



RWS INFORMATIE

**Verschil- en consequentieanalyse nieuw beoordelings-
en ontwerpinstrumentarium voor zandige waterkeringen**

BOI Zandige Waterkeringen

Datum	15 maart 2023
Versie	1.0
Status	Definitief



Samenvatting

Binnen het programma BOI wordt een nieuw instrumentarium ontwikkeld, op basis van het proces-gebaseerde, numerieke model XBeach. Dit model kan worden gebruikt om de veiligheidsbeoordeling van de zandige kust van Nederland mee uit te voeren. Het 'Plan van Aanpak Vernieuwd Instrumentarium Zandige Keringen' (Deltares en Arcadis, 2019) beschrijft de inmiddels afgeronde ontwikkeling van dit nieuwe instrumentarium. Rijkswaterstaat WVL heeft, in opdracht van DGWB, STOWA en de kust- en duinwaterkeringsbeheerders, de taak gekregen om de eerste fase (Ambitieniveau 1) van dit ontwikkelingsproject te leiden.

Dit rapport richt zich op één van de taken van het ontwikkelingstraject, namelijk het in kaart brengen van de zowel rekenkundige verschillen als de beleidsmatige consequenties van de overstap van het WBI2017 naar het nieuwe BOI.

In het eerste deel van dit rapport wordt een overzicht gegeven van de verschillen tussen het nieuwe BOI en het oude WBI2017 om zowel de rekenkundige verschillen als de beleidsmatige consequenties beter te kunnen duiden. Deze verschillen zijn ook puntsgewijs beschreven in de 'Handleiding Overstromingskansanalyse Faalpad Duinafslag' (Arcadis en Deltares, 2023b), maar in de voorliggende rapportage van een uitgebreidere duiding voorzien. Daarbij is specifiek aandacht besteed aan de wijze waarop de beoordeling van de waterkering plaatsvindt en de hiertoe geïmplementeerde overstap van het duinafslagmodel Duros+ naar XBeach vorm heeft gekregen. In relatie daarmee zijn ook de aan deze overstap gerelateerde nieuwe semi-probabilistische aanpak en aangepaste rekenwaarden onderling vergeleken. Als laatste is wijziging in de rol en dimensie van het grensprofiel besproken.

Het tweede gedeelte van het rapport gaat in op de rekenkundige aspecten van deze verschil- en consequentieanalyse. In deze uitwerking staan de kwantitatieve verschillen tussen met name het oude (Duros+) en het nieuwe sterktemodel (XBeach-BOI) centraal. Concreet betekent dit dat er gekeken is naar de verschillen in de berekende posities van het afslagpunt en de inpasbaarheid en positie van het grensprofiel. Voor de uitgevoerde afslagberekeningen is in eerste instantie in detail gekeken naar de verschillen voor 26 representatieve kustprofielen. Aanvullend daarop is ook een veel grotere selectie met raailocaties doorgerekend om te komen tot een ruimtelijk dekkend beeld voor de Nederlandse kust van deze verschillen.

Op basis van de rekenkundige vergelijking voor alle raaien langs de Nederlandse kust is de conclusie dat, voor een vergelijkbare overschrijdingskans op raainiveau, het afslagpunt voor BOI qua mediaan op dezelfde positie ligt als dat van het WBI2017 model. Er is wel veel spreiding maar het verschil in positie beperkt zich veelal tot een tiental meters. Ook blijkt dat voor de grotere afslagvolumes ($>250 \text{ m}^3/\text{m}$), er minder afslag optreedt met BOI ten opzichte van WBI2017. Voor de lagere afslagvolumes ($<30 \text{ m}^3/\text{m}$), tonen de BOI-resultaten vrijwel altijd meer afslag.

Omdat de basisgeometrie van het grensprofiel (het kruinniveau) is gekoppeld aan de net voor het duinfront aanwezige hydraulische condities, is het kruinniveau van het grensprofiel mede afhankelijk van de vorm van het tijdens de storm afgeslagen duinprofiel. Afhankelijk van de locatie langs de kust leidt dit voor de basisgeometrie tot een hoger of iets lager niveau van de kruin van dit grensprofiel. Het verschil varieert grofweg tussen de -3 en +2 m. De voor BOI lagere kruinniveaus zijn aanwezig langs het noordelijke deel van de Noordzeekust en dan met name langs de Waddenkust. In aansluiting op de conclusie aangaande het effect op de positie van

het afslagpunt geldt ook voor de positie van de landwaartse grens van het grensprofiel dat de mediaan van alle rekenresultaten vrijwel op dezelfde locatie ligt als die van het WBI2017. Ook hier is echter sprake van grotere variatie in de orde van tientallen meters. Op locaties met meerdere duinregels zijn er soms nog grotere verschillen, met name als het grensprofiel voor BOI pas verder landwaarts in het duin inpasbaar is.

Samenvattend kan de conclusie worden getrokken dat de zeer fundamentele overstap op het nieuwe semi-probabilistische XBeach instrumentarium niet tot een structureel afwijkende positie van zowel het afslagpunt als de landwaartse begrenzing van het grensprofiel leidt.

In het derde gedeelte van het rapport komt de beleidsmatige interpretatie van deze verschil- en consequentieanalyse aan de orde. Hierbij ligt de focus vooral op de consequenties van de overstap op het nieuwe BOI voor de waterkeringsbeheerders. Voor deze uitwerking is uitgegaan van een voor WBI2017 en BOI vergelijkbare overschrijdingskans op trajectniveau. Het vervallen van de faalkansbegroting en de aanpassing van het lengte-effect leidt ertoe dat hierdoor voor BOI kan worden uitgegaan van een factor 2,37 gunstiger faalkans.

Per kustvak is daartoe zowel het verschil in de positie van het afslagpunt als van de landwaartse zijde van het grensprofiel beschouwd. De doorvertaling naar een effect op de faalkans (en de hiermee verband houdende overstromingskans) is gebaseerd op een interpretatie van dit laatste verschil. Een (zelfs lokale) landwaartse verplaatsing van het grensprofiel gaat immers samen met een toename van de faalkans van de waterkering. De mate waarin deze laatste wijzigt is niet expliciet gekwantificeerd. Er is met name aangegeven of en op welk deel van het kustvak zich mogelijk een ongunstige (of gunstige) wijziging voordoet.

Vergelijking van de positie van het afslagpunt laat zien dat de mediaan van alle berekeningsresultaten langs de Nederlandse kust voor BOI ongeveer 10 m zeewaarts ligt van het WBI2017-resultaat. Er treedt dus iets minder afslag op. Daarbij is sprake van een behoorlijke spreiding waarbij voor de helft van de beschouwde berekeningsresultaten een verschuiving tussen de 25 m zeewaarts en 5 m landwaarts wordt gevonden. Gemiddeld ligt de landzijde van het grensprofiel voor het nieuwe instrumentarium (BOI) ook verder zeewaarts dan voor het WBI2017. Voor de helft van de situaties een bedraagt verschuiving tussen de 24 m zeewaarts en 3 m landwaarts.

Per beschouwd traject zijn er grote verschillen aanwezig, zowel tussen de verschillende kustvakken als binnen een kustvak. Dit geldt zowel voor de positie van het afslagpunt en het grensprofiel, als voor het effect van deze laatste op de faalkans van de waterkering en de overstromingskans van het achterland. Voor een nadere duiding van de resultaten per individueel kustvak wordt verwezen naar de hoofdtekst van deze rapportage.

Tot slot is kort ingegaan op gebruikersaspecten in relatie tot het nieuwe instrumentarium. Daarin wordt antwoord gegeven op de vraag wat er anders is aan de nieuwe systematiek en hoe men daar mee ook kan gaan. In de rapportage komen daartoe de verschillende aspecten zoals daar zijn de achtergronden en het begrip, de vakindeling en raaiselectie, de benodigde rekentijd en inspanning, de iteratieve aanpak, de interpretatie van de resultaten en de resterende wensen aan de orde.

Inhoudsopgave

Samenvatting	3
1 Inleiding en achtergronden	8
1.1 Aanleiding	8
1.2 Achtergronden en kader	8
1.3 Doelstelling	8
1.4 Leeswijzer	9
1.5 Totstandkoming	9
2 Verschillen tussen BOI en WBI2017 voor zandige waterkeringen	10
2.1 Inleiding	10
2.2 Wijziging in beoordelingsmethodiek	10
2.2.1 Leidende principes bij een beoordeling	10
2.2.2 Van doorsnede-eis (WBI2017) naar overstromingskans op trajectniveau (BOI)	11
2.2.3 Wijzigingen in het lengte-effect voor faalpad duinafslag	12
2.2.4 Vaste faalkansbegroting bij beoordelen vervallen	12
2.3 Wijzigingen in documentatie en software	13
2.3.1 Overzicht nieuw Beoordelings- en Ontwerpinstrumentarium (BOI)	13
2.3.2 Wijzigingen in documentatie voor zandige waterkeringen (faalpad duinafslag)	13
2.3.3 Wijzigingen in software voor zandige waterkeringen (faalpad duinafslag)	14
2.4 Overstap duinafslagmodel van Duros+ naar XBeach	15
2.4.1 Wijziging duinafslagmodel	15
2.4.2 Groter toepassingsbereik duinafslagmodel	16
2.4.3 Wijziging benodigde modelinvoer duinafslagmodel	17
2.4.4 Wijzigingen in gebruikersschil MorphAn	18
2.5 Wijziging semi-probabilistisch model	19
2.5.1 Wijziging semi-probabilistische aanpak	19
2.5.2 Wijziging rekenregels en rekenwaarden voor de hydraulische belasting	19
2.5.3 Wijziging rekenregel en rekenwaarde voor de korrelgrootte	20
2.5.4 Wijzigingen in Hydra-Ring	20
2.6 Aanpassingen grensprofiel	22
2.6.1 Wijziging rol grensprofiel met oog op vervolgprocessen	22
2.6.2 Wijziging dimensies basisgeometrie grensprofiel	23
2.6.3 Wijziging alternatieve geometrie grensprofiel	23
3 Rekenkundige vergelijking wijziging sterktemodellen	24
3.1 Inleiding	24
3.2 Aanpak en uitgangspunten	25
3.2.1 Tweetraps uitwerking	25
3.2.2 Eenvoudige schematisatie	25
3.2.3 Rekenroutines voor Duros+ (WBI2017)	26
3.2.4 Rekenroutines voor XBeach (BOI)	26
3.2.5 Beschouwde sets berekeningen	27
3.3 Resultaten basisanalyse	30
3.3.1 Inleiding	30
3.3.2 Voorbeeld minder afslag voor steil profiel met hoog duin	30
3.3.3 Voorbeeld meer afslag voor flauw en hooggelegen strand met een laag duin	31
3.3.4 Overzicht resultaten voor alle basisprofielen	33
3.4 Resultaten detailanalyse basisraaien	36
3.4.1 Algemeen	36

3.4.2	Voorbeeld effect jaaropname (1 raai, 1 kans, verschillende jaren)	36
3.4.3	Voorbeeld effect belasting (1 raai, verschillende kansen, 1 jaaropname)	39
3.4.4	Resultaat tijdsanalysediagram	39
3.4.5	Karakteristieke resultaten detailanalyse	42
3.5	Resultaten Nederlandse kust	46
3.5.1	Algemeen	46
3.5.2	Resultaten verschil in positie afslagpunt	46
3.5.3	Resultaten kruinniveau grensprofiel	51
3.5.4	Resultaten verschil in positie landzijde grensprofiel	53
3.5.5	Resultaten per regio	56
4	Interpretatie beleidsmatige consequenties overstap naar BOI	61
4.1	Inleiding	61
4.2	Pragmatische uitwerking vergelijkbare kans op trajectniveau	62
4.2.1	Inleiding	62
4.2.2	WBI2017-uitwerking	62
4.2.3	BOI-uitwerking	63
4.2.4	Overzicht en verschillen	63
4.3	Verkenning effect overstap naar BOI	63
4.3.1	Uitwerking voor voorbeeldlocatie	63
4.3.2	Nederlandse kust op hoofdlijnen	65
4.4	Verkennde duiding effect overstap per kustvak	67
4.4.1	Schiermonnikoog (kustvak 2)	67
4.4.2	Ameland (kustvak 3)	68
4.4.3	Terschelling (kustvak 4)	69
4.4.4	Vlieland (kustvak 5)	70
4.4.5	Texel (kustvak 6)	72
4.4.6	Noord-Holland (kustvak 7)	74
4.4.7	Rijnland (kustvak 8)	76
4.4.8	Delfland (kustvak 9)	78
4.4.9	Voorne (kustvak 11)	80
4.4.10	Goeree (kustvak 12)	81
4.4.11	Schouwen (kustvak 13)	83
4.4.12	Noord-Beveland (kustvak 15)	84
4.4.13	Walcheren (kustvak 16)	85
4.4.14	Zeeuws-Vlaanderen (kustvak 17)	87
5	Gebruikersaspecten overstap naar nieuwe instrumentarium	88
5.1	Inleiding	88
5.2	Resultaten gebruikerscursussen	88
5.2.1	Inleiding	88
5.2.2	Achtergronden en begrip	88
5.2.3	Vakindeling en raaiselectie	88
5.2.4	Benodigde rekentijd en inspanning	89
5.2.5	Iteratieve aanpak	89
5.2.6	Interpretatie resultaten	90
5.2.7	Aanvullende wensen	90
5.3	Consequenties algemene wijzigingen BOI	90
5.4	Consequenties wijzigingen basisinstrumentarium	91
5.4.1	Vorbereiding en invoer	91
5.4.2	Uitvoeren berekeningen	91
5.4.3	Resultaten duinafslagmodel	91
5.4.4	Grensprofiel	91

6	Conclusies	93
6.1	Verschillen tussen BOI en WBI2017	93
6.2	Resultaten rekenkundige vergelijking op raainiveau	94
6.3	Effect op overstromingskans/beleidsmatige consequenties	95
6.4	Gebruikersaspecten	98
Bijlage A:	Randvoorwaarden WBI2017 en BOI voor basisprofielen t.b.v. verkennende analyse	102
Bijlage B:	Rekenresultaten voor basisprofielen	103

1 Inleiding en achtergronden

1.1 Aanleiding

Door nieuwe kennisinzichten en de beschikbaarheid van nieuwe rekenmodellen ontstond de aanleiding en draagvlak om een ontwikkelingstraject te starten voor een nieuw instrumentarium voor zandige waterkeringen. Rijkswaterstaat WVL heeft, in opdracht van DGWB, STOWA en de kust- en duinwaterkeringsbeheerders, de taak gekregen om dit ontwikkelingstraject te leiden. Door verschillende organisaties zijn in dit verband reeds voorbereidende studies en verkenningen uitgevoerd die de basis vormen voor het huidige ontwikkelingstraject.

1.2 Achtergronden en kader

Het Plan van Aanpak Vernieuwd Instrumentarium Zandige Waterkeringen (Deltares en Arcadis, 2019) beschrijft de ontwikkeling van een nieuw instrumentarium, op basis van het proces-gebaseerde, numerieke model XBeach, om de veiligheidsbeoordeling van de zandige kust van Nederland mee uit te voeren. Als onderdeel van het Plan van Aanpak is een aantal taken beschreven die uitgevoerd moeten worden om toepassing van het nieuwe instrumentarium in de beoordelingsronde van 2023 mogelijk te maken. Het nieuw ontwikkelde instrumentarium voor zandige waterkeringen sluit aan bij de doelen van het programma BOI, namelijk een gebruiksvriendelijk en toekomstbestendig instrumentarium, waarbij het verhaal van de kering centraal staat en een scherpere bepaling van de overstromingskans mogelijk wordt. Dit rapport richt zich op één van de taken van het Plan van Aanpak, namelijk het in kaart brengen van zowel rekenkundige verschillen als de beleidsmatige consequenties van de overstap van het WBI2017 (Wettelijk BeoordelingsInstrumentarium) naar het nieuwe BOI (Beoordelings- en OntwerpInstrumentarium) voor zandige waterkeringen. Het WBI2017 is gebruikt voor de eerste Landelijke Beoordelingsronde Overstromingskansanalyse (LBO1) en het BOI zal gebruikt worden voor de tweede ronde (LBO2).

1.3 Doelstelling

Het hoofddoel van deze studie is het uitvoeren van verschil- en consequentieanalyses. Het eerste doel van deze vergelijking is het duiden in hoeverre de duinafslagmodellen voor een *gelijke overschrijdingskans van de positie van het afslagpunt* tot verschillende hoeveelheden duinafslag leiden en wat dit betekent voor de positie van de landwaartse grens van het grensprofiel. Dit betreft zowel het effect van de overstap van duinafslagmodel Duros+ naar XBeach (inclusief de bijbehorende wijzigingen in de semi-probabilistische rekenwaarden) en de doorgevoerde wijzigingen in het dimensionering van het grensprofiel.

Het tweede doel is een interpretatie van de beleidsmatige consequenties van de verschillen uitgaande van een *gelijke faalkans op trajectniveau*. Daarbij dient verkennend antwoord te worden gegeven op de vraag of er aanleiding is om te veronderstellen dat door de overstap bepaalde kustgebieden méér of minder aandacht behoeven in relatie tot waterveiligheidsvraagstukken en/of beheer en onderhoud.

Let op: Beschouwing slechts op hoofdlijnen

Ten behoeve van de verkenning van de beleidsmatige implicaties zijn géén volwaardige beoordelingen uitgevoerd. De focus ligt slechts op het inzichtelijk maken van de fundamentele verschillen (helikopterview) en dus níet op het verkrijgen van een veiligheidsoordeel en/of een overstromingskansinschatting op trajectniveau. Voor het inzichtelijk maken van de verschillen is primair gekeken naar zowel de verschillen in de positie van het afslagpunt en de landzijde van het daarachter ingepaste grensprofiel. Op basis van met name deze laatste is een eerste inschatting gegeven

van de effecten op de overstromingskans. Voor een echt kwantitatieve uitwerking van deze laatste is een meer gedetailleerde uitwerking op raainiveau nodig waarbij deze laatste resultaten bovendien in onderlinge samenhang moeten worden beschouwd. Een dergelijke verdiepingsslag valt echter buiten het kader van de voorliggende studie.

1.4 Leeswijzer

De voorliggende rapportage is opgesplitst in vier onderdelen, namelijk een overzicht van de wijzigingen, een analyse van de rekenkundige verschillen, een interpretatie van de beleidsmatige consequenties van deze verschillen en een overzicht van de gebruikersaspecten.

In het eerste gedeelte van de rapportage ([Hoofdstuk 2](#)) komen de wijzigingen tussen het WBI2017 en BOI voor zandige waterkeringen aan bod. Deze zijn ook al puntsgewijs aangeduid in de Handleiding Overstromingskansanalyse Faalpad Duinafslag (Arcadis en Deltares, 2023b) maar in de voorliggende rapportage van een uitgebreidere duiding voorzien.

Het volgende gedeelte van het rapport ([Hoofdstuk 3](#)) gaat in op de rekenkundige aspecten van de verschil- en consequentieanalyse. In deze uitwerking staan de kwantitatieve verschillen tussen het oude en het nieuwe instrumentarium centraal. Het gaat hierbij specifiek om de overstap van duinafslagmodel Duros+ naar XBeach, de bijbehorende wijzigingen in het semi-probabilistisch model en de wijzigingen in het grensprofiel. Concreet betekent dit dat gekeken is naar de verschillen in de berekende positie van het afslagpunt en de inpasbaarheid van het grensprofiel tussen de oude systematiek met sterktemodel Duros+ en de nieuwe systematiek met sterktemodel XBeach-BOI. Voor de uit te voeren afslagberekeningen geldt dat in detail gekeken is naar 26 representatieve kustprofielen en dat aanvullend daarop een grotere selectie met raailocaties is doorgerekend voor een ruimtelijk dekkend beeld voor de Nederlandse kust.

Het voorlaatste gedeelte van het rapport ([Hoofdstuk 4](#)) heeft betrekking op de beleidsmatige interpretatie van deze verschil- en consequentieanalyse. Hierbij ligt de focus vooral op de consequenties van de overstap op het nieuwe BOI voor de gebruikers en met name de waterkeringsbeheerders. Daarbij is verkennend antwoord gegeven op de vraag of er aanleiding is om te veronderstellen dat door de overstap bepaalde kustgebieden bij deze overstap méér of minder aandacht behoeven.

Tot slot is in [Hoofdstuk 5](#) kort ingegaan op gebruikersaspecten in relatie tot het nieuwe instrumentarium. Daarin wordt antwoord gegeven op de vraag wat er anders is aan de nieuwe systematiek en hoe men daar mee om kan gaan.

1.5 Totstandkoming

Deze rapportage is gericht op het inzichtelijk maken en beschrijven van de belangrijkste verschillen met het oude instrumentarium.

Arcadis was verantwoordelijk voor het uitvoeren van de productieberekeningen, de analyse van de rekenresultaten en het geven van inzicht in de belangrijkste rekenkundige verschillen tussen het oude en het nieuwe instrumentarium. Deltares had hierbij een ondersteunende, adviserende en reviewende rol. Deze werkverdeling was ook van toepassing voor het tweede onderdeel waarin Arcadis de consequentieanalyse uit vanuit zowel gebruikers- als beheerdersperspectief heeft uitgewerkt en daartoe de feedback vanuit de gebruikerstesten heeft verzameld, geordend en geanalyseerd.

2 Verschillen tussen BOI en WBI2017 voor zandige waterkeringen

2.1 Inleiding

De overstap van het WBI2017 naar het BOI gaat gepaard met verschillende wijzigingen met betrekking tot het beoordelen van een zandige waterkering. Dit betreft zowel algemene wijzigingen in de beoordelingsmethodiek en -filosofie binnen het BOI die invloed hebben op het analyseren van de waterveiligheid van een zandige waterkering, als wijzigingen die gerelateerd zijn aan de overstap van het sterktemodel Duros+ naar XBeach.

In dit hoofdstuk zijn de wijzigingen die voor het beoordelen van een zandige waterkering van belang zijn op een rij gezet. Een groot deel hiervan is ook opgenomen in de Handleiding Overstromingskansanalyse Faalpad Duinafslag (Arcadis en Deltares, 2023b).

Op hoofdlijnen gaat het om de volgende onderdelen:

- De wijze waarop de beoordeling van de waterkering plaatsvindt (§2.2) en de bijbehorende documentatie (§2.3);
- De overstap van het duinafslagmodel Duros+ naar XBeach (§2.4);
- De aan deze overstap gerelateerde nieuwe semi-probabilistische aanpak en daarmee afgeleide rekenwaarden waarmee duinafslagberekeningen voor bepaalde condities uitgevoerd kunnen worden (§2.5);
- De aanpassing van de rol en dimensies van het grensprofiel (§2.6).

2.2 Wijziging in beoordelingsmethodiek

2.2.1 Leidende principes bij een beoordeling

De wijze van beoordelen verschilt tussen het WBI2017 en het BOI. Zoals nader wordt beschreven in de Handleiding Overstromingskansanalyse (Rijkswaterstaat, 2022a), zijn de leidende principes die binnen het BOI centraal staan bij een overstromingskansanalyse:

- Een stabiel eindresultaat en transparant handelingsperspectief.
- Een geloofwaardige overstromingskans.
Dit is de best mogelijke inschatting van de overstromingskans op basis van de beschikbare kennis en mogelijkheden. Deze wordt verkregen door alle kennis over het wel of niet optreden van een overstroming, inclusief alle onzekerheden daarover, mee te wegen in de bepaling van de kans.
- Het systeemgedrag staat centraal.
Een traject is onderdeel van een watersysteem, waarbinnen de onderdelen elkaar beïnvloeden. Het verhaal van de kering heeft als doel dit systeem te begrijpen door het te beschrijven en is daarom een eerste belangrijke stap in de overstromingskansanalyse. Het resultaat van deze analyse moet uitlegbaar zijn vanuit de kennis van het systeem.

De beoordeling wordt dus meer toegespitst op het bepalen van de overstromingskans van een traject, en veel minder op of de kering wel of niet voldoet aan een specifieke categoriegrens (/norm). Bovendien ligt de focus op het redeneren vanuit het verhaal van de kering in plaats van het volgen van een standaard berekenings-/ beoordelingsmethode. Er worden dan ook geen methoden meer voorgeschreven. De beheerder wordt geacht vanuit gebiedskennis en -ervaring onderbouwde keuzes te maken voor een specifiek traject om te bepalen hoe de overstromingskans zo goed mogelijk

vastgesteld kan worden. Het instrumentarium biedt hierbij ondersteuning. De documentatie binnen het instrumentarium is hiertoe aangepast, zoals nader is toegelicht in §2.3.

Daarnaast biedt het instrumentarium ondersteuning in de vorm van het werkatelier. Het werkatelier is - zoals nader beschreven in Bijlage XXXIIA van de Omgevingsregeling (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2022) - een gesprek tussen specialisten van de waterkeringbeheerder met gebiedskennis en ervaring en specialisten uit de sector met kennis van het instrumentarium, de mechanismen, modellen en recente kennisontwikkelingen. In samenspraak kan in het werkatelier bepaald worden welke analyses redelijkerwijs kunnen worden uitgevoerd om tot een aanscherping te komen van de overstromings- of faalkans en de veiligheidsopgave van het dijktraject.

2.2.2 Van doorsnede-eis (WBI2017) naar overstromingskans op trajectniveau (BOI)

In lijn met de principes zoals beschreven in §2.2.1, is ook de wijze van beoordeling op basis van verschillende faalmechanismen aangepast. In het BOI wordt een faalpadbenadering gehanteerd: er worden faalpaden in plaats van toetssporen geanalyseerd. In plaats van het beoordelen of elke doorsnede voldoet aan een doorsnede-eis die is gebaseerd op de trajectnorm in het WBI2017, wordt in het BOI de totale faalkans op basis van de dominante faalpaden per relevant faalmechanisme op trajectniveau bepaald.

Met het WBI2017 werd de beoordeling in de eerste Landelijke Beoordelingsronde Overstromingskansrisico (LBO1) uitgevoerd aan de hand van verschillende toetssporen, zoals toegelicht in Bijlage III van de Ministeriële Regeling Veiligheid Primaire Waterkeringen 2017 (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2017). Voor duinwaterkeringen werd hierbij het toetsspoor duinafslag geanalyseerd. De beoordeling werd 'top-down' uitgevoerd: op basis van de categoriegrenzen van een traject werd per toetsspoor de faalkanseis op doorsnedeniveau bepaald door rekening te houden met de faalkansbegroting en het lengte-effect. In feite werd de faalkans op trajectniveau hierbij opgesplitst in 'taartpunten' (toetssporen) die apart beoordeeld werden. Op basis van duinafslagberekeningen in Duros+ voor de doorsnede-eis werd per doorsnede een toetsoordeel bepaald. Dit gaf direct een indicatie voor het veiligheidsoordeel van het traject. Het daadwerkelijk veiligheidsoordeel voor een traject werd vastgesteld op basis van het combineren van de uitkomsten van alle relevante toetssporen.

Met het BOI wordt de overstromingskans in LBO2 op trajectniveau bepaald en beoordeeld aan de hand van relevante faalmechanismen en dominante faalpaden, zoals toegelicht in Bijlage XXXIIA van de Omgevingsregeling (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2022). Voor een zandige waterkering zoals een duinwaterkering is faalmechanisme duinafslag relevant. Voor dit type waterkeringen wordt faalpad duinafslag geanalyseerd als dominant faalpad. Hierbij wordt de beoordeling 'bottom-up' uitgevoerd: per relevant faalmechanisme wordt per raai de faalkansschatting bepaald voor de dominante faalpaden, om vervolgens te worden geassembleerd per vak, en daarna op trajectniveau. Hierbij wordt rekening gehouden met lengte-effecten. Zodra de bijdragen van alle relevante faalmechanismen bekend zijn, worden deze gecombineerd tot een totale faalkans van het traject. De gecombineerde faalkans van alle relevante faalmechanismen wordt vervolgens vergeleken met de veiligheidscategorieën om te komen tot een veiligheidsoordeel.

In het BOI is dus geen sprake meer van een eis op doorsnede- of vakniveau. Daardoor kan niet op voorhand per doorsnede of vak bepaald worden of deze wel of niet voldoet aan een categoriegrens (/norm). Het veiligheidsoordeel kan pas na assemblage van alle faalmechanismen op trajectniveau vastgesteld worden. Wel kan op basis van de duidingsklassen de bijdrage van de verschillende vakken aan de faalkans bepaald worden.

Voor het faalmechanisme duinafslag betekent het niet langer uitvoeren van een analyse voor een specifieke doorsnede-eis in het BOI - in combinatie met de geadviseerde semi-probabilistische aanpak (zie §2.5) - dat iteratieve berekeningen nodig zijn om te komen tot een faalkansschatting per doorsnede. In plaats van één berekening met een hydraulische belasting passend bij de doorsnede-eis, worden iteratief meerdere berekeningen uitgevoerd voor verschillende overschrijdingskansen van het afslagpunt. Zo wordt bepaald bij welke kans de waterkering op raainiveau op het punt van falen staat. In deze situatie is de overschrijdingskans van het afslagpunt gelijk aan de gezochte faalkans van de kering op deze locatie. Kort gezegd: binnen het BOI wordt doorgerekend tot het punt van falen daar waar vroeger alleen werd gecontroleerd of deze aan de norm voldeed.

2.2.3 Wijzigingen in het lengte-effect voor faalpad duinafslag

Het lengte-effect ondervangt het effect van een onbekende variatie in de sterkte of belasting: ook als een gebied homogeen lijkt, kan in werkelijkheid toch ergens een zwakke plek zitten waardoor de faalkans van het gebied groter is dan van één locatie. De maat voor het lengte-effect wordt weergegeven met de factor N .

In zowel het BOI als het WBI2017 wordt het lengte-effect tussen vakken meegenomen, zoals beschreven in §2.2.2. Binnen een vak wordt het lengte-effect in beide methodologieën als verwaarloosbaar klein beschouwd voor faalpad duinafslag ($N_{vak} = 1$). Er zijn echter twee verschillen tussen het BOI en WBI2017.

Het eerste verschil heeft betrekking op het gebruik van het lengte-effect. In het BOI wordt het lengte-effect gebruikt om van faalkans op raainiveau via een faalkans op vakniveau naar de faalkans op trajectniveau te komen. In het WBI2017 werd het lengte-effect vooral aan het begin gebruikt om van een faalkanseis op trajectniveau naar een doorsnede-eis te komen.

Het tweede verschil heeft betrekking op de te gebruiken N -waarde tussen vakken binnen een traject. In het BOI wordt $N_{traject} = 1,2$ als basiswaarde aanbevolen in de assemblage van vak naar traject als een zo goed mogelijke inschatting van het daadwerkelijke lengte-effect. Deze waarde is kleiner dan in het WBI2017, waarin standaard $N_{traject} = 2$ werd gehanteerd op basis van hetzelfde VNK2-onderzoek (HKV, 2015). Deze waarde was echter conservatief aangezien deze naar boven afgerond was. Binnen de BOI-overstromingskansbenadering is conservatisme niet wenselijk met oog op het scherper bepalen van een geloofwaardige overstromingskans.

2.2.4 Vaste faalkansbegroting bij beoordelen vervallen

Zoals beschreven in §2.2.2, werd in een beoordeling met het WBI2017 een faalkansbegroting (i.e. de verdeling van de toegestane faalkans over de verschillende toetssporen) gebruikt om per toetsspoor van een categoriegrens op trajectniveau naar een doorsnede-eis te komen. Voor een duinentraject werd een generieke faalkansbijdrage van 70% gehanteerd waar in een toets op maat van afgeweken kon worden. De resterende 30% was voor overige (onbekende) toetssporen. Voor zogenaamde 'gemengde' trajecten werd een generieke faalkansbijdrage van 10 % voor duinen gehanteerd.

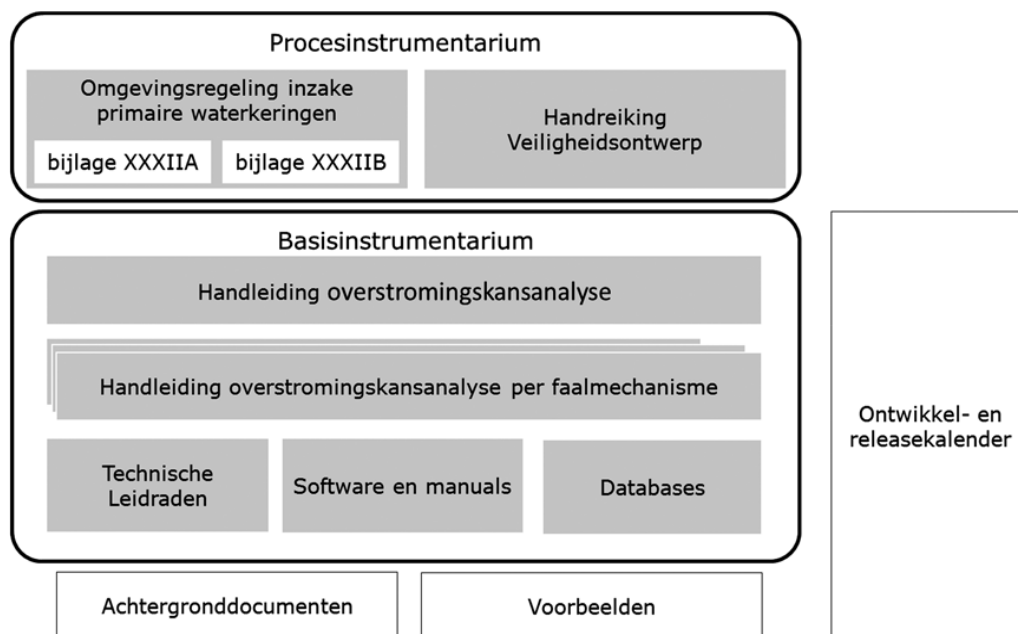
In het BOI is de vaste faalkansbegroting voor beoordelen komen te vervallen, er wordt tenslotte ook niet meer gewerkt met een doorsnede-eis. Wel kan in de assemblage van de faalkans per faalmechanisme op trajectniveau eventueel gekozen worden om mogelijke onbekende faalmechanismen mee te laten tellen.

2.3 Wijzigingen in documentatie en software

2.3.1 **Overzicht nieuw Beoordelings- en Ontwerpinstrumentarium (BOI)**

Het Rijk stelt de regels voor het uitvoeren van de beoordeling op en stelt het Beoordelings- en Ontwerpinstrumentarium (BOI) beschikbaar voor het ontwerp en het beheer van primaire keringen. Het BOI bestaat uit proces- en basisinstrumenten (Figuur 2-1).

- Het **procesinstrumentarium** bestaat uit de Omgevingsregeling en de twee bijlagen die de regels bevatten voor het uitvoeren van de beoordeling, en de handleiding Veiligheidsontwerp. Deze handleiding Veiligheidsontwerp biedt ondersteuning en toelichting bij de keuzes die moeten worden gemaakt in het ontwerpproces die raken aan de veiligheidsfilosofie.
- Het **basisinstrumentarium** bestaat uit handleidingen, technische leidraden, softwareapplicaties en databases. Deze instrumenten kunnen worden gebruikt om de overstromingskans van traject te bepalen.



Figuur 2-1 Overzicht proces- en basisinstrumentarium BOI.

2.3.2 **Wijzigingen in documentatie voor zandige waterkeringen (faalpad duinafslag)**

De BOI-documentatie vervangt de eerdere documenten voor zandige waterkeringen uit het WBI2017 en eerder. Relevante teksten uit documenten zoals het TAW Leidraad uit 1984 (TAW, 1984), TRDA uit 2006 (ENW, 2007), de Schematiserings-handleiding Duinen 2014 (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2016) en de Fenomenologische beschrijving (Deltares, 2016) zijn overgenomen in de BOI-documentatie en waar nodig geüpdatet.

Voor het faalpad duinafslag voor zandige waterkeringen zijn binnen het BOI-basisinstrumentarium de volgende documenten beschikbaar die zijn opgesteld binnen het project BOI Zandige Waterkeringen:

- 'Handleiding Overstromingskansanalyse Faalpad Duinafslag' (Arcadis en Deltares, 2023b);
- 'Technische Leidraad Zandige Waterkeringen' (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2023); van dit rapport komt de tekst in artikelvorm beschikbaar via tl.iplo.nl;

Daarnaast zijn binnen de verschillende fasen binnen ditzelfde BOI Zandige Waterkeringen-project diverse (achtergrond)rapportages opgesteld om tot dit hernieuwd basisinstrumentarium voor zandige waterkeringen te komen, waaronder:

- Rapport 'Achtergrond Sterktemodel Duinafslaginstrumentarium' (Arcadis en Deltares, 2023a).
- Rapport 'Semi-probabilistic model for XBeach' (Arcadis en Deltares, 2023c);
- Rapport 'Validation of dune erosion model XBeach' (Arcadis en Deltares, 2022);
- Rapport 'BOI Standaard instellingen - Kalibratie van de XBeach model parameters' (Deltares en Arcadis, 2022a);
- Memo 'Korte Rekenkundige vergelijking rekenkernels DUROS+ en XBeach' (Deltares en Arcadis, 2022b);
- Memo 'BOI Zandige Keringen – Selectie representatieve kustprofielen' (Arcadis, 2021)
- Rapport 'BOI - Scaling of dimensional parameters in XBeach' (Deltares, 2021a);
- Rapport 'XBeach BOI - Approaches to reduce calculation time' (Deltares, 2021c);
- Rapport 'Boundary condition guidelines for XBeach simulations - methodology for the representation of infragravity waves in varying water depth and wave conditions' (Deltares, 2021b);
- Rapport 'Wave spreading and sediment size effects in the XBeach model' (Deltares en Arcadis, 2020).

2.3.3 **Wijzigingen in software voor zandige waterkeringen (faalpad duinafslag)**

De beschikbare softwarepakketten om een overstromingskansanalyse mee uit te voeren voor zandige waterkeringen blijft hetzelfde als binnen het WBI2017: duinafslagberekeningen en het inpassen van een grensprofiel om vervolprocessen mee te nemen is mogelijk in de gebruikersschil MorphAn, en de benodigde semi-probabilistische modelrandvoorwaarden voor hoofdzakelijk de hydraulische belasting kunnen opgevraagd worden via Riskeer (wat gebruik maakt van de databases die worden gegenereerd met Hydra-Ring, het rekenhart van Riskeer).

Wel zijn aanpassingen gemaakt *binnen* deze software:

- **MorphAn**
Binnen de gebruikersschil MorphAn is de sterktemodel voor duinafslag Duros+ vervangen door de BOI-versie van XBeach (zie §2.4), het grensprofielmodel geüpdatet (zie §2.6), en zijn aanpassingen gemaakt in het 'duinveiligheidsmodel' om een faalkansanalyse per raai uit te voeren met XBeach. Voor het gebruik van MorphAn wordt verwezen naar de bijbehorende softwarehandleiding (Deltares, 2022a). In §2.4.4 worden de belangrijkste wijzigingen in de gebruikersschil van MorphAn nader toegelicht.
- **Hydra-Ring**
Er zijn in overleg met het BOI-dossier Hydraulische Belastingen wijzigingen

doorgevoerd in (de preprocessor van) Hydra-Ring zodat Hydra-Ring de rekenwaarden voor XBeach kan genereren conform de nieuw opgestelde semi-probabilistisch rekenregels (zie §2.5). Dit is nader toegelicht in Deltares (2022c). Deze wijziging en enkele andere wijzigingen in Hydra-Ring ten behoeve van zandige waterkeringen zijn ook beschreven in §2.5.4.

- **Riskeer**

Op termijn zal ook Riskeer aangepast worden zodat de nieuwe rekenwaarden voor de BOI-versie van XBeach via dit softwarepakket opgevraagd kunnen worden¹ (Deltares, 2022b).

2.4 Overstap duinafslagmodel van Duros+ naar XBeach

2.4.1 Wijziging duinafslagmodel

In het BOI vervangt het proces-gebaseerde model XBeach het empirische balansmodel Duros+ als sterktemodel voor de duinafslagberekeningen op raainiveau. Een overzicht van de belangrijkste eigenschappen van en verschillen tussen deze duinafslagmodellen is gegeven in Tabel 2-1. Voor XBeach is weliswaar meer invoer nodig, maar dit is grotendeels vooraf afgeleid en beschikbaar gesteld, zoals nader toegelicht in §2.4.3. Hierdoor kan XBeach wel de relevante fysische processen voor duinafslag doorrekenen, wat het toepassingsbereik van het model ten opzichte van het empirische model Duros+ vergroot, zoals nader beschreven in §2.4.2. Wel gaat de overstap gepaard met een significante toename in de rekentijd.

¹ *Riskeer v22.1.2. is nog niet geschikt om de BOI-rekenwaarden voor XBeach mee te genereren. Deze aanpassing is voorzien in de eerste BOI-release in 2023.*

Tabel 2-1 *Overzicht eigenschappen en verschillen tussen de BOI-versie van XBeach (1D-berekeningen) en Duros+ in het WBI2017.*

	XBeach	Duros+	Vershil
Type model	Numeriek model dat hydro- en morfodynamische kustprocessen doorrekent	Empirisch balansmodel voor duinafslagprofiel (balans erosie - depositie)	Ander type model
Toepassingsbereik 1D-berekeningen	Geschikt voor veel typen dwarsprofielen door interactie tussen hydraulische belasting en het zandig profiel; duinafslag is gerelateerd aan de daadwerkelijk inkomende golven.	Geschikt voor beperkt aantal typen profielen; geschikt voor toepassingen waarvoor het balansmodel is gekalibreerd	XBeach groter toepassingsbereik
Model-onzekerheid (o.b.v. gemeten en berekende afslagvolumes in 57 veldcases (Deltares en Arcadis, 2022b))	<ul style="list-style-type: none"> • Relatieve gemiddelde fout (relatieve bias) 3% • Relatieve foutspreiding (scatter index) 24% • 89% minder dan factor 2 afwijking • Bias geen trend met gemeten afslagvolume 	<ul style="list-style-type: none"> • Relatieve gem. fout 33% • Relatieve foutspreiding 92% • 39% minder dan factor 2 afwijking • Overschatting bij veel afslag, onderschatting bij weinig afslag. 	XBeach significant nauwkeuriger/ minder spreiding
Benodigde modelinvoer algemeen	Veel invoerparameters nodig. Groot deel opgenomen in BOI standaard parameterinstellingen.	Beperkte invoer nodig	XBeach meer invoer nodig (maar grotendeels achter de schermen)
Benodigde hydraulische belasting als invoer	<ul style="list-style-type: none"> • Tijdsafhankelijke hydraulische modelrandvoorwaarden op diep water tijdens storm • 4 variabelen*: waterstand, significante golfhoogte, piekperiode, getijamplitude • Gebruiker geeft waarde tijdens stormpiek op, wordt omgezet in stormverloop <p><i>* 4 ruimtelijk variërende variabelen, daarnaast nog meer variabelen die constant (verondersteld) zijn.</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Hydraulische modelrandvoorwaarden op diep water tijdens de stormpiek • 3 variabelen: waterstand, significante golfhoogte en piekperiode 	<p>Tijdsafhankelijk vs. alleen condities tijdens stormpiek</p> <p>XBeach neemt meer relevante hydraulische belastingsvariabelen mee</p>
Benodigd rekenprofiel	Profiel vanaf diep water om golf- en waterstandsveranderingen van diep naar ondiep water te berekenen	Profiel lang en diep genoeg om erosie- en depositieprofiel in te passen	XBeach vaak dieper/langer profiel nodig

Voor meer informatie over de verschillende duinafslagmodellen wordt verwezen naar de Technische Leidraden (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2022b) en het rapport 'Achtergrond Sterktemodel Duinafslaginstrumentarium' (Arcadis en Deltares, 2023a).

2.4.2 **Groter toepassingsbereik duinafslagmodel**

De BOI-versie van XBeach is afgeregeld voor 1D-berekeningen (raaien) voor volledig zandige waterkeringen. Het toepassingsbereik van dit XBeach-model is groter dan dat het geval was met Duros+ in het WBI2017.

Groter toepassingsbereik voor complexere profielvormen (1D)

Achter het empirische model Duros+ zat de aanname dat de beschouwde kustprofielen geleidelijk oplopend zijn van diep water tot het duin, waardoor dit model

slechts beperkt geschikt was voor meer complexe profielvormen met bijvoorbeeld een brede en hoge strandvlakte, een diepe getijdegeul, lage duinen en/of meerdere duinregels. Toch werd in praktijk het Duros+ model in deze situaties op of over de grens van het eigenlijke toepassingsbereik toegepast in beoordelingen bij gebrek aan betere en gedragen alternatieve methoden. Het voor het BOI gekalibreerde proces-gebaseerde model XBeach is daarentegen in deze situaties wel in staat om duinafslag op correcte wijze te berekenen, omdat het model de relevante fysische processen simuleert. Het grotere toepassingsbereik van XBeach komt zo de betrouwbaarheid van de duinafslagberekeningen ten goede, zeker in situaties met complexere profielvormen.

Mogelijkheden voor complexe gebieden

Zowel Duros+ als de gekalibreerde BOI-versie van XBeach zijn afgeregeld op raai-toepassingen (1D) met een volledig zandig profiel. Deze raai benadering is toepasbaar op min of meer rechte en kustlangs uniforme delen van de kust. Complexe (niet-uniforme) situaties met eventuele constructies (zoals NWO's, hybride keringen) vragen daarom om aanvullende analyses, al dan niet met een ruimtelijke (2DH) benadering. Ook in een situatie met meerdere duinenrijen waar achterloopsheid van het duin optreedt onder normatieve condities zal een aanvullende (ruimtelijke) analyse uitgevoerd moeten worden. De belasting van het binnenduin in een profiel wordt dan ook bepaald door water en golven die vanaf de zijkanten het beschouwde dwarsprofiel bereiken.

XBeach biedt naast de huidige 1D toepassing nog meer functionaliteiten die op termijn tot een verdere verbreding van het toepassingsbereik van het beoordelings-instrumentarium kunnen leiden. Zo kan XBeach ook afslagberekeningen voor een heel gebied (2DH) in plaats van één raai uitvoeren. Dit kan gebruikt worden voor aanvullende analyses voor ruimtelijk complexe gebieden. XBeach 2DH is echter nog geen onderdeel van het BOI-basisinstrumentarium voor zandige waterkeringen, aangezien deze modus nog niet gekalibreerd is voor BOI-toepassingen en er nog geen semi-probabilistische modelrandvoorwaarden voor 2DH modellen afgeleid zijn. Daarnaast biedt XBeach de mogelijkheid om op termijn bijvoorbeeld hybride keringen beter te kunnen beoordelen, mede doordat de lokale belasting op de constructie – al dan niet als functie van tijd – bepaald kan worden. Deze doorontwikkelingen van het beoordelingsinstrumentarium voor zandige waterkeringen zijn onderdeel van een gefaseerd lange-termijn ontwikkelingstraject met verschillende ambitieniveaus.

In de 'Handleiding Overstromingskansanalyse Faalpad Duinafslag' (Arcadis en Deltares, 2023b) wordt nader ingegaan op dit ontwikkelingstraject en mogelijke aanvullende analyses voor situaties buiten het huidige toepassingsbereik. Hierin worden ook pragmatische opties besproken zoals het gebruik van een 'gebruikerstoetslag' in 1D berekeningen voor bijvoorbeeld gekromde kusten gebaseerd op en vergelijkbaar met de toeslag voor kustkromming in het WBI2017.

2.4.3 *Wijziging benodigde modelinvoer duinafslagmodel*

Het empirische model Duros+ in het WBI2017 heeft slechts een klein aantal invoergegevens nodig, namelijk de diepwatercondities tijdens de stormpiek (waterstand, significante golfhoogte en piekgolfperiode), de korreldiameter van het zand (D_{50}) en het rekenprofiel. Het proces-gebaseerde model XBeach behoeft daarentegen meer invoergegevens en modelinstellingen voor het berekenen van de hoeveelheid duinafslag tijdens een storm.

Voor de 1D-XBeach-versie binnen het BOI-basisinstrumentarium zijn standaard-instellingen en standaardmethoden voor het genereren van modelinvoer (via

MorphAn) afgeregeld, waardoor het aantal invoergegevens dat de gebruiker in moet voeren beperkt blijft. Zo geeft de gebruiker de rekenwaarden voor de offshore hydraulische condities tijdens de piek van de storm op, en worden deze automatisch omgezet in tijdseries om duinafslag per tijdstap tijdens de storm uit te rekenen. Daarnaast geeft de gebruiker in MorphAn een rekenprofiel voor XBeach op, waarvoor automatisch een rekenrooster wordt gedefinieerd. De gebruiker dient hierbij wel op te letten dat het rekenprofiel vaak verder door moet lopen (tot diep water waar de hydraulische condities opgelegd worden) dan voor Duros+ om de fysische processen op de correcte manier door te kunnen rekenen.

2.4.4 Wijzigingen in gebruikersschil MorphAn

Voor het BOI is de gebruikersschil MorphAn verder doorontwikkeld om waterkeringbeheerders te kunnen ondersteunen bij een beoordeling met het nieuwe instrumentarium, zoals reeds benoemd in §2.3.3.

Net als binnen het WBI2017 kan een analyse van de waterveiligheid van een zandige waterkering worden uitgevoerd binnen het 'duinveiligheidsmodel' in MorphAn. Dit duinveiligheidsmodel is herzien ten behoeve van de overstap van het WBI2017 naar het BOI:

- In het duinafslagmodel ('erosiemodel') is de rekenkern Duros+ vervangen door XBeach, waarbij een deel van de gekalibreerde modelparameters en gestandaardiseerde routines voor het opzetten van een XBeach-berekening en voor het analyseren van de uitkomsten achter de schermen zijn weggewerkt. Zo kan de gebruiker gemakkelijker op een consistente manier duinafslagberekeningen uitvoeren voor zelf te selecteren profielen en (hydraulische) modelrandvoorwaarden.
- Het 'grensprofielmodel' kan na het duinafslagmodel worden gedraaid om vervolprocessen mee te nemen. De methode om het grensprofiel in te passen inclusief de geometrie zijn aangepast, zoals toegelicht in §2.6. Als het grensprofiel met de basisgeometrie (zie §2.6.2) niet tegen het afslagprofiel aan past, werd het grensprofiel voorheen (conform WBI2017) volumetrisch ingepast vanaf het afslagprofiel. In de nieuwe versie (conform BOI) wordt in dat geval landwaarts gezocht of het grensprofiel daar wel past. De gebruiker kan ook kiezen om het grensprofiel met alternatieve dimensies (zie §2.6.3) op vergelijkbare wijze in te passen.
- De naamgeving van het 'R-t model' – waarin het afslagpunt (R) als functie van tijd (t) kon worden weergegeven – is gewijzigd naar 'tijdanalysediagram'. Er kunnen ook andere resultaten dan het afslagpunt over tijd weergegeven worden.

Daarnaast zijn er mede op basis van feedback van een pilotgroep eindgebruikers verbeteringen doorgevoerd om gegevens te ontsluiten en te visualiseren, en is de mogelijkheid toegevoegd om een 'gebruikerstoetslag' (zelfgekozen toetslagvolume voor bijvoorbeeld kustlijnkromming) toe te passen na afslag². Ook heeft de feedback ertoe geleid dat MorphAn – in het specifiek het duinveiligheidsmodel – robuuster is geworden, doordat de gebruikers 'bugs' hebben geïdentificeerd die zijn opgelost.

De overstap naar het zo scherp mogelijk bepalen van de faalkans in het BOI vergt een iteratieve methode waarbij per raai niet alleen meerdere jaren, maar ook meerdere overschrijdingskansen van het afslagpunt doorgerekend moeten worden, zoals is toegelicht in §2.2.2. Dit vergt meer berekeningen in het BOI dan nodig was

² Deze 'gebruikerstoetslag' is nog niet in MorphAn-versie 22.1.1 geïmplementeerd, maar staat wel hoog op de wensenlijst.

met het WBI2017. In MorphAn zijn twee wijzigingen doorgevoerd om dit beter te faciliteren:

- De structuur van het duinveiligheidsmodel is aangepast om de gebruiker flexibiliteit te geven om berekeningen te clusteren voor bijvoorbeeld deelgebieden (vakken) en overschrijdingskansen;
- Er is een optie toegevoegd om een set berekeningen op te zetten in MorphAn, te exporteren, buiten MorphAn met XBeach op bijvoorbeeld een rekencluster uit te voeren en tenslotte de resultaten weer te importeren in MorphAn om daar de resultaten te analyseren. Zo kan de beschikbare rekenkracht beter benut worden, en kan de gebruiker verder met andere werkzaamheden in MorphAn terwijl de berekeningen extern worden uitgevoerd.

2.5 Wijziging semi-probabilistisch model

2.5.1 *Wijziging semi-probabilistische aanpak*

Zowel in het BOI als het WBI2017 kan voor de beoordeling van zandige waterkeringen gebruik worden gemaakt van een semi-probabilistisch rekenvoorschrift in plaats van een volledig probabilistische uitwerking. Semi-probabilistische rekenwaarden zijn specifiek gekoppeld aan het rekenmodel waarvoor ze zijn afgeleid. Rekenwaarden voor XBeach zijn dus niet bruikbaar voor Duros+, en andersom. Voor het BOI zijn dan ook nieuwe rekenwaarden afgeleid voor het gebruik van het 1D XBeach model.

Een belangrijk verschil tussen de semi-probabilistische voorschriften in het BOI en het WBI2017 is hoe modelonzekerheden zijn verdisconteerd in de rekenwaarden. In het WBI2017 komen de modelonzekerheden van Duros+ expliciet terug in de formulering van het semi-probabilistische model in de vorm van een toeslag op het berekende duinafslagvolume. In het BOI zijn de effecten van de modelonzekerheden van XBeach verdisconteerd in de rekenwaarde van de maximale waterstand tijdens de maatgevende condities (het rekenpeil): er wordt daartoe een hogere waterstand gehanteerd als rekenpeil. Er hoeft dus geen extra toeslag in rekening te worden gebracht op het door XBeach berekende duinafslagvolume, zoals dat wel gebeurde bij Duros+.

2.5.2 *Wijziging rekenregels en rekenwaarden voor de hydraulische belasting*

Zoals in de vorige paragraaf beschreven, zijn voor XBeach nieuwe semi-probabilistische rekenregels afgeleid waarmee de rekenwaarden voor XBeach bepaald kunnen worden. Dit wordt uitgebreid toegelicht in Arcadis en Deltares (2023c). Hieronder wordt voor verschillende hydraulische belastingparameters het verschil met de rekenwaarden voor Duros+ (WBI2017) beschreven.

Waterstand

Net als voor Duros+ is de waterstand sterk bepalend voor de mate van duinafslag in XBeach. De semi-probabilistische rekenwaarde van de waterstand wordt het rekenpeil genoemd. Dit is de waarde tijdens de piek van de storm. In de semi-probabilistische uitwerking voor het Duros+ model (WBI2017) was het rekenpeil gedefinieerd als de waterstand bij de beschouwde overschrijdingskans van de positie van het afslagpunt minus $1/3^e$ deel van de decimeringshoogte van de waterstand. In BOI is het rekenpeil afgestemd op het gebruik van het XBeach-model door bij de waterstand behorende bij de overschrijdingskans van het afslagpunt een fractie van de decimeringshoogte van de waterstand op te tellen om de modelonzekerheden te verdisconteren. Deze

fractie is een functie van de beschouwde overschrijdingsfrequentie. In beide gevallen is gebruik gemaakt van dezelfde statistiek voor de zeewaterstand³.

Het nieuwe rekenpeil voor XBeach in het BOI ligt zodoende per definitie hoger dan het rekenpeil voor Duros+ in het WBI2017. Dit is ook zichtbaar in Bijlage A waarin de rekenwaarden voor de rekenkundige vergelijking (H3) zijn samengevat voor dezelfde kans op raai-niveau voor XBeach en Duros.

Opgemerkt wordt dat XBeach een stormverloop doorrekent, terwijl Duros+ het afslagprofiel van een storm bepaalt op basis van enkel de condities tijdens de piek van de storm. Voor XBeach in het BOI zijn daarom enkele extra parameters nodig ten opzichte van het WBI2017 om het waterstandstandsverloop te beschrijven. Voor de vorm en duur van de stormopzet zijn enkele aannames gedaan. Hiervan zijn het rekenpeil en de rekenwaarde voor de faseverschuiving tussen de piek van de stormopzet en de piek van het astronomisch getij met de semi-probabilistische aanpak afgeleid.

Golfcondities

Naast de waterstand zijn de golfcondities cruciaal voor de mate van afslag in XBeach en Duros+. Voor beide modellen is een semi-probabilistische rekenwaarde afgeleid voor de significante golfhoogte (H_s) en piekperiode (T_p) tijdens de stormpiek. In beide modellen zijn de rekenwaarden voor de significante golfhoogte gedefinieerd als een functie van de waterstand en dus ook van het rekenpeil. De golfperiode is in beide gevallen gedefinieerd als functie van de golfhoogte. Overigens werd bij de aansturing van het Duros+ model de piekperiode van 12 s als minimum gehanteerd. Deze functie (/rekenregel) waarmee de golfhoogte en -periode bepaald wordt, is hetzelfde in het semi-probabilistisch model voor XBeach als voor Duros+. Aangezien het rekenpeil voor XBeach hoger is dan voor Duros+, zijn daardoor de rekenwaarden voor H_s en T_p ook wat hoger.

Net als voor de waterstand worden deze rekenwaarden voor de stormpiek voor XBeach omgezet in een stormverloop, waarbij enkele aannames worden gedaan. Er zijn voor de golfcondities geen extra semi-probabilistische rekenwaarden afgeleid voor XBeach (BOI) ten opzichte van Duros+ (WBI2017).

2.5.3 *Wijziging rekenregel en rekenwaarde voor de korrelgrootte*

In het BOI is de rekenregel om de rekenwaarde voor de korrelgrootte te bepalen gewijzigd ten opzichte van het WBI2017 (en voorgangers daarvan).

De rekenwaarde voor XBeach (BOI) is gelijk aan de lokale gemiddelde D_{50} , zoals oorspronkelijk gerapporteerd in Kohsiek (1984) en later geüpdatet in de VTV2006. De rekenwaarde voor Duros+ (WBI2017) werd daarentegen bepaald met een rekenregel waarin zowel de lokale gemiddelde D_{50} als de standaarddeviatie van de lokale D_{50} meegenomen werd. De rekenwaarde was daardoor effectief lager dan het gemiddelde. De afwijkende rekenregel voor XBeach is een gevolg van het feit dat de korreldiameter in XBeach, zeker in relatie tot een (groter) aantal andere stochasten, minder invloed heeft op de mate van duinafslag, dan dat het geval was bij Duros+.

2.5.4 *Wijzigingen in Hydra-Ring*

Hydra-Ring is het rekenhart van Riskeer. Met behulp van Hydra-Ring kunnen de semi-probabilistische rekenwaarden voor duinafslagberekeningen voor geselecteerde

³ In 2023 wordt er naar gestreefd om een nieuwe zeewaterstandstatistiek op te leveren. De kans bestaat dat deze voor zandige waterkeringen in het zuidwesten van Nederland iets lager zal uitvallen dan in het WBI2017 het geval was.

raaien en kansen berekend worden. Deze software is aangepast om de gewenste rekenwaarden voor XBeach binnen het BOI te kunnen berekenen in plaats van de WBI2017 rekenwaarden voor Duros+. Hieronder worden enkele belangrijke wijzigingen toegelicht.

Nieuwe rekenregels en uitvoer

De oude semi-probabilistische rekenregels voor Duros+ in Hydra-Ring zijn vervangen door de in de bovenstaande paragrafen beschreven nieuwe rekenregels voor XBeach, zodat Hydra-Ring de databases met modelrandvoorwaarden (hydraulische belasting en korrelgrootte) voor XBeach kan produceren. Hiertoe is ook het aantal uitvoerwaarden uitgebreid met de getijamplitude en faseverschuiving tussen stormopzet en getij. Hydra-Ring levert hiermee ook geen semi-probabilistische rekenwaarden voor Duros+ meer.

Daarnaast wijzigt de 'kans' die opgegeven wordt (in Riskeer) om de bijbehorende modelrandvoorwaarden voor af te leiden als consequentie van de wijzigingen in de beoordelingsmethodiek en rekenregels.

- In het WBI207 selecteerde de gebruiker een categoriegrens op trajectniveau, welke met behulp van de opgegeven faalkansbegroting en het lengte-effect achter de schermen omgerekend werd naar de doorsnede-eis (equivalent van de overschrijdingskans van het afslagpunt) en de bijbehorende overschrijdingskans van het rekenpeil (Pfdsn). In de resulterende bestanden met modelrandvoorwaarden (.bnd-bestanden) stonden de berekende Duros+-rekenwaarden en de bijbehorende categoriegrens en overschrijdingskans van het rekenpeil.
- In de nieuwe versie voor het BOI geeft de gebruiker daarentegen zelf de gewenste overschrijdingskans van het afslagpunt ('referentiefalkans') op waar de rekenwaarden voor bepaald worden. Hierbij kan elke gewenste kans gekozen worden. In de resulterende .bnd-bestanden staan de XBeach-rekenwaarden en de bijbehorende overschrijdingskans van het afslagpunt. In dit geval is er dus geen koppeling met een eis of kans op trajectniveau, of met een overschrijdingskans van het rekenpeil.

Geen gereduceerde golfcondities meer voor de Deltakust

In het WBI2017 werd voor Duros+ een gereduceerde golfbelasting als (offshore) modelrandvoorwaarde gehanteerd voor de Deltakust (Cadzand tot en met Voorne) om het golfdempend effect van de zandbanken voor de kust mee te nemen, aangezien Duros+ dit golfdempend effect niet zelf meeneemt. Hiertoe werd de offshore significante golfhoogte en piekperiode in Hydra-Ring vermenigvuldigd met een bepaalde correctiefactor die bepaald was met behulp van een golfvoortplantingsmodel (Deltares, 2014).

Het proces-gestuurde model XBeach rekent echter wel dit golfdempend effect van de zandbanken door, waardoor deze correctie op de offshore modelrandvoorwaarden niet meer nodig is. Daarom wordt voor de hydraulische belasting voor XBeach binnen het BOI voor de Delta-kust gebruik gemaakt van de (oorspronkelijke) offshore golfrandvoorwaarden in Hydra-Ring. Hierdoor wordt ook de grootte van de op de diepwaterrand aanwezige lange golfenergie in een XBeach-berekening op een consistente wijze bepaald.

Correcties interpolatie rekenwaarden in Hydra-Ring

Tijdens het updaten van (de preprocessor van) Hydra-Ring voor het BOI zijn enkele onnauwkeurigheden en afwijkingen ontdekt in Hydra-Ring in de interpolatiemethode van de rekenwaarden tussen de kuststations (waarvoor de statistiek van de

hydraulische belasting beschikbaar is). Dit betreft onder andere de weging van kuststations waartussen geïnterpoleerd wordt op basis van de raaioriëntatie. Dit is geüpdatet - al dan niet gecorrigeerd - voor het BOI en wordt nader toegelicht in de toelichting op Hydra-Ring (Deltares, 2022c), de Technische Leidraad katern Hydraulische Belastingen (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2023) en een memo waarin afspraken hierover vastgelegd zijn (Rijkswaterstaat, 2022b).

Een belangrijke afwijking had betrekking op de piekgolfperiode (T_p). De rekenwaarden voor T_p voor Duros+ in de .bnd-bestanden uit Riskeer kwamen hoger uit dan bedoeld op basis van de semi-probabilistische rekenregels, vooral langs de Deltakust en op de Waddeneilanden. Voor de signaleringswaarde betrof dit een verschil van maximaal ~ 1 s. Aangezien de beoordelingen conform WBI2017 uitgevoerd worden op basis van de deze .bnd-bestanden, is in de beoordelingen waarschijnlijk structureel een hogere T_p gehanteerd. Mogelijk heeft dit tot ietwat grotere afslagvolumes geleid dan op basis van de 'correcte' rekenwaarden. Deze interpolatiefout is gecorrigeerd voor het BOI, waardoor de rekenwaarden voor XBeach wel kloppen met de nieuw afgeleide rekenregels.

Update uitvoerpunten

Met Hydra-Ring kunnen databases met rekenwaarden voor XBeach (voorheen: Duros+) berekend worden voor een selectie van uitvoerpunten. Deze uitvoerpunten sloten in het WBI2017 niet volledig aan bij de locaties waar tegenwoordig Jarkusmetingen ingewonnen worden: voor sommige Jarkus-raaien was geen uitvoerpunt gedefinieerd, en vice versa. Gebieden waarvoor geen uitvoerpunt voor een zandige waterkering beschikbaar was, betreffen onder andere gebieden waar pas later een strand en/of duin aangelegd of ontstaan is, zoals de Veersegatdam, Brouwersdam, Neeltje Jans, Brielse Gatdam, Maasvlakte II en de Slufterdam. Voor het BOI zijn de uitvoerpunten geüpdatet, waarbij onder andere deze zandige waterkeringen zijn opgenomen. Dit is in meer detail beschreven in (Rijkswaterstaat, 2022b).

2.6 Aanpassingen grensprofiel

In zowel het WBI2017 als in het BOI kan gebruikt worden gemaakt van het grensprofielconcept om de reststerkte van het duin na duinafslag te bepalen in een beoordeling van de waterveiligheid van duinen. Dit is uitgebreid toegelicht in het rapport 'Achtergrond Sterktemodel Duinafslaginstrumentarium' (Arcadis en Deltares, 2023a), en komt ook aan bod in de Technische Leidraad (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2023) en Handleiding Overstromingskansanalyse Faalpad Duinafslag (Arcadis en Deltares, 2023b). Dit concept is binnen het BOI-basisinstrumentarium voor zandige waterkeringen in lijn met het concept dat ook is gebruikt in eerdere versies van het instrumentarium (VTV2006, WBI2017). Net als voorheen wordt het grensprofiel ondersteund in de gebruikersschil MorphAn.

De rol en de dimensies van het grensprofiel zijn voor het BOI herzien. Hieronder worden de belangrijkste wijzigingen samengevat.

2.6.1 Wijziging rol grensprofiel met oog op vervolgprocessen

Een belangrijk verschil is dat in het BOI expliciet duiding is gegeven aan de rol en functie van het grensprofiel in relatie tot de faalpadbenadering voor overstromingskansanalyses. Het grensprofiel is binnen het BOI een pragmatische maar functionele methode om de vervolgprocessen die niet met XBeach gemodelleerd worden (erosie van kruin en binnentalud van het duin door overslag en geotechnische instabiliteit) mee te nemen in de faalkansanalyse. Het kan gebruikt worden om aan te tonen dat de kans op doorbraak van de zandige waterkering door (niet door XBeach gemodelleerde) vervolgprocessen verwaarloosbaar klein is als het grensprofiel nog

binnen de waterkering past na duinafslag. Het niet inpasbaar zijn van het grensprofiel kan daarbij worden gezien als een aanbeveling om de relevante vervolprocessen nader te onderzoeken. Dit laatste is niet nodig als er al duidelijk sprake is van een doorgebroken waterkering.

Het grensprofiel is binnen het BOI nadrukkelijk geen ingebouwd conservatisme in de beoordelingssystematiek en niet bedoeld om (model)onzekerheden te ondervangen.

De gebruiker is binnen het BOI niet verplicht om voor het meenemen van de vervolprocessen het grensprofiel te gebruiken. Als de gebruiker op een andere manier kan of wil aantonen dat de kans op doorbraak van het na duinafslag resterende duinprofiel verwaarloosbaar klein is, is dat ook toegestaan. Hiertoe kan gebruik worden gemaakt van andere modellen, maar ook een beargumenteerd beheerdersoordeel behoort tot de mogelijkheden.

2.6.2 *Wijziging dimensies basisgeometrie grensprofiel*

De vorm en dimensies van het grensprofiel zijn in het BOI heroverwogen en gekoppeld aan de vervolprocessen binnen faalpad duinafslag. De basisvorm van het grensprofiel is in het BOI gelijk gebleven aan de grensprofielvorm die voorheen (o.a. in het WBI2017) ook al werd beschouwd: een trapeziumvorm. De kruinhoogte – en daarmee omvang – van het grensprofiel is in het BOI expliciet gekoppeld aan de lokale hydraulische condities zoals deze tijdens de maatgevende storm optreden ter plaatse van het duinfront. De kruinhoogte van het grensprofiel ligt in het BOI op 1,5 m boven het maatgevend oplooppniveau van de lange golven. Dit punt heeft als bijnaam het ‘natte punt’ met bijbehorende coördinaten (X_{nat} , Z_{nat}). Hiermee wordt erosie door significante oploop en overslag door korte golven voorkomen. Hierdoor varieert de kruinhoogte met het profiel en de hydraulische belasting.

De herziening van de basisgeometrie van het grensprofiel in het BOI waarbij nearshore hydraulische condities worden gebruikt is een kwaliteitsverbetering ten opzichte van de WBI2017-methodiek. Binnen het WBI2017 werden de dimensies namelijk gebaseerd op de golfcondities in diep water en werd dus geen rekening gehouden met de golfreducerende effecten van het tussenliggende gebied in relatie tot de profielvorm.

2.6.3 *Wijziging alternatieve geometrie grensprofiel*

In de WBI2017-versie was het mogelijk om het grensprofiel binnen bepaalde restricties volumetrisch in te passen als het standaard grensprofiel niet paste, bijvoorbeeld als het duin laag maar breed is. In het ontwikkelingstraject voor de BOI-versie is heroverwogen of en hoe het grensprofiel eventueel met een alternatieve geometrie ingepast zou kunnen worden zonder af te wijken van de uitgangspunten van het grensprofiel binnen de nieuwe systematiek. Hieruit kwam naar voren dat de kruinhoogte van het grensprofiel maximaal 1 meter verlaagd kan worden, mits dit wordt gecompenseerd met een 18 m bredere kruin. Dit alternatieve grensprofiel kan ook minder dan 1 meter verlaagd worden, waarbij de breedte naar rato aangepast wordt. Het gebruik van een volumetrisch grensprofiel (gelijk volume, afwijkende vorm) wordt binnen het BOI afgeraden.

3 Rekenkundige vergelijking wijziging sterktemodellen

3.1 Inleiding

Om een kwantitatieve vergelijking te maken van het effect van de wijziging in de sterktemodellen in het WBI2017 en het BOI zijn vergelijkende berekeningen voor het faalpad duinafslag uitgevoerd. Hierbij is het van belang om vergelijkbare situaties met elkaar te vergelijken. Aangezien er diverse wijzigingen zijn tussen het WBI2017 en het BOI is dit niet triviaal.

In Tabel 3-1 is samengevat welke wijzigingen met deze rekenkundige vergelijking meegenomen worden. Er is gekozen om voor **gelijke kansen op raai-niveau** een berekening conform het WBI2017 (Duros+) en het BOI (XBeach) uit te voeren. Hiermee is een vergelijking te maken in het gedrag van een zandig profiel, geforceerd met hydraulische belastingen die gezamenlijk tot een gelijke kans van overschrijding van de positie van het afslagpunt leiden. Aangezien de semi-probabilistische rekenwaarden voor zowel Duros+ als XBeach zijn gekoppeld aan de overschrijdingskans van het afslagpunt op raai-niveau, hoeft er bij deze vergelijking met gelijke kansen op raai-niveau geen rekening te worden gehouden met de verschillen in de beoordelingsmethodiek (lengte-effect en faalkansbegroting).

Vanwege de wijzigingen in het semi-probabilistisch model en bijbehorende rekenwaarden voor Duros+ in het WBI2017 en XBeach in het BOI, zijn de gebruikte hydraulische condities in deze rekenkundige vergelijking getalsmatig niet gelijk (zie §2.5). Een vergelijking tussen Duros+ en XBeach voor gelijke hydraulische condities is reeds beschreven in (Deltares en Arcadis, 2022b).

De gepresenteerde *posities van het afslagpunt* hebben betrekking op het resultaat waarin ook de onzekerheid in het gebruikte duinafslagmodel is verwerkt. Voor de WBI2017-uitwerking met het semi-probabilistische Duros+ model betekent dit dat deze betrekking heeft op het afslagpunt inclusief de zogenaamde toeslag. Voor de BOI-uitwerking met het XBeach model is dit niet nodig omdat de modelonzekerheid al is verwerkt in de andere parameters en dan met name in de semi-probabilistische rekenwaarde voor de waterstand (het rekenpeil) (zie §2.5.2 voor meer details).

Aansluitend op de positie van het afslagpunt is ook de inpassing van het grensprofiel beschouwd. Hiertoe is de *landwaartse grens van het grensprofiel* gehanteerd. Hierbij is rekening gehouden met de gewijzigde dimensionering van het grensprofiel, dit inclusief het effect van het gebruik van de voor het duinfront aanwezige hydraulische condities voor de vaststelling van het benodigde kruinniveau (zie §2.6 voor meer details).

Tabel 3-1 Overzicht van de wijzigingen in het instrumentarium zoals beschreven in Hoofdstuk 2 waarvan de consequenties beschouwd worden in Hoofdstuk 3.

Type wijziging	Effect opgenomen in analyse H3?
Wijziging duinafslagmodel (zie §2.4) (Duros+ vs. XBeach)	Ja
Wijziging semi-probabilistische rekenwaarden (zie §2.5)	Ja
Aanpassing grensprofiel (zie §2.6)	Ja
Wijziging beoordelingsmethodiek (zie §2.2) (lengte-effect, faalkansbegroting)	Nee

De voor de berekeningen gevolgde aanpak, inclusief de gebruikte modelinstellingen is in meer detail beschreven in §3.2. Hierin worden ook de verschillende sets berekeningen toegelicht. De resultaten van deze berekeningen zijn gepresenteerd in de drie daarop volgende paragrafen.

Daarbij komt in §3.3 het resultaat van de *verkennde analyse* van de basisprofielen aan de orde, dit inclusief de algemene aanpak voor het interpreteren van de resultaten.

Vervolgens is in §3.4 het resultaat van de *detailanalyse* gepresenteerd waarbij van meerdere kansen en meerdere jaren voor de 26 basisraaien zijn beschouwd.

De in §3.5 gepresenteerde *bulkanalyse* geeft een eerste indruk van de verschillen in de positie van zowel de afslagpunt als de landwaartse zijde van het grensprofiel voor de gehele Nederlandse kust. Hierin is ook stilgestaan bij de verschillen in het kruinniveau van het grensprofiel conform het WBI2017 en het BOI.

Ten slotte zijn de belangrijkste bevindingen van deze rekenkundige vergelijking samengevat in §3.6.

3.2 Aanpak en uitgangspunten

3.2.1 Tweetraps uitwerking

In eerste instantie is alleen de positie van het afslagpunt beschouwd omdat daarmee het effect van de overstap van het Duros+ naar het XBeach-model inzichtelijk kan worden gemaakt.

Aanvullend is ook de inpassing van het grensprofiel in de berekening betrokken. In de analyses wordt gekeken naar de kruinhoogte van het grensprofiel en hoofdzakelijk de positie van de landzijde van het grensprofiel op NAP-niveau. Daarmee is het mogelijk om het effect van de nieuwe methodiek te kwantificeren en ook de uiteindelijke effecten op de faalkans van de waterkering.

3.2.2 Eenvoudige schematisatie

De berekeningen van de rekenkundige vergelijking hebben een verkennend karakter. Dit komt onder andere tot uiting in de voor de profielschematisering gehanteerde uitgangspunten. De gebruikte data voor de profielschematisatie is rechtstreeks overgenomen uit JarKus. De JarKus-profielen zijn niet verlengd met mogelijk beschikbare extra data, bijvoorbeeld met vaklodingen aan de zeezijde of AHN-gegevens aan de landzijde. Eventuele duinregels landwaarts van het bereik van JarKus zijn dus niet meegenomen. Dit kan in een meer gedetailleerde analyse of beoordeling wel nodig zijn.

Daarnaast is in de berekeningen geen rekening gehouden met situaties waarin normaal gesproken aanvullende of alternatieve analyses uitgevoerd moeten worden, zoals eventuele niet-erodeerbare lagen, en het effect van de aanwezigheid van constructies zoals hybride keringen en NWO's (niet-waterkerende objecten). Harde constructies waarvan de hoogte opgenomen is in de JarKus-raaien, worden in de berekeningen als zandig beschouwd. Er is ook geen rekening gehouden met ruimtelijk complexe situaties zoals kustlijnkromming – er is dus geen toeslag op het afslagvolume toegepast – of het effect van achterloopsheid van duinregels.

3.2.3 Rekenroutines voor Duros+ (WBI2017)

Er is gerekend met Matlab-routines voor Duros+ in plaats van het programma MorphAn waardoor de post-processing van de Duros+ resultaten en XBeach resultaten op eenzelfde manier mogelijk is. Er zijn relatief weinig instellingen te kiezen in het WBI2017 met betrekking tot de Duros+ sommen.

Randvoorwaarden

De invoer voor de berekeningen bestaat uit geïnterpoleerde waarden van de hydraulische belastingen uit Riskeer voor verschillende overschrijdingskansen van het afslagpunt behorende bij WBI2017. De reductie op de golfcondities voor de Deltakust is opgenomen in deze rekenwaarden.

De tijdens de eerdere fase van het project ontdekte onvolkomenheden in Hydra-Ring zijn ook meegenomen in de rekenwaarden (zie §2.5.4 voor meer details).

Grensprofiel (standaard en volumetrisch)

Een van de belangrijkste instellingen voor de genoemde routines is dat het volumetrisch grensprofiel is ingepast wanneer het grensprofiel met de standaard geometrie niet past. Daarnaast is rekening gehouden met steile geulwanden zoals is beschreven in het TRDA2006 (ENW, 2007).

3.2.4 Rekenroutines voor XBeach (BOI)

In deze rekenkundige vergelijking zijn de standaard BOI-instellingen voor de BOI-versie van XBeach toegepast, zoals onder andere beschreven in de (Deltares en Arcadis, 2022; Arcadis en Deltares, 2022c). De JarKus-profielen zijn kunstmatig verlengd naar diep water conform de hiertoe in BOI-kader opgestelde richtlijnen (Deltares, 2021a), zonder eerst eventueel het profiel aan te vullen met andere metingen zoals vaklodingen.

Randvoorwaarden

Tijdens de uitvoering van de rekenkundige vergelijking waren de definitieve modelrandvoorwaarden voor XBeach conform het BOI nog niet beschikbaar via Hydra-Ring (of Riskeer). De rekenwaarden voor de hydraulische belasting voor XBeach voor de verschillende overschrijdingskansen van het afslagpunt zijn daarom rechtstreeks bepaald op basis van de semi-probabilistische rekenregels en ruimtelijke interpolatiemethoden die overeen zouden moeten komen met Hydra-Ring. Hierbij is gebruik gemaakt van dezelfde statistiek voor de hydraulische belasting als voor het WBI2017.

De waarden zoals gehanteerd zijn in dit rapport kunnen dus kleine afwijkingen vertonen met de uiteindelijke modelrandvoorwaarden die later via Riskeer beschikbaar worden gesteld binnen het BOI. Het is verwacht de eventuele verschillen dusdanig klein zijn, dat deze geen effect hebben op de conclusies in dit rapport.

Grensprofiel (basis en alternatieve geometrie)

Voor de BOI-berekeningen is het grensprofiel in beginsel ingepast met de basisgeometrie. Daarnaast zijn ook alternatieve grensprofielen ingepast, welke lager en breder zijn, zie §2.6.3. Het meest 'gunstige' grensprofiel is gekozen als het rekenresultaat, namelijk het grensprofiel waarvan de landzijde het meest zeewaarts is gelegen. Wanneer de basisgeometrie direct grenst aan het afslagprofiel, is dit logischerwijs het meest gunstig, dit is immers het smalste grensprofiel. In het geval van meer complexe afslagprofielen en het grensprofiel met basisgeometrie pas in een verder landwaarts gelegen duinregel inpasbaar is, kan een lager en breder alternatief

grensprofiel meer zeewaarts liggen. Een voorbeeld van de inpassing van het alternatief grensprofiel is toegelicht in §3.3.3.

3.2.5 **Beschouwde sets berekeningen**

Voor de afslagberekeningen geldt dat in detail gekeken is naar 26 representatieve JarKus-raaien welke in het 'BOI Zandige Waterkeringen'-project al meermaals zijn beschouwd (Arcadis, 2021). Aanvullend daarop is een grotere selectie met JarKus-raaien doorgerekend als bulkanalyse om te komen tot een ruimtelijk dekkend beeld voor de Nederlandse kust.

Samenvattend zijn drie rekensets onderscheiden, namelijk:

- **Basisset**, 26 raaien, 2020, 1 kans
Deze rekenset geeft een eerste inzicht van de verschillen door de wijzigingen in de sterktemodellen tussen het WBI2017 en het BOI voor de 26 representatieve JarKus-raaien. Deze rekenset is ook de overlappende schakel tussen de twee grotere sets: de detailset en de bulkset.
In de basisset is 1 set modelrandvoorwaarden voor 1 vaste overschrijdingskans van de positie van het afslagpunt opgelegd per raai voor 1 jaar.
- **Detailset**, 26 raaien, 2006-2021, 8 kansen (1/100 – 1/300.000 per jaar)
Om in detail te kijken naar de representatieve raaien, zijn meerdere jaren per raai en modelrandvoorwaarden voor meerdere overschrijdingskansen van de positie van het afslagpunt opgelegd.
- **Bulkset**, 1534 raaien (hele NL kust), 2020, 1 kans
Voor een eerste overzicht en indicatie van de verschillen langs de Nederlandse kust zijn alle raaien doorgerekend voor 1 jaar en 1 kans.

Deze drie analyses zijn hieronder nader toegelicht.

Basisanalyse: 26 basisraaien, 1 jaar, 1 kans

De verkennende analyse geeft een eerste beeld van de verschillen tussen het WBI2017 met Duros+ en het BOI met XBeach. De aandacht gaat in deze analyse uit naar het duinveiligheidsmodel, inclusief rekenwaarden, modelonzekerheid, vervolprocessen (inpassing grensprofiel), en tijdsanalysediagram. Dit is te zien als opmaat naar zowel detail- als bulkanalyse.

De 26 basisraaien zijn zo gekozen dat deze representatief zijn voor de grote verscheidenheid aan type profielen langs de Nederlandse kust (Arcadis, 2021).

De te analyseren overschrijdingskans van het afslagpunt met bijbehorende hydraulische belasting is zodanig gekozen dat dit representatief is voor de ruimtelijke verdeling van de sterkte van de kust. De duinen langs de Hollandse Kust zijn over het algemeen breder en hoger dan de duinen langs de Waddenkust en Deltakust, dus daarom leggen we zwaardere condities – horend bij een kleinere overschrijdingskans van het afslagpunt – op voor de Hollandse Kust. Als pragmatische aanpak is ervoor gekozen om de te analyseren overschrijdingskans van het afslagpunt zo te kiezen dat de bijbehorende hydraulische belasting in de buurt ligt van wat relevant kan zijn bij een beschouwing van de waterveiligheid van een kustvak. Er is voor gekozen om de signaleringswaarde op trajectniveau (volgens het WBI2017) 1-op-1 te hanteren als door te rekenen overschrijdingskans van het afslagpunt op raai-niveau. De signaleringswaarde verschilt – net als de sterkte van de duinen – namelijk tussen de kustvakken.

Merk op dat de signaleringswaarde per traject puur als basis gehanteerd wordt om de variatie in sterkte tussen de kustvakken (indirect) mee te nemen. Door deze kans 1-op-1 te gebruiken als te analyseren kans op raai-niveau zonder rekening te houden

met onder andere lengte-effecten en mogelijke andere faalpaden (o.a. middels de faalkansbegroting in het WBI2017), kunnen de resultaten *niet* beschouwd worden als representatief voor een waterveiligheidsbeoordeling voor de signaleringswaarde. Een beschouwing daarvoor komt in Hoofdstuk 4 aan bod.

Tabel 3-2 toont de overschrijdingskansen van het afslagpunt die in de rekenkundige vergelijking in dit hoofdstuk gehanteerd zijn per kustvak. In Tabel 3-3 is een overzicht gegeven van de gebiedsnummers voor deze kustvaknummering.

Tabel 3-2 Overzicht geanalyseerde overschrijdingskansen van het afslagpunt per kustvak (zie Tabel 3-3 voor bijbehorende benaming) voor de verkennende en bulk analyse.

Overschrijdingskans van het afslagpunt [per jaar]	Kustvak nr. waar de kans is gehanteerd
1/300	5
1/1.000	2, 3, 17
1/3.000	4, 6, 7, 12, 13, 15, 16 (deel 1)
1/10.000	16 (deel 2)
1/30.000	8, 9, 11*

* voor 2 raaien in kustvak 11 is de overschrijdingskans 1/3.000 per jaar

Tabel 3-3 Naamgeving kustvakken

Nummer	Naam
2	Schiermonnikoog
3	Ameland
4	Terschelling
5	Vlieland
6	Texel
7	Noord-Holland
8	Rijnland
9	Delfland
11	Voorne
12	Goeree
13	Schouwen
15	Noord-Beveland
16	Walcheren
17	Zeeuws-Vlaanderen

Voor de 26 basisraaien zijn per raai de gehanteerde overschrijdingswaarden van het afslagpunt en bijbehorende rekenwaarden opgenomen in Bijlage A van deze rapportage.

Merk op dat voor een gegeven overschrijdingskans van het afslagpunt een verschil bestaat tussen de rekenwaarden van het sterktemodel binnen het WBI2017 (Duros+) en binnen het BOI (XBeach), waarbij de BOI-rekenwaarden per definitie wat zwaarder zijn (zie ook §2.5.2). Voor JarKus-raai 66.25 in Rijnland (kustvak 8) is, voor de gehanteerde overschrijdingskans van 1/30.000 per jaar, het rekenpeil voor het WBI2017 bijvoorbeeld gelijk aan NAP+5,48 m terwijl deze voor het BOI gelijk is aan NAP+6,07 m. Ook de golfcondities zijn zwaarder. Daarentegen wordt in de WBI2017-Duros+ sommen nog een toeslag op de afslag toegepast na de berekening, terwijl dit voor XBeach in het BOI niet meer nodig is.

Detailanalyse: 26 basisraaien, 16 jaren, 8 kansen

Om eventuele toevalligheden te ondervangen, zijn voor de 26 raailocaties uit de basisanalyse ook de profielen uit andere jaren doorgerekend⁴. Dit levert ook informatie op ten aanzien van de gevoeligheid voor profielvariatie over tijd en voor variatie in de hydraulische belasting.

Om de (jaarlijkse) morfologische veranderingen van de kust te ondervangen in waterveiligheidsbeoordelingen gebruikt zowel in het WBI2017 als het BOI in het algemeen tenminste de laatste 16 jaar per locatie om een maatgevend afslagpunt te kunnen berekenen. In de voorliggende vergelijking is voor de periode 2006 tot en met 2021 per jaar gekeken naar het verschil tussen het WBI2017 en het BOI. Zo valt beter te duiden of er algemeenheden zijn te ontdekken in de vergelijking tussen het BOI en het WBI2017. Het kan immers voorkomen dat het ene jaar 'faalt' en het andere (net) niet.

Alle raaien zijn doorgerekend met acht verschillende kansen voor de modelrandvoorwaarden. Hierbij is gekozen voor "ronde getallen" op doorsnede-niveau: zie Tabel 3-4.

Tabel 3-4 Overzicht geanalyseerde overschrijdingskansen van het afslagpunt voor de detailanalyse. Merk op: Niet voor alle raaien zijn alle kansen doorgerekend.

Overschrijdingskansen van het afslagpunt [per jaar]
1/100
1/300
1/1.000
1/3.000
1/10.000
1/30.000
1/100.000
1/300.000

De rekenwaardes voor de hydraulische belastingen zijn voor het WBI2017 bepaald door interpolatie van beschikbare waardes uit Riskeer. Echter vallen in sommige gevallen de doelkansen buiten het bereik van de kansen in Riskeer. Er is gekozen om de modelrandvoorwaarden niet te extrapoleren, waardoor in 656 gevallen er geen input beschikbaar is voor de WBI2017-berekeningen.

In totaal zijn er binnen de detailset daarom $26 \times 16 \times 8 - 656 = 2672$ sommen uitgevoerd met zowel XBeach als Duros+.

Bulkanalyse: gehele kust, 1 jaar, 1 kans

Voor een eerste indicatie van de verschillen langs de Nederlandse kust zijn 1534 raaien doorgerekend. Om de rekenlast te beperken, is per raai slechts één jaar (2020) en één kans beschouwd (dezelfde kans als voor de verkennende analyse: zie Tabel 3-2 in §3.2.5). Hierbij wordt nogmaals opgemerkt dat hierbij geen rekening is gehouden met de aanwezigheid van bijvoorbeeld constructies of kustkromming (zie §3.6.6).

⁴ Voor JarKus-raai 99.75 in Delfland (kustvak 9) zijn de oudere profielen vaak te kort om tot een berekeningsresultaat te komen. Hier missen dus enkele resultaten. Gezien de grote hoeveelheid berekeningen die wel mogelijk zijn, zal dit hiaat de conclusies van dit rapport niet beïnvloeden.

3.3 Resultaten basisanalyse

3.3.1 Inleiding

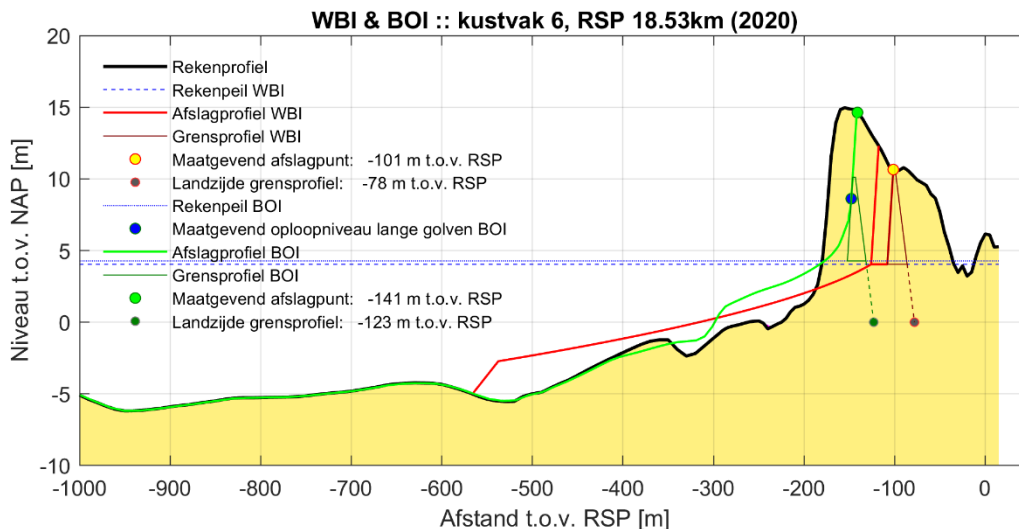
De resultaten van de voor de 26 profielen uitgevoerde berekeningen laten een grote variatie aan uitkomsten zien. De resultaten van de WBI2017- en BOI-berekeningen zijn sterk profielafhankelijk. Afhankelijk van de profielvorm wordt er meer of minder afslag berekend in de BOI-berekening dan in de WBI2017-berekening. Ook de positie van het grensprofiel is anders.

In de volgende twee paragrafen is een illustratief voorbeeld gegeven van een vergelijking met minder afslag (§3.3.2) en een vergelijking met meer afslag (§3.3.3). Deze voorbeelden zijn gebruikt om uit te leggen hoe de resultaten van beide instrumentaria kunnen verschillen, dit ook voor wat betreft de inpassing van het grensprofiel.

Aansluitend is een duiding van de uitkomsten van de verkennende analyse als geheel (§3.3.4).

3.3.2 Voorbeeld minder afslag voor steil profiel met hoog duin

Figuur 3-1 toont een voorbeeld van het resultaat van zowel een WBI2017- als een BOI-berekening voor Jarkus-raai 18.53 km op Texel (kustvak 6) voor een overschrijdingskans van het afslagpunt van 1/3.000 per jaar (zie ook Figuur B - 10 in Bijlage B).



Figuur 3-1 Resultaat van WBI2017- en BOI berekening voor Jarkus-raai 18.53 km op Texel (kustvak 6) voor een overschrijdingskans van het afslagpunt van 1/3.000 per jaar.

Zowel de Duros+ (WBI2017) als XBeach (BOI) berekening start met hetzelfde⁵ rekenprofiel in het duingebied. Dit is de dikke zwarte lijn in Figuur 3-1. Het profiel is gekenmerkt door enkele zandbanken, een relatief smal strand en een hoog duin. Het duinmassief is groot en breed met een aanzienlijk volume boven rekenpeil.

Ondanks dat dezelfde overschrijdingskans van het afslagpunt is gehanteerd, zijn de hydraulische belastingen verschillend (zie Bijlage A voor de gedetailleerde randvoorwaarden). Dit is een gevolg van een verschillend semi-probabilistisch model tussen de BOI- en WBI2017-methodiek. Zoals toegelicht in §2.5.2 is het rekenpeil bij een gelijke kans op doorsnedeniveau altijd hoger in het BOI.

⁵ Het profiel is wel offshore verlengd voor de berekening met XBeach (BOI2023), aangezien deze rekenmethode voldoende diepte nodig heeft voor het correct generen van de lange golf effecten.

In het figuur is dit onderdeel van het verschil in hydraulische belastingen zichtbaar: het rekenpeil voor de WBI2017-berekening (gestippelde blauwe lijn op NAP+4,04 m) ligt zo'n 25 cm onder het rekenpeil voor de BOI-berekening (doorgetrokken blauwe lijn op NAP4,28 m).

Resultaat voor het WBI2017

Het afslagprofiel uit de WBI2017-berekening (rode lijn) toont als depositielijn onder het rekenpeil de karakteristieke parabool volgens de Duros+ berekening, aan de zeezijde begrensd door een 1:12,5 helling. Boven rekenpeil is het afgeslagen duinfront zichtbaar als een steil 1:1 talud. Conform het WBI2017 is een parallel duinfront zichtbaar als gevolg van de inpassing van het toeslagvolume (25 % van de basiswaarde van het afslagvolume boven rekenpeil). Het maatgevend afslagpunt (gele stip) bevindt zich aan de landzijde op 101 m uit de RSP-lijn.

Aan de landzijde van het afslagprofiel inclusief toeslag is het standaard grensprofiel ingepast, met een kruinniveau van NAP+10,3 m. Hierbij was het niet nodig om het grensprofiel volumetrisch in te passen. Voor een vergelijking met de BOI-berekening is een gelijk referentieniveau nodig waar het grensprofiel eindigt, hiertoe is NAP +0 m gekozen. De landzijde van het grensprofiel op NAP-niveau komt uit op 78 m uit de RSP-lijn.

Resultaat voor het BOI

Het afslagprofiel uit de BOI-berekening (groene lijn) toont minder afslag dan het WBI2017-afslagprofiel. Depositie onder rekenpeil blijft beperkt tot grofweg 300 m uit de RSP-lijn. Zeewaarts daarvan toont het afslagprofiel beperkte profielveranderingen. Zo toont de zandbank rond -400 m enige erosie. Boven het BOI-rekenpeil (NAP+4,28 m) blijft de duinafslag relatief beperkt ten opzichte van de WBI2017-berekening. Het maatgevend afslagpunt komt uit op 141 m van de RSP-lijn. Dit is 40 m zeewaarts ten opzichte van de WBI2017-berekening.

Het grensprofiel, met een kruinniveau van NAP+10,1 m, is ook hier direct achter het afslagprofiel inpasbaar. Dit kruinniveau bevindt zich 1,5 m boven het ook in het figuur met de blauwe stip aangegeven maatgevende oplooppniveau van de lange golven. Het kruinniveau van het grensprofiel komt daarmee lager uit dan in de WBI2017-berekening. De landzijde van het grensprofiel op NAP+0 m komt uit op 123 m uit de RSP-lijn; 45 m zeewaarts ten opzichte van in de WBI2017-berekening.

Het grote verschil tussen het WBI2017- en BOI-rekenresultaat is primair het gevolg van een aanpassing van het semi-probabilistische model. Dit verschil in het afslagprofiel komt overeen met trend in eerste rekenkundige vergelijking (Deltares en Arcadis, 2022b). Daaruit volgde ook dat XBeach minder afslag gaf voor gelijke hydraulische belasting voor steile profielen met hoge duinen welke per definitie resulteren in relatief veel afslag.

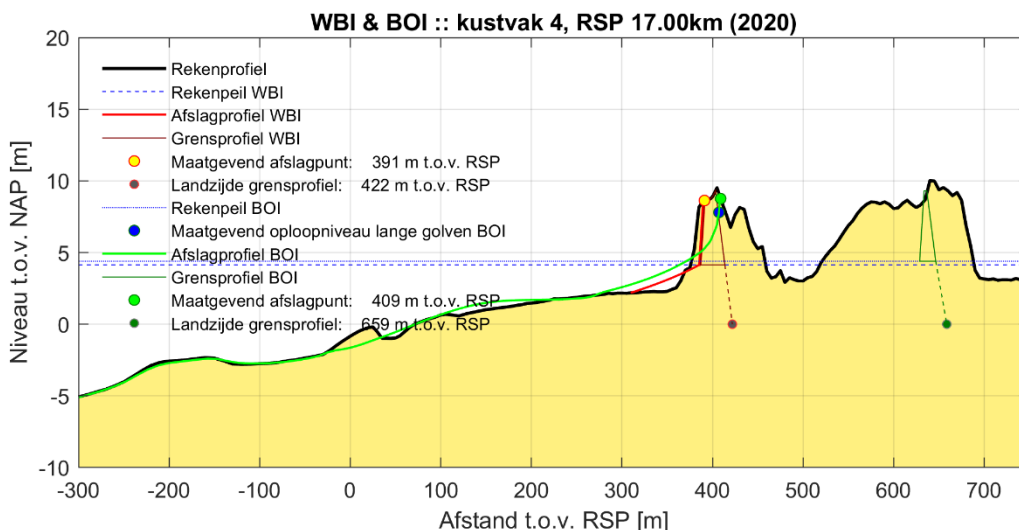
3.3.3 Voorbeeld meer afslag voor flauw en hooggelegen strand met een laag duin

Figuur 3-2 toont een voorbeeld van waarbij meer afslag optreedt in de BOI-berekening dan in de WBI2017-berekening (zie ook Figuur B - 6 in Bijlage B).

Het betreft hier de situatie in JarKus-raai 17.00 op Terschelling (kustvak 4) voor wederom een overschrijdingskans van het afslagpunt van 1/3.000 per jaar. Het dwarsprofiel bevat een relatief hooggelegen en breed strand. Het duin zelf is met een maximale hoogte van ongeveer NAP+10 m relatief laag en boven rekenpeil zijn twee duinenrijen zichtbaar. Het rekenpeil voor het BOI ligt ook hier ongeveer 25 cm boven het rekenpeil voor het WBI2017 (vergelijkbaar met het vorige voorbeeld).

Resultaat voor het WBI2017

Het WBI2017 Duros+ afslagprofiel wijkt slechts beperkt af van het initieel profiel: Duros+ berekent weinig afslag en depositie door de relatief hoge ligging van het strand. Ook het bijbehorende toeslagvolume is daardoor klein: de lijn inclusief toeslag ligt bijna boven op de lijn exclusief toeslag in het figuur. Het maatgevend afslagpunt ligt zodoende op 391 m. Het standaard grensprofiel conform het WBI2017 zou uitkomen op NAP+11,1 m en is niet inpasbaar. In plaats daarvan is het grensprofiel volumetrisch ingepast waarmee de landzijde van grensprofiel uitkomt op 422 m uit de RSP-lijn.



Figuur 3-2 Resultaat van WBI2017- en BOI berekening voor JarKus-raai 17.00 op Terschelling (kustvak 4) voor een overschrijdingskans van het afslagpunt van 1/3.000 per jaar. Let op: het BOI-grensprofiel is hier ingepast met de basisgeometrie.

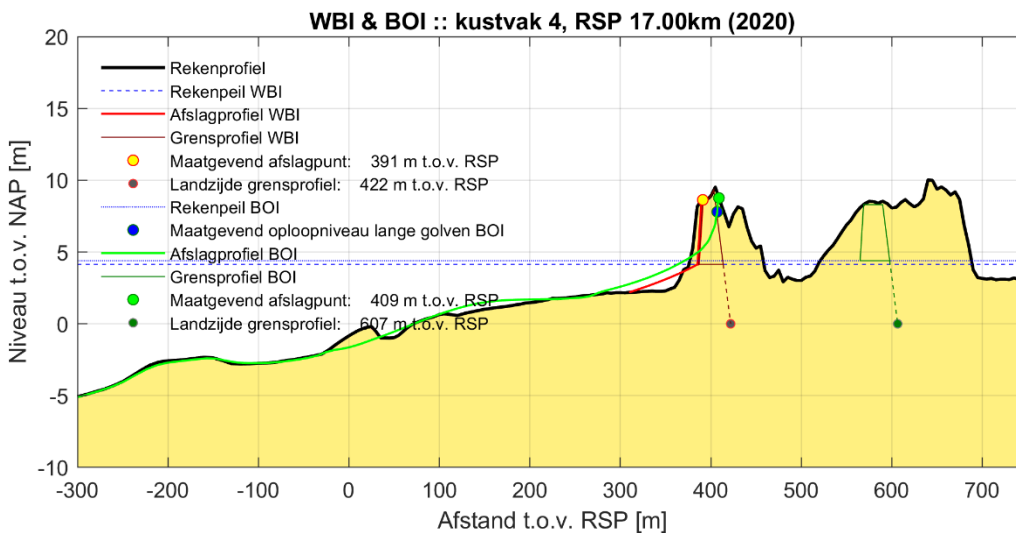
Resultaat voor het BOI

Het BOI XBeach-afslagprofiel vertoont meer afslag. Door het simuleren van fysische processen zoals lange golven in XBeach vindt er meer sedimenttransport plaats dan in het balansmodel van Duros+. Wederom berekent XBeach ook verder zeewaarts enig sedimenttransport. Nabij het duinfront is er duidelijk depositie zichtbaar tot 270 m uit de RSP-lijn. Het maatgevend afslagpunt komt uit op 409 m uit de RSP-lijn, en daarmee 18 m landwaarts ten opzichte van de WBI2017-positie. Ook dit verschil tussen Duros+ en XBeach voor een profiel met een hoog strand is vergelijkbaar met de resultaten van de eerste rekenkundige vergelijking (Deltares en Arcadis, 2022b). Ook sluit dit aan bij de resultaten van de afregeling van het semi-probabilistische model waaruit voor dergelijke situaties een relatief grote teruggang van het afslagfront wordt voorspeld (Arcadis en Deltares, 2023c).

Figuur 3-2 is het BOI-grensprofiel ingepast met de basisgeometrie; het grensprofiel met alternatieve geometrie is hierbij niet beschouwd. Het BOI-grensprofiel met basisgeometrie is niet inpasbaar in de eerste duinregel. Dit is ook goed te zien aan het maatgevende oploophoogten van de lange golven (blauw punt in het figuur). Het kruinniveau van NAP+9,3 m dat nodig is voor het grensprofiel met basisgeometrie is na afslag wel inpasbaar in de tweede duinregel. De positie van de landzijde van het grensprofiel komt daarmee uit op 659 m uit de RSP-lijn. Ten opzichte van het WBI2017-resultaat is dit een landwaartse verplaatsing van maar liefst 237 m. Dit voorbeeld laat zien dat er grote verspringingen kunnen optreden rond dubbele duinenrijen, met name in het grensprofiel.

Hierbij moet worden opgemerkt dat deze sprong in dit specifieke geval minder groot is als gebruik wordt gemaakt van een alternatief grensprofiel met een lager kruinniveau (zie implementatie conform §3.2.4).

In Figuur 3-3 is de meest gunstige vorm van dit alternatieve grensprofiel ingepast waarbij de landzijde van het grensprofiel zo ver mogelijk zeewaarts is gelegen. In dit geval verspringt het punt 68 m zeewaarts van 659 m in Figuur 3-2 naar 607 m uit de RSP-lijn. Zoals eerder aangegeven is in het vervolg van de analyses standaard de meest gunstige locatie van het grensprofiel berekend en gerapporteerd.



Figuur 3-3 *Gelijk aan vorige figuur, ditmaal is bij BOI het grensprofiel met een optimale alternatieve dimensie (met een meer zeewaarts gelegen positie van de landzijde van het grensprofiel) ingepast.*

3.3.4 **Overzicht resultaten voor alle basisprofielen**

Een overzicht van de afslagpunten voor alle 26 raaien voor beide instrumentaria is weergegeven in Figuur 3-4 en Figuur 3-5. Een detailoverzicht met het resultaat per raai is samengebracht in Bijlage B.

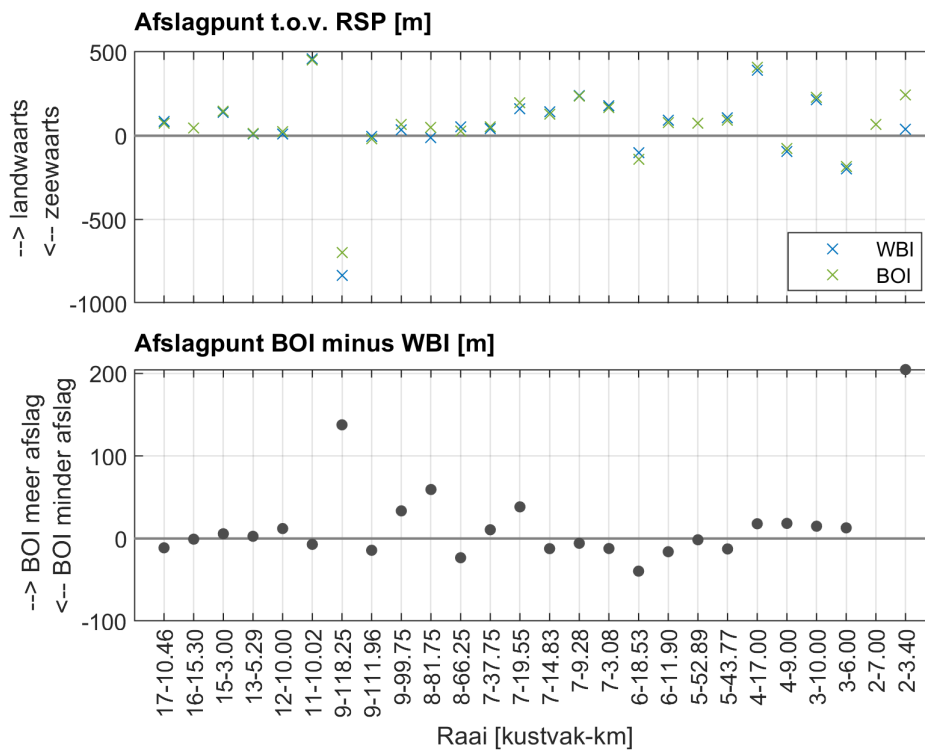
Verschillen in de positie van het afslagpunt

Zoals de twee voorbeelden al lieten zien, is er afhankelijk van de profielvorm soms minder en soms meer afslag berekend in de BOI-berekening ten opzichte van de WBI2017-berekening.

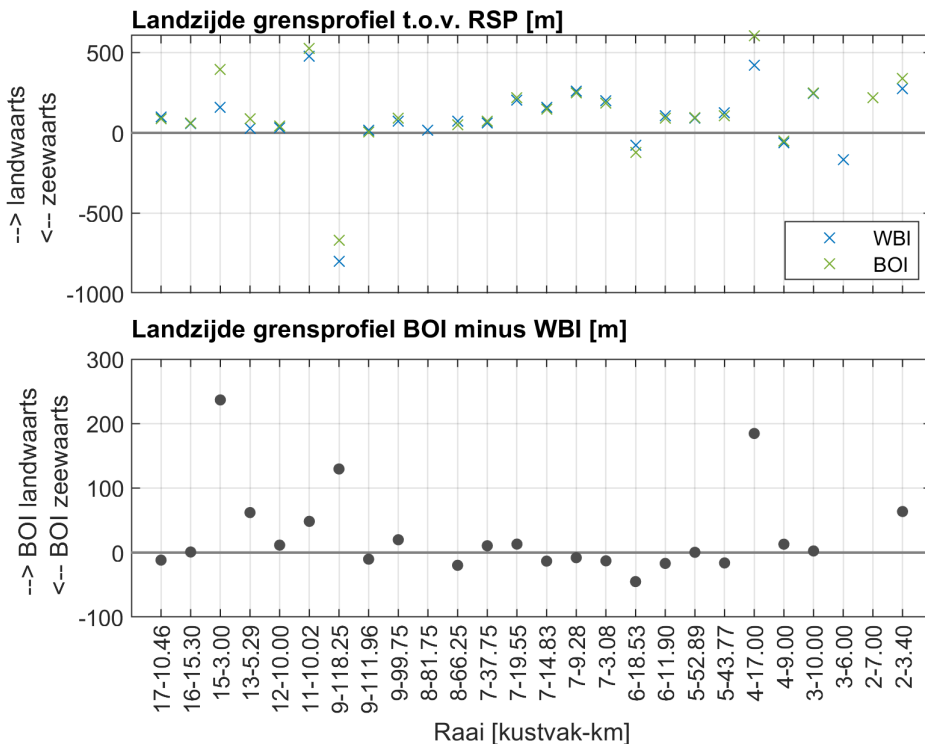
Er is een behoorlijke spreiding zichtbaar en er zijn enkele uitschieters. Meestal blijft het BOI-resultaat qua positie van het afslagpunt binnen een marge van ongeveer 20 m ten opzichte van het WBI2017-resultaat.

Op het eerste gezicht lijken de verschillen in de positie van de afslagpunten soms groot. Wanneer echter de profielen individueel worden beschouwd, is het rekenresultaat goed verklaarbaar.

Zo is de grootste uitschieter, JarKus-raai 3.40 op Schiermonnikoog (kustvak 2), te begrijpen doordat het dubbele duinenrij betreft en het afslagpunt met het BOI een duinenrij verder landwaarts ligt (zie Figuur B - 1 in Bijlage B).



Figuur 3-4 *Overzicht van het (verschil in) de positie van het afslagpunt voor de WBI2017- en BOI-berekening voor alle 26 basisraaii voor eenzelfde jaar en overschrijdingskans van het afslagpunt (verkenkende analyse) van de Deltakust (links) naar de Waddeneilanden (rechts).*



Figuur 3-5 *Overzicht van het (verschil in) landwaartse positie van grensprofiel voor de WBI2017- en BOI-berekening voor alle 26 basisraaii voor eenzelfde jaar en overschrijdingskans van het afslagpunt (verkenkende analyse) van de Deltakust (links) naar de Waddeneilanden (rechts).*

Voor JarKus-raai 7.00 km op Terschelling voor een kans van 1/1.000 per jaar is geen WBI2017-resultaat beschikbaar (zie Figuur B - 2). De balansmethode van Duros+ is voor deze profielvorm ontoereikend en hier is geen afslagprofiel inpasbaar. Het toepassen van het procesmodel XBeach volgens het BOI resulteert wel in een verklaarbaar en bruikbaar resultaat.

De sterk afwijkende positie van de afslagpunten voor JarKus-raai 188.25 in Delfland (kustvak 9) hangen samen met de hier aanwezige kustuitbouw waardoor de aangevallen duinregel ver zeewaarts ligt van de oorspronkelijke kustlijn en de RSP-lijn (zie Figuur B - 20 in Bijlage B).

Verschillen in de positie van de landwaartse grens van het grensprofiel

Naast de berekening van het afslagpunt is, is ook de definitie van het grensprofiel verschillend voor het WBI2017 en het BOI. Figuur 3-5 toont het overzicht van de locatie van de landzijde van het grensprofiel. Om een eenduidige vergelijking te maken, is de positie van de landzijde van het grensprofiel op het NAP-niveau beschouwd voor zowel het WBI2017 als het BOI.

Er komt grofweg hetzelfde patroon naar voren als voor het afslagpunt, al zijn er enkele uitschieters. De spreiding is iets groter dan voor het afslagpunt, de afwijking ten opzichte van het WBI2017-resultaat bedraagt ongeveer 30 m.

Er zijn enkele opmerkelijke uitschieters, onder andere op locaties die deels afwijken van de uitschieters in afslagpunt. Wederom is dit goed verklaarbaar wanneer de profielen individueel worden beschouwd.

Voor JarKus-raai 17.00 op Terschelling (kustvak 4) is dat al uitvoerig beschreven in het in §3.3.3 beschreven voorbeeld.

Ook voor JarKus-raai 3.00 km op Noord-Beveland (kustvak 15) is het afslagpunt voor zowel het WBI2017 als het BOI inpasbaar in de eerste duinregel, echter het grensprofiel is voor het BOI pas inpasbaar in de tweede duinregel (zie ook Figuur B - 24).

Dat de grootste uitschieter van het afslagpunt, JarKus-raai 3.40 in kustvak 2, een kleiner verschil toont bij het grensprofiel, is ook verklaarbaar aangezien het grensprofiel bij zowel het WBI2017 als het BOI in de tweede duinregel is ingepast (zie Figuur B - 1).

Het kan ook voorkomen dat door toepassing van het BOI blijkt dat er geen grensprofiel meer inpasbaar is, terwijl dit nog wel kon met het WBI2017. Dit is bijvoorbeeld het geval bij JarKus-raai 6.00 km op Ameland (kustvak 3) en JarKus-raai 81.75 km in Rijnland (kustvak 8), zie respectievelijk Figuur B - 3 en Figuur B - 17.

Op basis van dit laatste resultaat zou kunnen worden geconcludeerd dat de overstap op het nieuwe sterktemodel tot een grotere kans op falen van de waterkering leidt. Dit wil echter niet zeggen dat hier bij een beoordeling daadwerkelijk een doorbraak plaatsvindt. Het zou namelijk kunnen dat er zijn aan de landzijde zich nog een duin bevindt dat niet in de profielen is meegenomen. Daarnaast zijn er meer wijzigingen die bij de overstap van het WBI2017 naar het BOI een rol spelen. Een doorkijk naar het uiteindelijke effect is gepresenteerd in Hoofdstuk 4 van deze rapportage.

3.4 Resultaten detailanalyse basisraaien

3.4.1 Algemeen

In de detailanalyse van de 26 basisraaien zijn per raai meerdere overschrijdingskansen doorgerekend voor profielen uit meerdere jaren. Door per profiel meerdere overschrijdingskansen van het afslagpunt te beschouwen, is er systematisch gevarieerd in de hydraulische belasting op een profiel. Het beschouwen van meerdere jaren is op te vatten als een variatie in de sterkte van een raai.

Logischerwijs leidt een hogere belasting (kleinere overschrijdingskans van het afslagpunt, oftewel grotere terugkeertijd) voor een vergelijkbaar dwarsprofiel tot meer afslag en daarmee tot een verder landwaarts gelegen afslagpunt en een eveneens landwaarts verschoven positie van de landwaartse begrenzing van het grensprofiel. Dit geldt onafhankelijk van de gehanteerde rekenmethodiek. De focus van de hier gepresenteerde analyse van de resultaten ligt op het *verschil* tussen het BOI en het WBI2017.

De extra variatie in invoer van de berekeningen komt ook tot uiting in het (verschil in) rekenresultaat. Hoewel er enkele trends waarneembaar zijn, valt op dat er veel variatie zit in de verschillen tussen het BOI en het WBI2017. Zoals al duidelijk werd in de verkennende analyse in §3.3, is er sprake van meer of minder afslag afhankelijk van de combinatie van rekenprofiel en belasting.

Door voor eenzelfde raai naar andere jaren (andere jaaropname) te kijken, of andere belastingen (andere overschrijdingskansen) te hanteren, kan echter ook het verschil tussen het WBI2017 en het BOI veranderen. Van belang is het immers om te weten of het BOI (on)gevoeliger is voor profielvariaties in de tijd en of het BOI (on)gevoeliger is voor een variatie in de kans van overschrijding dan het WBI2017. Dit helpt ook in de duiding van de bulkanalyse waarbij maar 1 jaar en 1 kans doorgerekend is.

Aan de hand van enkele voorbeelden is dit in de twee volgende paragrafen toegelicht.

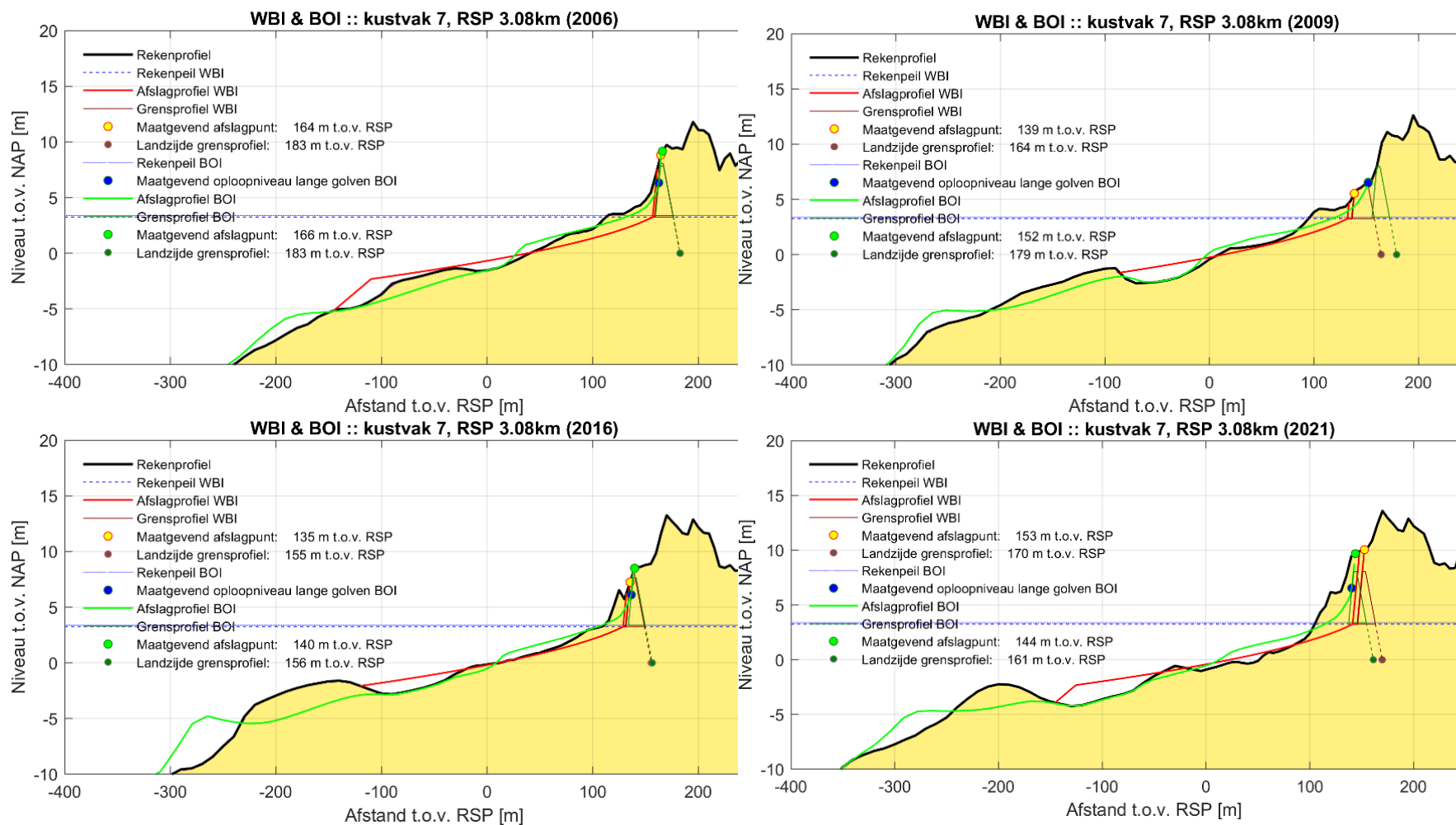
3.4.2 Voorbeeld effect jaaropname (1 raai, 1 kans, verschillende jaren)

Het eerste voorbeeld, waarbij de mogelijke grilligheid van de verschillen tussen het WBI2017 en het BOI duidelijk naar voren komt, betreft het effect van de jaaropname voor JarKus-raai 3.08 in Noord-Holland (kustvak 7). In dit geval is een overschrijdingskans van 1/100 per jaar als uitgangspunt gebruikt. Figuur 3-6 toont het rekenresultaat voor vier verschillende jaren voor wat betreft de locatie van het afslagpunt en de inpassing van het grensprofiel.

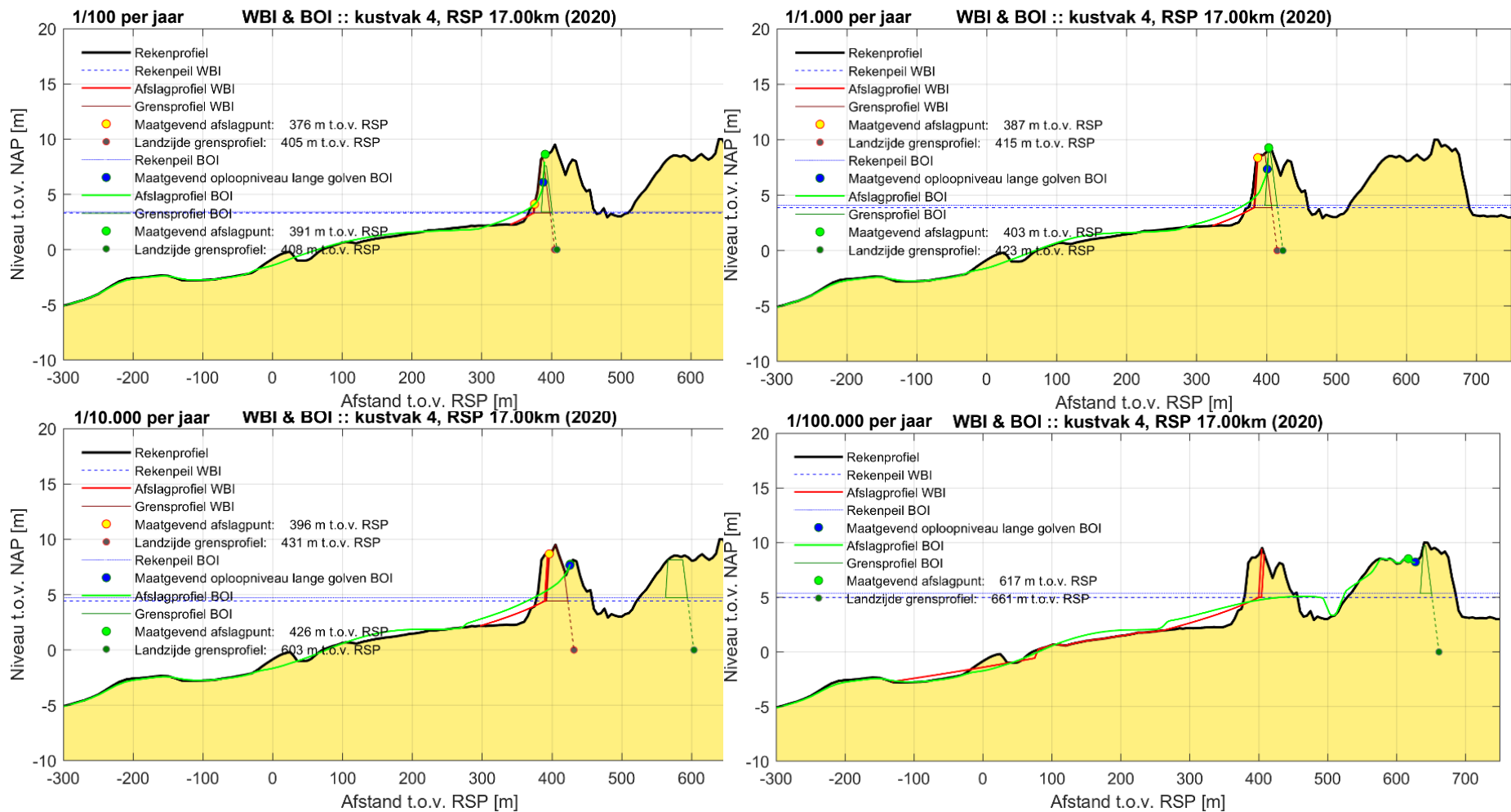
Het verschil tussen het BOI en WBI2017 laat zich qua posities als volgt samenvatten:

- 2006: Afslagpositie BOI \approx WBI2017, grensprofiel BOI \approx WBI2017
- 2009: Afslagpositie BOI $>$ WBI2017, grensprofiel BOI $>$ WBI2017
- 2016: Afslagpositie BOI $>$ WBI2017, grensprofiel BOI \approx WBI2017
- 2021: Afslagpositie BOI $<$ WBI2017, grensprofiel BOI $<$ WBI2017

Waar voor het ene profiel het BOI meer afslag berekent (2009, 2016) is voor het andere profiel evenveel afslag (2006) of minder afslag (2021) aanwezig. De individuele profielen laten zien dat de precieze locatie van zandbanken (al dan niet onderhevig aan suppleties) en de duinvorm de positie van het afslagpunt beïnvloeden. Op basis van dit voorbeeld ijkt er geen duidelijk verschil aanwezig tussen de gevoeligheid van het WBI2017 en het BOI voor profielvariaties in de tijd.



Figuur 3-6 Afslagprofiel op basis van XBeach (BOI) en Duros+ (WBI2017) voor JarKus-raai 3.08 in kustvak 7 voor dezelfde overschrijdingskans van het afslagpunt (1/100 per jaar) in meerdere jaren (2006, 2009, 2016 en 2021).



Figuur 3-7 Afslagprofiel op basis van XBeach (BOI) en Duros+ (WBI2017) voor JarKus-raai 17.0 op Terschelling (kustvak 4) in hetzelfde jaar (2020) voor verschillende kansen (1/100, 1/1.000, 1/10.000 en 1/100.000 per jaar van linksboven naar rechtsonder).

3.4.3 **Voorbeeld effect belasting (1 raai, verschillende kansen, 1 jaaropname)**

Een ander voorbeeld betreft het effect van de verandering van de beschouwde overschrijdingskans. In dit geval voor JarKus-raai 17.00 op Terschelling (kustvak 4) voor 2020.

Figuur 3-7 toont het rekenresultaat voor vier verschillende kansen. Elk van de beschouwde kansen gaat samen met een andere hydraulische belasting en dus ook een ander rekenpeil. Per geval is er ook sprake van een van het sterktemodel afhankelijk rekenpeil.

Het verschil tussen het BOI en WBI2017 laat zich qua posities als volgt samenvatten:

- 1/100 Afslagpositie BOI > WBI2017, grensprofiel BOI = WBI2017
- 1/1.000 Afslagpositie BOI > WBI2017, grensprofiel BOI >WBI2017
- 1/10.000 Afslagpositie BOI > WBI2017, grensprofiel BOI >> WBI2017
- 1/100.000 Afslagpositie BOI >> WBI2017, grensprofiel BOI > WBI2017

Ook al is het rekenprofiel in alle gevallen gelijk, het veranderen van de belastingen leidt opvallende verschillen tussen het WBI2017- en BOI-resultaat. Afhankelijk van de belasting, is afslag en/of het grensprofiel inpasbaar in de eerste of twee duinenrij. Op de grens hiervan ontstaat dus een discontinu verschil tussen beide instrumentaria. Zo bevindt het maatgevende afslagpunt bij een kans van 1/10.000 per jaar zich voor zowel het BOI als het WBI2017 in de eerste duinenrij. Het grensprofiel is voor het BOI echter pas inpasbaar in de tweede duinenrij. Pas bij een kans van 1/100.000 per jaar, verspringt bij het WBI2017 het grensprofiel ook naar de tweede duinregel.

Op basis van dit voorbeeld lijkt er geen duidelijk verschil aanwezig tussen de gevoeligheid van het WBI2017 en het BOI voor variatie in de hydraulische belasting.

3.4.4 **Resultaat tijdsanalyzediagram**

Per raai is ook een overzicht te maken van het afslagpunt voor alle kansen en jaren. Dit kan in een zogenaamd TA-diagram (TijdsAnalyse-diagram).

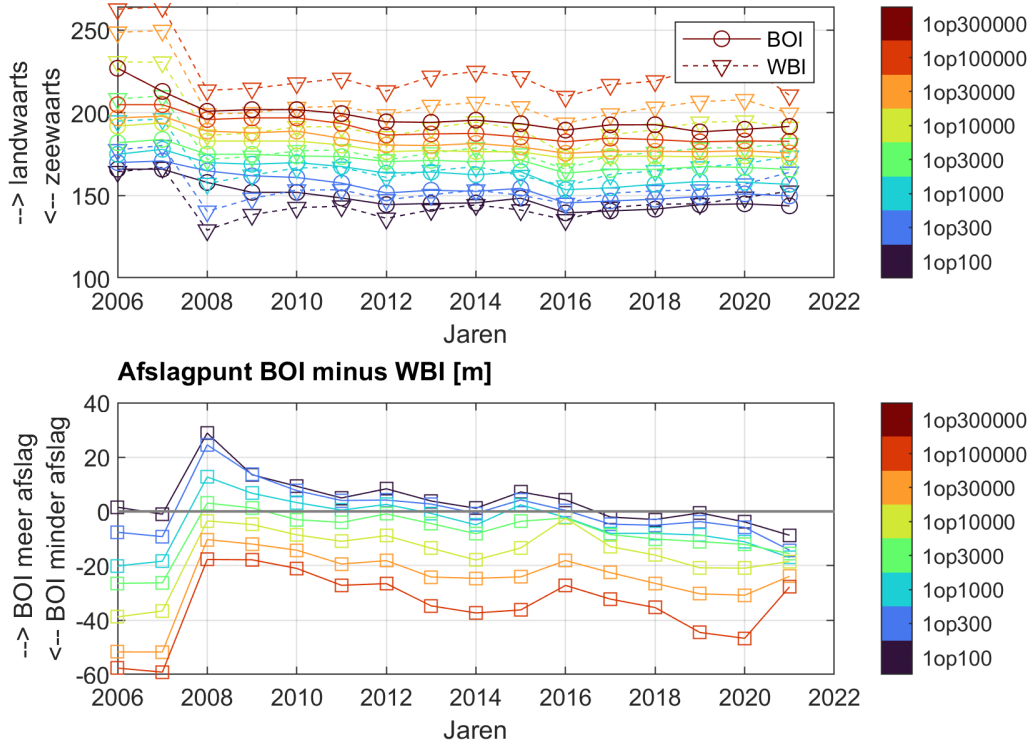
Een eerste voorbeeld van een dergelijk diagram voor JarKus-raai 3.08 in Noord-Holland (kustvak 7) is gegeven in Figuur 3-8. Deze raai is ook eerder gebruikt in het in §3.4.2 gepresenteerde voorbeeld.

De variatie tussen de jaren is hierin duidelijk zichtbaar waarbij de profielvormen van de eerste jaren leiden tot meer landwaarts gelegen posities. Dit geldt zowel voor het WBI2017- als voor het BOI-resultaat.

Ook de variatie tussen de kansen valt op. Er is, conform de verwachting, steeds meer afslag in absolute zin voor kleinere kansen (grotere terugkeertijd).

Opvallend is wel dat het BOI voor kleinere kansen een minder ver landwaarts gelegen afslagpunt laat zien ten opzichte van het WBI2017. De in de bovenste afbeelding gepresenteerde band met BOI-resultaten is duidelijk smaller dan die van het WBI2017.

In de onderste afbeelding van Figuur 3-8 is het verschil tussen de BOI- en WBI2017 afslagposities gepresenteerd. Dit laat zien dat het absolute verschil tussen beide posities gemiddeld genomen voor het BOI leidt tot een minder ver landwaarts gelegen afslagpunt. De mate waarin is echter afhankelijk van zowel de profielvorm (jaaropname) als de belasting (overschrijdingskans).



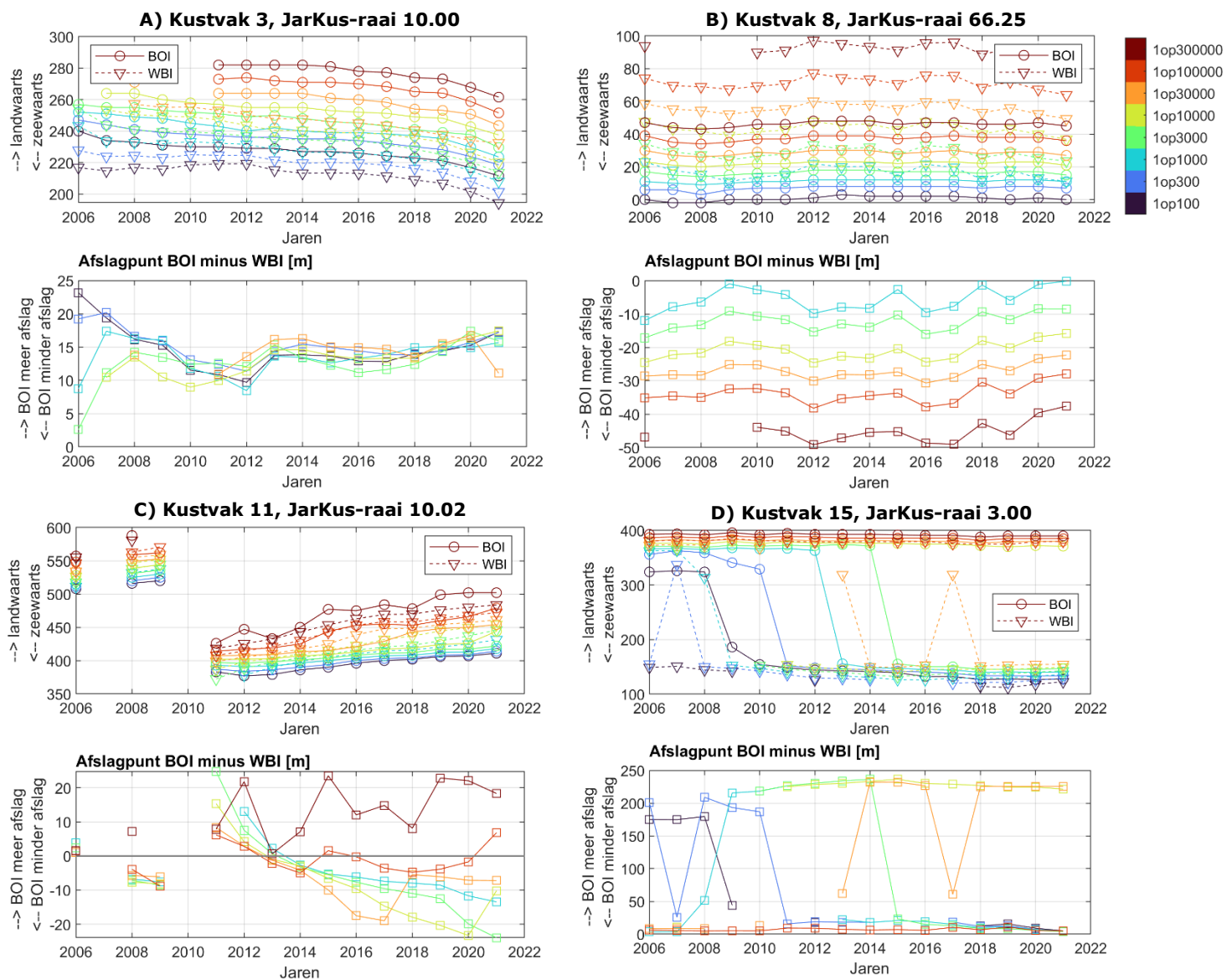
Figuur 3-8 Tijdsanalysesdiagram voor de positie van het afslagpunt in JarKus-raai 3.08 km in Noord-Holland (kustvak 7). Het bovenste paneel toont het afslagpunt voor WBI2017 en BOI, het onderste toont het verschil.

Enkele andere TA-diagrammen zijn weergegeven in Figuur 3-9. Hieruit blijkt dat per locatie het verschil tussen het BOI en het WBI2017 behoorlijk uiteenloopt. Zo is voor JarKus-raai 10.00 op Ameland (kustvak 3) het verschil tussen het WBI2017 en het BOI nagenoeg onafhankelijk van het jaar en de kans, en bedraagt deze 10 tot 15 m meer afslag.

Tegelijkertijd is voor JarKus-raai 66.25 in Rijnland (kustvak 8) het verschil tussen het WBI2017 en het BOI weliswaar constant in de tijd, maar levert het BOI relatief steeds minder afslag voor kleinere kansen (grotere terugkeertijd).

Voor de JarKus-raaien 10.02 op Voorne⁶ (kustvak 11) en 3.00 op Noord-Beveland (kustvak 15) tonen de resultaten soms meer afslag bij het BOI voor kleinere kansen, al is het resultaat hier nog veel afhankelijker het rekenprofiel. Zo verspringt het BOI-afslagpunt voor JarKus-raai 3.00 op Noord-Beveland vooral bij zwaardere condities (kleinere kansen) regelmatig naar de volgende duinenrij, terwijl het afslagpunt in de WBI2017-berekening nog in de eerste duinenrij ligt.

⁶ Voor JarKus-raai 10.02 op Voorne (kustvak 11) is in 2007 en 2010 geen JarKus-meting beschikbaar, waardoor er gaten in het TA-diagram zitten in Figuur 3-9. In 2009 loopt de JarKus-meting niet ver genoeg door het duin in, waardoor het afslagprofiel niet volledig past bij de zwaarste condities (kleinste kansen).



Figuur 3-9 Tijdsanalyse-diagram van de positie van het afslagpunt ten opzichte van de RSP-lijn op basis van XBeach (BOI2023) en Duros+ (WBI2017) voor A) kustvak 3, Ameland, JarKus-raai 10.00; B) kustvak 8, Rijnland, JarKus-raai 66.25; C) kustvak 11, Voorne, JarKus-raai 10.02 en D) kustvak 15 Noord-Beveland, JarKus-raai 3.00. Elk bovenste figuur toont de ligging van het afslagpunt ten opzichte van de RSP-lijn voor zowel XBeach (doorgetrokken lijnen) en Duros+ (gestippelde lijnen) en het onderste figuur het verschil tussen beide instrumentaria.

3.4.5 Karakteristieke resultaten detailanalyse

Alle resultaten van alle kansen en jaren per raai zijn ook tezamen beschouwd.

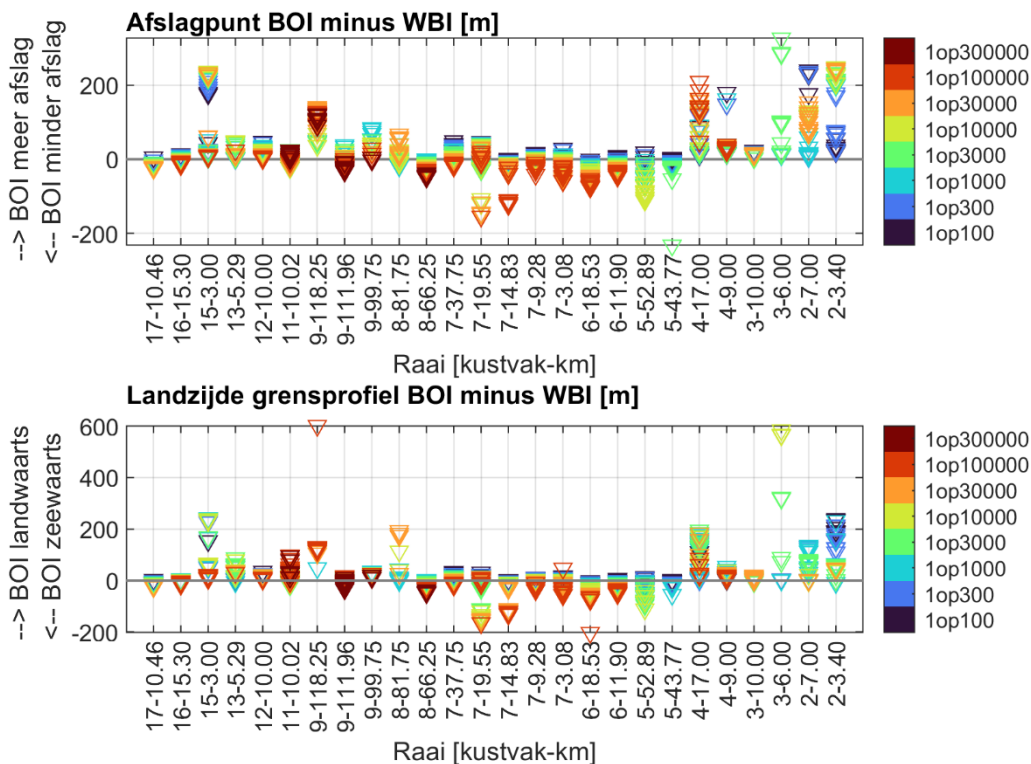
In Figuur 3-10 zijn middels kleuren de 8 verschillende kansen weergegeven. Per raai zijn alle⁷ 16 jaren tegelijk getoond. Zo zijn er per raai maximaal $8 \times 16 = 128$ symbolen geplot, verdeeld over 8 kleuren.

De bovenste afbeelding van het figuur geeft de positie van het afslagpunt. De onderste heeft betrekking op de positie van de landzijde van het grensprofiel.

Een positief verschil duidt op respectievelijk een meer landwaarts gelegen positie van het afslagpunt (bovenste afbeelding) of een meer landwaarts gelegen positie van de landzijde van het grensprofiel.

Per raai kunnen de resultaten flink uiteenlopen, al is dit voor de ene raai sterker als voor de ander raai.

Over het algemeen neemt de hoeveelheid afslag bij het BOI relatief af ten opzichte van het WBI2017 voor kleinere kansen (grotere terugkeertijd). Dit leidt in de bovenste afbeelding tot negatieve verschilwaarden.



Figuur 3-10 Alle rekenresultaten voor de detailanalyse. Boven: de verschillen in de positie van het afslagpunt tussen het WBI2017 en BOI. Onder: de verschillen in de positie van het grensprofiel op NAP +0m tussen het WBI2017 en BOI.

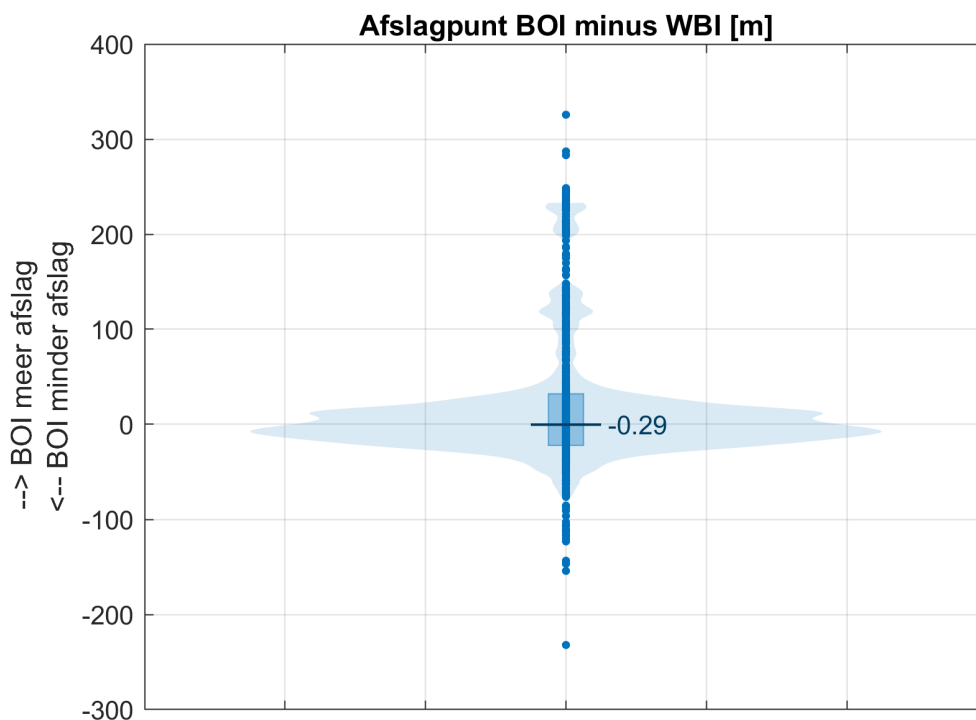
Het totaal aan resultaten toont grote verschillen en behoorlijke spreiding. Voor de positie van het afslagpunt is de standaarddeviatie bijvoorbeeld gelijk aan 58 m. Er zijn echter ook situaties met een vergelijkbare hoeveelheid afslag.

⁷ Om het verschil te berekenen is zowel een beschikbaar resultaat nodig met WBI2017 als BOI. Wanneer dit is berekend voor zowel BOI2023 als WBI2017 is het resultaat weergegeven.

Statistische kernmerken verschil in afslagpositie

Enkele statistische eigenschappen van het verschil in de positie van het afslagpunt zijn getoond in Figuur 3-11. De mediaan van de resultaten ligt nagenoeg op 0 m. Er is voor de beschouwde set dus even vaak sprake van meer afslag als minder afslag.

De verdeling van de resultaten is niet helemaal Gaussisch (normaal verdeeld). Met name voor de gevallen van relatief meer afslag voor het BOI zijn enkele opvallende clusters van meerdere resultaten ver weg van de mediaan. Deze clusters bevinden zich in het figuur rond een verschil van ongeveer 120 en 210 m. Dit is veroorzaakt door onder andere discontinue resultaten wanneer er meerdere duinrijen aanwezig zijn waarbij de positie van het afslagpunt 'verspringt'.



Figuur 3-11 Violin-plot van de beschikbare berekende verschillen in afslagpunt tussen BOI en WBI2017. De y-as geeft de mate van verschil in afslagpunt weer, op de x-as toont de kansdichtheid hiervan. De mediaan is weergegeven met een horizontaal streepje. Het donkerblauwe blokje toont het 15% - 85% interval.

De kwantielen van de data zijn weergegeven in Tabel 3-5. Meestal beperkt het verschil tussen het BOI en het WBI2017 zich tot (enkele) tiental(len) meters. Meer specifiek: voor 50 % van de gevallen bedraagt het verschil tussen de -15 en +17 m.

Tabel 3-5 Kwantielen van het verschil in de positie van het afslagpunt BOI – WBI2017 in de detailanalyse (kwantielen dikgedrukt; positief is verder landwaarts gelegen afslagpunt).

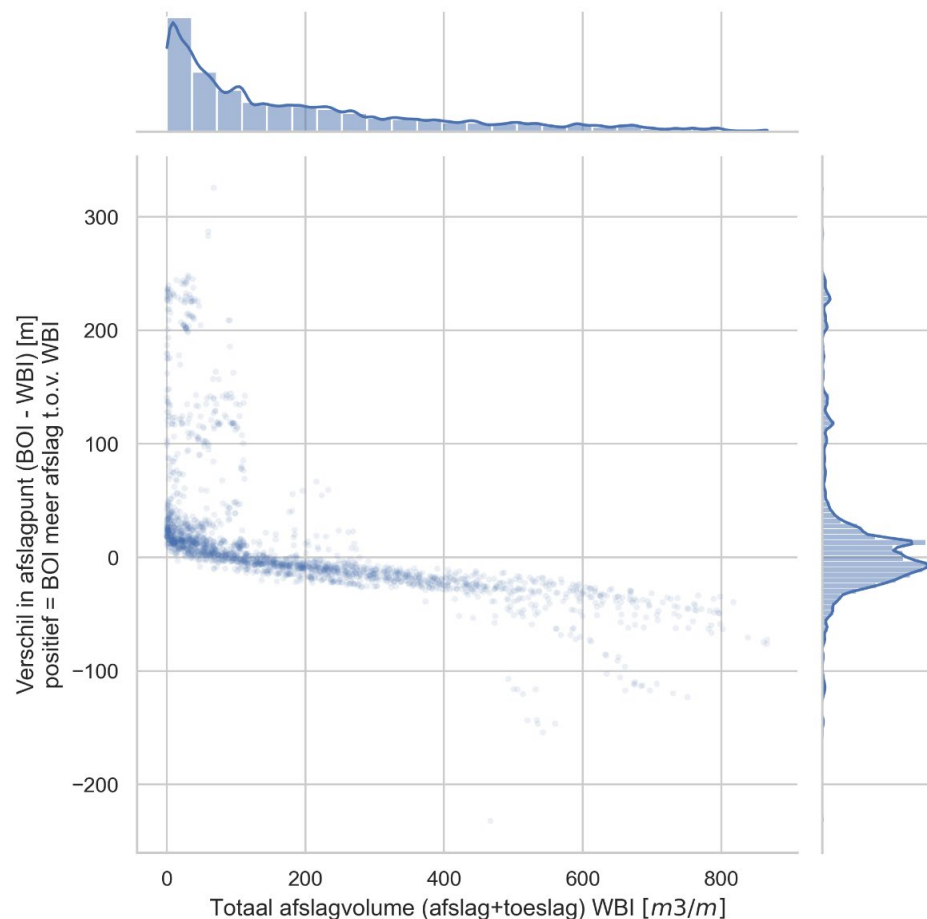
Kwantiel	0	0,01	0,1	0,15	0,25	0,5	0,75	0,85	0,9	0,99	1
Afslagpunt BOI-WBI [m]	-232	-99	-27	-22	-15	0	17	32	78	233	326

Afhankelijkheid van erosievolume

De mate van verschil tussen het afslagpunt berekend tussen het BOI en het WBI2017 kan ook worden uitgezet als functie van het totale erosievolume zoals berekend met het WBI2017.⁸

Aan de hand van Figuur 3-12 kan worden beoordeeld of het verschil afhankelijk is van de mate van afslag. Duidelijk is te zien dat voor alle berekeningen met de grotere afslagvolumes ($>300 \text{ m}^3/\text{m}$), er veelal minder afslag optreedt met het BOI ten opzichte van het WBI2017. Voor de lagere afslagvolumes ($<50 \text{ m}^3/\text{m}$), tonen de BOI-berekeningen vrijwel altijd meer afslag.

Deze constatering zijn in lijn met de verwachtingen en eerdere bevindingen. Zo was bekend dat het WBI2017 (Duros+) voor de hogere afslagvolumes tot een overschatting neigt vergeleken met metingen en voor de lagere afslagvolumes een onderschatting (Deltares en Arcadis, 2022b). De BOI-methodiek (XBeach) toont een resultaat dat beter aansluit op de metingen.



Figuur 3-12 Verschil in afslagpunt uitgezet tegen het WBI2017-afslagvolume. Boven en links van de scatterplot zijn histogrammen weergegeven met een vloeiende blauwe lijn erdoorheen (een kernel density estimator).

⁸ Het erosievolume van een berekening is gedefinieerd boven een gegeven niveau (rekenpeil). Aangezien WBI2017 en BOI een ander rekenpeil kennen (en dus ander erosievolume), moest een keus worden gemaakt in welk erosievolume gehanteerd wordt. Deze keus heeft geen invloed op de conclusies van deze analyse.

Vershil in robuustheid/toepasbaarheid

Een ander verschil tussen het BOI en het WBI2017 is de mogelijkheid om te komen tot een berekeningsresultaat. Tabel 3-6 toont het overzicht van het aantal berekeningen waarvoor binnen het modeldomein wel of geen geldig resultaat voor de positie van het afslagpunt kon worden berekend⁹. In de meeste gevallen (67%) is er zowel een resultaat voor het WBI2017 als voor het BOI. Het totaal aantal berekeningen waarin geen afslagpunt berekend kon worden is bij het WBI2017 (345) groter dan bij het BOI (227).

Tabel 3-6 Overzicht van aantal berekeningen met wel of niet valide afslagpunt binnen het modeldomein voor Duros+ (WBI2017) en XBeach (BOI) samen in de 2672 berekeningen in de detailanalyse.

		XBeach (BOI)		
		Geslaagd	Niet geslaagd	Totaal
Duros+ (WBI2017)	Geslaagd	2236	91	2327
	Niet geslaagd	209	136	345
	Totaal	2445	227	2672

Een niet geslaagde berekening kan meerdere oorzaken hebben. Zo is het mogelijk dat de hydraulische belasting dusdanig hoog is dat het volledige duin afslaat. In een Duros+ berekening kan in dit geval geen evenwichtsprofiel ingepast worden en wordt dus geen afslagpunt berekend. In een XBeach-berekening erodeert het duinprofiel zo ver dat een open verbinding tussen de zee en de landzijde van het modeldomein ontstaat. In dit geval wordt ook geen afslagpunt bepaald en wordt de berekening vaak voortijdig afgebroken. Te veel afslag door (zeer) zware hydraulische belasting is waarschijnlijk de voornaamste oorzaak voor het niet kunnen bepalen van het afslagpunt in zowel de WBI2017- als de BOI-berekeningen.

Een deel van de niet geslaagde WBI2017-berekeningen is ook te wijten aan de ontoereikende balansmethodiek, zoals ook al werd benoemd in §3.2.

Daarnaast zijn steekproefsgewijs niet geslaagde BOI-berekeningen gevonden waarbij dit te wijten was aan een doorbrekend duin in een (te) kort profiel. Dat betekent dat deze BOI-berekeningen in feite goed zijn gegaan, maar dat het afslagpunt buiten het beschouwde domein ligt en er zodoende geen bruikbaar afslagpunt beschikbaar is. De profielen zijn in deze verkennende analyse immers niet in landwaartse richting aangevuld met andere hoogtegegevens. Als de profielen wel verlengd zouden zijn, zou de BOI-aanpak waarschijnlijk resulteren in relatief nog meer geslaagde berekeningen ten opzichte van de WBI-aanpak.

Door de fysische procesmethodiek uit het BOI zijn er meer berekeningen geslaagd ten opzichte van met de WBI2017-methodiek. Het nieuwe instrumentarium lijkt dus inderdaad te resulteren in een groter toepasbaarheid.

⁹ Merk op dat hierbij alleen gekeken is naar het wel of niet berekenen van het afslagpunt; er is niet geanalyseerd in hoeverre elk berekend afslagpunt (in een geslaagde berekening) goed of twijfelachtig is.

3.5 Resultaten Nederlandse kust

3.5.1 Algemeen

In de bulkanalyse zijn alle 1.534 JarKus-raaien uit 2020 langs de Nederlandse kust doorgerekend voor een bepaalde overschrijdingskans van het afslagpunt op raai-niveau. Hierbij is gebruik gemaakt van de signaleringswaarde op trajectniveau zoals toegelicht in Tabel 3-2.

Bij de presentatie van de resultaten van deze uitwerkingen is onderscheid gemaakt tussen het ruimtelijk beeld van de berekende verschillen in de positie van het *afslagpunt* (§3.5.2) en de verschillen in de positie van de landzijde van het *grensprofiel* (§3.5.4). Als opstap naar de laatste resultaten is in §3.5.3 in meer detail ingegaan op het effect van de wijziging in het *kruinniveau* van het grensprofiel zoals toegelicht §2.6.2.

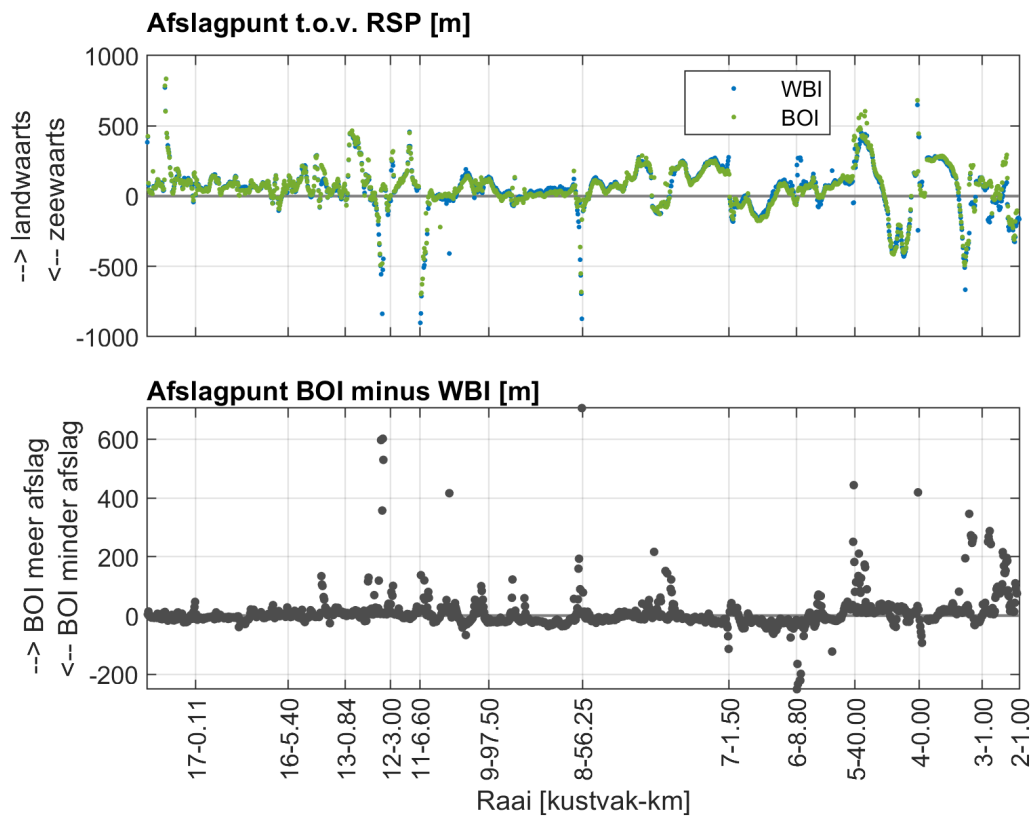
Omdat de resultaten voor zowel het afslagpunt als het grensprofiel voor de Nederlandse kust als geheel zijn gepresenteerd en dit dus beperkt zicht geeft op de meer locatie specifieke verschillen, is in §3.5.5 een nadere duiding per regio gegeven. Hierin wordt ingezoomd op de resultaten voor drie regio's langs de Nederlandse kust: de Waddeneilanden, de Hollandse kust en de Deltakust.

3.5.2 Resultaten verschil in positie afslagpunt

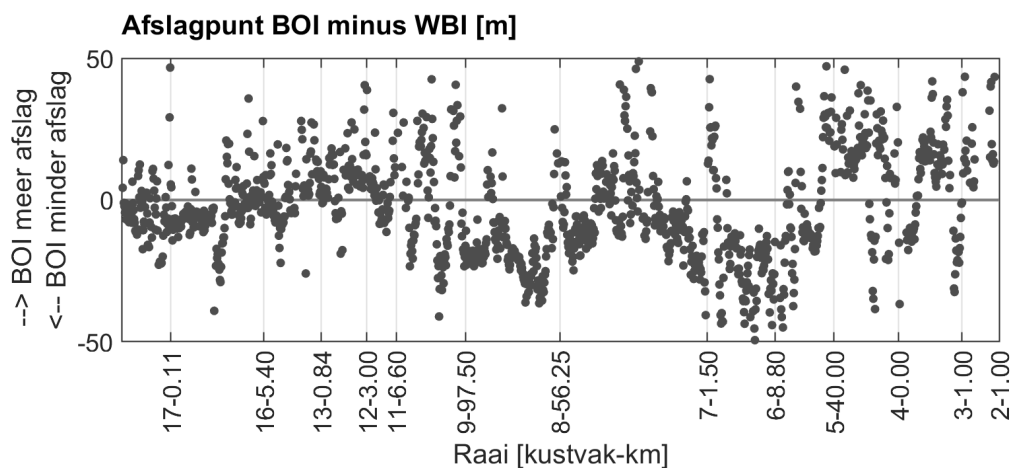
De resultaten voor de volledige Nederlandse kust zijn getoond in Figuur 3-13 en Figuur 3-14 en in kaartvorm in Figuur 3-15.

In de onderste afbeelding van Figuur 3-13 en het daarvan in Figuur 3-14 gepresenteerde detail is te zien dat er (net als in de in §3.4 gepresenteerde detailanalyse) er grote verschillen (tot honderden meters) aanwezig zijn in de positie van afslagpunt. Er is sprake van behoorlijke spreiding (standaarddeviatie = 57 m) met uitschieters tot wel 700 m landwaartse verschuiving van het afslagpunt ter plaatse van de kustuitbouw naast de havendam van IJmuiden.

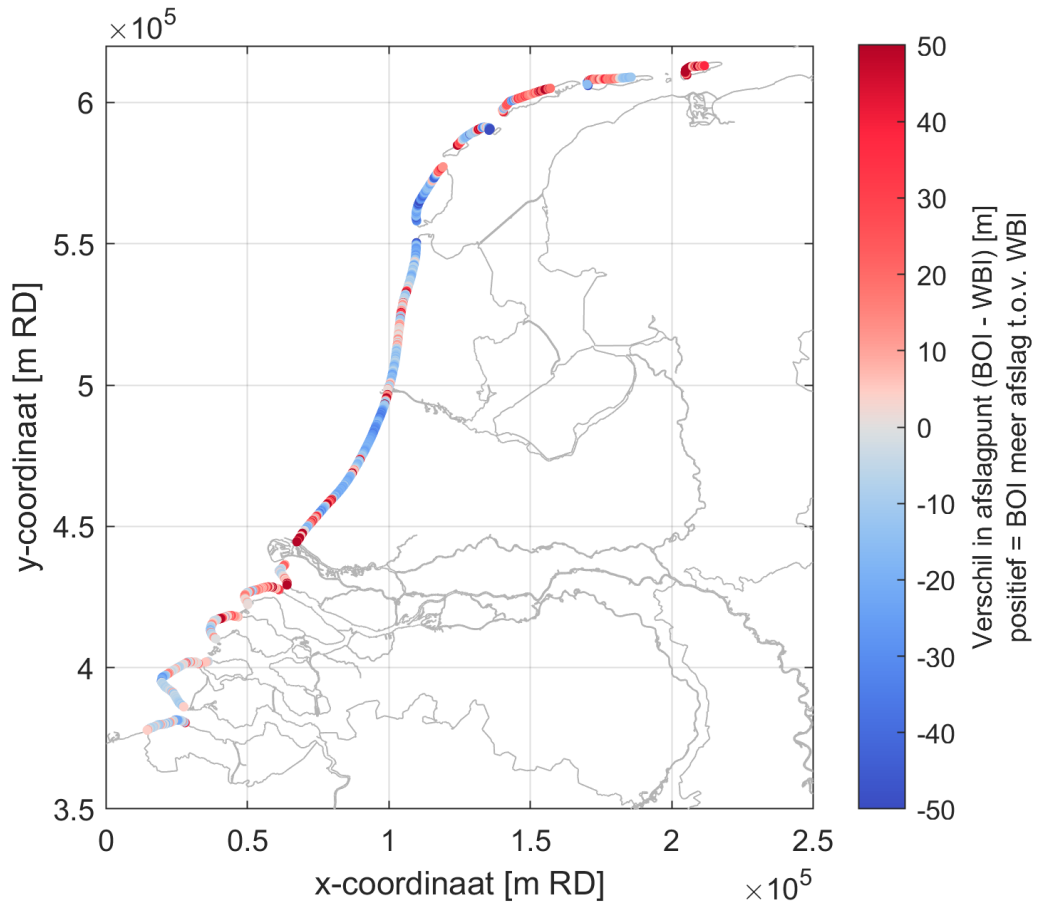
Toch zijn er ook veel resultaten met een vergelijkbare positie van het afslagpunt voor het WBI2017 en het BOI. Langs de kust zijn de resultaten van naastgelegen raaien vaak ongeveer gelijk aan elkaar, waardoor een grove indeling bestaat van gebieden met een vergelijkbaar verschil tussen het WBI2017 en het BOI. Dit is ook te zien in de overzichtskaart van Figuur 3-15 en komt verderop terug bij de bespreking van de resultaten per regio (zie §3.5.5).



Figuur 3-13 *Overzicht van het (verschil in) afslagpunt voor de WBI2017- en BOI-berekening voor alle 1534 raaien langs de Nederlandse kust voor voor hetzelfde jaar en dezelfde overschrijdingskans op raainiveau per kustvak.*



Figuur 3-14 *Overzicht van het verschil in afslagpunt voor de WBI2017- en BOI-berekening voor alle 1534 profielen langs de Nederlandse kust voor voor hetzelfde jaar en dezelfde overschrijdingskans op raainiveau per kustvak; met ingezoomde verticale as van het onderste figuur in Figuur 3-13.*

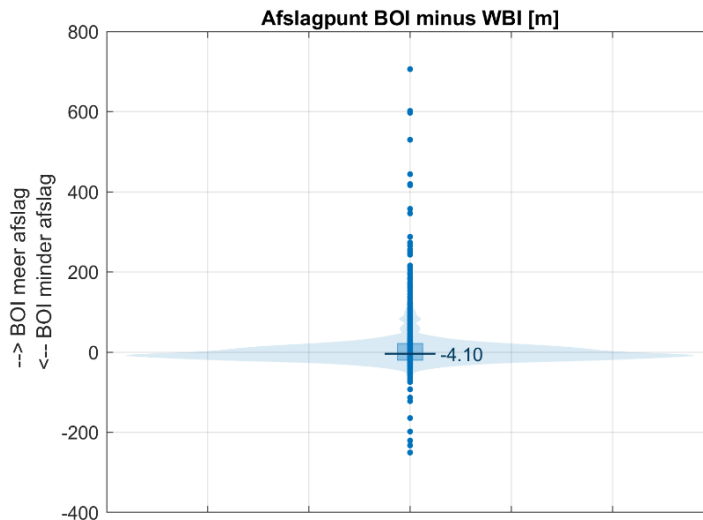


Figuur 3-15 Overzicht van het verschil in afslagpunt tussen de WBI2017- en BOI-berekeningen uit Figuur 3-13 weergegeven op een kaart van de Nederlandse kust.

Statistische kernmerken verschil in afslagpositie

Enkele statistische eigenschappen van de verschillen in afslagpunt zijn getoond in Figuur 3-16. De mediaan van de resultaten ligt onder 0 m (-4 m). Er is in deze bulkanalyse dus vaker minder afslag door het toepassen van het BOI.

De kwantilen van de data zijn weergegeven in Tabel 3-7. Meestal beperkt het verschil tussen het BOI en het WBI2017 zich tot een (enkele) tiental(len) meters. Dit resultaat is vergelijkbaar met dat van de in §3.4 gepresenteerde detailanalyse. De helft van de resultaten valt binnen het interval tussen -15 en +13 m verschuiving.



Figuur 3-16 Violin-plot van de beschikbare berekende verschillen in afslagpunt tussen BOI en WBI2017 in de bulkanalyse. De verticale as geeft de mate van verschil in afslagpunt weer, op de x-as toont de kansdichtheid hiervan. De mediaan is weergegeven met een horizontaal streepje. Het donkerblauwe blokje toont het 15% - 85% interval.

Tabel 3-7 Kwantielen van het verschil in afslagpunt BOI – WBI2017 in de bulkanalyse (kwantielen dikgedrukt; positief is verder landwaarts gelegen afslagpunt).

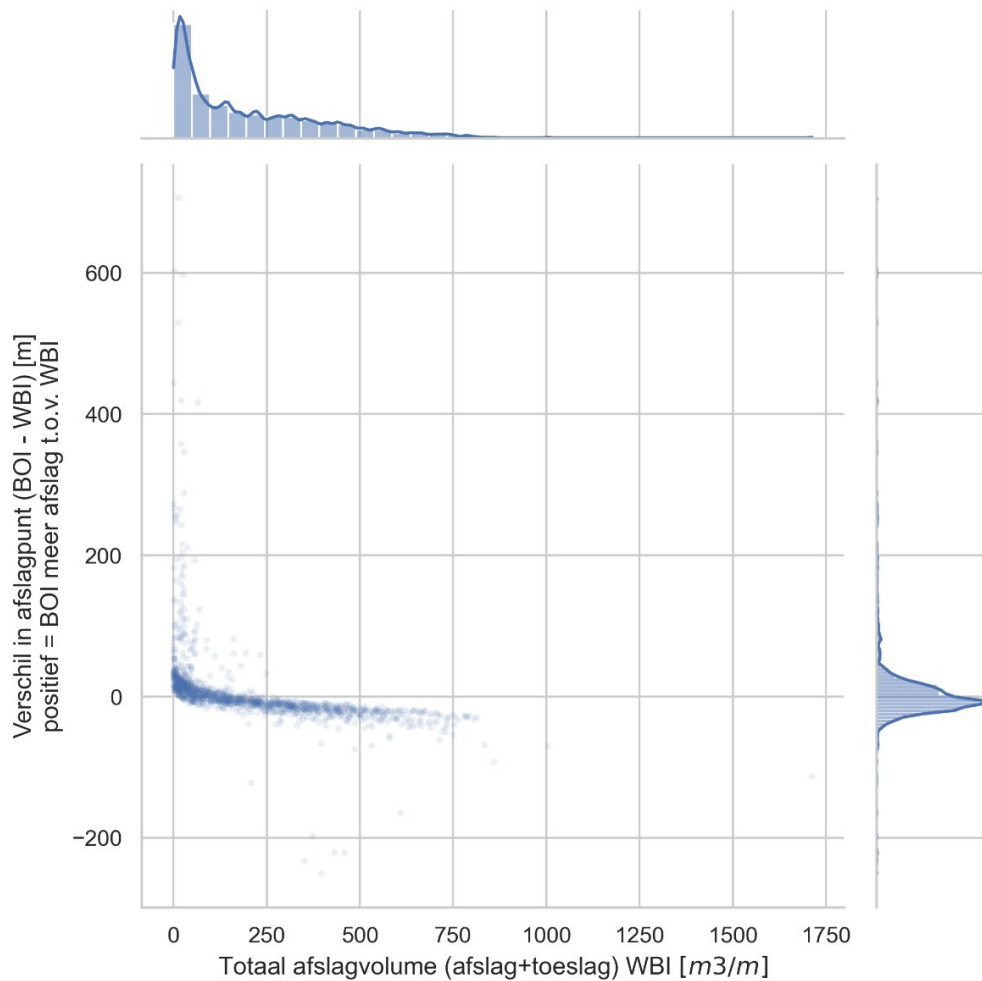
Kwantiel	min	0,01	0,1	0,15	0,25	0,5	0,75	0,85	0,9	0,99	max
Afslagpunt BOI-WBI [m]	-250	-61	-23	-20	-15	-4	13	22	31	253	706

Afhankelijkheid van erosievolume

De mate van verschil tussen het afslagpunt berekend met het WBI2017 en BOI is afgezet tegen het totale erosievolume zoals berekend met het WBI2017 in Figuur 3-17. Het patroon lijkt sterk op dat van de detailanalyse.

Er is duidelijk te zien dat voor alle berekeningen met de grotere afslagvolumes (>250 m³/m), er minder afslag optreedt met het BOI ten opzichte van het WBI2017. Voor de lagere afslagvolumes (< 30 m³/m), tonen de BOI-resultaten vrijwel altijd meer afslag.

Deze constatering is in lijn met de verwachtingen en eerdere bevindingen.



Figuur 3-17 Verschil in afslagpunt uitgezet tegen het WBI2017-afslagvolume in de bulkanalyse. Boven en links van de scatterplot zijn histogrammen weergegeven met met een vloeiende blauwe lijn erdoorheen (een kernel density estimator).

Vershil in robuustheid/toepasbaarheid

Het aantal berekeningen dat succesvol is voltooid, is nagenoeg gelijk voor beide instrumentaria, zie Tabel 3-8. In veruit de meeste gevallen is zowel voor het BOI als het WBI2017 een afslagpunt berekend binnen het modeldomein. Er is met het BOI iets vaker een succesvolle berekening uitgevoerd.

Tabel 3-8 Overzicht van aantal berekeningen met wel of niet valide afslagpunt binnen het modeldomein voor Duros+ (WBI2017) en XBeach (BOI) samen in de 1534 berekeningen in de bulkanalyse.

		XBeach (BOI)		
		Geslaagd	Niet geslaagd	Totaal
Duros+ (WBI2017)	Geslaagd	1428	37	1465
	Niet geslaagd	54	15	69
	Totaal	1482	52	1534

3.5.3 Resultaten kruinniveau grensprofiel

Een andere verandering tussen het BOI en het WBI2017 betreft de definitie van het kruinniveau van het grensprofiel, zoals beschreven in §2.6. Figuur 3-18 toont de kruinhoogte (ten opzichte van NAP) van het grensprofiel voor alle JarKus-raaien langs de Nederlandse kust uit de bulkanalyse. Hierbij is gekeken naar het kruinniveau volgens de basisgeometrie van het grensprofiel. In deze specifieke analyse is *niet* gekeken naar de kruinhoogte van het grensprofiel als deze volumetrisch ingepast wordt conform het WBI2017 of met een alternatieve geometrie (andere breedte-hoogte-verhouding) conform het BOI.

Binnen het WBI2017 is het niveau van het grensprofiel berekend op basis van *offshore* hydraulische belasting. Deze offshore belastingen verlopen over een kustvak slechts gradueel, waardoor er ook weinig verschillen zichtbaar zijn in het benodigde kruinniveau binnen een kustvak.

Binnen het BOI is het niveau van het grensprofiel berekend op basis van *lokale* hydraulische belasting. Ondanks de relatief vergelijkbare offshore hydrodynamische condities, kunnen deze lokale waarden sterk verschillen afhankelijk van de profielvorm. Daarnaast is binnen het BOI het kruinniveau van het grensprofiel bepaald boven het maatgevend oplooppniveau van de lange golven. In het WBI2017 was deze gerelateerd aan zowel het grensprofiel als de formule waarmee de hoogte werd bepaald op basis van de golfcondities op diep water.

Als gevolg hiervan zijn er relatief grote verschillen in het kruinniveau volgens de grensprofieldefinitie in het BOI.

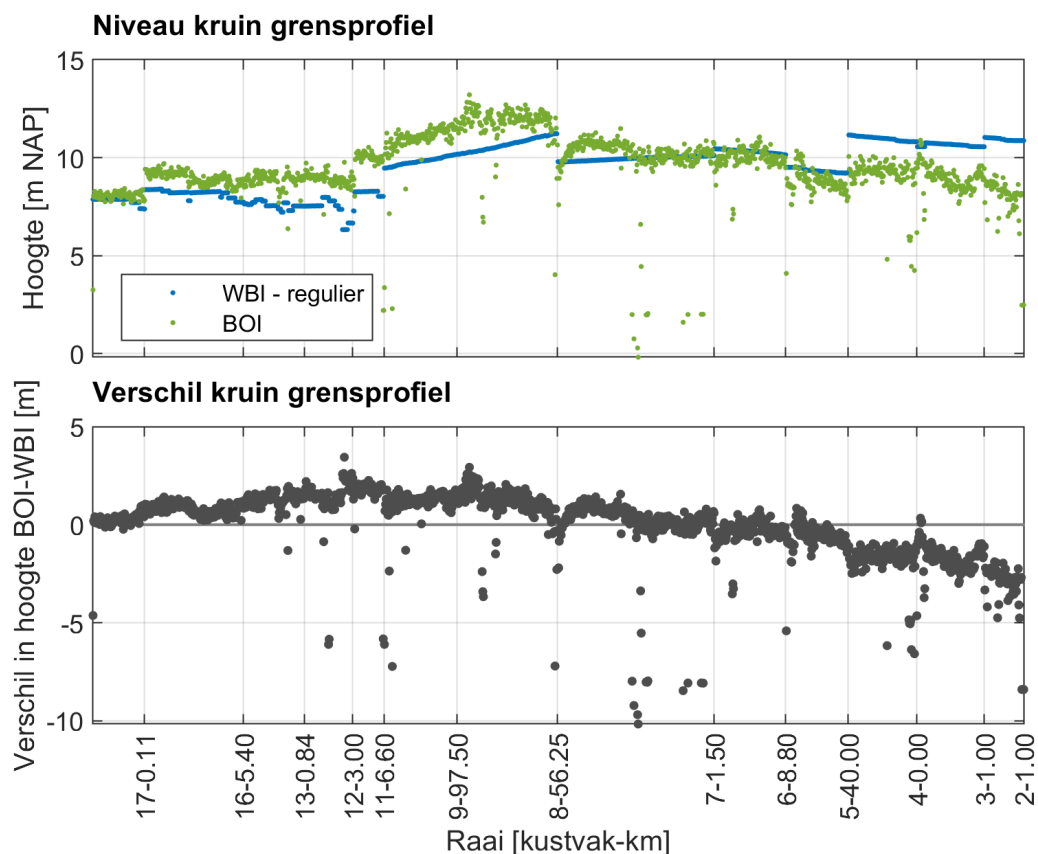
Deze verschillen zijn in Figuur 3-18 weergegeven. Hierbij geeft de bovenste afbeelding het verloop in het (standaard) kruinniveau voor zowel het WBI2017 als het BOI. De onderste afbeelding geeft de resulterende verschillen welke grofweg variëren tussen 2 m lager en 2 m hoger.

Met name voor Schiermonnikoog, Ameland en Terschelling (kustvakken 2, 3 en 4) resulteren de verschillen in de grensprofieldefinitie in een flinke verlaging (rond 2 m) van het benodigde kruinniveau van het grensprofiel door toepassing van het BOI.

Voor het eerder in Figuur 3-2 gepresenteerde voorbeeld (JarKus-raai 17.00 op Terschelling_ vroeg de WBI2017-uitwerking om een kruinniveau van NAP+11,3 m (welke niet kon worden ingepast). Het kruinniveau van het grensprofiel met basisgeometrie conform het BOI was gelijk aan NAP+9,3 m en resulteert dus in een afname van het benodigde kruinniveau van 2 m.

Vlieland, Texel en de Noord-Hollandse kust (kustvakken 5, 6 en 7) kennen grofweg een gelijk kruinniveau voor het BOI en WBI2017, al zijn er incidentele verspringingen. De Zuid-Hollandse en Deltakust (kustvak 8 t/m 17) tonen vaker een verhoging van het kruinniveau van het grensprofiel in het BOI. Het relatief hogere niveau van het BOI-grensprofiel is mede het gevolg van de relatief zwaardere hydraulische belastingen en daardoor relatief hooggelegen maatgevende oplooppniveau van de lange golven, zoals bijvoorbeeld aanwezig is in het in Figuur B - 16 op pagina 110 gepresenteerde voorbeeld voor JarKus-raai 66.25 in Rijnland (kustvak 8).

Hierbij wordt opgemerkt dat de Deltakust in het WBI2017 met gereduceerde offshore hydraulische belasting rekent, waardoor het kruinniveau van het grensprofiel in feite niet op dezelfde offshore hydraulische belasting gebaseerd is als voor de rest van de kust en lager uitkomt. In het BOI wordt niet gewerkt met gereduceerde offshore hydraulische belasting, waardoor de grensprofiel kruinniveaus tussen de Wadden en de Deltakust meer overeenkomen.



Figuur 3-18 Variatie in het kruinniveau van het grensprofiel met basisgeometrie conform het WBI2017 en BOI langs de Nederlandse kust van de Deltakust (links) naar de Waddeneilanden (rechts) op basis van de bulkanalyse.

Een doorkijk naar het gebruik van de alternatieve geometrie (andere breedte-hoogte-verhouding) volgens het BOI is eenvoudig. De basisgeometrie van het grensprofiel begrensd de kruin standaard 1,5 m boven het maatgevend oplooptniveau van lange golven. Een alternatieve geometrie bedraagt ten minste 0,5 m boven dit oplooptniveau. Alle onderstaande resultaten van het BOI zouden voor het BOI dus potentieel met 1,0 m gereduceerd kunnen worden.

3.5.4 Resultaten verschil in positie landzijde grensprofiel

Om de positie van de landzijde van het grensprofiel te vergelijken tussen het WBI2017 en het BOI zijn vergelijkbare figuren opgesteld als voor het afslagpunt, zie Figuur 3-19 en in kaartvorm in Figuur 3-21.

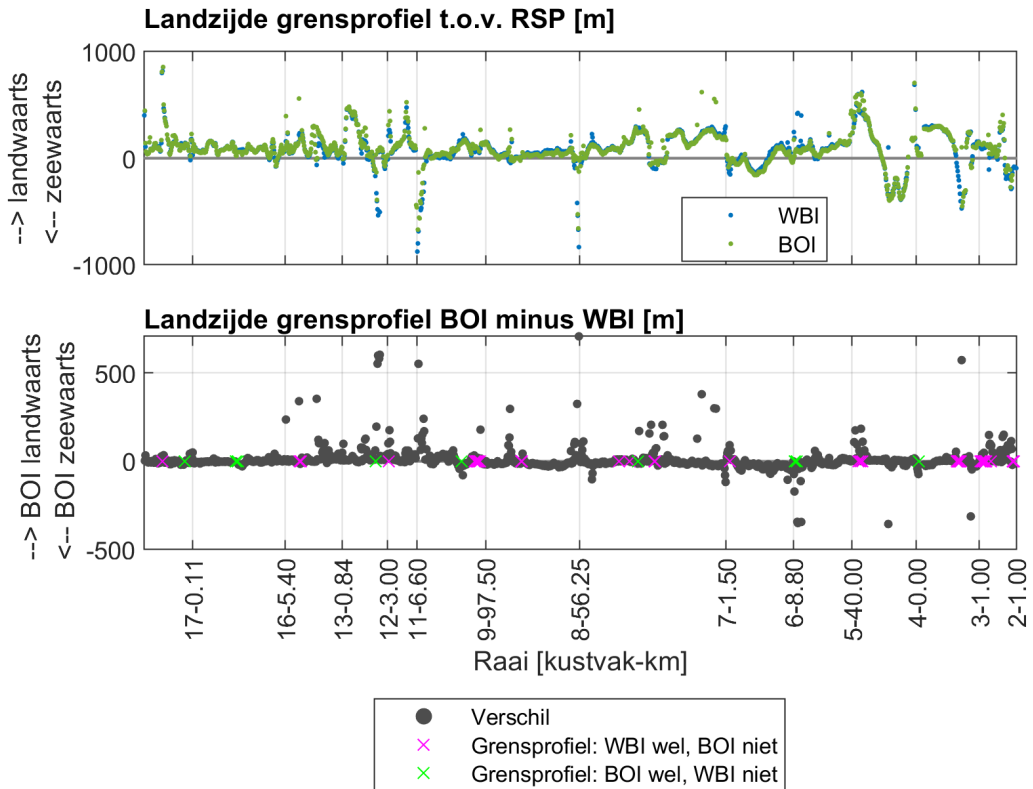
Het toepassen van het volumetrisch grensprofiel voor het WBI2017 en het grensprofiel met alternatieve geometrie voor het BOI is standaard meegenomen in de analyse van de ligging van het grensprofiel. Voor het BOI is dit alleen gedaan wanneer dit tot een meer zeewaarts gelegen resultaat leidt. Meestal is echter het inpassen van de basisgeometrie het meest gunstig: van de 1534 berekeningen is het grensprofiel in 1375 gevallen ingepast met de basisgeometrie. In 87 gevallen is het alternatief grensprofiel ingepast, waarvan 18 gevallen met de minimale hoogte van 0,5 m boven het maatgevend oplooppniveau van de lange golven. In 72 gevallen was het grensprofiel niet inpasbaar volgens het BOI.

De kwantielen in Tabel 3-9 laten zien dat de mediaan van de resultaten wederom nauwelijks verschilt tussen het WBI2017 en het BOI. Meestal beperkt het verschil tussen het BOI en het WBI2017 zich tot een (enkele) tiental(len) meters, net zoals bij het afslagpunt.

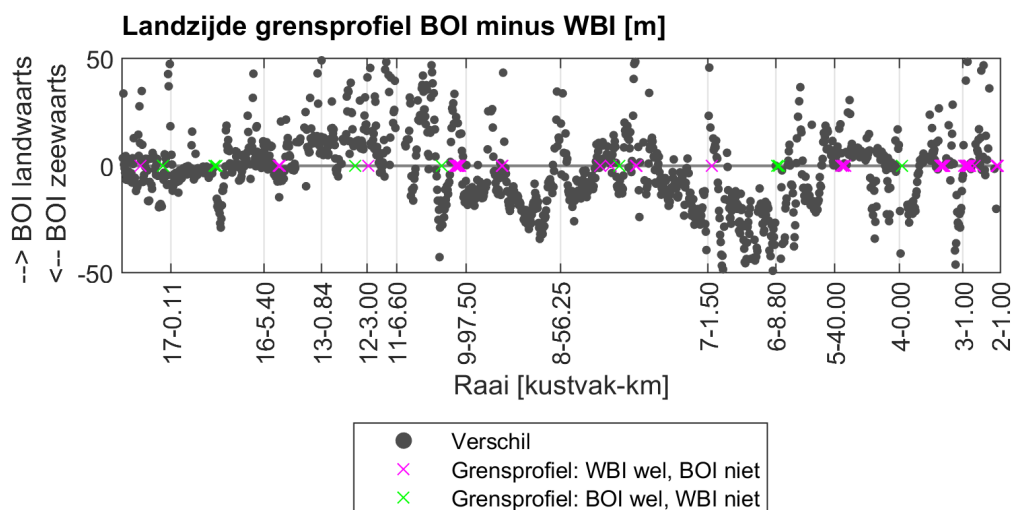
Over het algemeen is het verschil in de positie van landzijde grensprofiel dus vergelijkbaar met dat van het afslagpunt. Dit is logisch aangezien het grensprofiel wordt ingepast achter het afslagprofiel. Wel kunnen nog verschillen in de verschuiving ontstaan door verschillen in het kruinniveau van het grensprofiel. Als het kruinniveau van het BOI-grensprofiel relatief hoog ligt, kom het grensprofiel relatief verder landwaarts dan als het BOI-grensprofiel relatief laag ligt.

De profielvorm bepaalt vervolgens in welke mate deze algemene verschillen tussen het WBI2017 en het BOI resulteren in de specifieke verandering van de positie van de landzijde van het grensprofiel. Hierbij kunnen individuele resultaten behoorlijk afwijken van de verschillen in afslagpunt door het eventueel verspringen van het grensprofiel naar een andere duinregel.

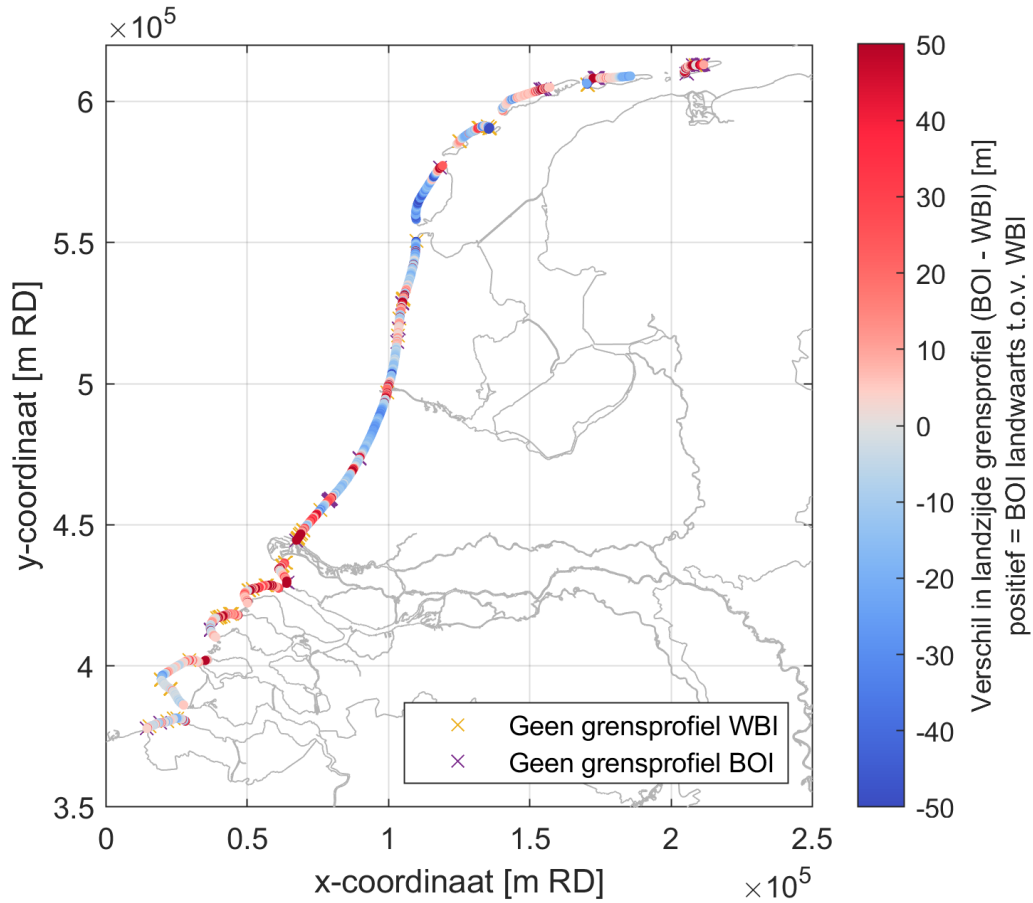
Op sommige plaatsen worden verschillen daardoor kleiner, bijvoorbeeld wanneer het grensprofiel in dezelfde duinregel ingepast is voor zowel het WBI2017 als het BOI, terwijl het afslagpunt voor het WBI2017 in andere duinregel ligt dan voor het BOI. Op andere plaatsen wordt het verschil groter, bijvoorbeeld wanneer het grensprofiel voor het BOI pas inpasbaar is in een landwaartse duinregel. Het komt zelfs 47 maal voor dat het grensprofiel niet meer inpasbaar is volgens BOI, terwijl dit wel kon volgens het WBI.



Figuur 3-19 Overzicht van het verschil in positie van de landzijde van het grensprofiel voor de WBI2017- en BOI-berekening voor alle 1534 raaien langs de Nederlandse kust voor voor eenzelfde jaar en overschrijdingskans.



Figuur 3-20 Overzicht van het verschil in landzijde van het grensprofiel voor de WBI2017- en BOI-berekening voor alle 1534 profielen langs de Nederlandse kust voor voor eenzelfde jaar en overschrijdingskans van het profiel met ingezoomde verticale as van de onderste figuur van Figuur 4-19.



Figuur 3-21 Overzicht van het verschil in landzijde van het grensprofiel tussen de WBI2017- en BOI-berekeningen uit Figuur 3-19 weergegeven op een kaart.

Tabel 3-9 Kwantielen van het verschil in afslagpunt en landzijde grensprofiel BOI – WBI2017 in de bulkanalyse (kwantielen dikgedrukt; positief is verder landwaarts gelegen positie).

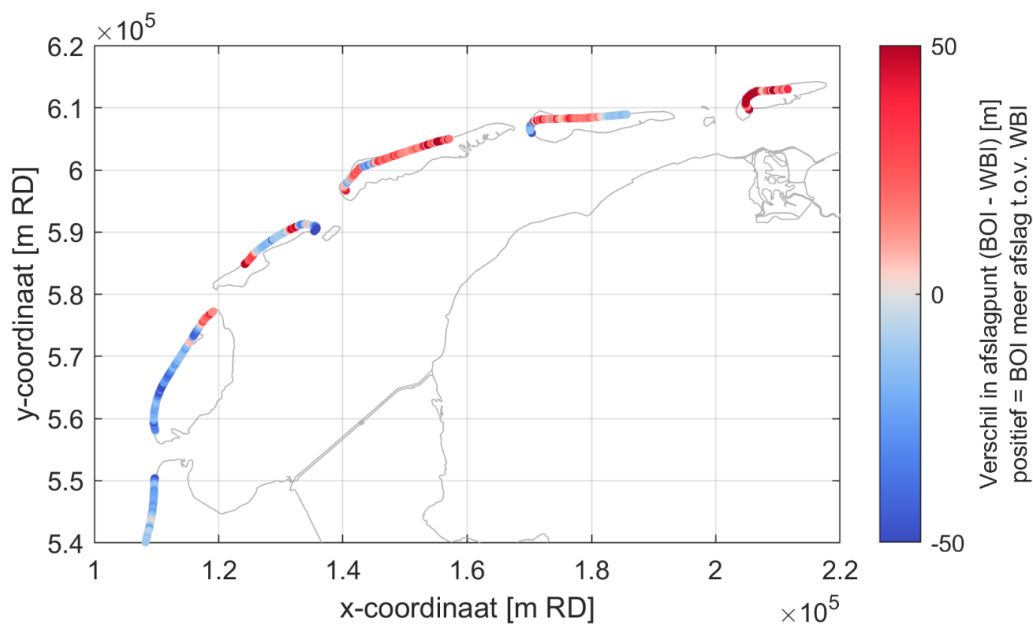
Kwantiel	0	0,01	0,1	0,15	0,25	0,5	0,75	0,85	0,9	0,99	1
Afslagpunt BOI-WBI [m]	-232	-99	-27	-22	-15	0	17	32	78	233	326
Landzijde grensprofiel BOI-WBI [m]	-355	-69	-23	-19	-13	-1	10	19	34	239	708

3.5.5 Resultaten per regio

Omdat de figuren van de Nederlandse kust als geheel geen heel goed beeld geven van de locatie-specifieke resultaten is in het volgende een korte beschrijving gegeven van de resultaten voor zowel het afslagpunt als het grensprofiel per kustregio.

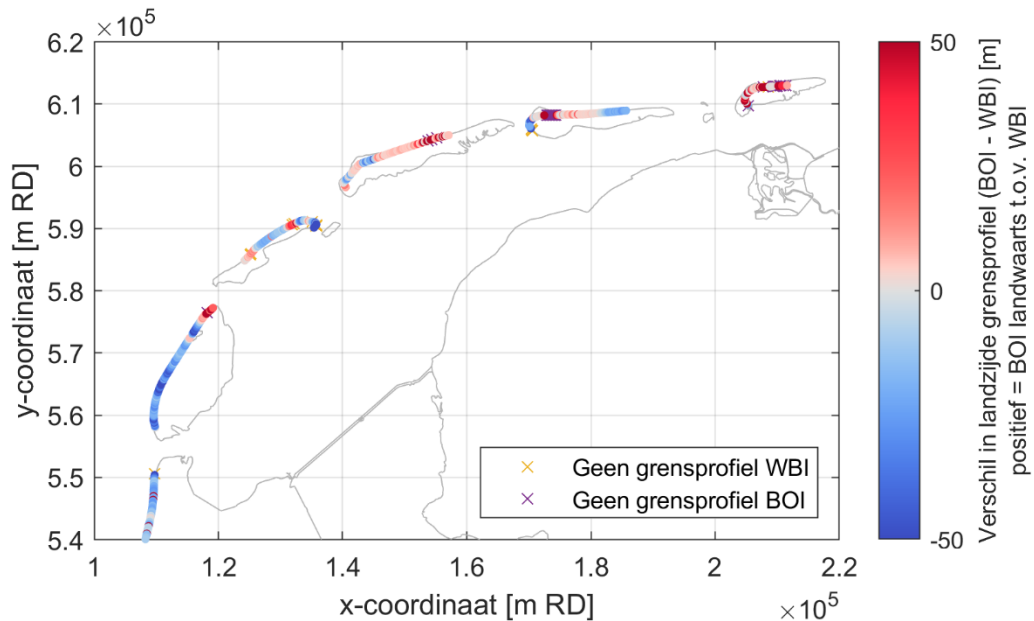
Waddenkust

Figuur 3-22 toont het resultaat voor het verschil in de positie van het afslagpunt voor de Waddeneilanden (kustvak 2 t/m 6 van oost naar west). Het beeld verschilt sterk per eiland. Er zijn veel resultaten die grote verschillen tonen, zowel in termen van meer als minder afslag. De oorzaak ligt onder andere in het feit dat de profielen op Waddeneilanden vaak zijn gekenmerkt door meerdere duinrijen. Wanneer een duinregel wel (of niet) doorbreekt met het BOI en dit niet deed (of wel) met het WBI2017, kan het afslagpunt sterk landwaarts (of zeewaarts) verspringen.



Figuur 3-22 Overzicht van het verschil in de positie van het afslagpunt tussen de WBI2017- en BOI-berekeningen, ingezoomd op de Waddeneilanden.

Voor het de positie van de landzijde van het (eventueel alternatieve) grensprofiel geldt een vergelijkbaar beeld, zie Figuur 3-23. Er zijn logischerwijs ook veel resultaten die flinke verschillen tonen in de locatie van het grensprofiel. Op enkele plaatsen is de achteruitgang van het grensprofiel minder uitgesproken dan de achteruitgang van het afslagpunt, dit komt wederom door de verspringing van duinregel. In een dergelijk geval zit het grensprofiel in dezelfde duinregel voor het WBI2017 en het BOI.



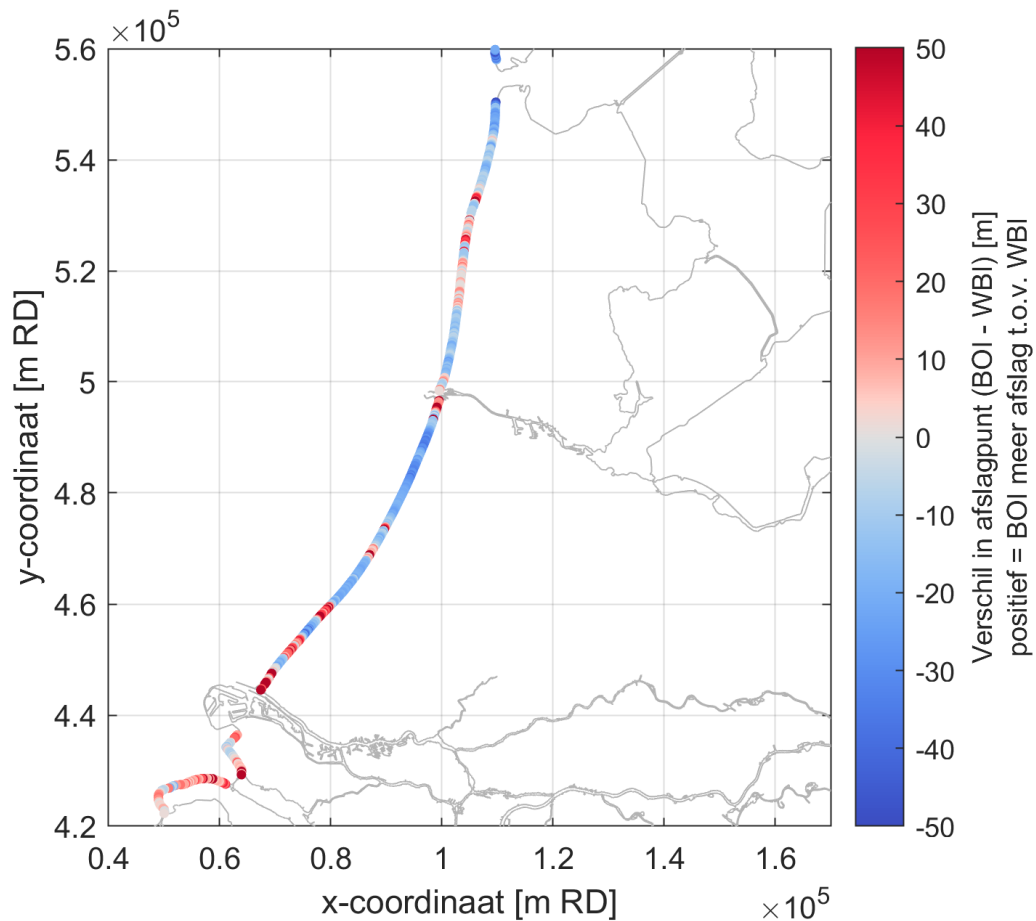
Figuur 3-23 Overzicht van het verschil in landzijde grensprofiel tussen de WBI2017- en BOI-berekeningen, ingezoomd op de Waddeneilanden.

Over het algemeen is er op Texel en Vlieland meestal minder afslag met de BOI-methodiek ten opzichte van de WBI2017-methodiek. Terschelling, Ameland en Schiermonnikoog tonen voornamelijk resultaten met meer afslag met het BOI. In een aantal gevallen is zelfs het grensprofiel niet meer inpasbaar met het BOI. Dit beeld is in lijn met de detailanalyse waar de beschikbare raaien van de Waddeneilanden dezelfde trends vertonen ook voor verschillende terugkeertijden en jaren.

Hollandse Kust

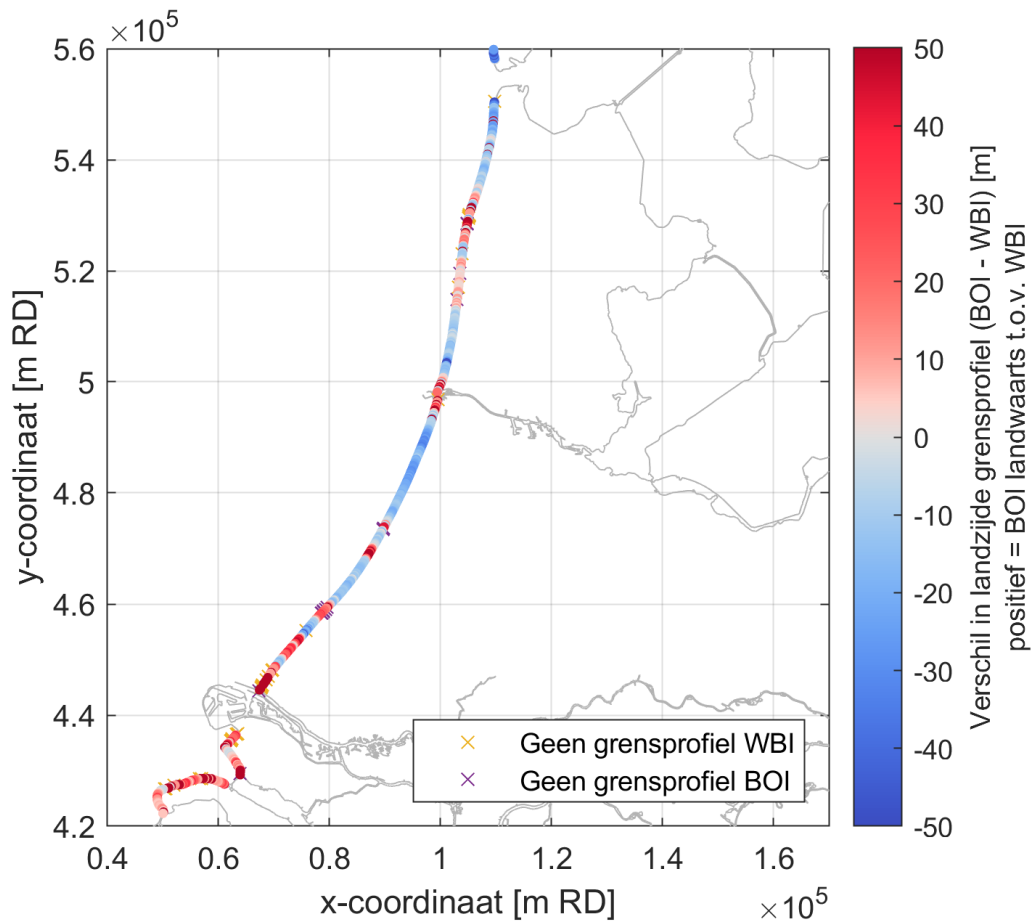
Langs de Hollandse Kust (kustvak 7 t/m 9) is voornamelijk een meer zeewaarts gelegen positie van het afslagpunt berekend met het BOI, zie Figuur 3-24.

De positie van de landwaartse grens van het grensprofiel toont een zeer vergelijkbaar beeld. Op de plekken waar minder afslag is berekend verschuift het grensprofiel ook zeewaarts. De zeewaartse verschuiving van landzijde grensprofiel is vaak enkele meters minder dan de verschuiving van het afslagpunt aangezien het benodigde kruinniveau van grensprofiel hoger ligt (groter grensprofiel).



Figuur 3-24 Overzicht van het verschil in de positie van het afslagpunt tussen de WBI2017- en BOI-berekeningen (Figuur 3-15), ingezoomd op de Hollandse Kust.

Er zijn er echter ook verscheidene punten die meer afslag laten zien. Dit betreft met name de locaties waar meerdere duinenrijen aanwezig zijn, waar een lager duinniveau aanwezig is en/of waar een boulevard is gesitueerd. Dit zijn ook typisch locaties waar het vaker mogelijk is om tot een rekenresultaat te komen met het BOI waar de DUROS+ methode uit het WBI2017 ontoereikend was.

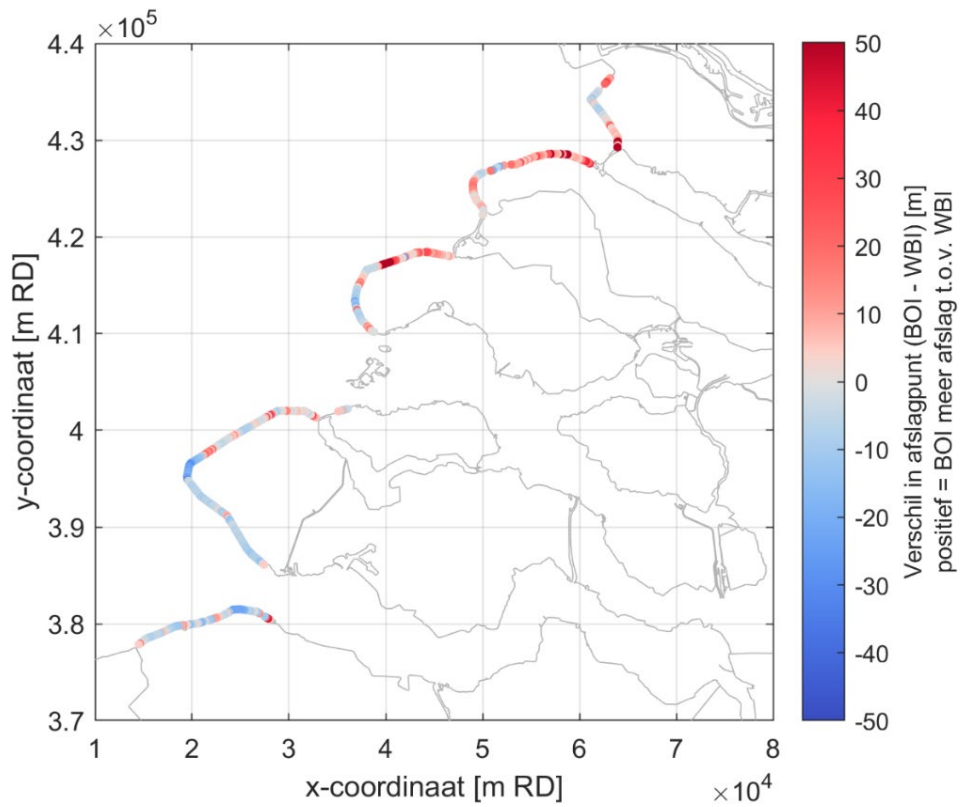


Figuur 3-25 Overzicht van het verschil in de landzijde grensprofiel tussen de WBI2017- en BOI-berekeningen, ingezoomd op de Hollandse Kust.

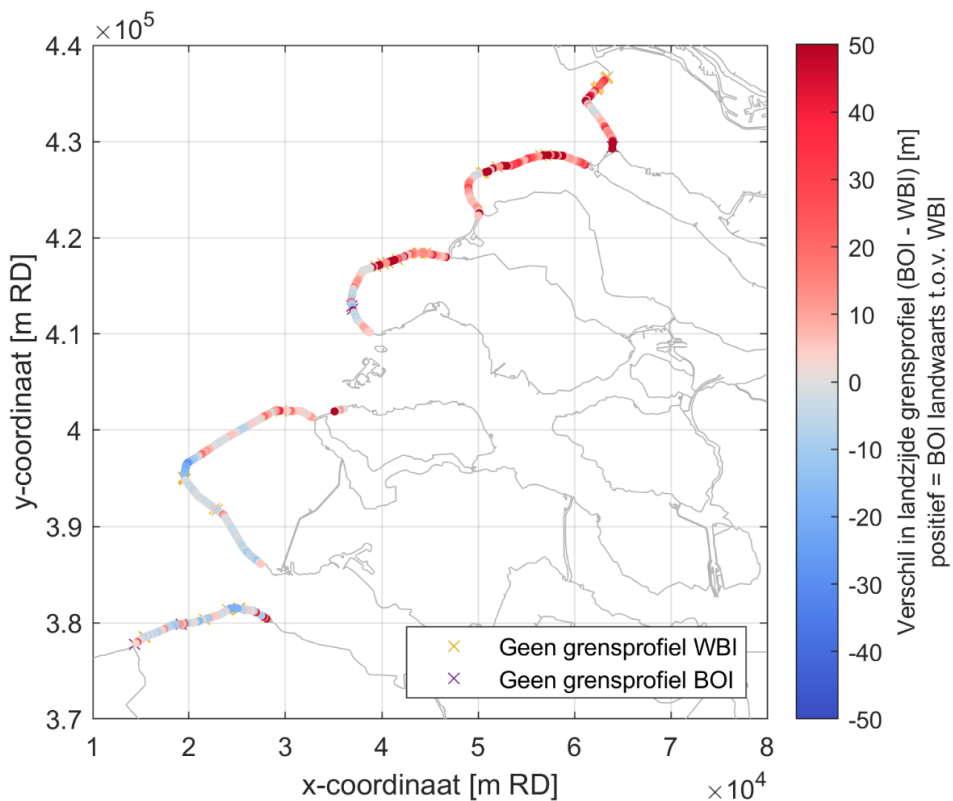
Deltakust

Langs de Deltakust, kustvak 11-13 en 15-17, tonen de resultaten een wisselend beeld van meer of minder afslag met het BOI, zie Figuur 3-26. Daarmee is het lastig om algemene conclusies te trekken. Voor het grensprofiel, zie Figuur 3-27, geldt hetzelfde. In algemeenheid is de afstand tussen afslagpunt en landzijde van het grensprofiel in het BOI enkele meters groter ten opzichte het WBI2017. Dit komt door het hogere benodigde kruinniveau van het grensprofiel (groter grensprofiel).

Er zijn langs dit gebied veel complexe duinprofielen, bijvoorbeeld met meerdere duinenrijen of nabijge geulen. Het WBI2017 is hier niet altijd in staat om tot een rekenresultaat te komen. Met het BOI zijn voor deze profielen vaker wel valide resultaten te genereren.



Figuur 3-27 Overzicht van het verschil in de positie van het afslagpunt tussen de WBI2017- en BOI-berekeningen (Figuur 3-15), ingezoomd op de Deltakust.



Figuur 3-26 Overzicht van het verschil in landzijde grensprofiel tussen de WBI2017- en BOI-berekeningen, ingezoomd op de Deltakust.

4 Interpretatie beleidsmatige consequenties overstap naar BOI

4.1 Inleiding

De in het vorige hoofdstuk beschreven resultaten geven, op verschillende beschouwende niveaus, inzicht in de verschillen tussen de resultaten van de beide rekenmodellen voor duinafslag (Duros+ conform het WBI2017 en XBeach conform het BOI) en het grensprofiel. Voor deze directe vergelijking is daartoe gebruik gemaakt van het resultaat van het oude en het nieuwe semi-probabilistische model voor onderling overeenkomstige overschrijdingskansen van de positie van het afslagpunt op raainiveau.

Dit hoofdstuk richt zich op de beleidsmatige consequenties van de rekenkundig bepaalde verschillen. De achterliggende vraag hierbij is of de resultaten van rekenkundige vergelijkingen aanleiding geven om te veronderstellen dat bepaalde kustgebieden méér of minder aandacht behoeven in relatie tot waterveiligheidsvraagstukken of beheer en onderhoud. De vraag daarbij is ook of er sprake is of lijkt van een grotere of kleinere waterveiligheidsopgave op basis van XBeach in het BOI dan op basis van Duros+ in het WBI2017.

Voor de duiding van de beleidsmatige consequenties van de overstap van het WBI2017 naar het BOI moeten niet alleen de effecten van de wijzigingen in de sterktemodellen (overstap Duros+ naar XBeach, gewijzigd semi-probabilistisch model en wijzigingen in het grensprofiel) worden beschouwd zoals besproken in het vorige hoofdstuk. Ook de verschillen in de volledige methodiek zoals wijzigingen in het lengte-effect en de faalkansbegroting moeten worden bekeken, zoals toegelicht in §2.2. In Tabel 4-1 is samengevat welke wijzigingen in deze vergelijking meegenomen worden.

Belangrijk uitgangspunt voor de nieuwe uitwerkingen is dus dat hierbij de uitkomsten niet op raainiveau, maar op trajectniveau moeten worden beschouwd. In dit hoofdstuk worden daarom resultaten gepresenteerd voor berekeningen waarbij de **kans op trajectniveau gelijk** is gesteld voor het WBI2017 en het BOI. De wijze waarop hier invulling aan is gegeven is toegelicht in de volgende paragraaf (§4.2).

Aansluitend is in §4.3 aan de hand van een aantal voorbeelden en figuren het effect van de overstap toegelicht waarna in §4.4 een verkennende duiding van de (beleidsmatige) consequenties per kustvak is beschreven.

Tabel 4-1 Overzicht van de wijzigingen in het instrumentarium zoals beschreven in Hoofdstuk 2 waarvan de consequenties beschouwd worden in Hoofdstuk 4.

Type wijziging	Effect opgenomen in analyse H4?
Wijziging duinafslagmodel (zie §2.4) (Duros+ vs. XBeach)	Ja
Wijziging semi-probabilistische rekenwaarden (zie §2.5)	Ja
Aanpassingen grensprofiel (zie §2.6)	Ja
Wijziging beoordelingsmethodiek (zie §2.2) (lengte-effect, faalkansbegroting)	Ja

4.2 Pragmatische uitwerking vergelijkbare kans op trajectniveau

4.2.1 *Inleiding*

In het licht van het nieuwe instrumentarium zou eigenlijk het effect van de overstap op het nieuwe instrumentarium op de overstromingskans van een duintraject in kaart moeten worden gebracht. Zoals in meer detail beschreven in de 'Handleiding Overstromingskansanalyse Faalpad Duinafslag' vereist dit echter een iteratieve uitwerking (Arcadis en Deltares, 2023b) waarin het profiel van meerdere jaren mee wordt genomen. Ook zijn daarbij eventuele locatie-specifieke aanvullende analyses nodig voor gebieden met bijvoorbeeld sterke kustlijnkromming of waar geen doorlopend grensprofiel aanwezig is. Een dergelijke gedetailleerde uitwerking past niet in de scope van de voorliggende verkennende studie.

Er is daarom voor gekozen om niet het effect op de overstromingskans per traject te kwantificeren, maar de uitwerkingen te richten op het effect van de overstap op de positie van het afslagpunt dan wel de positie van (de landzijde) van het grensprofiel voor één jaar en één kans. Een dergelijke uitwerking is immers wel haalbaar en bovendien richtinggevend aan het eigenlijk gezochte effect op de overstromingskans. Een vergelijkbaar resultaat voor de positie van het afslagpunt en zeker voor een overeenkomstige positie van de landzijde van het grensprofiel leidt immers ook tot een vergelijkbare faal- en overstromingskans. In het geval dat de overstap leidt tot een verder landwaarts gelegen positie van de het afslagpunt dan wel grensprofiel is er sprake van een toename van de kans op falen van de waterkering. Anderzijds resulteert een zeewaartse verplaatsing in een afname van de kans op falen.

Als uitgangspunt is gekozen voor het uitvoeren van berekeningen voor de WBI2017 signaleringskansen, welke ook als basis zijn gebruikt in de berekeningen die gemaakt zijn voor de rekenkundige vergelijking zoals voor de Nederlandse kust gepresenteerd in §3.5. In dit geval is de kans echter gelijkgesteld op trajectniveau, en zijn deze kansen rekening houdend met lengte-effecten en de WBI-faalkansbegroting omgerekend naar de door te rekenen overschrijdingskansen van het afslagpunt op raai-niveau voor het WBI2017 en het BOI. De signaleringswaarden zijn reeds opgenomen in Tabel 3-2 op pagina 28 en variëren, afhankelijk van het beschouwde kustvak, van 1/300 tot 1/30.000 per jaar.

Voor de situatie dat bijvoorbeeld een overschrijdingskans van 1/3.000 per jaar wordt beschouwd op trajectniveau moeten dus de voor de berekeningen te hanteren overschrijdingskansen van het afslagpunt op raainiveau voor zowel het WBI2017- als het BOI-spoor worden bepaald.

4.2.2 *WBI2017-uitwerking*

Met het WBI2017 kan de reguliere WBI2017-omrekening worden gevolgd om de kans op trajectniveau om te zetten naar de kans op raainiveau, waarbij rekening wordt gehouden met zowel de reguliere faalkansbijdrage van het faalpad duinafslag ($\omega = 70\%$) als het in rekening te brengen lengte-effect ($N = 2$). De kans op raainiveau volgt dan uit vermenigvuldiging van de kans op trajectniveau met een factor ω / N . Hierbij wordt geen rekening gehouden met de aanwezigheid van eventuele andere typen keringen (zoals hybride keringen) in het traject waardoor een andere faalkansbegroting wordt aangehouden voor duinen (veelal $\omega = 10\%$).

Voor bijvoorbeeld een kans op trajectniveau van 1/3.000 per jaar leidt dit dan tot een kans op raainiveau van $1/3.000 \times (0,70 / 2) = 1/8.571$ per jaar (zie Tabel 4-2).

4.2.3 **BOI-uitwerking**

Zoals toegelicht in §2.2.2 wordt met het BOI de trajecteis niet meer omgerekend naar een doorsnede-eis. Een koppeling tussen kansen op trajectniveau en raainiveau is met het BOI in feite alleen mogelijk onder de aanname dat het hele traject uit een duinwaterkering bestaat en bovendien duinafslag het relevante faalmechanisme en dominante faalpad is. Daarnaast wordt geen rekening gehouden met onbekende faalmechanismen die bijdragen aan de faalkans op trajectniveau, terwijl daar in het WBI2017 middels de faalkansbegroting wel rekening mee is gehouden. Onder deze aannames kan toch een overschrijdingskans op raainiveau bepaald worden die past bij dezelfde trajectkans als voor het WBI, zodat een vergelijking tussen het WBI2017 en BOI met gelijke kansen op trajectniveau mogelijk is. Hierbij hoeft alleen het lengte-effect (in dit geval $N = 1,2$) in rekening te worden gebracht. De kans op raainiveau volgt dan uit vermenigvuldiging van de kans op trajectniveau met een factor $1 / N$. Voor bijvoorbeeld een eis op trajectniveau van 1/3.000 per jaar leidt dit dan tot een eis op raainiveau van $1/3.000 \times (1 / 1,2) = 1/3.600$ per jaar (zie Tabel 4-2).

4.2.4 **Overzicht en verschillen**

Een overzicht van alle beschouwde kansen is als functie van gehanteerde trajecteis samengebracht in Tabel 4-2.

Tabel 4-2 *Overzicht van de voor de beleidsmatige uitwerking gehanteerde kans op trajectniveau [per jaar] en de bijbehorende overschrijdingskansen op raainiveau [per jaar] voor respectievelijk het WBI2017 en BOI.*

Gehanteerde kans op trajectniveau	Overschrijdingskans op raainiveau voor WBI2017	Overschrijdingskans op raainiveau voor BOI
1/300	1/857	1/360
1/1.000	1/2.857	1/1.200
1/3.000	1/8.571	1/3.600
1/10.000	1/28.571	1/12.000
1/30.000	1/85.714	1/36.000

Vergelijking van de kansen op raainiveau laat zien dat, uitgaande van een gelijke trajectkans (bijvoorbeeld 1/3.000 per jaar), de afgeleide kans op raainiveau voor het BOI (1/3.600 per jaar) *minder zwaar* is dan die voor het WB2017 (1/8.571 per jaar). Meer specifiek gaat het hierbij om een verschil in de te beschouwen overschrijdingskans ter grootte van een factor 2,37. Met andere woorden, in het WBI2017 wordt een factor 2,37 strengere faalkanseis gehanteerd.

Deze eis was voor gecombineerde trajecten met duinen en harde keringen nog strenger omdat daarbij een faalkansbijdrage van 70 % maar van 10 % moest worden beschouwd. Het vervallen van deze faalkansbijdrage impliceert overigens ook dat er in de uitwerkingen voor het BOI geen rekening meer wordt gehouden met de effecten van onbekende faalpaden.

Feitelijk betekent dit dat er voor de WBI2017-BOI-vergelijking op trajectniveau dus net een andere vergelijking op raainiveau moet worden beschouwd. Hierbij zijn de resultaten voor de BOI-methodiek dus net gunstiger dan eerder in de directe rekenkundige vergelijking in Hoofdstuk 3 zijn beschreven. Dit komt ook tot uitdrukking in de in de volgende paragraaf gepresenteerde voorbeelden.

4.3 **Verkenning effect overstap naar BOI**

4.3.1 **Uitwerking voor voorbeeldlocatie**

Als illustratie van de gevolgde uitwerking is de situatie ter plaatse van Jarkus-raai 66.25 in Rijnland (kustvak 8) beschouwd. Hierbij kan een vergelijking worden

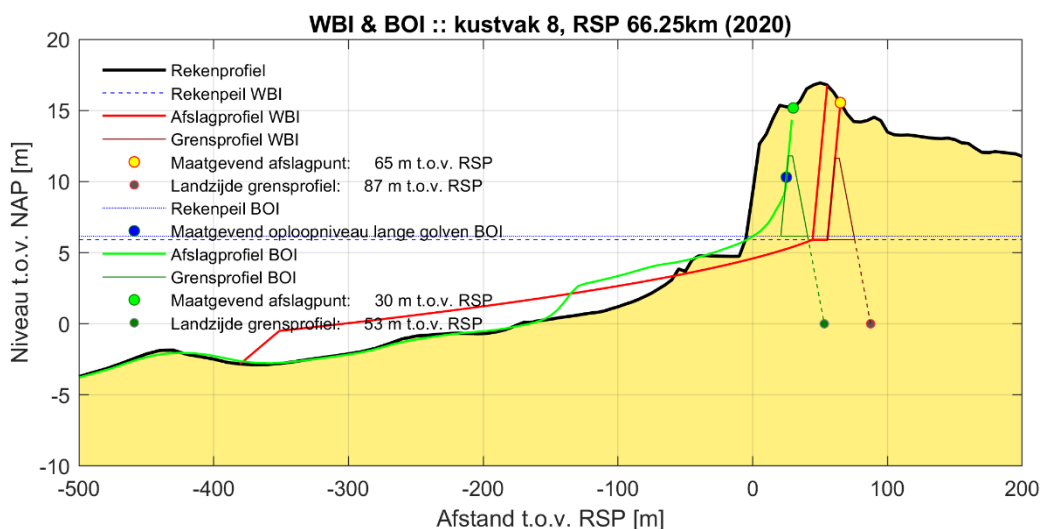
gemaakt met het resultaat van de basisberekening zoals deze is besproken in §3.3 en waarvan het resultaat is voor een overschrijdingskans van 1/30.000 per jaar op raainiveau is opgenomen als Figuur B - 16 op pagina 110 van Bijlage B.

In de vergelijking op raainiveau (Hoofdstuk 3) liggen de afslagpunten voor de berekeningen met het WBI2017 en BOI op respectievelijk 52 en 29 m ten opzichte van de RSP-lijn. Deze waarden hebben allebei betrekking op een positie met een overschrijdingskans van 1/30.000 per jaar. De overstap naar BOI leidt dus tot een reductie in de afslagmaat van 23 m. Beschouwing van de positie van het grensprofiel leidt tot een beperktere afname van 19 m.

Als gelijke kansen op trajectniveau als uitgangspunt wordt gebruikt in plaats van gelijke overschrijdingskans op raainiveau, moeten beperkt zwaardere overschrijdingskansen worden beschouwd (zie Tabel 4-2). Het resultaat van deze nieuwe berekening is weergegeven in Figuur 4-1. De afslagpositie voor zowel het WBI2017 als het BOI schuift iets in landwaartse richting op.

Voor WBI2017 resulteert dit in een positie op (13 m verder) op 65 m landwaarts van de RSP-lijn behorende bij een overschrijdingsfrequentie van 1/85.714 per jaar. Voor het BOI is dit slechts een beperkte verschuiving met 1 m naar 30 m landwaarts van de RSP-lijn (1/36.000 per jaar). Bij een beschouwing op trajectniveau leidt de overstap naar BOI dus tot een reductie in de afslagmaat van 35 m. Ten opzichte van de beschouwing op raainiveau (met een verschuiving van 23 m) is de landwaartse verplaatsing dus nog iets gunstiger.

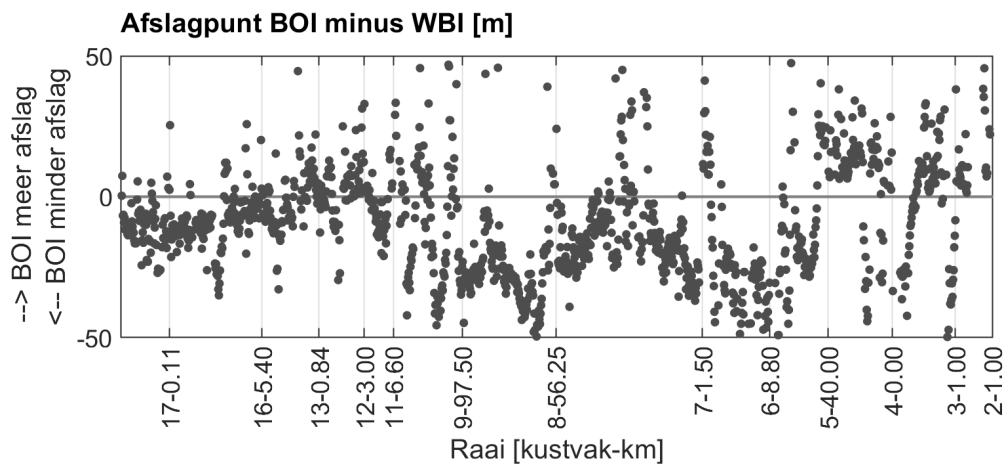
Een beschouwing van de effecten op de positie van de landzijde van het grensprofiel leidt tot vergelijkbare resultaten. Voor deze locatie resulteert de overstap naar het BOI tot een zeewaartse verplaatsing van de positie van de landzijde van het grensprofiel over 34 m in plaats van 19 m (zie Figuur 4-1).



Figuur 4-1 Resultaat van WBI2017- en BOI berekening voor JarKus-raai 66.25 in Rijnland (kustvak 8) voor een kans van 1/30.000 per jaar op trajectniveau en de in Tabel 4-2 gegeven overschrijdingskansen op raainiveau.

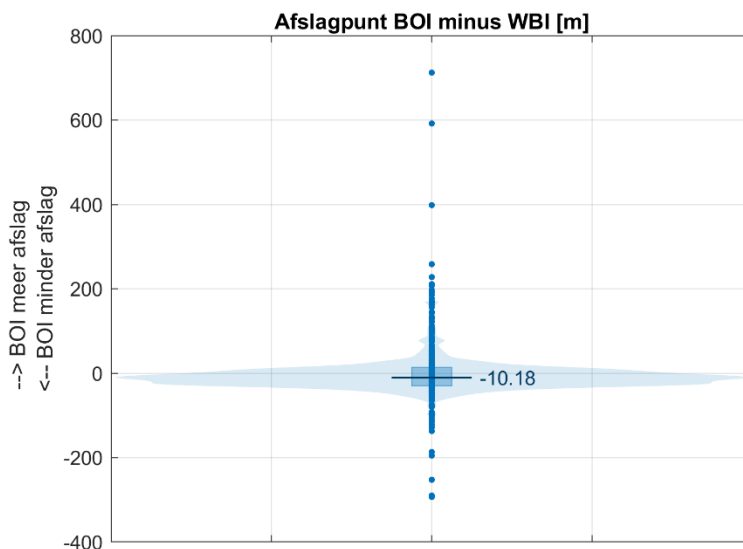
4.3.2 Nederlandse kust op hoofdlijnen

In aanvulling op het effect op het afslagpunt voor de hierboven beschreven specifieke situatie is hieronder dit effect beschouwd voor de gehele Nederlandse kust. Het gedetailleerde resultaat voor de uitwerking op *raai*niveau is te zien in Figuur 3-14 op pagina 47. Een vergelijkbaar resultaat voor de uitwerking op *traject*niveau is gegeven in Figuur 4-2.



Figuur 4-2 Overzicht van het (verschil in) afslagpunt voor de WBI2017- en BOI-berekening voor alle 1534 profielen langs de Nederlandse kust voor een vergelijkbare faalkans op trajectniveau van het profiel met een ingezoomde verticale as.

Vergelijking van beide figuren laat zien dat er gemiddeld genomen sprake is van een grotere reductie van de afslagmaat. Het BOI-afslagpunt ligt ten opzichte van het WBI2017-afslagpunt nog verder zeewaarts.

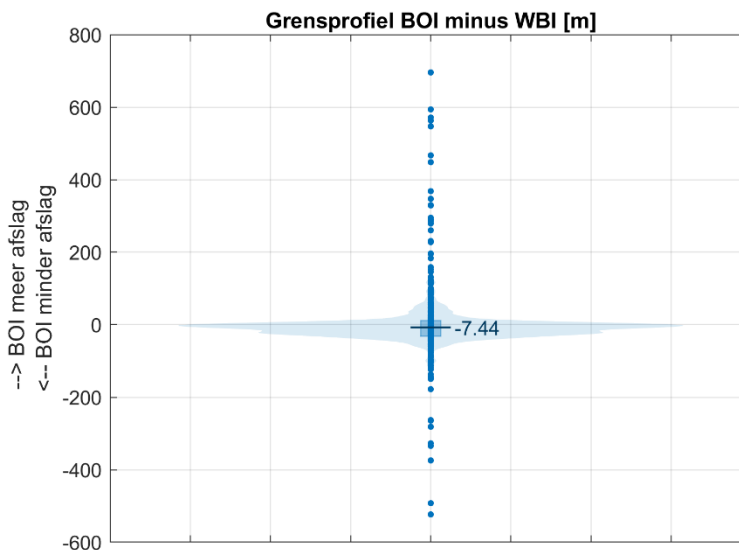


Figuur 4-3 Violin-plot van de beschikbare berekende verschillen in afslagpunt tussen BOI en WBI2017 voor een gelijke overschrijdingskans op trajectniveau. De verticale as geeft de mate van verschil in afslagpunt weer, op de x-as toont de kansdichtheid hiervan. De mediaan is weergegeven met een horizontaal streepje. Het donkerblauwe blokje toont het 15% - 85% interval.

Dit laatste komt ook tot uitdrukking in de Violin-plot in Figuur 4-3. De mediaan van de resultaten ligt voor deze situatie rond -10 m. Ten opzichte van de uitwerking op raainiveau (zie Figuur 3-16 op pagina 49) ligt het afslagpunt 6 m verder zeewaarts.

Gemiddeld genomen ligt het afslagpunt voor het nieuwe instrumentarium (BOI) dus 10 m verder zeewaarts dan voor het WBI2017 waarbij er in 50 % van de situaties sprake is van een verschuiving tussen de 25 m zeewaarts en 5 m landwaarts (zie Tabel 4-3 en Figuur 4-4).

Tot slot zijn de statistische eigenschappen van de verschillen in de ligging van de landzijde van het *grensprofiel* getoond in Figuur 4-4. De mediaan van de resultaten voor deze situatie bedraagt -7 m. Gemiddeld ligt de landzijde van het grensprofiel voor het nieuwe instrumentarium (BOI) dus iets verder zeewaarts dan voor het WBI2017, waarbij er in 50 % van de situaties sprake is van een verschuiving tussen de 24 m zeewaarts en 3 m landwaarts (zie Tabel 4-3 en Figuur 4-4).



Figuur 4-4 Violin-plot van de beschikbare berekende verschillen in landzijde van het grensprofiel tussen BOI en WBI2017. De verticale as geeft de mate van verschil in afslagpunt weer, op de x-as toont de kansdichtheid hiervan. De mediaan is weergegeven met een horizontaal streepje. Het donkerblauwe blokje toont het 15% - 85% interval.

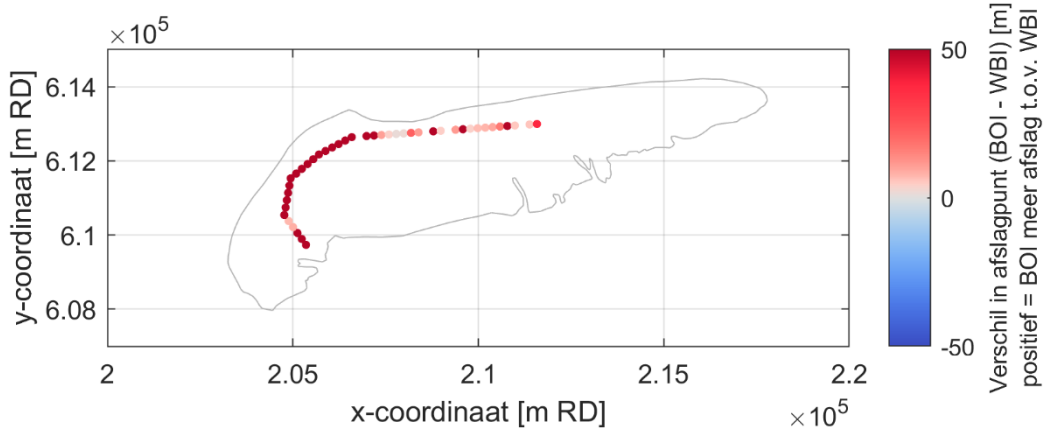
Tabel 4-3 Kwantielen van het verschil in afslagpunt en landzijde grensprofiel BOI – WBI2017 in de bulkanalyse (kwantielen dikgedrukt; positief is verder landwaarts gelegen positie).

Kwantiel	0	0,01	0,1	0,15	0,25	0,5	0,75	0,85	0,9	0,99	1
Afslagpunt											
BOI-WBI [m]	-293	-99	-35	-30	-25	-10	5	14	24	171	712
Landzijde											
grensprofiel											
BOI-WBI [m]	-523	-140	-38	-32	-24	-7	3	11	25	286	696

4.4 Verkennende duiding effect overstap per kustvak

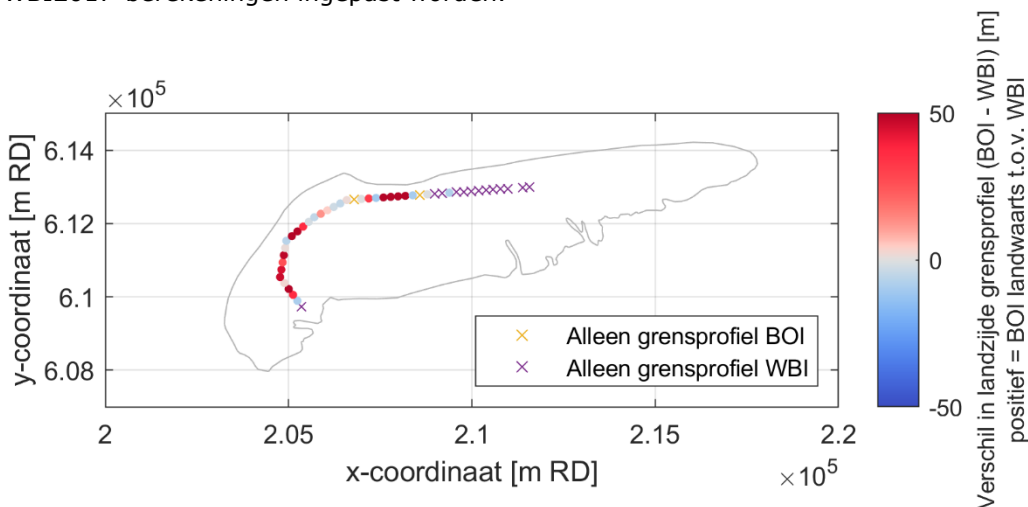
4.4.1 Schiermonnikoog (kustvak 2)

De overstap op het nieuwe instrumentarium leidt voor Schiermonnikoog tot extra afslag en een duidelijke landwaartse verplaatsing van het afslagpunt voor vrijwel het gehele duintraject (zie Figuur 4-5). Dit geldt zeker voor het westelijke deel van de duinwaterkering.



Figuur 4-5 Overzicht van het verschil in de positie van het afslagpunt tussen de WBI2017- en BOI-methodiek uitgaande van een gelijke overschrijdingskans op trajectniveau voor Schiermonnikoog (kustvak 2).

Voor de positie van de landwaartse zijde van het grensprofiel geldt een vergelijkbaar beeld, ofschoon het aantal locaties (door de aanpassing van de omvang van het grensprofiel in het BOI) met een duidelijk 'rode' markering minder groot is (zie Figuur 4-6). Oftewel: de landzijde van het grensprofiel verschuift minder dan het afslagpunt. Het grensprofiel kan met name aan de oostzijde van dit kustvak veelal alleen in de WBI2017-berekeningen ingepast worden.



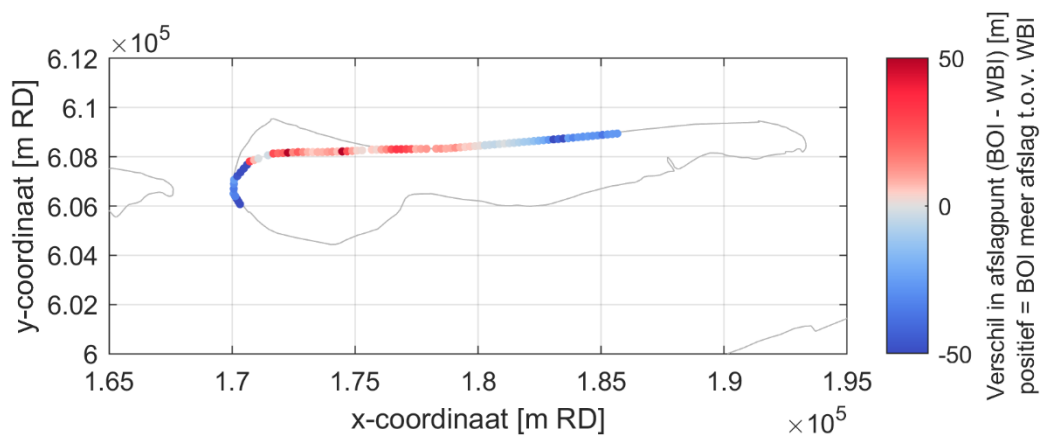
Figuur 4-6 Overzicht van het verschil in de positie van de landzijde van het grensprofiel tussen de WBI2017- en BOI-methodiek uitgaande van een gelijke overschrijdingskans op trajectniveau voor Schiermonnikoog (kustvak 2).

Samenvattend is het effect met betrekking tot de overstap op de nieuwe BOI-methodiek enigszins wisselend voor Schiermonnikoog. Er zijn zeker locaties waar er sprake is van een duidelijk landwaartse verplaatsing van de landzijde van het grensprofiel. De consequentie hiervan is dat de kans op lokaal falen van de waterkering toeneemt. Het vaststellen in hoeverre dit - gezien de omvang van de hier

aanwezige zandige waterkering - een waterveiligheidsopgave oplevert, vraagt om een meer gedetailleerde beschouwing op raainiveau en een volledige faalpadanalyse om de overstromingskans te bepalen. Een dergelijke uitwerking valt buiten de scope van deze verkennende studie.

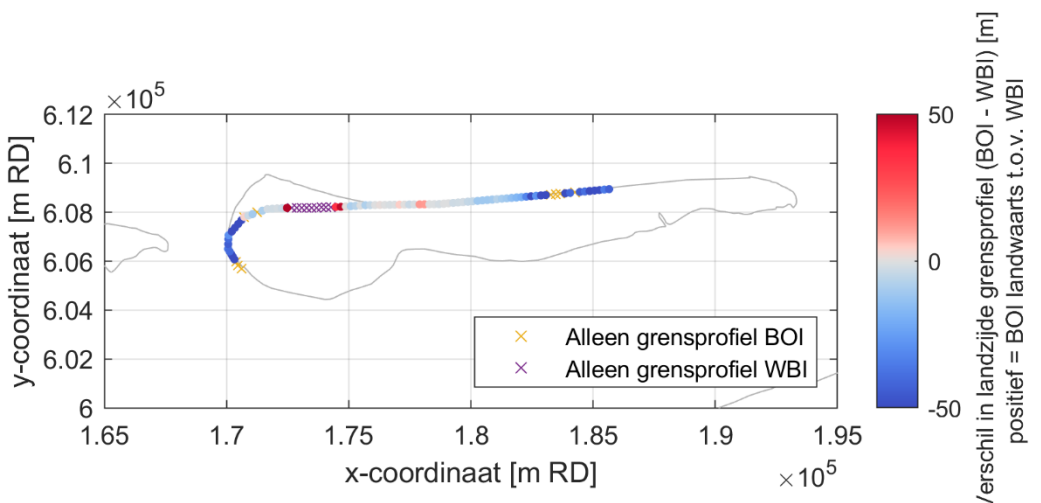
4.4.2 Ameland (kustvak 3)

Voor Ameland is er sprake van een wisselend beeld waarbij de positie van het beschouwde afslagpunt op met name het centrale deel voor het BOI verder landwaarts is gelegen dan op basis van het WBI2017. In het meest oostelijke en westelijke deel slaat het duin juist minder ver af en is sprake van een verder zeewaarts gelegen afslagpunt (zie Figuur 4-7).



Figuur 4-7 Overzicht van het verschil in de positie van het afslagpunt tussen de WBI2017- en BOI-methodiek uitgaande van een gelijke overschrijdingskans op trajectniveau voor Ameland (kustvak 3).

Dit in combinatie met de inpassing van het BOI-grensprofiel dat hier lager is dan het WBI-grensprofiel, resulteert in een afname van het aantal locaties met een landwaartse verplaatsing ten opzichte van het vorige figuur (zie Figuur 4-8). Zeker voor het meest oostelijke en westelijke deel van de waterkering ligt de landzijde van het grensprofiel (net als de positie van het afslagpunt) verder zeewaarts in vergelijking tot de positie behorende bij het WBI2017.



Figuur 4-8 Overzicht van het verschil in de positie van de landzijde van het grensprofiel tussen de WBI2017- en BOI-methodiek uitgaande van een gelijke overschrijdingskans op trajectniveau voor Ameland (kustvak 3).

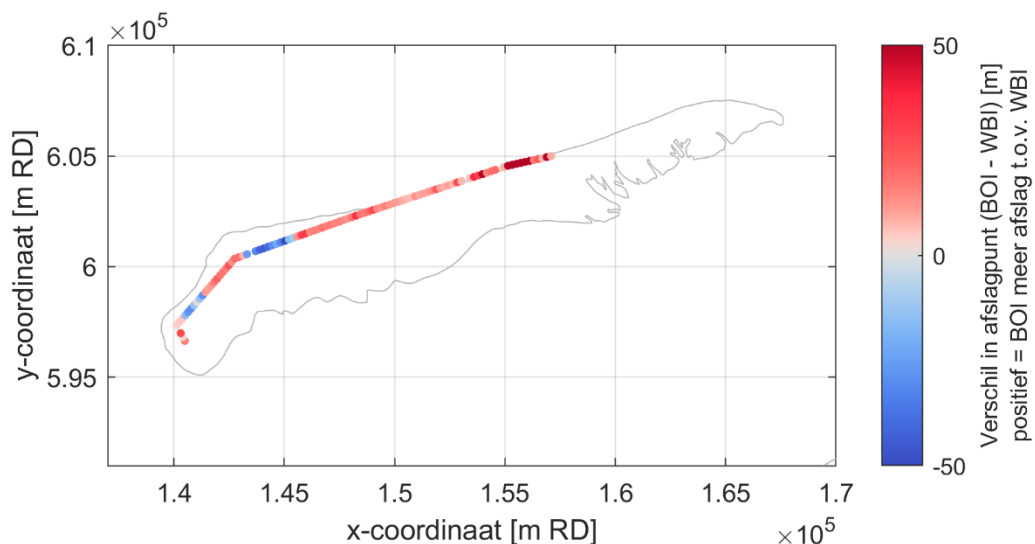
Voor het centrale deel is sprake van lokaal beperkt landwaartse verschuiving. Een deel van de meer omvangrijke teruggang van het afslagpunt wordt hier gecompenseerd door het effect van een beter inpasbaar kleiner grensprofiel. Alleen in JarKus-raai 3.03 en 4.00 is sprake van een beperkte landwaartse verschuiving van respectievelijk 4 en 7 m. Voor een aantal raaien is het kleinere grensprofiel echter nog niet voldoende: daar is het BOI-grensprofiel niet inpasbaar, terwijl het WBI-grensprofiel dat wel is onder de beschouwde condities.

Samenvattend is het effect van de overstap op de BOI-methodiek voor kustvak Ameland over het algemeen positief in de zin dat het grensprofiel voor BOI verder zeewaarts kan worden ingepast. De kans op lokaal falen van de waterkering en overstroming van het achterland neemt daarmee af.

Aandachtspunt is nog wel de inpassing van het BOI-grensprofiel in het kustdeel tussen JarKus-raai 5.00 en 5.60 waar het benodigde grensprofiel door de beperkte omvang het duin niet (binnen het rekendomein) kan worden ingepast. Het vaststellen in hoeverre dit een waterveiligheidsopgave oplevert, vraagt om een meer gedetailleerde beschouwing op raainiveau en een volledige faalkansanalyse om de overstromingskans te bepalen. Een dergelijke uitwerking valt buiten de scope van deze verkennende studie.

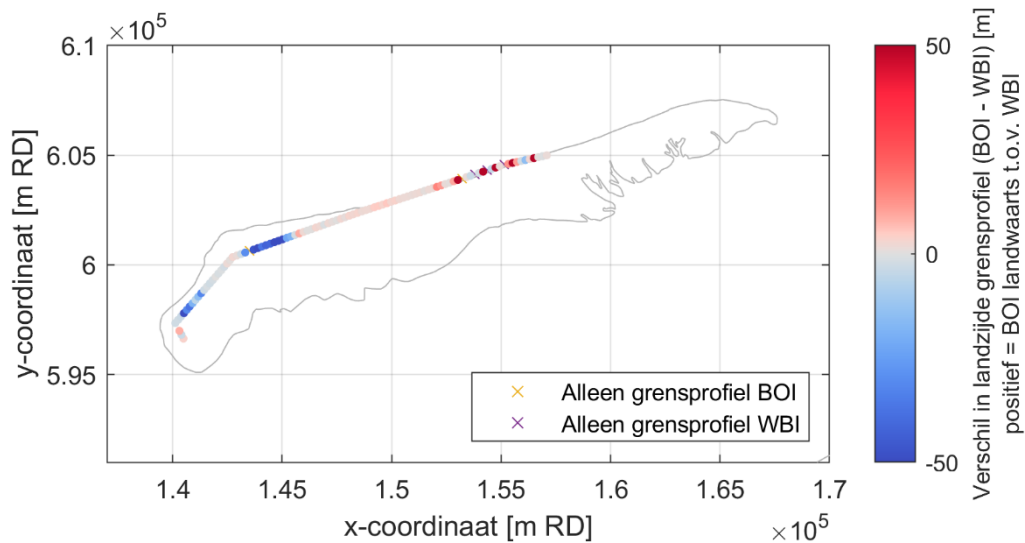
4.4.3 Terschelling (kustvak 4)

De overstap op het BOI leidt voor het overgrote deel van Terschelling tot een verder landwaarts gelegen afslagpunt, ofschoon er ook lokaal sprake is van een gunstiger beeld (zie Figuur 4-9). Dit laatste is met name het geval voor JarKus-raaien 5.60 tot 7.80 waar het afslagpunt juist verder zeewaarts is gelegen.



Figuur 4-9 Overzicht van het verschil in de positie van het afslagpunt tussen de WBI2017- en BOI-methodiek uitgaande van een gelijke overschrijdingskans op trajectniveau voor Terschelling (kustvak 4).

Door het beschouwen van een (tot 2 m) lager kruinniveau van het grensprofiel (zie Figuur 3-18 voor het resultaat voor de Nederlandse kust) is het uiteindelijke effect op de positie van de landzijde van het grensprofiel hoofdzakelijk gunstig in de zin dat deze positie veelal zeewaarts of op ongeveer dezelfde positie ligt als voor het WBI2017 (zie Figuur 4-10). Alleen zeer lokaal aan de oostzijde is sprake van een aantal JarKus-raaien met een landwaartse verschuiving; zie rode punten in het figuur.



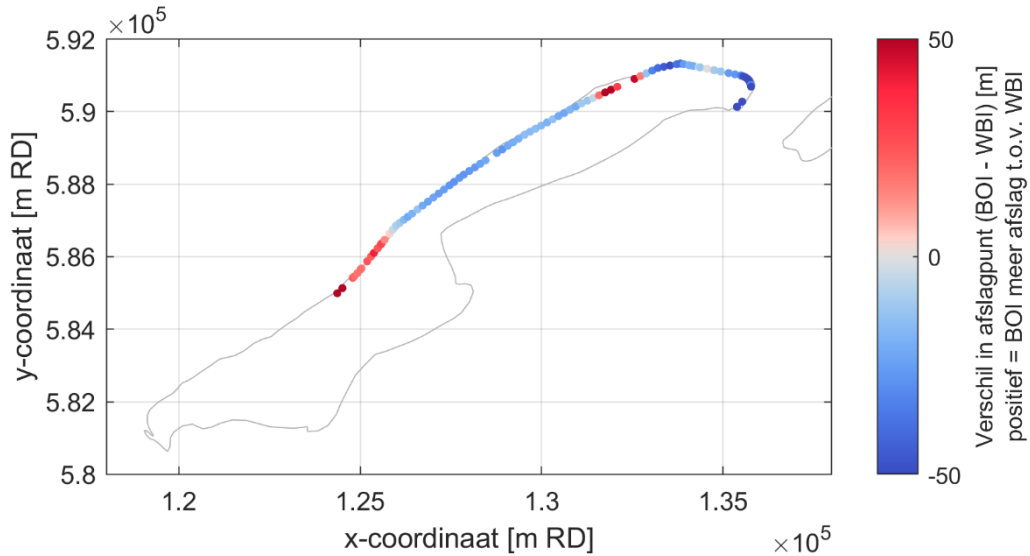
Figuur 4-10 Overzicht van het verschil in de positie van de landzijde van het grensprofiel tussen de WBI2017- en BOI-methodiek uitgaande van een gelijke overschrijdingskans op trajectniveau voor Terschelling (kustvak 4).

Samenvattend leidt de overstap op de BOI-methodiek voor kustvak Terschelling overwegend tot een veelal beperkte (maar gunstige) zeewaartse verplaatsing van de landzijde van het grensprofiel. De kans op falen van de waterkering en overstroming van het achterland neemt op deze locaties (beperkt) af.

Op een aantal zeer specifieke locaties is er echter wel sprake van een landwaartse verplaatsing van de landzijde van het grensprofiel (zie Figuur 4-10). De consequentie hiervan is dat de kans op lokaal falen van de waterkering hier mogelijk toeneemt. De beantwoording van de vraag of dit een waterveiligheidsopgave oplevert, vraagt om een meer gedetailleerde beschouwing op raainiveau en valt buiten de scope van deze verkennende studie.

4.4.4 Vlieland (kustvak 5)

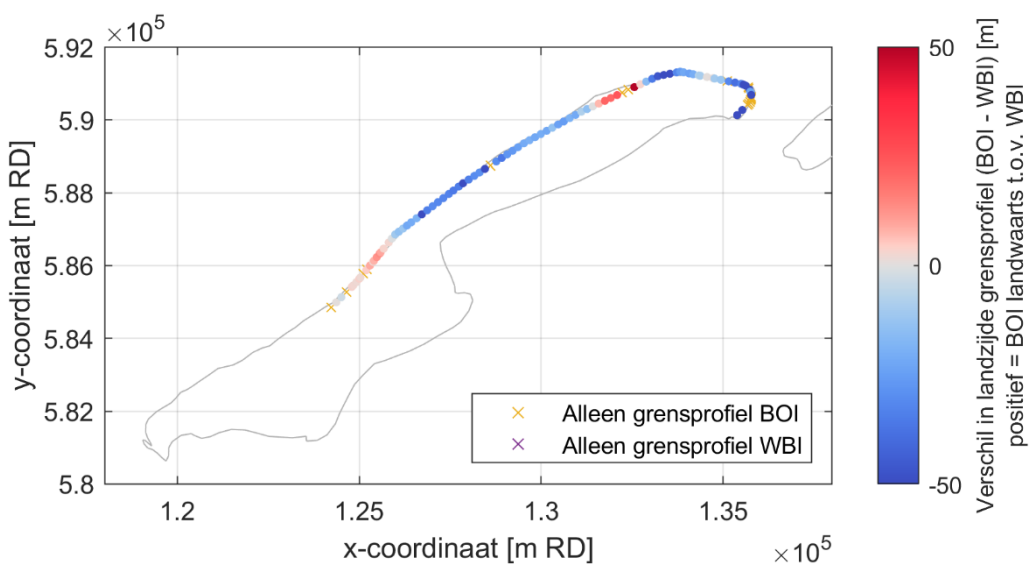
Voor Vlieland is er voor het BOI gemiddeld genomen sprake van een verder zeewaarts gelegen afslagpunt (zie Figuur 4-11). Uitzondering hierop is het meest westelijke deel (westelijk van JarKus-raai 42.39) en een aantal raaien aan de noordzijde (JarKus-raai 49.33 – 50.41). Hier treedt verhoudingsgewijs meer afslag op een is het BOI-afslagpunt verder landwaarts gelegen.



Figuur 4-11 Overzicht van het verschil in de positie van het afslagpunt tussen de WBI2017- en BOI-methodiek uitgaande van een gelijke overschrijdingskans op trajectniveau voor Vlieland (kustvak 5).

Door de hier beperkte reductie van het kruinniveau van het BOI-grensprofiel ten opzichte van het WBI-grensprofiel is het beeld voor het verschil in de landwaartse positie van het grensprofiel vergelijkbaar met het afslagpunt (zie Figuur 4-12). Voor het eerdergenoemde westelijk deel is het verschil beperkt tot maximaal 14 m landwaartse verschuiving (ter plaatse van JarKus-raai 42.00).

In het noordelijke deel verschuift de landwaartse zijde van het grensprofiel maximaal over 50 m in landwaartse richting (JarKus-raai 50.41). Voor twee naastgelegen profielen kan het BOI-grensprofiel niet worden ingepast binnen het rekendomein.



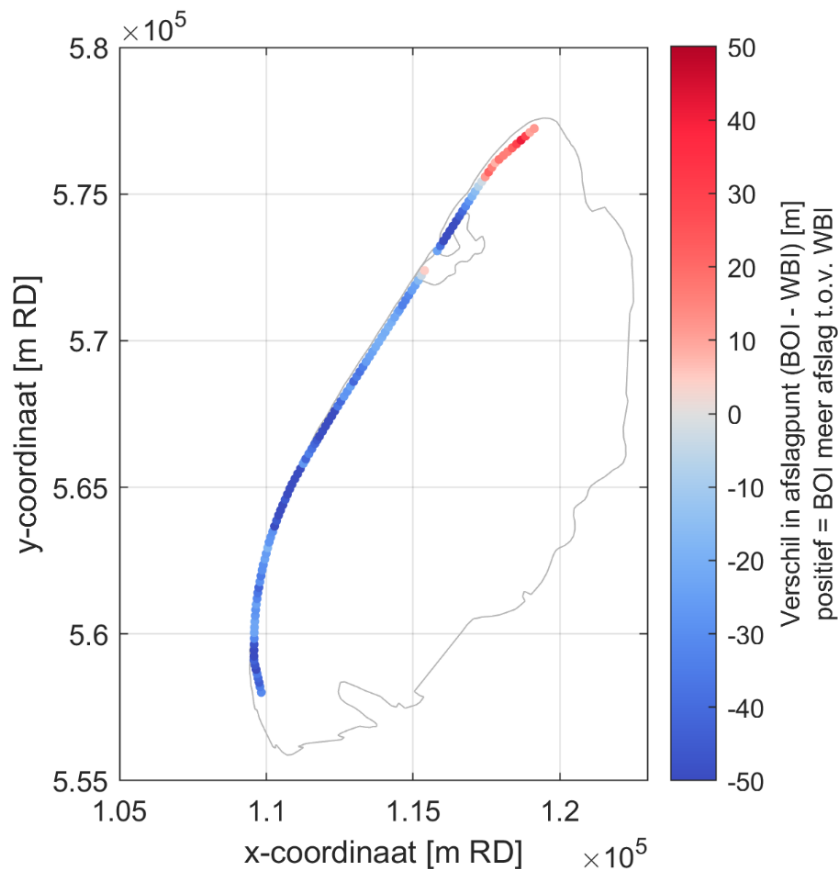
Figuur 4-12 Overzicht van het verschil in de positie van de landzijde van het grensprofiel tussen de WBI2017- en BOI-methodiek uitgaande van een gelijke overschrijdingskans op trajectniveau voor Vlieland (kustvak 5).

Samenvattend leidt de overstap op de het BOI voor kustvak Vlieland overwegend tot een (gunstige) zeewaartse verplaatsing van de landzijde van het grensprofiel. Slechts op een zeer beperkt aantal locaties (rond JarKus-raai 50.41) is sprake van een landwaartse verplaatsing van de landzijde van het grensprofiel.

De consequentie hiervan is dat de kans op lokaal falen van de waterkering daarmee mogelijk toeneemt. Het vaststellen in hoeverre dit een waterveiligheidsopgave oplevert, vraagt om een meer gedetailleerde beschouwing op raainiveau en een volledige faalkansanalyse om de overstromingskans te bepalen. Dit valt buiten de scope van deze verkennende studie.

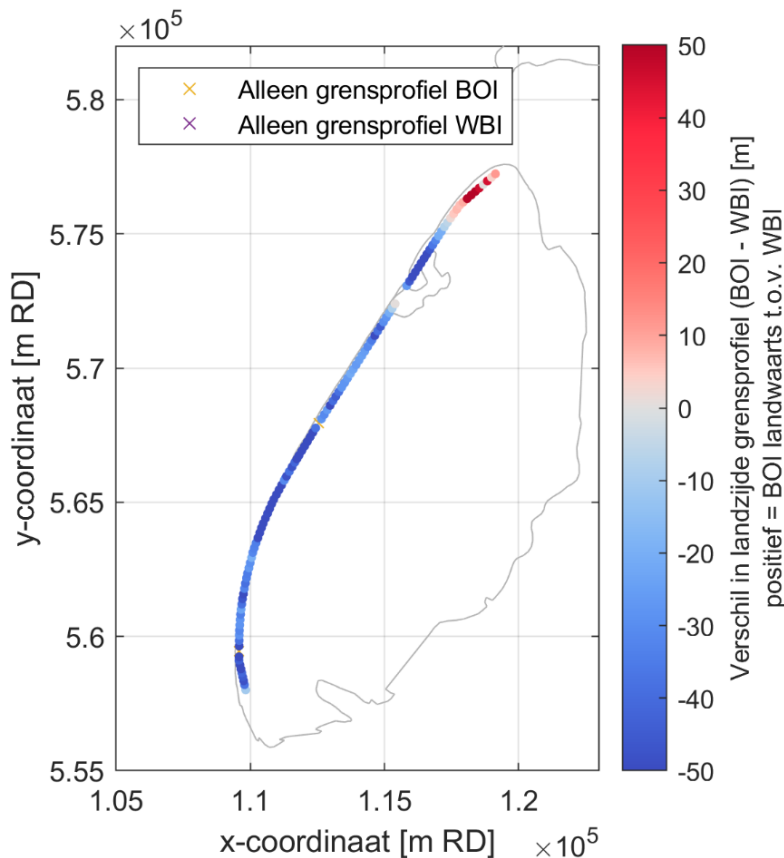
4.4.5 Texel (kustvak 6)

Voor Texel leidt de overstap op het BOI in de berekeningen overwegend tot minder afslag en een zeewaartse verplaatsing van de positie van het afslagpunt. Uitzondering daarop is het meest noordelijk gelegen kust deel vanaf JarKus-raai 28.40 (zie Figuur 4-13). De maximale landwaartse verplaatsing van het afslagpunt bedraagt hier 41 m (ter plaatse van JarKus-raai 30.21).



Figuur 4-13 Overzicht van het verschil in de positie van het afslagpunt tussen de WBI2017- en BOI-methode uitgaande van een gelijke overschrijdingskans op trajectniveau voor Texel (kustvak 6).

Door het hier vergelijkbare kruinniveau van het BOI-grensprofiel als van het WBI2017-grensprofiel is het beeld voor de landwaartse positie van het grensprofiel (zie Figuur 4-14) vergelijkbaar aan dat van het vorige figuur. Een landwaartse verplaatsing van het afslagpunt is alleen aanwezig in het noordelijke deel (vanaf Jarkus-raai 28.40). De maximale verschuiving bedraagt hier 99 m ter plaatse van Jarkus-raai 29.57. Hierbij komt het grensprofiel midden in het ruim 200 m brede duinprofiel te liggen.



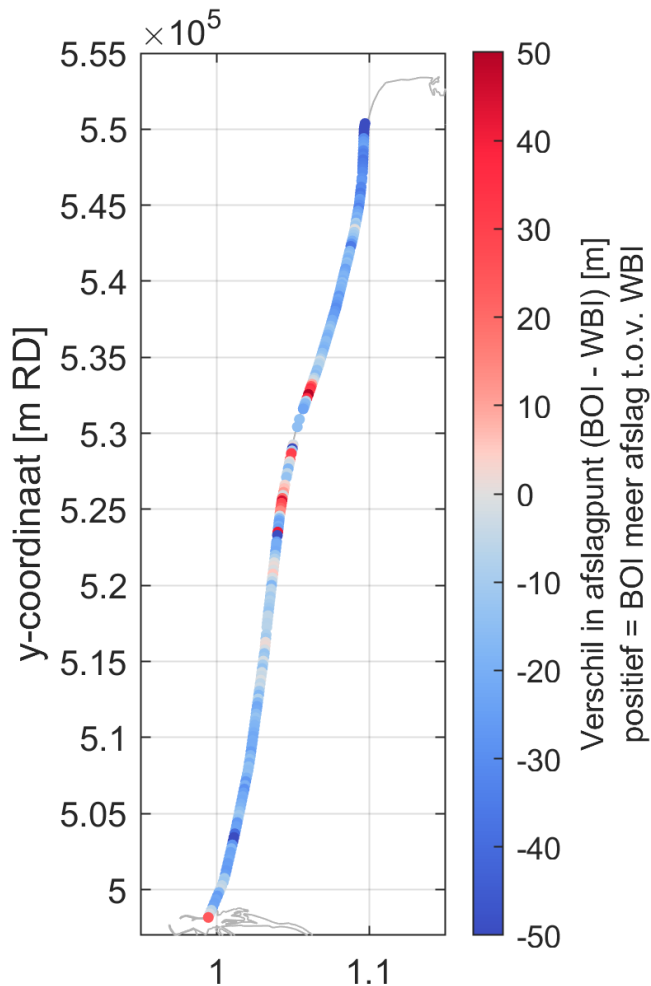
Figuur 4-14 Overzicht van het verschil in de positie van de landzijde van het grensprofiel tussen de WBI2017- en BOI-methodiek uitgaande van een gelijke overschrijdingskans op trajectniveau voor Texel (kustvak 6).

Samenvattend is het effect met betrekking tot de overstap op het BOI voor kustvak Texel over het algemeen positief in de zin dat het grensprofiel voor BOI vrijwel overal verder zeewaarts kan worden ingepast.

Alleen in het noordelijke deel is er sprake van een landwaartse verschuiving van de landzijde van het grensprofiel. De consequentie hiervan is dat de kans op lokaal falen van dit deel van de waterkering toeneemt. Het vaststellen in hoeverre dit een waterveiligheidsopgave oplevert, vraagt om een meer gedetailleerde beschouwing op raainiveau en een volledige faalkansanalyse om de overstromingskans te bepalen. Dit valt buiten de scope van deze verkennende studie.

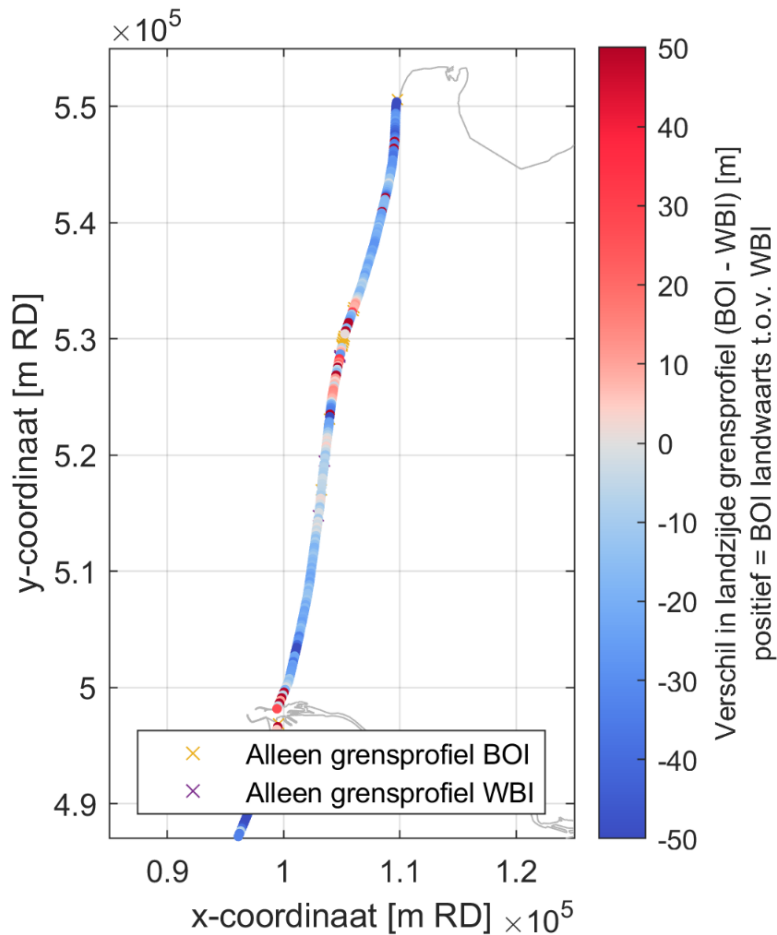
4.4.6 Noord-Holland (kustvak 7)

Voor kustvak 7 leidt de overstap op het nieuwe instrumentarium overwegend tot een verder zeewaarts gelegen afslagpunt (zie Figuur 4-15). Op aantal kleinere secties geldt echter het tegenovergestelde en verschuift het afslagpunt juist in landwaartse richting. Dit is met name het geval aan weerszijden van de Hondsbossche en Pettemer Zeewering en direct noordelijk van de havendam bij IJmuiden.



Figuur 4-15 Overzicht van het verschil in de positie van het afslagpunt tussen de WBI2017- en BOI-methodiek uitgaande van een gelijke overschrijdingskans op trajectniveau voor Noord-Holland (kustvak 7).

Omdat het kruinniveau van het grensprofiel hier vergelijkbaar is in het BOI-grensprofiel en het WBI-grensprofiel, sluit het in Figuur 4-16 gepresenteerde beeld van de overwegend zeewaartse verschuiving van de landwaartse zijde van het grensprofiel hier op aan. Landwaartse verschuivingen doen zich met name voor in de al eerder genoemde gebieden.



Figuur 4-16 Overzicht van het verschil in de positie van de landzijde van het grensprofiel tussen de WBI2017- en BOI-methodiek uitgaande van een gelijke overschrijdingskans op trajectniveau voor Noord-Holland (kustvak 7).

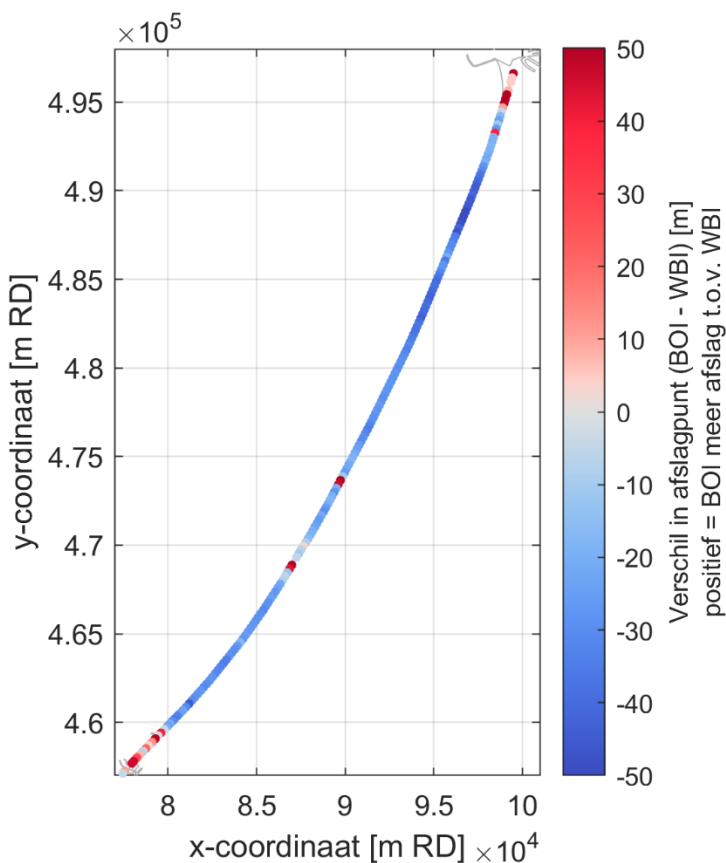
Samenvattend leidt de overstap op het BOI voor overgrote deel van de Noord-Hollandse kust op basis van de doorgerekende condities waarschijnlijk niet tot een toename van de (lokale) overstromingskans. Wel wordt aanbevolen om de consequenties van deze overstap voor de locaties met een landwaartse verschuiving van de landzijde van het grensprofiel in meer detail te beschouwen. Een dergelijke verdiepingsslag valt buiten de scope van de voorliggende studie.

4.4.7 Rijnland (kustvak 8)

Voor Rijnland resulteert de overstap op het nieuwe instrumentarium overwegend tot een zeewaartse verschuiving van de positie van het afslagpunt (zie Figuur 4-17).

Voor een aantal secties geldt echter het tegenovergestelde. Dit is met name het geval ter plaatse van de kustuitbouw bij de aansluiting op havendam bij IJmuiden (noordelijk van JarKus-raai 58.50). Hier springt het afslagpunt over van de achter het strand gelegen eerste smalle duinregel naar het 100 tot 200 m verder landwaarts gelegen hogere duin.

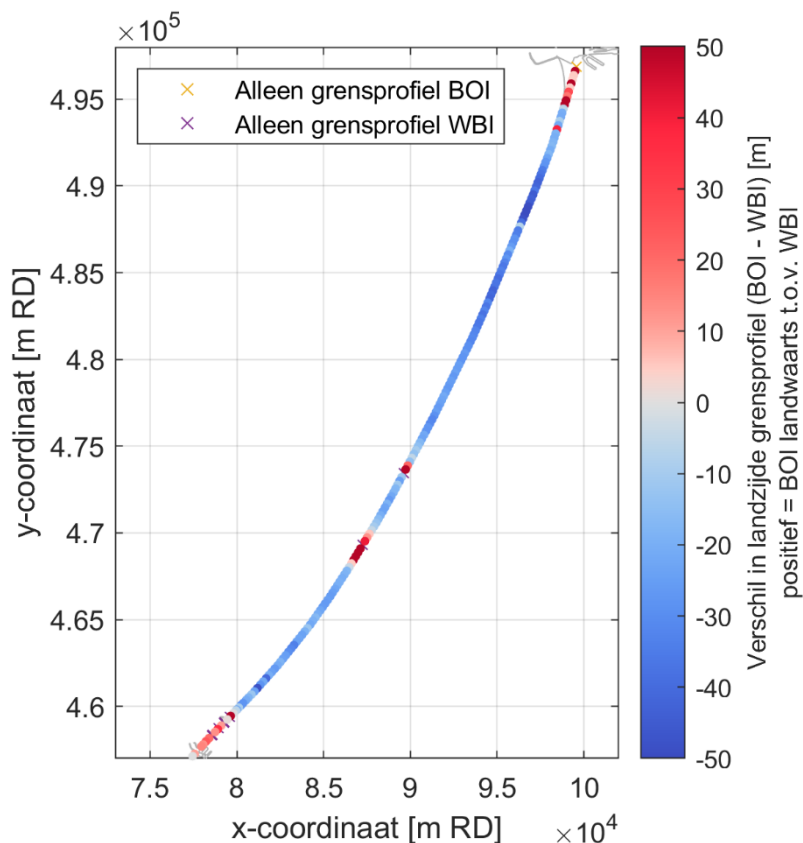
De twee andere 'rode' locaties met een landwaartse verschuiving van het afslagpunt bevinden zich ter plaatse van de kustplaatsen Noordwijk (rond JarKus-raai 81.50) en Katwijk (rond JarKus-raai 87.00) waar in alle gevallen dijk-in-duinconstructies aanwezig zijn en de gehanteerde aanpak en modellen eigenlijk niet geschikt zijn.



Figuur 4-17 Overzicht van het verschil in de positie van het afslagpunt tussen de WBI2017- en BOI-methodek uitgaand van een gelijke overschrijdingskans op trajectniveau voor Rijnland (kustvak 8), inclusief een deel van de Delflandse kust.

Omdat het kruinniveau van het BOI-grensprofiel vergelijkbaar tot net iets hoger is dan van het WBI2017-grensprofiel, wordt voor het verschil in de positie van de landzijde van het grensprofiel een beeld verkregen dat 'roder' is, waarbij het aantal locaties met een landwaartse verschuiving van de landzijde van het grensprofiel groter is (zie Figuur 4-18).

Het gaat daarbij om met name de twee kustplaatsen, waarbij de grootste verschuivingen met name aanwezig zijn bij Katwijk (JarKus-raai 85.75 – 87.75). Hier is sprake van een in de BOI-berekening doorgebroken eerste duinregel onder de doorgerekende condities. Omdat er op deze locatie ook een hybride versterking aanwezig is en het gehanteerde methode en modellen per definitie niet zomaar mogen worden toegepast, hoeft dit niet direct een waterveiligheidsopgave op te leveren.



Figuur 4-18 Overzicht van het verschil in de positie van de landzijde van het grensprofiel tussen de WBI2017- en BOI-methodiek uitgaande van een gelijke overschrijdingskans op trajectniveau voor Rijnland (kustvak 8), inclusief een deel van de Delflandse kust.

Samenvattend leidt de overstap op de BOI-methode voor Rijnland tot een overwegend zeewaartse verplaatsing van de landzijde van het grensprofiel voor de doorgerekende condities en daarmee tot een afname van de faalkans van de kering.

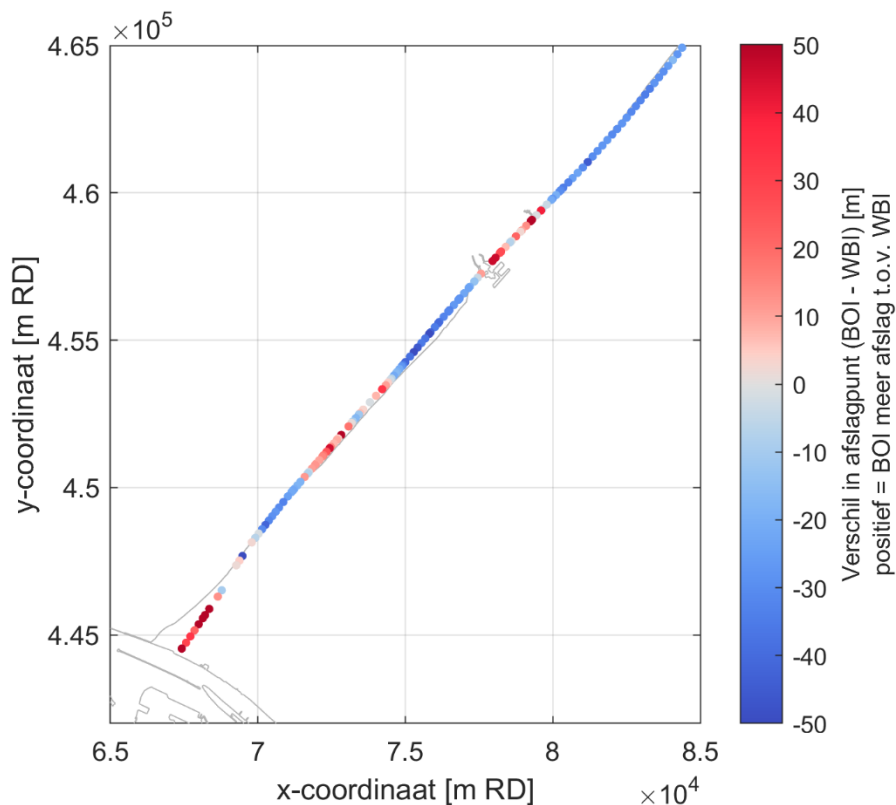
De lokale situatie ter plaatse van Katwijk is daarbij echter wel een aandachtspunt. Voor een nadere duiding is een meer gedetailleerde uitwerking nodig waarbij ook rekening wordt gehouden met de hier aanwezige hybride karakter van de waterkering (parkeergarage).

4.4.8 Delfland (kustvak 9)

Ook voor Delfland resulteert de overstap op het nieuwe instrumentarium overwegend in een voornamelijk zeewaartse verplaatsing van het afslagpunt (zie Figuur 4-19). Langs een aantal secties geldt echter het tegenovergestelde en is een landwaartse verplaatsing van het afslagpunt zichtbaar. Deze secties bevinden zich met name ter plaatse van Scheveningen, Kijkduin en rond de zandmotor. Ook verder zuidelijk richting de noordelijke havendam verschuift het afslagpunt in landwaartse richting waarbij de smallere eerste duinregel in de BOI-berekening doorbreekt.

Voor Scheveningen wordt voor JarKus-raai 99.00-102.00 een landwaartse verplaatsing gevonden, maar is een standaard benadering door de aanwezigheid van harde elementen in de waterkering niet zonder meer toepasbaar.

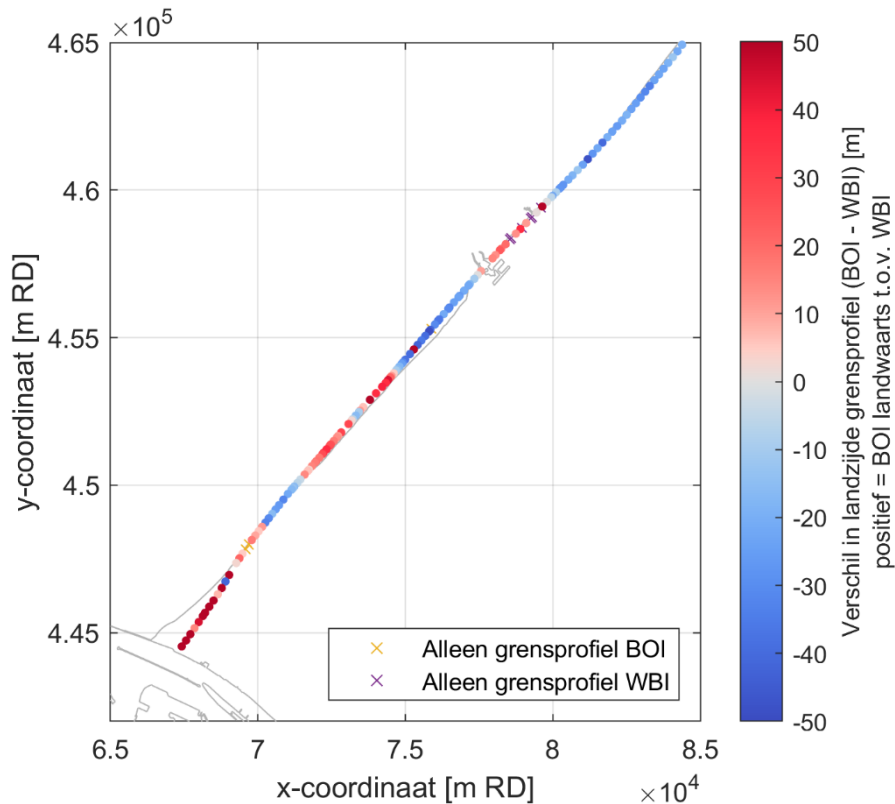
Voor Kijkduin is de landwaartse verschuiving beperkt tot maximaal 33 m (JarKus-raai 107.13). Aan de zuidzijde van de zandmotor bedraagt deze maximaal 46 m (JarKus-raai 109.80).



Figuur 4-19 Overzicht van het verschil in de positie van het afslagpunt tussen de WBI2017- en BOI-methodiek uitgaande van een gelijke overschrijdingskans op trajectniveau voor Delfland (kustvak 9).

Voor de positie van de landwaartse zijde van het grensprofiel wordt een vergelijkbaar beeld gevonden (zie Figuur 4-20). Voor Scheveningen resulteert dit op het traject tussen JarKus-raai 98.75 en 102.00 tot een landwaartse verplaatsing van deze positie over enkele tientallen meters (maximaal 37 m in JarKus-raai 100.03), waarbij voor een deel van de raaien het BOI-grensprofiel niet kan worden ingepast binnen het modeldomein.

Voor de omgeving van Kijkduin wordt de grootste verschuiving gevonden voor JarKus-raai 107.13 en verschuift de binnenzijde van het grensprofiel over 55 m naar het achterliggende, hogere duin.



Figuur 4-20 Overzicht van het verschil in de positie van de landzijde van het grensprofiel tussen de WBI2017- en BOI-methodiek uitgaande van een gelijke overschrijdingskans op trajectniveau voor Delfland (kustvak 9).

Ter plaatse van de zandmotor is ook sprake van een landwaartse verschuiving (37 m voor JarKus-raai 109.96) met name door de verschuiving van de positie van het afslagpunt welke voor BOI verder landwaarts ligt van de slechts beperkte afslag die met het WBI2017-instrumentarium wordt berekend.

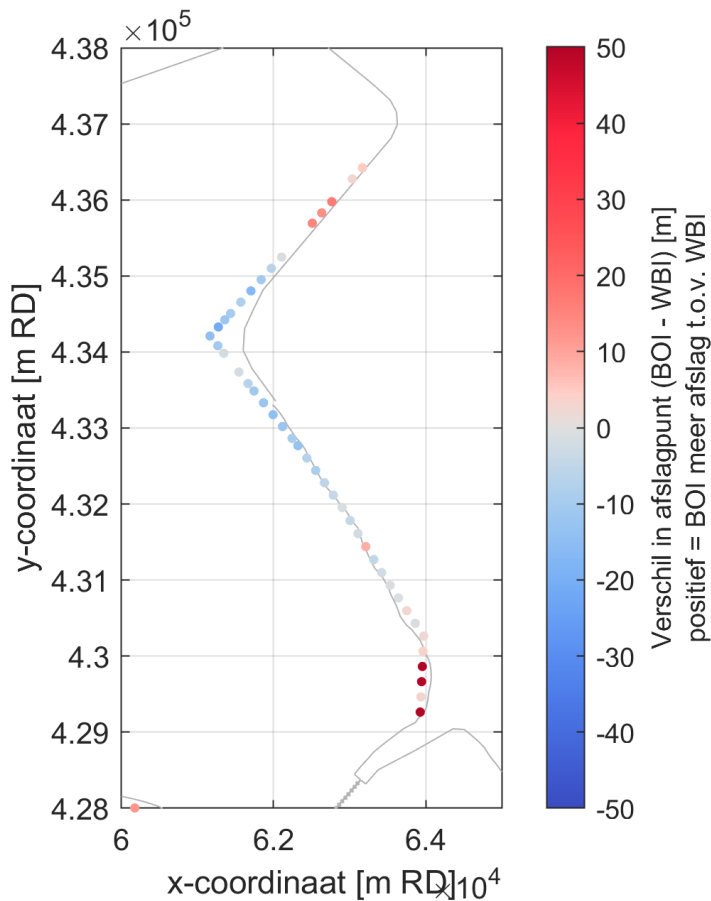
Voor de meest zuidelijke sectie resulteert de BOI-methodiek in sommige gevallen in een verschuiving van het grensprofiel naar het achterliggende hogere duin. Voor bijvoorbeeld JarKus-raai 116.87 leidt dit tot een mutatie van maar liefst 467 m. Dit lijkt echter niet direct tot een waterveiligheidsopgave te leiden, omdat het grensprofiel aan de zeezijde van het ruim 100 m brede duin inpasbaar is.

Samenvattend leidt de overstap naar het BOI op een aantal specifieke locaties binnen kustvak 9 tot een landwaartse verschuiving van de positie van het grensprofiel. Voor zowel Kijkduin, rond de zandmotor als ter plaatse van de kustuitbouw is daar echter veel ruimte voor.

In Scheveningen maakt een hybride waterkeringsconstructie onderdeel uit van de waterkering. Daardoor vergen de gepresenteerde resultaten een nadere duiding op raai-niveau. Hierbij moet ook aandacht worden besteed aan de voor dit specifieke traject voor WBI2017 afwijkende faalkansbijdrage (10 % in plaats van 70 % voor gecombineerde trajecten). Hiermee is in de voorliggende uitwerking geen rekening gehouden. Een dergelijke uitwerking valt buiten het kader van de voorliggende verkenning, maar verdient wel expliciete aandacht om de impact op de overstromingskans van het traject in meer detail te bepalen.

4.4.9 Voorne (kustvak 11)

De overstap naar het nieuwe instrumentarium leidt voor Voorne afhankelijk van het beschouwde deel tot een wat verder landwaarts of zeewaarts gelegen afslagpunt (zie Figuur 4-21). Er is sprake van een landwaartse verschuiving in het noordelijk deel (noordelijk van JarKus-raai 8.40), maar met name in het zuiden (zuidelijk van JarKus-raai 15.00). De grootste landwaartse verschuiving is aanwezig in JarKus-raai 15.60 waar het afslagpunt over 171 m verspringt naar de derde, hoge duinregel.

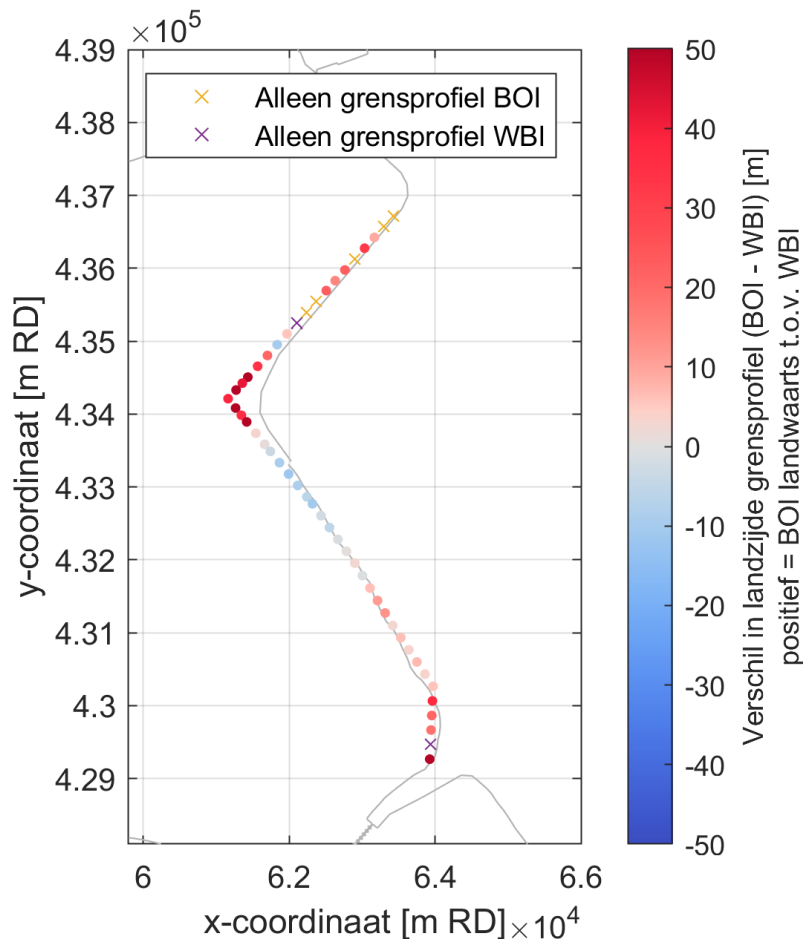


Figuur 4-21 Overzicht van het verschil in de positie van het afslagpunt tussen de WBI2017- en BOI-methodiek uitgaande van een gelijke overschrijdingskans op trajectniveau voor Voorne (kustvak 11).

Het BOI-grensprofiel heeft hier een hoger kruinniveau dan het WBI-grensprofiel. Hierdoor is het beeld voor de verschuiving van de landwaartse zijde van het grensprofiel ongunstiger in de zin dat er sprake is van zowel vaker, als een grotere landwaartse verschuiving voor het BOI (zie Figuur 4-22).

In aanvulling op effecten voor de noordelijke sectie treedt er ook op het centrale deel (JarKus-raai 9.20 – 10.60) een landwaartse verschuiving van de landzijde van het grensprofiel over tientallen meters op. De maximale verschuiving bedraagt 64 m en is aanwezig in JarKus-raai 10.40. Voor de inpassing van het BOI-grensprofiel is hier een verschuiving nodig naar een verder landwaarts gelegen hoger gedeelte van het hier zeer omvangrijke duinprofiel.

Verder zuidelijk speelt dit ook. De maximale verschuiving (76 m) treedt hier op in JarKus-raai 16.00 nabij de Haringvlietdam. Ook hier is het duinmassief voldoende van omvang om deze verschuiving op te vangen.



Figuur 4-22 Overzicht van het verschil in de positie van de landzijde van het grensprofiel tussen de WBI2017- en BOI-methode uitgaande van een gelijke overschrijdskans op trajectniveau voor Voorne (kustvak 11).

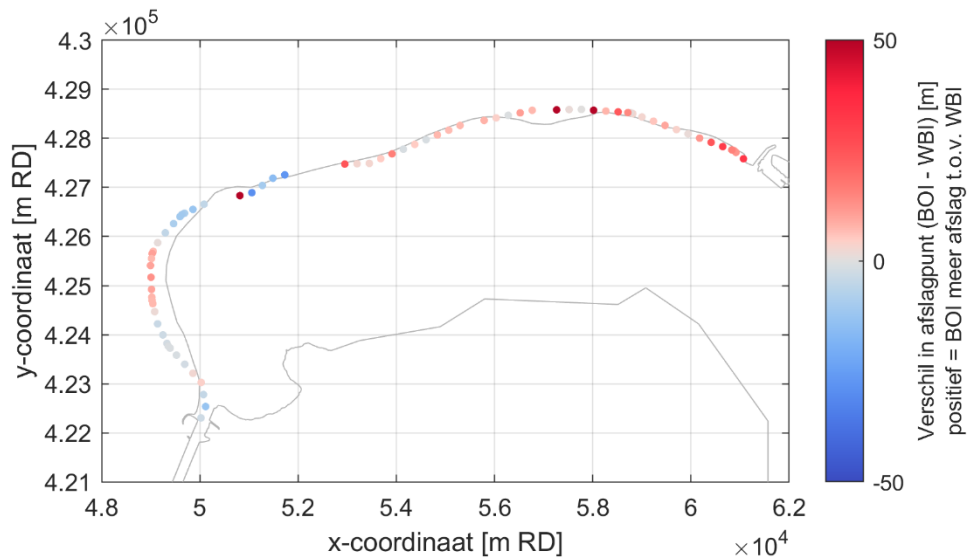
Voor het kustvak Voorne leidt de overstap op het BOI voor een groot deel van de raaien tot een landwaartse verplaatsing van de landzijde van het grensprofiel en daarmee hoogstwaarschijnlijk tot een toename van de faalkans van de waterkering. Gezien de omvang van het hier aanwezige duinmassief wordt echter niet verwacht dat dit direct zal resulteren in een waterveiligheidsopgave. Om hier met meer zekerheid een conclusie over te trekken is een uitgebreidere analyse van de overstromingskans nodig.

4.4.10 Goeree (kustvak 12)

Voor het kustvak Goeree resulteert de overstap naar het BOI in een overwegend landwaartse verplaatsing van de positie van het afslagpunt (zie Figuur 4-23).

Er is alleen sprake van een zeewaartse verplaatsing van het afslagpunt in de sectie tussen JarKus-raai 12.75 en 15.50. Dit met uitzondering van Jarkus-raai 13.75 waar het BOI-afslagpunt door overslaande lange golven net achter de eerste smalle duinregel terecht komt, waarmee het afslagpunt over 53 m in landwaartse richting verschuift naar het zeer brede, achterliggende duin.

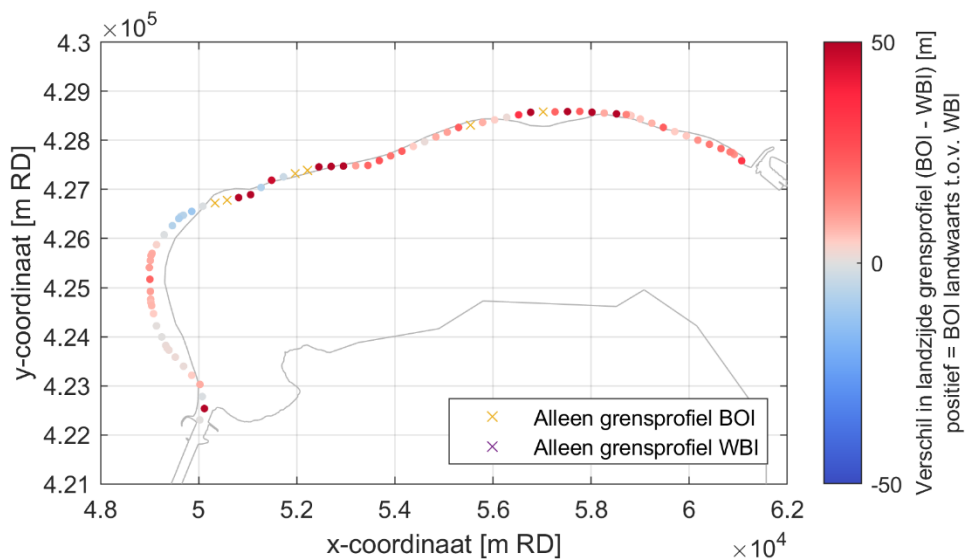
De meer extremere waarden van de teruggang van de positie van het afslagpunt (592 m ter plaatse van JarKus-raai 6.25 en 171 m voor JarKus-raai 7.00) hebben een vergelijkbare oorzaak.



Figuur 4-23 Overzicht van het verschil in de positie van het afslagpunt tussen de WBI2017- en BOI-methodiek uitgaande van een gelijke overschrijdingskans op trajectniveau voor Goeree (kustvak 12).

Mede door het hogere kruinniveau van het BOI-grensprofiel dan van het WBI-grensprofiel leidt dit ook tot meer landwaartse verplaatsing van de landzijde van het grensprofiel (zie Figuur 4-24). Dit is voor vrijwel het gehele kustvak het geval.

De meest extreme verschuivingen zijn in kustvak 12 ook gerelateerd aan het doorbreken van een verder zeewaarts gelegen duinregel. Op het traject tussen Jarkus-raai 10.00 en 14.00 varieert de teruggang tussen tientallen meters en orde honderd meter.



Figuur 4-24 Overzicht van het verschil in de positie van de landzijde van het grensprofiel tussen de WBI2017- en BOI-methodiek uitgaande van een gelijke overschrijdingskans op trajectniveau voor Goeree (kustvak 12).

Samenvattend leidt de overstap op het BOI voor dit kustvak over het algemeen tot een landwaartse verplaatsing van de landzijde van het grensprofiel. Als gevolg hiervan neemt de faalkans van de waterkering waarschijnlijk toe.

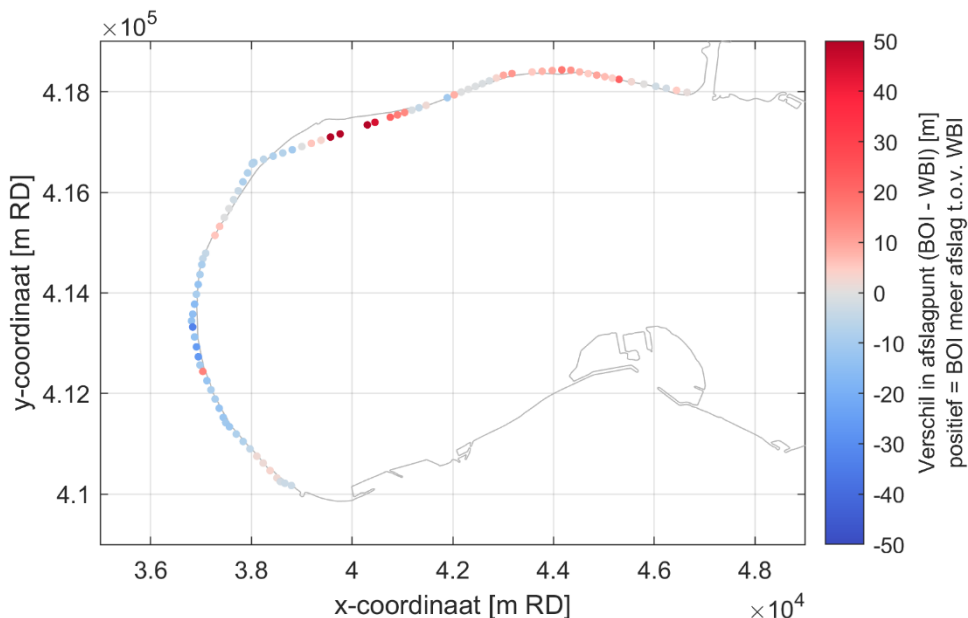
Het vaststellen in hoeverre dit, met name voor de meest kritische locaties, een waterveiligheidsopgave oplevert, vergt een meer gedetailleerde uitwerking op raainiveau en een volledige faalkansanalyse om de overstromingskans te bepalen. Dit valt echter buiten de scope van de voorliggende studie.

4.4.11 Schouwen (kustvak 13)

De resultaten ten aanzien van het effect op de positie van het afslagpunt laten voor kustvak Schouwen een wisselend beeld zien met een beperkt gunstiger resultaat op het westelijke traject (met een verder zeewaarts gelegen afslagpunt) en een beperkt ongunstiger beeld voor het noordelijke deel (met een landwaartse verschuiving van het afslagpunt; zie Figuur 4-25).

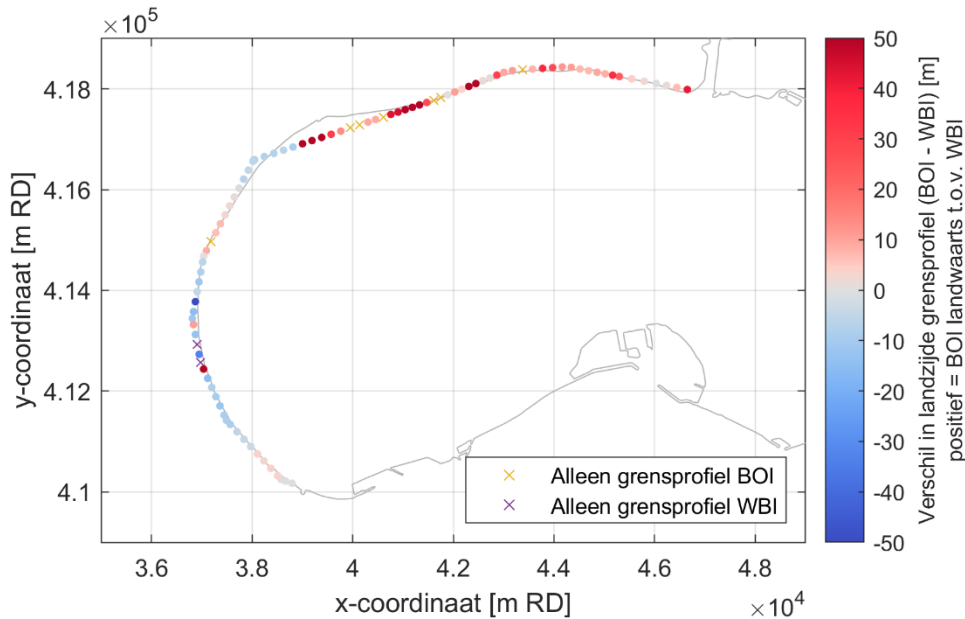
De grootste teruggang is aanwezig op het noordwestelijke traject tussen JarKus-raai 6.64 en 8.59 met een maximale landwaartse verplaatsing van 129 m in JarKus-raai 8.19 waar voor het WBI2017 nog een afslagpunt in de eerste duinregel kon worden ingepast.

Een meer beperkte teruggang (maximaal 22 m) is aanwezig voor JarKus-raai 2.22 op het noordelijke traject tussen JarKus-raai 1.97 en 4.69.



Figuur 4-25 Overzicht van het verschil in de positie van het afslagpunt tussen de WBI2017- en BOI-methode uitgaande van een gelijke overschrijdingskans op trajectniveau voor Schouwen (kustvak 13).

Het effect van de overstap op het BOI op de landwaartse positie van het grensprofiel is weergegeven in Figuur 4-26. Het grensprofiel verplaatst voor vrijwel het gehele noordelijke traject landwaarts, waarbij voor het BOI een inpassing in de voorliggende duinregel niet meer mogelijk is. Voor bijvoorbeeld JarKus-raai 8.79 resulteert dit in een landwaartse verschuiving over maar liefst 347 m.



Figuur 4-26 Overzicht van het verschil in de positie van de landzijde van het grensprofiel tussen de WBI2017- en BOI-methodiek uitgaande van een gelijke overschrijdskans op trajectniveau voor Schouwen (kustvak 13).

Samenvattend leidt de overstap op het BOI voor met name het noordelijk deel (tot JarKus-raai 8.79) tot een soms omvangrijke landwaartse verplaatsing van de landzijde van het grensprofiel. Lokaal neemt hier de faalkans van de kering hoogstwaarschijnlijk toe.

Voor het effect daarvan op de uiteindelijke overstromingskans en waterveiligheidsopgave is een meer gedetailleerde uitwerking nodig waarin de resultaten op raainiveau ook in onderlinge samenhang moeten worden beschouwd. Een dergelijke uitwerking valt buiten het kader van de voorliggende verkennende studie.

4.4.12 Noord-Beveland (kustvak 15)

Voor de op Noord-Beveland gelegen zes JarKus-raaien (zie rechtsboven in Figuur 4-27 op pagina 85) leidt het gebruik van het BOI veelal tot een zeewaartse verplaatsing van de positie van het afslagpunt waarbij de grootste verschuiving over 129 m optreedt ter plaatse van JarKus-raai 2.40. In dit geval past het BOI-afslagpunt nog in de eerste duinregel terwijl dit voor het WBI2017 niet het geval was.

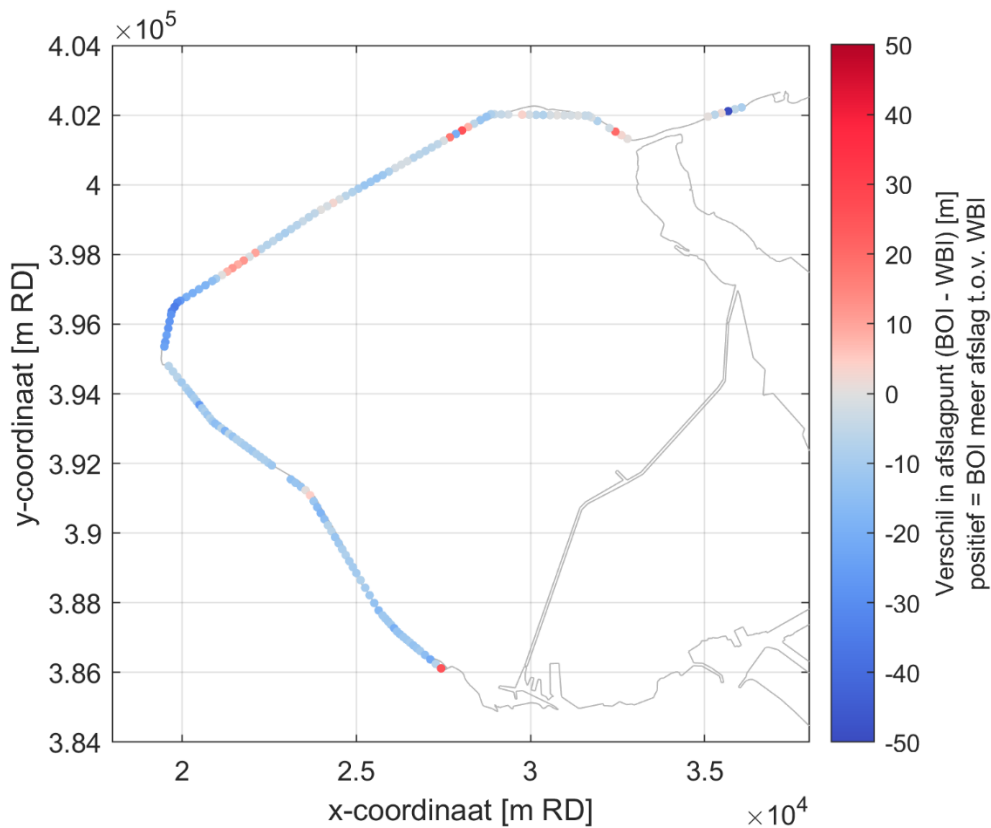
Voor de positie van de landzijde van het grensprofiel zijn de verschillen uiterst beperkt (zie Figuur 4-28 op pagina 86). De grootste landwaartse verschuiving is aanwezig in JarKus-raai 3.00 waarbij het grensprofiel over 230 m doorschuift naar het achterliggende, hogere duin.

Samenvattend is het beeld dat de overstap op het BOI voor dit traject geen grote consequenties heeft voor de faalkans van de waterkering. Een finaal oordeel vraagt echter om een meer gedetailleerde uitwerking en valt buiten de scope van de voorliggende studie.

4.4.13 Walcheren (kustvak 16)

De overstap naar het BOI leidt voor Walcheren tot een overwegend gunstiger beeld met een verder zeewaarts gelegen afslagpunt (zie linkerdeel van Figuur 4-27).

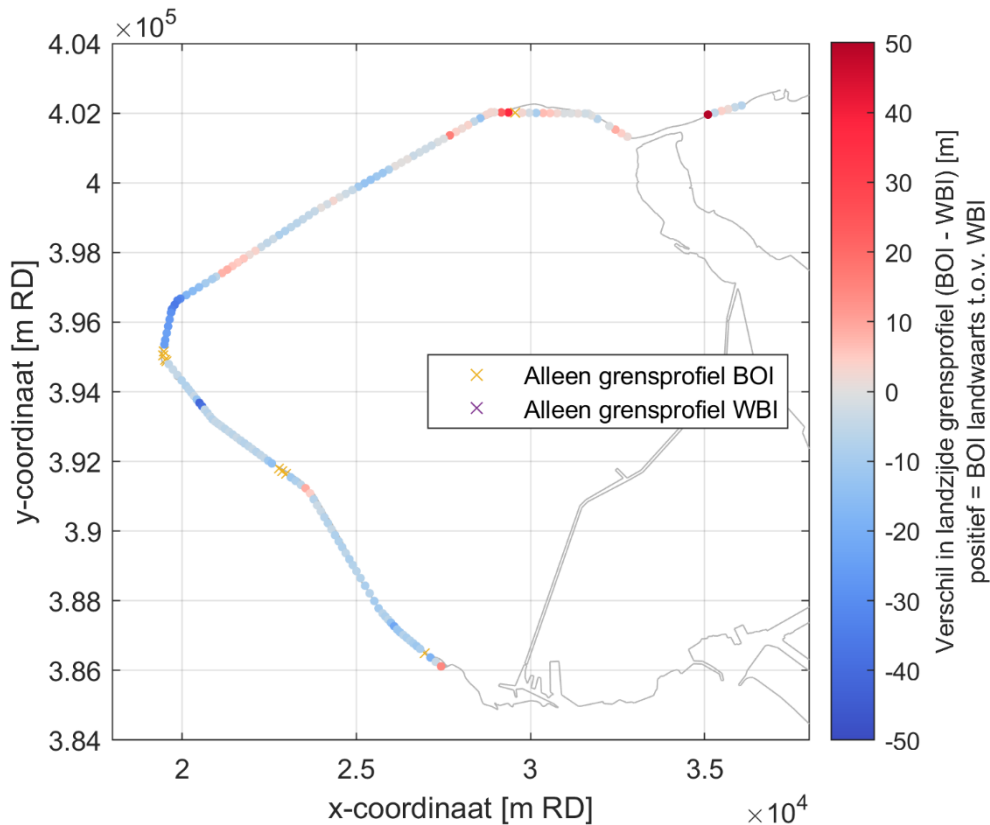
Enige landwaartse verplaatsing is met name aanwezig tussen JarKus-raai 10.25 en 10.85 (met een maximale verplaatsing van 26 m in JarKus-raai 10.45) en op het traject tussen JarKus-raai 17.35 en 18.50 (met een maximale verplaatsing van 12 m).



Figuur 4-27 Overzicht van het verschil in de positie van het afslagpunt tussen de WBI2017- en BOI-methodiek uitgaande van een gelijke overschrijdingskans op trajectniveau voor kustvak 15/16 – Noord-Beveland/Walcheren.

Het effect op de positie van de landwaartse begrenzing van het grensprofiel levert een vergelijkbaar beeld (Figuur 4-28). Op enkele locaties is het BOI-grensprofiel wel inpasbaar binnen het gehanteerde modeldomein, terwijl het WBI-grensprofiel niet past.

Ook in dit geval zijn de meest landwaartse verplaatsingen beperkt tot het noordelijke deel op het traject tussen JarKus-raai 8.60 en 10.85. De maximale landwaartse verschuiving van 38 m is aanwezig in JarKus-raai 9.00. Hier springt het grensprofiel over van de eerste naar de tweede duinregel.

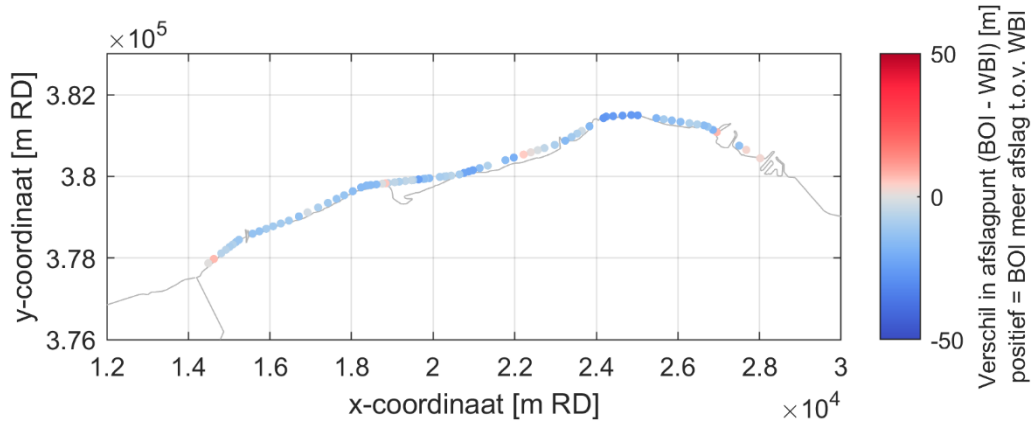


Figuur 4-28 Overzicht van het verschil in de positie van de landzijde van het grensprofiel tussen de WBI2017- en BOI-methodiek uitgaande van een gelijke overschrijdingskans op trajectniveau voor kustvak 15/16 – Noord-Beveland/Walcheren.

Samenvattend is het effect van de overstap op het BOI voor Walcheren gunstig: het grensprofiel kan veelal verder zeewaarts worden ingepast. Dit impliceert ook dat de kans op falen van de waterkering op deze locaties afneemt, wat dus ook geldt voor de overstromingskans. Daar waar er sprake is van het overspringen van de grensprofielpositie naar een verder landwaarts gelegen locatie lijkt dit goed inpasbaar in het brede duinmassief. Dit lijkt dan ook niet direct te leiden tot een grotere waterveiligheidsopgave voor het achtergelegen gebied. Een finaal oordeel vraagt echter om een meer gedetailleerde uitwerking van de overstromingskans en valt buiten de scope van de voorliggende studie.

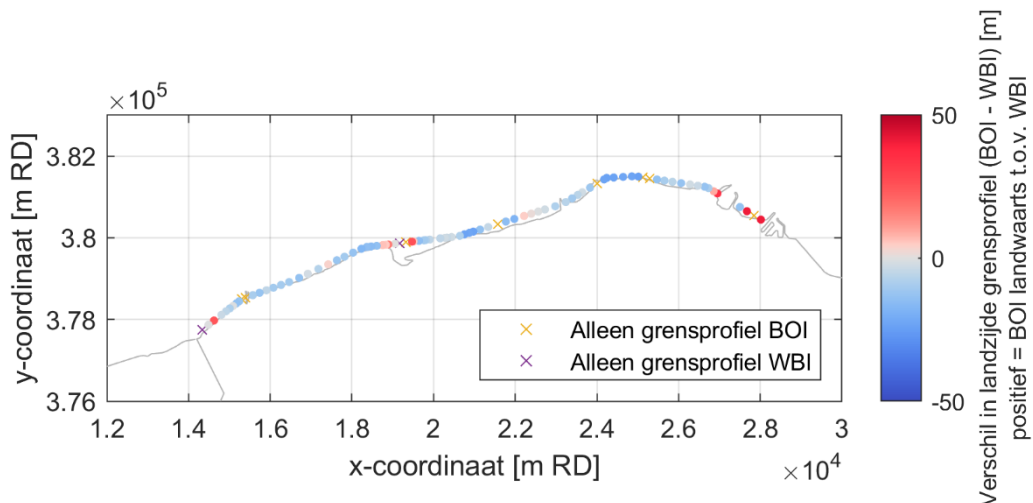
4.4.14 Zeeuws-Vlaanderen (kustvak 17)

De overstap naar het nieuwe instrumentarium leidt voor Zeeuws-Vlaanderen tot een overwegend zeewaartse verschuiving van de positie van het afslagpunt (zie Figuur 4-29). De maximale zeewaartse verschuiving bedraagt 27 m en is aanwezig in JarKus-raai 4.21. Dit is mede het gevolg van het relatief steilere afslagprofiel en de hierdoor beperktere mate van afslag.



Figuur 4-29 Overzicht van het verschil in de positie van het afslagpunt tussen de WBI2017- en BOI-methodiek uitgaande van een gelijke overschrijdingskans op trajectniveau voor Zeeuws-Vlaanderen (kustvak 17).

Het beeld voor de landwaartse positie van het grensprofiel is vergelijkbaar (zie Figuur 4-30). Op een aantal locaties is echter ook sprake van een landwaartse verplaatsing zoals voor JarKus-raai 9.20 waar deze over 26 m verschuift.



Figuur 4-30 Overzicht van het verschil in de positie van de landzijde van het grensprofiel tussen de WBI2017- en BOI-methodiek uitgaande van een gelijke overschrijdingskans op trajectniveau voor Zeeuws-Vlaanderen (kustvak 17).

Samenvattend is het beeld dat door de overwegend zeewaartse verplaatsing van het grensprofiel de faalkans van de waterkering door de overstap op het BOI afneemt. Wel zijn er een aantal specifieke locaties waar sprake is van een landwaartse verplaatsing (en daardoor juist een grotere lokale faalkans). Deze verdienen nadere aandacht en vragen om een meer gedetailleerde uitwerking van de overstromingskans van het traject. Een dergelijke uitwerking valt echter buiten de scope van de voorliggende studie.

5 Gebruikersaspecten overstap naar nieuwe instrumentarium

5.1 Inleiding

Bij het toepassen van het nieuwe instrumentarium zal de gebruiker ervaren dat er veel anders is dan vroeger. In de volgende paragrafen zijn de voor de gebruiker belangrijkste verschillen kort op een rij gezet. Daartoe is in §5.3 een overzicht gegeven van de belangrijkste resultaten van de gebruikerscursussen.

Aansluitend zijn in §5.3 de voornaamste consequenties van de meer algemene wijzingen in het BOI op een rij gezet. Tenslotte is in §5.4 ingegaan op de belangrijkste consequenties van de overstap op het nieuwe basisinstrumentarium.

5.2 Resultaten gebruikerscursussen

5.2.1 Inleiding

De volgende opsomming bevat punten waar de gebruikers tegenaan zijn gelopen bij het gebruik van XBeach en de nieuwe beoordelingssystematiek.

De ingebrachte aandachtspunten zijn hiertoe besproken per gebruiksfase. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen:

- Achtergronden en het begrip;
- De vakindeling en raaiselectie;
- De benodigde rekentijd en inspanning;
- De iteratieve aanpak;
- De interpretatie van de resultaten;
- De resterende wensen.

Nadrukkelijk wordt er op gewezen dat het hierbij niet gaat om een volledig overzicht. Per thema is kort aangegeven hoe hier mee in het nieuwe instrumentarium wordt omgegaan.

5.2.2 Achtergronden en begrip

Belangrijkste bevinding:

- *In XBeach is het voor de meeste gebruikers duidelijk 'tot waar het nat wordt' en logisch dat er dan niet nog standaard een toeslag toegepast wordt. Echter hebben sommige gebruikers er minder een gevoel bij hoe deze toeslag in het BOI verwerkt is.*

De achtergronden van het anders omgaan met de modelonzekerheid staan uitgebreid beschreven in het Engelstalige achtergrondrapport over het semi-probabilistische model (Arcadis en Deltares, 2023c). Een meer toegankelijke duiding is opgenomen in §2.5 van de voorliggende rapportage.

5.2.3 Vakindeling en raaiselectie

Belangrijkste bevindingen:

- *De vakindeling en raaiselectie is arbitrair met de nieuwe methodiek, waardoor je het risico loopt dat iemand anders op andere resultaten uit zou komen; hierdoor is de beoordeling minder goed reproduceerbaar en is er een kans op 'fouten'.*
- *De keuze voor de vakindeling en de maatgevende raaien kost veel tijd en wordt soms als lastig ervaren. De gebruiker krijgt namelijk veel meer vrijheid. Er kan bijvoorbeeld door de gebruiker gekeken worden naar het aanwezige zandvolume per raai. Op basis daarvan kan dan een keuze gemaakt worden maar dit kost veel tijd. Het vergt dus veel gebiedskennis om de vakindeling*

te maken en de maatgevende raaien te selecteren en wanneer je als gebruiker minder gebiedskennis hebt kost dit veel tijd.

Een en ander is de consequentie van het overstappen van een soort van voorschrift naar de voor BOI te volgen aanpak. De gebruiker heeft hierbij veel vrijheid en er wordt dan ook zo weinig mogelijk echt voorgeschreven. De eigen kennis van het systeem centraal staat.

De vrijheid ten aanzien van de vakindeling en raaiselectie is in lijn met de algemene BOI-aanpak. Deze insteek staat feitelijk los van het specifiek voor duinen ontwikkelde instrumentarium.

5.2.4 Benodigde rekentijd en inspanning

Belangrijkste bevindingen:

- *De gebruikers liepen er tegenaan dat de rekentijden per som erg lang zijn met XBeach.*
- *De gebruikers liepen er tegenaan dat het momenteel nog niet mogelijk is om de XBeach sommen op een rekencluster te draaien.*

Ten aanzien van de rekentijd (veelal enkele minuten per berekening) is al veel energie gestopt in het zo veel mogelijk reduceren hiervan. Feit blijft dat het uitvoeren van berekeningen iets is wat gepland moet worden. Dit kan dus ook effect hebben op de doorlooptijd van de door de gebruiker uit te voeren bewerkingen. De mogelijkheid tot uitvoeren van berekeningen buiten MorphAn is inmiddels toegevoegd.

5.2.5 Iteratieve aanpak

Belangrijkste bevindingen:

- *De gebruikers liepen er tegenaan dat er veel meer sommen doorgerekend moeten worden met de nieuwe methodiek (faalkansschatting).*
- *Aangezien je per iteratieslag (per overschrijdingskans van het afslagpunt) een andere set modelrandvoorwaarden nodig hebt, zal de gebruiker vaker dan voorheen moeten schakelen tussen Riskeer en MorphAn.*
- *Wanneer is de faalkansschatting goed genoeg/hoe vaak itereer je? Hierop is niet één antwoord te geven. Voor een beoordeling zullen vooral voor de zwakste raai(en) meerdere slagen nodig zijn, zodanig dat de overstromingskans op traject niveau duidelijk binnen één categorie valt en het traject daarmee beoordeeld kan worden. Vanuit beheerdersperspectief zal het echter wenselijk zijn om voor meer (of alle) raaien een aantal iteratieslagen uit te voeren om inzicht te krijgen de ruimtelijke variatie van de faalkans.*

De benodigde iteratieve aanpak is de consequentie van het feit dat de kans op doorbraak van de waterkering (en daarmee de kans op inundatie van het achterland) zo goed mogelijk moet worden bepaald. Hierbij is niet precies vastgelegd hoe nauwkeurig de faalkans precies moet worden bepaald. Als de wens bestaat om het aantal berekeningen te beperken kan per iteratie een analyse uitgevoerd worden om een deel van de raaien of jaren die niet bepalend zijn voor de faalkans van een vak verder niet meer mee te nemen. De hiertoe benodigde inspanning is op voorhand niet goed in te schatten.

Indien er meer doorlooptijd beschikbaar is kan er ook voor worden gekozen om simpelweg alle relevant geachte combinaties door te rekenen. Dit kan sequentieel binnen MorphAn, maar ook parallel extern waarna de resultaten van de uitgevoerde XBeach-berekeningen weer in MorphAn worden geïmporteerd. Voordeel daarvan is

bovendien dat er op deze wijze ook een compleet beeld ontstaat van de ruimtelijke en temporele variatie van de faalkans.

5.2.6 **Interpretatie resultaten**

Belangrijkste bevindingen:

- *Doordat uiteindelijk maar voor een deel van de raaien en jaren een resultaat wordt verkregen [als gekozen wordt voor reductie van het aantal berekeningen], mist inzicht in het totaalplaatje.*
- *De gebruikers ondervonden dat er soms een groot verschil is tussen de afslag berekend met Duros+ ten opzichte van de afslag met XBeach. Dit riep bij veel gebruikers vragen op, hoe dit is uit te leggen richting de bestuurders.*

Het goed kunnen duiden van de soms echt andere uitkomsten van de nieuwe methodiek is onderdeel van de voorliggende rapportage. Hierin komen in §2.2 tot en met §2.6 de inhoudelijke verschillen aan de orde. In §4.4 zijn de verwachte effecten hiervan op de uitkomsten per kustvak besproken.

5.2.7 **Aanvullende wensen**

Belangrijkste suggestie:

- *Het is voor de gebruiker nog onduidelijk hoe het effect van kustkromming pragmatisch meegenomen kan worden zolang we nog niet met XBeach 2D rekenen. Vanuit de gebruiker is een toeslag daarom gewenst.*

Suggesties voor het omgaan met het kwantificeren van het effect van kustkromming zijn inmiddels opgenomen in de handleiding. De optie tot het kunnen werken met een zogenaamde gebruikerstoeslag maakt onderdeel uit van de definitieve MorphAn-implementatie. Deze geeft ook de mogelijkheid om de effecten van NWO's of aansluitconstructies te betrekken in de faalkansanalyse.

5.3 **Consequenties algemene wijzigingen BOI**

De belangrijkste wijzigingen in het BOI hebben, zoals uitgebreider beschreven in §2.2, betrekking op het volgende:

- Er wordt veel meer eigen inbreng van de beheerder verwacht, ook ten aanzien van de vakindeling, de te beschouwen raaien en de aanpak voor een faalkansanalyse. Het eigen 'verhaal van de kering' staat hierbij centraal (zie §2.2.1).
- De overstap naar de overstromingskansbenadering waardoor er niet meer gecontroleerd moet worden of de waterkering op doorsnedeniveau aan een bepaalde norm voldoet, maar de kans op doorbreken van een traject moet worden bepaald (zie §2.2.2).
- Het lengte-effect (de factor N) wordt in het BOI gebruikt om van faalkans op raainiveau naar faalkans op vakniveau naar faalkans op trajectniveau te komen. In het WBI2017 is het lengte-effect aan het begin gebruikt om van een faalkanseis op trajectniveau naar een doorsnede-eis te komen. In het BOI wordt $N = 1,2$ als basiswaarde aanbevolen in de assemblage van vak naar traject terwijl in het WBI2017 standaard $N = 2$ werd gehanteerd (zie ook §2.2.3).
- Omdat in het BOI niet meer gewerkt wordt met een doorsnede-eis is de vaste faalkansbegroting (met een faalkansbijdrage van 70 % voor standaard duintrajecten en 10 % voor de zogenaamde 'gemengde' trajecten) komen te vervallen (zie ook §2.2.4). De faalkans ten gevolge van 'onbekende' faalmechanismen zullen binnen het BOI op trajectniveau in de assemblage door de beoordelaar zelf meegenomen moeten worden.

5.4 Consequenties wijzigingen basisinstrumentarium

5.4.1 *Vorbereiding en invoer*

Voor de aansturing van het proces-gebaseerde XBeach-model is veel meer invoer en modelinstellingen nodig mede omdat ook het tijdsverloop van een storm van belang is. Een groot deel van deze invoer is buiten het zicht van de gebruiker afgeleid en ingesteld waardoor het gebruik van het model alsnog relatief simpel is.

Voor het correct aansturen van met name de gebonden lange golven kan een zeewaartse verlenging van het door te rekenen dwarsprofiel naar voldoende diep water nodig zijn wanneer gebruik wordt gemaakt van Jarkus-raaien.

5.4.2 *Uitvoeren berekeningen*

De overstap op een proces-gebaseerd sterktemodel vraagt per berekening om significant meer (reken)tijd. Ook het in beeld krijgen van de maatgevende combinatie van raai en jaaropname vraagt veel meer doorlooptijd.

Het iteratief zoeken naar de maatgevende combinatie maakt dat niet al vroegtijdig een totaalbeeld beschikbaar is.

5.4.3 *Resultaten duinafslagmodel*

Het gebruik van een proces-gebaseerd model maakt dat de relevante fysische processen worden betrokken in de berekeningen waardoor het toepassingsbereik van het XBeach model ten opzichte van het Duros+ model is vergroot.

De resultaten per berekening hangen veel meer af van de profielvorm op de vooroever en kunnen afhankelijk van het duinprofiel in de afslagzone resulteren in sterk wisselende resultaten, zowel in ruimtelijke zin (naast elkaar gelegen raaien) als temporele zin (zelfde raai maar verschillende jaren).

De overstap naar het gebruik van diepwater hydraulische belastingen voor de Deltakust leidt tot een afwijkend resultaat omdat het effect van de lange golven hier meer van belang wordt.

5.4.4 *Grensprofiel*

Het nieuwe grensprofiel is een pragmatische methode om aan te tonen dat de kans op doorbraak (ten gevolge van vervolgprocessen) van het landwaarts van het met XBeach berekende duinfront nog resterende duinprofiel verwaarloosbaar klein is.

Omdat de dimensies van de basisgeometrie van het grensprofiel zijn gekoppeld aan de net voor het duin aanwezige hydraulische condities zal het kruinniveau van het grensprofiel afhankelijk zijn van de vorm van het duinprofiel. Dit was in WBI2017 niet het geval. Concreet betekent dit dat bij een reeks duinafslagberekeningen voor één raailocatie voor elk jaar een ander kruinniveau van het grensprofiel berekend kan worden. Dit was niet het geval bij de oude definitie, omdat deze profielonafhankelijk was door het gebruik van offshore condities.

De profielafhankelijkheid van de nieuwe grensprofieldefinitie vergt dan ook een andere benadering bij de interpretatie van de resultaten.

Ook zijn er belangrijke verschillen tussen het nieuwe alternatieve grensprofiel en het oude alternatieve (volumetrische) grensprofiel conform het TRDA uit 2006. Ten eerste bestaat het nieuwe alternatieve grensprofiel uit een uitwisseling tussen breedte en hoogte van de kruin en niet uit het simpel inpassen van een vast volume waarbij de geometrie los wordt gelaten zoals voorheen. In vergelijking tot de oude definitie van het alternatieve grensprofiel is de kruinbreedte van een 1 m lager grensprofiel ook significant toegenomen. In het BOI bedraagt de hierbij benodigde breedte op basis van de laatste inzichten 21 m terwijl deze eerder slechts 8 m bedroeg.

Ten tweede wordt alleen een kruinverlaging toegestaan tot het niveau waarop lange golven tot overloop kunnen leiden, te weten een halve meter boven het maatgevende oploophniveau van de lange golven. Dit niveau ligt meestal hoger dan het rekenpeil plus 1 m wat de minimale hoogte van het oude alternatieve grensprofiel was.

Het niet inpasbaar zijn van het grensprofiel kan daarbij worden gezien als een aanbeveling om de relevante vervolprocessen nader te onderzoeken. Dit laatste is niet nodig als er al duidelijk sprake is van een doorgebroken waterkering.

6 Conclusies

6.1 Verschillen tussen BOI en WBI2017

De verschillen tussen het BOI en het WBI2017 hebben betrekking op tal van aspecten welke deels samenhangen met de bovenliggende wijziging in de beoordelingsystematiek maar ook met de wijziging in het specifiek voor de beoordeling van zandige waterkeringen te gebruiken instrumentarium.

Op het hoogste BOI-niveau staan de volgende algemene **BOI-principes** centraal, namelijk: Een stabiel eindresultaat en transparant handelingsperspectief, een geloofwaardige overstromingskans en het centraal stellen van het systeemgedrag. In lijn met deze principes is ook de wijze van beoordeling op basis van verschillende faalmechanismen aangepast. In het BOI worden faalpaden in plaats van toetsporen geanalyseerd. In plaats van het beoordelen of elke doorsnede voldoet aan een doorsnede-eis die is gebaseerd op de trajectnorm in het WBI2017, wordt in het BOI de faalkans voor verschillende faalpaden samen op trajectniveau bepaald.

In het BOI is het empirische balansmodel Duros+ vervangen door het **proces-gebaseerde model XBeach**. Met dit nieuwe sterktemodel kunnen duinafslagberekeningen op raainiveau worden gemaakt.

Verder is de wijze waarop het lengte-effect wordt verrekend gewijzigd en is bovendien de te hanteren waarde voor de zogenaamde *N*-factor aangepast. De eerder gehanteerde faalkansbegroting is niet meer relevant en komt te vervallen.

De overstap naar het proces-gebaseerde XBeach-model maakt dat toepassingsbereik van het nieuwe model groter is dan dat het geval was met Duros+ in het WBI2017. Dit geldt zowel voor de meer complexere profielvormen als voor complexe gebieden. Voor het aansturen van dit nieuwe model zijn wel veel meer invoergegevens nodig. Een groot deel hiervan wordt echter achter de schermen van de gebruikersschil MorphAn automatisch geregeld.

Zowel in het BOI als het WBI2017 wordt voor de beoordeling van zandige waterkeringen gebruik gemaakt van een **semi-probabilistisch rekenvoorschrift** in plaats van een volledig probabilistische uitwerking. Voor het BOI zijn daartoe ook nieuwe rekenwaarden afgeleid voor het gebruik van het (1D) XBeach model.

Een belangrijk verschil tussen de semi-probabilistische voorschriften in het BOI en het WBI2017 is de wijze waarop modelonzekerheden zijn verdisconteerd in deze rekenwaarden. In het WBI2017 komen de modelonzekerheden van Duros+ expliciet terug in de formulering van het semi-probabilistische model in de vorm van een toeslag op het met het balansmodel berekende duinafslagvolume. In het BOI zijn de effecten van de modelonzekerheden van XBeach verdisconteerd in de rekenwaarde van de tijdens de maatgevende condities maximaal optredende waterstand. Er wordt daartoe een relatief gezien hogere waterstand gehanteerd als rekenpeil. Er hoeft dus geen extra toeslag in rekening te worden gebracht op het door XBeach berekende duinafslagvolume, zoals dat wel gebeurde bij Duros+.

De voornaamste invoer heeft betrekking op die van het voor de berekening benodigde maximale waterstand. In BOI is dit rekenpeil afgestemd op het gebruik van het XBeach model door bij de waterstand een fractie van de decimeringshoogte van de waterstand op te tellen. Deze fractie is een functie van de beschouwde overschrijdingsfrequentie van de positie van het afslagpunt. De resulterende waterstand is als randvoorwaarden-file in MorphAn beschikbaar.

Ook zijn er belangrijke wijzigingen doorgevoerd voor het **grensprofiel**. Het nieuwe grensprofiel is gedefinieerd als een pragmatische methode om aan te tonen dat de kans op doorbraak van het resterende duinprofiel als gevolg van niet-gemodelleerde vervolprocessen verwaarloosbaar klein is. De gebruiker is niet verplicht om het grensprofiel te gebruiken om vervolprocessen mee te nemen in de beoordeling. Als de gebruiker op een andere manier kan of wil aantonen dat de kans op doorbraak van het na duinafslag resterende duinprofiel verwaarloosbaar klein is, is dat ook toegestaan.

Het kruinniveau van het BOI-grensprofiel is gekoppeld aan de hydraulische condities ter plaatse van het duinfront. Omdat deze laatste mede afhankelijk zijn van het afslagprofiel en dus van het voor de storm aanwezige duinprofiel, hangt het kruinniveau van het grensprofiel dus ook samen met het aanwezige duinprofiel.

Ook zijn er belangrijke verschillen tussen het nieuwe alternatieve grensprofiel en het oude conform het TRDA uit 2006. Het nieuwe alternatieve grensprofiel laat een uitwisseling tussen breedte en hoogte van de kruin toe maar niet via het simpel inpassen van een vast volume waarbij de geometrie los wordt gelaten. In vergelijking tot de oude definitie van het alternatieve grensprofiel is de kruinbreedte van een 1 m lager grensprofiel ook significant toegenomen. In het BOI bedraagt de hierbij benodigde breedte 21 m terwijl deze in het WBI2017 slechts 8 m bedroeg. Daarnaast wordt alleen een kruinverlaging toegestaan tot het niveau waarop lange golven tot overloop kunnen leiden, te weten een halve meter boven het maatgevend ophoophoogte van deze lange golven (het niveau van het zogenaamde natte punt: het Z_{nat} -niveau).

6.2 Resultaten rekenkundige vergelijking op raainiveau

Aan de hand van de rekenkundige vergelijking tussen de resultaten van het semi-probabilistische model Duros+ (WBI2017) en XBeach (BOI) kunnen een aantal conclusies worden getrokken. De hiertoe beschouwde resultaten gelden specifiek voor situaties met een vergelijkbare kans op een landwaartse overschrijding van de positie van het berekende afslagpunt. Hiervoor is ook gebruik gemaakt van de 2020 profielen welke niet per se maatgevend zijn. Verder is er alleen gewerkt met een 1D benadering, zonder gebiedsanalyses en zonder rekening te houden met bijvoorbeeld de effecten van eventueel aanwezige constructies (boulevards, dijk-in-duin) en kustkromming. Tot slot zijn ook andere in het kader van de BOI doorgevoerde veranderingen hierin nog niet betrokken.

Het overstappen op een **nieuw sterktemodel** op basis van de onderliggende fysische processen maakt dat er sprake is van een tweezijdige interactie tussen de hydraulische belasting en de profielontwikkeling. Dit maakt ook dat de profielontwikkeling en dus de hoeveelheid duinafslag ook voor complexere situaties kan worden gemodelleerd. Dit was met het Duros+ model niet het geval. De resultaten in dit rapport laten dan ook zien dat er ten opzichte van het oude instrumentarium sprake is van een toegenomen aantal valide berekeningsresultaten. Het nieuwe model resulteert overigens ook in een (voor de bepaling van de overstromingskans) bruikbaar resultaat als er sprake is van een doorgebroken duin.

De tweezijdige interactie tussen hydraulische belasting en profielontwikkeling maakt ook dat de tussen BOI en WBI2017 berekende verschillen in de positie van het afslagpunt daardoor sterk afhankelijk zijn van zowel de **profielvorm** als de hydraulische condities. Dit geldt zowel voor profielen in verschillende raaien als profielen in verschillende jaren.

Voor de als karakteristiek te beschouwen Nederlandse profielen blijkt dat er grofweg sprake is van een **overeenkomstige hoeveelheid duinafslag** tussen beide instrumenten. De mediaan van alle berekeningsresultaten ligt nagenoeg op 0 m en er is dus even vaak meer als minder afslag.

De verdeling van de resultaten is niet helemaal normaal verdeeld, met name voor de gevallen van relatief meer afslag met BOI zijn enkele opvallende clusters van veel resultaten ver weg van de mediaan. Dit is veroorzaakt door onder andere de discontinue resultaten die optreden wanneer er meerdere duinrijen aanwezig zijn en het afslagpunt 'verspringt'. Meestal beperkt het verschil tussen BOI en WBI2017 zich tot (enkele) tiental(len) meters maar verschillen tot honderden meters (zowel met meer als minder afslag) zijn mogelijk wanneer het afslagprofiel door meerdere duinrijen loopt.

Met name bij lage duinen of meerdere smalle duinrijen is er in relatieve zin wel vaak sprake van een verder landwaarts gelegen afslagpunt in de XBeach-berekeningen. De vermoedelijke reden achter deze constatering is gelegen in het feit dat de lange golven voor deze profielvormen een grotere rol spelen en dit in XBeach beter meegenomen wordt dan in Duros+.

Bij relatief grote afslagvolumes is er vaak een gunstiger resultaat met BOI (minder afslag met BOI dan met WBI2017). Bij relatief kleine afslagvolumes is dit andersom. Dit resultaat is in lijn met het eerder gevonden gedrag van het Duros+ model voor de meetdata die voor de afregeling van het XBeach model zijn gebruikt.

Omdat de basisgeometrie van het grensprofiel (de hoogte) is gekoppeld aan de net voor het duinfront aanwezige hydraulische condities is het **kruinniveau van het grensprofiel** afhankelijk van de vorm van het tijdens de storm afgeslagen duinprofiel. In het WBI2017 was het kruinniveau qua golfcondities alleen afhankelijk van de golfcondities op dieper water en had het golfhoogteverloop richting het afslagfront hier geen invloed op. Dit maakt ook dat het kruinniveau van het grensprofiel in het nieuwe BOI slechts beperkt afhankelijk is van de op diep water aanwezige golfval. Afhankelijk van de locatie langs de kust leidt dit voor de basisgeometrie tot een hoger of iets lager niveau van de kruin van dit grensprofiel. Het verschil varieert tussen de -3 en +2 m. De negatieve waarden zijn aanwezig langs het noordelijke deel van de Noordzeekust en dan met name langs de Waddenkust.

6.3 Effect op overstromingskans/beleidsmatige consequenties

De vraag die zich voordoet is of de resultaten van rekenkundige vergelijkingen met het oude instrumentarium aanleiding geven om te veronderstellen dat bepaalde kustgebieden méér of minder aandacht behoeven in relatie tot waterveiligheidsvraagstukken of beheer en onderhoud. Belangrijk uitgangspunt daarbij is dat de uitkomsten niet op raainiveau, maar op trajectniveau moeten worden beschouwd.

Voor deze uitwerking is uitgegaan van een voor WBI2017 en BOI vergelijkbare overschrijdingskans op trajectniveau. Het vervallen van de faalkansbegroting en de aanpassing van het lengte-effect leidt er toe dat hierdoor voor BOI kan worden uitgegaan van een factor 2,37 gunstiger/kleinere faalkans.

Hierbij leveren de resultaten voor de BOI-methodiek nog net wat minder afslag dan in de directe rekenkundige vergelijking zijn beschreven.

Per kustvak is daartoe zowel het verschil in de positie van het afslagpunt als van de landwaartse zijde van het grensprofiel beschouwd. De doorvertaling naar een effect op de faalkans (en de hiermee verband houdende overstromingskans) is gebaseerd op een interpretatie van dit laatste verschil. Een (zelfs) lokale landwaartse verplaatsing van het grensprofiel gaat immers samen met een toename van de

faalkans van de waterkering. De mate waarin deze laatste wijziging is niet expliciet gekwantificeerd. Er is met name aangegeven of en op welk deel van het kustvak zich mogelijk een ongunstige (of gunstige) wijziging voordoet.

Op basis van de resultaten voor de hele Nederlandse Noordzeekust blijkt dat het **BOI afslagpunt** qua mediaan 10 m verder zeewaarts ligt dan die van het WBI2017. Ook is er in dit geval sprake van de eerdergenoemde grote spreiding waarbij de verschillen meestal beperkt blijven tot (enkele) tiental(len) meters maar verschillen tot honderden meters (zowel met meer als minder afslag) zijn mogelijk wanneer het afslagprofiel door meerdere duinrijen loopt.

Ook het effect op de het **kruinniveau van het grensprofiel** is bekeken.

Voor de zuidelijke Deltakust (Zeeuws-Vlaanderen en Walcheren) zijn de verschillen verwaarloosbaar en langs de noordelijke Deltakust neemt het verschil vanaf Schouwen geleidelijk toe tot maximaal 2 m voor Voorne. Langs de Hollandse kust geldt dat er voor het zuidelijke deel (Delfland en Rijnland) sprake is van een toename van grofweg 1 m in het kruinniveau terwijl er voor het noordelijke deel gemiddeld sprake is van een zeer beperkt effect. Voor de Waddeneilanden is een duidelijke reductie in het benodigde kruinniveau aanwezig waarbij deze afname oploopt van 0 m op Texel tot 3 m op de oostelijk gelegen eilanden.

Op basis van de detailresultaten is ook een eerste inschatting gegeven van de effecten op het niveau van kustvakken.

Voor de **Waddeneilanden** verschilt het beeld sterk per eiland en er zijn behoorlijk veel resultaten die grote verschillen tonen, zowel in termen van meer of minder afslag. De oorzaak ligt onder andere in het feit dat de profielen op Waddeneilanden vaak zijn gekenmerkt door meerdere duinenrijen. Wanneer een duinregel wel (of niet) doorbreekt met BOI en dit niet deed (of wel) met WBI2017, kan het resulterende afslagpunt sterk landwaarts (of zeewaarts) verspringen. Ook ten aanzien van de positie van de landzijde van het grensprofiel is een wisselend beeld met meer en minder landwaartse verschuiving aanwezig.

Over het algemeen is er op Vlieland en Texel (kustvak 5 en 6) meestal minder afslag met BOI-methodiek ten opzichte van WBI2017-methodiek. Ook het grensprofiel ligt hier verder zeewaarts, dit afgezien van de raailocatie op de noordpunt van Texel en een aantal specifieke JarKus-raaien op Vlieland.

Schiermonnikoog, Ameland en Terschelling (kustvak 2-4) tonen voornamelijk resultaten met meer afslag met BOI. Ook zijn er uitschieters andere kanten op. Voor Terschelling leidt het aangepaste grensprofiel tot een overwegend (gunstige) zeewaartse verplaatsing van de landzijde van het grensprofiel. De kans op falen van de waterkering en overstroming van het achterland neemt hiermee af. Op een aantal zeer specifieke locaties is er echter wel sprake van een landwaartse verplaatsing van de landzijde van het grensprofiel waardoor de kans op falen van de waterkering potentieel toeneemt.

Voor Ameland is er op kustvakniveau sprake van een wisselend beeld waarbij de positie van het maatgevende afslagpunt op met name het centrale deel voor BOI verder landwaarts is gelegen. In het meest oostelijke en westelijke deel slaat het duin juist minder ver af. Een deel van de meer teruggang van het afslagpunt op het centrale deel wordt gecompenseerd door het effect van een beter inpasbaar zijnd grensprofiel. Het effect van de overstap op de BOI-methodiek voor kustvak Ameland is over het algemeen positief in de zin dat het grensprofiel voor BOI verder zeewaarts kan worden ingepast.

Voor Schiermonnikoog leidt de overstap op de nieuwe BOI-methodiek tot een sterk wisselend beeld en zijn er locaties waar er sprake is van een duidelijk landwaartse verplaatsing van de landzijde van het grensprofiel. De consequentie hiervan is dat de

kans op lokaal falen van de waterkering hiermee toeneemt. Het vaststellen in hoeverre dit – gezien de omvang van de hier aanwezige zandige waterkering – tot een waterveiligheidsopgave leidt, vraagt om een meer gedetailleerde beschouwing op raainiveau waarbij de resultaten in samenhang moeten worden bekeken, en een volledige faalkansanalyse waarmee de overstromingskans bepaald wordt.

Langs de **Hollandse Kust**, kustvakken Noord-Holland, Rijnland en Delfland (7 t/m 9), is voornamelijk minder afslag berekend met BOI. Er zijn er echter ook verscheidene locaties die meer afslag laten zien. Dit betreft met name de locaties waar meerdere duinenrijen aanwezig zijn, waar een lager kruinniveau aanwezig is en/of waar een boulevard is gesitueerd en het resultaat van een 'eenvoudige' duinafslagberekening sowieso niet voldoende is.

Het beschouwen van de positie van de landwaartse grens van het grensprofiel leidt tot een vergelijkbare conclusie waarbij ook hier veelal een zeewaartse verschuiving wordt gevonden.

Aanbevolen wordt om de consequenties van deze overstap voor de locaties met een landwaartse verschuiving van de landzijde van het grensprofiel in meer detail te beschouwen. Aandachtsgebieden zijn daarbij voor kustvak Noord-Holland de directe omgeving van de Hondsbossche en Pettemer Zeewering en de aansluiting op de haven dam bij IJmuiden. Voor Rijnland verdienen de kustlocaties Noordwijk en Katwijk aanvullende aandacht. Voor Delfland vraagt met name de situatie ter plaatse van Scheveningen om een nadere uitwerkingsslag.

Langs de **Deltakust**, kustvakken Voorne, Goeree en Schouwen (11-13) en Noord-Beveland, Walcheren en Zeeuws-Vlaanderen (15-17), tonen de resultaten een wisselend beeld van meer of minder afslag met BOI. Dit geldt ook voor ten aanzien van de positie van de landzijde van het grensprofiel. Wel is er voor de zuidelijker sectie gemiddelde genomen een gunstiger beeld aanwezig. Ook langs dit gebied zijn er veel complexe duinprofielen, bijvoorbeeld met meerdere duinenrijen of nabije geulen. Het WBI2017 is hier niet altijd in staat om tot een rekenresultaat te komen. Met BOI zijn voor deze profielen vaker wel resultaten te genereren.

Voor het kustvak Voorne leidt de overstap op het BOI voor een groot deel van de raaien tot een landwaartse verplaatsing van de landzijde van het grensprofiel en daarmee tot een toename van de faalkans van de waterkering. Gezien de omvang van het hier aanwezige duinmassief wordt niet verwacht dat dit direct zal resulteren in een waterveiligheidsopgave. Een soortgelijke conclusie is ook van toepassing voor het kustvak Goeree. Voor kustvak Schouwen wordt voor met name het noordelijk deel een soms omvangrijke landwaartse verplaatsing van de landzijde van het grensprofiel gevonden. Voor het effect daarvan op de uiteindelijke overstromingskans is een meer gedetailleerde uitwerking nodig waarin de resultaten op raainiveau ook in onderlinge samenhang moeten worden beschouwd. Voor Noord-Beveland is het beeld dat de overstap op de BOI-methodiek voor dit traject geen grote consequenties heeft voor de faalkans van de waterkering.

Voor Walcheren kan het grensprofiel veelal verder zeewaarts worden ingepast. Daar waar er sprake is van het overspringen van de grensprofielpositie naar een verder landwaarts gelegen locatie lijkt dit goed inpasbaar in het brede duinmassief en niet direct aanleiding tot een ongunstige mutatie in de overstromingskans van het achtergelegen gebied. Een finaal oordeel is vraagt echter om een meer gedetailleerde uitwerking op raainiveau en valt buiten de scope van de voorliggende studie.

Voor Zeeuws-Vlaanderen is sprake van een overwegend zeewaartse verplaatsing van het grensprofiel waarmee de faalkans van de waterkering door de overstap op de BOI-methodiek afneemt. Wel zijn er een aantal specifieke locaties waar een landwaartse verplaatsing (en daardoor juist een toename van de faalkans) aanwezig

is. Deze verdienen nadere aandacht en vragen om een meer gedetailleerde uitwerking op raainiveau.

Samenvattend is het effect gemiddeld positief en leidt de overstap naar het nieuwe instrumentarium voor grote delen van de kust waarschijnlijk tot een kleinere berekende overstromingskans. Wel is het zo dat er grote variaties aanwezig kunnen zijn waarbij een lokale raai en deelsectie aanmerkelijk meer afslag laat zien en dus ook op trajectniveau kan resulteren in een grotere kans op doorbraak van de zandige waterkering.

Voor het daadwerkelijk kwantificeren van het effect op de uiteindelijke overstromingskans is een meer gedetailleerde uitwerking nodig waarin de resultaten op raainiveau ook in onderlinge samenhang moeten worden beschouwd en een volledige faalkansanalyse waarmee de overstromingskans bepaald wordt. Een dergelijke uitwerking valt buiten het kader van de voorliggende verkennende studie.

6.4 Gebruikersaspecten

Bij het toepassen van het nieuwe instrumentarium zal de gebruiker ervaren dat er veel anders is dan vroeger. Om hierbij behulpzaam te zijn, zijn de voor de gebruiker belangrijkste verschillen op een rij gezet. Daarbij is ook gebruik gemaakt van de belangrijkste resultaten van de gebruikerscursussen.

De verschillen hebben zowel te maken met de wijziging in de **bovenliggende BOI-methodiek** en hebben met name betrekking op de volgende aspecten:

- Er wordt veel meer eigen inbreng van de beheerder verwacht, ook ten aanzien van de vakindeling en de te beschouwen raaien. Het eigen 'verhaal van de kering' staat hierbij centraal.
- De overstap naar de overstromingskansbenadering waardoor er niet meer gecontroleerd moet worden of de waterkering op doorsnedeniveau aan een bepaalde norm voldoet, maar de kans op doorbreken van een traject moet worden bepaald.
- Het lengte-effect (de factor N) wordt in het BOI gebruikt om van faalkans op raainiveau naar faalkans op vakniveau naar faalkans op trajectniveau te komen. In het WBI2017 wordt het lengte-effect aan het begin gebruikt om van een faalkanseis op trajectniveau naar een doorsnede-eis te komen. In het BOI wordt $N = 1,2$ als basiswaarde aanbevolen in de assemblage van vak naar traject terwijl in het WBI2017 standaard $N = 2$ werd gehanteerd.
- Omdat in het BOI niet meer gewerkt wordt met een doorsnede-eis is de vaste faalkansbegroting komen te vervallen.

Daarnaast zijn er ook een aantal veranderingen die specifiek samenhangen met het **nieuwe instrumentarium voor duinen**.

Met betrekking tot de voorbereiding en invoer van het rekenmodel:

- Voor de aansturing van het proces-gebaseerde XBeach-model is veel meer invoer en modelinstellingen nodig omdat in het BOI ook het tijdsverloop van een storm van belang is. Een groot deel van deze invoer is buiten het zicht van de gebruiker afgeleid waardoor het gebruik van het model alsnog relatief simpel is.
- Voor het correct aansturen van met name de gebonden lange golven kan een zeewaartse verlenging van het door te rekenen dwarsprofiel naar voldoende diep water nodig zijn wanneer gebruik wordt gemaakt van JarKus-raaien.

Met betrekking tot het uitvoeren van de berekeningen is het volgende van belang:

- De overstap op een proces-gebaseerd sterktemodel vraagt per berekening om significant meer (reken)tijd.
- Het in beeld krijgen van de maatgevende combinatie van raai en jaaropname vraagt veel meer doorlooptijd.
- Het iteratief zoeken naar de maatgevende combinatie maakt dat niet al vroegtijdig een totaalbeeld beschikbaar is.

Ten aanzien van de resultaten van het model is specifiek te noemen dat:

- Het gebruik van een proces-gebaseerd model maakt dat de relevante fysische processen worden betrokken in de berekeningen waardoor het toepassingsbereik van het model ten opzichte van het Duros+ model is vergroot.
- De overstap naar het gebruik van diepwater hydraulische belastingen voor de Deltakust leidt mogelijk tot een afwijkend resultaat ten opzicht ervan het WBI2017.

Ook ten aanzien van het grensprofiel zijn een belangrijke wijzigingen:

- Het nieuwe grensprofiel is een pragmatische methode om aan te tonen dat de kans op doorbraak van het landwaarts van het met XBeach berekende duinfront nog resterende duinprofiel verwaarloosbaar klein is.
- Omdat de hoogte van het grensprofiel is gekoppeld aan de net voor het duinfront aanwezige hydraulische condities zal het kruinniveau van het grensprofiel indirect afhankelijk zijn van de vorm van het duinprofiel. Concreet betekent dit dat bij een reeks duinafslagberekeningen voor één raailocatie (meerdere metingen/jaren), voor elke individuele berekening een andere grensprofielomvang berekend kan worden. Dit was niet het geval bij de oude definitie, omdat deze profielonafhankelijk was door het gebruik van offshore condities. De profielafhankelijkheid van de nieuwe grensprofieldefinitie, in combinatie met de wijzigingen in de alternatieve manier om het grensprofiel in te passen, vergt wel een andere benadering bij de interpretatie van de resultaten.
- Het niet inpasbaar zijn van het grensprofiel kan worden gezien als een aanbeveling om de relevante vervolgprocessen nader te onderzoeken. Dit laatste is niet nodig als er al duidelijk sprake is van een doorgebroken waterkering.
- De gebruiker is niet verplicht om voor het meenemen van de vervolgprocessen deze definitie van het grensprofiel te gebruiken. Als de gebruiker op een andere manier kan of wil aantonen dat de kans op doorbraak van het na duinafslag resterende duinprofiel verwaarloosbaar klein is, is dat ook toegestaan. Hiertoe kan gebruik worden gemaakt van andere modellen, maar ook een goed beargumenteerd beheerdersoordeel behoort tot de mogelijkheden.

Referenties

- Arcadis. (2021). *Memo: BOI Zandige Keringen - Selectie representatieve kustprofielen*. Auteur: Robbin Van Santen. Definitieve versie v1.0, 17 maart 2021. Achtergronddocument bij het BOI.
- Arcadis en Deltares. (2022). *Validation of dune erosion model XBeach - Development of 'BOI Sandy Coasts'*. Auteurs: Coumou, L., Van Santen, R., Van der Baan, J., McCall, R., De Bakker, A., Quataert, E. en De Goede, R. Definitieve versie 3.0, 21 maart 2022. Achtergrondrapport bij het BOI. Gepubliceerd door Rijkswaterstaat.
- Arcadis en Deltares. (2023a). *Achtergrond Sterktemodel Duinafslaginstrumentarium. Definitieve versie 2.1, 26 januari 2023*. Auteurs: Steetzel, H., Van Santen, R., Coumou, L., McCall, R., De Goede, R., De Bakker, A. Achtergrondrapport basisinstrumentarium BOI. Gepubliceerd door Rijkswaterstaat.
- Arcadis en Deltares. (2023b). *Handleiding Overstromingskansanalyse Faalpad Duinafslag*. Auteurs: Coumou, L., Van Santen, R., Steetzel, H. en McCall, R. Definitieve versie 1.0, 3 februari 2023. Onderdeel van basisinstrumentarium BOI. Gepubliceerd door Rijkswaterstaat.
- Arcadis en Deltares. (2023c). *Semi-probabilistic model for XBeach - Definition of a semi-probabilistic method for 'BOI Sandy Flood Defences'*. Auteurs: Steetzel, H., Lenstra, K., Velhorst, R. en Van der Baan, J. Definitieve versie 3.1, 3 januari 2023. Achtergrondrapport basisinstrumentarium BOI. Gepubliceerd door Rijkswaterstaat.
- Deltares. (2014). *Methode voor het bepalen van HR Duinen voor WTI2017*. Kenmerk 1209433-004.
- Deltares. (2016). *Fenomenologische beschrijving faalmechanismen WTI*. In opdracht van Rijkswaterstaat WVL. Kenmerk 1220078-000-GEO-0010-gbh, Versie 3, definitief.
- Deltares. (2021a). *BOI - Scaling of dimensional parameters in XBeach*. Auteurs: De Bakker, A., Van der Lugt, M., De Vet, L., De Goede, R., McCall, R. en Roelvink, D. Kenmerk 11205758-029-GEO-0002. Definitieve versie 0.2, 22 maart 2021. Achtergrondrapport bij het BOI.
- Deltares. (2021b). *Boundary condition guidelines for XBeach simulations - methodology for the representation of infragravity waves in varying water depth and wave conditions*. Auteurs: De Ridder, M., De Bakker, A., McCall, R. en Van Dongeren, A. Kenmerk 11205758-029-GEO-0003. Definitieve versie 0.2, 19 maart 2021. Achtergrondrapport bij het BOI.
- Deltares. (2021c). *XBeach BOI - Approaches to reduce calculation time*. Auteurs: De Goede, R., De Ridder, M., Quataert, E. en McCall, R. Kenmerk 11205758-029-GEO-0012. Definitieve versie 1.0, 29 april 2021. Achtergrondrapport bij het BOI.
- Deltares. (2022a). *Gebruikershandleiding MorphAn - Analysetool voor zandige kusten*. Versie 22.1.1., 19 december 2022.
- Deltares. (2022b). *Gebruikershandleiding Riskeer - Software voor de veiligheidsanalyse van primaire waterkeringen*. Versie 22.1.2., 5 december 2022. Onderdeel van basisinstrumentarium BOI.
- Deltares. (2022c). *Memo: Hydraulische databases voor Duinen t.b.v. LBO-2*. Auteur: Karolina Wojciechowska. Kenmerk: 11208059-005-GEO-0001. Versie 12 december 2022. Achtergronddocument bij het BOI.
- Deltares en Arcadis. (2019). *Plan van Aanpak Vernieuwd Instrumentarium Zandige Keringen*. Auteurs: McCall, R., Van Santen, R., Van Dongeren, A. en Steetzel, H. Kenmerk 11203720-014-GEO-0001.

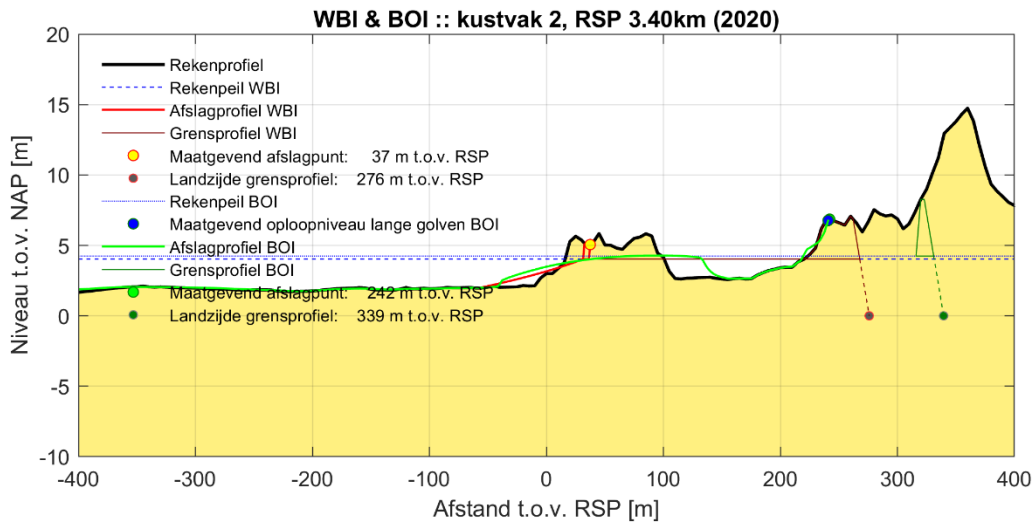
- Deltares en Arcadis. (2020). *Wave spreading and sediment size effects in the XBeach model*. Auteurs: McCall, R., Quataert, E., De Bakker, A., De Ridder, M. Van Santen, R. en Steetzel, H. Kenmerk 11203720-030-GEO-0002. Definitieve versie 0.1, 5 maart 2020. Achtergrondrapport bij het BOI.
- Deltares en Arcadis. (2022a). *BOI Standaard instellingen - Kalibratie van de XBeach model parameters*. Auteurs: McCall, R., De Bakker, A., Quataert, E., De Goede, R., De Vet, L., De Ridder, M., Van Der Lugt, M., Roelvink, D., Van Santen, R., Steetzel, H en Coumou, L. Kenmerk: 11206818-018-GEO-0006. Definitieve versie 1.0, 3 maart 2022. Achtergrondrapport bij het BOI. Gepubliceerd door Rijkswaterstaat.
- Deltares en Arcadis. (2022b). *Korte Rekenkundige vergelijking rekenkernels DUROS+ en XBeach*. Auteur: McCall, R. Kenmerk 11206818-018-GEO-0003. Definitieve versie 1.0, 23 maart 2022. Achtergronddocument bij het BOI.
- ENW. (2007). *Technisch Rapport Duinafslag - Beoordeling van de veiligheid van duinen als waterkering ten behoeve van Voorschrift Toetsing op Veiligheid 2006 (TRDA2006)*.
- HKV. (2015). *Afleiden lengtefactoren (N-waarden) golfoverslag en duinafslag. Memo PR3085-10, juni 2015*.
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu. (2016). *Schematiseringshandleiding duinafslag WBI 2017*. Definitieve versie 2.0.
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu. (2017). *Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017 - Bijlage III Sterkte en veiligheid*.
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (2022). *Omgevingsregeling inclusief bijlage XXXIIA (Procedure beoordeling primaire waterkeringen) en XXXIIB (Randvoorwaarden beoordeling primaire waterkeringen)*. Onderdeel van procesinstrumentarium BOI.
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (2023). *Technische Leidraad Katern Zandige Waterkeringen*. Definitieve versie 1.0, 7 februari 2023. Definitieve versie vanaf juli 2023 online te raadplegen via t1.iplo.nl. Onderdeel van basisinstrumentarium BOI. Gepubliceerd door Rijkswaterstaat.
- Rijkswaterstaat. (2022a). *Handleiding Overstromingskansanalyse*. Conceptversie 0.9, december 2022. Onderdeel van basisinstrumentarium BOI.
- Rijkswaterstaat. (2022b). *Memo: Uitvoer HR Zandige Waterkeringen*. Auteurs: Stefan Pluis en Niels van Kuik. Definitieve versie, 30 november 2022. Achtergronddocument bij het BOI.
- TAW. (1984). *Leidraad voor de beoordeling van de veiligheid van duinen als waterkering*.

Bijlage A: Randvoorwaarden WBI2017 en BOI voor basisprofielen t.b.v. verkennende analyse

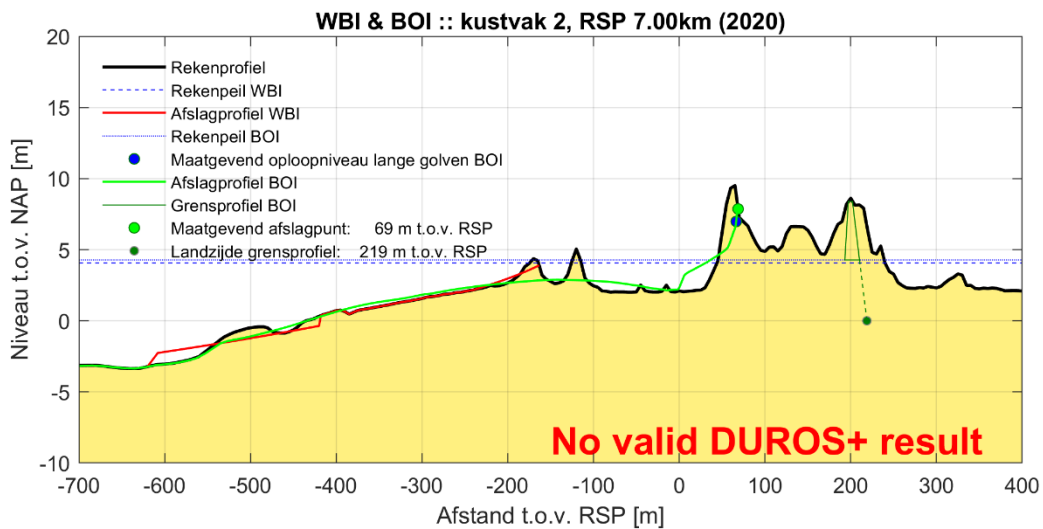
In de onderstaande tabel zijn de modelrandvoorwaarden voor de basisprofielen opgesomd zoals deze zijn gebruikt in de rekenkundige verkennende analyse met een gelijke overschrijdingskans van het afslagpunt voor de Duros+ en XBeach duinafslagberekeningen. Merk op dat het hiertoe gebruikte rekenwaarden van het WBI2017 en BOI verschillen (namelijk: hydraulische condities zwaarder en D₅₀ kleiner bij het BOI).

Raai	Overschrijdings- kans ξ van het afslagpunt	WBI2017 - Duros+				BOI - XBeach					
		RP [m +NAP]	H _s [m]	T _p [s]	D ₅₀ [m]	RP [m +NAP]	H _s [m]	T _p [s]	D ₅₀ [m]	Gem. getij amplitude [m]	Fasever- schuiving [u]
2-3.40	1/1.000	4,03	9,55	18,50	0,000166	4,25	10,04	18,08	0,000168	1,03	3,5
2-7.00	1/1.000	4,06	9,54	18,73	0,000162	4,28	10,04	18,31	0,000164	1,05	3,5
3-6.00	1/1.000	3,95	9,58	18,02	0,000176	4,17	10,05	17,59	0,000178	0,93	3,5
3-10.00	1/1.000	3,97	9,57	18,10	0,000167	4,18	10,05	17,67	0,000176	0,95	3,5
4-9.00	1/3.000	4,11	10,19	17,95	0,000185	4,36	10,73	17,69	0,000187	0,84	3,5
4-17.00	1/3.000	4,14	10,19	18,15	0,000186	4,39	10,74	17,89	0,000188	0,85	3,5
5-43.77	1/300	3,48	9,00	16,06	0,000192	3,63	9,34	15,45	0,000194	0,84	3,5
5-52.89	1/300	3,55	8,95	16,53	0,000191	3,71	9,31	15,90	0,000194	0,84	3,5
6-11.90	1/3.000	4,08	9,65	16,44	0,000204	4,34	10,12	16,36	0,000207	0,76	3,5
6-18.53	1/3.000	4,04	9,87	16,66	0,000192	4,28	10,36	16,48	0,000194	0,81	3,5
7-3.08	1/3.000	4,14	9,37	16,14	0,000229	4,41	9,82	16,20	0,000232	0,72	3,5
7-9.28	1/3.000	4,18	9,29	16,06	0,000254	4,46	9,74	16,13	0,000259	0,75	3,5
7-14.83	1/3.000	4,22	9,20	15,95	0,000250	4,51	9,63	16,05	0,000256	0,77	3,5
7-19.55	1/3.000	4,26	9,12	15,86	0,000238	4,56	9,54	15,98	0,000241	0,79	3,5
7-37.75	1/3.000	4,46	8,69	15,32	0,000243	4,80	9,07	15,61	0,000252	0,82	3,5
8-66.25	1/30.000	5,48	8,90	15,36	0,000180	6,07	9,31	15,89	0,000184	0,85	3,5
8-81.75	1/30.000	5,45	8,53	14,44	0,000218	6,03	8,92	14,94	0,000221	0,86	3,5
9-99.75	1/30.000	5,43	8,17	13,60	0,000209	6,00	8,54	14,03	0,000217	0,88	3,5
9-111.96	1/30.000	5,41	7,78	12,74	0,000211	5,97	8,13	13,05	0,000214	0,88	3,5
9-118.25	1/30.000	5,40	7,58	12,31	0,000251	5,95	7,92	12,52	0,000255	0,88	3,5
11-10.02	1/30.000	5,50	3,00	13,38	0,000150	6,01	7,13	12,06	0,000171	1,01	3,5
12-10.00	1/3.000	4,78	3,92	12,71	0,000207	5,10	6,31	11,27	0,000212	1,11	3,5
13-5.29	1/3.000	4,86	2,63	12,55	0,000207	5,18	5,89	11,03	0,000210	1,26	3,5
15-3.00	1/3.000	4,99	3,26	12,19	0,000239	5,30	5,21	10,64	0,000240	1,49	3,5
16-15.30	1/3.000	5,02	4,95	12,11	0,000308	5,32	5,09	10,57	0,000316	1,56	3,5
17-10.46	1/1.000	4,89	4,29	12,00	0,000204	5,09	4,30	9,99	0,000214	1,82	3,5

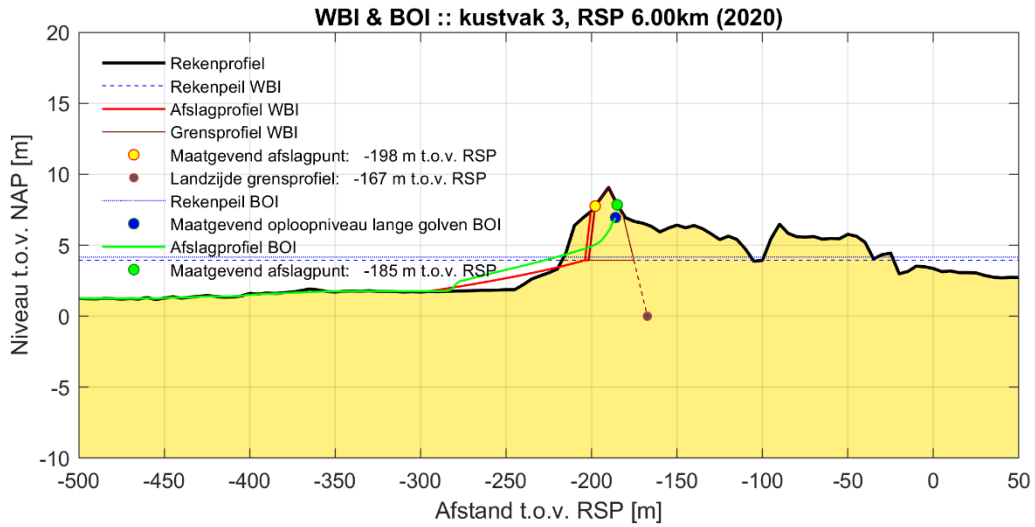
Bijlage B: Rekenresultaten voor basisprofielen



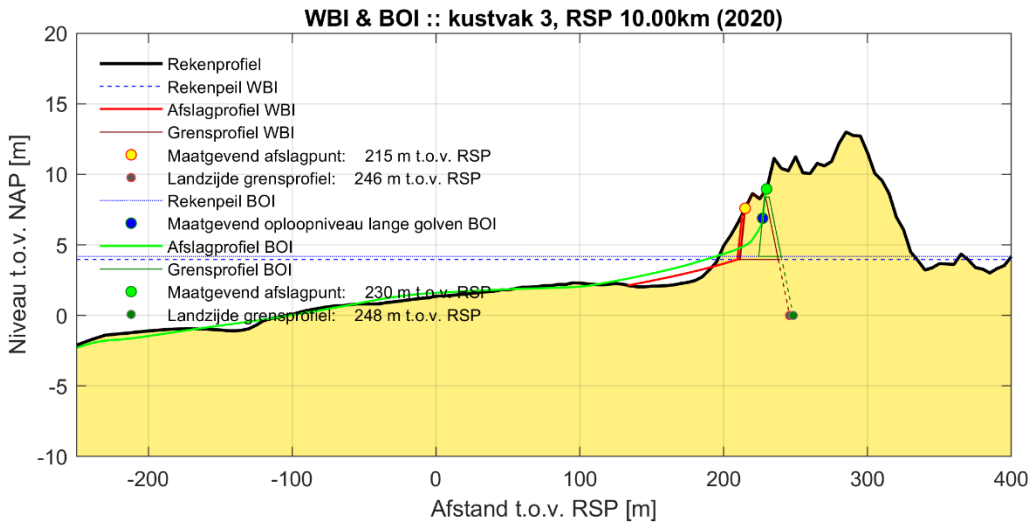
Figuur B - 1 Resultaat van WBI2017- en BOI-berekening voor JarKus-raai 3.40 op Schiermonnikoog (kustvak 2) voor een overschrijdingskans van het afslagpunt van 1/1.000 per jaar op raainiveau.



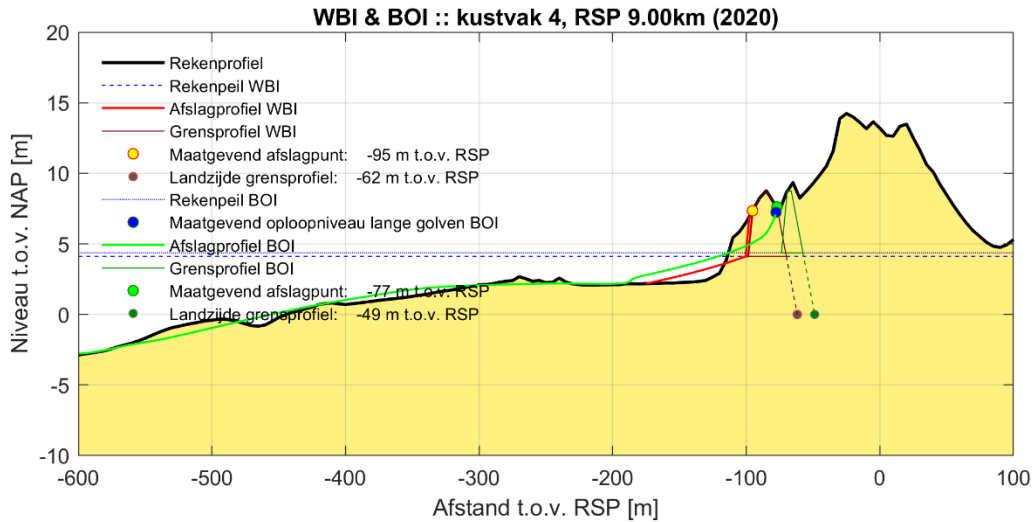
Figuur B - 2 Resultaat van WBI2017- en BOI-berekening voor JarKus-raai 7.00 op Schiermonnikoog (kustvak 2) voor een overschrijdingskans van het afslagpunt van 1/1.000 per jaar op raainiveau.



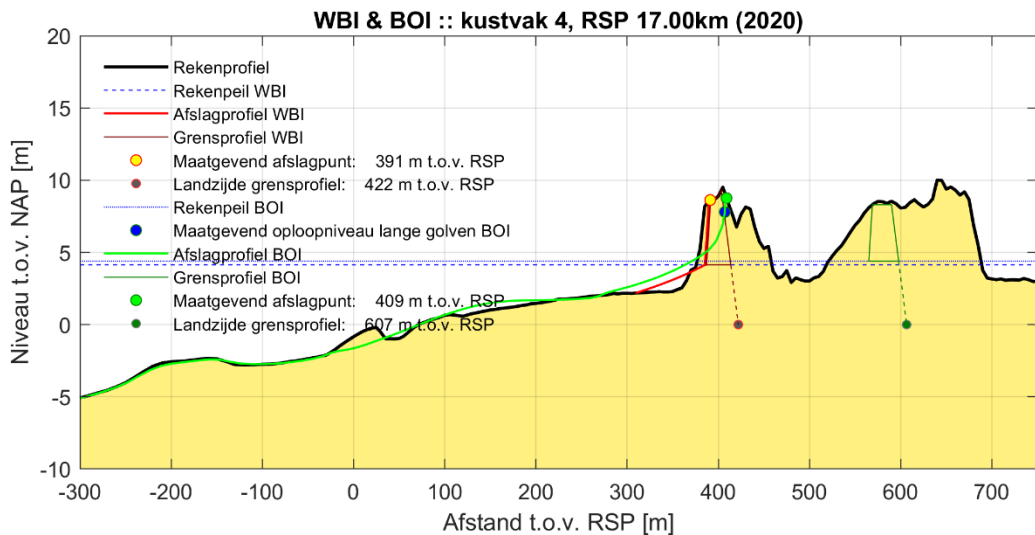
Figuur B - 3 Resultaat van WBI2017- en BOI-berekening voor JarKus-raai 6.00 op Ameland (kustvak 3) voor een overschrijdingskans van het afslagpunt van 1/1.000 per jaar op raainiveau. Grensprofiel niet meer inpasbaar voor BOI.



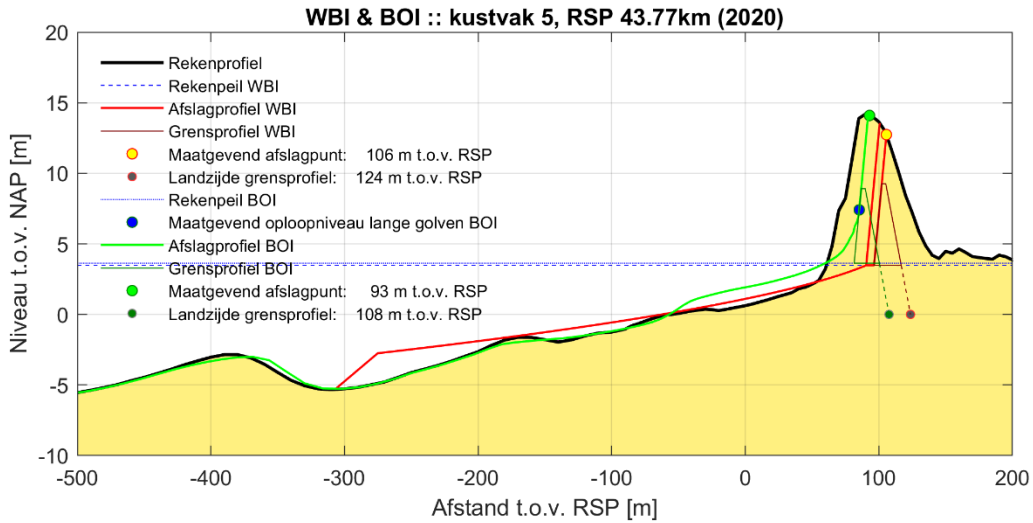
Figuur B - 4 Resultaat van WBI2017- en BOI-berekening voor JarKus-raai 10.00 op Ameland (kustvak 3) voor een overschrijdingskans van het afslagpunt van 1/1.000 per jaar op raainiveau.



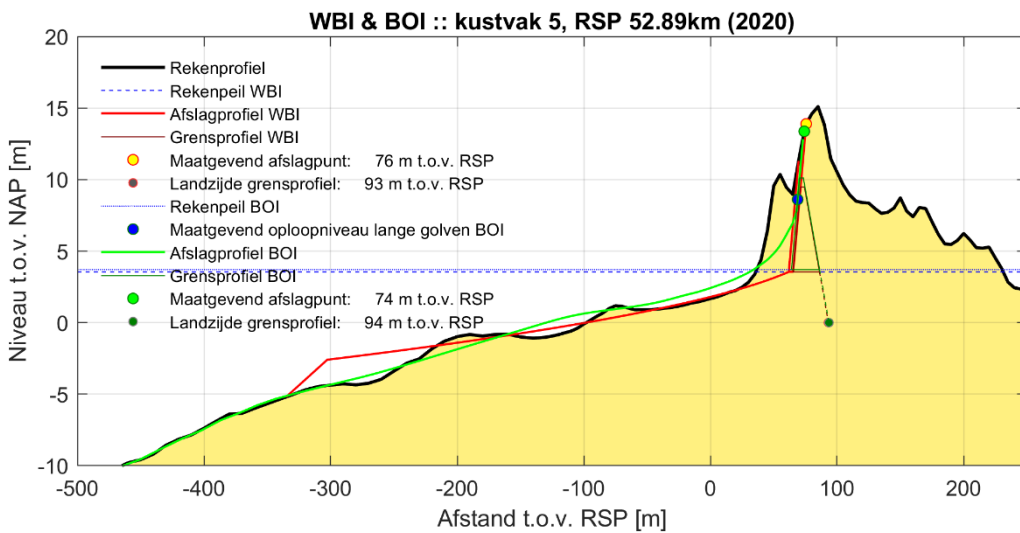
Figuur B - 5 Resultaat van WBI2017- en BOI-berekening voor JarKus-raai 9.00 op Terschelling (kustvak 4) voor een overschrijdingskans van het afslagpunt van 1/3.000 per jaar op raainiveau.



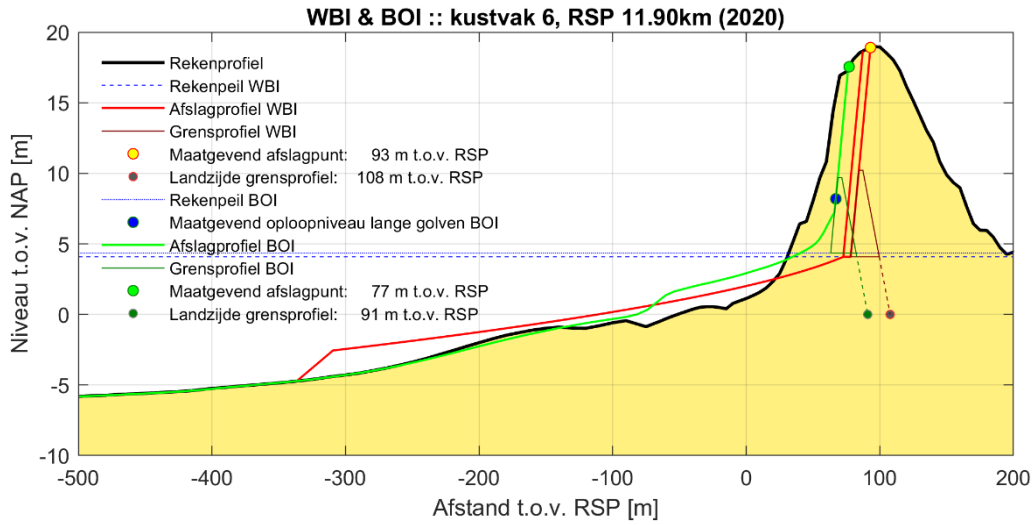
Figuur B - 6 Resultaat van WBI2017- en BOI-berekening voor JarKus-raai 17.00 op Terschelling (kustvak 4) voor een overschrijdingskans van het afslagpunt van 1/3.000 per jaar op raainiveau.



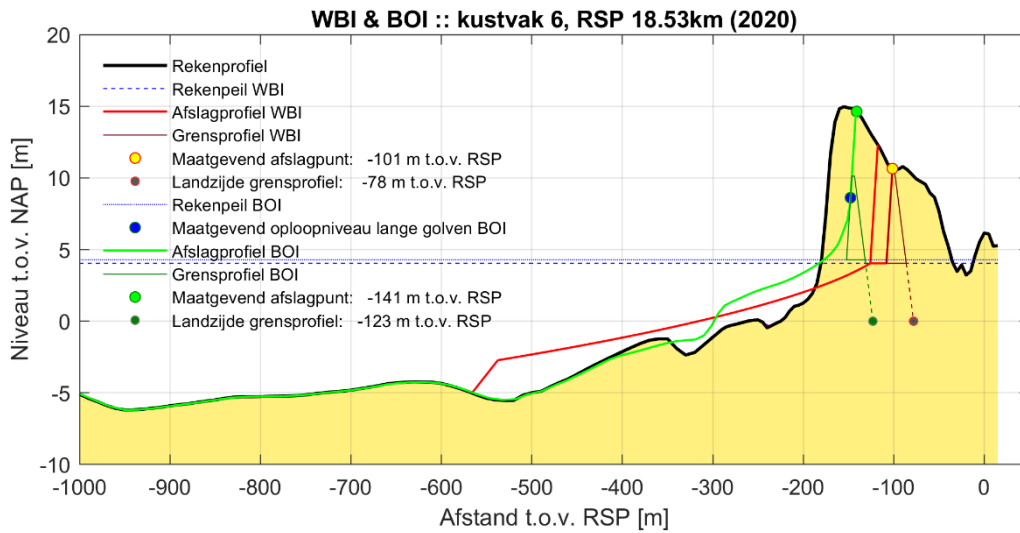
Figuur B - 7 Resultaat van WBI2017- en BOI-berekening voor Jarkus-raai 43.77 op Vlieland (kustvak 5) voor een overschrijdingskans van het afslagpunt van 1/300 per jaar op raainiveau.



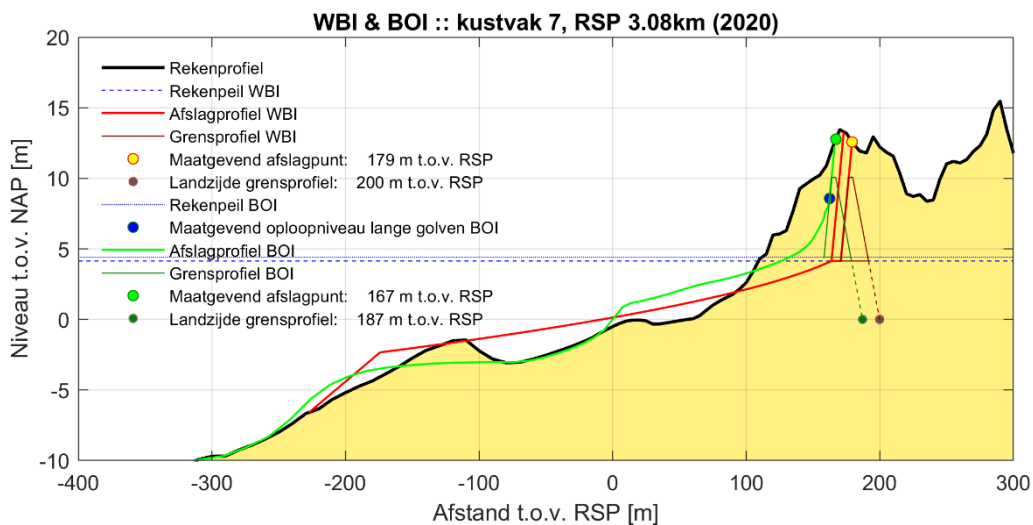
Figuur B - 8 Resultaat van WBI2017- en BOI-berekening voor Jarkus-raai 52.89 op Vlieland (kustvak 5) voor een overschrijdingskans van het afslagpunt van 1/300 per jaar op raainiveau.



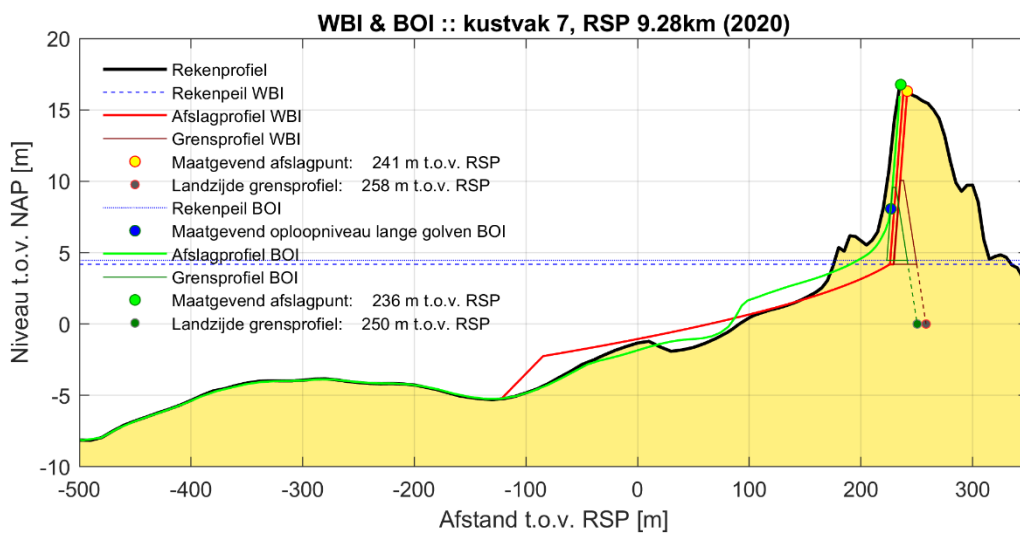
Figuur B - 9 Resultaat van WBI2017- en BOI-berekening voor JarKus-raai 11.90 op Texel (kustvak 6) voor een overschrijdingskans van het afslagpunt van 1/3.000 per jaar op raainiveau.



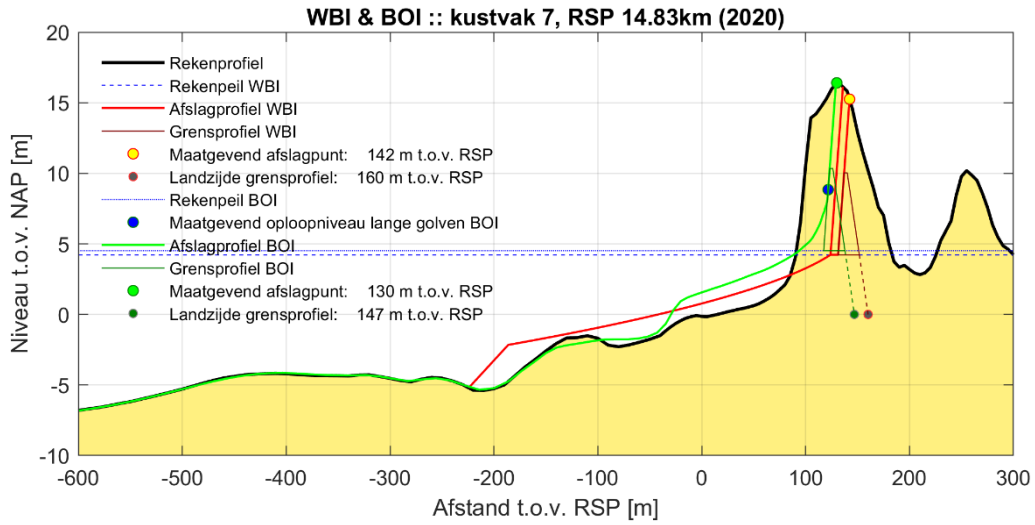
Figuur B - 10 Resultaat van WBI2017- en BOI-berekening voor JarKus-raai 18.53 op Texel (kustvak 6) voor een overschrijdingskans van het afslagpunt van 1/3.000 per jaar op raainiveau.



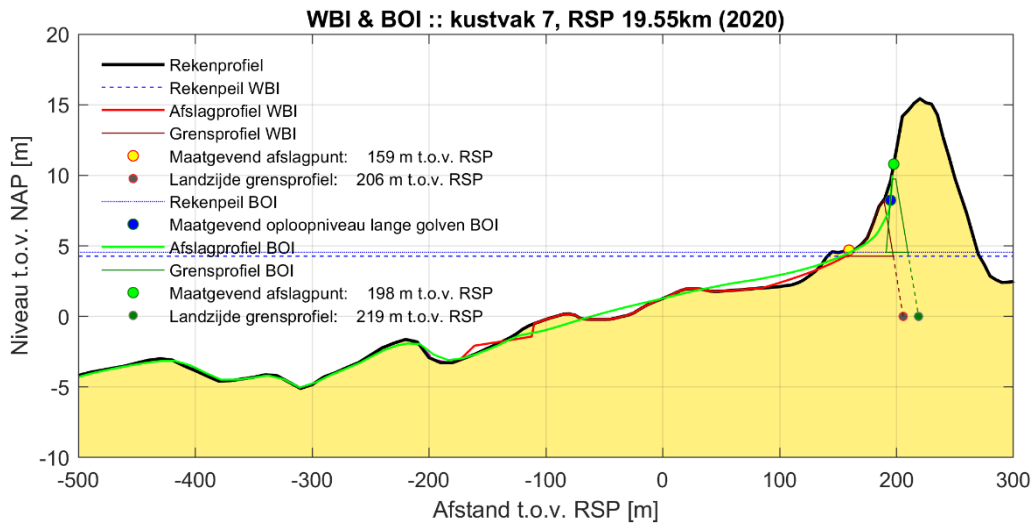
Figuur B - 11 Resultaat van WBI2017- en BOI-berekening voor JarKus-raai 3.08 in Noord-Holland (kustvak 7) voor een overschrijdingskans van het afslagpunt van 1/3.000 per jaar op raainiveau.



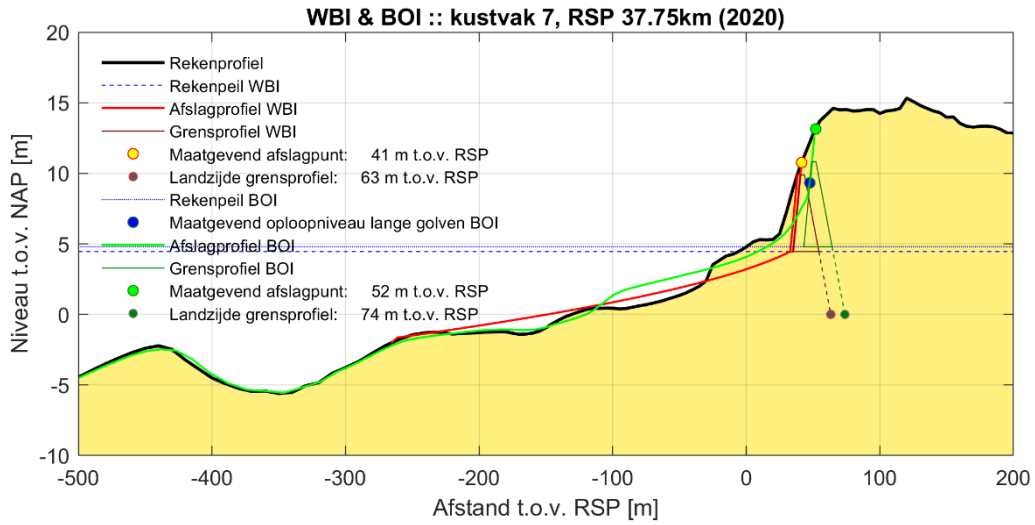
Figuur B - 12 Resultaat van WBI2017- en BOI-berekening voor JarKus-raai 9.28 in Noord-Holland (kustvak 7) voor een overschrijdingskans van het afslagpunt van 1/3.000 per jaar op raainiveau.



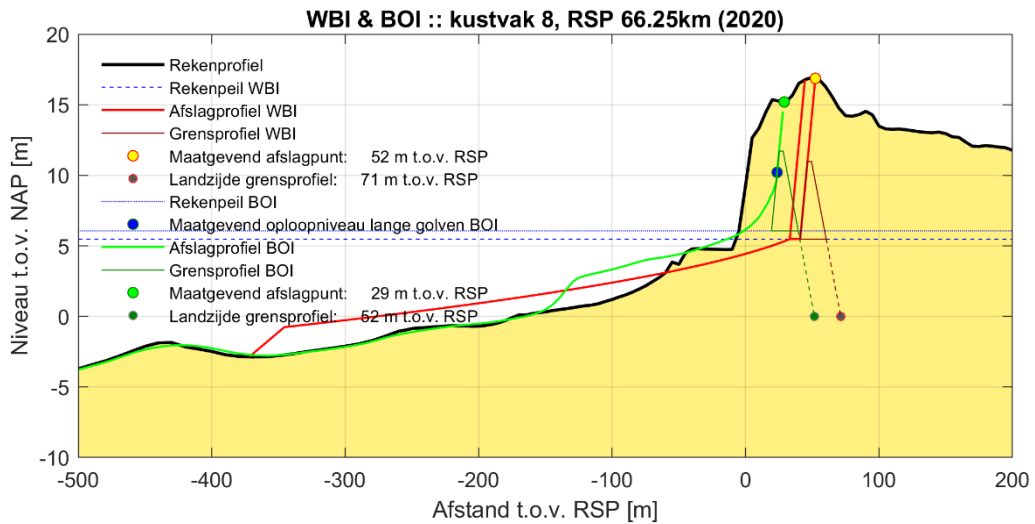
Figuur B - 13 Resultaat van WBI2017- en BOI2023-berekening voor JarKus-raai 14.83 in Noord-Holland (kustvak 7) voor overschrijdingskans van het afslagpunt kans van 1/3.000 per jaar op raainiveau.



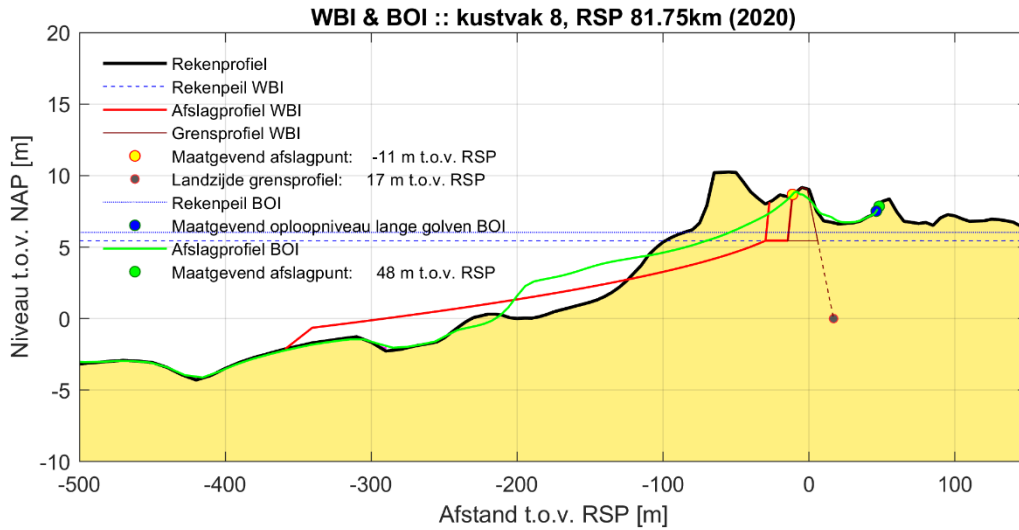
Figuur B - 14 Resultaat van WBI2017- en BOI-berekening voor JarKus-raai 19.55 in Noord-Holland (kustvak 7) voor een overschrijdingskans van het afslagpunt van 1/3.000 per jaar op raainiveau.



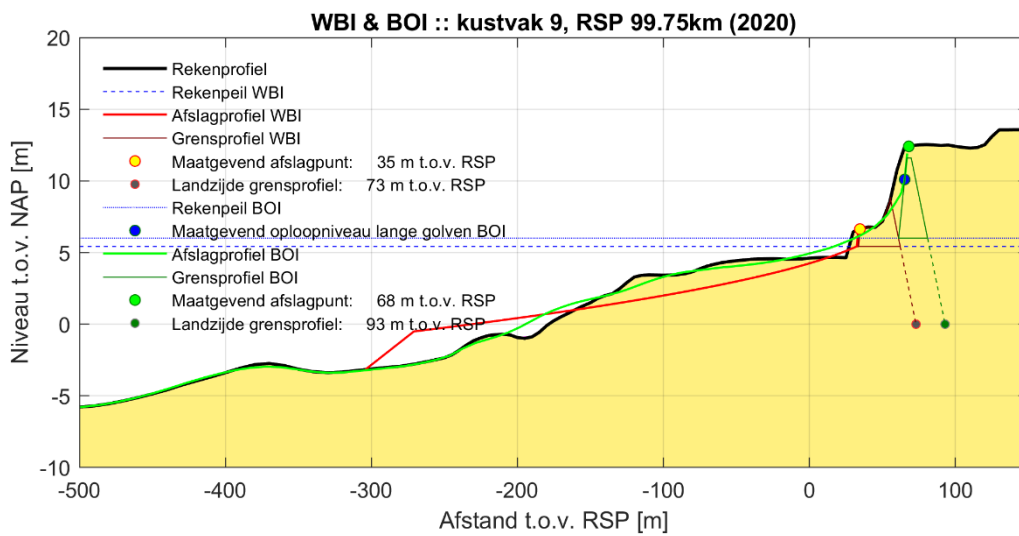
Figuur B - 15 Resultaat van WBI2017- en BOI-berekening voor JarKus-raai 37.75 in Noord-Holland (kustvak 7) voor een overschrijdingskans van het aflslagpunt van 1/3.000 per jaar op raainiveau.



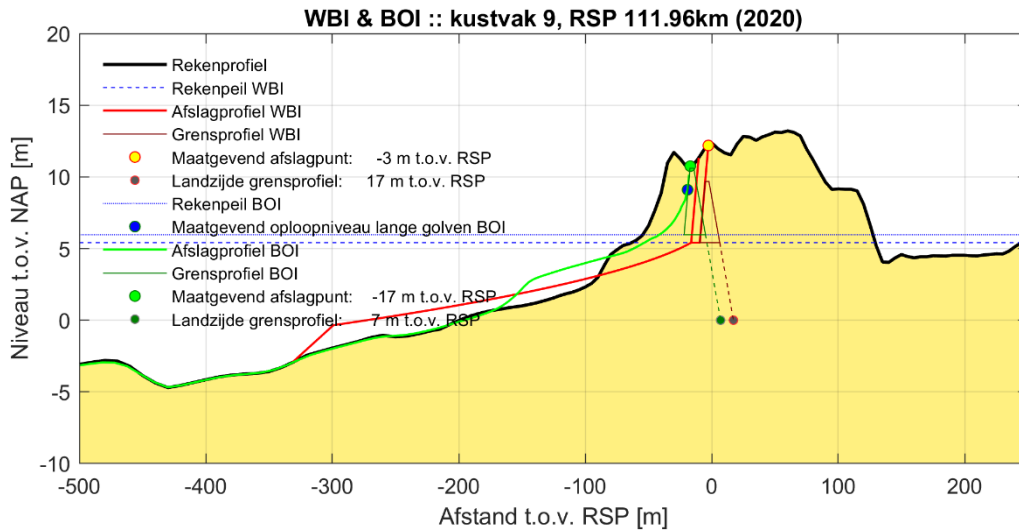
Figuur B - 16 Resultaat van WBI2017- en BOI-berekening voor JarKus-raai 66.25 in Rijnland (kustvak 8) voor een overschrijdingskans van het aflslagpunt van 1/30.000 per jaar op raainiveau.



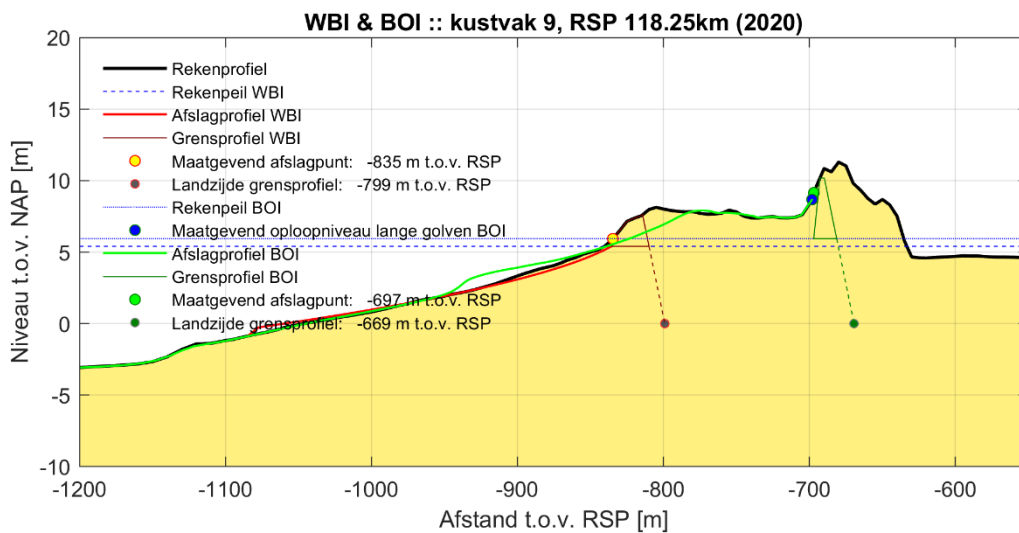
Figuur B - 17 Resultaat van WBI2017- en BOI-berekening voor JarKus-raai 81.75 in Rijnland (kustvak 8) voor een overschrijdingskans van het afslagpunt van 1/30.000 per jaar op raainiveau. Gensprofiel niet meer inpasbaar voor BOI.



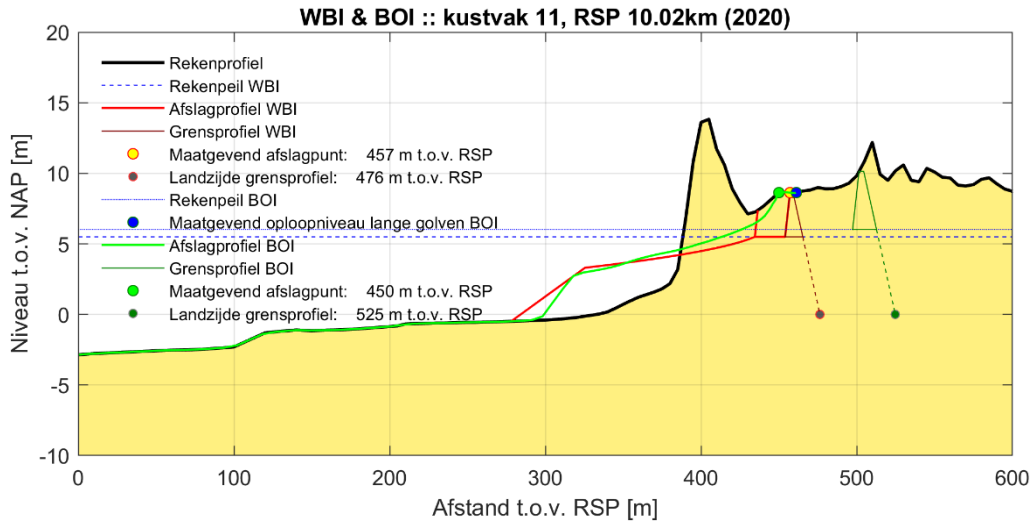
Figuur B - 18 Resultaat van WBI2017- en BOI-berekening voor JarKus-raai 99.75 in Delfland (kustvak 9) voor een overschrijdingskans van het afslagpunt van 1/30.000 per jaar op raainiveau.



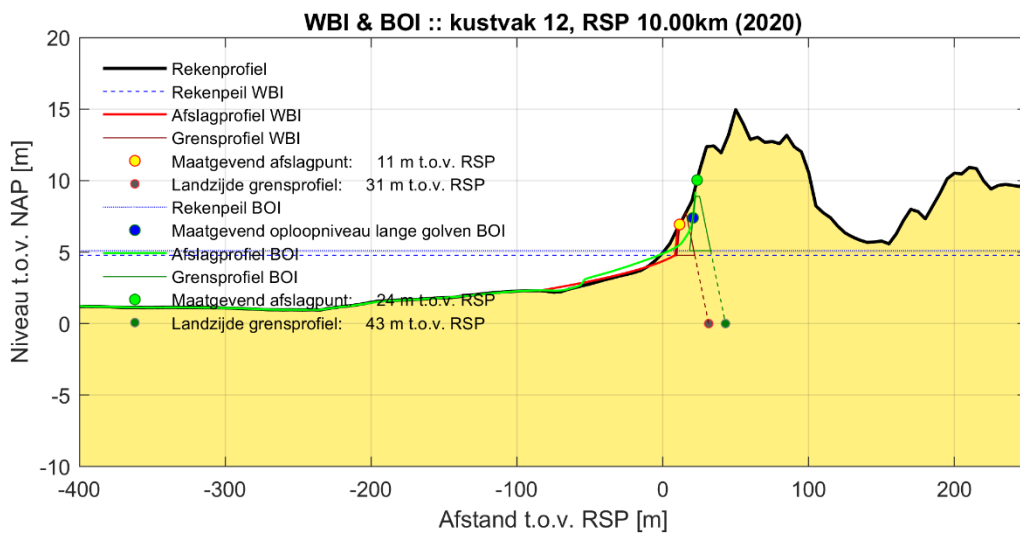
Figuur B - 19 Resultaat van WBI2017- en BOI-berekening voor JarKus-raai 111.96 in Delfland (kustvak 9) voor een overschrijdingskans van het afslagpunt van 1/30.000 per jaar op raainiveau.



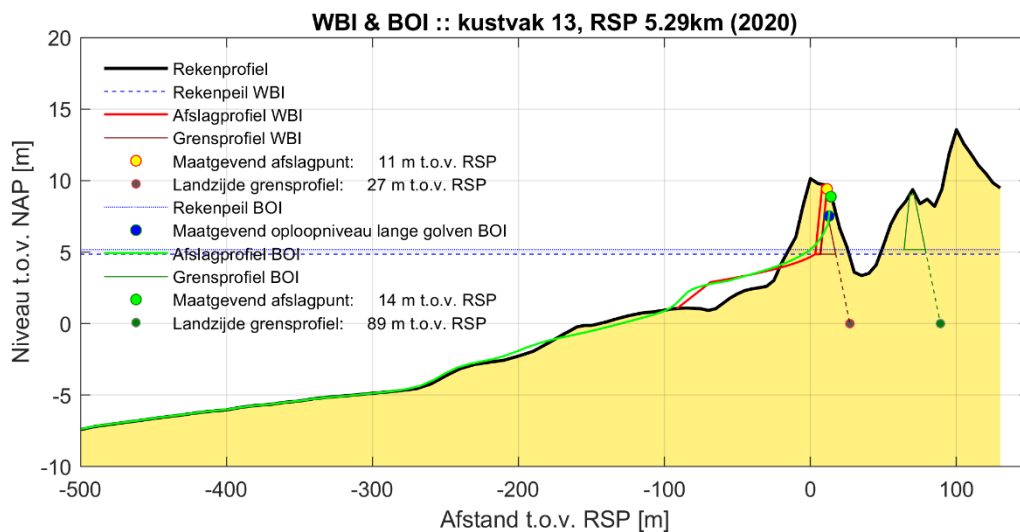
Figuur B - 20 Resultaat van WBI2017- en BOI-berekening voor JarKus-raai 118.25 in Delfland (kustvak 9) voor een overschrijdingskans van het afslagpunt van 1/30.000 per jaar op raainiveau.



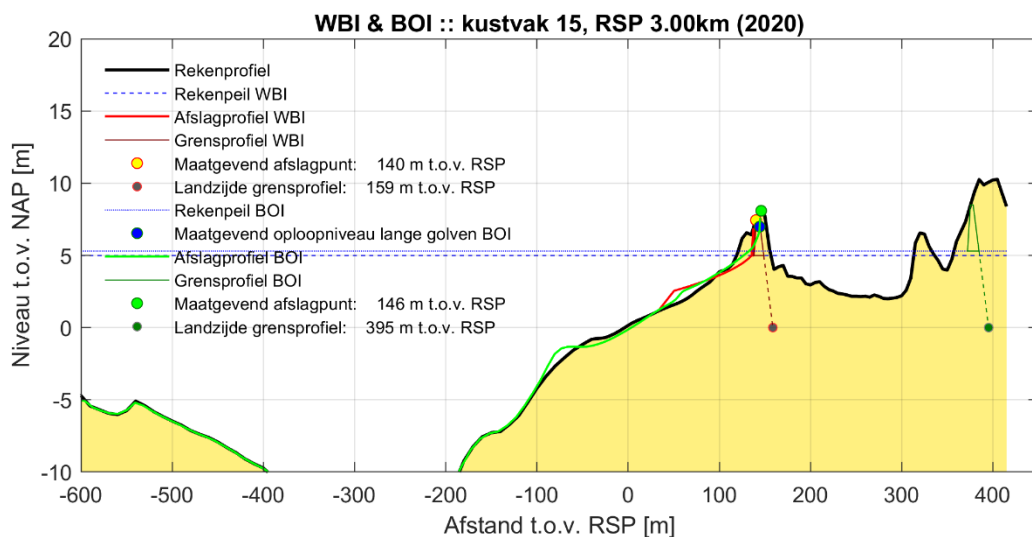
Figuur B - 21 Resultaat van WBI2017- en BOI-berekening voor JarKus-raai 10.02 km op Voorne (kustvak 11) voor een overschrijdingskans van het afslagpunt van 1/3.000 per jaar op raainiveau.



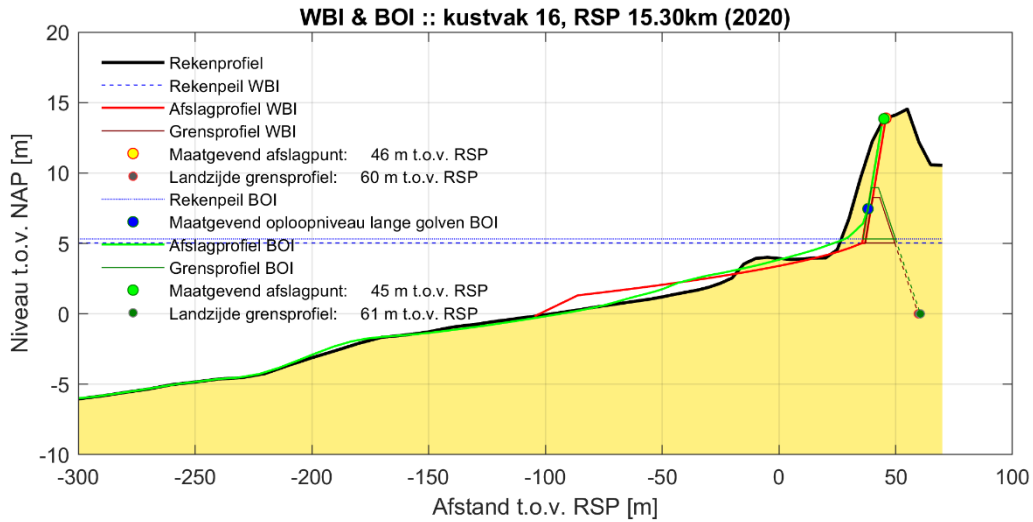
Figuur B - 22 Resultaat van WBI2017- en BOI-berekening voor JarKus-raai 10.00 op Goeree (kustvak 12) voor een overschrijdingskans van het afslagpunt van 1/3.000 per jaar op raainiveau.



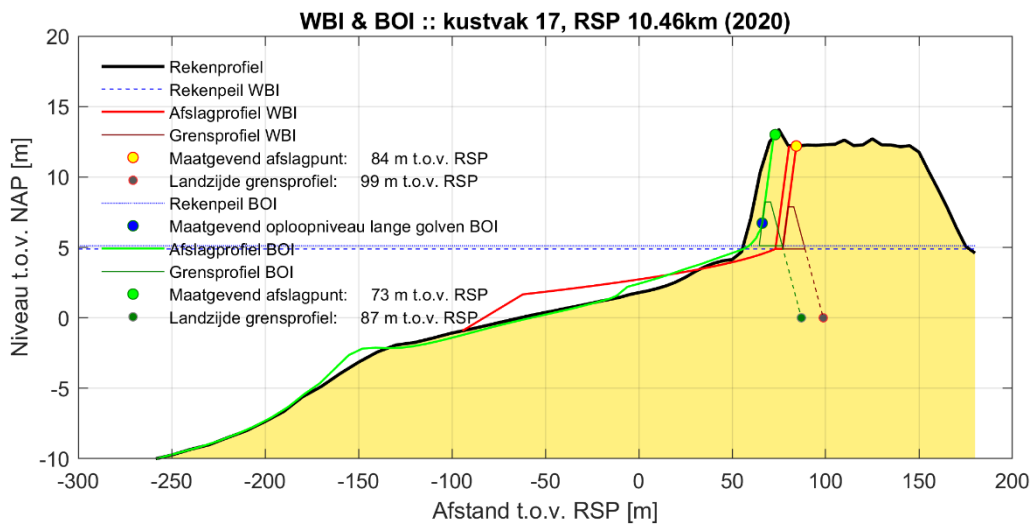
Figuur B - 23 Resultaat van WBI2017- en BOI-berekening voor JarKus-raai 5.29 op Schouwen (kustvak 13) voor een overschrijdingskans van het afslagpunt van 1/3.000 per jaar op raainiveau.



Figuur B - 24 Resultaat van WBI2017- en BOI-berekening voor JarKus-raai 3.00 op Noord-Beveland (kustvak 15) voor een overschrijdingskans van het afslagpunt van 1/3.000 per jaar op raainiveau.



Figuur B - 25 Resultaat van WBI2017- en BOI-berekening voor JarKus-raai 15.30 op Walcheren (kustvak 16) voor een overschrijdingskans van het afslagpunt van 1/3.000 per jaar op raainiveau.



Figuur B - 26 Resultaat van WBI2017- en BOI-berekening voor JarKus-raai 10.46 in Zeeuws-Vlaanderen (kustvak 17) voor een overschrijdingskans van het afslagpunt van 1/1.000 per jaar op raainiveau.

