beide een kans van 50% aangehouden.
 - Voor de ligging van de freatische lijn zijn drie scenario's met bijbehorende kansen ontwikkeld [2]. Dit zijn dezelfde scenario's als bij STBI: basis, scenario 1 met 1m hogere freatische lijn in buitentalud, scenario 2 met 1m hogere freatische lijnbij de kruin.

De expliciete rekenscenario's voor STBU bestaan uit combinaties van bovenstaande scenario's. Zo zijn er per vak 3 (bij één ondergrondscenario) of 6 (bij twee ondergrondscenario's) expliciete scenario's berekend, elk met een bepaalde kans van voorkomen. De scenario's zijn niet gecorreleerd verondersteld en sluiten elkaar uit. In bijlage II zijn alle scenario's voor STBU weergegeven.

- **Faalkans doorsnede.** De faalkans van de beschouwde doorsnedes is berekend aan de hand van de kallibratieformule uit de schematiseringshandleiding voor macrostabiliteit. De faalkans van de doorsnede is bepaald uit een gewogen sommatie over de verschillende scenario's.
- **Rekenprocedure.** Bij de berekening van de stabiliteit is getrapt gewerkt. Alle dijkvakken zijn eerst doorgerekend met de schematisatie van de waterspanningen op basis van raai 6 (R6). Daarna is voor de raaien R1 t/m R5 een schematisatie op maat gemaakt en gebruikt om de dijkvakken door te rekenen. Dit leidt tot het eindresultaat van de berekeningen.

Onderstaande tabel geeft de berekende kansen per vak weer. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen de oorspronkelijke kans op basis van de WBI beoordeling fase 2 [7], de faalkans bij een eerste generieke schematisering (o.b.v. R6) en de faalkans bij een verfijnde schematisering van de waterspanningen. De verfijnde schematisering is leidend voor de opgave. De laatste kolom geeft de faalkanseis op doorsnedeniveau bij de ondergrens weer.

Dijkvak	Was $P_{f,dsn}$ [-]	Huidig (o.b.v. R6) $P_{f,dsn}$ [-]	Huidig $P_{f,dsn}$ [-]	Faalkanseis (ondergrens) $P_{eis;ond;dsn}$ [-]
13006.3	1.48E-04	2.61E-05	2.31E-12	8.97E-05
13006.8	2.46E-05	1.75E-05	1.22E-06	8.97E-05
13007.1	2.46E-05	2.54E-05	5.39E-08	8.97E-05
13007.2	1.13E-03	9.61E-04	1.24E-05	8.97E-05

Tabel 2: Berekende stabiliteitsfactoren Balgzanddijk STBU.

4. Resultaten veiligheidsopgave

In onderstaande tabel is het eindoordeel gegeven van de uitgevoerde analyses. Tevens is ter indicatie aangegeven tot welk toetsoordeel per vak de nieuwe analyse leidt uitgaande van de signaleringswaarde en ondergrens en de zware hydraulische randvoorwaarden (maximale overstromingskans en zichtjaar 2073) .

Dijkvak	Oordeel STBI	Oordeel STBU
13005.1	Voldoet (IIv)	Voldoet (IIv)

13005.2	Voldoet (IIv)	Voldoet (IIv)
13006.1	Voldoet (IIv)	Voldoet (IIv)
13006.2	Voldoet (IIv)	Voldoet (IIv)
13006.3	Voldoet (IV)	Voldoet (IIv)
13006.4	Voldoet (IIIv)	Voldoet (IIv)
13006.5	Voldoet (IIv)	Voldoet (IIv)
13006.6	Voldoet(IIIv)	Voldoet (IIv)
13006.7	Voldoet niet (IVv)	Voldoet (IIv)
13006.8	Voldoet niet (IVv)	Voldoet (IIv)
13006.9	Voldoet niet (IVv)	Voldoet (IIv)
13006.10	Voldoet niet (IVv)	Voldoet (IIv)
13006.11	Voldoet niet (IVv)	Voldoet (IIv)
13007.1	Voldoet niet (IVv)	Voldoet (IIv)
13007.2	Voldoet (IIv)	Voldoet (IIv)

Tabel 3: veiligheidsopgave STBI en STBU.

Duiding STBI

De nieuwe schematisaties leiden voor alle vakken tot een toename van de stabiliteit en een afname van de faalkans, soms vele grootte orders lager. Vooral in het noordelijke deel van het dijktracé leidt dit tot dijkvakken die voldoen aan de eis. Dit wordt veroorzaakt door lagere ligging van freatische lijn en een lagere stijghoogte in de aquifer als gevolg van invloeden van de buitenwaterstand en kortsluiting met het kanaal. De lagere liggingen bleken uit extrapolatie van metingen. In het noordelijke deel (raaien R1 t/m R3 ofwel vakken 13005.1 t/m 13006.6) is de freatische lijn relatief lager, in het zuidelijke deel (vanaf DP 11,9) speelt vooral de invloed van de stijghoogte als gevolg van kortsluiting met het kanaal. In totaal voldoen nu 7 vakken aan de eis (in 2073).

Dijkvak 13006.4 en 13006.6 hebben een stabiliteit die net voldoet aan de eis. Dit is de reden dat het toetsoordeel per vak in een andere klasse valt.

De overige dijkvakken die niet voldoen aan de eis laten een stabiliteit zien in de range van 0,96 tot 1,1. Dit is geen groot veiligheidsrisico maar voldoet niet aan de eis. De respons in de aquifer ligt in de orde van 30%, dezelfde orde als bij de beoordeling van de dijkvakken. De freatische lijn ligt wat lager. De combinatie levert onvoldoende veiligheid.

Uit Bijlage I blijkt dat de stabiliteit niet veel verschil vertoont tussen de verschillende geohydrologische scenario's, waardoor de invloed van de geohydrologie beperkt lijkt. Toch leiden de nieuwe geohydrologische uitgangspunten tot een flinke afname van de faalkans (t.o.v. de WBI beoordeling fase 2). Dit kan worden verklaard door het feit dat opbarsten in de nieuwe schematisaties nauwkeuriger geschematiseerd is, met exacte bepaalde locaties van opbarsten en sterktereductie van de deklaag en bovendien met een significant lagere stijghoogte. De invloed van deze manier van schematiseren op de stabiliteit is blijkbaar groter dan de invloed van (kleine) afwijkingen in waterspanningen. Hierdoor is het verschil tussen de oorspronkelijke schematisaties en de nieuwe schematisaties (oude en nieuwe schematisatie opbarsten) groter dan het verschil tussen de verschillende scenario's van de nieuwe schematisaties (allemaal nieuwe schematisatie opbarsten).

Duiding STBU

De 4 beschouwde dijkvakken nemen door de nieuwe schematiseringen duidelijk in stabiliteit toe. Dit is ook conform verwachting omdat de freatische lijn in de dijkopbouw, die dominant is voor de

berekening, daalt. Een enkel scenario uitgezonderd loopt de stabiliteit op tot (soms ver) boven de 1,1. Dit resulteert in faalkansen die (meer dan) een orde grootte lager zijn. Daardoor voldoen alle vakken aan de eis.

5. Impact op veiligheidsopgave

De nadere analyses voor STBI laten zien dat de opgave ongeveer halveert en dat met name het noordelijke deel van de Balgzanddijk aan de eis voldoet.

Voor STBU is de conclusie dat er geen opgave is. Dit inzicht is ontstaan na verwerking en analyse van aanvullende (meet)informatie (freatische lijn en stijghoogte in de aquifer).

6. Referenties

- [1] plan van aanpak, P03, kenmerk: BF9084WATNT1808100801 / Asite kenmerk: DODH-RHD-TM-XX-RP-WA-0002, RHDHV, 23 augustus 2018
- [2] product G4- Geohydrologische uitgangspunten, kenmerk: BF9084-RHD-ZZ-XX-NT-Z-0005, RHDHV, 27 februari 2019
- [3] notitie veiligheidsanalyse & ontwerpogave, 18.0132239, HHNK, 26 maart 2018.
- [4] Geotechnisch lengteprofiel ter plaatse van Balgzandkanaal, Grondmechanisch onderzoek Balgzanddijk, Fugro, 1980)
- [5] Geotechnisch lengteprofiel ter plaatse Balgzanddijk, Hoofdonderzoek fase 10 Balgzanddijk deel 2: advies, Fugro, 1998)
- [6] HWBP verkenning Wieringerzeewering, Balgzanddijk en Amsteldiepdijk tussen De Kooy en Den Oever – Resultaten geotechnisch onderzoek en installatie monitoringsnet (Inpijn, 2019): bevat de recent uitgevoerde boringen
- [7] beoordeling dijktraject 13-5, HKV/Tauw, fase 2.

Bijlage I Scenario's STBI (wordt met verfijnde scenario's)

dijkvak	S ondergrond [-]	S Stijghoogte [-]	S Freatische lijn [-]	P _s [-]	SF [-]	P _f [-]	P _{f;s} [-]	P _{f;dsn} [-]
13005.1	sondering 1 (basis)	Basis (vak 1)	Basis	0.36	1.17	1.87E-06	6.74E-07	1.52E-06
			1	0.045	1.17	1.87E-06	8.42E-08	
			2	0.045	1.16	2.53E-06	1.14E-07	
		1	Basis	0.04	1.15	3.41E-06	1.36E-07	
			1	0.005	1.15	3.41E-06	1.70E-08	
			2	0.005	1.14	4.57E-06	2.29E-08	
	Siltige klei (obv nieuw beschikbaar onderzoek)	Basis (vak 1)	Basis	0.36	1.2	7.40E-07	2.67E-07	
			1	0.045	1.2	7.40E-07	3.33E-08	
			2	0.045	1.19	1.01E-06	4.56E-08	
		1	Basis	0.04	1.16	2.53E-06	1.01E-07	
			1	0.005	1.16	2.53E-06	1.27E-08	
			2	0.005	1.15	3.41E-06	1.70E-08	
13005.2	Sondering 3 (basis)	Basis (vak 1)	Basis	0.72	1.21	5.39E-07	3.88E-07	5.39E-07
			1	0.09	1.21	5.39E-07	4.85E-08	
			2	0.09	1.21	5.39E-07	4.85E-08	
		1	Basis	0.08	1.21	5.39E-07	4.31E-08	
			1	0.01	1.21	5.39E-07	5.39E-09	
			2	0.01	1.21	5.39E-07	5.39E-09	
13006.1	Sondering 4 (basis)	Basis (vak 1)	Basis	0.36	1.22	3.91E-07	1.41E-07	6.93E-07
			1	0.045	1.22	3.91E-07	1.76E-08	
			2	0.045	1.21	5.39E-07	2.43E-08	
		1	Basis	0.04	1.22	3.91E-07	1.57E-	

	Dikkere deklaag (obv nieuw beschikbaar onderzoek)						08	
			1	0.005	1.22	3.91E-07	1.96E-09	
			2	0.005	1.21	5.39E-07	2.70E-09	
		Basis (vak 1)	Basis	0.36	1.21	5.39E-07	1.94E-07	
			1	0.045	1.21	5.39E-07	2.43E-08	
			2	0.045	1.2	7.40E-07	3.33E-08	
		1	Basis	0.04	1.15	3.41E-06	1.36E-07	
			1	0.005	1.15	3.41E-06	1.70E-08	
			2	0.005	1.13	6.11E-06	3.06E-08	
13006.2	Sondering 6 (basis)	Basis (vak 1)	Basis	0.36	1.29	3.73E-08	1.34E-08	2.31E-07
			1	0.045	1.29	3.73E-08	1.68E-09	
			2	0.045	1.28	5.28E-08	2.37E-09	
		1	Basis	0.04	1.33	8.94E-09	3.57E-10	
			1	0.005	1.32	1.28E-08	6.42E-11	
			2	0.005	1.3	2.62E-08	1.31E-10	
	Siltige klei (obv nieuw beschikbaar onderzoek)	Basis (vak 1)	Basis	0.36	1.22	3.91E-07	1.41E-07	
			1	0.045	1.22	3.91E-07	1.76E-08	
			2	0.045	1.2	7.40E-07	3.33E-08	
		1	Basis	0.04	1.22	3.91E-07	1.57E-08	
			1	0.005	1.22	3.91E-07	1.96E-09	
			2	0.005	1.2	7.40E-07	3.70E-09	
13006.3	Sondering 7 (basis)	Basis (vak 1)	Basis	0.72	1.28	5.28E-08	3.80E-08	8.81E-08
			1	0.09	1.28	5.28E-08	4.75E-09	
			2	0.09	1.28	5.28E-08	4.75E-09	
		1	Basis	0.08	1.22	3.91E-07	3.13E-08	

			1	0.01	1.22	3.91E-07	3.91E-09	
			2	0.01	1.21	5.39E-07	5.39E-09	
13006.4	Sondering 9 (basis)	Basis (vak 1)	Basis	0.72	1.12	8.14E-06	5.86E-06	8.19E-06
			1	0.09	1.12	8.14E-06	7.32E-07	
			2	0.09	1.11	1.08E-05	9.71E-07	
		1	Basis	0.08	1.13	6.11E-06	4.89E-07	
			1	0.01	1.13	6.11E-06	6.11E-08	
			2	0.01	1.12	8.14E-06	8.14E-08	
13006.5	Sondering 11 (basis)	Basis (vak 1)	Basis	0.36	1.19	1.01E-06	3.64E-07	1.20E-06
			1	0.045	1.19	1.01E-06	4.56E-08	
			2	0.045	1.18	1.38E-06	6.21E-08	
		1	Basis	0.04	1.19	1.01E-06	4.05E-08	
			1	0.005	1.19	1.01E-06	5.06E-09	
			2	0.005	1.18	1.38E-06	6.90E-09	
	Opbouw volgens boring (obv nieuw beschikbaar onderzoek)	Basis (vak 1)	Basis	0.36	1.2	7.40E-07	2.67E-07	
			1	0.045	1.2	7.40E-07	3.33E-08	
			2	0.045	1.18	1.38E-06	6.21E-08	
		1	Basis	0.04	1.13	6.11E-06	2.44E-07	
			1	0.005	1.13	6.11E-06	3.06E-08	
			2	0.005	1.12	8.14E-06	4.07E-08	
13006.6	Sondering 12 (basis)	Basis (vak 1)	Basis	0.8	1.15	3.41E-06	1.23E-06	5.22E-06
			1	0.1	1.15	3.41E-06	1.53E-07	
			2	0.1	1.14	4.57E-06	2.06E-07	
		1	Basis	0.8	1.14	4.57E-06	1.83E-07	
			1	0.1	1.14	4.57E-06	2.29E-	

	Extra kleilaag (obv nieuw beschikbaar onderzoek)						08	
			2	0.1	1.13	6.11E-06	3.06E-08	
			Basis	0.8	1.13	6.11E-06	2.20E-06	
		Basis (vak 1)	1	0.1	1.13	6.11E-06	2.75E-07	
			2	0.1	1.12	8.14E-06	3.66E-07	
			1	0.8	1.11	1.08E-05	4.32E-07	
			1	0.1	1.11	1.08E-05	5.40E-08	
			2	0.1	1.1	1.43E-05	7.13E-08	
13006.7	Sondering 13 (basis)	Basis (vak 1)	Basis	0.72	0.96	4.76E-04	3.43E-04	4.76E-04
			1	0.09	0.96	4.76E-04	4.28E-05	
			2	0.09	0.96	4.76E-04	4.28E-05	
		1	Basis	0.08	0.96	4.76E-04	3.81E-05	
			1	0.01	0.96	4.76E-04	4.76E-06	
			2	0.01	0.96	4.76E-04	4.76E-06	
13006.8	Sondering 13 (basis)	Basis (vak 1)	Basis	0.72	0.97	3.80E-04	2.73E-04	3.89E-04
			1	0.09	0.97	3.80E-04	3.42E-05	
			2	0.09	0.97	3.80E-04	3.42E-05	
		1	Basis	0.08	0.96	4.76E-04	3.81E-05	
			1	0.01	0.96	4.76E-04	4.76E-06	
			2	0.01	0.96	4.76E-04	4.76E-06	
13006.9	Sondering 14 (basis)	Basis (vak 1)	Basis	0.72	0.97	3.80E-04	2.73E-04	3.89E-04
			1	0.09	0.97	3.80E-04	3.42E-05	
			2	0.09	0.97	3.80E-04	3.42E-05	
		1	Basis	0.08	0.96	4.76E-04	3.81E-05	
			1	0.01	0.96	4.76E-04	4.76E-06	

			2	0.01	0.96	4.76E-04	4.76E-06	
13006.10	Sondering 16 (basis)	Basis (vak 1)	Basis	0.72	1.01	1.48E-04	1.07E-04	1.65E-04
			1	0.09	1.02	1.16E-04	1.04E-05	
			2	0.09	1.02	1.16E-04	1.04E-05	
		1	Basis	0.08	0.97	3.80E-04	3.04E-05	
			1	0.01	0.97	3.80E-04	3.80E-06	
			2	0.01	0.97	3.80E-04	3.80E-06	
13006.11	Sondering 17 (basis)	Basis (vak 1)	Basis	0.36	1.09	1.88E-05	6.76E-06	3.04E-05
			1	0.045	1.09	1.88E-05	8.45E-07	
			2	0.045	1.08	2.46E-05	1.11E-06	
		1	Basis	0.04	1.1	1.43E-05	5.71E-07	
			1	0.005	1.1	1.43E-05	7.13E-08	
			2	0.005	1.09	1.88E-05	9.39E-08	
	Grondopbouw volgens boring (obv nieuw beschikbaar onderzoek)	Basis (vak 1)	Basis	0.36	1.06	4.19E-05	1.51E-05	
			1	0.045	1.06	4.19E-05	1.88E-06	
			2	0.045	1.06	4.19E-05	1.88E-06	
		1	Basis	0.04	1.06	4.19E-05	1.68E-06	
			1	0.005	1.06	4.19E-05	2.09E-07	
			2	0.005	1.06	4.19E-05	2.09E-07	
13007.1	Sondering 18 (basis)	Basis (vak 1)	Basis	0.72	1.07	3.22E-05	2.32E-05	3.33E-05
			1	0.09	1.07	3.22E-05	2.90E-06	
			2	0.09	1.06	4.19E-05	3.77E-06	
		1	Basis	0.08	1.07	3.22E-05	2.57E-06	
			1	0.01	1.07	3.22E-05	3.22E-07	
			2	0.01	1.05	5.43E-05	5.43E-	

							07	
13007.2	Sondering 19 (basis)	Basis (vak 2)	Basis	0.72	1.17	1.87E-06	1.35E-06	2.10E-06
			1	0.09	1.17	1.87E-06	1.68E-07	
			2	0.09	1.16	2.53E-06	2.28E-07	
		1	Basis	0.08	1.15	3.41E-06	2.73E-07	
			1	0.01	1.15	3.41E-06	3.41E-08	
			2	0.01	1.14	4.57E-06	4.57E-08	

Tabel 4: berekende stabiliteitsfactoren Balgzanddijk STBU.

S	=	ondergrondscenario	[-]
$P_{f;S}$	=	Faalkans scenario	[-]
P_f	=	Faalkans gegeven scenario	[-]
P_S	=	Kans op ondergrondscenario	[-]
SF	=	Stabiliteitsfactor scenario	[-]
$P_{f;dsn}$	=	Berekende faalkans doorsnede	[-]

Bijlage II Scenario's STBU

dijkvak	S ondergrond [-]	S Freatische lijn [-]	P _s [-]	SF [-]	P _f [-]	P _{f;s} [-]	P _{f;dsn} [-]
13006.3	Sondering 7	Basis	0.8	1.54	1.80E-12	1.44E-12	2,31E-12
		1	0.1	1.52	4.35E-12	4.35E-13	
		2	0.1	1.52	4.35E-12	4.35E-13	
13006.8	Sondering 13	Basis	0.8	1.19	1.01E-06	8.10E-07	1,22E-06
		1	0.1	1.15	3.41E-06	3.41E-07	
		2	0.1	1.2	7.40E-07	7.40E-08	
13007.1	Sondering 18	Basis	0.8	1.52	4.35E-12	3.48E-12	5,39E-08
		1	0.1	1.21	5.39E-07	5.39E-08	
		2	0.1	1.52	4.35E-12	4.35E-13	
13007.2	Sondering 19	Basis	0.8	1.2	7.40E-07	5.92E-07	1,24E-05
		1	0.1	1.02	1.16E-04	1.16E-05	
		2	0.1	1.17	1.87E-06	1.87E-07	

Tabel 5: berekende stabiliteitsfactoren Balgzanddijk STBU.

S	=	ondergrondscenario	[-]
P _{f;s}	=	Faalkans scenario	[-]
P _f	=	Faalkans gegeven scenario	[-]
P _s	=	Kans op ondergrondscenario	[-]
SF	=	Stabiliteitsfactor scenario	[-]
P _{f;dsn}	=	Berekende faalkans doorsnede	[-]

Bijlage III koppeling dijkvakken aan meetraaien

dijkvak	meetraai
13005.1	R1
13005.2	R1
13006.1	R2
13006.2	R2
13006.3	R2
13006.4	R3
13006.5	R3
13006.6	R3
13006.7	R4
13006.8	R4
13006.9	R5
13006.10	R5
13006.11	R5
13007.1	R5
13007.2	R6

Tabel 6: koppeling dijkvakken en meetraaien

Bijlage IV Opbarstberekningen

In onderstaande tabel zijn voor de verschillende STBI-berekeningen de opbarstlocaties weergegeven. De opbarstlocatie is de locatie waar de opbarstveiligheid gelijk is aan 1,20, en dus de eerste locatie vanaf het dijklichaam in landwaartse richting waar opbarsten plaatsvindt. Vanaf dit punt verloopt de stijghoogte lineair naar de grenspotentiaal in het midden van het kanaal. In principe vindt vanaf dit punt ook sterktereductie in de deklaag plaats, mits de deklaag dunner is dan 4m. Bij alle berekeningen is de deklaag bij de opbarstlocatie echter dikker dan 4m. Sterktereductie is daarom toegepast vanaf het eerste punt vanaf het dijkslichaam in landwaartse richting waar de deklaag kleiner is dan 4m. Ook dit punt is weergegeven in onderstaande tabel.

Zowel de locatie van het opbarstpunt als van het begin van de sterktereductie zijn weergegeven in meter ten opzichte van de berm, waarin met berm de insteek van de berm wordt bedoeld.

Vak	S Bodemopbouw	S Stijghoogte [-]	Locatie opbarstpunt [m tov berm]	Locatie sterktereductie [m tov berm]
13005.1	Sondering 1 (basis)	Basis	19	22
		1	18	22
	Siltige klei	Basis	19	22
		1	18	22
13005.2	Sondering 3 (basis)	Basis	21	24
		1	20	24
13006.1	Sondering 4 (basis)	Basis	21	30,5
		1	19,5	30,5
	Dikkere deklaag	Basis	21	35,5
		1	20	35,5
13006.2	Sondering 6 (basis)	Basis	24	33
		1	20,5	33
	Siltige klei	Basis	22	33
		1	20,5	33
13006.3	Sondering 7 (basis)	Basis	23,5	36
		1	20,5	36
13006.4	Sondering 9 (basis)	Basis	22	33,5
		1	20	33,5
13006.5	Sondering 11 (basis)	Basis	26	33,5
		1	23	33,5
	Opbouw volgens boring	Basis	23	35,5
		1	20	35,5
13006.6	Sondering 12 (basis)	Basis	17,5	22
		1	16,5	22
	Extra kleilaag	Basis	17,5	22
		1	16,5	22
13006.7	Sondering 13 (basis)	Basis	16,5	24
		1	15,5	24
13006.8	Sondering 13 (basis)	Basis	15,5	24,5
		1	14,5	24,5
13006.9	Sondering 9	Basis	17	Geen sterktereductie,

	(basis)			kleilaag overal dikker dan 4m
		1	17	Geen sterktereductie, kleilaag overal dikker dan 4m
13006.10	Sondering 16 (basis)	Basis	16,5	26
		1	15,5	26
13006.11	Sondering 17 (basis)	Basis	19,5	30
		1	18	30
	Grondopbouw volgens boring	Basis	20	26
		1	19	26
13007.1	Sondering 18 (basis)	Basis	25	27
		1	22	27
13007.2	Sondering 19 (basis)	Basis	22	24
		1	21	24

Tabel 7: Opbarsten STBI

PR3780.30

Project : HWBP-Verkenning Den Oever Den Helder
Datum : 15 maart 2019
Onderwerp : Veiligheidsanalyse asfaltbekleding (AWO en AGK)
Van: Gerbert Pleijter en David Knops

Veiligheidsanalyse asfaltbekleding (AWO en AGK)

Deze notitie beschrijft de veiligheidsanalyse voor de asfaltbekleding op de Balgzanddijk, Amsteldiepdijk en de Wieringerzeewering. Paragraaf 1 beschrijft de analyses voor golfklappen op asfaltbekleding (AGK) en Paragraaf 2 beschrijft de analyse voor wateroverdrukken bij asfaltbekleding (AWO).

1. Golfklappen op asfaltbekleding (AGK)

1.1. Inleiding

De beoordeling van de asfaltbekledingen van de Balgzanddijk (BZD) en de Amsteldiepdijk (ADD) is door het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (HHNK) uitgevoerd aan de hand van het WBI2017. Uit deze analyse blijkt dat niet wordt voldaan aan de toepassingsvoorwaarden uit het WBI2017 voor het faalmechanisme AGK. De asfaltbekleding van de Wieringerzeewering (WZW) is beoordeeld aan de hand van het OI2014v3. Ook hierbij geldt dat de asfaltbekleding niet aan de toepassingsvoorwaarde voldoet.

Voor AGK geldt dat niet werd voldaan aan de volgende toepassingsvoorwaarde:

- GRWS < onderrand asfaltbekleding

Indien het niveau van het grondwater in de dijk onder maatgevende omstandigheden (GRWS) tot onder de asfaltbekleding aanwezig is, dan kunnen golfklappen aanleiding geven tot verwekingsverschijnselen of lokale afschuiving in de ondergrond: grondmechanisch bezwijken. Ook de in rekening te brengen stijfheid kan dan niet op de gebruikelijke manier worden vastgesteld.

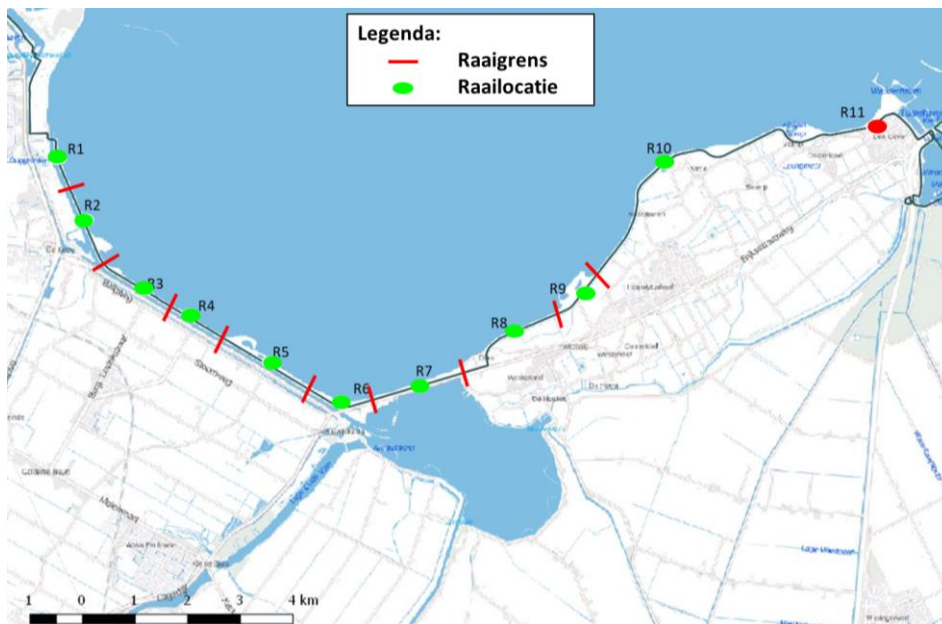
Het grondwaterniveau onder maatgevende omstandigheden wordt beschreven met de freatische lijn. Het niveau van deze freatische lijn ter plaatse van het buitendijkse maaiveld wordt in dit geval vergeleken met de onderrand van het asfalt, om te toetsen of wordt voldaan aan de toepassingsvoorwaarden. Aangezien een groot deel van het traject, onder voorwaarde dat aan de toepassingsvoorwaarde voldaan wordt, minimaal voldoet aan de maximaal toelaatbare overstromingskansen ([HKV, 2017a] [HKV, 2017b]), kan een verbeterd inzicht over het niveau van de freatische lijn mogelijk leiden tot een reductie van de veiligheidsopgave.

In voorliggende analyse is deze toepassingsvoorwaarde opnieuw onderzocht. Hiervoor zijn de inzichten uit het geohydrologisch onderzoek gebruikt.

1.2. Uitgangspunten

Uitgangspunten t.a.v. de ligging van de freatische lijn

In de analyse van de bovenstaande toepassingsvoorwaarde is nader onderzoek uitgevoerd om een realistische inschatting te maken van de ligging van de freatische lijn. In dit onderzoek zijn op diverse raaien peilbuizen geplaatst. Naast deze peilbuismetingen is een geohydrologisch model opgezet om het scenario te ondervangen dat geen hoogwater optreedt tijdens de peilbuismetingen (Bijlage B). Het geohydrologische model is daarom eerst gekalibreerd op basis van de metingen van de storm van januari 2019. Daarna is met het geohydrologisch model een maatgevend hoogwater gesimuleerd. Deze resultaten zijn de basis voor de freatische lijnen in deze analyse. De achtergronden van deze analyse zijn beschreven in Hoofdstuk 3, Bijlage B en Bijlage D. In Bijlage D beschrijft de freatische lijnen volgend uit de analyse van de peilbuizen die als basis dienen voor de veiligheidsanalyse voor AGK. In de Balzandijk zijn voor 6 raaien freatische lijnen opgesteld (raai 1 t/m 6, voor de Amsteldijk is één freatische lijn opgesteld (raai 7) en voor de Wieringerzeewering zijn voor 3 raaien freatische lijnen (raai 8 t/m 10)¹ opgesteld. Per raai is een indeling gemaakt welke freatische lijn maatgevend is genomen voor welk gedeelte van het tracé. De grenzen van de "maatgevende zone" van de freatische lijnen per raai zijn te zien in Figuur 1.



Figuur 1: Overzichtskartaal met Raailocaties en grenzen van de maatgevende zones van de raaien (raaigrens).

De hoogte van de freatische lijn tijdens de waterstand bij de norm (MHW) voor zichtjaar 2073, ter plaatse het buitentalud (GRWS), is het belangrijkste aspect dat volgt uit het geohydrologisch model. Dit is het basisscenario. Een overzicht hiervan voor de verschillende raaien is weergegeven in Tabel 1.

¹ Raai 11 is onvoldoende betrouwbaar en daarom niet meegenomen.

	Niveau freatische lijn ter plaatse van het buitentalud (GRWS) (NAP+m)	Dijktracé	Raaigrenzen (dijkpalen)
Raai 1	0,84	BZD	DP4.6 - DP5.6
Raai 2	0,84	BZD	DP5.7 - DP7.3
Raai 3	0,94	BZD	DP7.4 - DP8.8
Raai 4	2,39	BZD	DP8.9 - DP10.1
Raai 5	2,99	BZD	DP10.2 - DP11.7
Raai 6	3,19	BZD	DP11.8 - DP12.6
Raai 7	4,06	ADD	DP12.7 - DP14.9
Raai 8	1,38	WZW	DP14.9 - DP17.3
Raai 9	1,71	WZW	DP17.3 - DP18.4
Raai 10	1,96	WZW	DP18.5 - DP25.5

Tabel 1: Niveau freatische lijn ter plekke van het maaiveld buitenwaarts voor de verschillende raaien.

Aanvullend op het basisscenario is rekening gehouden met een tweetal scenario's dat leidt tot toename van de freatische lijn:

- Scenario 1: Freatische waterstand in het buitentalud +1,0 m, schematisering aan de binnenteen ongewijzigd. Dit scenario heeft een kans van optreden van minder dan 10%.
- Scenario 2: Freatische waterstand ter plaatse van de kruin +1,0 m ten gevolge van infiltratie bij golfoploop boven het niveau van het asfalt, schematisering aan de buiten- en binnenteen ongewijzigd. Dit scenario heeft een kans van optreden van minder dan 10%.

Deze scenario's volgens uit de twee onzekerheden in de basisschematisatie van de freatische lijn. Scenario 1 is het gevolg van onzekerheid over de intredeweerstand van het voorland en de kans op erosie van het voorland. Scenario 2 is het gevolg van infiltratie door golfoploop boven de asfaltbekleding, waardoor de freatische lijn stijgt. Voor meer informatie over de scenario's wordt verwezen naar Bijlage D. Scenario 2 kan in de controle op de toepassingsvoorwaarde worden genegeerd, omdat deze onder het asfalt niet resulteert tot een verhoging van de freatische lijn.

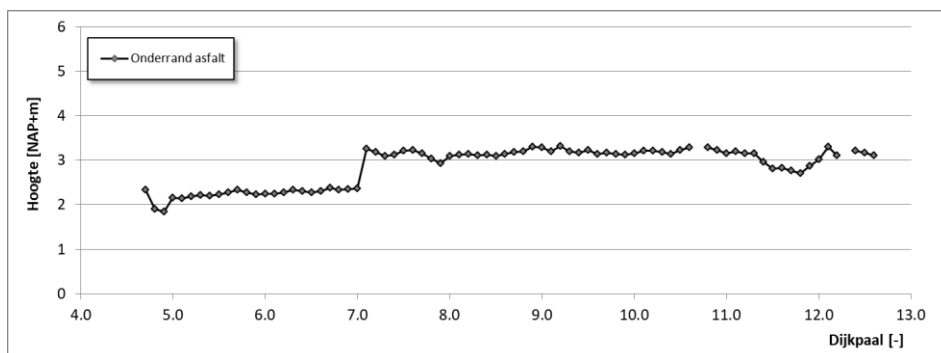
De vergelijking van de onderrand van het asfalt met de hoogte van de freatische lijn ter plaatse van het maaiveld onder omstandigheden bij de norm, is uitgevoerd voor het basisscenario, scenario 1 en 2. Als rekenwaarde voor de freatische lijn wordt aangehouden dat de freatische lijn wordt verhoogd met 0,1m (10% x 1,0m). Deze verhoging wordt weergegeven als GRWS + 0,1m.

Uitgangspunten t.a.v. de onderrand asfalt

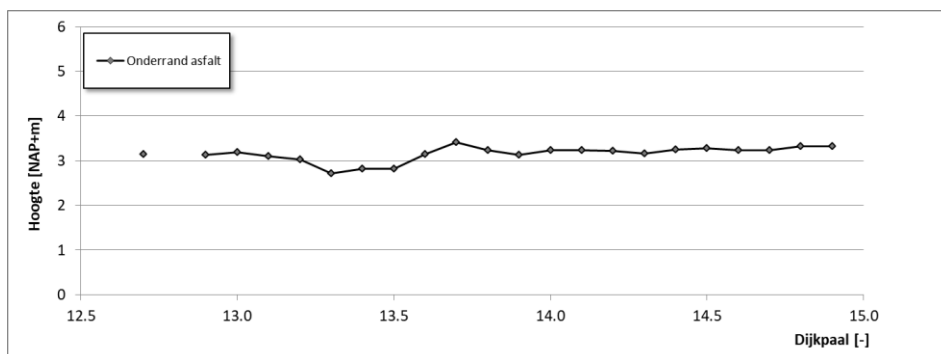
Informatie over de randen van het asfalt is verzameld uit de eerdere toetsingen (Tabel 2). In dit geval is de onderrand van het asfalt nodig om te kunnen bepalen of aan de toepassingsvoorwaarden wordt voldaan. De onderrand van het asfalt van de Balgzanddijk, Amsteldiepdiijk en Wieringerzeewering is weergegeven in Figuur 1 t/m Figuur 4.

Dijk	Bron
Balgzanddijk	Eindrapportage Fase 2, p46, HKV/TAUW 2017
Amsteldiepdiijk	Eindrapportage Fase 2, p46, HKV/TAUW 2017
Wieringerzeewering	Rapport_Toetsing_WZW_OI2014, Bijlage C, HKV 2016

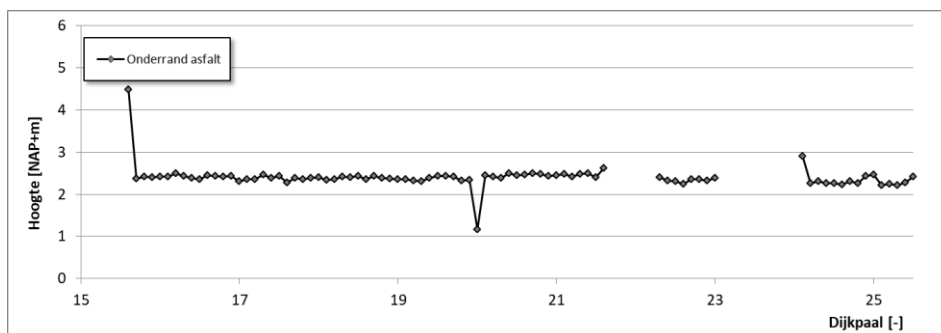
Tabel 2: Bron van de onderrand van het asfalt.



Figuur 2: Onderrand asfaltbekleding Balgzanddijk.



Figuur 3: Onderrand asfaltbekleding Amsteldiepdijk.

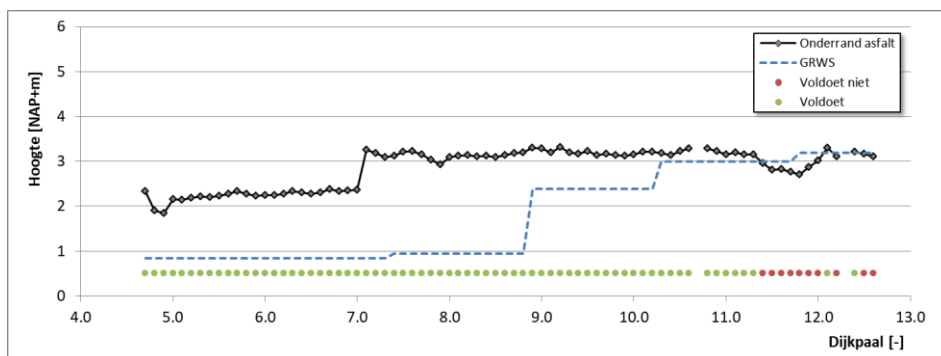


Figuur 4: Onderrand asfaltbekleding Wieringerzeewering.

1.3. Resultaten

Balgzanddijk

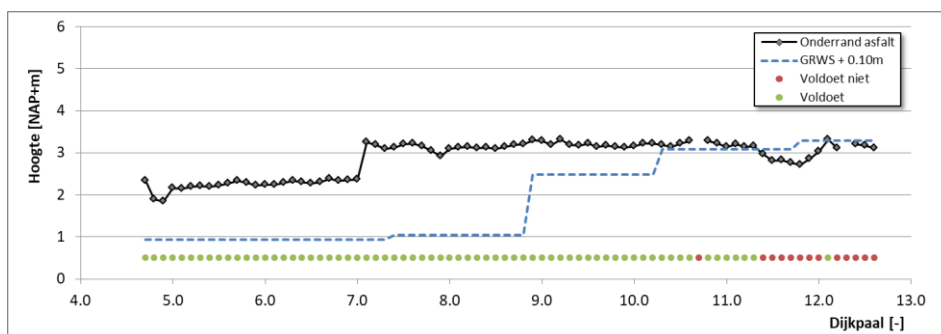
In Figuur 5 laat de vergelijking van de onderrand van het asfalt met de freatische lijn voor het basisscenario zien. De hoogte van de freatische lijn komt overeen met de waarden in Tabel 2. Figuur 5 laat zien dat de onderrand van het asfalt op de Balgzanddijk voor het grootste deel boven de GRWS ligt, dit geldt echter voor de GRWS zonder toeslag. Voor het meest zuidelijke deel van de Balgzanddijk (vanaf DP11.3 in Figuur 5) komt de waterstand wel boven de onderrand van het asfalt.



Figuur 5: Resulterende vergelijking tussen onderrand van het asfalt en de GRWS van de Balgzanddijk.

Scenario 1 waarbij de freatische lijn verhoogd wordt met 1 meter is meegenomen door een toeslag op de freatische lijn van +0,10 m toe te passen (10% kans op 1,0 m verhoging resulteert in een verwachtingswaarde van 0,1 m verhoging).

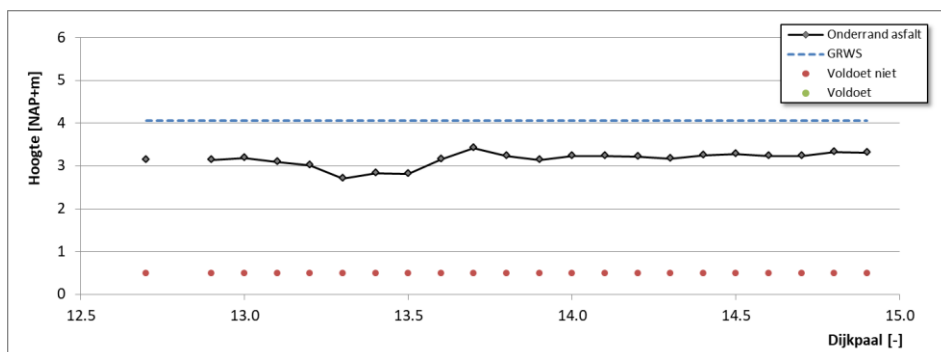
Uit Figuur 6 blijkt dat het deel van de Balgzanddijk ten noorden van DP11.3 voldoet aan de toepassingsvoorwaarden omdat de freatische lijn onder de onderkant van het asfalt staat. Ten zuiden van DP11.3 ligt de freatische lijn boven de onderkant van het asfalt en wordt niet voldaan aan de toepassingsvoorwaarde.



Figuur 6: Resulterende vergelijking tussen onderrand van het asfalt en de GRWS + 0,10 m van de Balgzanddijk.

Amsteldiepdijk

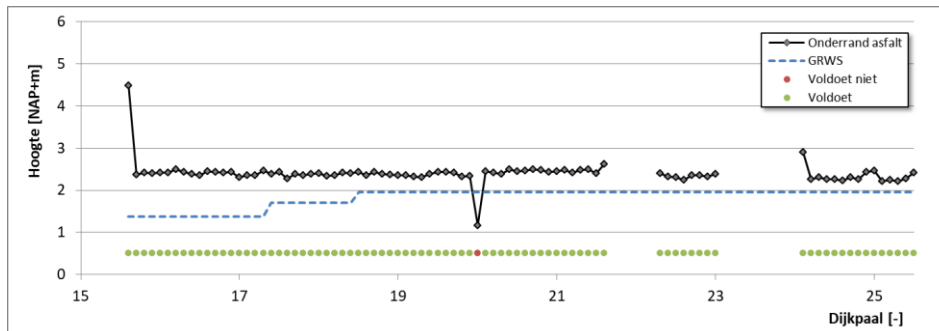
Figuur 7 geeft de vergelijking tussen de onderrand van het asfalt en de GRWS weer voor de Amsteldiepdijk (basisscenario). De figuur geeft weer dat de GRWS ruim hoger ligt dan de onderrand van het asfalt, waardoor niet aan de toepassingsvoorwaarden wordt voldaan. Dit betekent ook dat niet zal worden voldaan aan scenario 1.



Figuur 7: Resulterende vergelijking tussen onderrand van het asfalt en de GRWS van de Amsteldiepdijk

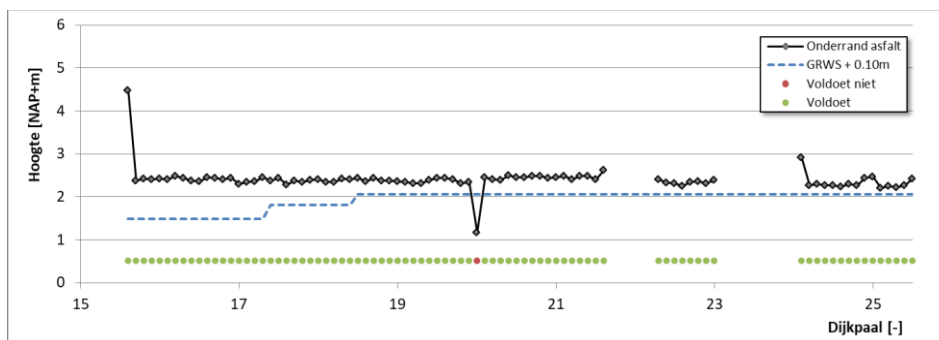
Wieringerzeewering

De vergelijking tussen de onderrand van het asfalt en GRWS voor de Wieringerzeewering (basisscenario), in Figuur 8, laat zien dat de freatische lijn onder het asfalt ligt. Daarmee wordt voldaan aan de toepassingsvoorwaarden voor AGK.



Figuur 8: Resulterende vergelijking tussen onderrand van het asfalt en de GRWS van de Wieringerzeewering.

Bij een verhoging van de freatische lijn van 0,1m (scenario 1) neemt het aantal locaties toe waar niet wordt voldaan aan de toepassingsvoorwaarden. De vergelijking tussen de onderrand van het asfalt en de GRWS+0,1m voor de Wieringerzeewering is weergegeven in Figuur 9.



Figuur 9: Resulterende vergelijking tussen onderrand van het asfalt en de GRWS + 0,10 m van de Wieringerzeewering.

De Wieringerzeewering is in 2015 beoordeeld conform het OI2014v3 [HKV,2015]. Hierin is laten zien dat de gehele Wieringerzeewering ruim minimaal voldoet aan de eisen bij de maximaal toelaatbare overstromingskans voor AGK. Om zeker te zijn dat Wieringerzeewering ook voldoet aan de eisen in het WBI is de gedetailleerde beoordeling uitgevoerd de locatie met de maatgevende golfbelasting (DP20.6).

1. De bekleding bestaat uit waterbouwasfaltbeton (WAB).
Ja, zie KOAC [2018]

2. $H_{m0} < 3\text{m}$.
Ja, zie Tabel 3

3. GRWS < onderrand asfaltbekleding.
Ja, zie Figuur 9

Het watersysteem is 7. IJsselmeer, 8. Markermeer, 9. Waddenzee Oost, 10 Waddenzee West, 11. Hollandse Kust Noord, 12 Hollandse Kust Midden, 13 Hollandse Kust Zuid of 15. Westerschelde.
Ja

Type onderlaag of ondergrond is zand.

Ja

Als de asfaltbekleding bestaat uit twee lagen WAB dan moeten deze goed gehecht zijn.

De asfaltlaag bestaat uit 1 laag

Asfaltlaagdikte > 0,1m.

Ja, zie [KOAC, 2018]

Variatiecoëfficiënt van de buigtreksterkte $V_{\sigma b} < 0,35$.

Ja, zie [KOAC, 2018]

De gedetailleerde beoordeling is uitgevoerd o.b.v. Bijlage III van het WBI2017 [RWS –WVL, 2017]. In de BM Asfalt is de maximaal optredende Minersom (M_{max}) bepaald. De gebruikte hydraulische belastingen zijn weergegeven in Tabel 3 ($T = 1.000$ jaar in 2070 – $T = 1.000$ jaar is zowel gelijk aan de signaalwaarde als de ondergrens). In Tabel 4 kunnen de gegevens over de geometrie van het asfalt en het geschematiseerde dijkprofiel gezien worden. De constructieve gegevens over het asfalt staan in Tabel 5.

Hydraulische uitgangspunten		
Type watersysteem	Waddenzee	
Dichtheid water	1.025 kg/m ³	
Gemiddelde getijamplitude	0,770 m	
Waterstand bij de norm	NAP+4,850 m	
Gemiddelde buitenwaterstand	NAP+0,000 m	
Aantal SWL stappen	50	
Niveau [NAP+m]	Significante golfhoogte [m]	Piekperiode [s]
0,00	0,50	1,89
0,50	0,75	2,31
1,00	1,03	2,71
1,50	1,33	3,33
2,00	1,64	3,70
2,50	1,92	4,03
3,00	2,20	4,35
3,50	2,42	4,60
4,00	2,55	4,80
4,50	2,51	5,12

Tabel 3: Hydraulische uitgangspunten DP20.6, WZW, BM Asfalt.

Geometrie van het asfalt	
Hoogte voorland	NAP-10,0 m
Niveau onderrand asfalt	NAP+2,43 m
Niveau bovenrand asfalt	NAP+7,00 m
Aantal rekenpunten	50
X-locatie [m]	Z-locatie [m]
0,000	2,280
21,231	7,620

Tabel 4: Schematisatie geometrie asfalt DP20.6, WZW, BM Asfalt.

Constructiegegevens asfalt	
Dikte asfalttoplaag	0,29 m
Stijfheidsmodulus asfalttoplaag	16.700 MPa
Dwarscontractiecoëfficiënt asfalt	0,350
Breuksterkte asfalt	4,430 MPa
Vermoeiingsparameter 1	0,300
Vermoeiingsparameter 2	4,700
Veerconstante ondergrond	71,0 MPa/m
Variatiecoëfficiënt buigsterkte	0,226

Tabel 5: Constructiegegevens asfalt die relevant zijn als invoer voor de BM Asfalt - DP20.6 WZW. Bron: [KOAC, 2018].

Beoordeling veiligheid	
Max. toelaatbare overstromingskans op trajectniveau	1/1.000 jaar
Lengte van dijktraject	11,7 km
Modelfactor	1,77
Minersom	0,110
Veiligheidsbeoordeling	De asfaltbekleding voldoet
$\log(\gamma_m * M_{max})$	-0,71
Veiligheidsfactor (γ_s)	0,553
Stabiliteitsfactor $\log(\gamma_m * M_{max}) / (-\gamma_s)$	1,284

Tabel 6: Resultaat BM Asfalt DP20.6 WZW.

Het resultaat uit BM Asfalt is weergegeven in Tabel 6. Omdat de stabiliteitsfactor groter is dan 1,0 wordt voldaan aan de eisen voor AGK. Omdat in 2015 is laten zien dat de Wieringerzeewering conform het OI2014v3 zeer ruim voldoet aan de eisen [HKV,2015] en de veiligheidsbeoordeling voor het vak met de hoogste golfbelasting conform het WBI2017 nog steeds voldoet aan de eisen wordt geconcludeerd dat wordt voldaan aan de maximaal toelaatbare overstromingskans voor het faalmechanisme AGK.

1.4. Conclusies

De asfaltbekleding van de Balgzanddijk voldoet van DP4.6 tot DP11.3 aan de toepassingsvoorwaarden voor AGK. Voor deze secties wordt minimaal voldaan aan de maximaal toelaatbare overstromingskans. In de WBI-beoordeling [HKV, 2017] is laten zien dat als aan de

toepassingsvoorwaarden voor AGK wordt voldaan, geldt dat de asfaltbekleding voldoet aan de maximaal toelaatbare overstromingskans voor AGK. Ook op de Wieringerzeewering ligt de asfaltrand hoger dan de grondwaterstand (behalve DP20.0). Hier wordt daarom ook voldaan aan de toepassingsvoorwaarden voor AGK. De beoordeling van de Wieringerzeewering, conform de WBI-beoordeling is uitgevoerd. Hieruit blijkt dat de Wieringerzeewering voldoet aan de maximaal toelaatbare overstromingskans voor zichtjaar 2073.

Van DP11.3 t/m DP15.0 op de ADD en de BZD wordt niet voldaan aan de toepassingsvoorwaarden voor AGK. Daarnaast wordt voor een locatie op de WZW (DP20.0) niet voldaan aan de toepassingsvoorwaarden, de oorsprong van deze uitschieter van de asfaltrand op deze locatie is onduidelijk. Als de freatische lijn onder tegen het asfalt staat, is sprake van een verzadigde ondergrond onder de laag asfalt die kan leiden tot verwekingsverschijnselen of lokale afschuiving. Ook kan de in rekening te brengen stijfheid van de ondergrond niet op de gebruikelijke manier worden vastgesteld. In de expertsessie asfalt (juni 2017) is aangegeven dat over asfalt in de verzadigde zone nog te weinig bekend. Daarom wordt aangeraden deze asfaltbekleding bij gebrek aan een beoordelingsmethode op te nemen in de veiligheidsopgave.

2. Wateroverdrukken bij asfaltbekleding (AWO)

2.1. Inleiding

De beoordeling van de asfaltbekledingen van de Balgzanddijk (BZD), de Amsteldiepdijk (ADD) en de Wiering Zeewering is door het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (HHNK) uitgevoerd aan de hand van het OI2014v3 en het WBI2017. Uit deze uitgevoerde analyses blijkt dat niet wordt voldaan aan de toepassingsvoorwaarden uit het WBI2017 voor het faalmechanisme wateroverdrukken bij asfaltbekledingen (AWO).

Voor AWO dient voldaan te worden aan één van de volgende voorwaarden om te voldoen aan de toepassingsvoorwaarden:

- A. De ondergrond en het dijklichaam bestaan uit zand of een materiaal met een vergelijkbare doorlatendheid. In het geval van ondoorlatende objecten in het dijklichaam of ondergrond, wordt er niet voldaan
- B. Als de vorige, maar het asfalt ligt op een ondoorlatende kleilaag met beperkte dikte.
- C. De asfaltbekleding is aangelegd op een dijk van zand, waaronder zich een ondoorlatende deklaag bevindt, waarbij het buitentalud geheel dicht is en aansluit op de deklaag.

In dit hoofdstuk wordt de toepassingsvoorwaarde gecontroleerd op basis de informatie uit het nader veldonderzoek. Als wordt voldaan aan de toepassingsvoorwaarden is de beoordeling conform Bijlage III van het WBI [RWS –WVL, 2017] uitgevoerd. Als niet wordt voldaan worden aan de toepassingsvoorwaarden wordt AWO beoordeeld in een toets op maat.

2.2. Uitgangspunten

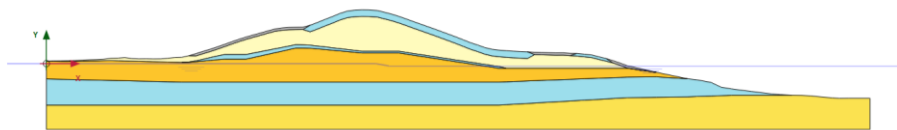
Uitgangspunten t.a.v. de bodemopbouw

Om te bepalen of wordt voldaan aan de toepassingsvoorwaarden is de opbouw van het dijklichaam en de ondergrond geverifieerd aan de hand van nieuwe boringen en sonderingen. Voor de geohydrologische modelberekening (in Plaxflow) is voor de diverse raaien de laagopbouw geschematiseerd. De schematisaties zijn gebaseerd op:

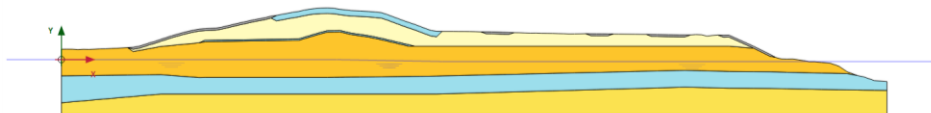
- Boringen ter plaatse van de peilbuizen;
- Omliggende boringen in Dinoloket;
- Dwarsprofielen uit eerdere studies;
- Historie van de dijk, beschreven in eerdere studies.

Balgzanddijk

Figuur 10 en Figuur 11 laten de gekozen schematisatie van de Balgzanddijk zien. In de figuren kan eenzelfde dijkopbouw worden herkend. In de opbouw is een ondergrond van zand aanwezig, waarop een deklaag (blauwe laag) ligt. Op deze deklaag ligt het restant van de oude dijk (het oranje gedeelte met een dunne deklaag op het buitentalud (de dunne blauwe laag). Op deze oude dijk is de nieuwe dijk met een zandkern met deklaag en asfaltbekleding aangelegd.



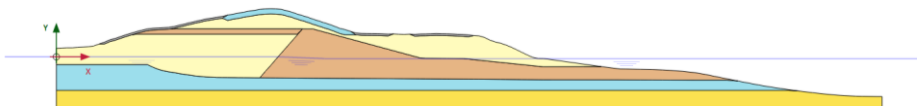
Figuur 10: Opbouw schematisatie ter hoogte van raai 1 uit het geohydrologisch onderzoek (BZD).



Figuur 11: Opbouw schematisatie ter hoogte van raai 6 uit het geohydrologisch onderzoek (BZD).

Amsteldiepdijk

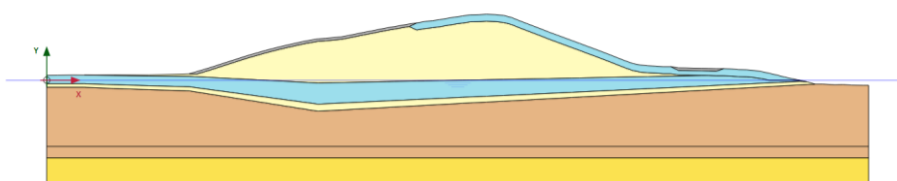
De Amsteldiepdijk in Figuur 12 bestaat uit een ondergrond van zand met daarop een deklaag (blauwe laag) zien. Een oude kleidijk (bruin) kan herkend worden in het profiel. Hierop is de nieuwe zanddijk met deklaag en asfaltbekleding aangelegd.



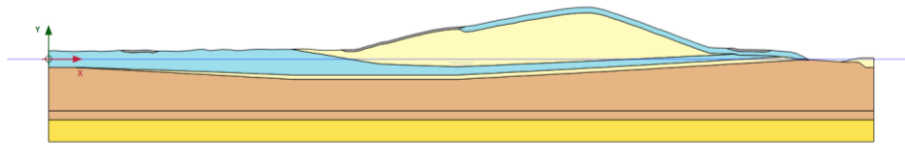
Figuur 12: Opbouw schematisatie ter hoogte van raai 7 uit het geohydrologisch onderzoek (ADD).

Wieringerzeewering

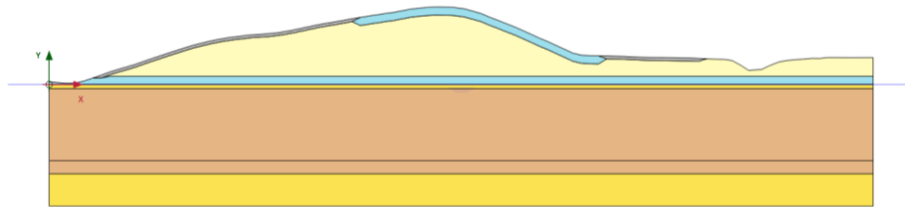
De Wieringerzeewering schematisaties in Figuur 13 t/m Figuur 16 laten een eenduidig beeld zien. Een ondergrond van zand met een deklaag (blauw), waarop een zanddijk met deklaag en asfaltbekleding is aangelegd. In sommige gevallen (Figuur 13 en Figuur 15) is te zien dat de asfaltbekleding aansluit op de deklaag.



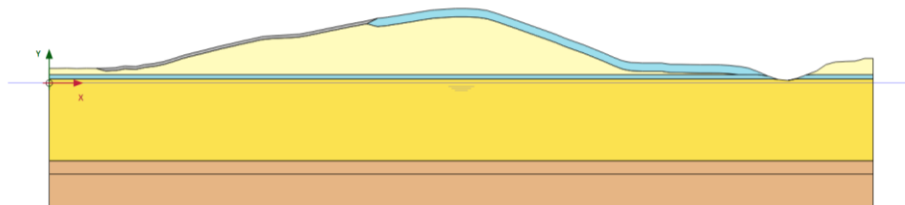
Figuur 13: Opbouw schematisatie ter hoogte van raai 8 uit het geohydrologisch onderzoek (WZW).



Figuur 14: Opbouw schematisatie ter hoogte van raai 9 uit het geohydrologisch onderzoek (WZW).



Figuur 15: Opbouw schematisatie ter hoogte van raai 10 uit het geohydrologisch onderzoek (WZW).



Figuur 16: Opbouw schematisatie ter hoogte van raai 11 uit het geohydrologisch onderzoek (WZW).

2.3. Resultaten

De ondergrondsopbouw uit het geohydrologisch onderzoek zijn gebruikt om de toepassingsvoorwaarden te verifiëren. Per opbouw is gekeken of wordt voldaan aan de drie toepassingsvoorwaarden (voorwaarde A, B of C).

Balgzanddijk

De Balgzanddijk (raai 1 en raai 6) voldoet niet aan de toepassingsvoorwaarden. Door de aanwezigheid van de oude dijk (met kleibekleding) in de kern wordt niet voldaan aan toepassingsvoorwaarde A of B. Daarnaast is geen sprake van een kleilaag die aansluit op een ondoorlatende bekleding, daarom wordt ook niet voldaan aan toepassingsvoorwaarde C. De schematisatie bij raai 1 en 6 zijn representatief voor de hele Balgzanddijk. De gehele Balgzanddijk voldoet daarom niet aan de toepassingsvoorwaarde.

Amsteldiepdijk

De raai van de Amsteldiepdijk (Figuur 12) voldoen niet aan de toepassingsvoorwaarden voor AWO. Omdat er sprake is van kleiige/ondoorlatende elementen in de kern kan niet worden voldaan aan voorwaarde A of B. Omdat geen aansluiting aanwezig is van de asfaltlaag op de deklaag, is ook geen sprake van voorwaarde C. De schematisatie bij raai 7 is representatief voor de hele Amsteldiepdijk. De gehele Amsteldiepdijk voldoet daarom niet aan de toepassingsvoorwaarden.

Wieringerzeewering

De Wieringerzeewering heeft in raai 8 (Figuur 13) en 10 (Figuur 15) een ondergrondsopbouw zoals beschreven in de toepassingsvoorwaarden C voor AWO – er is sprake van een aansluiting tussen het asfalt en de ondoorlatende deklaag (blauwe laag in de figuren). Er is echter onvoldoende zekerheid dat de bekleding ondoorlatend is (er is sprake van een reactie van de freatische lijn op het buitenwater, dit ligt niet voor de hand als de ondergrondsopbouw en de bekleding helemaal

ondoorlatend is). Daarom wordt niet voldaan aan de toepassingsvoorwaarden voor raai 8 en 10. Voor raai 9 (Figuur 14) en 11 (Figuur 16) is dit niet het geval en is er ook geen sprake van een zanddijk op een zand ondergrond (voorwaarde A of B). Daarnaast sluit de bekleding ook niet aan op de kleilaag (voorwaarde C). Daarom wordt voor raai 9 en 11 niet voldaan aan de toepassingsvoorwaarden.

De ondergrondschematisaties bij de peilbuizenraaien geven een goede weergave van de ondergrondsopbouw van de Wieringerzeewering. Omdat bij geen van de raaien wordt voldaan aan de toepassingsvoorwaarden wordt geconcludeerd dat de gehele Wieringerzeewering niet voldoet aan de toepassingsvoorwaarden.

2.4. Toets op maat

Omdat niet wordt voldaan aan de toepassingsvoorwaarde zijn de rekenregels uit Bijlage III van het WBI [RWS –WVL, 2017] niet van toepassing. In een toets op maat (ToM) is daarom onderzocht of het asfalt op de Balgzanddijk, Amsteldiepdijk of Wieringerzeewering kan falen door wateroverdrukken bij de asfaltbekleding.

In een ToM is gesteld dat als de maatgevende grondwaterstand (GRWS) boven de onderrand van het asfalt ligt, geen sprake kan zijn van significante wateroverdrukken bij de asfaltbekleding voor het scenario val naar laagwater. Omdat het water in dit geval niet stijgt tot onder het asfalt kunnen geen wateroverdrukken plaatsvinden. In Paragraaf 1.3 (AGK) zijn de freatische lijnen en de onderranden van het asfalt weergegeven.

De ToM laat zien dat langs de Balgzanddijk (DP4.6 tot DP11.3) en de Wieringerzeewering (behalve DP20.0) geen sprake kan zijn van significante wateroverdrukken. Het asfalt op de Amsteldiepdijk voldoet niet aan de ToM omdat de freatische lijn boven de onderrand van het asfalt staat. Ook op de Balgzanddijk van DP11.3-DP12.6 ligt de freatische lijn hoger dan de onderrand van het asfalt, waardoor hier sprake kan zijn van wateroverdrukken.

2.5. Conclusies

Langs de Balgzanddijk (DP4.6 tot DP11.3) en de Wieringerzeewering (behalve DP20.0) is geen sprake van significante wateroverdrukken. Daarom is de asfaltbekleding hier in de toets op maat goedgekeurd voor het faalmechanisme AWO.

Voor de Balgzanddijk (DP11.4 tot DP12.6), de Amsteldiepdijk en bij DP20.0 op de Wieringerzeewering komt de freatische lijn boven de onderkant van het asfalt. In paragraaf 1.4 – AGK is geadviseerd dit asfalt op te nemen in de veiligheidsopgave, omdat onzeker is hoe dit asfalt in de verzadigde zonde reageert op golfklappen. Daarom is de specifieke beoordeling voor het deelfaalmechanisme AWO niet verder verfijnd en is de bekleding ook afgekeurd voor AWO. Zowel een eventuele verlaging bij de val na laagwater (Bijlage D) als de hernieuwde inzichten op basis van een onderzoek naar asfalt op de Lauwersmeerdijk [Deltares, 2018], zijn in dit geval niet meegenomen. De opgave voor de asfaltbekleding zou op basis van deze inzichten niet veranderen.

Project : HWBP-Verkenning Den Oever Den Helder
Datum : 15 april 2019
Onderwerp : Veiligheidsanalyse graserosie buitentalud (GEBU)
Van: : Gerbert Pleijter en Matthijs Duits

Veiligheidsanalyse graserosie buitentalud (GEBU)

1. Inleiding

In deze bijlage is de restlevensduur van de grasbekleding op het buitentalud inzichtelijk gemaakt. Paragraaf 2 benoemt de uitgangspunten. De resultaten per dijkvak en per zichtjaar zijn weergegeven in paragraaf 3. In paragraaf 4 vindt de vergelijking plaats met [HKV, 2018].

2. Uitgangspunten

Voor het bepalen van de veiligheidsopgave van de grasbekleding op het buitentalud (GEBU) zijn de volgende uitgangspunten toegepast:

- Beoordeling van twee zichtjaren 2023 en 2070;
- Beoordeling bij de maximaal toelaatbare overstromingskans;
- De beoordeling is uitgevoerd met BM Gras Buitentalud op basis van de standaardparameters zoals beschreven in de schematiseringshandleiding grasbekleding [RWS – WVL, 2016]. Deze waarden zijn ook toegepast in de WBI-beoordeling van de Balgzanddijk en de Amsteldiepdijk [HKV, 2017b] en de nadere veiligheidsanalyse van de Wieringerzeewering [HKV, 2017a];
- Voor de Balgzanddijk en de Amsteldiepdijk zijn dezelfde zes locaties beoordeeld als in de WBI-beoordeling [HKV, 2017b]:
 - Balgzanddijk: DP7.9, DP9.5 en DP11.5,
 - Amsteldiepdijk: DP12.9, DP13.2 en DP 13.9;
- De basisinformatie over de grasbekleding op de Wieringerzeewering zijn afkomstig uit de nadere veiligheidsanalyse van het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (HHNK) [HHNK, 2016];
- Het beheer van de grasmat is gericht op een gesloten zode, daarom is in de analyse is uitgegaan van een grasbekleding met een gesloten zode. In een gevoeligheidsanalyse is ook het effect van een open zode in beeld gebracht.

3. Resultaten

Golfoploop

De grasmat op het buitentalud voldoet tot 2070 aan de maximaal toelaatbare overstromingskans t.a.v. golfoploop bij grasbekleding met gesloten zode:

1. De overgang van de golfklapzone naar de golfploopzone is in de basis in beeld gebracht op basis van de werkwijze in de schematiseringshandleiding grasbekleding [RWS – WVL, 2016]. Deze overgang is gelijk aan de waterstand bij de doorsnede eis;
2. Aanvullend op de vigerende werkwijze uit de schematiseringshandleiding is de werkwijze uit Deltares (2017) toegepast om de overgang tussen beide zones te bepalen;
3. Zowel op basis van de vigerende werkwijze uit de schematiseringshandleiding als op basis van de werkwijze in Deltares (2017) ligt de overgang tussen de harde bekleding en de grasbekleding in de golfploopzone. De veiligheidsfactoren in ~~Tabel 1~~~~Tabel 1~~ zijn afgeleid voor golfploop, het evaluatieniveau is gelijk aan de overgang van de harde bekleding naar de grasmat.

Formatted: Font: 9 pt, Not Italic,
Font color: Auto

Ook bij een open zode voldoen de Balgzanddijk en de Amsteldiepdiijk (~~Tabel 1~~~~Tabel 1~~) tot 2070 aan de maximaal toelaatbare overstromingskans. Voor de Wieringerzeewering geldt dat deze bij een open zode ook voldoet in 2023 (~~Tabel 2~~~~Tabel 2~~). In 2070 voldoen bij een open zode 35 van de 88 dijkvakken niet. De veiligheidsfactor is dan kleiner dan 1,0. Dit betekent dat op delen van de Wieringerzeewering in 2070 sprake kan zijn van een veiligheidsopgave als sprake is van een grasbekleding met een open zode.

Formatted: Font: 9 pt, Not Italic,
Font color: Auto

Formatted: Font: 9 pt, Not Italic,
Font color: Auto

Dijkpaal	Veiligheidsfactor 2023		Veiligheidsfactor 2070	
	gesloten zode	open zode	gesloten zode	open zode
7.9	10	5,98	10	1,55
9.5	10	7,07	10	1,78
11.5	10	10	10	2,17
12.9	10	10	10	2,65
13.2	10	10	10	3,08
13.9	10	10	10	5,11

Tabel 1: Balgzanddijk en Amsteldiepdiijk Veiligheidsfactor GEBU (golfploop) bij de maximaal toelaatbare kans en een gesloten zode en open zode. Analyseniveau is de overgang van de harde bekleding naar de grasmat.

Dijkpaal	Veiligheidsfactor 2023		Veiligheidsfactor 2070	
	gesloten zode	open zode	gesloten zode	open zode
14.8	10	10	10	2,16
15.6	10	10	10	10
15.7	10	10	10	2,13
15.8	10	10	10	1,88
15.9	10	5,56	10	1,12
16.0	10	4,60	10	0,96
16.1	10	4,04	10	1,04
16.2	10	3,20	10	0,86
16.3	10	3,59	10	0,91
16.4	10	3,89	10	0,96
16.5	10	4,33	10	1,20
16.6	10	7,86	10	1,47
16.7	10	6,07	10	1,30
16.8	10	3,86	10	0,91
16.9	10	3,77	10	0,96
17.0	10	3,30	10	0,87
17.1	10	6,17	10	1,30

Dijkpaal	Veiligheidsfactor 2023		Veiligheidsfactor 2070	
	gesloten zode	open zode	gesloten zode	open zode
17.2	10	7,78	10	1,50
17.3	10	10	10	2,64
17.4	10	10	10	10
17.5	10	10	10	10
17.6	10	10	10	10
17.7	10	10	10	2,39
17.8	10	10	10	3,53
17.9	10	10	10	2,94
18.0	10	10	10	6,44
18.1	10	10	10	10
18.2	10	8,73	10	1,64
18.3	10	4,57	10	1,16
18.4	10	4,10	10	1,15
18.5	10	3,25	10	0,89
18.6	10	2,34	10	0,72
18.7	10	3,61	10	0,96
18.8	10	4,49	10	1,41
18.9	10	4,19	10	1,06
19.0	10	7,70	10	1,55
19.1	10	6,31	10	1,42
19.2	10	10	10	2,04
19.3	10	10	10	1,81
19.4	10	10	10	2,20
19.5	10	10	10	1,89
19.6	10	10	10	2,67
19.7	10	5,10	10	1,32
19.8	10	3,67	10	0,96
19.9	10	8,03	10	1,85
20.0	10	2,59	10	0,68
20.1	10	2,85	8,98	0,76
20.2	10	1,70	5,66	0,55
20.3	10	1,61	5,15	0,52
20.4	10	1,80	6,54	0,63
20.5	10	1,59	5,52	0,56
20.6	10	1,73	6,42	0,62
20.7	10	1,44	4,73	0,51
20.8	10	1,30	4,16	0,47
20.9	10	5,21	10	1,18
21.0	9,97	2,70	10	0,80
21.1	8,55	1,37	4,43	0,46
21.2	10	1,60	5,39	0,51
21.3	10	1,11	4,28	0,44
21.4	10	1,58	7,04	0,58
21.5	10	1,79	6,40	0,56

Dijkpaal	Veiligheidsfactor 2023		Veiligheidsfactor 2070	
	gesloten zode	open zode	gesloten zode	open zode
21.6	8,19	10	10	10
22.3	10	10	10	3,73
22.4	10	2,28	10	0,65
22.5	10	1,91	7,82	0,56
22.6	10	10	10	1,92
22.7	10	1,96	8,27	0,58
22.8	10	1,64	6,59	0,51
22.9	10	1,25	4,48	0,42
23.0	10	1,76	7,32	0,54
23.1	10	2,01	8,83	0,61
23.2	10	1,86	10	0,57
23.3	10	10	10	4,49
24.1	10	10	10	4,49
24.2	10	1,35	10	0,75
24.3	10	10	10	1,83
24.4	10	5,28	10	1,03
24.5	10	6,41	10	1,14
24.6	10	4,99	10	1,03
24.7	10	10	10	1,91
24.8	10	8,91	10	1,31
24.9	10	10	10	1,69
25.0	10	10	10	10
25.1	10	10	10	8,48
25.2	10	10	10	10
25.3	10	10	10	4,59
25.4	10	10	10	2,63
25.5	10	10	10	2,12

Tabel 2: Wieringerzeewering Veiligheidsfactor GEBU (golfoploop) bij de maximaal toelaatbare kans en een gesloten zode en open zode.

Golfklap

Afgaande op [HKV, 2018] is golfklap voor grasbekleding slechts relevant voor een klein deel van de kering (~~Tabel 3~~~~Tabel 3~~). Voor de Wieringerzeewering geldt bij een gesloten zode in 2023 dat alleen dijkpaal 22.2 niet voldoet. Bij een open zode voldoen dijkpaal 21.7, 22.2 en 22.2 niet. In 2070 blijft de grasbekleding bij zowel een gesloten als een open zode voor dezelfde drie dijkpalen niet voldoen.

Formatted: Font: 9 pt, Not Italic,
Font color: Auto

Voor de dijkpalen 22.2 en 23.9 geldt dat geen asfaltbekleding aanwezig is beneden de grasbekleding. Toch resulteert dit in aanzienlijk verschillende veiligheidsfactoren.

Dijkpaal	Veiligheidsfactor 2023		Veiligheidsfactor 2070	
	gesloten zode	open zode	gesloten zode	open zode
DP21.7	1,70	0,57	0,30	0,30
DP22.1	2,16	0,66	0,40	0,37
DP22.2	0,37	0,37	0,20	0,20
DP23.9	10	10	7,98	3,90

Tabel 3: Wieringerzeewering Veiligheidsfactor GEBU (golflap) bij de maximaal toelaatbare kans en een gesloten zode en open zode.

4. Vergelijking

Binnen het WBI2017 geldt het advies voor een toets op maat van Mark Klein Breteler [Deltares, 2018] dat de golfhoogte niet groter mag zijn dan $0,532 \times$ de waterdiepte. In het uitgevoerde onderzoek van voorliggend rapport is uitgegaan van deze limitering. In [HKV, 2018] is dezelfde beoordeling uitgevoerd, echter daar is deze limitering niet toegepast. In deze paragraaf vergelijken we de oordelen voor gras uit de vorige paragraaf met die uit [HKV, 2018]. Deze studie brengt het effect van de limitering in beeld. Uitgangspunt is de standvastigheid van het voorland en geen mitigatie van geulen voor het zichtjaar 2070.

Golfploop

Tussen de twee studies bestaat slechts weinig verschil voor golfploop. Bij een open zode voldoen de Balgzanddijk en de Amsteldiepdijk tot 2070 aan de maximaal toelaatbare overstromingskans (Tabel 1Tabel 1). Dit was in [HKV, 2018] bijna hetzelfde. Daar voldeed alleen dijkpaal 13.2 niet tot 2070 als sprake is van open zode. Door de limitering van de golfhoogte voldoet het gras daar nu wel tot 2070, zelfs als sprake is van een open zode. Voor de Wieringerzeewering geldt in [HKV, 2018] hetzelfde als in de huidige beoordeling (Tabel 2Tabel 2): alleen bij open zode voldoet de grasbekleding voor een deel van de dijken niet in 2070.

Formatted: Font: 9 pt, Not Italic, Font color: Auto

Formatted: Font: 9 pt, Not Italic, Font color: Auto

Golflap

In [HKV, 2018] worden voor de dijken 21.7, 22.1 en 22.2 precies dezelfde veiligheidsfactoren berekend als in de huidige beoordeling. Dit zijn dijkvakken met een voorland en hier heeft de limitering van de golfhoogte geen effect op de golfhoogte, want die wordt door het aanwezige voorland al flink laag gehouden. Doordat er geen veranderingen zijn voor de golfhoogte veranderen de veiligheidsfactoren niet. Voor dijkpaal 23.9 heeft de limitering op de golfhoogte wél duidelijk invloed, met substantieel lagere golven tot gevolg. Veiligheidsfactoren worden nu duidelijk groter dan 1 en het gras voldoet zelfs in 2070, ook als sprake is van een open zode. In [HKV, 2018] voldeed het gras bij deze dijkpaal alleen in 2023 en dan moest er sprake zijn van een gesloten zode.

5. Conclusies

De beoordeling van de grasbekleding van het buitentalud leiden tot de volgende conclusies:

- Bij een grasbekleding met een open zode voldoen de Balgzanddijk en de Amsteldiepdijk tot 2070 aan de maximaal toelaatbare overstromingskans. Voor de Wieringerzeewering geldt dat deze bij een open zode ook voldoet in 2023. In 2070 voldoen bij een open zode 35 van de 88 dijkvakken niet. De veiligheidsfactor is dan kleiner dan 1,0.

- De grasmat op het buitentalud van de Balgzanddijk, Amsteldiepdijk en de Wieringerzeewering voldoet tot 2070 aan de maximaal toelaatbare overstromingskans t.a.v. golfoploop bij grasbekleding met gesloten zode.
-
- Golfklap voor grasbekleding is slechts relevant voor een klein deel van de kering (slechts vier dijkpalen van de Wieringerzeewering). In 2023 voldoet bij een gesloten zode alleen dijkspaal 22.2 niet. Bij een open zode voldoen dijkspaal 21.7, 22.2 en 22.2 niet. In 2070 voldoet de grasbekleding bij zowel een gesloten als een open zode voor dezelfde drie dijkpalen niet.
- Limitering op de golfhoogte door de golfhoogte te maximaliseren op $0,532 \times$ de waterdiepte (Toets op Maat advies van Mark Klein Breteler [Deltares, 2018]) heeft nagenoeg geen effect bij de beoordeling van de grasbekleding. Gras bevindt zich immers relatief hoog op het talud. Wil deze belast worden, dan is een verhoogde waterstand nodig. Dat geeft een zodanige waterdiepte dat geen limitering op de golfhoogte volgt.

Referenties

Deltares, 2017.

Hoogte van overgang van harde dijkbekleding naar gras. M. Klein Breteler, D. Kaste en A. Smale. Deltares, december 2017.

Deltares, 2018.

Beoordeling van enkele aspecten van een deel van de steenzetting op de Balgzanddijk en Amsteldiepdijk. M. Klein Breteler. Deltares, maart 2018.

HHNK, 2016.

Veiligheidsopgave traject Wieringer Zeewering. N.J. van Veen. Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier, maart 2016.

HKV, 2017a.

Actualisatie Veiligheidsopgave Wieringer Zeewering. HKV lijn in water, augustus 2017.

HKV, 2017b.

Veiligheidsbeoordeling WBI2017 Balgzanddijk en Amsteldiepdijk – Fase 2. HKV lijn in water en Tauw, juni 2017.

HKV, 2018.

Restlevensduur WAB – Wieringer Zeewering, Amsteldiepdijk en Balgzanddijk [*HKV-rapport PR3748.10*]. M. Zethof, G. Pleijter, K. van der Giessen en J. Tigchelaar. HKV lijn in water, maart 2018.

RWS - WVL, 2016.

Schematiseringshandleiding grasbekleding. Rijkwaterstaat – Water, Verkeer en Leefomgeving. december 2016.

Project: : HWBP-Verkenning Den Oever Den Helder
Datum: : 15 april 2019
Onderwerp : Veiligheidsanalyse stabiliteit steenzetting (ZST)
Van : Matthijs Duits en Gerbert Pleijter

Veiligheidsanalyse stabiliteit steenzetting (ZST)

1. Inleiding

Deze notitie presenteert de resultaten voor de stabiliteit van de steenbekleding. Paragraaf 2 benoemt de uitgangspunten. De resultaten per dijkvak en per zichtjaar zijn weergegeven in paragraaf 3. In paragraaf 4 vindt de vergelijking plaats met [HKV, 2018a].

2. Uitgangspunten

Voor het vaststellen van de restlevensduur van de steenzetting op het buitentalud zijn de uitgangspunten van de Balgzanddijk en de Amsteldiepdijk overgenomen uit [HKV, 2017]. De uitgangspunten voor de Wieringerzeewering zijn overgenomen uit [HKV, 2018b]. In de beoordeling is gebruik gemaakt van Steentoets v17.1.1.1.

Toelichting hydraulische belastingen

In Steentoets worden de hydraulische randvoorwaarden per rekenwaterstand opgegeven. De rekenwaterstanden zijn door de gebruiker in te voeren. Wanneer voor een rekenwaterstand net boven de maatgevende waterstand geen maatgevende golfcondities zijn berekend, dan zijn de golfcondities bij een lagere rekenwaterstand overgenomen.

Als voorbeeld bekijken we een situatie waarbij de golfcondities bij rekenwaterstanden om de 0,5 m zijn bepaald en een maatgevende waterstand van NAP+4,4 m optreedt. Bij NAP+4,5 m zijn geen golfcondities berekend, aangezien deze rekenwaterstand 'te hoog' ligt. Er zijn bij de gekozen herhalingsdijk geen golven op dat waterstandsniveau. Om er voor te zorgen dat door inter- of extrapolatie geen onrealistische waarden worden bepaald, zijn voor de eerstvolgende rekenwaterstand (in dit geval NAP+4,5 m) de golfgegevens behorend bij NAP+4,0 m overgenomen voor NAP+4,5 m. Hierdoor worden dus tussen de waterstandsniveaus NAP+4,0 m en NAP+4,4 m (de maatgevende waterstand) de golfcondities van het waterstandsniveau NAP+4,0 m gebruikt.

Gebruikte waterstandsniveaus

Voor de Balgzanddijk en de Amsteldiepdijk zijn in Steentoets de waterstandsniveaus NAP+0,5m tot en met NAP+4,0m gebruikt met stappen van 0,5 m. Voor de Wieringerzeewering zijn de waterstandsniveaus NAP+1,0m t/m NAP+4,5m gebruikt met stappen van 0,5 m. Als het waterstandsniveau lager ligt dan het voorland dan zijn geen golfcondities beschikbaar. Gekozen is

om dan te rekenen met een golfhoogte van 0,01 m en een piekperiode van 1 s. De golfrichting is overgenomen uit een hoger gelegen waterstandsniveau.

3. Resultaten

Tabel 1, Tabel 2 en Tabel 3 geven respectievelijk het oordeel voor de Balgzanddijk, de Amsteldiepdijk en de Wieringerzeewering. De drie tabellen hebben in beginsel dezelfde opbouw en bevatten per dijkvak drie oordelen:

- het oordeel bij de maximaal toelaatbare overstromingskans in 2023,
- het oordeel bij de signaleringswaarde in 2023, en
- Het oordeel bij de maximaal toelaatbare overstromingskans in 2070.

Voor de Wieringerzeewering is de signaleringswaarde gelijk aan de maximale toelaatbare overstromingskans (1/1.000). Daarom zijn de oordelen bij de Wieringerzeewering niet bij de signaleringswaarde weergegeven. Voor Balgzanddijk en de Amsteldiepdijk verschilt de signaleringswaarde (1/3.000) wel van de maximaal toelaatbare overstromingskans (1/1.000).

De resultaten tonen "Niet stabiel" of "Stabiel". Wanneer er "Niet stabiel" staat bij een locatie, betekent dit dat minimaal één van de bekledingsvlakken met steenbekleding instabiel is. Bij "Stabiel" zijn alle bekledingsvlakken stabiel.

Dijkvak	van km	tot km	2023 (max)	2023 (signaal)	2070 (max)	Dijkvak	van km	tot km	2023 (max)	2023 (signaal)	2070 (max)
D 88	4.6	4.7	Stabiel	Stabiel	Stabiel	D 88	8.6	8.7	Stabiel	Niet stabiel	Stabiel
D 88	4.7	4.8	Stabiel	Stabiel	Stabiel	D 88	8.7	8.8	Stabiel	Niet stabiel	Stabiel
D 88	4.8	4.9	Stabiel	Stabiel	Stabiel	D 88	8.8	8.9	Stabiel	Stabiel	Stabiel
D 88	4.9	5	Stabiel	Stabiel	Stabiel	D 88	8.9	9	Stabiel	Stabiel	Stabiel
D 88	5	5.1	Stabiel	Stabiel	Stabiel	D 88	9	9.1	Stabiel	Stabiel	Stabiel
D 88	5.1	5.2	Stabiel	Stabiel	Stabiel	D 88	9.1	9.2	Stabiel	Stabiel	Stabiel
D 88	5.2	5.3	Stabiel	Stabiel	Stabiel	D 88	9.2	9.3	Stabiel	Stabiel	Stabiel
D 88	5.3	5.4	Stabiel	Stabiel	Stabiel	D 88	9.3	9.4	Stabiel	Niet stabiel	Stabiel
D 88	5.4	5.5	Stabiel	Stabiel	Stabiel	D 88	9.4	9.5	Stabiel	Stabiel	Stabiel
D 88	5.5	5.6	Stabiel	Stabiel	Stabiel	D 88	9.5	9.6	Stabiel	Stabiel	Niet stabiel
D 88	5.6	5.7	Stabiel	Stabiel	Stabiel	D 88	9.6	9.7	Stabiel	Niet stabiel	Niet stabiel
D 88	5.7	5.8	Stabiel	Stabiel	Stabiel	D 88	9.7	9.8	Stabiel	Niet stabiel	Niet stabiel
D 88	5.8	5.9	Stabiel	Stabiel	Stabiel	D 88	9.8	9.9	Stabiel	Niet stabiel	Stabiel
D 88	5.9	6	Stabiel	Stabiel	Stabiel	D 88	9.9	10	Stabiel	Niet stabiel	Stabiel
D 88	6	6.1	Stabiel	Stabiel	Stabiel	D 88	10	10.1	Stabiel	Stabiel	Stabiel
D 88	6.1	6.2	Stabiel	Stabiel	Stabiel	D 88	10.1	10.2	Stabiel	Stabiel	Stabiel
D 88	6.2	6.3	Stabiel	Stabiel	Stabiel	D 88	10.2	10.3	Stabiel	Stabiel	Stabiel
D 88	6.3	6.4	Stabiel	Stabiel	Stabiel	D 88	10.3	10.4	Stabiel	Stabiel	Stabiel
D 88	6.4	6.5	Stabiel	Stabiel	Stabiel	D 88	10.4	10.5	Stabiel	Stabiel	Stabiel
D 88	6.5	6.6	Stabiel	Stabiel	Stabiel	D 88	10.5	10.6	Stabiel	Stabiel	Stabiel
D 88	6.6	6.7	Stabiel	Stabiel	Stabiel	D 88	10.7	10.8	Stabiel	Stabiel	Stabiel
D 88	6.7	6.8	Stabiel	Stabiel	Stabiel	D 88	10.8	10.9	Stabiel	Stabiel	Stabiel
D 88	6.8	6.9	Stabiel	Stabiel	Stabiel	D 88	10.9	11	Stabiel	Stabiel	Stabiel
D 88	6.9	7	Stabiel	Stabiel	Stabiel	D 88	11	11.1	Stabiel	Stabiel	Stabiel
D 88	7	7.1	Stabiel	Stabiel	Stabiel	D 88	11.1	11.2	Niet stabiel	Niet stabiel	Niet stabiel
D 88	7.1	7.2	Stabiel	Stabiel	Stabiel	D 88	11.2	11.3	Stabiel	Stabiel	Stabiel
D 88	7.2	7.3	Stabiel	Stabiel	Stabiel	D 88	11.3	11.4	Niet stabiel	Niet stabiel	Niet stabiel
D 88	7.3	7.4	Stabiel	Stabiel	Stabiel	D 88	11.4	11.5	Stabiel	Stabiel	Stabiel
D 88	7.4	7.5	Stabiel	Stabiel	Stabiel	D 88	11.5	11.6	Stabiel	Stabiel	Stabiel
D 88	7.5	7.6	Stabiel	Stabiel	Stabiel	D 88	11.6	11.7	Stabiel	Stabiel	Stabiel
D 88	7.6	7.7	Stabiel	Stabiel	Niet stabiel	D 88	11.7	11.8	Stabiel	Stabiel	Stabiel
D 88	7.7	7.8	Stabiel	Niet stabiel	Stabiel	D 88	11.8	11.9	Stabiel	Stabiel	Stabiel
D 88	7.8	7.9	Stabiel	Niet stabiel	Stabiel	D 88	11.9	12	Stabiel	Stabiel	Stabiel
D 88	7.9	8	Stabiel	Niet stabiel	Stabiel	D 88	12	12.1	Stabiel	Stabiel	Stabiel
D 88	8	8.1	Stabiel	Niet stabiel	Stabiel	D 88	12.1	12.2	Stabiel	Stabiel	Stabiel
D 88	8.1	8.2	Stabiel	Stabiel	Stabiel	D 88	12.2	12.3	Stabiel	Stabiel	Niet stabiel
D 88	8.2	8.3	Stabiel	Niet stabiel	Stabiel	D 88	12.3	12.4	Stabiel	Stabiel	Stabiel
D 88	8.3	8.4	Stabiel	Stabiel	Stabiel	D 88	12.4	12.5	Stabiel	Stabiel	Stabiel
D 88	8.4	8.5	Stabiel	Stabiel	Stabiel	D 88	12.5	12.6	Stabiel	Stabiel	Stabiel
D 88	8.5	8.6	Stabiel	Niet stabiel	Niet stabiel						

Tabel 1: Oordeel steenbekleding Balgzanddijk bij de maximaal toelaatbare kans (max) in 2023 en 2070 en bij de signaalwaarde in 2023.

Dijkvak	van km	tot km	2023 (max)	2023 (signaal)	2070 (max)
D 89	12.6	12.7	Stabiel	Stabiel	Stabiel
D 89	12.7	12.8	Stabiel	Stabiel	Stabiel
D 89	12.8	12.9	Stabiel	Stabiel	Stabiel
D 89	12.9	13	Stabiel	Stabiel	Niet stabiel
D 89	13	13.1	Stabiel	Stabiel	Niet stabiel
D 89	13.1	13.2	Stabiel	Stabiel	Stabiel
D 89	13.2	13.3	Stabiel	Stabiel	Stabiel
D 89	13.3	13.4	Stabiel	Stabiel	Stabiel
D 89	13.4	13.5	Stabiel	Stabiel	Niet stabiel
D 89	13.5	13.6	Niet stabiel	Niet stabiel	Niet stabiel
D 89	13.6	13.7	Stabiel	Stabiel	Stabiel
D 89	13.7	13.8	Stabiel	Niet stabiel	Stabiel
D 89	13.8	13.9	Stabiel	Stabiel	Stabiel
D 89	13.9	14	Stabiel	Stabiel	Stabiel
D 89	14	14.1	Stabiel	Stabiel	Stabiel
D 89	14.1	14.2	Stabiel	Stabiel	Stabiel
D 89	14.2	14.3	Stabiel	Stabiel	Stabiel
D 89	14.3	14.4	Stabiel	Stabiel	Stabiel
D 89	14.4	14.5	Stabiel	Stabiel	Stabiel
D 89	14.5	14.6	Stabiel	Stabiel	Stabiel
D 89	14.6	14.7	Stabiel	Stabiel	Stabiel
D 89	14.7	14.8	Stabiel	Stabiel	Stabiel

Tabel 2: Oordeel steenbekleding Amsteldiepdijs bij de maximaal toelaatbare kans (max) in 2023 en 2070 en bij de signaalwaarde in 2023.

Dijkvak	van km	tot km	2023	2070	Dijkvak	van km	tot km	2023	2070
D 90	14.8	14.9	Stabiel	Stabiel	D 90	17.6	17.7	Stabiel	Stabiel
D 90	15.6	15.7	Stabiel	Stabiel	D 90	17.7	17.8	Stabiel	Stabiel
D 90	15.7	15.8	Stabiel	Stabiel	D 90	17.8	17.9	Stabiel	Stabiel
D 90	15.8	15.9	Niet stabiel	Stabiel	D 90	17.9	18	Stabiel	Stabiel
D 90	15.9	16	Niet stabiel	Stabiel	D 90	18	18.1	Stabiel	Stabiel
D 90	16	16.1	Niet stabiel	Stabiel	D 90	18.1	18.2	Stabiel	Stabiel
D 90	16.1	16.2	Niet stabiel	Stabiel	D 90	18.2	18.3	Stabiel	Stabiel
D 90	16.2	16.3	Niet stabiel	Niet stabiel	D 90	18.3	18.4	Stabiel	Stabiel
D 90	16.3	16.4	Niet stabiel	Stabiel	D 90	18.4	18.5	Stabiel	Niet stabiel
D 90	16.4	16.5	Stabiel	Stabiel	D 90	18.5	18.6	Niet stabiel	Niet stabiel
D 90	16.5	16.6	Stabiel	Stabiel	D 90	18.6	18.7	Niet stabiel	Niet stabiel
D 90	16.6	16.7	Stabiel	Stabiel	D 90	18.7	18.8	Stabiel	Niet stabiel
D 90	16.7	16.8	Niet stabiel	Stabiel	D 90	18.8	18.9	Niet stabiel	Niet stabiel
D 90	16.8	16.9	Stabiel	Stabiel	D 90	18.9	19	Niet stabiel	Niet stabiel
D 90	16.9	17	Niet stabiel	Stabiel	D 90	19	19.1	Stabiel	Stabiel
D 90	17	17.1	Stabiel	Stabiel	D 90	19.1	19.2	Stabiel	Stabiel
D 90	17.1	17.2	Stabiel	Stabiel	D 90	19.2	19.3	Stabiel	Stabiel
D 90	17.2	17.3	Stabiel	Stabiel	D 90	19.3	19.4	Stabiel	Stabiel
D 90	17.3	17.4	Stabiel	Stabiel	D 90	19.4	19.5	Stabiel	Stabiel
D 90	17.4	17.5	Stabiel	Stabiel	D 90	19.5	19.6	Stabiel	Stabiel
D 90	17.5	17.6	Stabiel	Stabiel					

Tabel 3: Oordeel steenbekleding Wieringerzeewering bij de maximaal toelaatbare kans.

Bij de Wieringerzeewering doet zich een bijzonderheid voor. Zeven dijkvakken gelegen tussen de dijkpalen 15.8 en 17.0 hebben in 2023 het oordeel 'Niet stabiel', terwijl het oordeel in 2070 'stabiel' is (Tabel 3). De oorzaak hiervan hebben we onderzocht. Het oordeel 'Niet stabiel' is het gevolg van topplaginstabiliteit, waarbij de dikte van de topplaat net 1 tot 2 cm te weinig is. De onderlaag bestaat uit zand, waardoor er geen reststerkte is. Diezelfde dijkvakken hebben in 2070 het oordeel 'Stabiel', maar hebben een dikteoverschot van slechts 1 tot 3 cm. In beide zichtjaren bevindt het oordeel zich dus op de grens van wel/niet Stabiel. In Steentoets wordt voor 2023 voor het waterstandsniveau 3.5 m+NAP beoordeeld met golven met een normale golfsteilheid, waar de beoordeling in 2070 plaats vindt met golven met een grote golfsteilheid. In 2070 is de golfhoogte lager en de golfperiode langer dan in 2023. Dit verschil veroorzaakt het oordeel 'Stabiel' in 2070 en het oordeel 'Niet stabiel' in 2023.

4. Vergelijking

Binnen het WBI2017 geldt het advies voor een toets op maat van Mark Klein Breteler [Deltares, 2018] dat de golfhoogte niet groter mag zijn dan $0,532 \times$ de waterdiepte. In het uitgevoerde onderzoek van voorliggend rapport is uitgegaan van deze limitering. In [HKV, 2018a] is dezelfde beoordeling uitgevoerd, echter daar is deze limitering niet toegepast. In deze paragraaf vergelijken we de oordelen voor steenbekleding uit de vorige paragraaf met die uit [HKV, 2018a]. De vergelijking is alleen mogelijk voor de maximaal toelaatbare kansen, omdat in [HKV, 2018a] niet beoordeeld is op signaleringswaarden. Wel is in [HKV, 2018a] beoordeeld voor 2100, maar dat is in voorliggend onderzoek niet gedaan. De vergelijking betreft daarom alleen de oordelen met de maximaal toelaatbare kansen voor 2023 en 2070.

Balgzanddijk

Tabel 4 geeft de vergelijking van de oordelen voor de Balgzanddijk. De eerste twee kolommen betreffen telkens de oordelen voor 2023 en de twee laatste kolommen, die voor 2070. Van de acht kolommen met oordelen bevatten de oneven kolommen de oordelen uit [HKV, 2018a] en de even kolommen die uit het onderzoek van voorliggend rapport.

Dijkvak	van km	tot km	was 2023	wordt '23	was 2070	wordt '70	Dijkvak	van km	tot km	was 2023	wordt '23	was 2070	wordt '70
D 88	4.6	4.7	Stabiel	Stabiel	Stabiel	Stabiel	D 88	8.6	8.7	Stabiel	Stabiel	Stabiel	Stabiel
D 88	4.7	4.8	Stabiel	Stabiel	Stabiel	Stabiel	D 88	8.7	8.8	Stabiel	Stabiel	Stabiel	Stabiel
D 88	4.8	4.9	Stabiel	Stabiel	Stabiel	Stabiel	D 88	8.8	8.9	Stabiel	Stabiel	Stabiel	Stabiel
D 88	4.9	5	Stabiel	Stabiel	Stabiel	Stabiel	D 88	8.9	9	Stabiel	Stabiel	Stabiel	Stabiel
D 88	5	5.1	Stabiel	Stabiel	Stabiel	Stabiel	D 88	9	9.1	Stabiel	Stabiel	Stabiel	Stabiel
D 88	5.1	5.2	Stabiel	Stabiel	Stabiel	Stabiel	D 88	9.1	9.2	Niet stabiel	Stabiel	Niet stabiel	Stabiel
D 88	5.2	5.3	Stabiel	Stabiel	Stabiel	Stabiel	D 88	9.2	9.3	Stabiel	Stabiel	Stabiel	Stabiel
D 88	5.3	5.4	Stabiel	Stabiel	Stabiel	Stabiel	D 88	9.3	9.4	Stabiel	Stabiel	Stabiel	Stabiel
D 88	5.4	5.5	Stabiel	Stabiel	Stabiel	Stabiel	D 88	9.4	9.5	Stabiel	Stabiel	Stabiel	Stabiel
D 88	5.5	5.6	Stabiel	Stabiel	Stabiel	Stabiel	D 88	9.5	9.6	Niet stabiel	Stabiel	Niet stabiel	Niet stabiel
D 88	5.6	5.7	Stabiel	Stabiel	Stabiel	Stabiel	D 88	9.6	9.7	Niet stabiel	Stabiel	Niet stabiel	Niet stabiel
D 88	5.7	5.8	Stabiel	Stabiel	Stabiel	Stabiel	D 88	9.7	9.8	Niet stabiel	Stabiel	Niet stabiel	Niet stabiel
D 88	5.8	5.9	Stabiel	Stabiel	Stabiel	Stabiel	D 88	9.8	9.9	Stabiel	Stabiel	Stabiel	Stabiel
D 88	5.9	6	Stabiel	Stabiel	Stabiel	Stabiel	D 88	9.9	10	Niet stabiel	Stabiel	Niet stabiel	Stabiel
D 88	6	6.1	Stabiel	Stabiel	Stabiel	Stabiel	D 88	10	10.1	Stabiel	Stabiel	Stabiel	Stabiel
D 88	6.1	6.2	Stabiel	Stabiel	Stabiel	Stabiel	D 88	10.1	10.2	Stabiel	Stabiel	Stabiel	Stabiel
D 88	6.2	6.3	Stabiel	Stabiel	Stabiel	Stabiel	D 88	10.2	10.3	Stabiel	Stabiel	Stabiel	Stabiel
D 88	6.3	6.4	Stabiel	Stabiel	Stabiel	Stabiel	D 88	10.3	10.4	Stabiel	Stabiel	Stabiel	Stabiel
D 88	6.4	6.5	Stabiel	Stabiel	Stabiel	Stabiel	D 88	10.4	10.5	Stabiel	Stabiel	Stabiel	Stabiel
D 88	6.5	6.6	Stabiel	Stabiel	Stabiel	Stabiel	D 88	10.5	10.6	Stabiel	Stabiel	Stabiel	Stabiel
D 88	6.6	6.7	Stabiel	Stabiel	Stabiel	Stabiel	D 88	10.6	10.7	Stabiel	Stabiel	Stabiel	Stabiel
D 88	6.7	6.8	Stabiel	Stabiel	Stabiel	Stabiel	D 88	10.7	10.8	Stabiel	Stabiel	Stabiel	Stabiel
D 88	6.8	6.9	Stabiel	Stabiel	Stabiel	Stabiel	D 88	10.8	10.9	Stabiel	Stabiel	Stabiel	Stabiel
D 88	6.9	7	Stabiel	Stabiel	Stabiel	Stabiel	D 88	10.9	11	Stabiel	Stabiel	Stabiel	Stabiel
D 88	7	7.1	Stabiel	Stabiel	Stabiel	Stabiel	D 88	11	11.1	Stabiel	Stabiel	Stabiel	Stabiel
D 88	7.1	7.2	Stabiel	Stabiel	Stabiel	Stabiel	D 88	11.1	11.2	Niet stabiel	Niet stabiel	Niet stabiel	Niet stabiel
D 88	7.2	7.3	Stabiel	Stabiel	Stabiel	Stabiel	D 88	11.2	11.3	Stabiel	Stabiel	Stabiel	Stabiel
D 88	7.3	7.4	Stabiel	Stabiel	Stabiel	Stabiel	D 88	11.3	11.4	Niet stabiel	Niet stabiel	Niet stabiel	Niet stabiel
D 88	7.4	7.5	Stabiel	Stabiel	Stabiel	Stabiel	D 88	11.4	11.5	Stabiel	Stabiel	Stabiel	Stabiel
D 88	7.5	7.6	Stabiel	Stabiel	Stabiel	Stabiel	D 88	11.5	11.6	Stabiel	Stabiel	Stabiel	Stabiel
D 88	7.6	7.7	Stabiel	Stabiel	Niet stabiel	Niet stabiel	D 88	11.6	11.7	Stabiel	Stabiel	Stabiel	Stabiel
D 88	7.7	7.8	Stabiel	Stabiel	Stabiel	Stabiel	D 88	11.7	11.8	Stabiel	Stabiel	Stabiel	Stabiel
D 88	7.8	7.9	Stabiel	Stabiel	Stabiel	Stabiel	D 88	11.8	11.9	Stabiel	Stabiel	Niet stabiel	Stabiel
D 88	7.9	8	Stabiel	Stabiel	Stabiel	Stabiel	D 88	11.9	12	Stabiel	Stabiel	Stabiel	Stabiel
D 88	8	8.1	Stabiel	Stabiel	Stabiel	Stabiel	D 88	12	12.1	Stabiel	Stabiel	Niet stabiel	Stabiel
D 88	8.1	8.2	Stabiel	Stabiel	Stabiel	Stabiel	D 88	12.1	12.2	Stabiel	Stabiel	Niet stabiel	Stabiel
D 88	8.2	8.3	Stabiel	Stabiel	Stabiel	Stabiel	D 88	12.2	12.3	Stabiel	Stabiel	Stabiel	Niet stabiel
D 88	8.3	8.4	Stabiel	Stabiel	Stabiel	Stabiel	D 88	12.3	12.4	Stabiel	Stabiel	Stabiel	Stabiel
D 88	8.4	8.5	Stabiel	Stabiel	Stabiel	Stabiel	D 88	12.4	12.5	Stabiel	Stabiel	Stabiel	Stabiel
D 88	8.5	8.6	Stabiel	Stabiel	Stabiel	Niet stabiel	D 88	12.5	12.6	Stabiel	Stabiel	Stabiel	Stabiel

Tabel 4: Vergelijking oordelen steenbekleding voor de Balgzanddijk tussen het onderzoek uit [HKV, 2018a] – in de kolommen "was" – en het nieuwe onderzoek – in de kolommen "wordt".

De volgende conclusie kan voor 2023 getrokken worden naar aanleiding van de oordelen uit Tabel 4: vijf dijkvakken zijn stabiel geworden voor 2023 door de toevoeging van de limitering op de golfhoogte:

- km 9.1 - 9.2 (1 dijkvak),
- km 9.5 - 9.8 (3 dijkvakken),
- km 9.9 - 10.0 (1 dijkvak).

Twee dijkvakken blijven in 2023 voor de Balgzanddijk het oordeel 'Niet stabiel' houden. Dit zijn:

- km 11.1 - 11.2,
- km 11.3 - 11.4.

Voor het dijkvak km 8.5 - 8.6 volgt het oordeel 'Stabiel' na een extra beoordeling.

Voor 2070 kunnen de volgende conclusies getrokken worden op basis van Tabel 4: vijf dijkvakken stabiel geworden door toepassing van de limitering op de golfhoogte:

- km 9.1 - 9.2 (1 dijkvak),
- km 9.9 - 10.0 (1 dijkvak),
- km 11.8 - 11.9 (1 dijkvak),
- km 12.0 - 12.2 (2 dijkvakken).

Zes dijkvakken houden voor 2070 het oordeel 'Niet stabiel' houden. Dit zijn:

- km 7.6 - 7.7 (1 dijkvak),
- km 9.5 - 9.8 (3 dijkvakken),
- km 11.1 - 11.2 (1 dijkvak),
- km 11.3 - 11.4 (1 dijkvak).

Het dijkvak km 7.6 - 7.7 krijgt het oordeel 'Niet stabiel' omdat voor een hoog gelegen steenzetting het oordeel 'Niet Stabiel' geldt. De steenzetting tot het niveau NAP+3,22m heeft wel het oordeel 'Stabiel'.

In de nieuwe analyse hebben twee vakken van de Balgzanddijk het oordeel 'Niet stabiel' gekregen, terwijl die twee dijkvakken in [HKV, 2018a] het oordeel 'Stabiel' hadden. Dit zijn:

- km 8.5 - 8.6,
- km 12.2 - 12.3.

Deze laatste twee dijkvakken hebben we nader geanalyseerd en ter beoordeling voorgelegd aan Mark Klein Breteler van Deltares. Het oordeel 'Niet stabiel' volgt doordat de dijkvakken onvoldoende sterkte hebben voor het mechanisme 'materiaaltransport vanuit de ondergrond'. De beoordeling van dit mechanisme vindt plaats bij de maatgevende waterstand van de topplaagstabiliteit. Door de dieptelimitering op de golfhoogte is de relatief lage waterstand uit [HKV, 2018a] nu niet langer maatgevend. De golven bij deze waterstand zijn door de dieptelimitering immers lager geworden. De maatgevende waterstand wordt met dieptelimitering gevonden bij een hogere waterstand. Bij deze waterstand volgt het oordeel 'Niet stabiel' voor het mechanisme 'materiaaltransport vanuit de ondergrond'. Ook de reststerkte van de dijk onvoldoende, omdat ook hiervoor de maatgevende waterstand uit de beoordeling op topplaagstabiliteit gebruikt wordt. De reststerkte was in [HKV, 2018a] nog wel voldoende omdat daar een lagere waterstand gebruikt werd. Zou de beoordeling van de 'materiaaltransport vanuit de ondergrond' en 'erosie onderlagen' bij alle waterstanden gedaan worden i.p.v. alleen de maatgevende waterstand voor de topplaagstabiliteit, dan volgde in [HKV, 2018a] ook het oordeel 'Niet stabiel' voor deze dijkvakken.

Amsteldiepdijk

Tabel 5 geeft de vergelijking van de oordelen voor de Amsteldiepdijk. De eerste twee kolommen betreffen telkens de oordelen voor 2023 en de twee laatste kolommen, die voor 2070. Van de vier kolommen met oordelen bevatten de oneven kolommen de oordelen uit [HKV, 2018a] en de even kolommen die uit het onderzoek uit voorliggend rapport.

Dijkvak	van km	tot km	was 2023	wordt '23	was 2070	wordt '70
D 89	12.6	12.7	Stabiel	Stabiel	Stabiel	Stabiel
D 89	12.7	12.8	Stabiel	Stabiel	Niet stabiel	Stabiel
D 89	12.8	12.9	Stabiel	Stabiel	Stabiel	Stabiel
D 89	12.9	13	Niet stabiel	Stabiel	Niet stabiel	Niet stabiel
D 89	13	13.1	Niet stabiel	Stabiel	Niet stabiel	Niet stabiel
D 89	13.1	13.2	Stabiel	Stabiel	Stabiel	Stabiel
D 89	13.2	13.3	Stabiel	Stabiel	Stabiel	Stabiel
D 89	13.3	13.4	Stabiel	Stabiel	Stabiel	Stabiel
D 89	13.4	13.5	Stabiel	Stabiel	Stabiel	Niet stabiel
D 89	13.5	13.6	Stabiel	Niet stabiel	Niet stabiel	Niet stabiel
D 89	13.6	13.7	Stabiel	Stabiel	Niet stabiel	Stabiel
D 89	13.7	13.8	Niet stabiel	Stabiel	Niet stabiel	Stabiel
D 89	13.8	13.9	Niet stabiel	Stabiel	Niet stabiel	Stabiel
D 89	13.9	14	Niet stabiel	Stabiel	Niet stabiel	Stabiel
D 89	14	14.1	Niet stabiel	Stabiel	Niet stabiel	Stabiel
D 89	14.1	14.2	Niet stabiel	Stabiel	Niet stabiel	Stabiel
D 89	14.2	14.3	Niet stabiel	Stabiel	Niet stabiel	Stabiel
D 89	14.3	14.4	Niet stabiel	Stabiel	Niet stabiel	Stabiel
D 89	14.4	14.5	Stabiel	Stabiel	Niet stabiel	Stabiel
D 89	14.5	14.6	Stabiel	Stabiel	Niet stabiel	Stabiel
D 89	14.6	14.7	Stabiel	Stabiel	Niet stabiel	Stabiel
D 89	14.7	14.8	Stabiel	Stabiel	Niet stabiel	Stabiel

Tabel 5: Vergelijking oordelen steenbekleding voor de Amsteldiepdijk tussen het onderzoek uit [HKV, 2018a] – in de kolommen "was" – en het nieuwe onderzoek – in de kolommen "wordt".

In de nieuwe analyse heeft alleen het dijkvak km 13.5 - 13.6 van de Amsteldiepdijk in 2023 het oordeel 'Niet stabiel'. Dit dijkvak had in [HKV, 2018a] het oordeel 'Stabiel'. Analyse van de steentoetsresultaten laat zien dat Steentoets ook voor [HKV, 2018a] hier het oordeel 'Niet stabiel' geeft. De motivatie waarom in [HKV, 2018a] toch het oordeel 'Stabiel' volgt hebben we niet weten te achterhalen. Tabel 5 laat zien dat de negen vakken met het oordeel 'Niet stabiel' uit [HKV, 2018a] voor 2023 door het aanbrengen van de limitering op de golfhoogte allen het oordeel 'Stabiel' krijgen.

Voor 2070 hebben nog slechts vier van de 22 vakken van de Amsteldiepdijk het oordeel 'Niet Stabiel'. Dit zijn:

- km 12.9 - 13.1 (2 dijkvakken),
- km 13.4 - 13.5 (2 dijkvakken).

Drie van de vier vakken hadden in [HKV, 2018a] ook het oordeel 'Niet stabiel', alleen het dijkvak km 13.4 - 13.5 had daar het oordeel 'Stabiel'. Voor dit dijkvak volgt dezelfde bevinding als de voor de dijkvakken 'km 8.5 - 8.6' en 'km 12.2 - 12.3' van de Balgzanddijk: de maatgevende waterstand voor top laagstabiliteit wordt door de dieptelimitering groter. Bij deze waterstand worden ook de beoordelingen voor 'materiaaltransport vanuit de ondergrond' en 'erosie onderlagen' uitgevoerd. Dan volgt het oordeel 'Niet stabiel'. Zou de beoordeling van de 'materiaaltransport vanuit de ondergrond' en 'erosie onderlagen' bij alle waterstanden gedaan worden i.p.v. alleen de maatgevende waterstand voor de top laagstabiliteit, dan volgde in [HKV, 2018a] ook het oordeel 'Niet stabiel' voor dit dijkvak.

Dertien vakken van de Amsteldiepdijk die volgens [HKV, 2018a] het oordeel 'Niet stabiel' hadden in 2070 hebben nu het oordeel 'Stabiel' door toepassing van de limitering (Tabel 5).

Wieringerzeewering

Tabel 6 geeft de vergelijking van de oordelen voor de Wieringerzeewering. De eerste twee kolommen betreffen telkens de oordelen voor 2023 en de twee laatste kolommen, die voor 2070. Van de acht kolommen met oordelen bevatten de oneven kolommen de oordelen uit [HKV, 2018a] en de even kolommen die uit het onderzoek van voorliggend rapport.

In [HKV, 2018a] hadden nagenoeg alle dijkvakken van de Wieringerzeewering het oordeel 'Niet stabiel' voor zowel 2023 als 2070. Alleen de volgende vakken hadden het oordeel 'Stabiel':

- km 15.6 - 15.7 (zowel 2023 als 2070),
- km 16.4 - 16.5 (alleen 2023),
- km 17.5 - 17.6 (zowel 2023 als 2070),
- km 17.7 - 17.8 (zowel 2023 als 2070).

Tabel 6 laat zien dat deze dijkvakken ook nu het oordeel 'Stabiel' hebben. Bovendien laat Tabel 6 zien dat er flink meer vakken zijn met het oordeel 'Stabiel' door het aanbrengen van de limitering op de golfhoogte. Voor 2023 geldt dat er nu 29 van de 41 vakken het oordeel 'Stabiel' hebben. Voor 2070 stijgt dit aantal naar 34 dijkvakken. In paragraaf 3 is deze opmerkelijke stijging toegelicht.

Dijkvak	van km	tot km	was 2023	woordt '23	was 2070	woordt '70	Dijkvak	van km	tot km	was 2023	woordt '23	was 2070	woordt '70
D 90	14.8	14.9	Niet stabiel	Stabiel	Niet stabiel	Stabiel	D 90	17.6	17.7	Niet stabiel	Stabiel	Niet stabiel	Stabiel
D 90	15.6	15.7	Stabiel	Stabiel	Stabiel	Stabiel	D 90	17.7	17.8	Stabiel	Stabiel	Stabiel	Stabiel
D 90	15.7	15.8	Niet stabiel	Stabiel	Niet stabiel	Stabiel	D 90	17.8	17.9	Niet stabiel	Stabiel	Niet stabiel	Stabiel
D 90	15.8	15.9	Niet stabiel	Niet stabiel	Niet stabiel	Stabiel	D 90	17.9	18	Niet stabiel	Stabiel	Niet stabiel	Stabiel
D 90	15.9	16	Niet stabiel	Niet stabiel	Niet stabiel	Stabiel	D 90	18	18.1	Niet stabiel	Stabiel	Niet stabiel	Stabiel
D 90	16	16.1	Niet stabiel	Niet stabiel	Niet stabiel	Stabiel	D 90	18.1	18.2	Niet stabiel	Stabiel	Niet stabiel	Stabiel
D 90	16.1	16.2	Niet stabiel	Niet stabiel	Niet stabiel	Stabiel	D 90	18.2	18.3	Niet stabiel	Stabiel	Niet stabiel	Stabiel
D 90	16.2	16.3	Niet stabiel	Niet stabiel	Niet stabiel	Niet stabiel	D 90	18.3	18.4	Niet stabiel	Stabiel	Niet stabiel	Stabiel
D 90	16.3	16.4	Niet stabiel	Niet stabiel	Niet stabiel	Stabiel	D 90	18.4	18.5	Niet stabiel	Stabiel	Niet stabiel	Niet stabiel
D 90	16.4	16.5	Stabiel	Stabiel	Niet stabiel	Stabiel	D 90	18.5	18.6	Niet stabiel	Niet stabiel	Niet stabiel	Niet stabiel
D 90	16.5	16.6	Niet stabiel	Stabiel	Niet stabiel	Stabiel	D 90	18.6	18.7	Niet stabiel	Niet stabiel	Niet stabiel	Niet stabiel
D 90	16.6	16.7	Niet stabiel	Stabiel	Niet stabiel	Stabiel	D 90	18.7	18.8	Niet stabiel	Stabiel	Niet stabiel	Niet stabiel
D 90	16.7	16.8	Niet stabiel	Niet stabiel	Niet stabiel	Stabiel	D 90	18.8	18.9	Niet stabiel	Niet stabiel	Niet stabiel	Niet stabiel
D 90	16.8	16.9	Niet stabiel	Stabiel	Niet stabiel	Stabiel	D 90	18.9	19	Niet stabiel	Niet stabiel	Niet stabiel	Niet stabiel
D 90	16.9	17	Niet stabiel	Niet stabiel	Niet stabiel	Stabiel	D 90	19	19.1	Niet stabiel	Stabiel	Niet stabiel	Stabiel
D 90	17	17.1	Niet stabiel	Stabiel	Niet stabiel	Stabiel	D 90	19.1	19.2	Niet stabiel	Stabiel	Niet stabiel	Stabiel
D 90	17.1	17.2	Niet stabiel	Stabiel	Niet stabiel	Stabiel	D 90	19.2	19.3	Niet stabiel	Stabiel	Niet stabiel	Stabiel
D 90	17.2	17.3	Niet stabiel	Stabiel	Niet stabiel	Stabiel	D 90	19.3	19.4	Niet stabiel	Stabiel	Niet stabiel	Stabiel
D 90	17.3	17.4	Niet stabiel	Stabiel	Niet stabiel	Stabiel	D 90	19.4	19.5	Niet stabiel	Stabiel	Niet stabiel	Stabiel
D 90	17.4	17.5	Niet stabiel	Stabiel	Niet stabiel	Stabiel	D 90	19.5	19.6	Niet stabiel	Stabiel	Niet stabiel	Stabiel
D 90	17.5	17.6	Stabiel	Stabiel	Stabiel	Stabiel							

Tabel 6: Vergelijking oordelen steenbekleding voor de Wieringerzeewering tussen het onderzoek uit [HKV, 2018a] –in de kolommen "was" – en het nieuwe onderzoek – in de kolommen "woordt".

Referenties

Deltares, 2018.

Beoordeling van enkele aspecten van een deel van de steenzetting op de Balgzanddijk en Amsteldiepdijk. M. Klein Breteler. Deltares, maart 2018.

HKV, 2017.

Veiligheidsbeoordeling WBI2017 Balgzanddijk en Amsteldiepdijk – Fase 2. HKV lijn in water en Tauw, juni 2017.

HKV, 2018a.

Restlevensduur WAB – Wieringer Zeewering, Amsteldiepdijk en Balgzanddijk [*HKV-rapport PR3748.10*]. M. Zethof, G. Pleijter, K. van der Giessen en J. Tigchelaar. HKV lijn in water, maart 2018.

HKV, 2018b.

Memorandum Nadere beoordeling gras Wieringer Zeewering. HKV lijn in water, maart 2018.