

Opdrachtgever:
Deltares

Probabilistische berekeningen Westerschelde voor WTI-2011

Auteur: Robin Nicolai

Reviewer: Jan Stijnen

Inhoud

Lijst van tabellen	iii
Lijst van figuren	v
1 Inleiding	1
1.1 Achtergrondinformatie	1
1.2 Doel.....	1
1.3 Werkwijze en uitgangspunten	1
1.4 Leeswijzer	2
1.5 Dankwoord	3
2 Gebruikte data en model.....	5
2.1 KustDB2011 / SWAN database	5
2.2 Profielendatabase	5
3 Analyse probabilistische rekenresultaten	7
3.1 Golfcondities in het illustratiepunt.....	7
3.2 Globale analyse golfcondities	10
3.3 Gedetailleerde analyse golfcondities.....	17
4 Vergelijking met HR2006.....	33
5 Conclusies en aanbevelingen	35
5.1 Conclusies	35
5.2 Aanbevelingen	36
6 Referenties	37
Bijlage A Figuren (irreguliere) faalgebieden.....	41
Bijlage B Golfcondities tweede illustratiepunt	55
Bijlage C Tabellen golfcondities	83
Bijlage D Golfcondities eerste illustratiepunt.....	89
Bijlage E Figuren vergelijking met HR2006	91

Lijst van tabellen

Tabel 3-1:	Eigenschappen van locaties waarvoor het tweede illustratiepunt niet is berekend. Legenda: orient. is de dijknormaal, kruinh. is de kruinhoogte, WL is de nearshore waterstand, WS is de windsnelheid en WR is de windrichting in het eerste illustratiepunt.	11
Tabel 3-2:	Eigenschappen van burens van locaties waarvoor het tweede illustratiepunt niet is berekend. Legenda: orient. is de dijknormaal, kruinh. is de kruinhoogte, WL IP1 is de nearshore waterstand en WS IP1 is de windsnelheid in het eerste IP. WS IP2 is de offshore windsnelheid in het tweede IP. WR IP2 is de windrichting in het eerste en tweede illustratiepunt.	12
Tabel 3-3:	Tweede illustratiepunt voor locaties met H_{m0} ongeveer gelijk aan 0. Legenda: orient. is de dijknormaal, kruinh. is de kruinhoogte, WL is gelijk aan het Toetspeil, WS is de windsnelheid, WR is de windrichting.	17
Tabel C-1:	Golfcondities, wind en waterstand voor locaties in het gebied "ZW" waarvan één van de golfparameters H_{m0} , T_p en $T_{m-1,0}$ in absolute zin een groot verschil vertoont met naastgelegen locaties. De waarde van de golfparameter waarvoor het verschil met een buurpunt groot is, is schuingedrukt. Legenda: orient. is de dijknormaal, bodemh. is de bodemhoogte, golfr. is de hoek van golfaanval en WLo, WSo, WRo zijn de offshore waterstand, windsnelheid en windrichting.	83
Tabel C-2:	Golfcondities, wind en waterstand voor locaties in het gebied "Z" waarvan één van de golfparameters H_{m0} , T_p en $T_{m-1,0}$ in absolute zin een groot verschil vertoont met naastgelegen locaties. De waarde van de golfparameter waarvoor het verschil met een buurpunt groot is, is schuingedrukt. Legenda: orient. is de dijknormaal, bodemh. is de bodemhoogte, golfr. is de hoek van golfaanval en WLo, WSo, WRo zijn de offshore waterstand, windsnelheid en windrichting.	84
Tabel C-3:	Golfcondities, wind en waterstand voor locaties in het gebied "ZO" waarvan één van de golfparameters H_{m0} , T_p en $T_{m-1,0}$ in absolute zin een groot verschil vertoont met naastgelegen locaties. De waarde van de golfparameter waarvoor het verschil met een buurpunt groot is, is schuingedrukt. Legenda: orient. is de dijknormaal, bodemh. is de bodemhoogte, golfr. is de hoek van golfaanval en WLo, WSo, WRo zijn de offshore waterstand, windsnelheid en windrichting.	84
Tabel C-4:	Golfcondities, wind en waterstand voor locaties in het gebied "NO" waarvan één van de golfparameters H_{m0} , T_p en $T_{m-1,0}$ in absolute zin een groot verschil vertoont met naastgelegen locaties. De waarde van de golfparameter waarvoor het verschil met een buurpunt groot is, is schuingedrukt. Legenda: orient. is de dijknormaal, bodemh. is de bodemhoogte, golfr. is de hoek van golfaanval en WLo, WSo, WRo zijn de offshore waterstand, windsnelheid en windrichting.	85
Tabel C-5:	Golfcondities, wind en waterstand voor locaties in het gebied "N" waarvan één van de golfparameters H_{m0} , T_p en $T_{m-1,0}$ in absolute zin een groot verschil vertoont met naastgelegen locaties. De waarde van de golfparameter waarvoor het verschil met een buurpunt groot is, is schuingedrukt. Legenda: orient. is de dijknormaal, bodemh. is de bodemhoogte, golfr. is de hoek van golfaanval en WLo, WSo, WRo zijn de offshore waterstand, windsnelheid en windrichting.	86
Tabel C-6:	Golfcondities, wind en waterstand voor locaties in het gebied "NW" waarvan één van de golfparameters H_{m0} , T_p en $T_{m-1,0}$ in absolute zin een groot verschil vertoont met naastgelegen locaties. De waarde van de golfparameter waarvoor het verschil met een buurpunt groot is, is schuingedrukt. Legenda: orient. is de dijknormaal, bodemh. is de bodemhoogte, golfr. is de hoek van golfaanval en WLo, WSo, WRo zijn de offshore waterstand, windsnelheid en windrichting.	87

Lijst van figuren

Figuur 2-1:	Standaardprofielen in de Westerschelde. Links standaardprofiel 2, rechts standaardprofiel 1.	6
Figuur 2-2:	Toekenning profielen aan locaties langs de Westerschelde. Een rode kleur duidt op standaardprofiel 1, een blauwe op standaardprofiel 2.	6
Figuur 3-1:	Schets van een faalgebied met 5 opgeschaalde punten waarvoor falen optreedt. Door deze 'faalpunten' zijn lijnen getrokken. Het snijpunt van de middelste lijn met de grenstoestand (curve) is het illustratiepunt IP. Deze middelste lijn wordt de scanlijn genoemd. Ontleend aan [de Valk et al., 2008].	7
Figuur 3-2:	Indeling Westerschelde in 6 gebieden voor de analyse van golfcondities. Legenda: rood = "ZW", blauw = "Z", groen = "ZO", zwart = "NO", magenta = "N", geel = "NW".	18
Figuur 3-3:	Bodemligging (kleurenbalk) en hoek van inval golven op locaties 1 t/m 15.	20
Figuur 3-4:	Bodemligging (kleurenbalk) en hoek van inval golven op locaties 21 t/m 41.	20
Figuur 3-5:	Bodemligging (kleurenbalk) en hoek van inval golven op locaties 71 t/m 101.	21
Figuur 3-6:	Bodemligging (kleurenbalk) en hoek van inval golven op locaties 301 t/m 331.	24
Figuur 3-7:	Bodemligging (kleurenbalk) en hoek van inval golven op locaties 341 t/m 361.	25
Figuur 3-8:	Bodemligging (kleurenbalk) en hoek van inval golven op locaties 500 t/m 550.	28
Figuur 3-9:	Bodemligging (kleurenbalk) en hoek van inval golven op locaties 615 t/m 651.	29
Figuur 3-10:	Bodemligging (kleurenbalk) en hoek van inval golven op locaties 720 t/m 740.	31
Figuur A-1:	Locatie 508. Waarnemingen (zwarte punten en kruisjes), opgeschaalde waarnemingen (gekleurde punten en kruisjes) en isolijnen met daarop combinaties van de terugkeertijd van de offshore windsnelheid en waterstand met gelijk hydraulisch belastingniveau voor verschillende windrichtingen.	41
Figuur A-2:	Locatie 509. Waarnemingen (zwarte punten en kruisjes), opgeschaalde waarnemingen (gekleurde punten en kruisjes) en isolijnen met daarop combinaties van de terugkeertijd van de offshore windsnelheid en waterstand met gelijk hydraulisch belastingniveau voor verschillende windrichtingen.	42
Figuur A-3:	Locatie 509. Waarnemingen (zwarte punten en kruisjes), opgeschaalde waarnemingen (gekleurde punten en kruisjes), lijnen van gelijke overschrijdingsfrequentie (zwarte lijnen) en grenstoestandsfuncties met combinaties van de offshore windsnelheid en waterstand voor verschillende windrichtingen (kleurenbalk). Het snijpunt van de doorgetrokken blauwe lijnen representeert de offshore windsnelheid en waterstand in het tweede illustratiepunt.	43
Figuur A-4:	Locatie 547. Waarnemingen (zwarte punten en kruisjes), opgeschaalde waarnemingen (gekleurde punten en kruisjes) en isolijnen met daarop combinaties van de terugkeertijd van de offshore windsnelheid en waterstand met gelijk hydraulisch belastingniveau voor verschillende windrichtingen.	44
Figuur A-5:	Locatie 547. Waarnemingen (zwarte punten en kruisjes), opgeschaalde waarnemingen (gekleurde punten en kruisjes), lijnen van gelijke overschrijdingsfrequentie (zwarte lijnen) en grenstoestandsfuncties met combinaties van de offshore windsnelheid en waterstand voor verschillende windrichtingen (kleurenbalk). Het snijpunt van de doorgetrokken blauwe lijnen representeert de offshore windsnelheid en waterstand in het tweede illustratiepunt.	45
Figuur A-6:	Locatie 548. Waarnemingen (zwarte punten en kruisjes), opgeschaalde waarnemingen (gekleurde punten en kruisjes) en isolijnen met daarop combinaties van de terugkeertijd van de offshore windsnelheid en waterstand met gelijk hydraulisch belastingniveau voor verschillende windrichtingen.	46
Figuur A-7:	Locatie 549. Waarnemingen (zwarte punten en kruisjes), opgeschaalde waarnemingen (gekleurde punten en kruisjes) en isolijnen met daarop combinaties van de terugkeertijd van de offshore windsnelheid en waterstand met gelijk hydraulisch belastingniveau voor verschillende windrichtingen.	47

Figuur A-8: Locatie 549. Waarnemingen (zwarte punten en kruisjes), opgeschaalde waarnemingen (gekleurde punten en kruisjes), lijnen van gelijke overschrijdingsfrequentie (zwarte lijnen) en grenstoestandsfuncties met combinaties van de offshore windsnelheid en waterstand voor verschillende windrichtingen (kleurenbalk). Het snijpunt van de doorgetrokken blauwe lijnen representeert de offshore windsnelheid en waterstand in het tweede illustratiepunt. 48

Figuur A-9: Locatie 150. Waarnemingen (zwarte punten en kruisjes), opgeschaalde waarnemingen (gekleurde punten en kruisjes) en isolijnen met daarop combinaties van de terugkeertijd van de offshore windsnelheid en waterstand met gelijk hydraulisch belastingniveau voor verschillende windrichtingen. 49

Figuur A-10: Locatie 150. Waarnemingen (zwarte punten en kruisjes), opgeschaalde waarnemingen (gekleurde punten en kruisjes), lijnen van gelijke overschrijdingsfrequentie (zwarte lijnen) en grenstoestandsfuncties met combinaties van de offshore windsnelheid en waterstand voor verschillende windrichtingen (kleurenbalk). Het snijpunt van de doorgetrokken blauwe lijnen representeert de offshore windsnelheid en waterstand in het tweede illustratiepunt. 50

Figuur A-11: Locatie 142. Waarnemingen (zwarte punten en kruisjes), opgeschaalde waarnemingen (gekleurde punten en kruisjes) en isolijnen met daarop combinaties van de terugkeertijd van de offshore windsnelheid en waterstand met gelijk hydraulisch belastingniveau voor verschillende windrichtingen. 51

Figuur A-12: Locatie 142. Waarnemingen (zwarte punten en kruisjes), opgeschaalde waarnemingen (gekleurde punten en kruisjes), lijnen van gelijke overschrijdingsfrequentie (zwarte lijnen) en grenstoestandsfuncties met combinaties van de offshore windsnelheid en waterstand voor verschillende windrichtingen (kleurenbalk). Het snijpunt van de doorgetrokken blauwe lijnen representeert de offshore windsnelheid en waterstand in het tweede illustratiepunt. 52

Figuur A-13: Waterstand (nearshore) in eerste en tweede illustratiepunt. 53

Figuur A-14: Offshore windsnelheid in eerste en tweede illustratiepunt. 53

Figuur B-1: Significante golfhoogtes in het tweede illustratiepunt als functie van het locatienummer. Boven met versie 3.6.2, onder met versie 3.6.0..... 55

Figuur B-2: Geografische weergave van de significante golfhoogtes in het tweede illustratiepunt met versie 3.6.2 (boven) en versie 3.6.0 (onder)..... 56

Figuur B-3: Golfperiode $T_{m-1,0}$ in het tweede illustratiepunt als functie van het locatienummer. Boven met versie 3.6.2, onder met versie 3.6.0. 57

Figuur B-4: Geografische weergave van de golfperiode in het tweede illustratiepunt met versie 3.6.2 (boven) en versie 3.6.0 (onder). 58

Figuur B-5: Piekperiode T_p in het tweede illustratiepunt als functie van het locatienummer. Boven met versie 3.6.2, onder met versie 3.6.0. 59

Figuur B-6: Geografische weergave van de piekperiode in het tweede illustratiepunt met versie 3.6.2 (boven) en versie 3.6.0 (onder). 60

Figuur B-7: Hoek van golfaanval (θ) in het tweede illustratiepunt als functie van het locatienummer. Boven met versie 3.6.2, onder met versie 3.6.0. (Bij de hoek is 90 graden opgeteld. De eenheid is graden Noord.) 61

Figuur B-8: Golfrichting in het tweede illustratiepunt en dijknormaal als functie van de uitvoerlocatie (resultaten versie 3.6.2). 62

Figuur B-9: Geografische weergave van de hoek van golfaanval in het tweede illustratiepunt met versie 3.6.2 (boven) en versie 3.6.0 (onder). 63

Figuur B-10: Significante golfhoogte H_{m0} in het tweede illustratiepunt in combinatie met dijknormaal (boven) en bodemligging (onder) als functie van de uitvoerlocatie in gebied "ZW". 64

Figuur B-11: Golfperiode $T_{m-1,0}$ in het tweede illustratiepunt in combinatie met dijknormaal (boven) en bodemligging (onder) als functie van de uitvoerlocatie in gebied "ZW". 65

Figuur B-12: Piekperiode T_p in het tweede illustratiepunt in combinatie met dijknormaal (boven) en bodemligging (onder) als functie van de uitvoerlocatie in gebied "ZW". 66

Figuur B-13: Significante golfhoogte H_{m0} in het tweede illustratiepunt in combinatie met dijknormaal (boven) en bodemligging (onder) als functie van de uitvoerlocatie in gebied "Z".	67
Figuur B-14: Golfperiode $T_{m-1,0}$ in het tweede illustratiepunt in combinatie met dijknormaal (boven) en bodemligging (onder) als functie van de uitvoerlocatie in gebied "Z".	68
Figuur B-15: Piekperiode T_p in het tweede illustratiepunt in combinatie met dijknormaal (boven) en bodemligging (onder) als functie van de uitvoerlocatie in gebied "Z".	69
Figuur B-16: Significante golfhoogte H_{m0} in het tweede illustratiepunt in combinatie met dijknormaal (boven) en bodemligging (onder) als functie van de uitvoerlocatie in gebied "ZO".	70
Figuur B-17: Golfperiode $T_{m-1,0}$ in het tweede illustratiepunt in combinatie met dijknormaal (boven) en bodemligging (onder) als functie van de uitvoerlocatie in gebied "ZO".	71
Figuur B-18: Piekperiode T_p in het tweede illustratiepunt in combinatie met dijknormaal (boven) en bodemligging (onder) als functie van de uitvoerlocatie in gebied "ZO".	72
Figuur B-19: Significante golfhoogte H_{m0} in het tweede illustratiepunt in combinatie met dijknormaal (boven) en bodemligging (onder) als functie van de uitvoerlocatie in gebied "NO".	73
Figuur B-20: Golfperiode $T_{m-1,0}$ in het tweede illustratiepunt in combinatie met dijknormaal (boven) en bodemligging (onder) als functie van de uitvoerlocatie in gebied "NO".	74
Figuur B-21: Piekperiode T_p in het tweede illustratiepunt in combinatie met dijknormaal (boven) en bodemligging (onder) als functie van de uitvoerlocatie in gebied "NO".	75
Figuur B-22: Significante golfhoogte H_{m0} in het tweede illustratiepunt in combinatie met dijknormaal (boven) en bodemligging (onder) als functie van de uitvoerlocatie in gebied "N".	76
Figuur B-23: Golfperiode $T_{m-1,0}$ in het tweede illustratiepunt in combinatie met dijknormaal (boven) en bodemligging (onder) als functie van de uitvoerlocatie in gebied "N".	77
Figuur B-24: Piekperiode T_p in het tweede illustratiepunt in combinatie met dijknormaal (boven) en bodemligging (onder) als functie van de uitvoerlocatie in gebied "N".	78
Figuur B-25: Significante golfhoogte H_{m0} in het tweede illustratiepunt in combinatie met dijknormaal (boven) en bodemligging (onder) als functie van de uitvoerlocatie in gebied "NW".	79
Figuur B-26: Golfperiode $T_{m-1,0}$ in het tweede illustratiepunt in combinatie met dijknormaal (boven) en bodemligging (onder) als functie van de uitvoerlocatie in gebied "NW".	80
Figuur B-27: Piekperiode T_p in het tweede illustratiepunt in combinatie met dijknormaal (boven) en bodemligging (onder) als functie van de uitvoerlocatie in gebied "NW".	81
Figuur D-1: Significante golfhoogte H_{m0} in het eerste illustratiepunt als functie van het locatienummer.	89
Figuur D-2: Golfperiode $T_{m-1,0}$ in het eerste illustratiepunt als functie van het locatienummer.	89
Figuur D-3: Piekperiode T_p in het eerste illustratiepunt als functie van het locatienummer.	90
Figuur D-4: Hoek van golfaanval θ in het eerste illustratiepunt als functie van het locatienummer. (Bij de hoek is 90 graden opgeteld.)	90
Figuur E-1: Verschil in H_{m0} volgens concept HR2011 en HR2006 (rode lijn) in combinatie met de afstand tussen de uitvoerlocaties (zwarte lijn) voor concept HR2011 en HR2006. De blauwe lijn is een filter (gewogen gemiddelde) over een venster van 9 locaties.	91
Figuur E-2: Verschil in $T_{m-1,0}$ volgens concept HR2011 en HR2006 (rode lijn) in combinatie met de afstand tussen de uitvoerlocaties (zwarte lijn) voor concept HR2011 en HR2006. De blauwe lijn is een filter (gewogen gemiddelde) over een venster van 9 locaties.	91
Figuur E-3: Verschil in T_p volgens concept HR2011 en HR2006 (rode lijn) in combinatie met de afstand tussen de uitvoerlocaties (zwarte lijn) voor concept HR2011 en HR2006. De blauwe lijn is een filter (gewogen gemiddelde) over een venster van 9 locaties.	92
Figuur E-4: Dijknormaal van de HR2006 en concept HR2011 uitvoerlocaties in combinatie met de onderlinge afstand tussen de locaties.	92
Figuur E-5: Bodemligging van de HR2006 en concept HR2011 uitvoerlocaties in combinatie met de onderlinge afstand tussen de locaties.	93

1 Inleiding

1.1 Achtergrondinformatie

In de Waterwet (2009) is bepaald dat beheerders iedere zes jaar hun primaire waterkeringen moeten toetsen. De toetsing verschaft inzicht in de actuele veiligheid van de primaire waterkeringen en de resultaten dienen als basis voor het initiëren van verbeterwerken van betreffende keringen. Het Wettelijk Toetsinstrumentarium (WTI) schrijft de toe te passen regels voor. Het WTI bestaat uit het Voorschrift Toetsen op Veiligheid (VTV), de Hydraulische Randvoorwaarden (HR) en de onderliggende technische en achtergrondrapporten. De HR en de VTV moeten elke zes jaar opnieuw worden afgeleid en vastgesteld door de Minister van Verkeer en Waterstaat.

Ten behoeve van de HR zijn 1800 SWAN productieberekeningen (PB) uitgevoerd voor het watersysteem Westerschelde. De opzet, resultaten en controles op de resultaten van deze berekeningen zijn beschreven in [Klein en Kroon, 2011; Kroon en Klein, 2011]. De opzet, de resultaten en de controles op de resultaten van noodzakelijke nabewerkingen op de SWAN productieberekeningen staan in [Nicolai et al., 2011]. De nabewerkte resultaten zijn invoer voor het probabilistische rekenmodel Hydra-K, waarmee de concept HR2011 worden afgeleid. Dit rapport presenteert en analyseert de uitkomsten van de probabilistische berekening van de golfcondities die de concept HR2011 voor de Westerschelde kunnen vormen.

1.2 Doel

Het doel van dit rapport is om betrouwbare probabilistische resultaten af te leiden die de basis kunnen vormen voor de concept HR2011 voor de harde keringen langs de Westerschelde. Deze resultaten zijn de golfcondities in het illustratiepunt berekend met het probabilistische rekenmodel Hydra-K. Enerzijds is het de vraag of de berekende golfcondities voor de uitvoerlocaties langs de Westerschelde een coherent verloop laten zien, waarbij de dijkoriëntatie, de strijklengte en de bodemligging (in de omgeving) van de uitvoerlocaties de belangrijkste invloedsfactoren zijn. Anderzijds is het de vraag of, en in welke mate, de golfcondities verschillen van de HR2006. Deze vraag wordt beantwoord in een vervolgstudie, waarin een uitgebreide verschilanalyse wordt uitgevoerd (zie [Groeneweg en Gautier, 2011]). Dit rapport beantwoordt de eerste vraag en levert een lijst met uitvoerlocaties op waarvoor de resultaten betrouwbaar zijn. Deze lijst is invoer voor de genoemde uitgebreide verschilanalyse.

1.3 Werkwijze en uitgangspunten

Voor het uitvoeren van de probabilistische berekeningen is gebruik gemaakt van Hydra-K versie 3.6.2. Het programma Hydra-K is het wettelijke voorgeschreven probabilistische rekenmodel om hydraulische randvoorwaarden voor de harde waterkeringen langs de kust af te leiden. De voor WTI-2011 ontwikkelde versie 3.6.2 bevat geactualiseerde statistiek en simultane waarnemingen, nieuwe transformatiematrices met golfgegevens voor 757 SWAN uitvoerlocaties (SWAN databases) en de bij deze uitvoerlocaties behorende Toetspeilen, terugkeertijden en dwarsprofielen.

De uitvoerlocaties wijken af van die in de vigerende versie van Hydra-K: 3.5.1. Versie 3.5.1 bevat 912 SWAN uitvoerlocaties. Om de illustratiepunten en benodigde kruinhoogtes uit versie

3.6.2 te vergelijken met de waarden voor de HR2006 is overigens gebruik gemaakt van Hydra-K versie 3.6.0 (zie tekstkader).

In het gehele rapport zal dezelfde nummering voor de uitvoerlocaties gebruikt worden. Nummers van locaties waarvoor de resultaten niet betrouwbaar zijn, zullen niet aan andere locaties toegekend worden.

In [Nicolai et al., 2010] is aangetoond dat de vigerende versie van Hydra-K (3.5.1) de bodemligging van uitvoerlocaties op een onjuiste manier bepaald. De aanpassing van deze fout leidt in de Westerschelde niet tot verschillen. Wel ontstaan verschillen van maximaal 0.01 m in benodigde kruinhoogte door een nieuwe versie van PC-Overslag te gebruiken. Samenvattend kan gesteld worden dat Hydra-K 3.6.0 en Hydra-K 3.5.1 dezelfde illustratiepunten opleveren. Dit rechtvaardigt een vergelijking van versie 3.6.2 met versie 3.6.0.

Dit rapport richt zich met name op de golfparameters H_{m0} , T_p , $T_{m-1,0}$ en θ in het illustratiepunt. Dit zijn de golfparameters die in de HR2006 staan. Andere uitkomsten van de probabilistische berekeningen, zoals de wind, de waterstand, de minimaal benodigde kruinhoogte en de golfperiode T_{m02} , worden slechts toegelicht als die de overige resultaten kunnen verduidelijken.

1.4 Leeswijzer

In dit rapport staat de analyse van de probabilistische berekeningen voor de Westerschelde. In hoofdstuk 2 staat welke data en welk model gebruikt zijn om de berekeningen uit te voeren. In hoofdstuk 3 volgt een analyse van de uitkomsten van de probabilistische berekeningen: in het bijzonder de golfcondities in het illustratiepunt. Aan de hand van de (geometrische) eigenschappen van de uitvoerlocaties en het ruimtelijk verloop van de uitkomsten wordt nagegaan of deze plausibel zijn. In hoofdstuk 4 staat een globale vergelijking van de HR2006 en de resultaten van de nieuwe probabilistische berekeningen. Deze vergelijking is een eerste aanzet voor een analyse tussen de HR2006 en de concept HR 2011. Tot slot vat hoofdstuk 5 de analyses in dit rapport samen en doet het aanbevelingen voor het gebruik van de resultaten. Het bevat ook een lijst met uitvoerlocaties waarvoor de resultaten van de probabilistische berekeningen betrouwbaar zijn.

Ten behoeve van de leesbaarheid zijn figuren en tabellen zoveel mogelijk naar de bijlagen verplaatst. Bijlage A bevat figuren van irreguliere faalgebieden. Bijlage B laat eerst een reeks figuren zien van de golfcondities voor alle uitvoerlocaties. Vervolgens toont het figuren met de golfcondities in combinatie met de dijknormaal en de bodemligging voor verschillende deelgebieden van de Westerschelde. In Bijlage C staan tabellen met de golfcondities voor paren van locaties, waarvoor de onderlinge verschillen groot zijn. Bijlage D bevat enkele figuren van golfcondities in het eerste illustratiepunt van Hydra-K. Bijlage E presenteert figuren van de vergelijking tussen de HR2006 en de nieuwe rekenresultaten.

Naast de analyses in dit rapport zijn bij de oplevering ook spreadsheets met alle rekenresultaten en de vergelijking tussen de HR2006 en de nieuwe illustratiepunten toegevoegd. Ook zijn enkele scripts toegevoegd die gebruikt zijn voor de analyses. De nieuwe versie van Hydra-K waarmee de probabilistische berekeningen zijn uitgevoerd, inclusief de bijbehorende documentatie, dient ook als bijlage van dit rapport beschouwd te worden.

1.5 Dankwoord

De auteur is Jacco Groeneweg dank verschuldigd voor de goede begeleiding van dit project. Opmerkingen van Caroline Gautier, Jan Stijnen en Jacco Groeneweg op eerdere versies van dit rapport hebben de kwaliteit aanmerkelijk verhoogd. Dank gaat ook uit naar Chris Geerse voor zijn bijdrage aan de paragrafen over het tweede illustratiepunt en irreguliere faalgebieden in Hydra-K. Maarten-Jan Kallen verdient erkenning voor het maken van een groot deel van de figuren in Bijlage B. Tot slot mag de ondersteuning van Mark Klein bij de detailanalyse van de verschillen in golfcondities niet onopgemerkt blijven.

2 Gebruikte data en model

Voor het uitvoeren van de probabilistische berekeningen is gebruik gemaakt van Hydra-K versie 3.6.2. Het probabilistische rekenhart in deze nieuwe versie is hetzelfde als in de vigerende versie (zie [Nicolai en Hoekstra, 2011]).¹ Wel bevat het geactualiseerde statistiek, een nieuwe SWAN database met golfcondities voor verschillende stochastwaarden en een nieuwe profielendatabase met profielen, terugkeertijden en Toetspeilen. Paragraaf 2.1 beschrijft de SWAN database en paragraaf 2.2 gaat in op de profielendatabase.

2.1 KustDB2011 / SWAN database

De SWAN database met de transformatiematrix die Hydra-K als invoer gebruikt is aangemaakt door een exportscript op de KustDB2011 database toe te passen. Dit exportscript is samen met dit rapport opgeleverd. De KustDB2011 database bevat de uitkomsten van geselecteerde geïnterpoleerde golfberekeningen met SWAN voor de 757 uitvoerlocaties in de Westerschelde [zie Nicolai et al., 2011]. Controles laten zien dat de geëxporteerde waarden overeenkomen met de in KustDB ingevoerde waarden. Meer achtergrond over de SWAN productieberekeningen staat in [Klein en Kroon, 2011; Kroon en Klein, 2011; Nicolai et al., 2011].

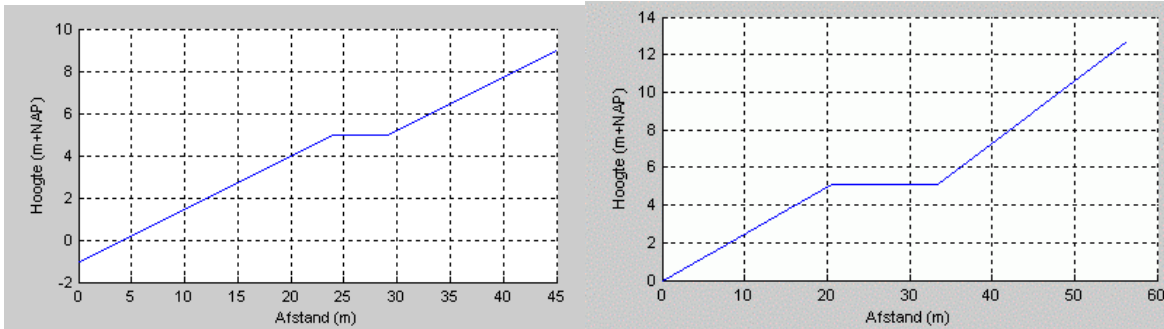
2.2 Profielendatabase

De profielendatabase bevat de terugkeertijden, Toetspeilen en dwarsprofielen van de 757 uitvoerlocaties. De overschrijdingsfrequentie is overeenkomstig de wet voor alle locaties gelijk aan 1 / 4000 per jaar. De Toetspeilen verschillen per locatie en zijn door interpolatie bepaald uit de per HR dijkvak berekende waarden [Dillingh en De Lima Rego, 2010]. De op decimeters afgeronde Toetspeilen op de HR locaties zijn niet veranderd ten opzichte van de HR2006. De uitvoerlocaties in de Hydra-K databases verschillen wel (zie hoofdstuk 4).

De locaties 66 t/m 658 zijn gekoppeld aan standaardprofiel 2 (zie Figuur 2-1). Dit zijn de locaties ten oosten van Breskens op de zuidoever en ten oosten van Vlissingen op de noordoever (zie Figuur 2-2). De teen van dit dwarsprofiel ligt op -1 m+NAP. Er ligt een berm op 5 m+NAP. De helling onder en boven de berm is 1 op 4. De kruinhoogte is 9 m+NAP. De dijk is bekleed met steen. Dit profiel is ook gebruikt in de voor de HR2006 gebruikte versie van Hydra-K.

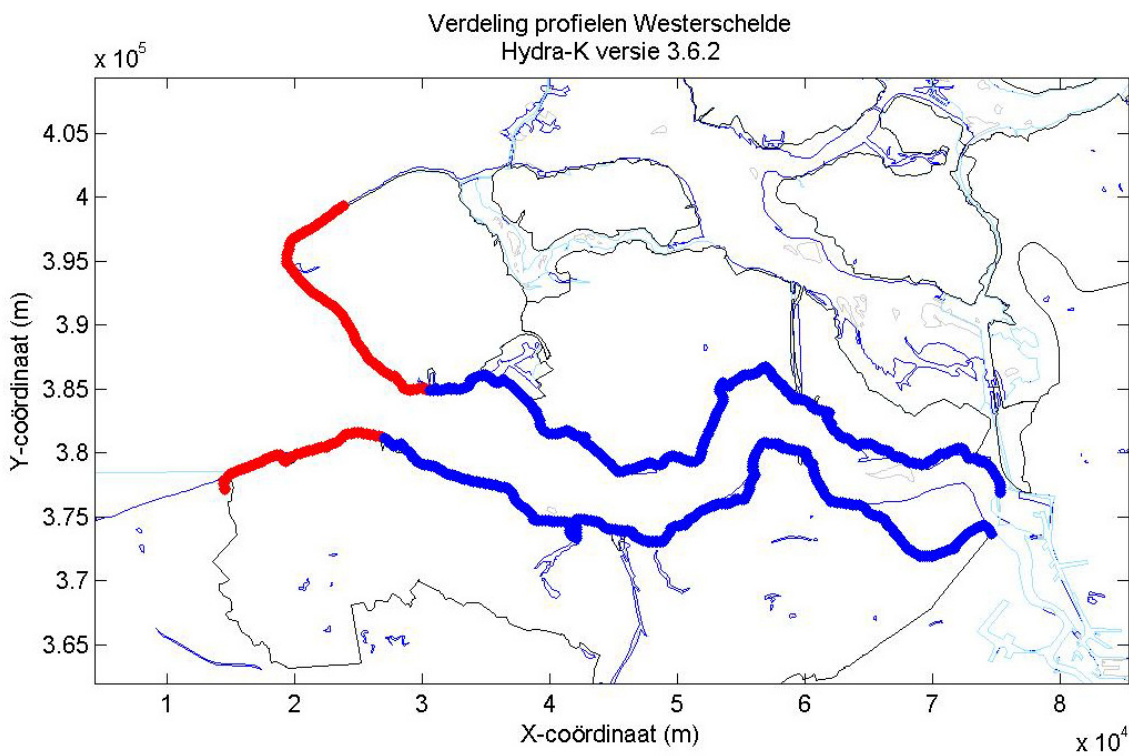
De locaties 1 t/m 65 – gelegen op de zuidoever ten westen van Breskens – en 659 t/m 757 – gelegen op de noordoever ten westen van Vlissingen – zijn gekoppeld aan standaardprofiel 1 (zie Figuur 2-1 en Figuur 2-2). De teen van dit dwarsprofiel ligt op 0 m+NAP. De berm ligt op 5.13 m+NAP. Onder de berm is de helling 1 op 4, boven de berm is deze 1 op 3. De kruinhoogte is 12.75 m+NAP. De dijk is bekleed met steenbekleding boven de berm en met asfalt op en onder de berm. Dit profiel is ook gebruikt in de voor de HR2006 gebruikte versie van Hydra-K.

¹ Het document waar hier naar verwezen wordt bevat de *release notes* van versie 3.6.2. Hierin staan de veranderingen ten opzichte van eerdere versies.



Figuur 2-1: Standaardprofielen in de Westerschelde. Links standaardprofiel 2, rechts standaardprofiel 1.

Merk op dat voor de HR berekening alleen de helling en de ligging van de berm van belang zijn en *niet* de kruinhoogte.



Figuur 2-2: Toekenning profielen aan locaties langs de Westerschelde. Een rode kleur duidt op standaardprofiel 1, een blauwe op standaardprofiel 2.

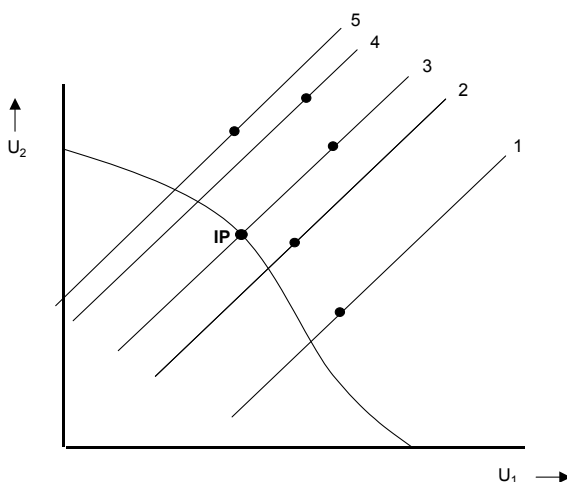
3 Analyse probabilistische rekenresultaten

In dit hoofdstuk presenteren we de uitkomsten van de probabilistische berekeningen. In het bijzonder analyseren we de waarden van de golfparameters die de concept HR2011 kunnen vormen. Waar nodig maken we bij de uitleg van de resultaten gebruik van andere uitvoer van Hydra-K, zoals de windsnelheid of windrichting tijdens maatgevende omstandigheden. In paragraaf 3.1 staat een toelichting op de Hydra-K berekeningen en de eigenschappen van de uitvoer die we zullen analyseren. Paragraaf 3.2 bevat een globale analyse van de resultaten langs de Westerschelde. Tot slot staat in paragraaf 3.3 een gedetailleerde beschrijving van de uitkomsten. Hierbij ligt de focus op het (ruimtelijke) verloop van de golfcondities langs de waterkering door deze rond de Westerschelde in 6 gebieden op te delen.

3.1 Golfcondities in het illustratiepunt

3.1.1 Probabilistische berekening met Hydra-K

De probabilistische berekeningen met Hydra-K resulteren per locatie (onder andere) in één of twee illustratiepunten (IP). Een illustratiepunt is een unieke combinatie van waarden van stochasten die de belasting weergeeft waarbij de toetsberekeningen kunnen worden uitgevoerd. Iets preciezer gesteld is het illustratiepunt in Hydra-K één van de combinaties van wind, waterstand en golfcondities die een hydraulisch belastingniveau oplevert waarvan de overschrijdingsfrequentie gelijk is aan de norm. Net als het klassieke ontwerppunt ligt het illustratiepunt op de grenstoestand (de situatie waarbij de kering net niet faalt). In tegenstelling tot het klassieke ontwerppunt, is het echter *niet* het punt met de hoogste kansdichtheid. Het wordt bepaald op grond van het specifieke belastingmodel in Hydra-K dat bekend staat als "methode de Haan" en is het punt waar de grenstoestand wordt doorsneden met een zoeklijn. Deze zoeklijn volgt uit de waarden van een vooraf bepaald aantal waarnemingen, die zo zijn "opgeschaald" dat ze tot falen van de constructie leiden. Het illustratiepunt is het zwaartepunt van deze opgeschaalde waarnemingen. Dit is in Figuur 3-1 grafisch weergegeven.



Figuur 3-1: Schets van een faalgebied met 5 opgeschaalde punten waarvoor falen optreedt. Door deze 'faalpunten' zijn lijnen getrokken. Het snijpunt van de middelste lijn met de grenstoestand (curve) is het illustratiepunt IP. Deze middelste lijn wordt de scanlijn genoemd. Ontleend aan [de Valk et al., 2008].

Om de golfcondities in het illustratiepunt te bepalen die als concept HR kunnen dienen, is voor alle 757 uitvoerlocaties een berekening gemaakt met Hydra-K versie 3.6.2 voor het

faalmechanisme golfoverslag. Het berekende belastingniveau wordt voor dit faalmechanisme ook wel de *minimaal* benodigde kruinhoogte genoemd. Er is gerekend met een kritiek overslag-debiet van 1 l/s/m.

Het probabilistische rekenmodel Hydra-K berekent (alleen) bij de normfrequentie twee illustratiepunten. In het tweede illustratiepunt geldt dat de waterstand géén deel uitmaakt van het illustratiepunt, maar dat de waterstand feitelijk direct volgt uit het (uit de invoerdatabase ingelezen) Toetspeil voor de betreffende locatie. Het Toetspeil is de waterstand met een overschrijdingsfrequentie die gelijk is aan de norm. In het eerste illustratiepunt maakt de waterstand wél deel uit van het illustratiepunt. De waterstand hoeft in dat geval dus niet precies overeen te komen met de waarde van het Toetspeil. De concept HR2011 zullen worden gebaseerd op het tweede illustratiepunt. Daarom volgt nu achtergrond bij de interpretatie van dit tweede IP.

3.1.2 Tweede illustratiepunt met waterstand gelijk aan Toetspeil

Een inhoudelijke onderbouwing van het tweede IP ontbreekt [de Valk et al., 2008]. Het ligt op de grenstoestand en de waterstand is gelijk gesteld aan het Toetspeil. De waarden van de stochasten in het tweede IP resulteren in hetzelfde hydraulische belastingniveau als het eerste IP. De combinaties van waarden van waterstand en wind kunnen echter soms (probabilistisch en fysisch gezien) onrealistisch overkomen. Dit heeft te maken met de bepaling van het tweede IP. Deze lichten we hieronder toe.

In eerste instantie beschouwen we een locatie waarvoor de waterstand in het eerste IP lager is dan het Toetspeil. Dit is vaak het geval, *maar niet altijd*, zoals we in paragraaf 3.1.3 toelichten. Stel de waterstand – in het tweede IP – eens gelijk aan het Toetspeil en kies de windrichting gelijk aan die in het eerste IP. Om hetzelfde hydraulisch belastingniveau te bereiken moet de windsnelheid (bij de meeste windrichtingen) een lagere waarde aannemen, om zo op lagere golfcondities en dus minder golfoverslag uit te komen. Voor de meeste locaties valt de windsnelheid niet veel lager uit. Voor oostelijk georiënteerde locaties leidt de aanpassing van de waterstand daarentegen soms tot een windsnelheid lager dan 15 m/s (bij een westelijke windrichting). Het ligt probabilistisch gezien echter helemaal niet voor de hand dat de waterstand bij deze windsnelheid het Toetspeil bereikt. Er wordt doorgaans juist een hoge positieve correlatie tussen windsnelheid en waterstand verondersteld.

In het geval dat het Toetspeil lager is dan de waterstand in het eerste IP, moet de windsnelheid een hogere waarde aannemen dan in het eerste IP (zie paragraaf 3.1.3). Dit kan eveneens tot vreemde uitkomsten leiden: bijv. een extreem hoge windsnelheid (tot wel 80 m/s!) of helemaal geen tweede IP (zie paragraaf 3.2).

De vraag is nu waarom voor locaties met een oostelijke oriëntatie de windsnelheid in het tweede IP flink lager (of hoger) uitvalt dan de windsnelheid in het eerste IP. Het antwoord is dat het berekende hydraulisch belastingniveau voor deze locaties niet veel hoger is dan het Toetspeil. Golven dragen nauwelijks bij op deze locaties en het hydraulisch belastingniveau is vrij ongevoelig voor de invloed van wind en golven. Om bij een iets hogere waterstand hetzelfde belastingniveau te vinden moet de windsnelheid dus flink dalen.

De vorm van de grenstoestand bepaalt hoe sterk de windsnelheid – en dus de resulterende golfcondities – moeten veranderen om langs de grenstoestand van waterstand in IP1 naar het Toetspeil te schuiven. De grenstoestand is niets anders dan een isolijn met daarop combinaties

van waterstand en windsnelheid met hetzelfde hydraulisch belastingniveau. Het blijkt dat de isolijnen nagenoeg verticaal zijn. Een verandering van de waterstand leidt dan tot een enorme verandering in de windsnelheid (meestal een daling). In paragraaf 3.2 zullen we voorbeelden van zulke verticale isolijnen bespreken. In sommige gevallen vertonen de isolijnen knikken en is de vorm van de faalgebieden *irregulier*.

3.1.3 Waterstand in het eerste illustratiepunt is hoger dan Toetspeil

In het algemeen geldt dat de waterstand in het eerste IP lager is dan het Toetspeil. Door de definitie van illustratiepunten in Hydra-K is het ook mogelijk dat de waterstand hóger is dan het Toetspeil. Dit lichten we hieronder aan de hand van een specifiek en een algemeen geval toe.

Specifiek geval

Beschouw een locatie op het oosten, met dijknormaal 120 graden en normfrequentie 1 / 4000 per jaar. Het Toetspeil wordt in het algemeen vooral door 1 bepaalde windrichting gedomineerd. Neem als voorbeeld aan dat deze 300 °N is. Neem verder aan dat bij deze windrichting golven geen bedreiging vormen voor de kruinhoogte omdat ze afluend zijn (in dit voorbeeld draaien ze dus onvoldoende bij om belastend te zijn) en dus zou de benodigde kruinhoogte exact gelijk zijn aan Toetspeil. Het kan echter zo zijn dat omliggende windrichtingen, waarbij de golfrichting sterk is bijgedraaid, wel een golfbelasting leveren (die dan samengaan met een lagere waterstand dan Toetspeil). Vanwege deze omliggende windrichtingen met golfbelastingen moet de (benodigde) kruinhoogte boven het Toetspeil liggen. Er is immers extra marge nodig t.o.v. Toetspeil omdat voor de omliggende windrichtingen de belastingniveaus (waterstand + golfoverslaghoogte) hoger zijn dan de waterstanden voor deze windrichtingen.

De benodigde kruinhoogte moet dus voor deze locatie hoger zijn dan het Toetspeil, zodat de gezamenlijke overschrijdingen van de richtingen op 1 / 4000 uitkomen. Het kan echter nog steeds voorkomen dat 300 °N de belangrijkste windrichting is voor falen: deze windrichting heeft dan de meeste overschrijdingen van de kruin. Omdat voor deze richting geen golfbelasting optreedt, wordt de waterstand uit IP1 dan gelijk aan de kruinhoogte, die hoger ligt dan het Toetspeil.

Merk op dat in dit voorbeeld de overschrijdingen van de kruinhoogte voor 300 °N bestaan uit het overlopen van de kruin (zonder golfeffecten), terwijl ze voor de omliggende richtingen bestaan uit golfoverslag, al of niet in combinatie met waterstandoverloop.

Algemeen geval

Ook als de meest bepalende richting voor de waterstand wel samengaat met een golfbelasting, kan de waterstand uit IP1 hoger zijn dan het Toetspeil. Dat kan het geval zijn als voor de omliggende windrichtingen (a) de golven relatief veel belangrijker zijn dan voor de windrichting die het meest bepalend is voor de waterstand en (b) de laatstgenoemde windrichting nog steeds de grootste bijdrage aan de overschrijdingsfrequentie levert.

Samengevat komt het er in dit geval op neer dat de bijdragen van de windrichtingen voor kruinhoogteberekeningen veel meer verspreid zijn over de windrichtingen dan voor waterstandberekeningen het geval is. Omdat Hydra-K geen uitsplitsingen naar windrichting geeft, zoals bijvoorbeeld Hydra-Zoet doet, is bovenstaande redenering niet te controleren aan de hand van rekenresultaten.

In de rekenresultaten treffen we het bovenstaande verschijnsel in ongeveer 300 van de 757 locaties aan. In de resultaten van Hydra-K versie 3.5.1 vinden we dit voor 200 van de 923 locaties terug. Dit betekent niet dat de berekeningen voor deze locaties onbetrouwbaar of incorrect zijn. De analyses in dit rapport moeten uitwijzen of dit het geval is.

Slotopmerking

Dit verschijnsel zal niet alleen in Hydra-K spelen, maar ook bij (nog uit te voeren) probabilistische berekeningen in het merengebied en in het benedenrivierengebied (waar voor WTI-2011 ook met SWAN gerekend wordt).

3.1.4 Keuze voor het tweede illustratiepunt in het randvoorwaardenboek

In het randvoorwaardenboek HR2006 staan de golfcondities die overeenkomen met de waarden in het tweede illustratiepunt. Bij de keuze voor het tweede illustratiepunt zijn een aantal kanttekeningen te plaatsen. We noemen de volgende:

- Als eerste ontbreekt een (technisch inhoudelijke) onderbouwing van dit illustratiepunt.
- Daarnaast wijkt de keuze voor het tweede illustratiepunt af van de keuze die in de Hydra-modellen voor de zoete wateren is gemaakt. Daarin wordt namelijk wel met een vrije waterstand in het illustratiepunt gewerkt, wat daarmee een inconsistentie introduceert tussen de zoete en zoute watersystemen.
- Ten derde heeft het vastzetten van de waterstand in het illustratiepunt soms onrealistische uitkomsten tot gevolg. In bepaalde situaties worden onrealistisch grote (of kleine) waarden bepaald van de windsnelheid en de bijbehorende golfcondities.
- Als laatste constateren we dat de zwaarste (golf)belastingen op een waterkering niet altijd optreden bij een waterstand die gelijk is aan het Toetspeil, maar juist bij veel lagere waterstanden. Door de waterstand vast te zetten en daarbij de golfcondities te bepalen is het maar de vraag of bij gebruik in de praktijk een realistische belasting wordt gehanteerd.

Samengevat zijn er een aantal argumenten aan te dragen die het waard maken om te overwegen voor de HR uit te gaan van het eerste illustratiepunt (vrije waterstand). De overstap van het tweede naar het eerste illustratiepunt heeft met name invloed op de golfcondities voor de op het oosten georiënteerde locaties. Voor deze locaties zijn de verschillen tussen de twee illustratiepunten (in het bijzonder de windsnelheid) soms substantieel. Voor de overige locaties is het effect minimaal.

In de rest van dit rapport richt de analyse zich voornamelijk op het tweede illustratiepunt.

3.2 Globale analyse golfcondities

Zoals gezegd bevat Hydra-K versie 3.6.2 databases met 757 SWAN uitvoerlocaties. Eerdere versies van Hydra-K bevatten databases met 912 SWAN uitvoerlocaties. Een vergelijking van locaties met hetzelfde nummer in versies 3.6.0 en 3.6.2 is niet zinvol, omdat bijv. locatie 340 in versie 3.6.0 niet overeenkomt met locatie 340 in versie 3.6.2. In hoofdstuk 45 staat een vergelijking van de nieuwe rekenresultaten met de HR2006 voor de 174 locaties langs de Westerschelde in het randvoorwaardenboek HR2006.

In paragraaf 3.2.1 bespreken we eerst de locaties waarvoor geen uitkomsten worden gevonden. Vervolgens beschouwen we globaal de waarden van de golfparameters H_{m0} (significante

golfhoogte), T_p (piekperiode), $T_{m-1,0}$ (golfperiode) en θ (hoek van golfaanval) in het tweede illustratiepunt. In paragraaf 3.2.6 behandelen we kort enkele opmerkelijke resultaten.

3.2.1 Locaties zonder tweede illustratiepunt

De berekeningen met Hydra-K versie 3.6.2 leveren voor 744 van de 757 uitvoerlocaties uitkomsten op. Laten we eerst de 13 locaties beschouwen waarvoor het tweede illustratiepunt niet berekend wordt. Het betreft de uitvoerlocaties 182, 350, 432, 505, 506, 507, 508, 513, 514, 515, 548, 641 en 642. Hieronder volgt een korte beschrijving van de uitvoer van deze locaties, die daarna niet meer beschouwd zullen worden in de analyses in dit rapport.

Hydra-K geeft voor locatie 350 helemaal geen uitkomsten. Dit is in de lijn der verwachting, aangezien de SWAN database behorende bij deze locaties leeg is. Locatie 350 is daarom reeds tijdens de productiefase op de *zwarte lijst* geplaatst. Dit is de lijst met uitvoerlocaties die niet in aanmerking komen voor de uiteindelijke concept HR2011.

loc. [-]	X [m]	Y [m]	orient. [° N]	kruinh. [m+NAP]	WL [m]	Toets- peil	WS [m/s]	WR [° N]
182	47016	373306	81	5.91	5.91	5.81	28.7	310
432	64145	380540	147	6.33	6.33	6.26	28.1	292
505	53472	385352	75	5.98	5.98	5.95	28.3	300
506	53418	385209	79	5.99	5.99	5.95	28.4	300
507	53396	385057	120	5.98	5.98	5.95	28.2	290
508	53326	384938	152	6.06	6.06	5.95	28.4	290
513	53523	384207	85	5.96	5.96	5.95	28.3	295
514	53555	383965	75	6.05	6.05	5.95	28.8	310
515	53465	383826	94	5.97	5.97	5.95	28.3	295
548	48929	379382	108	5.79	5.79	5.77	28.1	290
641	33781	385614	96	5.42	5.42	5.36	28.9	298
642	33770	385399	105	5.42	5.42	5.36	28.8	298

Tabel 3-1: Eigenschappen van locaties waarvoor het tweede illustratiepunt niet is berekend. Legenda: orient. is de dijknormaal, kruinh. is de kruinhoogte, WL is de nearshore waterstand, WS is de windsnelheid en WR is de windrichting in het **eerste** illustratiepunt.

De overige 12 locaties waarvoor het tweede illustratiepunt niet is berekend hebben allemaal een oostelijke (noord- tot zuidoostelijke) oriëntatie. De resultaten in Tabel 3-1 laten zien dat het gevonden hydraulisch belastingniveau nagenoeg gelijk is aan het Toetspeil. De invloed van wind en golven op het belastingniveau is dus nihil. Gezien de oostelijke oriëntatie nemen de wind, waterstand en ook de golfcondities in het *eerste* illustratiepunt geen vreemde waarden aan. Omdat de waterstand in het eerste illustratiepunt groter dan of gelijk aan het Toetspeil is, zoekt Hydra-K voor het tweede illustratiepunt naar een (hogere) windsnelheid die in combinatie met het Toetspeil tot dezelfde kruinhoogte leidt. Deze windsnelheid wordt door de vorm van de faalgebieden niet gevonden. Dit wordt hieronder toegelicht.

loc. [-]	X [m]	Y [m]	orient. [° N]	kruinh. [m+NAP]	WL IP1 [m]	Toets- peil	WS IP1 [m/s]	WS IP2 [° N]	WR IP12 [° N]
507	53396	385057	120	5.98	5.98	5.95	28.2	-	290
508	53326	384938	152	6.06	6.06	5.95	28.4	-	290
509	53342	384800	74	6.02	6.02	5.95	28.6	38.0	310
547	49132	379536	147	5.98	5.70	5.77	27.3	15.3	290
548	48929	379382	108	5.79	5.79	5.77	28.1	-	290
549	48825	379143	140	6.37	5.71	5.76	27.9	24.5	290

Tabel 3-2: Eigenschappen van burens van locaties waarvoor het tweede illustratiepunt niet is berekend. Legenda: orient. is de dijknormaal, kruinh. is de kruinhoogte, WL IP1 is de nearshore waterstand en WS IP1 is de windsnelheid in het **eerste** IP. WS IP2 is de offshore windsnelheid in het **tweede** IP. WR IP12 is de windrichting in het **eerste** en **tweede** illustratiepunt.

In Bijlage A staan figuren van de faalgebieden voor enkele locaties. Enige toelichting is op zijn plaats. De figuren tonen enerzijds waarnemingen (zwarte kruisjes) en opgeschaalde waarnemingen (gekleurde punten en kruisjes) als combinaties van **offshore** waterstand en windsnelheid. In sommige figuren zijn waterstand en windsnelheid gepresenteerd via de bijbehorende terugkeertijd. Ook tonen de figuren de grenstoestand voor verschillende windrichtingen (gekleurde lijnen). Op deze lijnen leveren de waterstand en windsnelheid hetzelfde hydraulisch belastingniveau op. Deze figuren geven inzicht in de vorm van de grenstoestand. Als het tweede IP berekend is, dan is ook een figuur met lijnen van gelijke overschrijdingsfrequentie (zwarte lijnen) getoond en de offshore waterstand en windsnelheid in het tweede IP (snijpunt blauwe lijnen).

De isolijnen met daarop combinaties van waterstand en windsnelheid met gelijke hydraulische belasting lopen voor locaties 508 en 509 vrijwel verticaal (zie Figuur A-1 t/m Figuur A-3). Voor locatie 508 vertoont de isolijn bij windrichting W een knik. Bij een bepaalde waarde van de waterstand zijn twee waarden van de windsnelheid te vinden waarvoor het hydraulisch belastingniveau dezelfde waarde aanneemt. Voor een regulier faalgebied geldt dat een stijging van de windsnelheid bij dezelfde waterstand tot een hogere hydraulisch belastingniveau leidt. De vorm van de faalgebieden voor locaties 508 en 509 is dus irregulier. Uiteindelijk wordt hierdoor geen tweede illustratiepunt gevonden.

Voor locatie 509, met oriëntatie OZO, wordt wel een tweede IP gevonden. De offshore waterstand in het eerste IP is hoger dan het Toetspeil en de windsnelheid in het tweede IP is hierdoor, en vanwege de steile isolijnen, in verhouding tot andere locaties hoog: 38 m/s (zie Tabel 3-2 en zie Figuur A-3).

Voor locaties 547 t/m 549 staan ook figuren met faalgebieden in Bijlage A. Locaties 547 en 549 hebben wel een tweede IP, locatie 548 niet. De irreguliere vorm van het faalgebied draagt hier aan bij. De oriëntatie van 547 en 549 is ZO, die van 548 OZO. In Tabel 3-2 is te zien dat de waterstand in het eerste IP voor locaties 547 en 549 lager is dan het Toetspeil. De windsnelheid in het tweede IP is hierdoor laag, met name voor locatie 547. Figuur A-4, Figuur A-5, Figuur A-7 en Figuur A-8 laten zien dat de isolijnen voor locatie 547 nog steiler verlopen dan de isolijnen voor locatie 549. De knikken in de isolijnen voor loc. 547 duiden zelfs op een irregulier faalgebied. Desondanks wordt voor locatie 547 wel een tweede IP gevonden.

In Bijlage A staan ter illustratie ook figuren van de faalgebieden van locatie 150. Voor deze westelijk gerichte locatie is de waterstand in het eerste IP ongeveer gelijk aan het Toetspeil en dus verschillen de golfcondities in het tweede IP nauwelijks van die in het eerste IP. De isolijnen

in Figuur A-9 en Figuur A-10 vertonen een veel minder verticaal verloop dan voor de oostelijk gerichte locaties hierboven. Een kleine wijziging in de waterstand zal dus leiden tot een kleine aanpassing van de windsnelheid.

Samenvattend kan men stellen dat het tweede illustratiepunt voor de 12 locaties in Tabel 3-1 om twee redenen niet wordt gevonden. Enerzijds zijn de locaties allemaal oostelijk georiënteerd. De maatgevende situatie voor faalmechanisme golfoverslag wordt bepaald door de waterstand en *niet* door golven. De isolijnen lopen vrijwel verticaal en vertonen soms zelfs knikken (irreguliere faalgebieden). Anderzijds is voor de 12 locaties de waterstand in het eerste illustratiepunt hoger dan het Toetspeil. In paragraaf 3.1 is uitgelegd hoe dat mogelijk is. De waterstand in het tweede illustratiepunt moet daarom lager zijn. De windsnelheid die samen met deze waterstand leidt tot hetzelfde belastingniveau wordt vanwege de vorm van de isolijnen c.q. faalgebieden niet gevonden. De 12 locaties zijn op de zwarte lijst geplaatst.

De golfcondities in het tweede IP van de nabijgelegen locaties zijn over het algemeen betrouwbaar te noemen. De oriëntatie van deze locaties is ook oostelijk. In een enkel geval valt de windsnelheid in het tweede IP wat hoog uit. In iets meer gevallen valt de windsnelheid juist lager uit dan 20 m/s. De golfcondities zijn op basis van extrapolatie bepaald vanuit de laagste windsnelheid in de SWAN-database (20 m/s). In enkele locaties nemen de golfcondities hierdoor opvallende waarden aan. Hier komen we in paragrafen 3.2.6 en 3.3 nog op terug.

Figuur A-13 en Figuur A-14 in Bijlage A tonen de nearshore waterstand en de nearshore windsnelheid in het eerste en tweede illustratiepunt voor alle locaties in de Westerschelde. Enerzijds valt op dat de nearshore waterstand in het eerste illustratiepunt een grillig verloop heeft ten opzichte van het 'gladde' verloop van het Toetspeil. Anderzijds is ook het verloop van de windsnelheid in het tweede illustratiepunt door het vastzetten van de waterstand grillig.

N.B. Tijdens de productiefase is ook locatie 729 op de zwarte lijst geplaatst. Het Toetspeil voor deze locatie ligt onder de laagste waterstand waarvoor golfparameters zijn afgeleid. Desondanks zijn er berekeningen gemaakt voor deze locatie. Op het eerste gezicht lijken de resultaten zelfs plausibel. Wel moet opgemerkt worden dat Hydra-K beide illustratiepunten berekent door de golfparameters te extrapoleren tot onder de laagste waterstand waarvoor golfcondities beschikbaar zijn. Omdat voor bijvoorbeeld het faalmechanisme "stabiliteit van de bekleding" ook golfcondities onder het Toetspeil berekend moeten worden, verwijderen we deze uitvoerlocatie alsnog uit de Hydra-K databases. (Dit doen we ook met locatie 350 en de hierboven besproken 12 locaties.)

3.2.2 Significante golfhoogte H_{m0}

Figuur B-1 toont de oude en nieuwe berekende significante golfhoogtes als functie van het locatienummer. De nieuwe waarden liggen tussen 0 en 4 m. Aan de zeezijde nemen de waarden zoals verwacht mocht worden de hoogste waarden aan. Dieper in de Westerschelde dalen de waarden. Op oostelijke gerichte locaties neemt de waarde van H_{m0} af tot onder 1.0 m. De waarde van H_{m0} komt voor op de zuidoever gelegen locaties met westelijke oriëntatie vanwege een lange strijklengte bij de maatgevende windrichting en de ligging van de diepe vaargeul boven 2.0 m uit. Het verloop van H_{m0} is hiermee voor het merendeel, zeg 90%, van de locaties al goed te verklaren. Voor de overige 10% is een gedetailleerde analyse nodig om onderlinge verschillen te verklaren. Dit gebeurt in paragraaf 3.3.

In Figuur B-1 laat de grafiek voor 'versie 3.6.2' 5 neerwaartse "pieken" zien. Het blijkt dat de golfhoogte voor 6 (!) locaties erg laag uitvalt. Voor deze locaties zijn ook lage waarden zichtbaar in de grafieken van de gemiddelde golfperiode $T_{m-1,0}$ en de piekperiode T_p , maar minder in benodigde kruinhoogte. We behandelen deze uitschieters gezamenlijk in paragraaf 3.3. Daar komen we ook terug op het effect van bodemligging en dijknormaal op de verschillen tussen naburige uitvoerlocaties.

Figuur B-2 laat de significante golfhoogtes zien in de vorm van een geografische weergave. Dit biedt de mogelijkheid om een voorzichtige vergelijking tussen de oude en de nieuwe waarden te maken. Op het eerste gezicht lijken de nieuwe golfhoogtes voor de locaties aan de Noordzeezijde van de zuidoever een hogere waarde aan te nemen dan voorheen. In het oostelijke deel van het Land van Saefthinghe vallen de waarden lager uit. Dit heeft te maken met het opnemen van de voor de primaire waterkering gelegen Leidingendijk in het nieuwe model-instrumentarium. Voor de locaties aan de noordkant van de kop van Walcheren (noordoever) vallen de nieuwe waarden lager uit. De waarden in het midden van de noordoever lijken juist iets hoger uit te vallen dan voorheen. In hoofdstuk 4 staan de resultaten van een nadere analyse van de (exacte) grootte van de verschillen in uitkomsten tussen HR2006 en de nieuwe rekenresultaten (die de concept HR2011 kunnen vormen) voor een selectie van de locaties.

3.2.3 Golfperiode $T_{m-1,0}$

Figuur B-3 toont de oude en nieuwe berekende golfperiodes als functie van het locatienummer. De nieuwe waarden van $T_{m-1,0}$ liggen tussen 2 s en 9 s. De hoogste waarden worden vanwege de grote strijklengtes over westelijke windrichtingen langs de kust bereikt. Verder in de Westerschelde nemen de waarden af, omdat relatief lange Noordzee golven slechts beperkt doordringen en golven daar voornamelijk lokaal gegeneerd zijn. Vanwege de westelijke oriëntatie en lange strijklengtes over de westelijke richtingen bereiken de waarden voor locaties 150 t/m 250 ook nog waarden tot 5.0 s. Om dezelfde reden nemen de waarden vanaf ongeveer locatie 570 ook relatief hoge waarden aan. Het globale verloop komt daarmee overeen met de verwachtingen.

Uitschieters zijn te verklaren aan de hand van lokale eigenschappen als ligging, geometrie en lage / hoge voorlanden. In paragraaf 3.3 komen we hierop terug in de gedetailleerde analyse. In de grafiek voor versie 3.6.2 zijn net als bij de significante golfhoogte 5 "pieken" met zeer lage golfperiodes te zien. We behandelen deze uitschieters gezamenlijk in paragraaf 3.2.6.

Figuur B-4 laat de golfperiodes zien in de vorm van een geografische weergave. Dit biedt de mogelijkheid om een voorzichtige vergelijking tussen de oude en de nieuwe waarden te maken. Voor de op het oosten gelegen locaties 500 t/m 550 in versie 3.6.2 is de waarde van de golfperiode lager dan die voor de overeenkomstige locaties in versie 3.6.0. In het oostelijke deel van het Land van Saefthinghe vallen de waarden lager uit (zie hierboven genoemde reden). Voor andere locaties lijken de waarden ongeveer gelijk gebleven. Het globale verloop is ongeveer gelijk. In hoofdstuk 4 staan de resultaten van een nadere analyse van de (exacte) grootte van de verschillen in uitkomsten tussen HR2006 en de nieuwe rekenresultaten (die de concept HR2011 kunnen vormen).

3.2.4 Piekperiode T_p

Figuur B-5 toont de oude en nieuw berekende piekperiodes als functie van het locatienummer. De piekperiode is net als de golfperiode door de lange strijklengtes over westelijke

windrichtingen hoog aan de zeezijde (> 10 s). Relatief hoge waarden worden bereikt op de dieper in de Westerschelde gelegen locaties 200 t/m 250. De oorzaak is de westelijke oriëntatie en de lange strijklengtes over de westelijke richtingen. Lage waarden tussen 2 s en 4 s worden gevonden op de op het oosten gerichte locaties 500 t/m 550. Het globale verloop wekt vertrouwen.

Ook nu zijn weer 5 pieken aanwezig in de grafiek. Afgezien van deze pieken liggen de nieuwe waarden tussen 2 en 14 s. Figuur B-6 laat zien dat de nieuwe piekperiodes over het algemeen grotere waarden aannemen dan de oude. In het bijzonder geldt dit voor het westelijke deel van de Westerschelde (aan de Noordzee), de op het oosten gerichte locaties op de noordoever en het Verdrongen Land van Saefthinghe. Er zijn ook locaties waarvoor de piekperiode lager uitvalt. Het verloop is niet heel anders, maar de uitersten van de nieuwe getallen zijn wat groter.

Merk op dat uit de productieberekeningen voor WTI-2011 de 'smoothed' absolute piekperiode T_{ps} is bepaald. De waarde van T_{ps} kan verschillen van de waarde van de piekperiode T_{pm} die voor de HR2006 is bepaald. Vanwege historische redenen zullen we de notatie T_p gebruiken. In hoofdstuk 4 staan de resultaten van een nadere analyse van de (exacte) grootte van de verschillen in uitkomsten tussen HR2006 en de nieuwe rekenresultaten (die de concept HR2011 kunnen vormen).

3.2.5 Hoek van golfaanval (θ)

Figuur B-7 toont de oude en nieuwe berekende hoek van golfaanval als functie van het locatie-nummer. Op de verticale as loopt de hoek van golfaanval over de windroos van O (90° N) tegen de klok in terug naar O (450° N). In de figuur voor versie 3.6.2 zijn een aantal afwijkende waarden te zien. Het betreft locaties 521, 523, 525, 528, 531 en 532. Deze vallen niet samen met de 5 bovengenoemde "pieken". Figuur B-8 illustreert dat de hoek van golfaanval niet los van de dijknormaal kan worden beschouwd.

De locaties 521, 523, 525, 528, 531 en 532 liggen, net als de meeste van hun buurlocaties, op het oosten. Voor deze locaties en hun eveneens oostelijke gerichte buurlocaties lopen de golven evenwijdig aan de kering. De wind staat hierbij aflandig. Opvallend is dat de hoek van golfaanval voor deze locaties springt van NO naar ZW en andersom. Voor de locaties 516 t/m 535 neemt de windsnelheid een waarde tussen 9 en 17 m/s aan en is de windrichting (noord)westelijk. In de meeste gevallen is het Toetspeil hoger dan de vrije waterstand. In het tweede IP moet de waterstand een hogere waarde aannemen en moet de berekende kruinhoogte gelijk blijven. Hydra-K combineert het Toetspeil dus met een lagere windsnelheid om op hetzelfde belastingniveau uit te komen. Net als voor locatie 547 dragen verticale isolijnen (en zelfs irreguliere faalgebieden) bij aan deze lage windsnelheden. De lage waarde van de windsnelheid heeft als gevolg dat Hydra-K de golfparameters door extrapolatie buiten het opgelegde bereik van 20 tot 40 m/s bepaalt. In paragraaf 3.3 beschouwen we de waarden van de golfparameters H_{m0} , T_p en $T_{m-1,0}$ voor deze locaties nader en besluiten we of deze betrouwbaar zijn.

Een visuele vergelijking leert dat in Hydra-K versie 3.6.0 de golfrichting voor ongeveer dezelfde uitvoerlocaties ook behoorlijk varieert. De veranderingen treden op als de dijknormaal van 180 naar 90 graden Noord wijzigt. Anders gezegd, voor de op het (zuid)oosten gerichte locaties kent de golfrichting een grillig verloop. De windsnelheid neemt daarbij in veel gevallen voor deze locaties een waarde van onder de 20 m/s aan.

Figuur B-9 laat de hoek van golfaanval zien in de vorm van een geografische weergave. Merk op dat een vergelijking van de oude en nieuwe hoek van golfaanval niet los te zien is van de dijknormaal (zie Figuur B-8). Aangezien de SWAN uitvoerlocaties en bijbehorende dijknormalen verschillen in beide versies van Hydra-K, is een (globale) vergelijking tussen beide versies aan de hand van Figuur B-9 niet erg zinvol. De resultaten met versie 3.6.0 zijn daarom slechts illustratief.

3.2.6 Uitschieters

Onder uitschieters rekenen we de locaties waarvoor de golfcondities in het illustratiepunt onnatuurlijke waarden aannemen. Bijvoorbeeld een hele hoge waarde van T_p of een hele kleine waarde van H_{m0} . In paragraaf 3.3 zullen we uitschieters in de vorm van grote verschillen tussen naburige locaties en uitschieters in de waarden van de natuurlijke stochastische wind en waterstand bespreken.

Voor uitvoerlocaties 35, 142, 143, 318, 405 en 474 worden waarden van H_{m0} , T_p en $T_{m-1,0}$ dicht bij 0 gevonden. In Tabel 3-3 staan naast gegevens over de ligging van deze locaties, ook de benodigde kruinhoogte en de berekende waarden van de golfparameters, wind en waterstand in het tweede illustratiepunt. Het eerste dat opvalt is dat alle locaties op het oosten of zuidoosten liggen. De golfrichting verschilt telkens minstens 130 graden van de dijknormaal en de berekende minimaal benodigde kruinhoogte is (daarom) ongeveer gelijk aan het Toetspeil.

Het is ook opmerkelijk dat voor locatie 35 het tweede IP niet simpelweg gelijk valt met het eerste IP. De waterstand in het eerste IP is immers gelijk aan het Toetspeil (niet getoond). Blijkbaar zoekt Hydra-K bij dezelfde windrichting en gegeven waterstand nog naar een andere windsnelheid die tot maatgevende omstandigheden leidt. Dat de golfparameters vervolgens ongeveer gelijk aan 0 zijn is niet zo vreemd gezien de lage windsnelheid. In het eerste illustratiepunt (niet getoond) zijn de waarden van de golfparameters hoger, maar door de (zo goed als) aflandige golfrichting is de kruinhoogte ook gelijk aan het Toetspeil.

Ten tweede valt op dat de windrichting tijdens maatgevende omstandigheden WNW (aflandig) is en dat de windsnelheid bijna gelijk is aan 0 m/s. De lage windsnelheid heeft te maken met de oostelijke oriëntatie en het feit dat op deze locaties het berekende hydraulische belastingniveau slechts iets hoger uitvalt dan het Toetspeil. De berekening is dus ongevoelig voor wind en resulterende golven. Nader onderzoek leert dat de waterstand in het eerste IP net iets onder het Toetspeil ligt. Als we kijken naar de isolijnen van locatie 142 in Figuur A-11 en Figuur A-12, dan zien we echter dat de isolijnen voor de maatgevende windrichtingen (W en WNW) ontbreken. Het is onduidelijk of ze niet getekend zijn of buiten de grafiek liggen. Dit maakt het moeilijk om een verklaring te geven voor de lage windsnelheid.

Het gevolg van de zeer lage windsnelheid is dat Hydra-K waarden van de golfparameters gaat extrapoleren onder de laagste windsnelheid in de transformatiematrix: 20 m/s. Er zijn geen SWAN berekeningen gemaakt met lagere windsnelheden. Deze extrapolatie leidt in sommige gevallen zelfs tot negatieve waarden van de golfparameter T_{m02} . Hydra-K verbiedt dit gedrag niet. Hier zou een waarschuwing op zijn plaats zijn.

De 6 uitvoerlocaties in Tabel 3-3 krijgen een vermelding op de zwarte lijst. De golfcondities van deze uitvoerlocaties zullen niet gebruikt worden voor een vergelijking met de HR2006. In de nog volgende analyses zullen we de uitvoerlocaties 35, 142, 143, 318, 405 en 474 verder niet meer beschouwen, tenzij anders vermeld.

loc. [-]	X [m]	Y [m]	orient. [° N]	kruinh. [m+NAP]	WL [m+NAP]	WS [m/s]	WR [° N]	H_{m0} [m]	$T_{m-1,0}$ [s]	θ [° N]	T_p [s]	T_{m02} [s]
35	19933	379767	100	5.15	5.15	0	310	0.08	0.13	329	0.18	5.24
142	41665	374143	129	5.67	5.68	3	295	0.00	0.46	358	0.55	-0.72
143	41553	373923	130	5.67	5.68	5	295	0.00	0.76	334	5.54	-0.90
318	66345	374611	96	6.44	6.45	3	290	0.00	0.23	313	0.32	0.09
405	69643	379269	106	6.44	6.45	2	290	0.00	0.22	232	0.29	0.41
474	58671	384733	116	6.05	6.05	2	290	0.00	0.21	254	0.25	-3.84

Tabel 3-3: Tweede illustratiepunt voor locaties met H_{m0} ongeveer gelijk aan 0. Legenda: orient. is de dijknormaal, kruinh. is de kruinhoogte, WL is gelijk aan het Toetspeil, WS is de windsnelheid, WR is de windrichting.

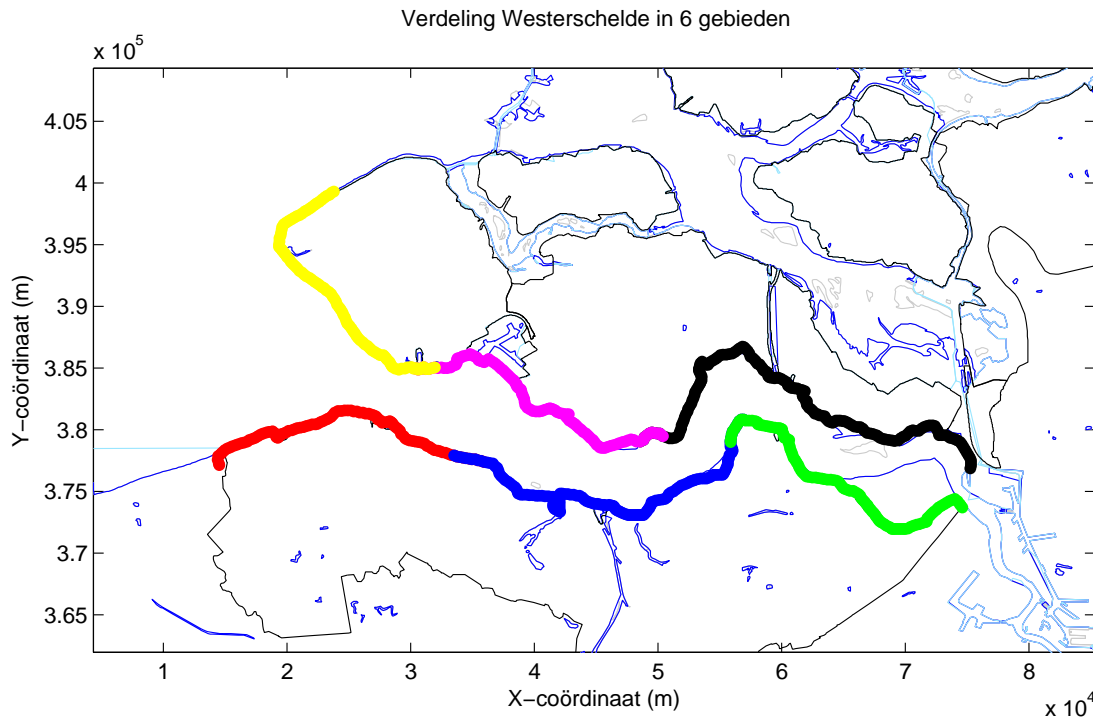
3.3 Gedetailleerde analyse golfcondities

In deze paragraaf analyseren we de verschillen in waarden van H_{m0} , T_p en $T_{m-1,0}$ tussen naburige locaties. Vooraf is de verwachting dat verschillen tussen naburige locaties voornamelijk optreden als gevolg van veranderingen in de dijknormaal, de bodemligging of de geometrie. In een enkel geval kan ook de afstand tussen twee locaties een groot verschil verklaren. Op zichzelf staande uitschieters in H_{m0} , T_p en $T_{m-1,0}$ en uitschieters in de hoek van golfaanval en de relatie met de dijknormaal zijn voor een groot deel al in paragrafen 3.2.5 en 3.2.6 besproken.

In de vorige paragraaf hebben we laten zien dat het verloop van de golfparameters langs de waterkering plausibel oogt voor het merendeel van de locaties. In deze paragraaf bestuderen we de minderheid van de locaties waarvoor de parameterwaarden onderling grote verschillen vertonen. Deze verschillen zijn over het algemeen goed te verklaren en deze paragraaf richt zich dan ook in detail op de aspecten die de verschillen veroorzaken. Aan het eind van deze gedetailleerde analyse is de belangrijkste conclusie dat het overgrote deel van de resultaten voor bovengenoemde minderheid van locaties betrouwbaar is. Slechts voor een enkele locatie is het niet helemaal duidelijk waarom de parameters afwijkende waarden aannemen.

Voor de analyse delen we de uitvoerlocaties in de Westerschelde in 6 deels overlappende gebieden op (zie Figuur 3-2). Locaties 1 t/m 111 vallen in gebied "ZW", locaties 101 t/m 261 in gebied "Z", locaties 251 t/m 369 in gebied "ZO", locaties 370 t/m 550 vallen in gebied "NO", locaties 540 t/m 660 vallen in gebied "N" en locaties 650 t/m 757 vallen in gebied "NW". Er is alleen geen overlap tussen de gebieden "NO" en "ZO", omdat er een sprong van de zuidoever naar de noordoever van 3 km is tussen locatie 369 en 370.

De analyse richt zich op de 737 uitvoerlocaties die overblijven na verwijdering van de locaties 182, 350, 432, 505, 506, 507, 508, 513, 514, 515, 548, 641 en 642 (geen IP2), 35, 142, 143, 318, 405 en 474 (onrealistische maatgevende omstandigheden resulterend in extreme extrapolatie van golfparameters) en 729 (al eerder op zwarte lijst geplaatst omdat het Toetspeil lager ligt dan de waterstanden in de SWAN database).



Figuur 3-2: Indeling Westerschelde in 6 gebieden voor de analyse van golfcondities. Legenda: rood = "ZW", blauw = "Z", groen = "ZO", zwart = "NO", magenta = "N", geel = "NW".

3.3.1 Definitie paarsgewijze vergelijking en 'grote' verschillen

Voor het vergelijken van de golfcondities tussen buurpunten is het ten eerste noodzakelijk om buurpunten te definiëren en ten tweede om te definiëren wat 'grote' verschillen zijn. Onder buren verstaan we paren van opeenvolgende uitvoerlocaties (eventueel na verwijdering van andere uitvoerlocaties; dus ook locaties 349 en 351 vormen een paar). In totaal beschouwen we 736 paren uitvoerlocaties. Verschillen definiëren we in absolute zin. Hieronder staat per golfparameter wat een groot verschil is (arbitrair).

Significante golfhoogte H_{m0}

We zullen een absoluut verschil in H_{m0} van 0.5 m of meer groot noemen. Aan dit criterium voldoen in totaal 42 paren van uitvoerlocaties. Als we een verschil in H_{m0} van 0.3 m groot vinden, dan vinden we 98 paren van uitvoerlocaties. Ter vergelijking: we vinden met deze criteria 36 respectievelijk 81 paren van uitvoerlocaties in Hydra-K versie 3.6.0. Aangenomen mag worden dat uit de databases onder versie 3.6.0 alle vreemde waarden zijn verwijderd bij het afleiden van de HR2006.

Golfperiode $T_{m-1,0}$

We zullen een absoluut verschil in $T_{m-1,0}$ van 1 s of meer groot noemen. Aan dit criterium voldoen 17 paren van uitvoerlocaties. Als we een verschil van 0.5 s groot vinden, dan zijn er 55 paren van uitvoerlocaties die aan dit criterium voldoen. Ter vergelijking: we vinden met deze criteria 26 respectievelijk 51 paren van uitvoerlocaties in Hydra-K versie 3.6.0.

Piekperiode T_p

We zullen een absoluut verschil in T_p van 1 s groot noemen. Aan dit criterium voldoen 35 paren van uitvoerlocaties. Als we een verschil van 0.5 s groot vinden, dan zijn er 100 paren van

uitvoerlocaties die aan dit criterium voldoen. Ter vergelijking: we vinden met deze criteria 34 respectievelijk 87 paren van uitvoerlocaties in Hydra-K versie 3.6.0.

3.3.2 Gebied "ZW"

Figuur B-10 toont de significante golfhoogte H_{m0} samen met de dijknormaal en de bodemligging in het gebied "ZW". De waarden van de golfparameters H_{m0} , T_p en $T_{m-1,0}$ neemt af naar mate de locaties verder in de Westerschelde liggen. De uitvoerlocaties in dit gebied hebben veelal een dijknormaal N / NW, met uitzondering van de inkeping bij Nieuwvliet-Bad (loc. 22-30). De eerste 50 locaties liggen aan de Noordzee en hebben een bodemligging tussen -1 en 3 m+NAP. Verschillen in bodemligging zullen hier dus een effect hebben op de golfparameters. De bodem van de locaties 51 t/m 111 ligt veelal onder NAP en in sommige gevallen zelfs lager dan -15 m+NAP. Verschillen in bodemligging zullen hier minder effect hebben op de golfcondities.

Figuur B-10 t/m Figuur B-12 tonen de significante golfhoogte H_{m0} , de gemiddelde golfperiode $T_{m-1,0}$, respectievelijk de piekperiode T_p voor de locaties in het gebied "ZW" in combinatie met de dijknormaal en de bodemligging.

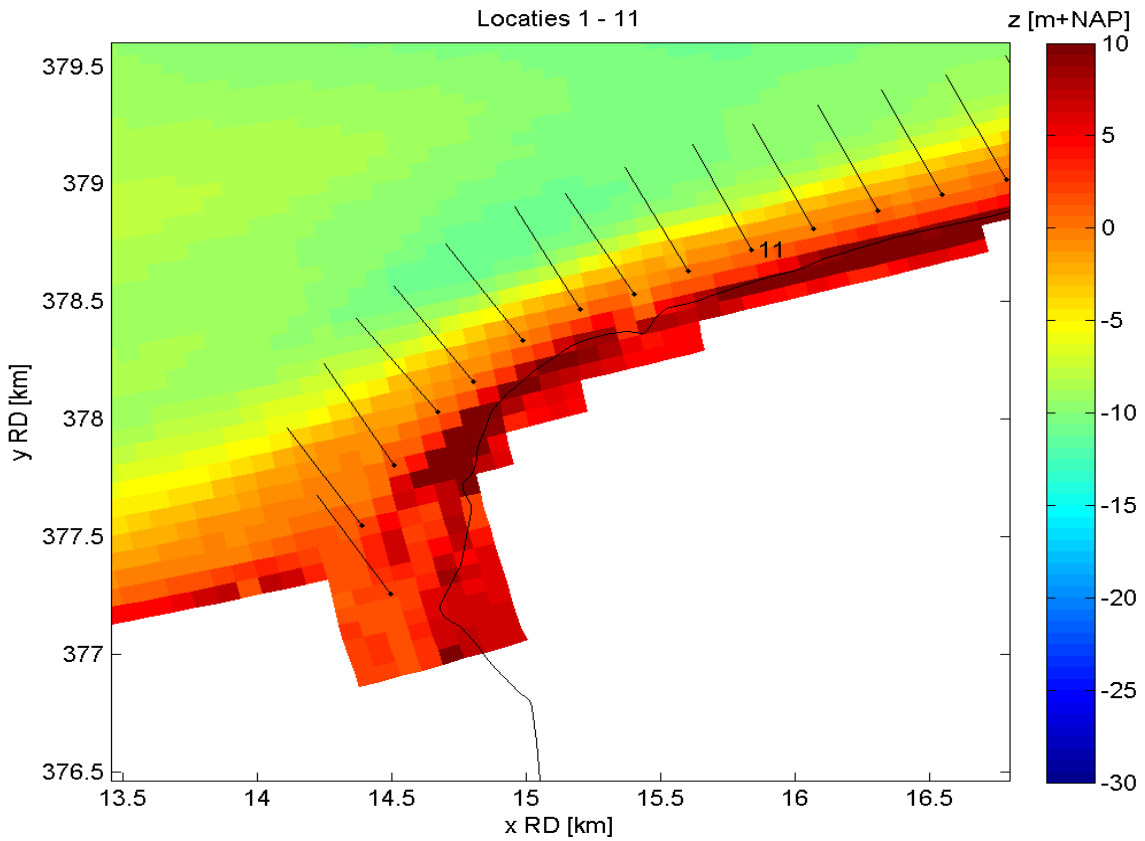
Significante golfhoogte H_{m0}

In gebied "ZW" constateren we 'grote' verschillen tussen locaties 1 t/m 4, 19 en 20, 24 en 25, 26 en 27, 31 en 32, 34 en 36, 38 en 39, en 88 en 89 (zie Tabel C-1 en Figuur B-10). Over het algemeen zijn deze verschillen te verklaren door een verschil in de bodemligging en/of in de dijknormaal. Een hogere bodemligging leidt tot een lagere waarde van H_{m0} en een (meer) op het oosten gelegen locatie heeft doorgaans een lagere waarde van H_{m0} dan een op het (noord)westen gelegen locatie. Voor de eerste 3 locaties, die een relatief hoog voorland hebben, is het verschil in bodemligging telkens minimaal 1 meter. De bodemligging lijkt een grotere invloed te hebben dan de dijknormaal. De dijknormaal varieert niet zoveel in dit gebied.

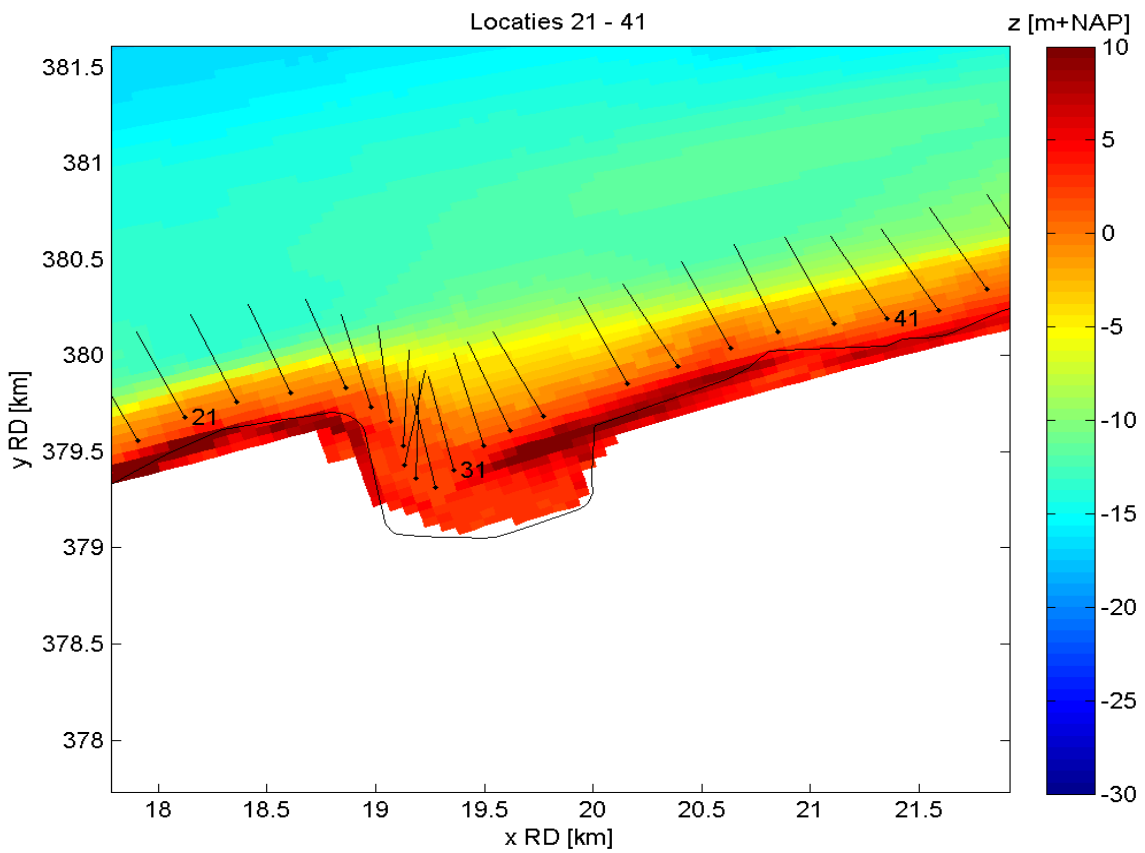
In 1 geval leidt een bodemdaling tot een lagere waarde van H_{m0} . De waarde van H_{m0} daalt tussen locatie 88 en 89 met 0.55 m, maar de waterdiepte neemt met 4.2 m toe. Dit verschil kan niet aan de dijknormaal toegeschreven worden. Nadere analyse leert dat de waarde van H_{m0} voor locatie 88 minstens 15% hoger is dan in omliggende uitvoerlocaties. Dit heeft te maken met de ligging van locatie 88 achter en gecentreerd ten opzichte van een lokale verdieping van een geul vlak voor de kust. In Figuur 3-5 is te zien dat de golven op locatie 88 precies over de diepe geul lopen en dus niet zo sterk gedissipeerd worden als in omliggende locaties.

Afgezien van de grote verschillen in bodemligging in de eerste 4 locaties, blijkt dat de waarde van de windsnelheid in locatie 1 gelijk is aan 80 (!) m/s. De oorzaak ligt in het feit dat de waterstand in het eerste IP *hoger* ligt dan het Toetspeil. De golfcondities zijn als gevolg via extrapolatie bepaald en dit kan de hoge waarde van H_{m0} verklaren. Voor locatie 2 is de windsnelheid iets lager dan 20 m/s. De waarde van H_{m0} is veel lager dan in de naburige locaties. De oorzaak ligt in de hoge bodemligging (2.1 m+NAP) en de lage windsnelheid. Combineren van Figuur 3-2 en Figuur 3-3 leert dat locaties 1 en 2 afgeschermd liggen voor westelijke wind.

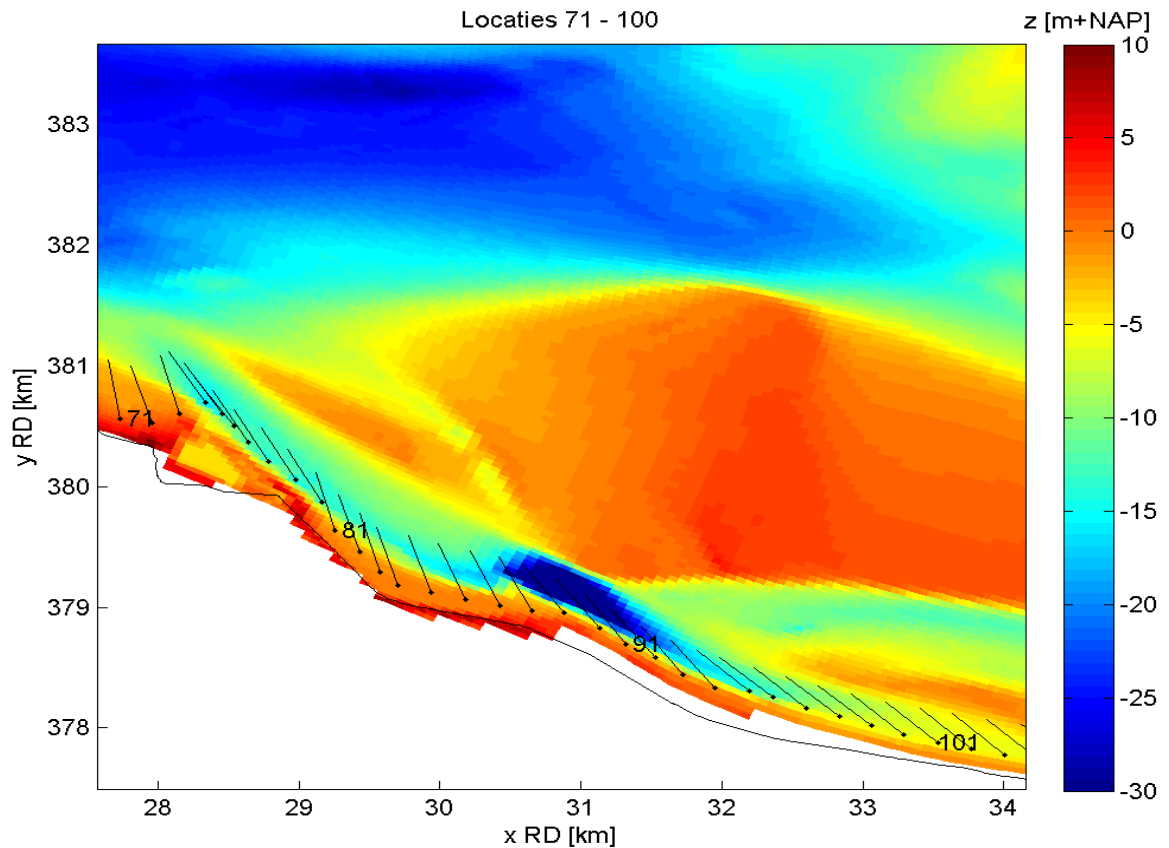
Uitvoerlocatie 1 komt op de zwarte lijst te staan. Locatie 2 en 88 nog niet.



Figuur 3-3: Bodemligging (kleurenbalk) en hoek van inval golven op locaties 1 t/m 15.



Figuur 3-4: Bodemligging (kleurenbalk) en hoek van inval golven op locaties 21 t/m 41.



Figuur 3-5: Bodemligging (kleurenbalk) en hoek van inval golven op locaties 71 t/m 101.

Golfperiode $T_{m-1,0}$

In gebied "ZW" constateren we 'grote' verschillen in $T_{m-1,0}$ tussen locaties 1 t/m 3, 31 en 32, en 88 en 89. De eerste 3 locaties verschillen behoorlijk in bodemligging, maar ook het al genoemde verschil in windsnelheid draagt bij aan de verschillen. De eerste twee locaties liggen achterin de oude zeearm het Zwin en hebben een vrij korte strijklengte over de westelijke richtingen (zie Figuur 3-3; de waterkering is hierin niet getekend). Locaties 26 t/m 34 liggen in een afgeschermd gebied, waarbij opvalt dat de strijklengten van locaties 26 t/m 31 door de inkeping bij Nieuwvliet-Bad erg kort zijn over de maatgevende windrichting (NW). Zie Figuur 3-4. Dit resulteert in jonge, korte golven.

De waarde van $T_{m-1,0}$ is voor locatie 88 ruim 10% groter dan in omliggende locaties. De verklaring is hierboven al gegeven met behulp van Figuur 3-5. De strijklengte over de maatgevende windrichting gaat voor locatie 88 precies over de diepe geul langs de kust en is langer dan die voor de naburige locaties. Dit verklaart de verschillen in $T_{m-1,0}$ tussen locaties 87 t/m 89.

Piekperiode T_p

In gebied "ZW" zijn grote verschillen in T_p in het algemeen te verklaren door een verschil in strijklengte en de voorlanden waarover de golven lopen. Opvallend is dat de piekperiode voor locatie 87 veel hoger is dan voor locatie 86 (> 1.0 s), hoewel de gemiddelde golfperiode maar iets groter is (0.3 s). Het hoge voorland van locatie 86 is over noordwestelijke richting wat langer dan dat van locatie 87. Dit resulteert dus alleen in een veel hogere piekperiode en in een iets hogere gemiddelde golfperiode. Voor locaties 87 en 88 neemt T_p een ruim 20% hogere

waarde aan dan in omliggende locaties. De reden is dat voor deze locaties de invloed van lange golven vanaf de Noordzee veel groter is dan voor naburige locaties (zie Figuur 3-5).

Samengevat nemen de waarden van alle golfparameters behoorlijk toe tussen uitvoerlocaties 81 t/m 88. De waarde van H_{m0} neemt toe van 1.3 m tot 2.3 m, T_p van 4.7 s tot 7.0 s en $T_{m-1,0}$ van 1.3 s tot 2.3 s. De reden voor deze verandering is enerzijds de toename van de strijklengte over westelijke richtingen tussen locaties 81 en 88. Anderzijds neemt de invloed van lange golven vanaf de Noordzee t.o.v. lokaal opgewekte, korte golven, toe. Het laatste verklaart voornamelijk de stijging van T_p . Vanwege de meer afgeschermdde ligging vallen de parameterwaarden voor locatie 89 juist weer lager uit.

Tabel C-1 vermeldt alle locaties waartussen grote verschillen bestaan in dit gebied.

3.3.3 Gebied "Z"

De dijknormaal van de locaties in het gebied "Z" is voor de meeste locaties Noord. De bodem varieert van 2 m+NAP tot -35 m+NAP. Voor erg lage bodemhoogtes verwachten we niet dat afwijkingen bijdragen aan verschillen in golfparameters. Figuur B-13 t/m Figuur B-15 tonen de significante golfhoogte H_{m0} , de gemiddelde golfperiode $T_{m-1,0}$, respectievelijk de piekperiode T_p voor de locaties in het gebied "Z" in combinatie met de dijknormaal en de bodemligging.

Significante golfhoogte H_{m0}

Voor de uitvoerlocaties 114, 144, 163 en 169 verschilt de significante golfhoogte ten opzichte van hun voorgangers. De verschillen in lokale bodemligging dragen hier niet zo zeer aan bij, want de bodem ligt ver onder NAP. De waarde van H_{m0} is voor locatie 114 lager dan voor locatie 113. Locatie 114 ligt weliswaar veel lager, in de geul, maar de dijknormaal is 41 N (NO), tegen 11 N voor locatie 113. De isolijnen voor deze locatie zijn wat steiler en de waterstand in het eerste IP is ook behoorlijk lager dan het Toetspeil. De windsnelheid in het tweede IP is hierdoor erg laag (22 m/s) en dit is de oorzaak van de lage waarde van H_{m0} en golfperiodematen.

Locatie 141 ligt verderop in de Westerschelde, aan de rand van de haven van Terneuzen. Locatie 144 ligt achterin de haven met dijknormaal N en korte strijklengtes over westelijke richtingen. Dit verklaart de lagere waarde van H_{m0} en golfperiodematen voor locatie 144. Merk hierbij nog op dat locaties 141 en 144 relatief ver uit elkaar liggen voor buurlocaties (ca. 0.8 km) na de verwijdering van locaties 142 en 143.

In locatie 163 neemt H_{m0} een lagere waarde aan dan in locatie 162. Dit heeft te maken met de oriëntatie van deze locaties. Locatie 163 heeft dijknormaal ONO en locatie 162 is meer op het Noorden gericht. De reden voor de verschillen tussen locaties 168 en 169 is dat de dijknormaal verspringt van 236 graden Noord naar 8 graden Noord. Bovendien ligt locatie 169 in de vaargeul en ligt locatie 168 veel hoger. Bij een windrichting 300 graden Noord leidt dit tot een hogere waarde van H_{m0} voor locatie 169.

Golfperiode $T_{m-1,0}$

Alleen voor uitvoerlocaties 141 en 144 vertoont $T_{m-1,0}$ een groot verschil. Dit heeft zoals hierboven gezegd te maken met de ligging van de locaties. Locatie 144 ligt diep in de haven van Terneuzen en de strijklengte over de westelijke richtingen is dus erg kort. De waarde van $T_{m-1,0}$ voor locatie 144 is hierdoor kleiner dan die in locatie 141.

Piekperiode T_p

De piekperiode T_p verschilt tussen de burens 123 en 124, en 131 en 132. Voor locatie 124 is de waarde 1.6 s hoger dan voor locatie 123. Debet is het feit dat locatie 124 wat meer verscholen ligt en kortere strijklengtes over westelijke windrichtingen heeft. De verschuiving van dijknormaal van 29 graden Noord (loc. 123) naar 47 graden Noord (loc. 124) leidt niet tot een daling in de windsnelheid in het tweede IP. Dit is wel het geval voor locaties 125 t/m 127.

De waarde van T_p is voor locatie 132 1.3 s hoger dan voor locatie 131. Er is nauwelijks verschil in dijknormaal, maar de strijklengte neemt vanaf locatie 131 tot locatie 140 wel toe. Dit resulteert niet alleen in hogere piekperiodes, maar ook in hogere belastingniveaus. De verschillen in de waarden van $T_{m-1,0}$ en H_{m0} tussen locaties 131 en 132 zijn overigens niet groot en zijn zoals verwacht voor locatie 132 groter.

Tabel C-2 vermeldt alle locaties waartussen grote verschillen bestaan in dit gebied.

3.3.4 Gebied "ZO"

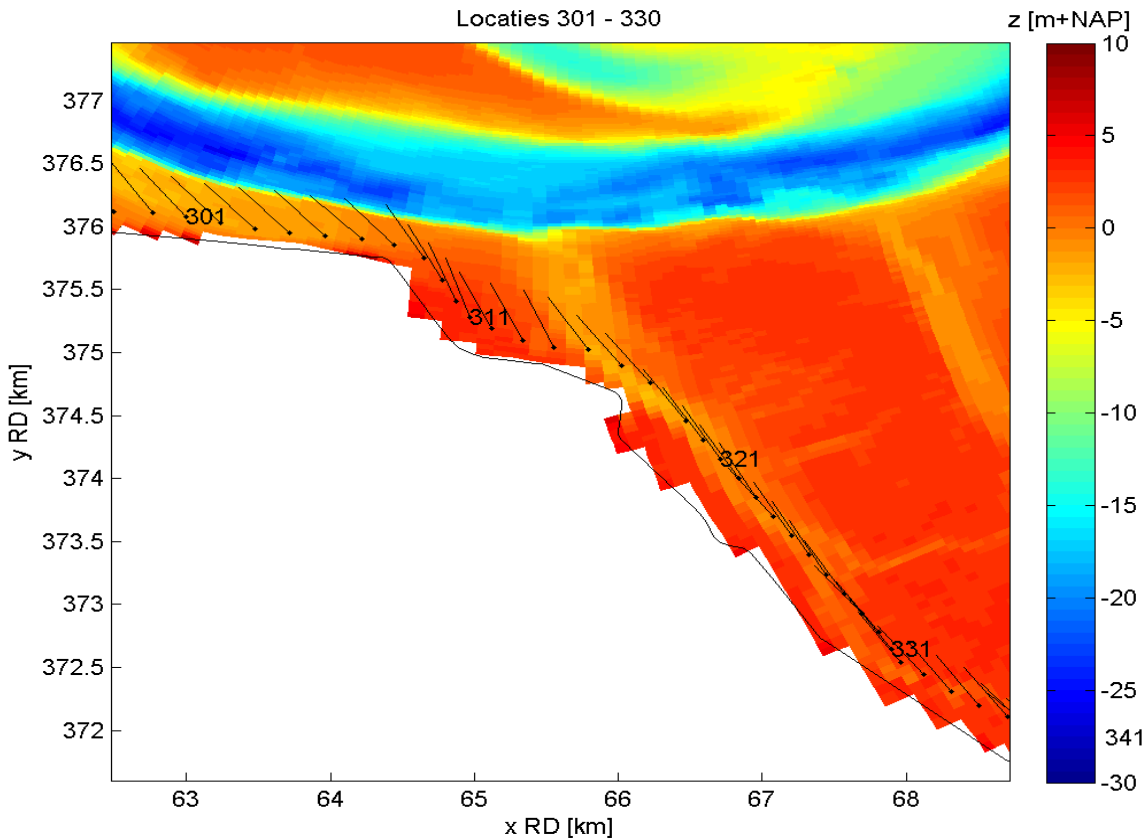
Figuur B-16 t/m Figuur B-18 tonen de significante golfhoogte H_{m0} , de gemiddelde golfperiode $T_{m-1,0}$, respectievelijk de piekperiode T_p voor de locaties in het gebied "ZO" in combinatie met de dijknormaal en de bodemligging. De dijknormaal voor de uitvoerlocaties in dit gebied varieert van West (locaties tussen 200 en 260) tot Oost (bijv. locaties 275 t/m 294) of Noord (bijv. locaties 260 t/m 273 en 298 t/m 306). De lokale bodemhoogte varieert behoorlijk tussen locaties 251 en 293. De bodem ligt op locaties 255 t/m 258 op 1 à 2 m+NAP, maar op andere locaties ligt de bodem tot -17 m+NAP. Vanaf locatie 294 ligt de bodem met een enkele uitzondering boven NAP. De bodem ligt in het Verdrongen Land van Saeftinghe (locaties 330 t/m 369) op 2 tot 4 m+NAP. Hier zullen verschillen in bodemligging naar verwachting bijdragen aan verschillen in de waarden van golfparameters.

Significante golfhoogte H_{m0}

De waarde van H_{m0} daalt onverwacht tussen locatie 307 en 308. Voorland, strijklengte en bodemligging zijn nagenoeg gelijk, maar de dijknormaal verandert van 32 (loc. 307) naar 56 (loc. 308) graden Noord. Het voorland en de bodem van locatie 308 liggen daarbij wat hoger dan voor locatie 307 (zie Figuur 3-6). Het blijkt verder dat de windsnelheid in het tweede illustratiepunt van loc. 308 door deze oostelijke ligging aan de lage kant is: 18 m/s. Een vergelijking met omliggende gelijkgeoriënteerde locaties (309 t/m 311) leert dat de waterstand en de windsnelheid in het eerste illustratiepunt van loc. 308 laag uitvallen. De waarden van de golfparameters in het eerste IP wijken iets af van die in omliggende locaties.

De golven dragen overigens wel iets bij aan het hydraulisch belastingniveau voor loc. 308, maar niet zoveel als in de buurlocaties. De golfcondities zijn voor locatie 308 dus verkregen door extrapolatie vanuit de laagste windsnelheid in de SWAN database. Dit is op zichzelf geen reden om aan de betrouwbaarheid van de uitkomsten te twijfelen, want de laagste windsnelheid is gelijk aan 20 m/s. Wel wijken de uitkomsten hierdoor behoorlijk af van de golfcondities in het eerste IP. Dit is vooralsnog geen reden om de locatie op de zwarte lijst te plaatsen.

Uit Figuur 3-6 blijkt dat locaties 308 t/m 311 afgeschermd worden door het land bij westelijke windrichtingen. Dit leidt tot een blokkade van een deel van de golfenergie. De maatgevende windrichting voor deze locaties varieert van 305 t/m 320 graden Noord. De windsnelheden vallen voor deze locaties in het tweede IP allemaal lager uit (tussen 18 en 22 m/s).

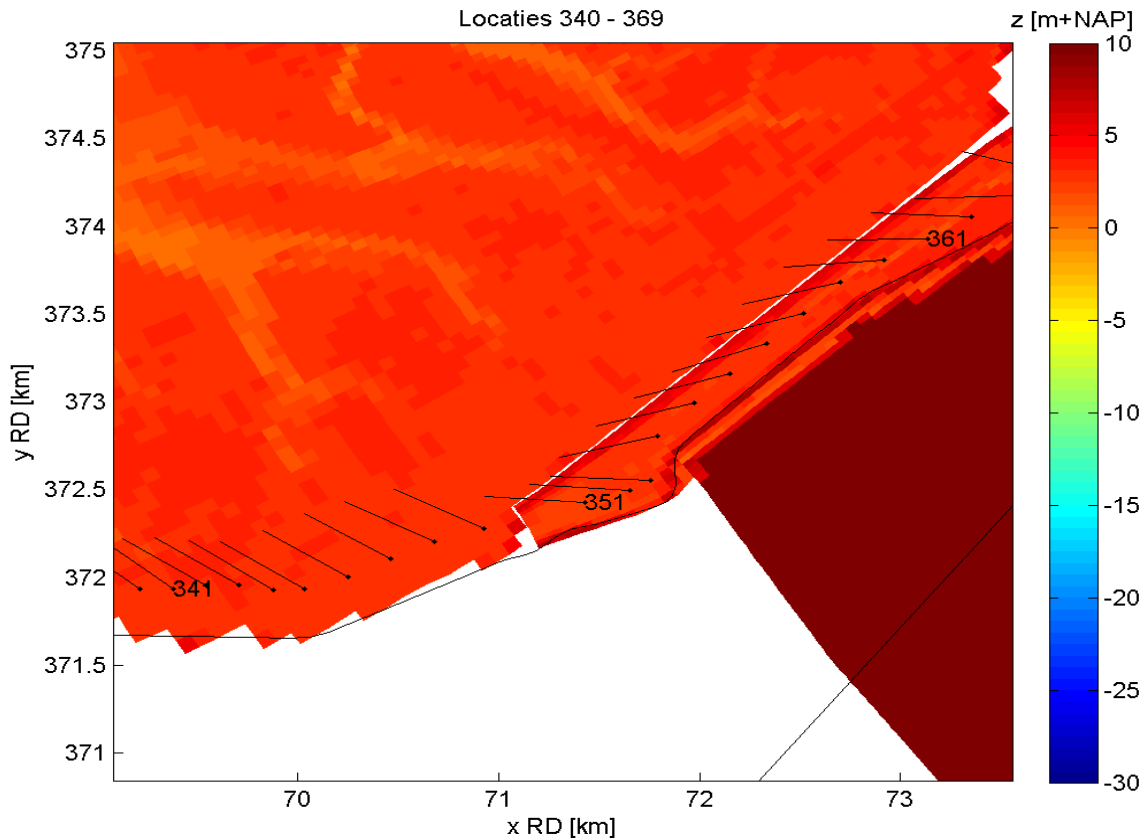


Figuur 3-6: Bodemligging (kleurenbalk) en hoek van inval golven op locaties 301 t/m 331.

Als we verder gaan langs de kust zien we dat er ook een groot verschil tussen de locaties 316 en 317 bestaat. Locatie 316 is noordelijk gericht. Locatie 317 is oostelijk gericht en ligt hierdoor deels afgeschermd voor westelijke windrichtingen. De wind en golven dragen nauwelijks bij aan het hydraulisch belastingniveau. De waterstand in het eerste IP is lager dan het Toetspeil en dit leidt tot een lage windsnelheid in het tweede IP. Dit draagt uiteindelijk bij aan de daling van H_{m0} . Het tweede IP wijkt behoorlijk af van het eerste IP voor locatie 317. Wind en waterstand in het eerste IP komen goed overeen met die van omliggende locaties. De waarde van H_{m0} voor locaties ten zuidoosten van loc. 317 valt lager uit, omdat deze locaties (319 t/m 322) voor meer windrichtingen afgeschermd zijn.

De waarde van de windsnelheid is voor de oostelijk gerichte locaties 317, 319, 320, 321, 322, 323, 326, 327 en 328 ongeveer 20 m/s. Door de korte strijklengtes - afgeschermd ligging - is de waarde van H_{m0} relatief laag: 1.0 m. De golfperiode is daarom ook laag is voor deze locaties. Merk op dat locatie 318 is verwijderd.

Tot slot is het verschil in H_{m0} tussen locatie 349 en 351 met bijna 1.0 m vrij groot te noemen. De oorzaak is de Leidingendijk die voor locaties 351 t/m 364 ligt (zie Figuur 3-7). Dit leidt tot lagere waarden van H_{m0} en het hydraulische belastingniveau. Voor locaties 365 t/m 369 neemt de waarde weer toe, zij het in beperkte mate door de (oostelijke!) ligging aan de Westerscheldegeul.



Figuur 3-7: Bodemligging (kleurenbalk) en hoek van inval golven op locaties 341 t/m 361.

Golfperiode $T_{m-1,0}$

Op alle punten waar H_{m0} ruimtelijk gezien sprongen vertoont doen de twee periodematen dat ook. Met name het grote verschil tussen de waarden van $T_{m-1,0}$ in de locaties 349 en 351 (locatie 350 is verwijderd) is opvallend. De waarde van $T_{m-1,0}$ neemt met bijna 2 s af van 3.8 s tot 1.9 s. De oorzaak van deze verlaging is de Leidingendijk die voor locaties 351 t/m 364 ligt. Voor locaties 365 t/m 369 neemt de waarde van $T_{m-1,0}$ nog wel toe tot boven 3.0 s.

Piekperiode T_p

Voor de buurlocaties 307 en 308 is het verschil in T_p net iets meer dan 1 s (afname). De afgeschermdde ligging van locatie 308 op het oosten zorgt ervoor dat de wind en golven nauwelijks bijdragen aan het hydraulisch belastingniveau. In combinatie met een lage waterstand in het eerste IP, is de windsnelheid in het tweede IP laag. Dit leidt tot een lagere waarde van T_p .

Vanwege de Leidingendijk verspringt de waarde van T_p eerst tussen loc. 349 en 351 van 4.6 s naar 2.2 s. Tussen locaties 351 en 364 is de invloed van de Leidingdijk nog aanwezig en komt T_p niet boven 2.8 s uit. Vervolgens verdwijnt deze invloed bij locatie 364 en stijgt de waarde tot boven 4.0 s.

Tot slot merken we op dat de golfrichting in deze regio een grillig verloop kent. Net ten westen van het Land van Saeftinghe is de golfrichting 330 graden Noord en aan de oostzijde is dit 250 graden Noord. De verandering in golfrichting volgt grotendeels de verandering in dijknormaal. Wellicht speelt nog mee dat op de locaties in het westen de golven door de geul lopen en op de

locaties in het oosten de golven volledig door lokale windgroei over het hooggelegen (voor)land bepaald worden.

Tabel C-3 vermeldt alle locaties waartussen grote verschillen bestaan in dit gebied.

3.3.5 Gebied "NO"

Locatie 370 is de eerste locatie in het gebied "NO"; locatie 550 de laatste. Achterin de Westerschelde is de bodemhoogte relatief ondiep (locaties 370 t/m 430). Voor de andere locaties varieert de lokale bodemhoogte enorm door de aanwezigheid van geulen en platen, met een minimale bodemligging van -20 m+NAP. De dijknormaal is voor veel locaties zuidelijk, maar locaties 500 t/m 550 liggen veelal op het oosten. De maatgevende hydraulische belasting zal op deze locaties voornamelijk door de waterstand worden bepaald en *niet* of nauwelijks door windgolven. In paragrafen 3.1 en 3.2 is al uitgelegd dat dit tot lage windsnelheden in het tweede illustratiepunt kan leiden. Dit heeft weer tot gevolg dat de golfparameters lage waarden aannemen.

Figuur B-19 t/m Figuur B-21 tonen het verloop van de significante golfhoogte H_{m0} , de gemiddelde golfperiode $T_{m-1,0}$, respectievelijk de piekperiode T_p langs de locaties in het gebied "NO" in combinatie met de dijknormaal en de bodemligging.

Significante golfhoogte H_{m0}

De waarde van H_{m0} vertoont voor de locaties 433, 461, 462, 536, 545 en 549 grote verschillen met hun voorliggende buurpunten. De verschillen kunnen over het algemeen worden verklaard door een verandering van de geometrie en/of dijknormaal. Het verschil tussen locatie 547 en 549 is te wijten aan een irregulier faalgebied. De significante golfhoogte stijgt met 0.7 m tussen locatie 547 en 549, terwijl de eigenschappen ongeveer hetzelfde zijn. Beide locaties hebben dijknormaal ZO. Wel ligt locatie 547 wat afgeschermd. De relatief lage waterstand in het eerste IP in combinatie met een verticale isolijn met knikken (zie Figuur A-4 en Figuur A-5) verklaart dat de windsnelheid in het tweede illustratiepunt erg laag is (15 m/s versus 24 m/s voor locatie 549). Dit is ook het geval voor locatie 546 (ongeveer dezelfde ligging als loc. 547).

Locatie 545 is meer zuidelijk gericht en heeft daardoor langere strijklengtes over westelijke richtingen dan loc. 546. Door de hoge bodemligging van loc. 545 is het verschil in H_{m0} met loc. 544 groot. De strijklengtes van loc. 544 zijn ook langer over westelijke richtingen.

Locatie 461 ligt ten opzichte van de naburige locaties meer afgeschermd voor westelijke windrichtingen op het oosten (in de oude Veerhaven van Krainingen). De waterstand in het eerste IP ligt relatief ver onder Toetspeil en hierdoor neemt de windsnelheid in het tweede IP een lage waarde aan (18 m/s). De golfparameters nemen hierdoor lagere waarden aan dan in omliggende locaties. Het verschil tussen de golfparameters in eerste en tweede IP is relatief groot, maar het eerste IP wijkt relatief weinig af van dat voor de omliggende locaties. Deze locatie behouden we daarom.

Nadere analyse leert verder dat locatie 509 in het tweede IP een opvallend hoge windsnelheid van 38 m/s aanneemt. Dit wijkt af van de buurpunten. De golfcondities wijken echter niet erg af van de buurlocaties en golfcondities in het eerste illustratiepunt nemen ook geen vreemde waarden aan. Figuur A-2 en Figuur A-3 laten zien dat de isolijnen weliswaar vrijwel verticaal lopen, maar dat het faalgebied niet irregulier is. We plaatsen loc. 509 daarom voorlopig niet op de zwarte lijst.

De waarden van H_{m0} zijn voor de op het oosten gelegen locaties tussen 516 en 535 niet groter dan 1 m en vaak zelfs kleiner dan 0.5 m. Zoals eerder opgemerkt valt de windsnelheid van deze locaties vaak lager uit dan 20 m/s. Dit heeft te maken met de oostelijke ligging en de kleine bijdrage van de wind aan het hydraulische belastingniveau. In het eerste illustratiepunt ligt de waarde van H_{m0} tussen 0.8 m en 1.0 m (zie Figuur D-1). Deze waarden zijn wat lager dan voor niet op het oosten gelegen locaties, maar zijn op zichzelf niet vreemd. Hetzelfde gedrag is ook in de resultaten van Hydra-K versie 3.6.0 terug te vinden, hoewel de windsnelheid in het tweede illustratiepunt niet onder de 10 m/s komt.² Daarom zullen we deze locaties niet verwijderen.

Golfperiode $T_{m-1,0}$

Er zijn grote verschillen tussen de locaties 524, 528, 529, 531, 536, 549 en hun voorgangers. Het verschil tussen locaties 524, 528, 529 en 531 met hun voorgangers is niet direct en eenduidig te verklaren aan de hand van dijknormaal, geometrie of bodemligging. De waarde van $T_{m-1,0}$ varieert behoorlijk tussen locaties 500 en 550 (zie Figuur B-3). Hydra-K berekent voor deze locaties golfcondities op basis van lage windsnelheden. Dit heeft zoals eerder gezegd te maken met de oostelijke ligging van de dijken.

Het verschil tussen locaties 535 en 536 heeft indirect te maken met de dijknormaal. Waar locatie 535 nog op het oosten ligt, is loc. 536 noordelijk gericht. Golven spelen nauwelijks een rol op locatie 535. Daarom zijn de windsnelheid en de waarden van de golfparameters op deze locatie lager. Voor locaties 547 en 549 is het verschil ook te wijten aan de lage windsnelheid voor loc. 547. Deze is het gevolg van een irregulier faalgebied (zie Figuur A-4 en Figuur A-5).

Piekperiode T_p

De piekperiode van locaties 461, 462, 500, 516, 524, 525, 526, 527, 528, 536, 540, 546, 549 toont een groot verschil met hun voorgangers. Voor locaties 460 t/m 462 zijn de verschillen indirect aan ligging van loc. 461 te wijten. Door de oriëntatie ZZO van locatie 461 valt de windsnelheid in het tweede IP laag uit (18 m/s).

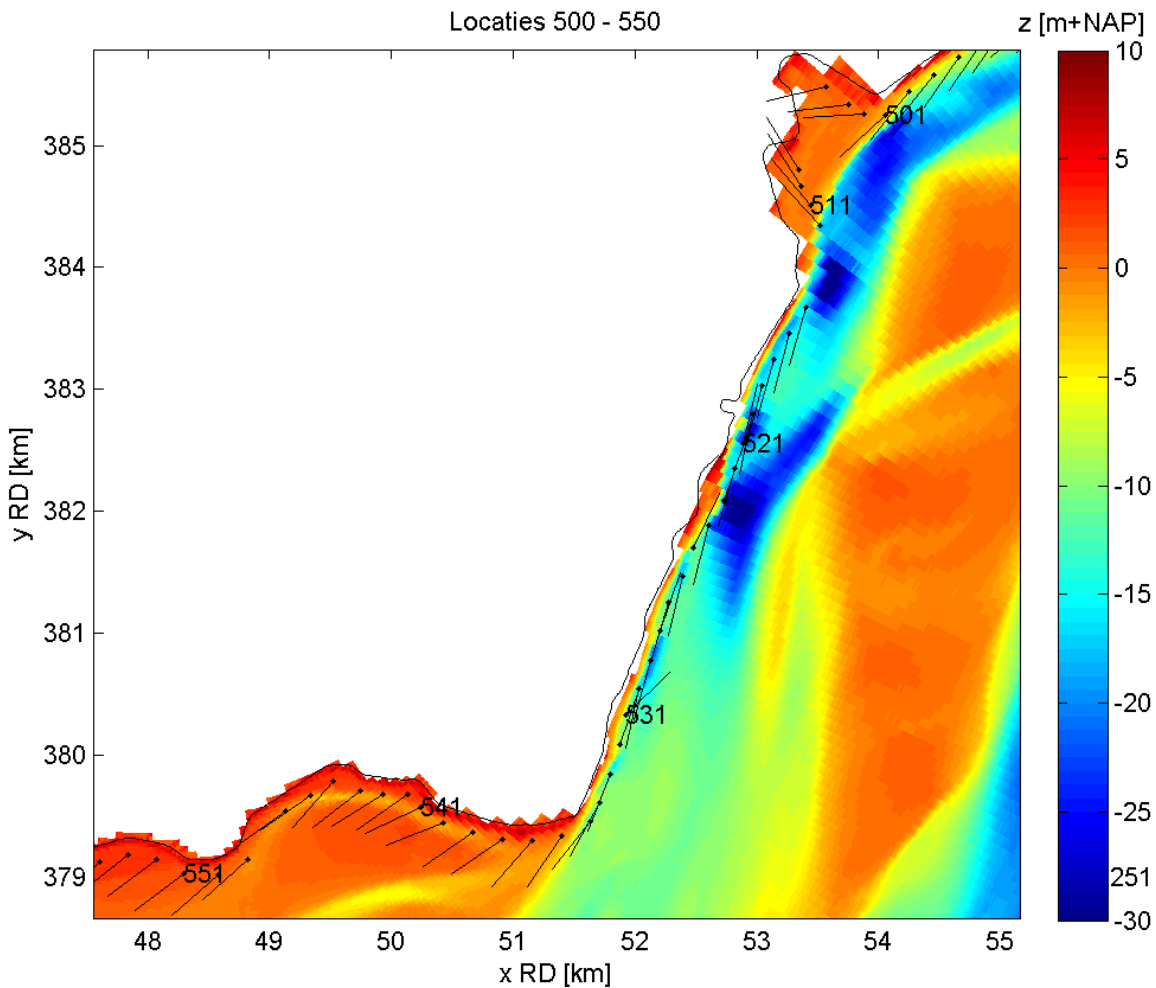
Voor de locaties tussen 499 en 549 hebben de verschillen te maken met het grillige verloop van de windsnelheid in het tweede illustratiepunt (zie Figuur A-14). De achterliggende oorzaak is de bepaling van het tweede illustratiepunt. Voor oostelijk gerichte locaties leiden steile isolijnen (zie paragraaf 3.2) tot veel variatie in de windsnelheid, waarbij met name lage windsnelheden veel voorkomen.

Voor enkele locaties, zoals 500 en 501, neemt de windsnelheid een waarde lager dan 15 m/s aan in het illustratiepunt. De golfcondities worden dus op basis van extrapolatie (20 m/s) berekend. We handhaven echter de resultaten voor deze locaties, omdat het eerste illustratiepunt geen vreemd gedrag vertoont.

Voor locaties 516 t/m 535 moet nog opgemerkt worden dat de verschillen tussen de golfcondities in eerste en tweede illustratiepunt relatief groot zijn. De waarde van H_{m0} ligt tussen 0.5 m en 0.8 m lager, de waarde van $T_{m-1,0}$ tussen 0.2 s en 1.5 s lager en de waarde van T_p tussen 0.4 s en 3.5 s lager. Dit heeft allemaal te maken met de ligging en de bepaling van het tweede IP. De locaties komen *niet* op de zwarte lijst te staan.

² Het kan natuurlijk zo zijn dat deze data reeds in het productieproces van de HR2006 verwijderd zijn.

Tabel C-4 vermeldt alle locaties waartussen grote verschillen bestaan in dit gebied.



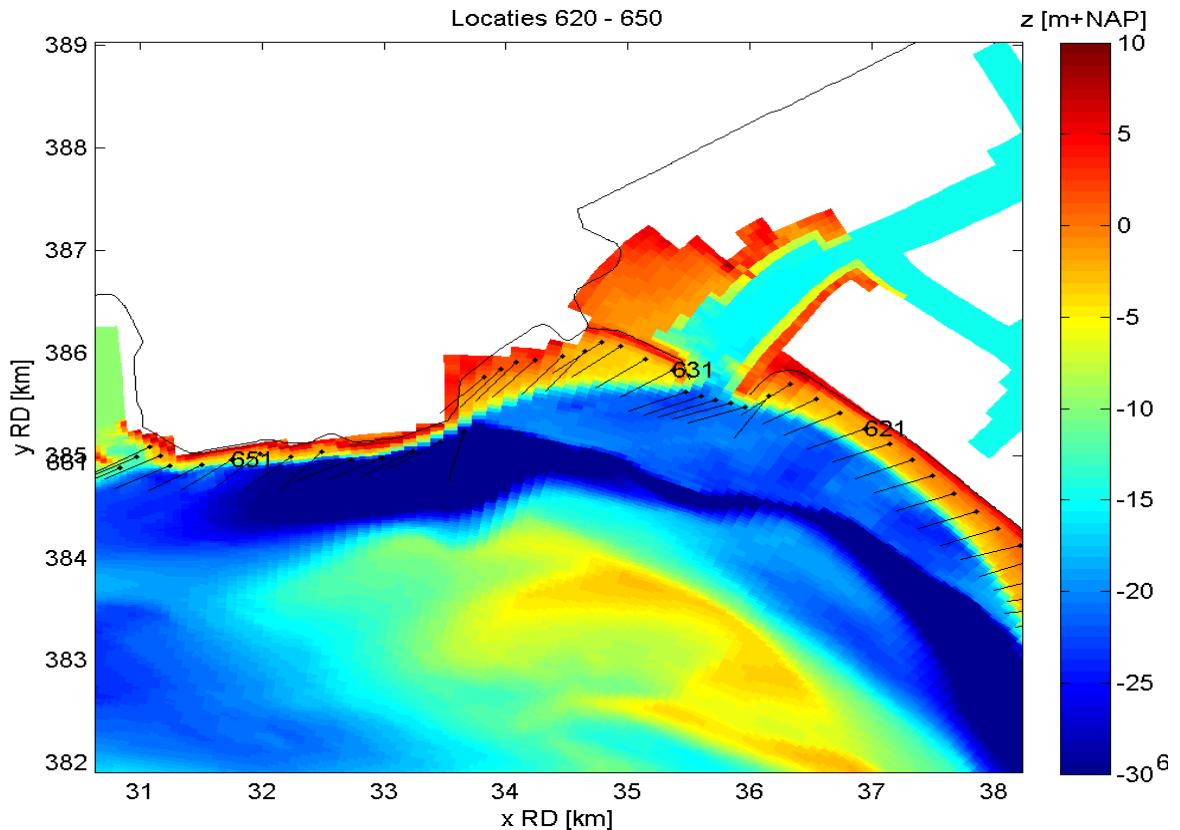
Figuur 3-8: Bodemligging (kleurenbalk) en hoek van inval golven op locaties 500 t/m 550.

3.3.6 Gebied "N"

Figuur B-22 t/m Figuur B-24 tonen het verloop van de significante golfhoogte H_{m0} , de gemiddelde golfperiode $T_{m-1,0}$, respectievelijk de piekperiode T_p langs de locaties in het gebied "N" in combinatie met de dijknormaal en de bodemligging. De bodemligging varieert sterk. De dijknormaal is relatief vaak Zuid, maar zeker niet altijd.

Significante golfhoogte H_{m0}

Voor locaties 564, 596, 608, 609, 611 t/m 614, 625, 626, 631, 644 en 648 worden grote verschillen in H_{m0} met de buurlocaties gevonden. Voor de meeste geldt dat flinke verschillen in bodemligging de verschillen in H_{m0} verklaren. Sommige locaties liggen in de vaargeul, andere liggen achter een voorland (zie Figuur 3-9).



Figuur 3-9: Bodemligging (kleurenbalk) en hoek van inval golven op locaties 615 t/m 651.

Voor locaties 624 t/m 626 naast de oostelijke havendam van de Sloehaven zijn de verschillen indirect te wijten aan de ligging. Locatie 625 ligt op het zuidoosten, locaties 624 en 626 meer op het zuiden. De golfparameters nemen voor locatie 625 lagere waarden aan, omdat de windsnelheid in het tweede IP erg laag uitvalt (14.6 m/s). Dit heeft te maken met de voor (maatgevende) westelijke windrichtingen afgeschermd ligging in een hoekje net buiten de haven van Vlissingen-Oost. Zie Figuur 3-9. Dit resulteert in verticale isolijnen. Naast de windrichting wijkt ook de golfrichting (215 graden Noord) door de verschuiving van de dijknormaal af t.o.v. buurlocaties. Op locatie 625 komen we aan het eind van deze paragraaf nog terug.

Laten we locatie 625 buiten beschouwing, dan blijkt daarnaast het verschil tussen H_{m0} in locaties 624 en 626 groot te zijn door een grote daling in de bodemligging t.o.v. de hoog gelegen locatie 624.

De voor westelijke winden (groten)deels afgeschermd uitvoerlocaties 639, 640 en 643 hebben ongeveer dezelfde dijknormaal. De golfcondities en maatgevende omstandigheden voor deze locatie zijn gelijkwaardig. Opvallend is dat de waterstand in het eerste IP voor loc. 643 zeer ver onder Toetspeil ligt en de windsnelheid ook relatief laag is (zie Figuur A-13 en Figuur A-14). Precies hetzelfde geldt ook voor loc. 625. De verhoging van de waterstand tot Toetspeil wordt vanwege de verticale isolijnen gecompenseerd door een enorme daling van de windsnelheid. (Dit is hier niet getoond, maar de isolijnen hebben hetzelfde steile verloop als in Figuur A-7 en Figuur A-8.)

De dijknormaal verschuift tussen locaties 643 en 644 van 128 naar 158 graden Noord en dit leidt, via een toename in windsnelheid van 12 tot 18 m/s, tot een grote stijging van H_{m0} . Aan het eind van deze paragraaf komen we apart terug op locatie 643.

Golfperiode $T_{m-1,0}$

De locaties 625, 626, 643 en 644 kennen grote verschillen tussen de waarden van $T_{m-1,0}$ met hun voorgangers. Net als voor H_{m0} geldt dat voor locaties 624 en 625 het verschil over het algemeen door verschillen in windsnelheden in het tweede IP veroorzaakt. Als we loc. 625 niet beschouwen, dan sluiten de resultaten van locaties 624 en 626 wel op elkaar aan. Beide hebben ongeveer dezelfde oriëntatie en strijklengtes in de westelijke richtingen. De hogere ligging van loc. 624 heeft weinig invloed op de waarde van $T_{m-1,0}$.

De waarden van $T_{m-1,0}$ en T_p zijn voor loc. 640 hoger dan die voor loc. 639. Dit is opvallend. Beide locaties zijn ZO gericht en liggen afgeschermd voor westelijke windrichtingen. De waarden van H_{m0} verschillen niet. De maatgevende windrichting is afluig en verschilt onderling wel. Voor locatie 639 is deze W en de invalshoek is 221 graden N. Voor locatie 640 is de maatgevende windrichting 290 graden N en de invalshoek is 226 graden Noord. Het is onduidelijk wat naast de hogere windsnelheid (20 vs. 18 m/s) precies voor de toename in deze golfparameters zorgt.

Het grote verschil in $T_{m-1,0}$ tussen locaties 643 en 644 is te wijten aan de verschillen in windsnelheid in het tweede illustratiepunt. Dit wordt weer door het verschil in ligging verklaard. Loc. 643 is ZO gericht en meer afgeschermd voor westelijke windrichtingen dan de op het zuiden gerichte loc. 644. De golfrichting is Z voor loc. 643 en WZW voor loc. 644.

Piekperiode T_p

De verschillen in T_p zijn groot tussen locaties 625, 626, 635, 636, 640, 643 en 644 en hun voorgangers. Tussen locatie 634 en 635 wijzigt de dijknormaal van 186 naar 139 graden Noord. Dit leidt tot een daling van de golfperiode T_p . Ook de andere twee golfparameters dalen overigens, maar minder sterk. Voor de overige locaties zien we dezelfde patronen als hierboven beschreven voor de golfperiode en de significante golfhoogte. De waarde van T_p voor locatie 640 is opvallend groter dan de waarde van T_p voor locatie 639.

Nader onderzoek wijst uit dat de windsnelheid in het illustratiepunt van locatie 635 gelijk is aan 17 m/s. Dit is in vergelijking met de omliggende locaties opvallend laag. De waterstand in het eerste illustratiepunt is laag t.o.v. de omringende locaties, maar de golfparameters wijken niet echt af. We plaatsen deze locatie niet op de zwarte lijst.

Figuur A-13 en Figuur A-14 laten zien dat de waterstand in het eerste IP voor locaties 625 en 643 ver onder het Toetspeil ligt. Nadere analyse leert dat voor beide locaties de waarden van H_{m0} , $T_{m-1,0}$ en T_p in het tweede IP respectievelijk 1 m, 2 s en 2.5 s lager zijn dan in het tweede IP. Voor de buurlocaties is dit niet het geval. Dit is te herleiden op de ligging van locaties 625 en 643. Het zijn geïsoleerde op het oosten gerichte locaties en de bepaling van het tweede IP leidt daarom tot lage waarden van de golfparameters. De verschillen in golfcondities in het eerste IP met de naburige locaties zijn relatief beperkt, ondanks de geïsoleerde ligging. Daarom behouden we deze locaties.

Tabel C-5 vermeldt alle locaties waartussen grote verschillen bestaan in dit gebied.

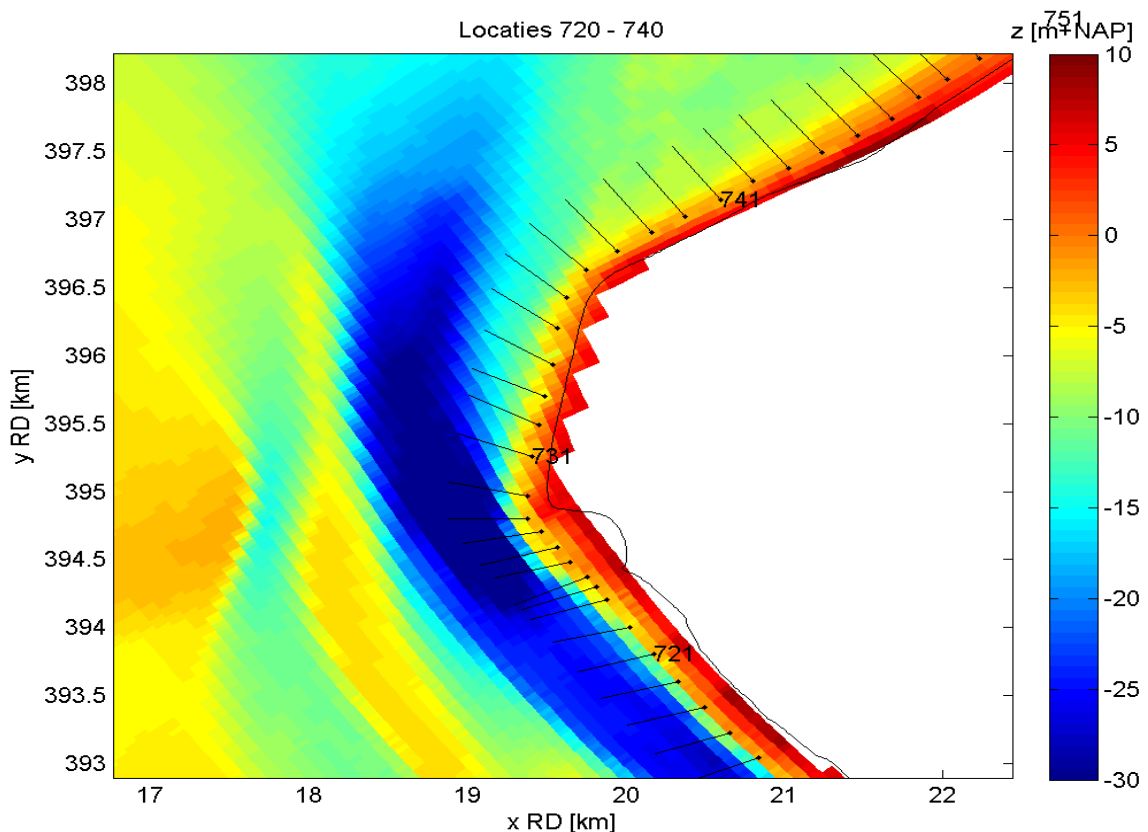
3.3.7 Gebied "NW"

Figuur B-25 t/m Figuur B-27 tonen de significante golfhoogte H_{m0} , de gemiddelde golfperiode $T_{m-1,0}$, respectievelijk de piekperiode T_p voor de locaties in het gebied "NW" in combinatie met de dijknormaal en de bodemligging. Vanuit het oosten naar het westen stijgt de bodemligging om vanaf locatie 680 rond NAP te blijven. De dijknormaal draait van Z via W naar NNW langs de Noordzeekust. De waarden van H_{m0} , $T_{m-1,0}$ en T_p nemen toe met het locatienummer.

Significante golfhoogte H_{m0}

Er worden grote verschillen gevonden in H_{m0} tussen locaties 659, 667, 710, 713 en 731 en hun voorgangers. Het verschil tussen locaties 666 en 667 is in eerste instantie opvallend, omdat de bodemligging hetzelfde is en de dijknormaal draait van 164 graden Noord (loc. 666) naar 140 graden Noord. De waarde van H_{m0} is 2.0 m in locatie 666 en 2.7 m in locatie 667. Het blijkt dat de golven op locatie 666 nog beïnvloed worden door een voorland, wat er niet is bij locatie 667. De maatgevende windrichting is voor loc. 666 gelijk aan 290 graden N, voor loc. 667 is dit 270 graden N. De iets langere strijklengte over westelijke windrichting lijkt daarom de verklaring voor het feit dat ook de golfparameters $T_{m-1,0}$ en T_p iets grotere waarden aannemen in locatie 667.

De verschillen in de overige genoemde locaties zijn te wijten aan verschillen in bodemligging (stijging bodemhoogte leidt tot daling golfhoogte en vice versa).



Figuur 3-10: Bodemligging (kleurenbalk) en hoek van inval golven op locaties 720 t/m 740.

Golfperiode $T_{m-1,0}$

Verschillen in bodemhoogte leiden tot slechts beperkte verschillen in de gemiddelde golfperiode $T_{m-1,0}$. Er zijn geen grote sprongen in $T_{m-1,0}$ in dit gebied.

Piekperiode T_p

Voor de piekperiode noteren we grote verschillen tussen locaties 725 en 726 enerzijds en 728 en 730 anderzijds. Er ligt een diepe geul voor de kust bij deze locaties (zie Figuur 3-10). Voor de locaties 726 en 730 zijn de strijklengtes over de maatgevende windrichting door de geul wat langer dan voor respectievelijk de locaties 725 en 728. Dit verklaart de hogere waarden van $T_{m-1,0}$ voor respectievelijk locaties 726 en 730.

Ook speelt mee dat de windsnelheid in locatie 725 relatief laag uitvalt met 22 m/s (t.o.v. 23 t/m 25 m/s voor naburige locaties). Deze locatie is afgeschermd voor noordwestelijke windrichtingen. Dit leidt ertoe dat ook H_{m0} en $T_{m-1,0}$ lager uitvallen voor loc. 725. Verder gaat de dijknormaal tussen locatie 728 en locatie 730 van 198 naar 264 graden Noord. De maatgevende windrichting verschilt niet veel, maar de windsnelheid is wel hoger voor loc. 730.

Tabel C-6 vermeldt alle locaties waartussen grote verschillen bestaan in dit gebied.

3.3.8 Zwarte lijst

Bovenstaande analyse leidt tot een kleine aanvulling op de zwarte lijst van locaties waarvan de illustratiepunten geen kandidaat zullen zijn voor de concept HR2011. Naast de eerdergenoemde 20 uitvoerlocaties krijgt locatie 1 ook een vermelding, omdat de windsnelheid voor deze locatie 80 m/s is in het tweede IP. Dit leidt tot afwijkende golfcondities.

Voor de locaties 2, 88, 144, 500, 501, 516 t/m 535, 625, 635 en 643 zijn de golfcondities in het illustratiepunt veelal door extrapolatie van de windsnelheid bepaald. Toch zijn er enkele argumenten om voldoende vertrouwen te hebben in deze resultaten:

- De waarden in het eerste illustratiepunt zijn ten opzichte van de andere locaties niet vreemd.
- De waarden in het tweede illustratiepunt wijken slechts in een enkel geval veel af van de resultaten in het eerste illustratiepunt.
- In de berekeningsresultaten voor de HR2006 vinden we ongeveer gelijkwaardige uitkomsten voor soortgelijke uitvoerlocaties.

Voor enkele van bovengenoemde oostelijk gerichte locaties, in het bijzonder locaties 625 en 643, zijn de verschillen tussen eerste en tweede IP wel relatief groot. Dit is uiteindelijk te verklaren aan de hand van de ligging, de lage waterstand in het eerste IP en de wijze waarop het tweede IP berekend wordt. We behouden daarom deze locaties.

Tot slot gaan voor de overige locaties over het algemeen alle 3 de bovenstaande argumenten op. Deze locaties behouden we dus voor de vergelijking met de HR2006.

4 Vergelijking met HR2006

In dit hoofdstuk staat een eerste aanzet voor een verschilanalyse tussen de HR2006 en de concept HR 2011. Een uitgebreide verschilanalyse valt buiten de scope van dit rapport, maar zal op basis van de resultaten uit deze studie nog apart worden uitgevoerd en gerapporteerd in [Gautier en Groeneweg, 2011].

Om de absolute verschillen tussen de concept HR2011 en de HR2006 te bepalen moet een koppeling gelegd worden tussen de HR2011 SWAN uitvoerlocaties en de HR2006 locaties in het randvoorwaardenboek. De sets uitvoerlocaties komen immers niet overeen. De HR2006 set bevat 174 locaties. Uit de overgebleven 736 locaties in Hydra-K 3.6.2 selecteren we de 174 uitvoerlocaties die het dichtst bij de HR2006 uitvoerlocaties liggen. Dit noemen we concept HR2011 locaties. Merk op dat deze locaties een andere dijknormaal en bodemligging kunnen hebben.

De nummering van de HR2006 locaties is tegengesteld aan de nummering voor de Hydra-K locaties. HR2006 locatie 174 komt overeen met locatie 3 van Hydra-K 3.6.2 en ligt in de Willem Leopoldpolder in Zeeuws-Vlaanderen. Locatie 1 komt overeen met locatie 741 van Hydra-K 3.6.2 en betreft de Zeedijk Westkapelle op Walcheren. In een bijgevoegde spreadsheet staat de exacte koppeling tussen HR2006 en concept HR2011 locaties. Sommige concept HR2011 uitvoerlocaties zijn aan twee HR2006 uitvoerlocaties gekoppeld.

Figuur E-1 toont de resultaten van een vergelijking tussen de waarden van H_{m0} in de 174 HR2006 uitvoerlocaties. De verschillen zijn veelal beperkt tot 0.5 m (positief en negatief). Er zijn langs de (west)kust van Walcheren enkele uitschieters tot 1 m (positief en negatief). Voor de locaties aan de westkust van Zeeuws-Vlaanderen zijn de verschillen soms groter dan 1.5 m (positief en negatief). Een groot verschil in afstand tussen een HR2006 locatie en een hieraan gekoppelde Hydra-K locatie draagt bij aan een negatief verschil van 1.5 m op die locaties.

Figuur E-2 toont de resultaten van een vergelijking tussen de waarden van $T_{m-1,0}$ in de 174 locaties. De verschillen zijn over het algemeen kleiner dan 0.5 s (zowel hogere als lagere waarden). In Zeeuws-Vlaanderen wordt een verschil van 3 s gevonden, waarbij opvalt dat het verschil in afstand tussen HR2006 locatie en Hydra-K locatie groot is. Over de gehele linie is de nieuw berekende waarde van $T_{m-1,0}$ gemiddeld iets lager dan in de HR2006.

Figuur E-3 toont de resultaten van een vergelijking tussen de waarden van T_p in de 174 HR2006 locaties. De meeste verschillen zijn beperkt tot 1 s (hoger en lager), maar er zijn ook uitschieters tot aan -5 s en +6 s. Over de gehele linie is de nieuw berekende waarde van T_p gemiddeld iets lager dan in de HR2006.

De verschillen tussen HR2006 en nieuwe Hydra-K resultaten kunnen verschillende oorzaken hebben:

- tussenafstand tussen de gebruikte uitvoerlocaties.
- geometrie.
- dijknormaal.
- bodemligging.
- geactualiseerde statistiek (o.a. Toetspeil en overschrijdingsfrequenties van waterstanden en golfparameters).

De tussenafstand tussen de gebruikte uitvoerlocaties lijkt weinig bij te dragen aan de verschillen tussen de golfcondities in het illustratiepunt. De verschillen in dijknormaal zijn over het algemeen beperkt (zie Figuur E-4). De Hydra-K locaties die gekoppeld zijn aan HR2006 locaties 56, 116, 168 en 170, hebben echter dijknormalen die meer dan 60 graden afwijken. De bodemligging verschilt voor enkele HR locaties behoorlijk (zie Figuur E-5). Het Toetspeil is zo goed als onveranderd ten opzichte van de HR2006 (zie [Dillingh en De Lima Rego, 2010]).

Voor HR locatie 6 (gekoppeld aan Hydra-K locatie 730) is de bodemhoogte veranderd van -4 m naar 0 m. Dit leidt tot een behoorlijke daling van H_{m0} , maar de parameters $T_{m-1,0}$ en T_p stijgen wel.

HR locatie 12, gekoppeld aan Hydra-K locatie 667, kent een hogere bodemligging en is meer op het oosten gericht dan voorheen. De parameter T_p is kleiner voor de concept HR2011, de andere parameters zijn ongeveer gelijk.

HR locaties 24 en 25 zijn gekoppeld aan Hydra-K locatie 640. De bodemligging is hoger voor de concept HR2011 locaties. De waarde van H_{m0} stijgt, de waarden van $T_{m-1,0}$ en T_p dalen. Een verklaring is nu niet te geven. Dit vergt verder onderzoek naar de geometrie en ligging van de HR locaties 624 en 625 in het modelinstrumentarium voor de HR2006.

HR locatie 88 is gekoppeld aan Hydra-K uitvoerlocatie 351. De dijknormaal en de bodemligging zijn nagenoeg hetzelfde. Toch nemen H_{m0} , T_p en $T_{m-1,0}$ behoorlijk lagere waarden aan. Dit vergt nader onderzoek naar de geometrie in het modelinstrumentarium dat voor de HR2006 gebruikt is.

In HR locaties 24, 25, 54, 55, 56, 86, 87 en 88 nemen de nieuw berekende golfperiode en piekperiode behoorlijk lagere waarden aan dan volgens HR2006. De verschillen zijn grotendeels te verklaren door verschillen in bodemligging, geometrie en dijknormaal.

De waarde van H_{m0} is flink hoger dan voorheen in locaties 159, 160, 164 en 167. Dit kan door een lagere bodemligging verklaard worden. De HR2006 locaties liggen op ongeveer 2 m+NAP. De geselecteerde Hydra-K locaties liggen rond NAP.

Een gedetailleerde analyse van de verschillen staat in [Gautier en Groeneweg, 2011].

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Conclusies

In dit rapport staat de analyse van de probabilistische berekening van de HR voor de harde waterkeringen langs de Westerschelde. Deze berekeningen zijn uitgevoerd met nieuwe SWAN databases, profielendatabases en actuele statistiek. Het verloop van de berekende golfparameters langs de waterkering oogt globaal gezien voor het merendeel van de locaties plausibel. Een gedetailleerde analyse toont aan dat enkele grote verschillen tussen naburige locaties te verklaren zijn aan veranderingen in aspecten als bodemligging, dijknormaal en geometrie. De detailanalyse bevestigt het globale beeld en de conclusie is dat het overgrote deel van de resultaten betrouwbaar is.

Bij het selecteren van betrouwbare resultaten voor een verschilanalyse met de HR2006 is op de volgende punten gelet.

- De golfcondities in het eerste illustratiepunt wijken niet af ten opzichte van de waarden voor naburige locaties.
- De waarden in het tweede illustratiepunt wijken niet veel af van de resultaten in het eerste illustratiepunt.
- De berekeningen voor de HR2006 geven gelijkwaardige uitkomsten voor uitvoerlocaties met dezelfde geografische ligging.

De resultaten zijn voor 21 – veelal op het oosten gerichte – locaties afwijkend en onbetrouwbaar. Deze uitvoerlocaties vormen de zwarte lijst. De locaties op de zwarte lijst zijn niet gebruikt voor de verschilanalyse met de HR2006. Het betreft de volgende locaties:

- 350; geen resultaten, SWAN database is leeg.
- 182, 432, 505, 506, 507, 508, 513, 514, 515, 548, 641 en 642; geen IP2.
- 35, 142, 143, 318, 405 en 474; onrealistische maatgevende omstandigheden resulterend in extreme extrapolatie van golfparameters.
- 729; al in de productiefase op de zwarte lijst geplaatst, omdat het Toetspeil lager ligt dan de beschouwde waterstanden in de SWAN database.
- 1; windsnelheid neemt extreem hoge, fysisch en probabilistisch gezien onrealistische, waarde aan.

Uit de 736 resterende uitvoerlocaties zijn de locaties geselecteerd die het dichtst in de buurt liggen van de 174 uitvoerlocaties in de HR2006. De onderlinge vergelijking van de nieuwe rekenresultaten en de HR2006 leert dat:

- de verschillen in H_{m0} globaal gezien beperkt zijn tot 0.5 m (zowel lager als hoger) met enkele uitschieters tot 1.5 m.
- de verschillen in $T_{m-1,0}$ beperkt zijn tot 0.5 s (zowel lager als hoger) met enkele uitschieters van meer dan 2 s (voornamelijk negatief, maar ook een positieve uitschieter van 3 s).
- de nieuwe waarden van T_p plaatselijk behoorlijk verschillen van de waarden in de HR2006; het gaat zowel om negatieve als positieve verschillen van -5 s tot 6 s.

Hierbij moet opgemerkt worden dat de 174 HR2011 uitvoerlocaties niet dezelfde geografische ligging, bodemligging, dijknormaal en Toetspeil (doorgaans iets lager!) hebben als de 174 HR2006 uitvoerlocaties. Verschillen zijn hier vaak aan toe te wijzen, maar ook de

geactualiseerde statistiek kan hierin een rol spelen. Een nadere analyse van de verschillen staat in [Gautier en Groeneweg, 2011].

N.B. Verschillen in Toetspeil van een centimeter kunnen een effect van een decimeter hebben op de afgeronde Toetspeilen in het uiteindelijke randvoorwaardenboek.

5.2 Aanbevelingen

De resultaten in dit rapport zijn gebaseerd op het tweede illustratiepunt van Hydra-K. In het randvoorwaardenboek HR2006 staan de golfcondities die overeenkomen met de waarden in dit tweede illustratiepunt. Bij de keuze voor het tweede illustratiepunt zijn een aantal kanttekeningen te plaatsen. We noemen de volgende:

- Als eerste ontbreekt een (technisch inhoudelijke) onderbouwing van dit illustratiepunt.
- Daarnaast wijkt de keuze voor het tweede illustratiepunt af van de keuze die in de Hydra-modellen voor de zoete wateren is gemaakt. Daarin wordt namelijk wel met een vrije waterstand in het illustratiepunt gewerkt, wat daarmee een inconsistentie introduceert tussen de zoete en zoute watersystemen.
- Ten derde heeft het vastzetten van de waterstand in het illustratiepunt soms onrealistische uitkomsten tot gevolg. In bepaalde situaties worden onrealistisch grote (of kleine) waarden bepaald van de windsnelheid en de bijbehorende golfcondities.
- Als laatste constateren we dat de zwaarste (golf)belastingen op een waterkering niet altijd optreden bij een waterstand die gelijk is aan het Toetspeil, maar juist bij veel lagere waterstanden. Door de waterstand vast te zetten en daarbij de golfcondities te bepalen is het maar de vraag of bij gebruik in de praktijk een realistische belasting wordt gehanteerd.

Samengevat zijn er een aantal argumenten aan te dragen die het waard maken om te overwegen voor de HR uit te gaan van het eerste illustratiepunt (vrije waterstand). De overstap van het tweede naar het eerste illustratiepunt heeft met name invloed op de golfcondities voor de op het oosten georiënteerde locaties. Voor deze locaties zijn de verschillen tussen de twee illustratiepunten (in het bijzonder de windsnelheid) soms substantieel. Voor de overige locaties is het effect minimaal.

6 Referenties

[Dillingh en De Lima Rego, 2010]

Toets- en Rekenpeilen Kust en Estuaria ten behoeve van de HR 2011. WTI - HR Zout.
Douwe Dillingh en Joao de Lima Rego. Deltares rapport 1202341-002. Augustus 2010.

[Gautier en Groeneweg, 2011]

Verschilanalyse HR 2011 en HR 2006 voor de harde keringen in de Westerschelde. Gautier, C. en Groeneweg, J. Deltares rapport 1204143.002-HYE-0014. Mei 2011.

[Klein en Kroon, 2011]

Productieberekeningen Westerschelde voor WTI 2011: rapportage fase 1. Klein, M.D. en J. Kroon. Svašek Hydraulics/HKV [LIJN IN WATER](#) rapport 2.1/1. Februari 2011.

[Kroon en Klein, 2011]

Productieberekeningen Westerschelde voor WTI 2011: rapportage fase 2. Kroon, J. en M.D. Klein. Svašek Hydraulics / HKV [LIJN IN WATER](#) rapport 2.1/2. Februari 2011.

[Nicolai en Hoekstra, 2011]

Hydra-K versie 3.6.2. Release notes versie WTI-2011. R.P. Nicolai en A. Hoekstra.
HKV [LIJN IN WATER](#) / Alkyon PR1564, Lelystad, februari 2011.

[Nicolai et al., 2011]

Productieberekeningen Westerschelde voor WTI 2011: rapportage fase 3. Nicolai, R.P., Kroon, J., Klein, M.D., Kallen, M.J. en Verkaik, J. Svašek Hydraulics / HKV [LIJN IN WATER](#) rapport 1.1/3. Februari 2011.

[de Valk et al., 2008]

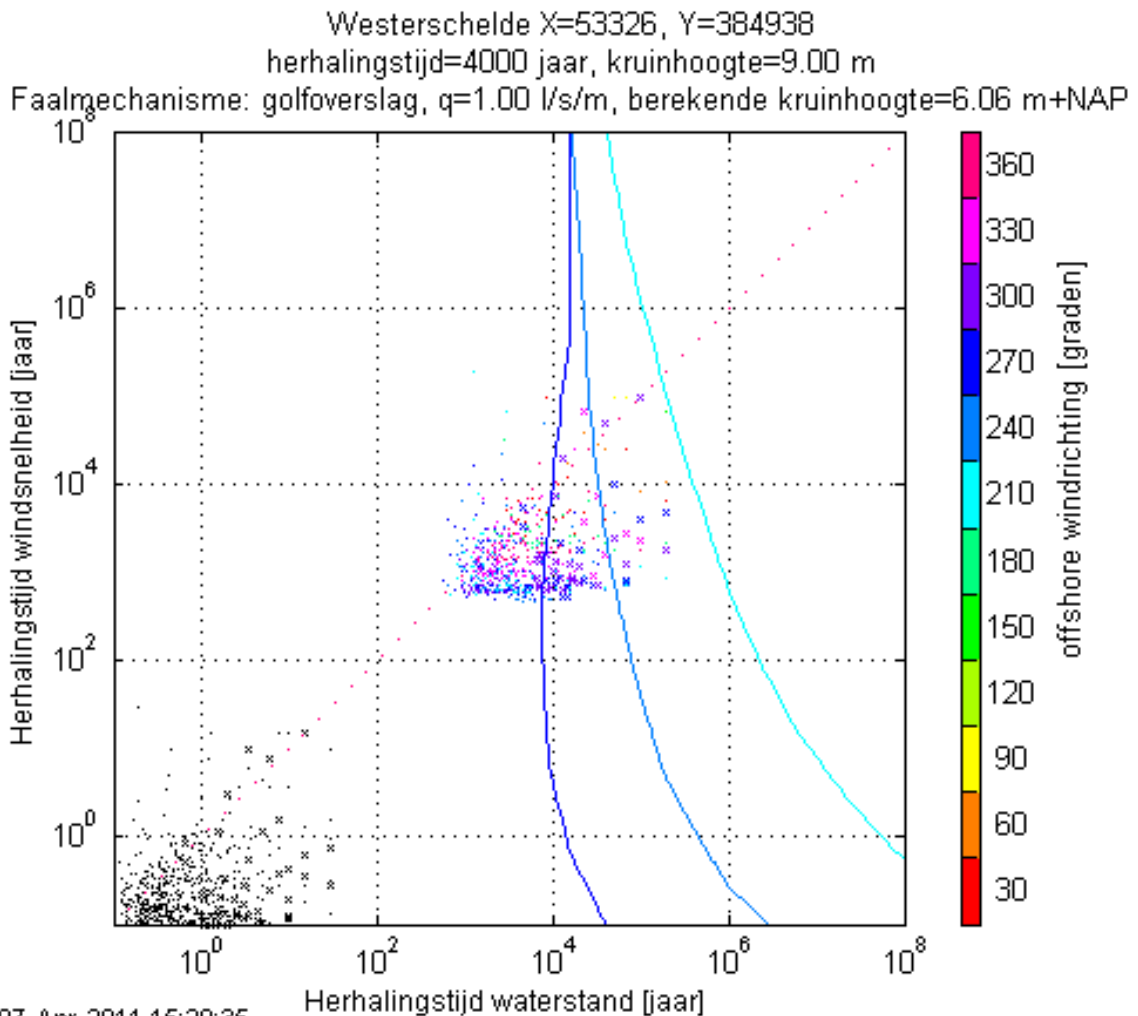
Berekening van illustratiepunten in irreguliere faalgebieden met Hydra-K. Fase 1: ontwerp en testen van een nieuwe methode. Cees de Valk, Bastiaan Kuijper en Chris Geerse. Argoss BMP en HKV [LIJN IN WATER](#) rapport A08036. December 2008.

[Waterwet, 2009]

Waterwet. Ministerie van Verkeer en Waterstaat. 18 december, 2009.

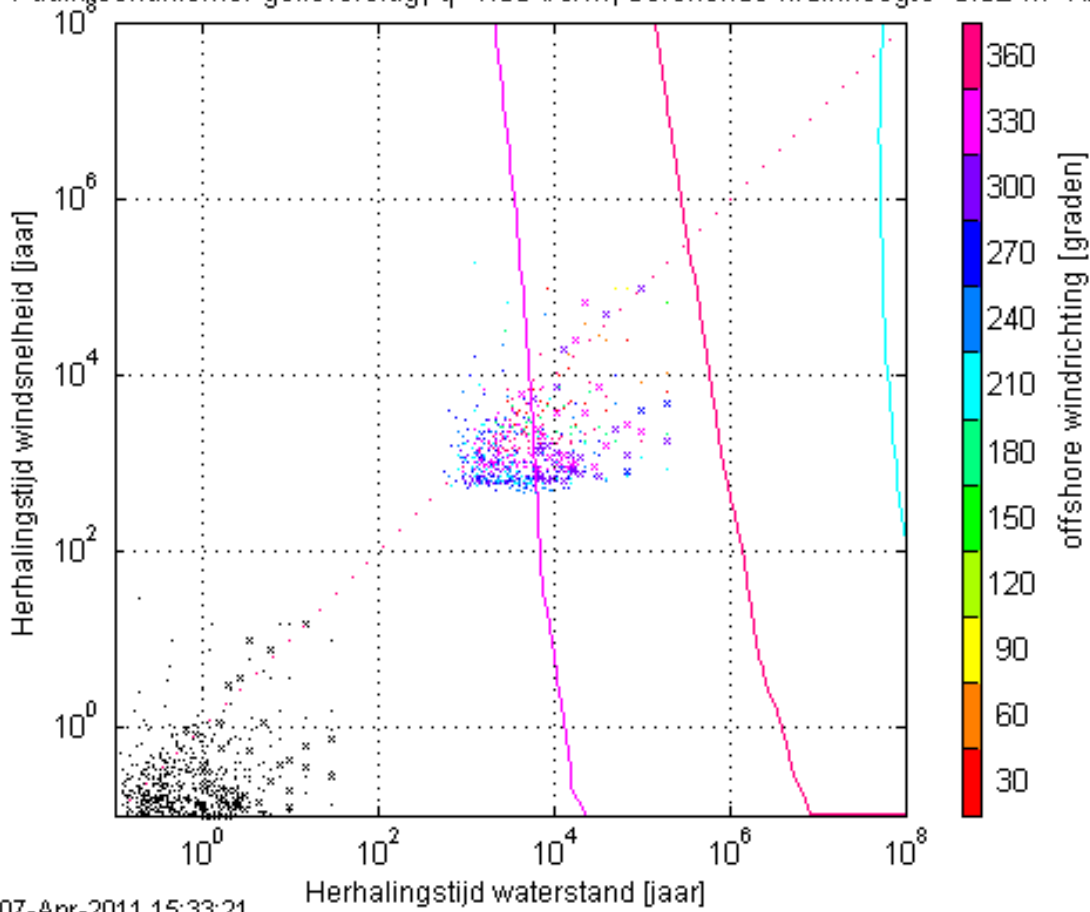
Bijlagen

Bijlage A Figuren (irreguliere) faalgebieden



Figuur A-1: Locatie 508. Waarnemingen (zwarte punten en kruisjes), opgeschaalde waarnemingen (gekleurde punten en kruisjes) en isolijnen met daarop combinaties van de terugkeertijd van de offshore windsnelheid en waterstand met gelijk hydraulisch belastingniveau voor verschillende windrichtingen.

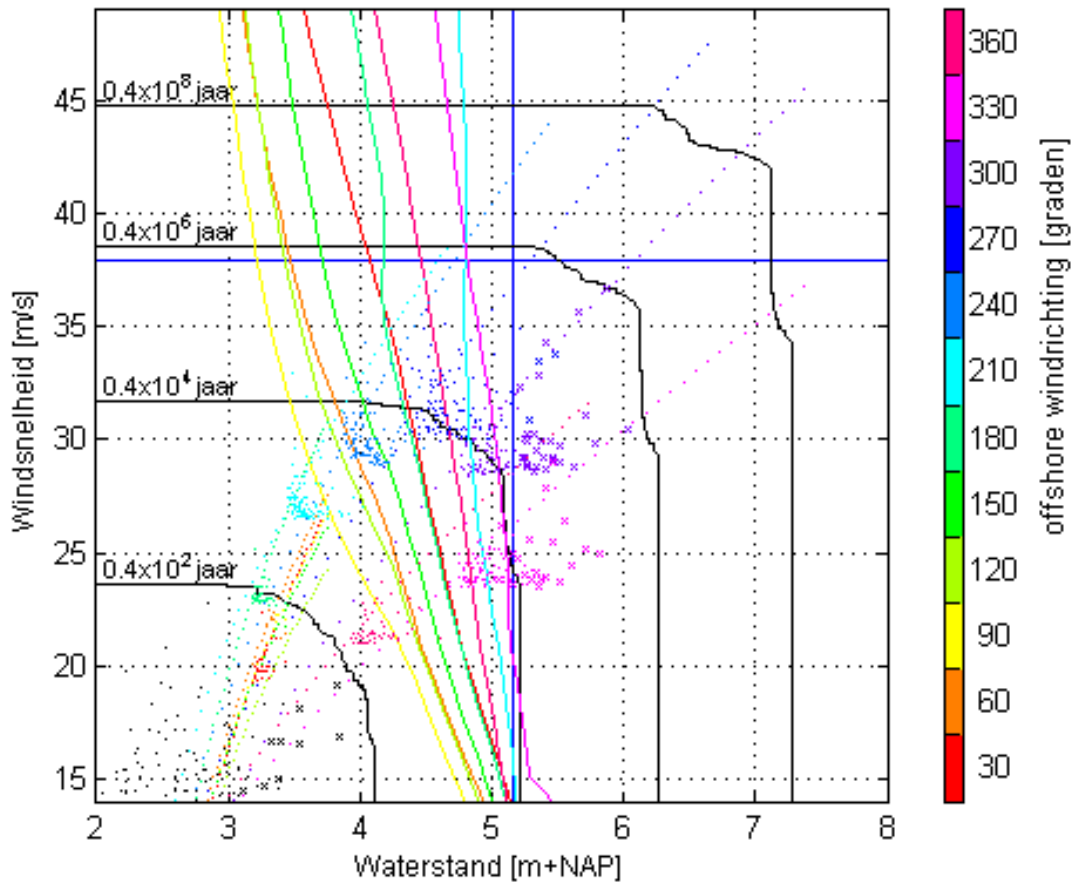
Westerschelde X=53342, Y=384800
 herhalingstijd=4000 jaar, kruinhoogte=9.00 m
 Faalmechanisme: golfoverslag, $q=1.00$ l/s/m, berekende kruinhoogte=6.02 m+NAP



07-Apr-2011 15:33:21

Figuur A-2: Locatie 509. Waarnemingen (zwarte punten en kruisjes), opgeschaalde waarnemingen (gekleurde punten en kruisjes) en isolijnen met daarop combinaties van de terugkeertijd van de offshore windsnelheid en waterstand met gelijk hydraulisch belastingniveau voor verschillende windrichtingen.

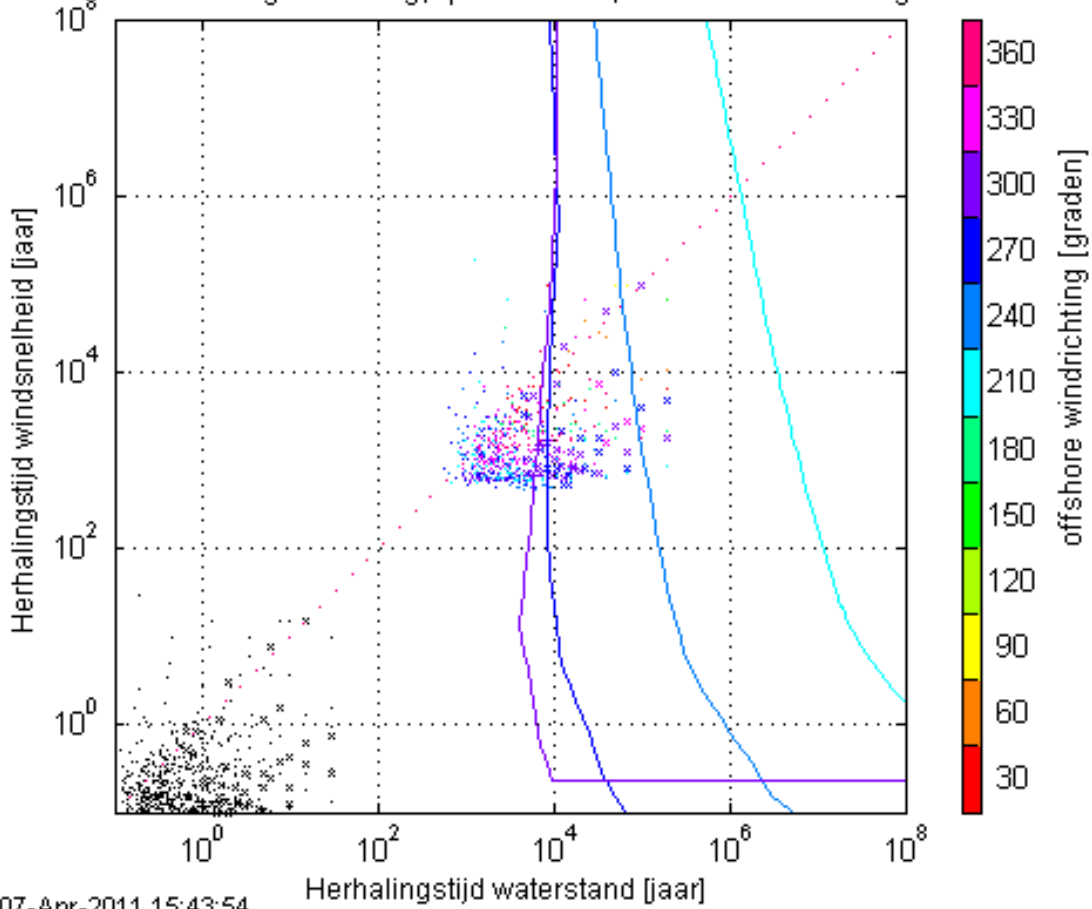
Westerschelde X=53342, Y=384800
 herhalingstijd=4000 jaar, kruinhoogte=9.00 m
 Faalmechanisme: golfoverslag, $q=1.00$ l/s/m, berekende kruinhoogte=6.02 m+NAP



07-Apr-2011 15:33:22

Figuur A-3: Locatie 509. Waarnemingen (zwarte punten en kruisjes), opgeschaalde waarnemingen (gekleurde punten en kruisjes), lijnen van gelijke overschrijdingsfrequentie (zwarte lijnen) en grenstoestandsfuncties met combinaties van de offshore windsnelheid en waterstand voor verschillende windrichtingen (kleurenbalk). Het snijpunt van de doorgetrokken blauwe lijnen representeert de offshore windsnelheid en waterstand in het tweede illustratiepunt.

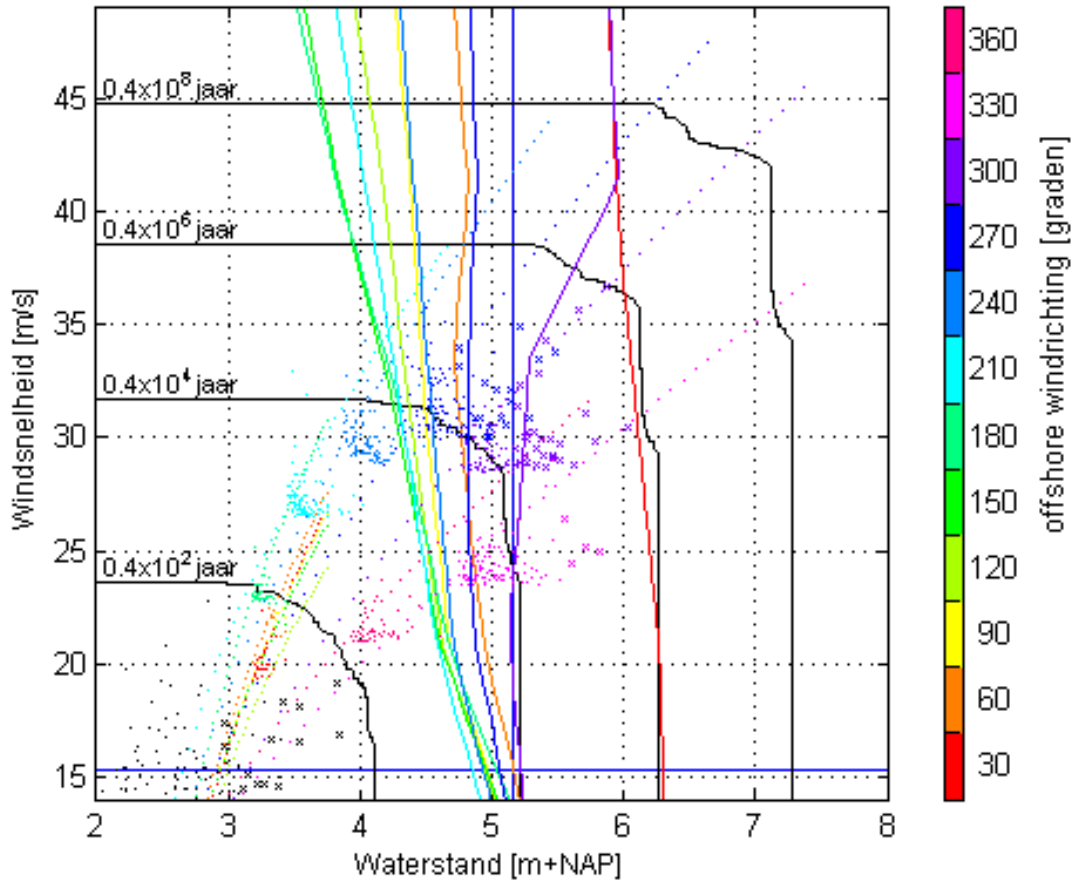
Westerschelde X=49132, Y=379536
herhalingstijd=4000 jaar, kruinhoogte=9.00 m
Faalmechanisme: golfoverslag, q=1.00 l/s/m, berekende kruinhoogte=5.98 m+NAP



07-Apr-2011 15:43:54

Figuur A-4: Locatie 547. Waarnemingen (zwarte punten en kruisjes), opgeschaalde waarnemingen (gekleurde punten en kruisjes) en isolijnen met daarop combinaties van de terugkeertijd van de offshore windsnelheid en waterstand met gelijk hydraulisch belastingniveau voor verschillende windrichtingen.

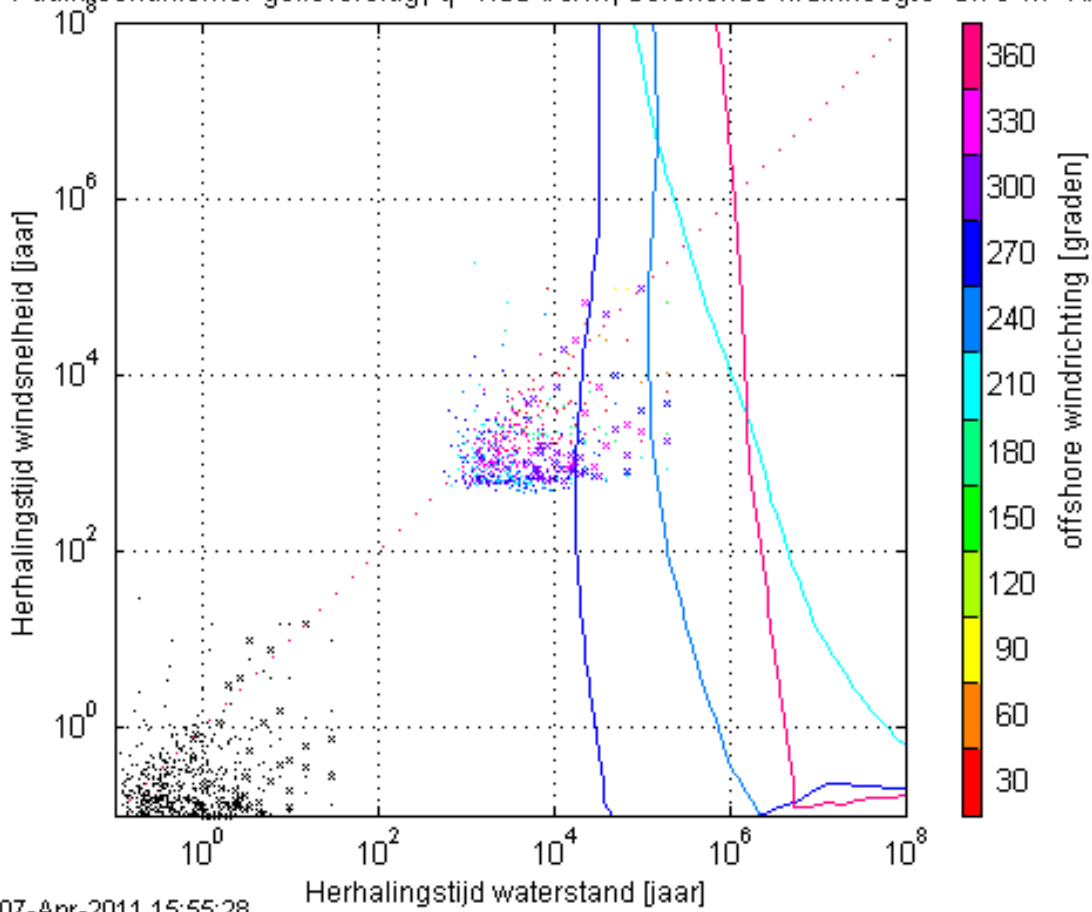
Westerschelde X=49132, Y=379536
 herhalingstijd=4000 jaar, kruinhoogte=9.00 m
 Faalmechanisme: golfoverslag, $q=1.00$ l/s/m, berekende kruinhoogte=5.98 m+NAP



07-Apr-2011 15:43:54

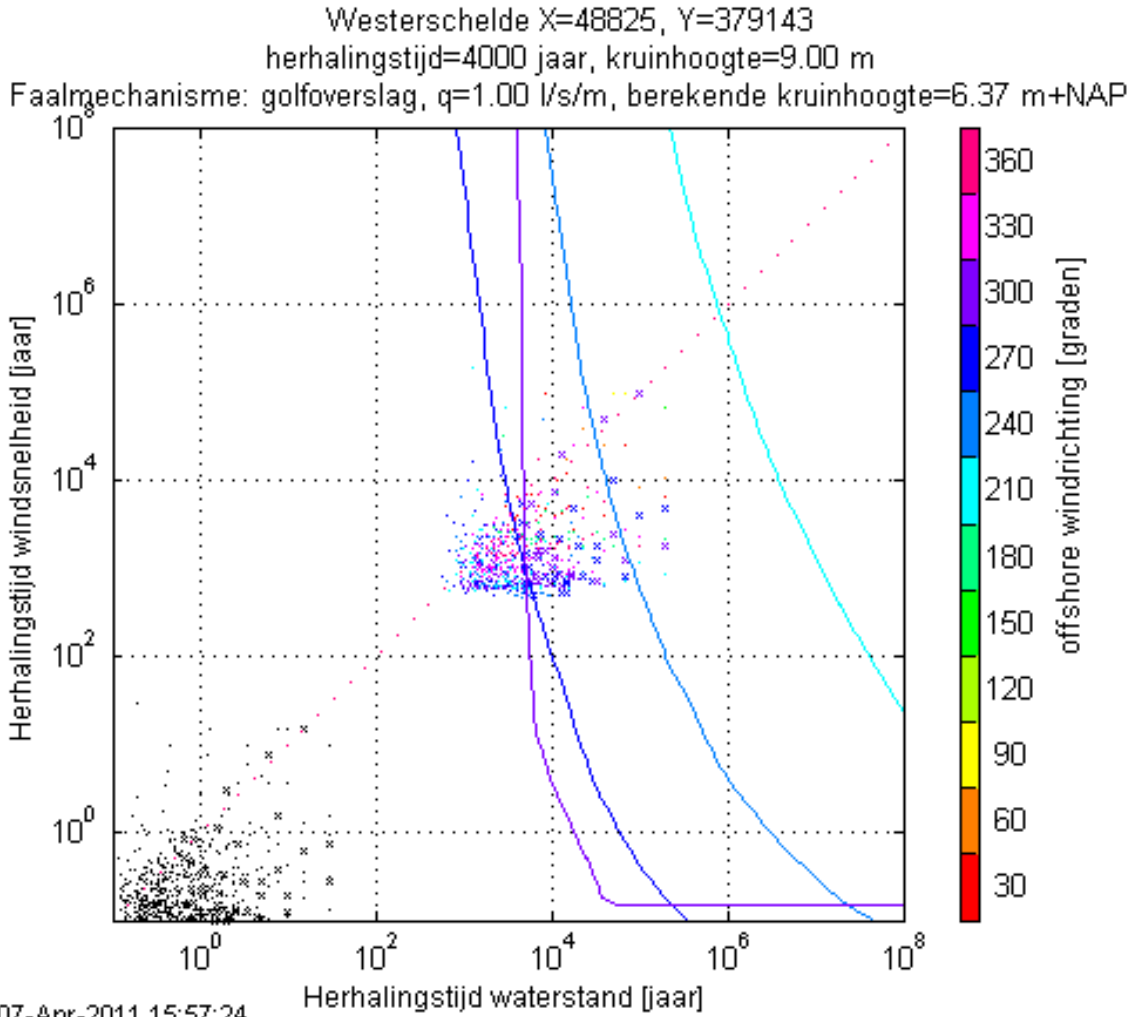
Figuur A-5: Locatie 547. Waarnemingen (zwarte punten en kruisjes), opgeschaalde waarnemingen (gekleurde punten en kruisjes), lijnen van gelijke overschrijdingsfrequentie (zwarte lijnen) en grenstoestandsfuncties met combinaties van de offshore windsnelheid en waterstand voor verschillende windrichtingen (kleurenbalk). Het snijpunt van de doorgetrokken blauwe lijnen representeert de offshore windsnelheid en waterstand in het tweede illustratiepunt.

Westerschelde X=48929, Y=379382
 herhalingstijd=4000 jaar, kruinhoogte=9.00 m
 Faalmechanisme: golfoverslag, q=1.00 l/s/m, berekende kruinhoogte=5.79 m+NAP



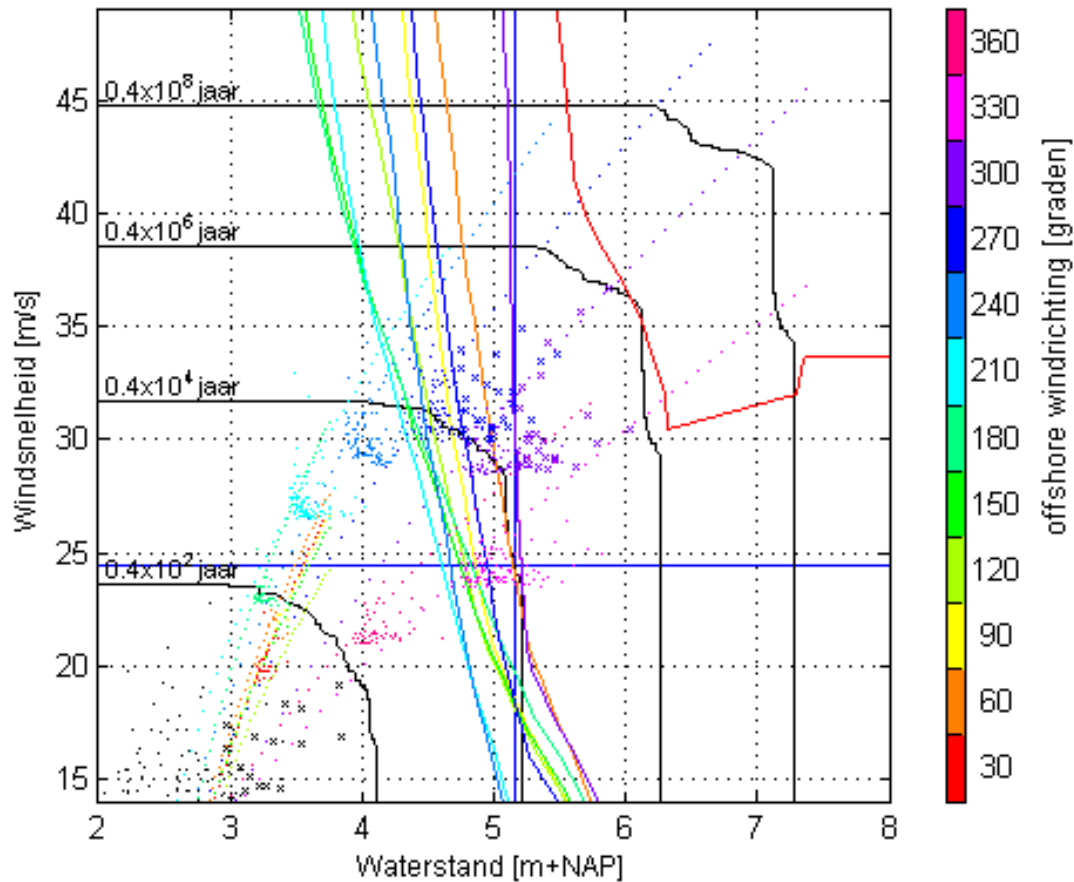
07-Apr-2011 15:55:28

Figuur A-6: Locatie 548. Waarnemingen (zwarte punten en kruisjes), opgeschaalde waarnemingen (gekleurde punten en kruisjes) en isolijnen met daarop combinaties van de terugkeertijd van de offshore windsnelheid en waterstand met gelijk hydraulisch belastingniveau voor verschillende windrichtingen.



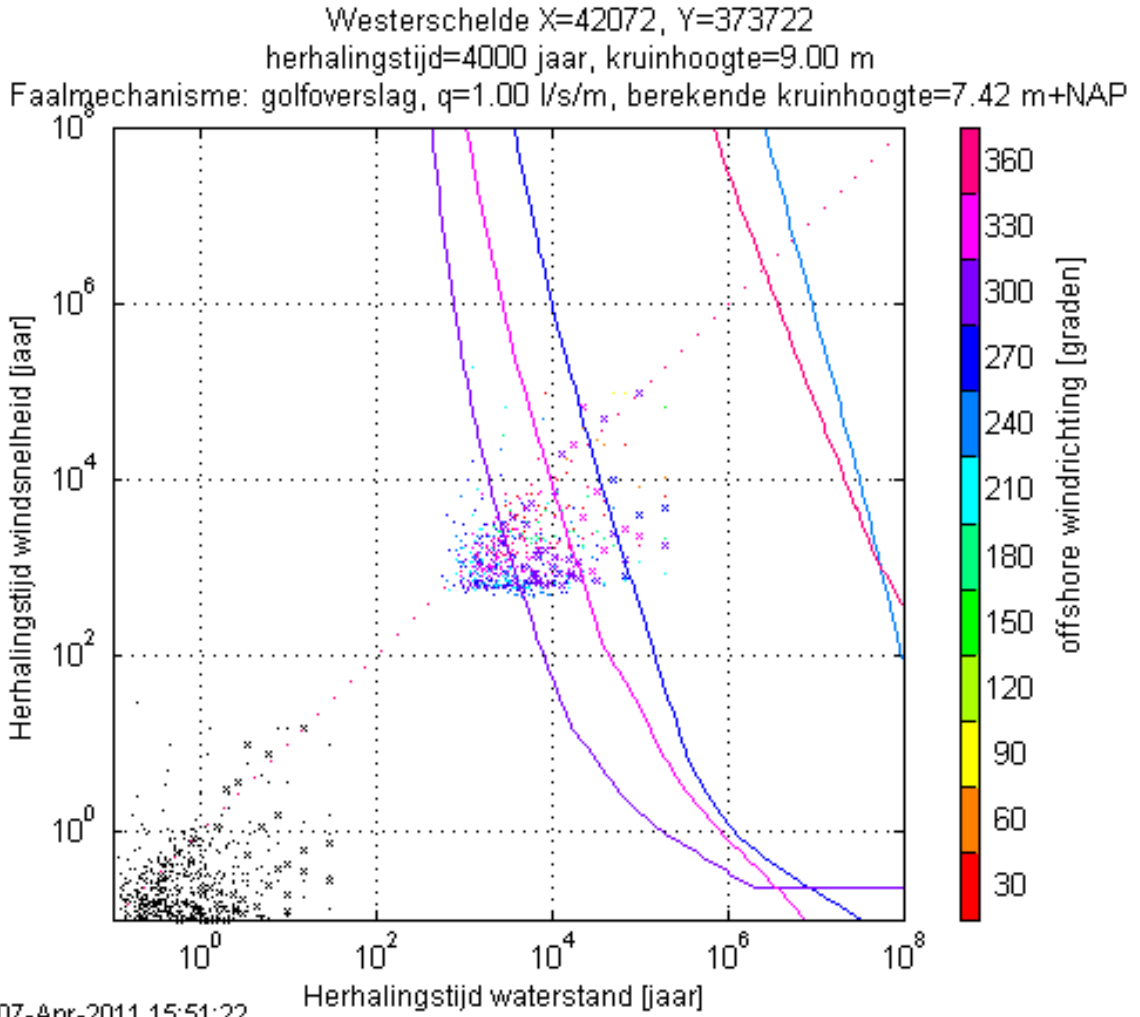
Figuur A-7: Locatie 549. Waarnemingen (zwarte punten en kruisjes), opgeschaalde waarnemingen (gekleurde punten en kruisjes) en isolijnen met daarop combinaties van de terugkeertijd van de offshore windsnelheid en waterstand met gelijk hydraulisch belastingniveau voor verschillende windrichtingen.

Westerschelde X=48825, Y=379143
 herhalingstijd=4000 jaar, kruinhoogte=9.00 m
 Faalmechanisme: golfoverslag, $q=1.00$ l/s/m, berekende kruinhoogte=6.37 m+NAP



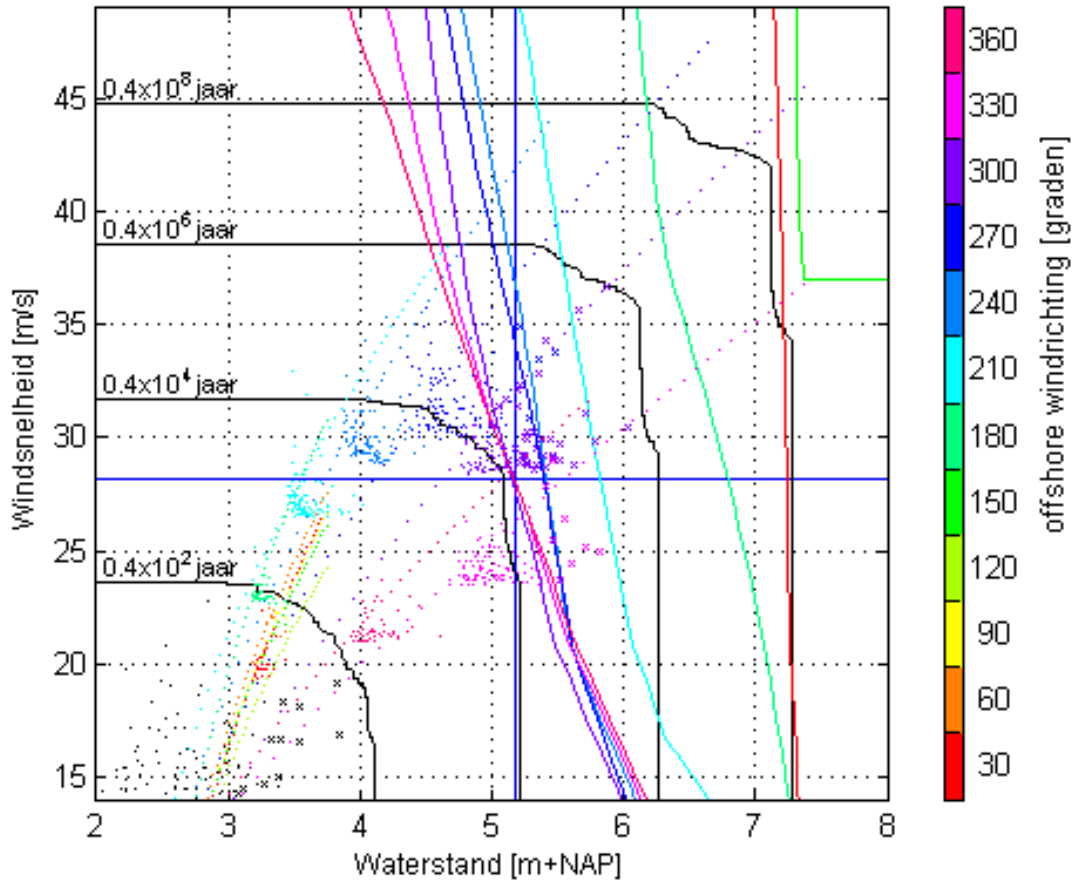
07-Apr-2011 15:57:24

Figuur A-8: Locatie 549. Waarnemingen (zwarte punten en kruisjes), opgeschaalde waarnemingen (gekleurde punten en kruisjes), lijnen van gelijke overschrijdingsfrequentie (zwarte lijnen) en grenstoestandsfuncties met combinaties van de offshore windsnelheid en waterstand voor verschillende windrichtingen (kleurenbalk). Het snijpunt van de doorgetrokken blauwe lijnen representeert de offshore windsnelheid en waterstand in het tweede illustratiepunt.



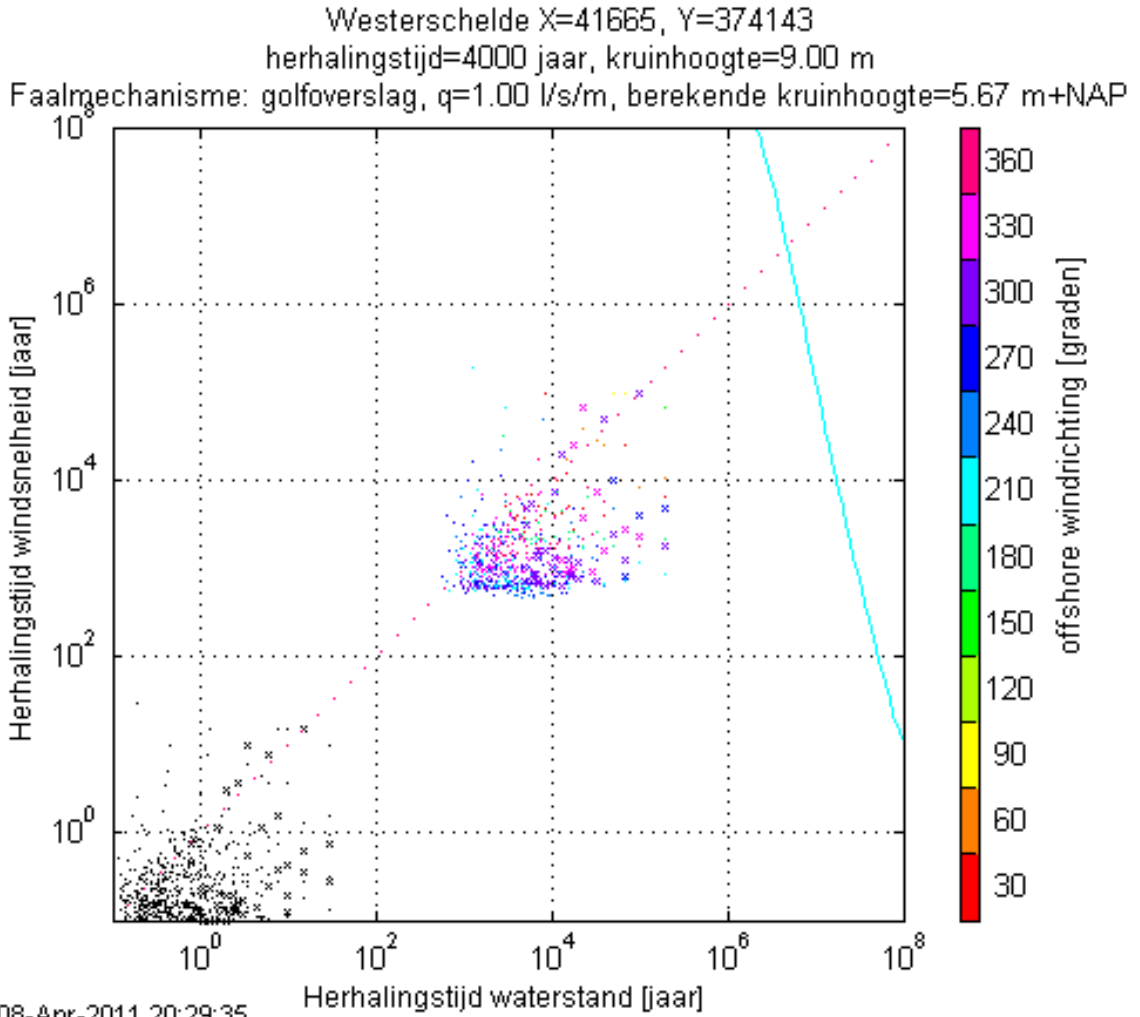
Figuur A-9: Locatie 150. Waarnemingen (zwarte punten en kruisjes), opgeschaalde waarnemingen (gekleurde punten en kruisjes) en isolijnen met daarop combinaties van de terugkeertijd van de offshore windsnelheid en waterstand met gelijk hydraulisch belastingniveau voor verschillende windrichtingen.

Westerschelde X=42072, Y=373722
 herhalingstijd=4000 jaar, kruinhoogte=9.00 m
 Faalmechanisme: golfoverslag, q=1.00 l/s/m, berekende kruinhoogte=7.42 m+NAP



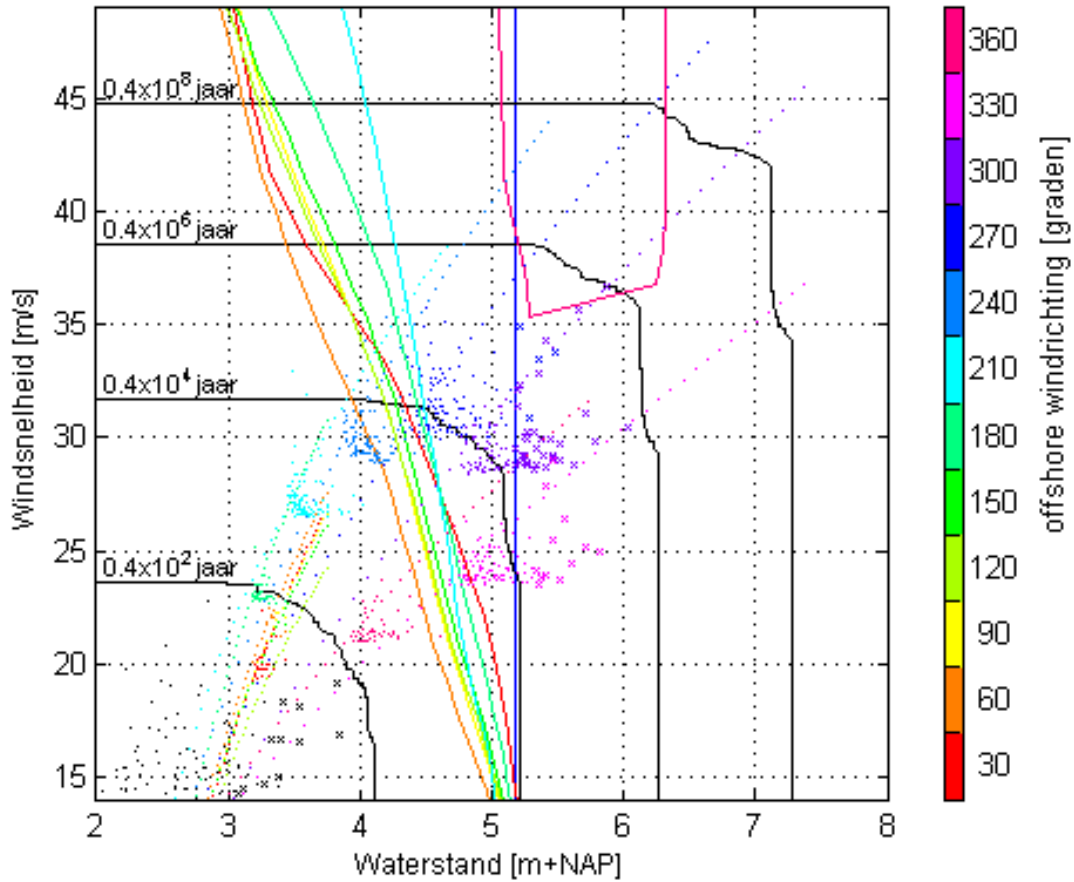
07-Apr-2011 15:51:23

Figuur A-10: Locatie 150. Waarnemingen (zwarte punten en kruisjes), opgeschaalde waarnemingen (gekleurde punten en kruisjes), lijnen van gelijke overschrijdingsfrequentie (zwarte lijnen) en grenstoestandsfuncties met combinaties van de offshore windsnelheid en waterstand voor verschillende windrichtingen (kleurenbalk). Het snijpunt van de doorgetrokken blauwe lijnen representeert de offshore windsnelheid en waterstand in het tweede illustratiepunt.



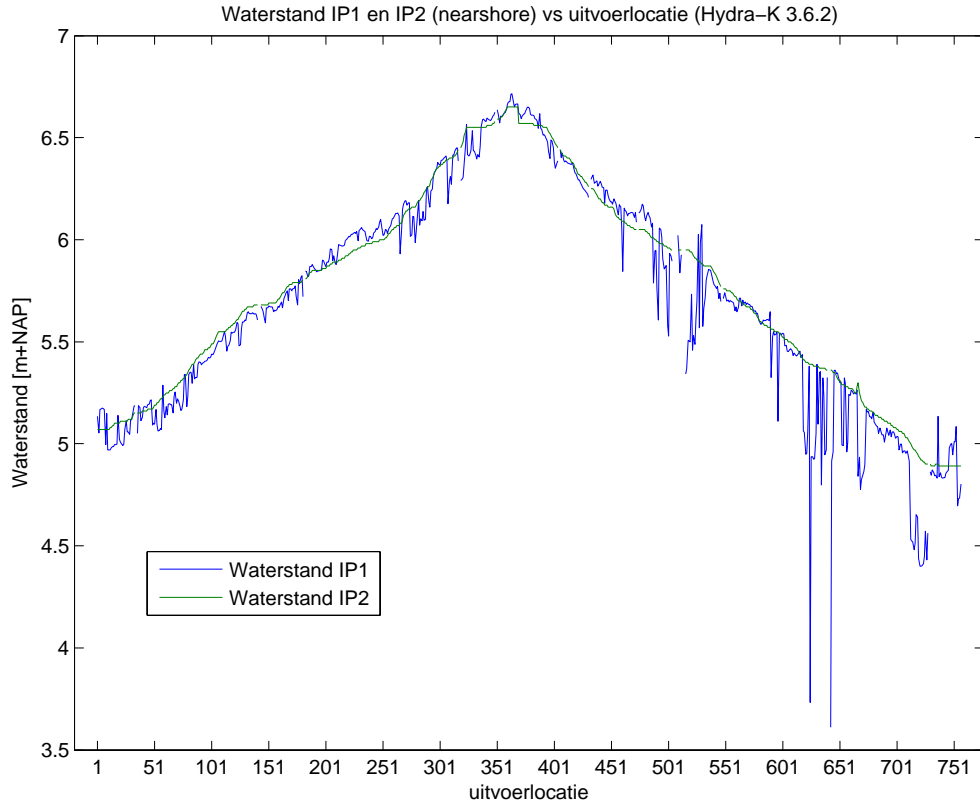
Figuur A-11: Locatie 142. Waarnemingen (zwarte punten en kruisjes), opgeschaalde waarnemingen (gekleurde punten en kruisjes) en isolijnen met daarop combinaties van de terugkeertijd van de offshore windsnelheid en waterstand met gelijk hydraulisch belastingniveau voor verschillende windrichtingen.

Westerschelde X=41665, Y=374143
herhalingstijd=4000 jaar, kruinhoogte=9.00 m
Faalmechanisme: golfoverslag, q=1.00 l/s/m, berekende kruinhoogte=5.67 m+NAP

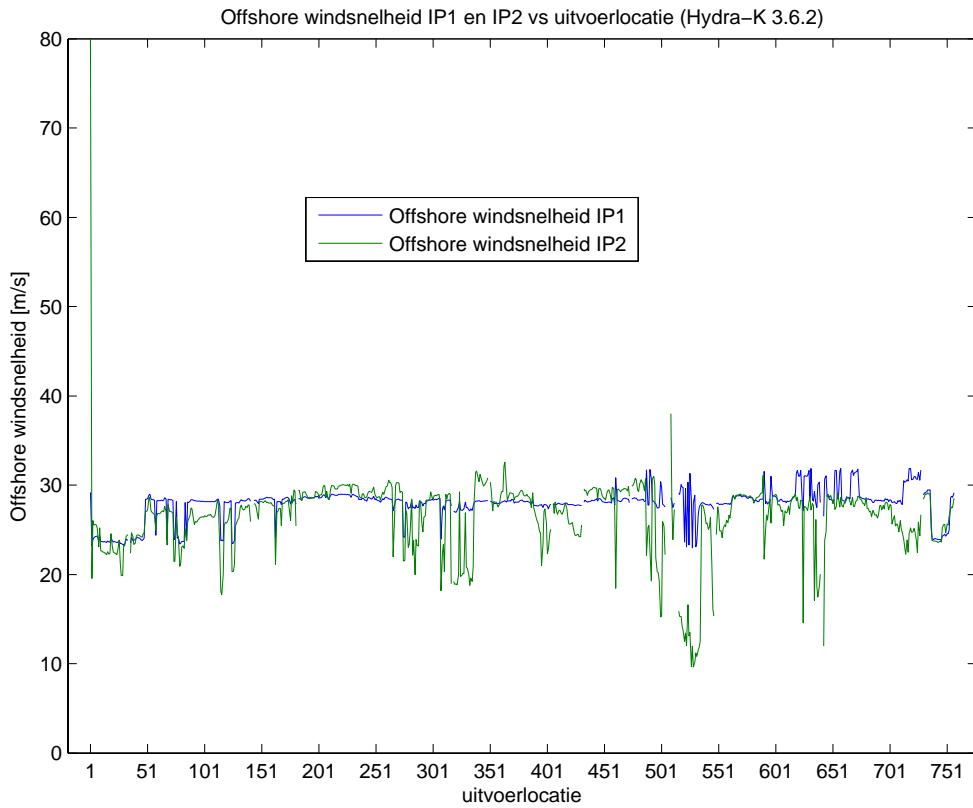


08-Apr-2011 20:29:37

Figuur A-12: Locatie 142. Waarnemingen (zwarte punten en kruisjes), opgeschaalde waarnemingen (gekleurde punten en kruisjes), lijnen van gelijke overschrijdingsfrequentie (zwarte lijnen) en grenstoestandsfuncties met combinaties van de offshore windsnelheid en waterstand voor verschillende windrichtingen (kleurenbalk). Het snijpunt van de doorgetrokken blauwe lijnen representeert de offshore windsnelheid en waterstand in het tweede illustratiepunt.



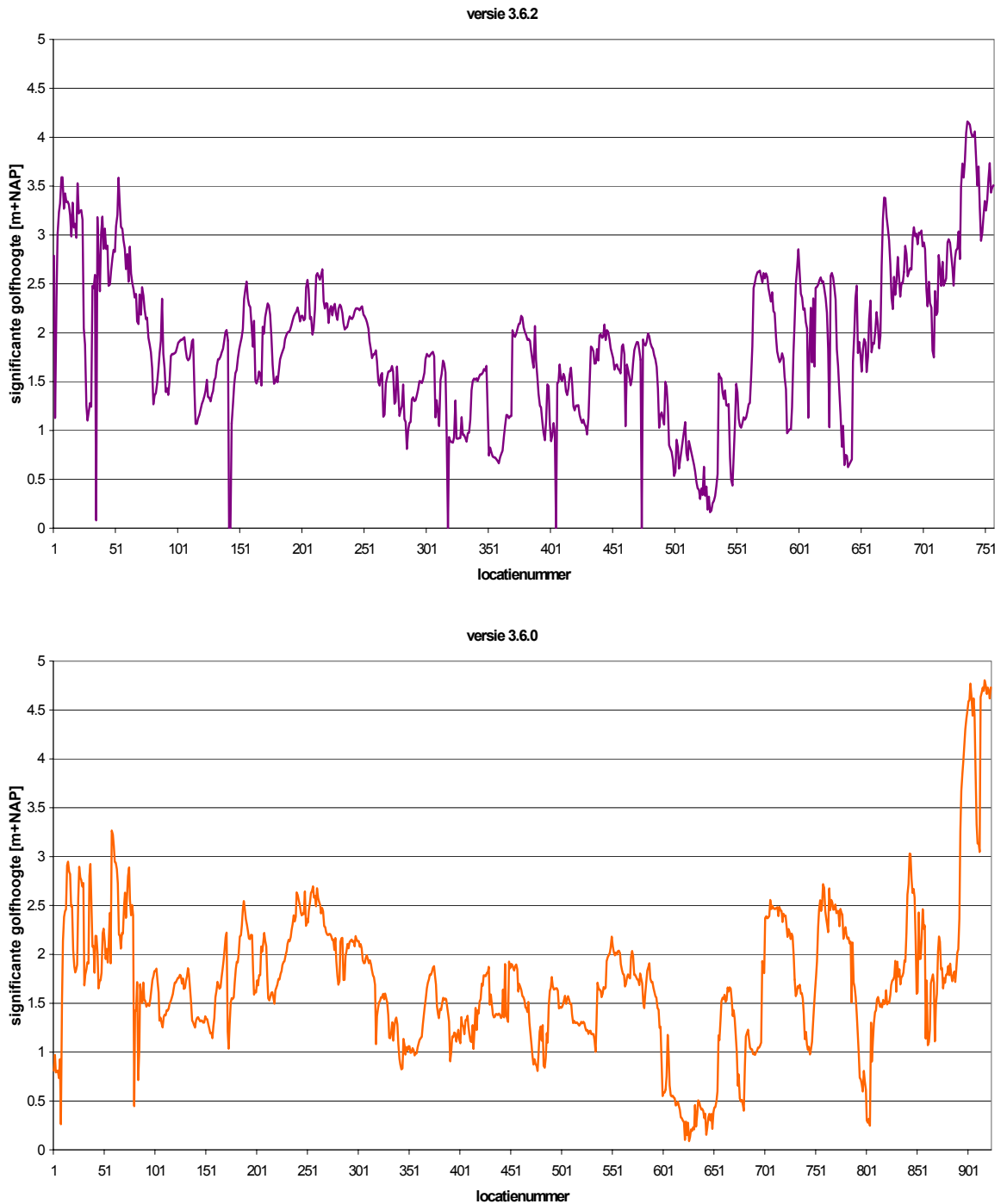
Figuur A-13: Waterstand (nearshore) in eerste en tweede illustratiepunt.



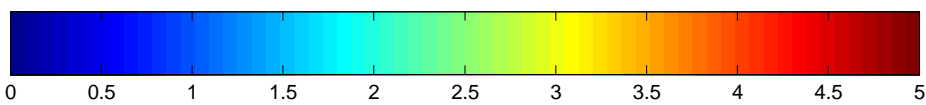
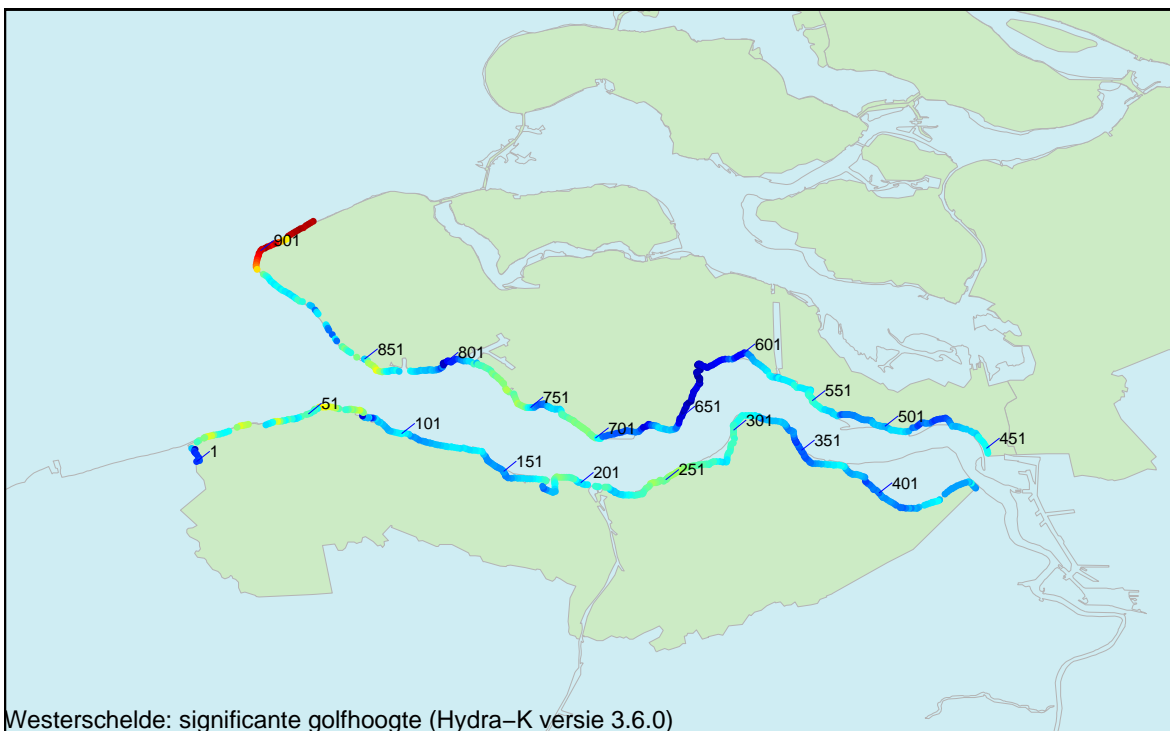
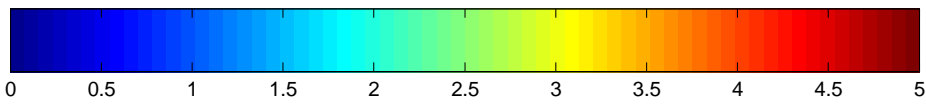
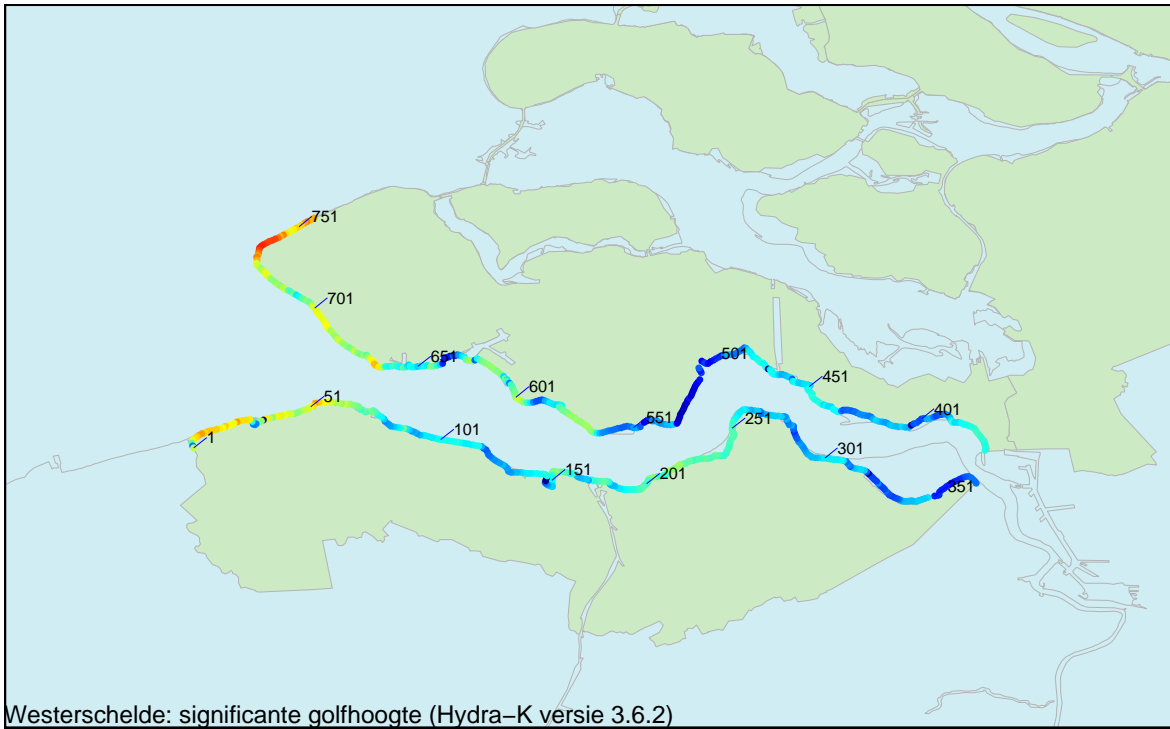
Figuur A-14: Offshore windsnelheid in eerste en tweede illustratiepunt.

Bijlage B Golfcondities tweede illustratiepunt

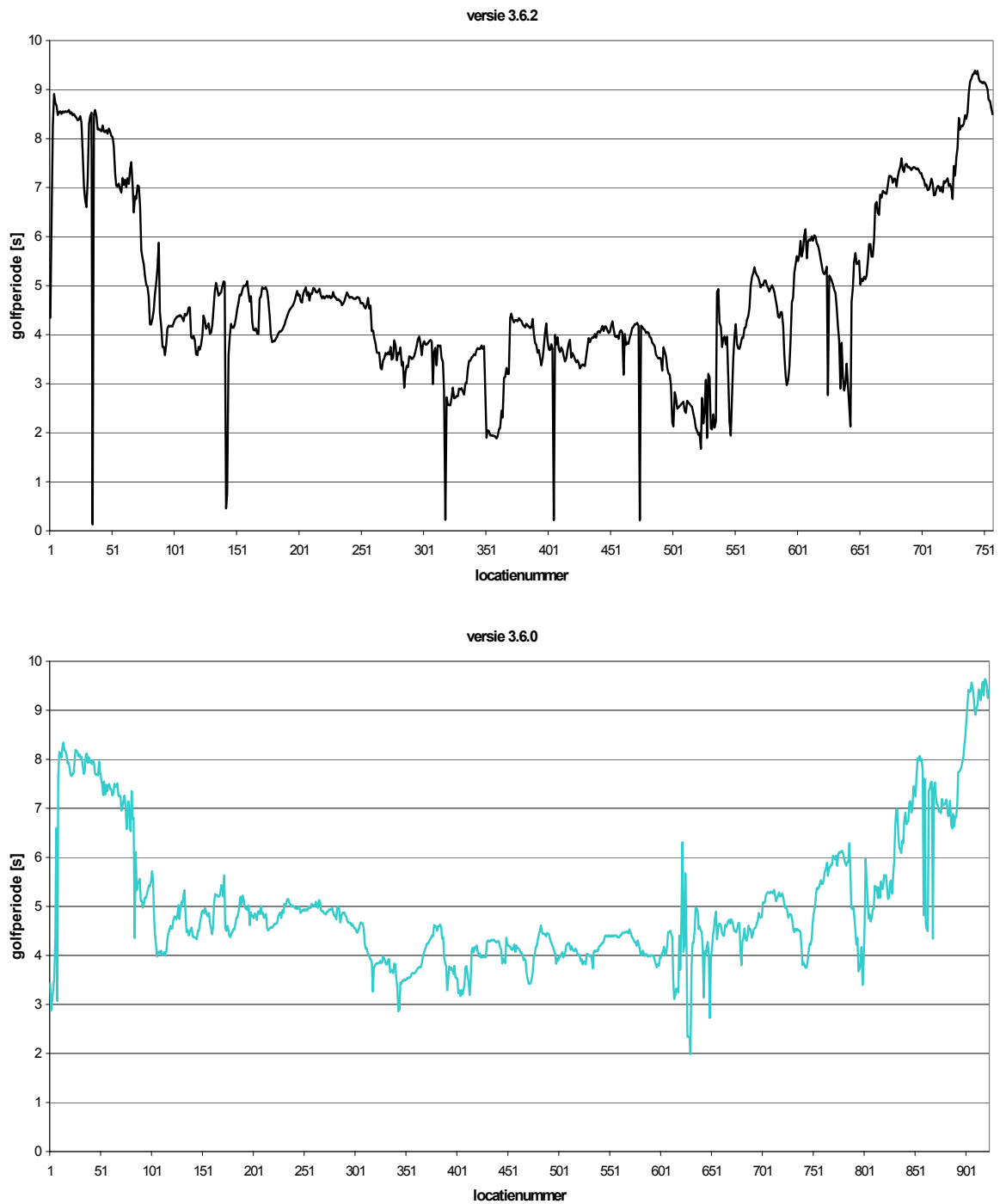
Figuren significante golfhoogte H_{m0}



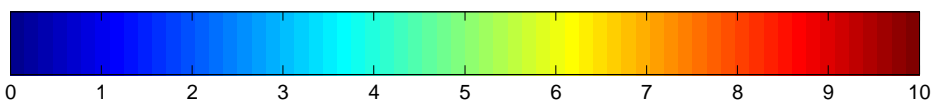
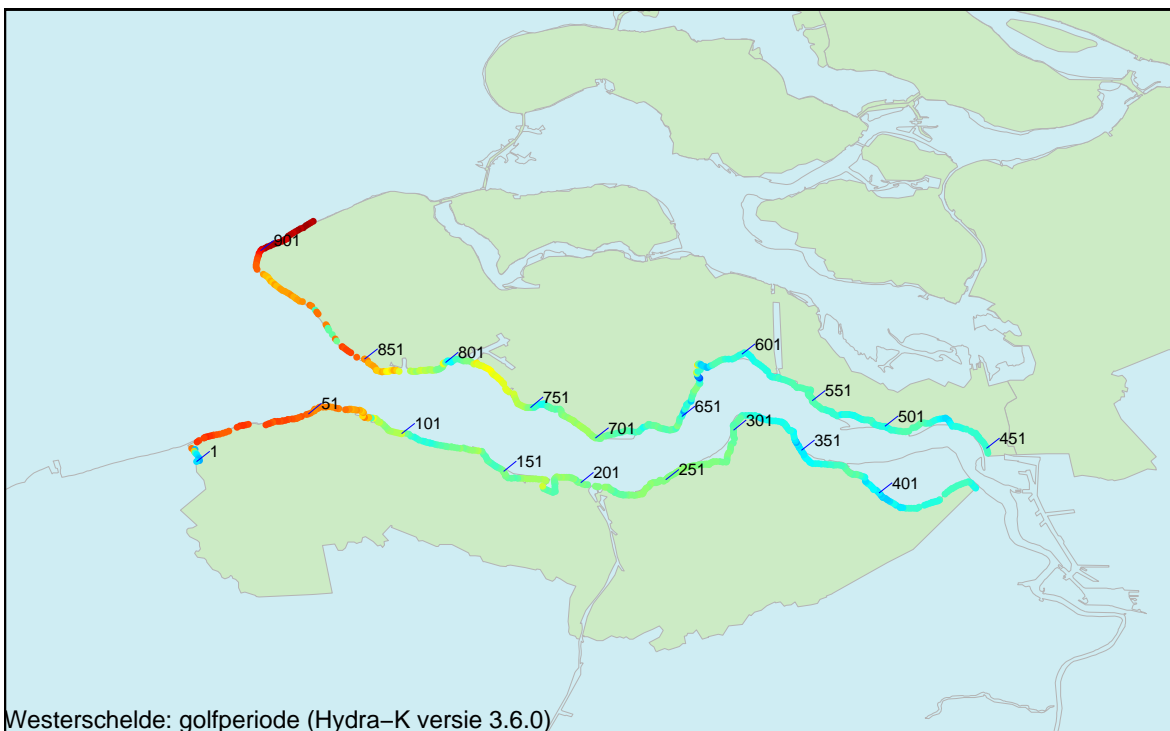
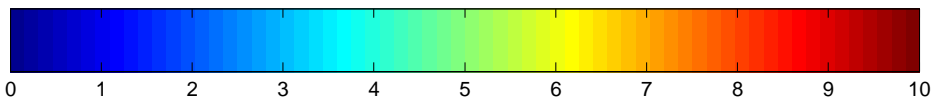
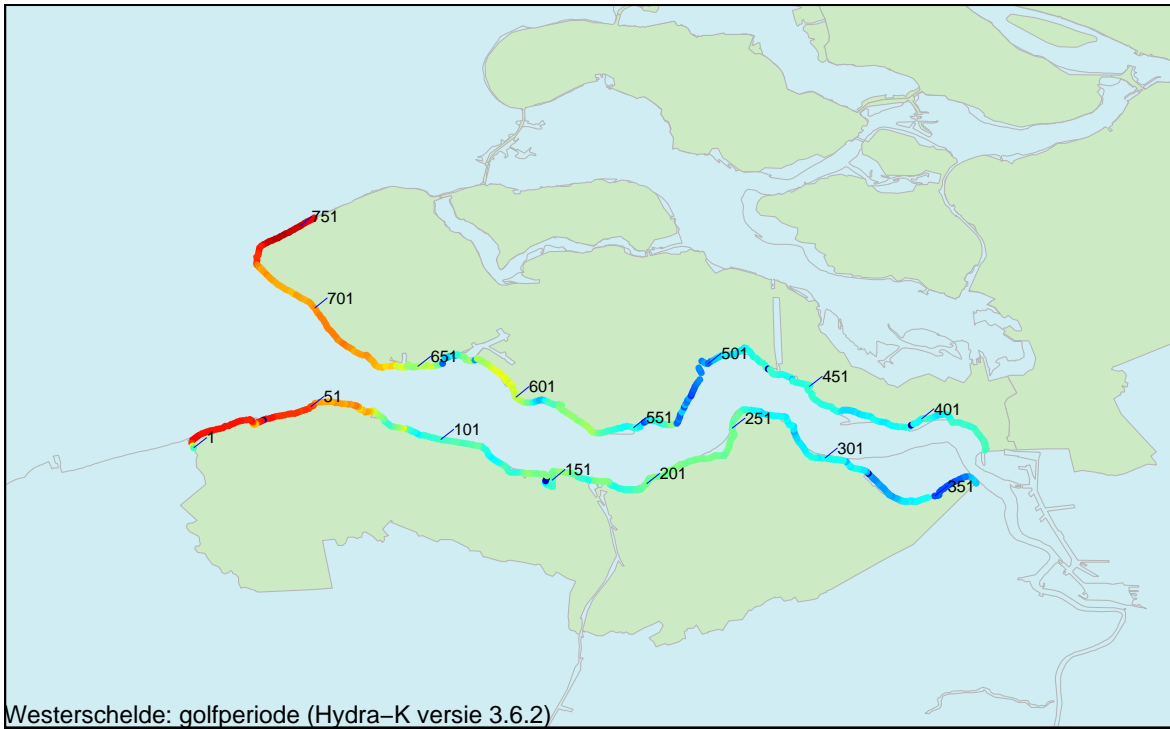
Figuur B-1: Significante golfhoogtes in het tweede illustratiepunt als functie van het locatienummer. Boven met versie 3.6.2, onder met versie 3.6.0.



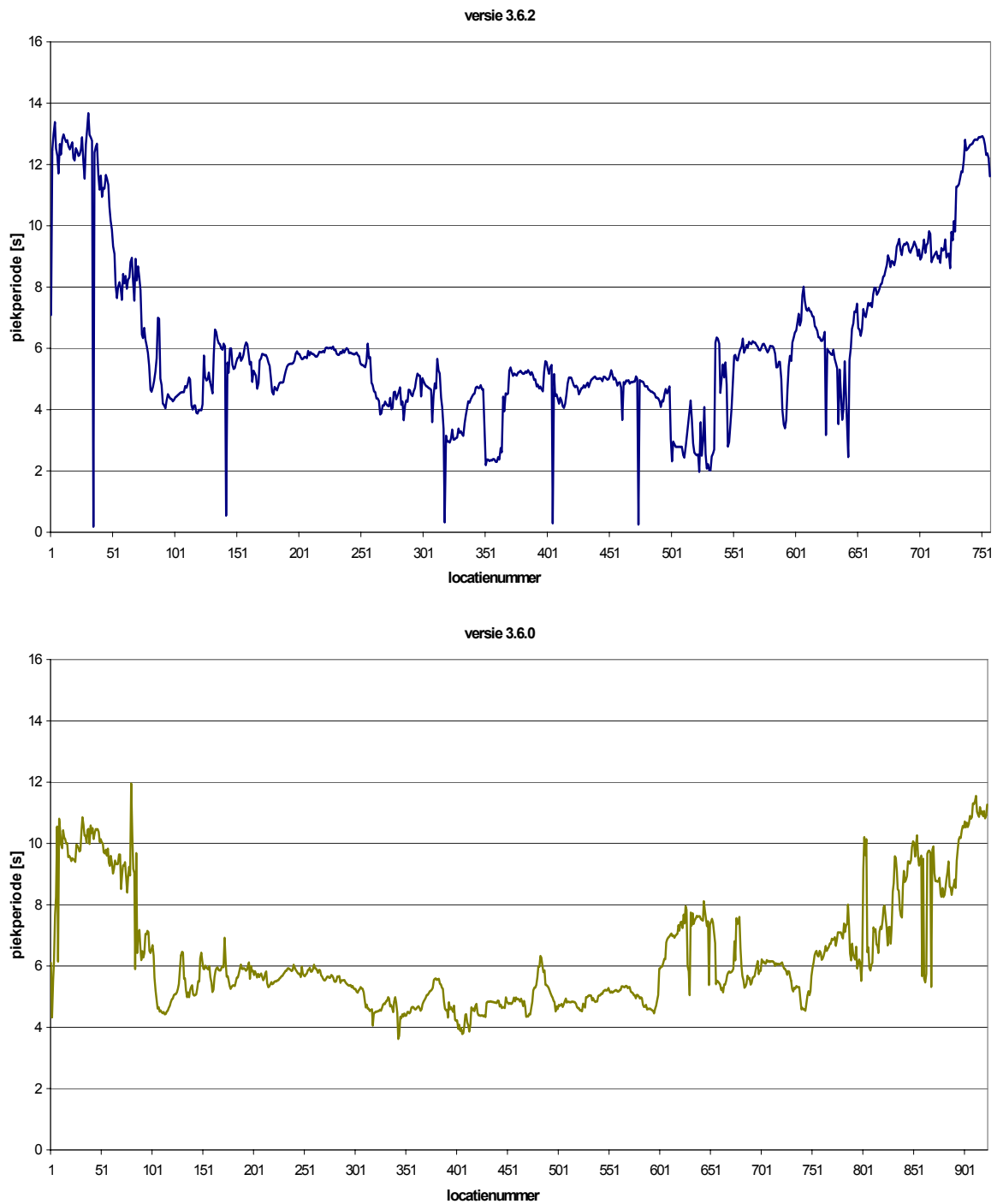
Figuur B-2: Geografische weergave van de significante golfhoogtes in het tweede illustratiepunt met versie 3.6.2 (boven) en versie 3.6.0 (onder).

Figuren golfperiode $T_{m-1,0}$ 

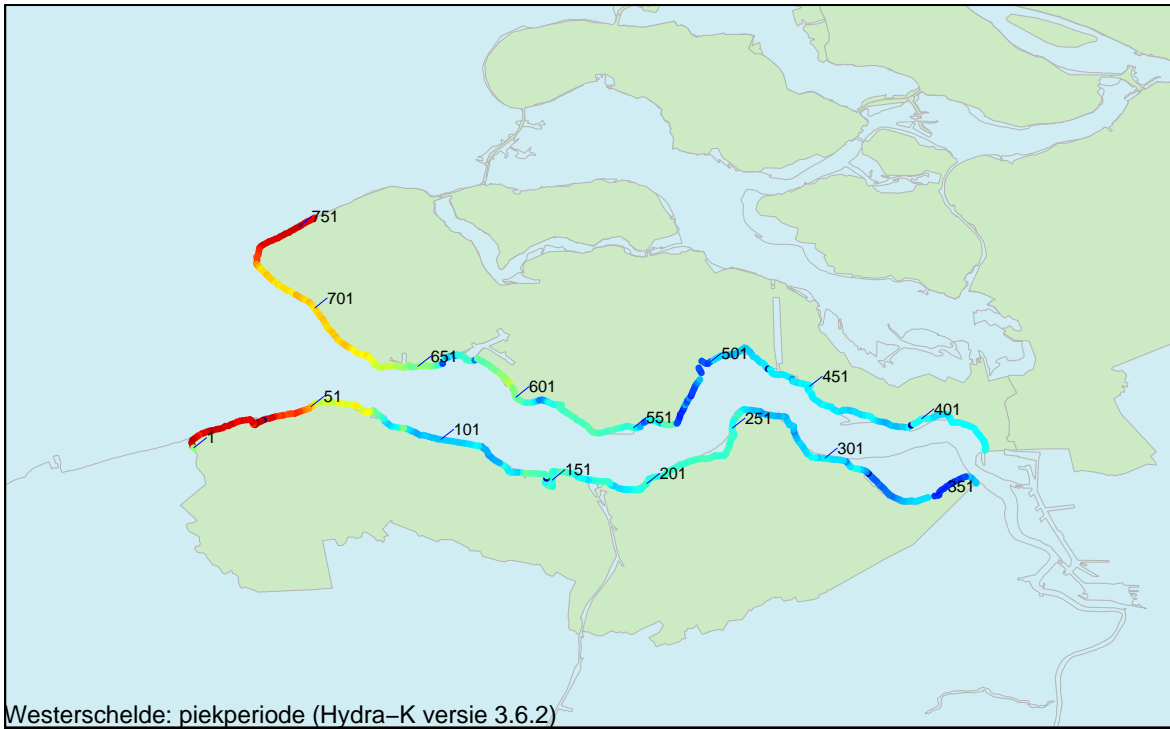
Figuur B-3: Golfperiode $T_{m-1,0}$ in het tweede illustratiepunt als functie van het locatienummer. Boven met versie 3.6.2, onder met versie 3.6.0.



Figuur B-4: Geografische weergave van de golfperiode in het tweede illustratiepunt met versie 3.6.2 (boven) en versie 3.6.0 (onder).

Figuren piekperiode (T_p)

Figuur B-5: Piekperiode T_p in het tweede illustratiepunt als functie van het locatienummer. Boven met versie 3.6.2, onder met versie 3.6.0.

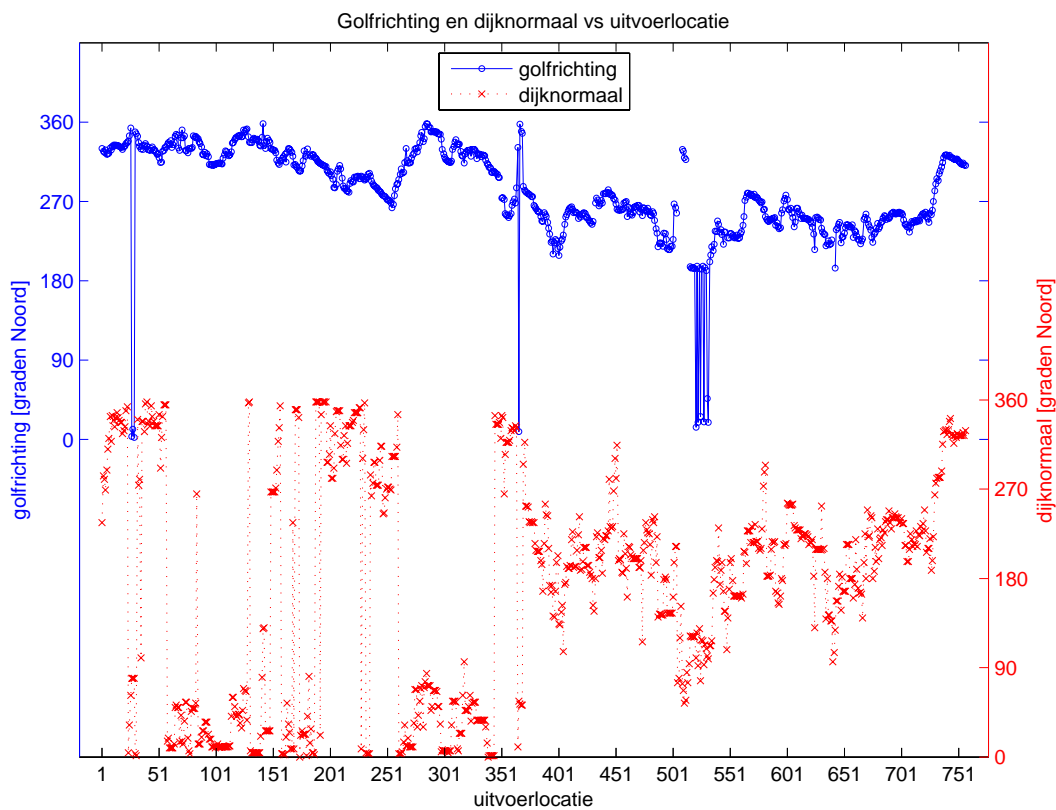


Figuur B-6: Geografische weergave van de piekperiode in het tweede illustratiepunt met versie 3.6.2 (boven) en versie 3.6.0 (onder).

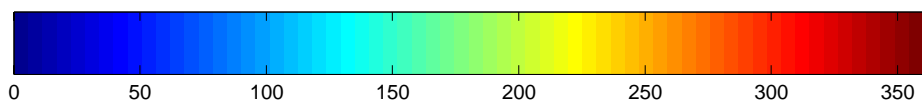
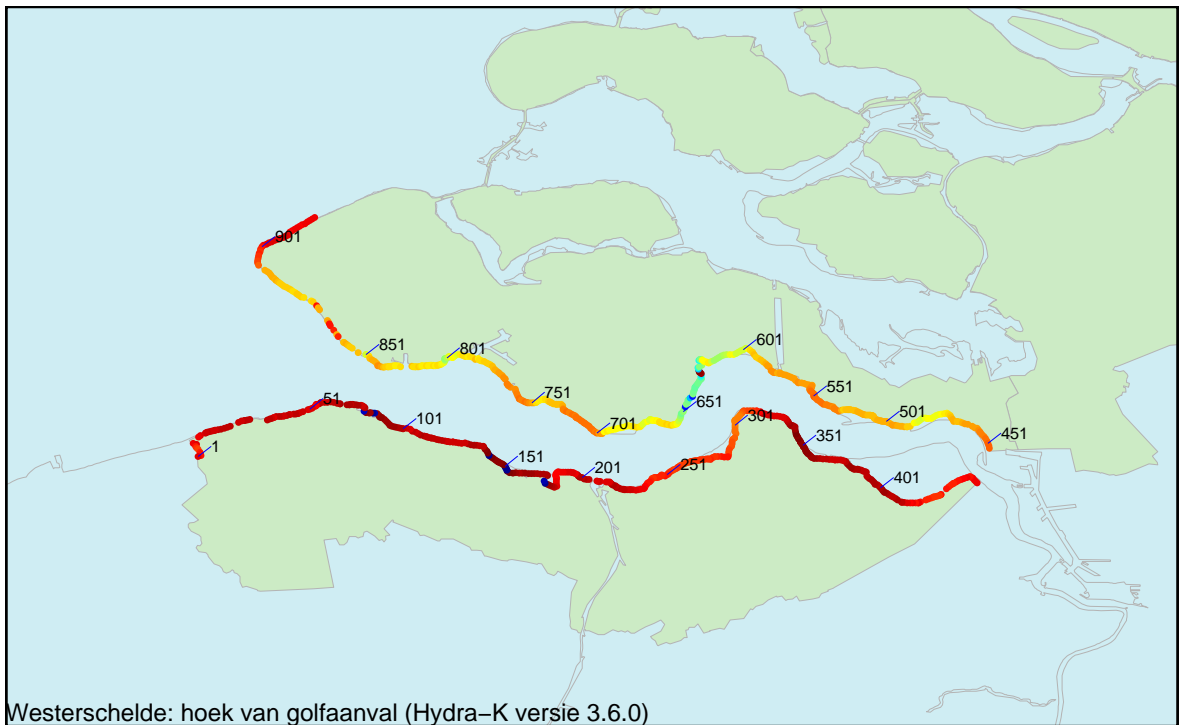
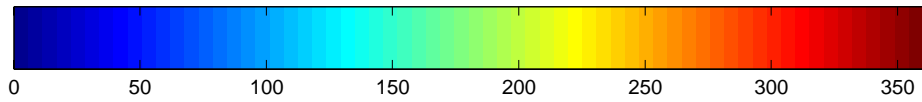
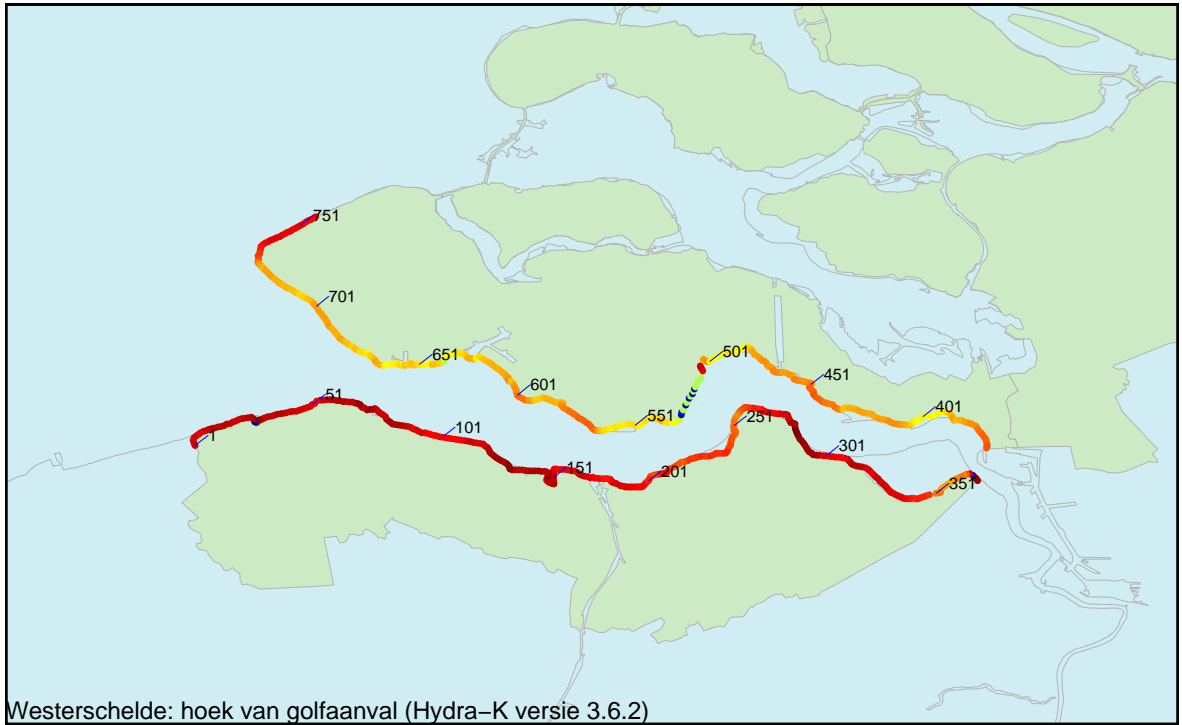
Figuren hoek van golfaanval (θ)



Figuur B-7: Hoek van golfaanval (θ) in het tweede illustratiepunt als functie van het locatienummer. Boven met versie 3.6.2, onder met versie 3.6.0. (Bij de hoek is 90 graden opgeteld. De eenheid is graden Noord.)

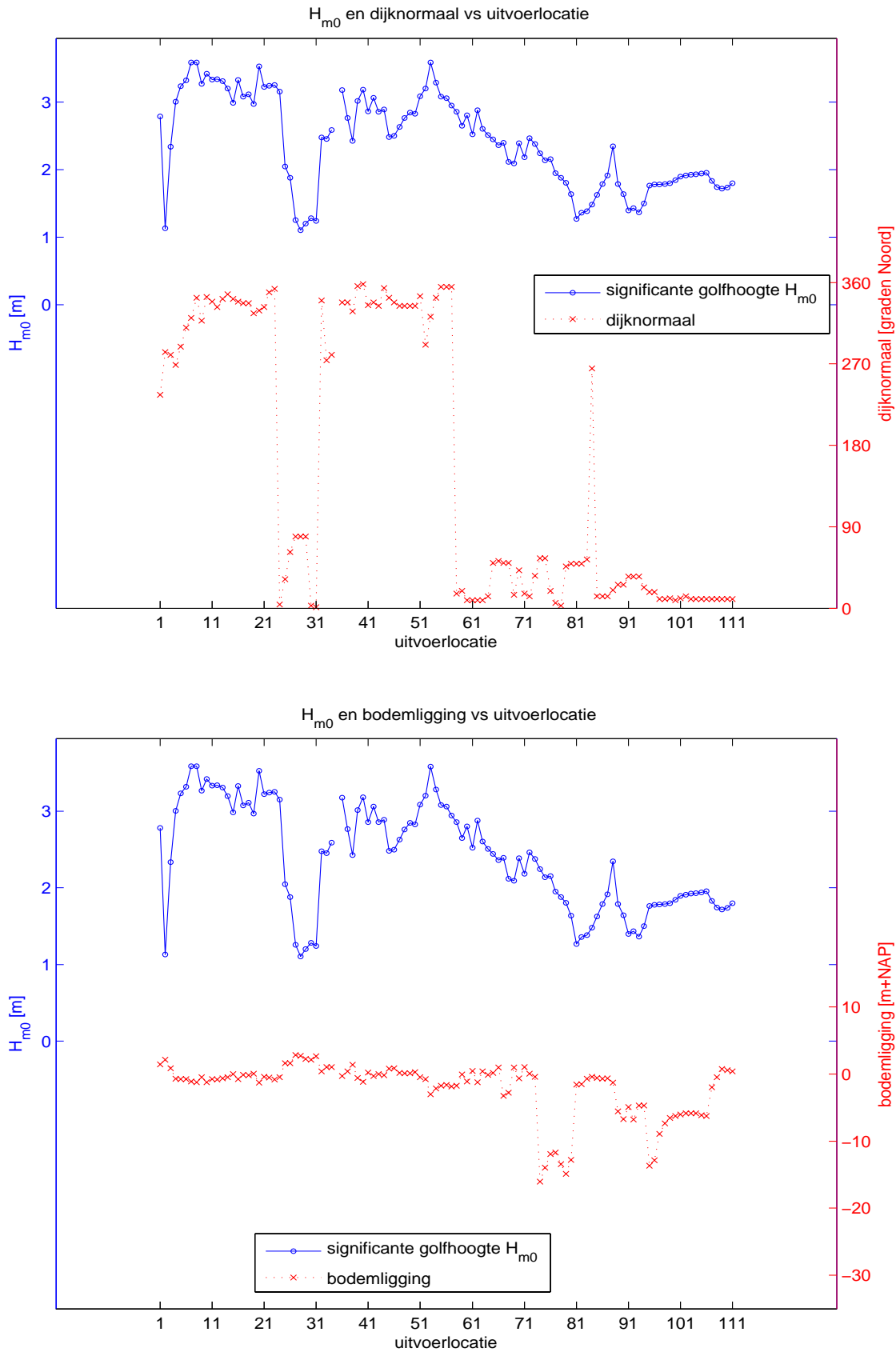


Figuur B-8: Golfrichting in het tweede illustratiepunt en dijknormaal als functie van de uitvoerlocatie (resultaten versie 3.6.2).

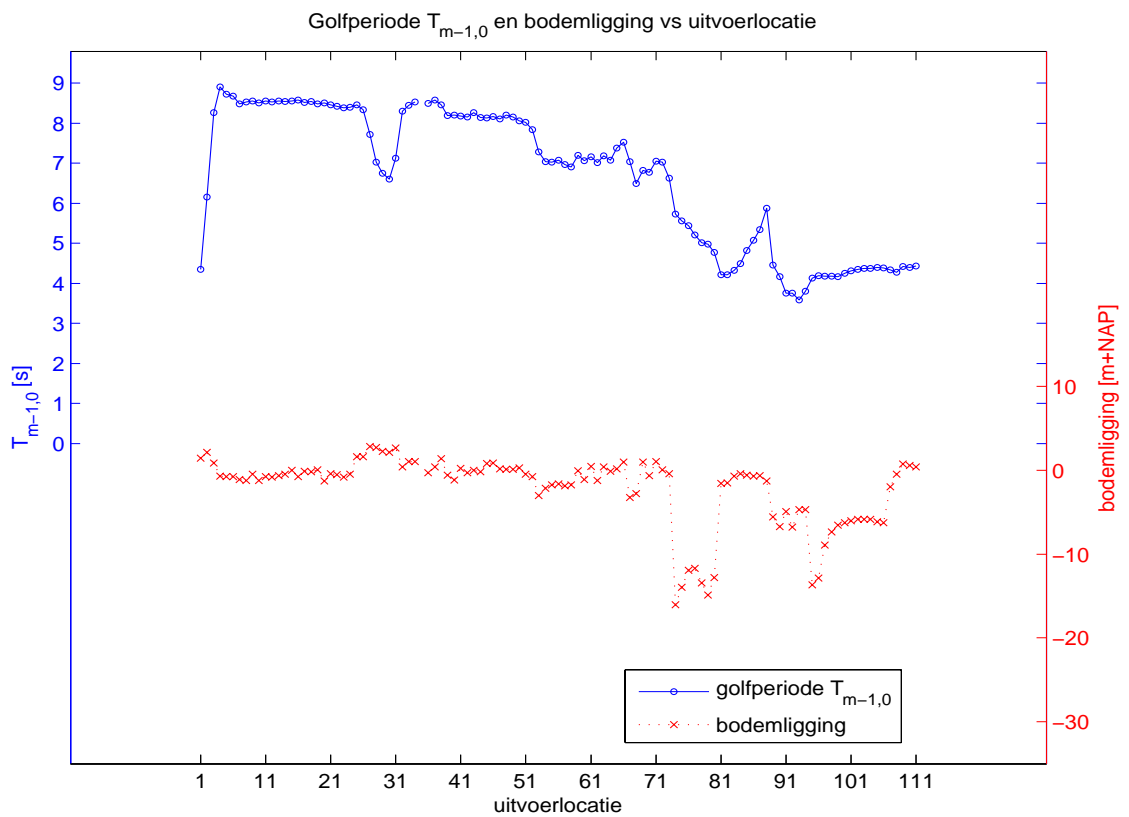
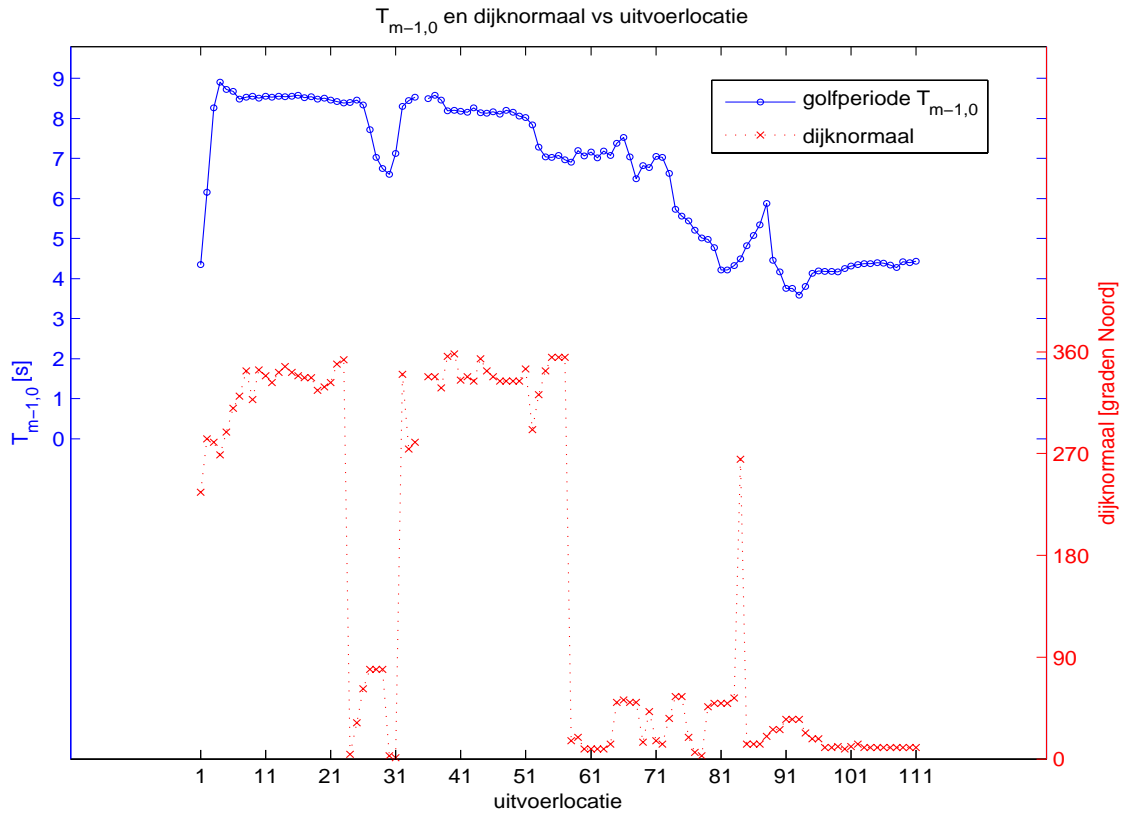


Figuur B-9: Geografische weergave van de hoek van golfaanval in het tweede illustratiepunt met versie 3.6.2 (boven) en versie 3.6.0 (onder).

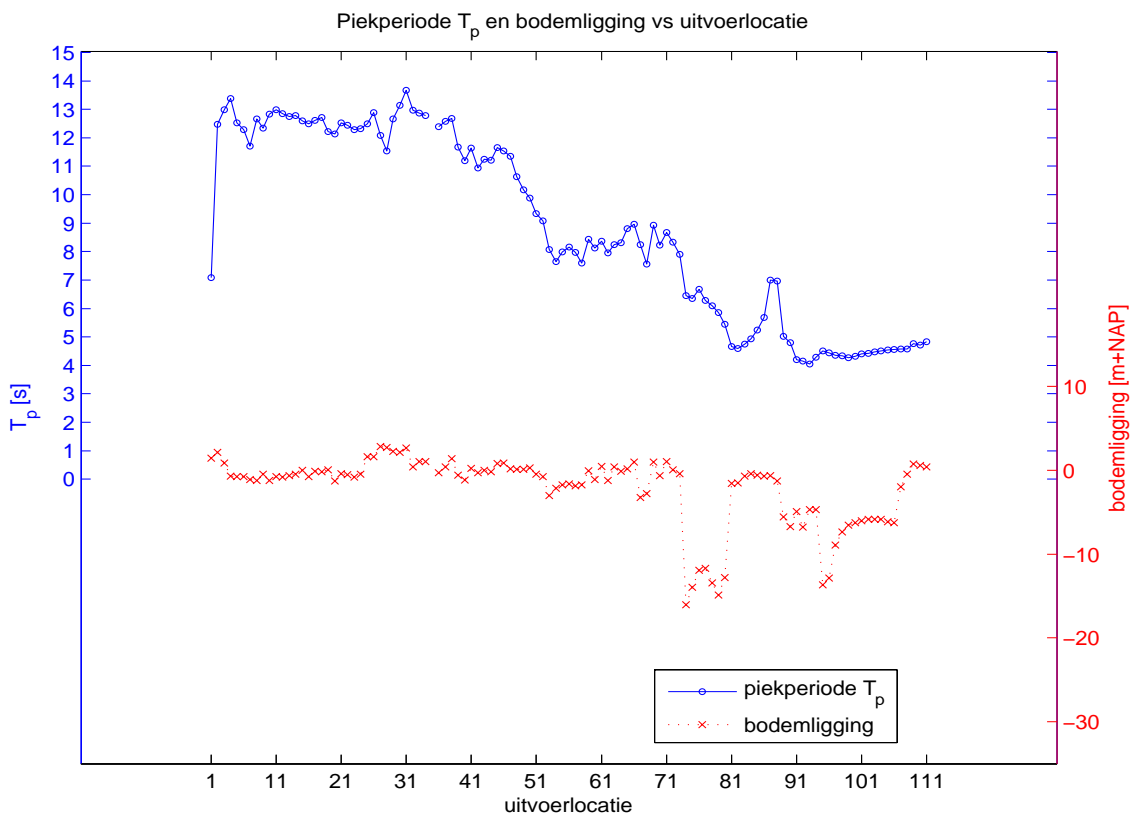
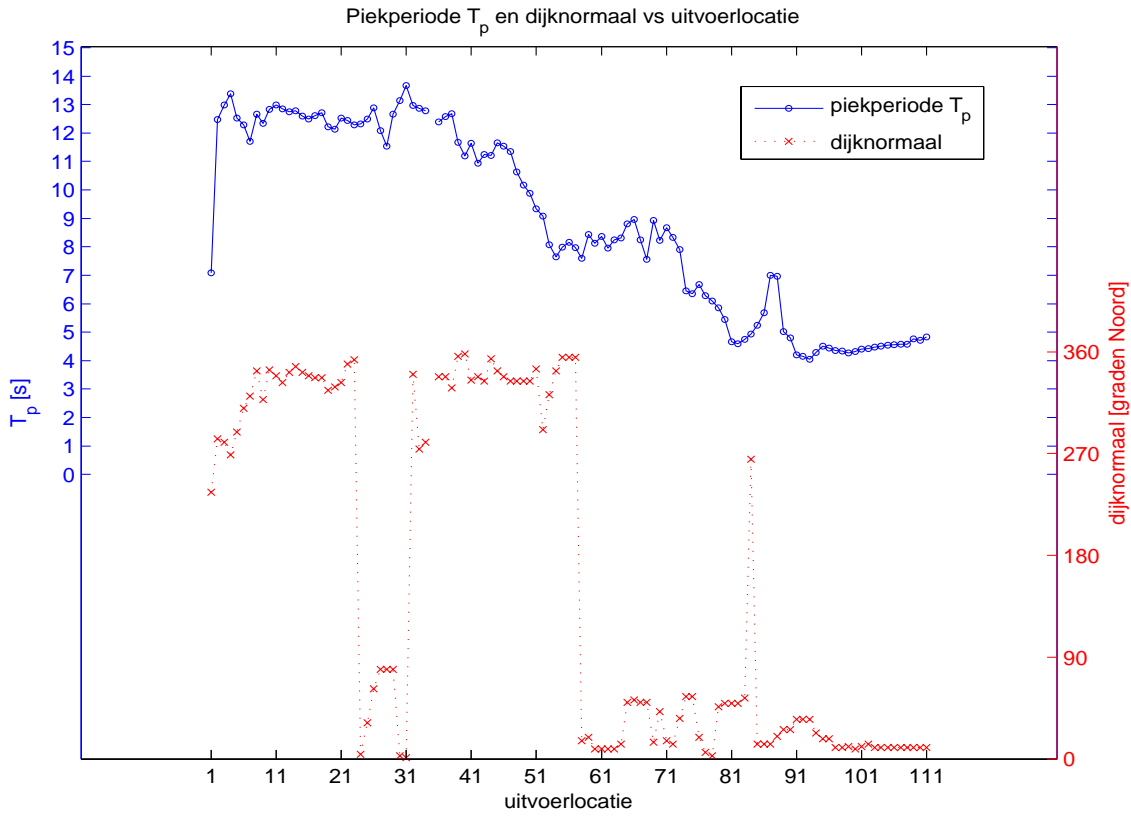
Figuren "ZW"



Figuur B-10: Significante golfhoogte H_{m0} in het tweede illustratiepunt in combinatie met dijknormaal (boven) en bodemligging (onder) als functie van de uitvoerlocatie in gebied "ZW".

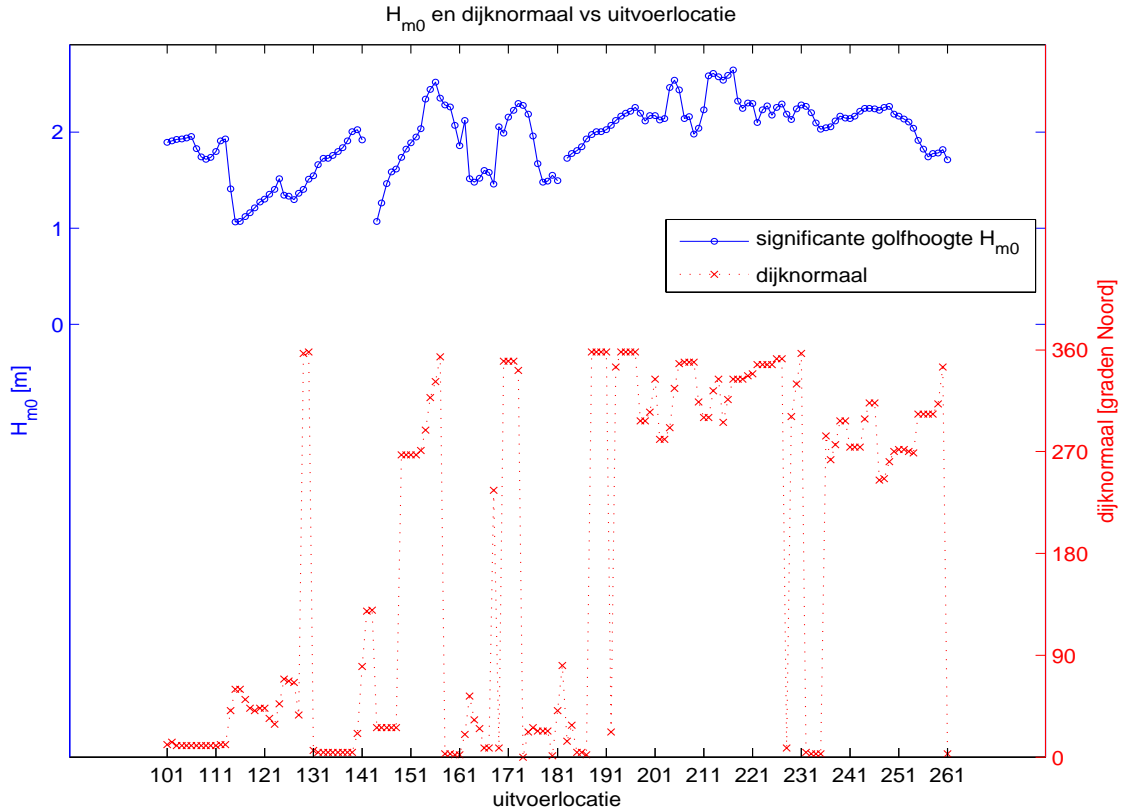
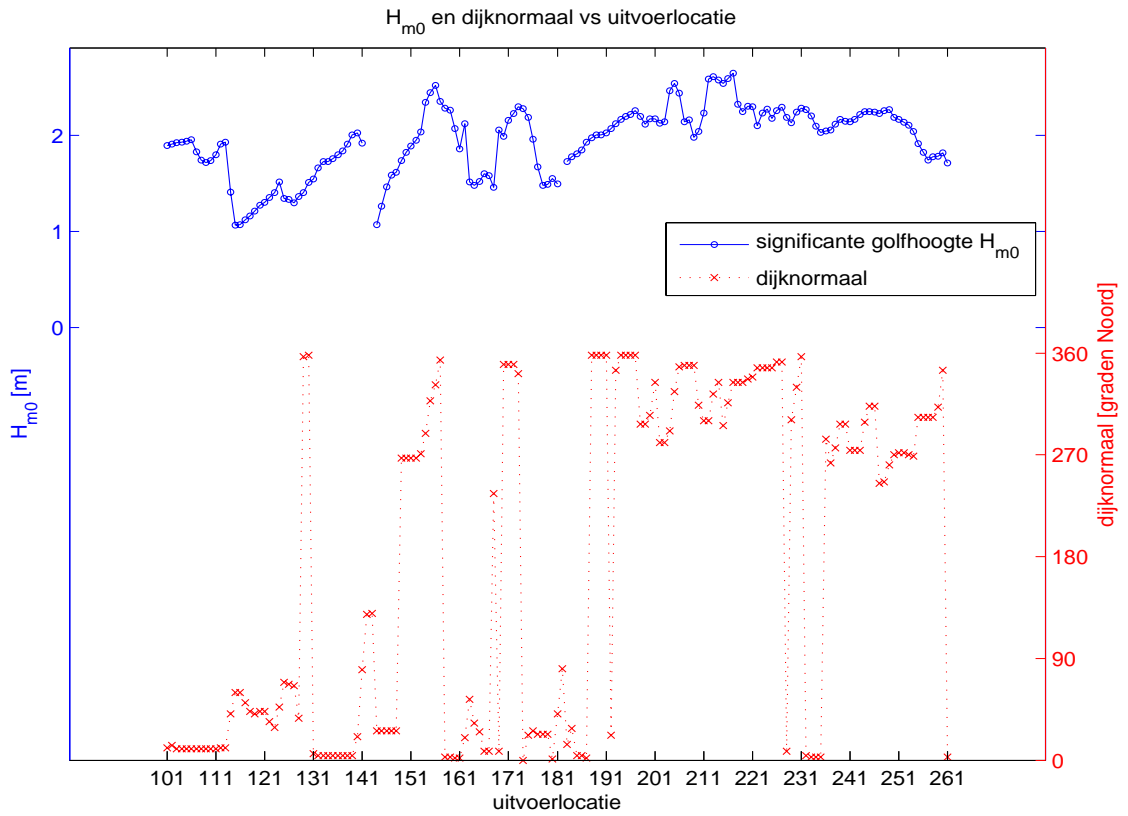


Figuur B-11: Golfperiode $T_{m-1,0}$ in het tweede illustratiepunt in combinatie met dijknormaal (boven) en bodemligging (onder) als functie van de uitvoerlocatie in gebied "ZW".

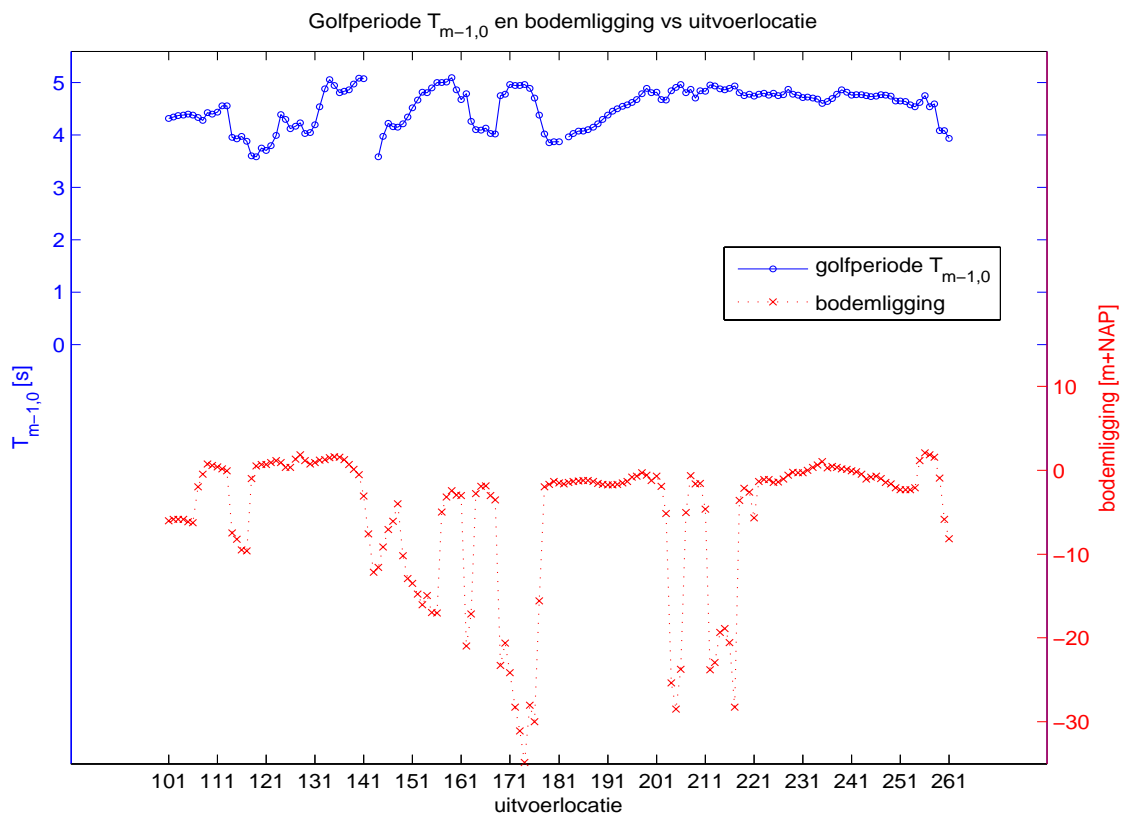
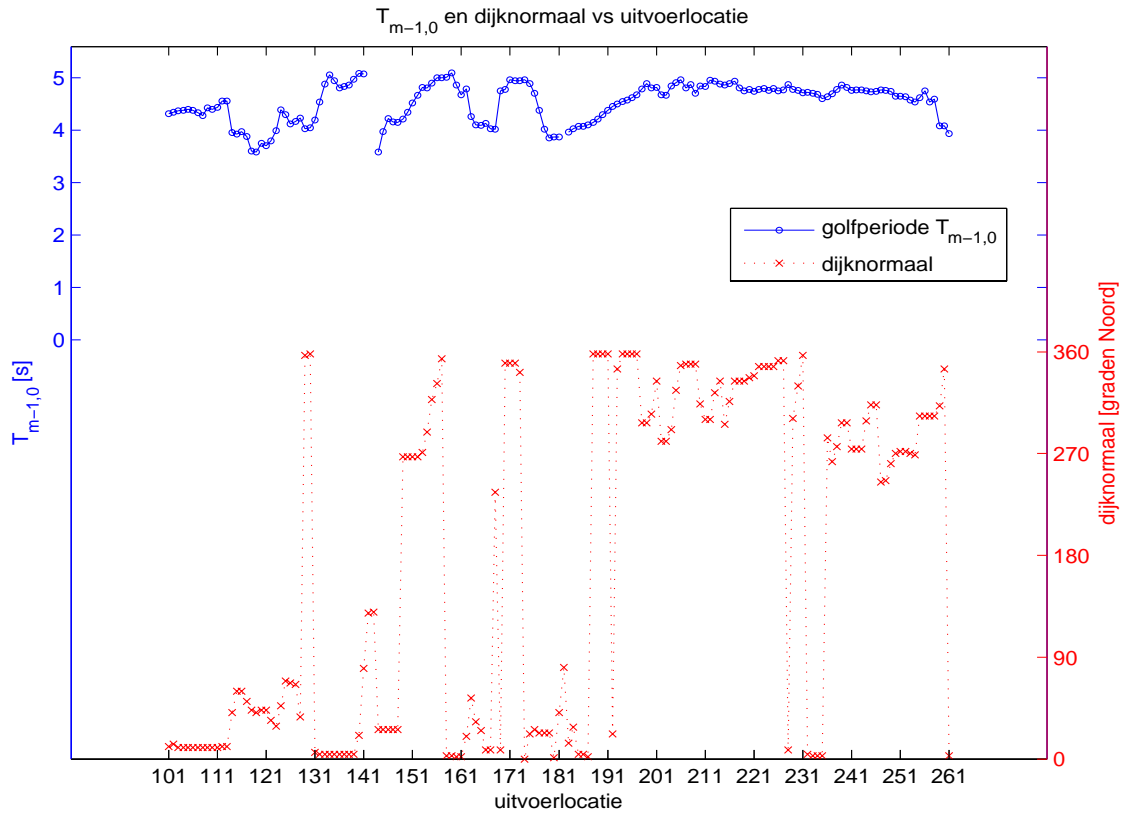


Figuur B-12: Piekperiode T_p in het tweede illustratiepunt in combinatie met dijknormaal (boven) en bodemligging (onder) als functie van de uitvoerlocatie in gebied "ZW".

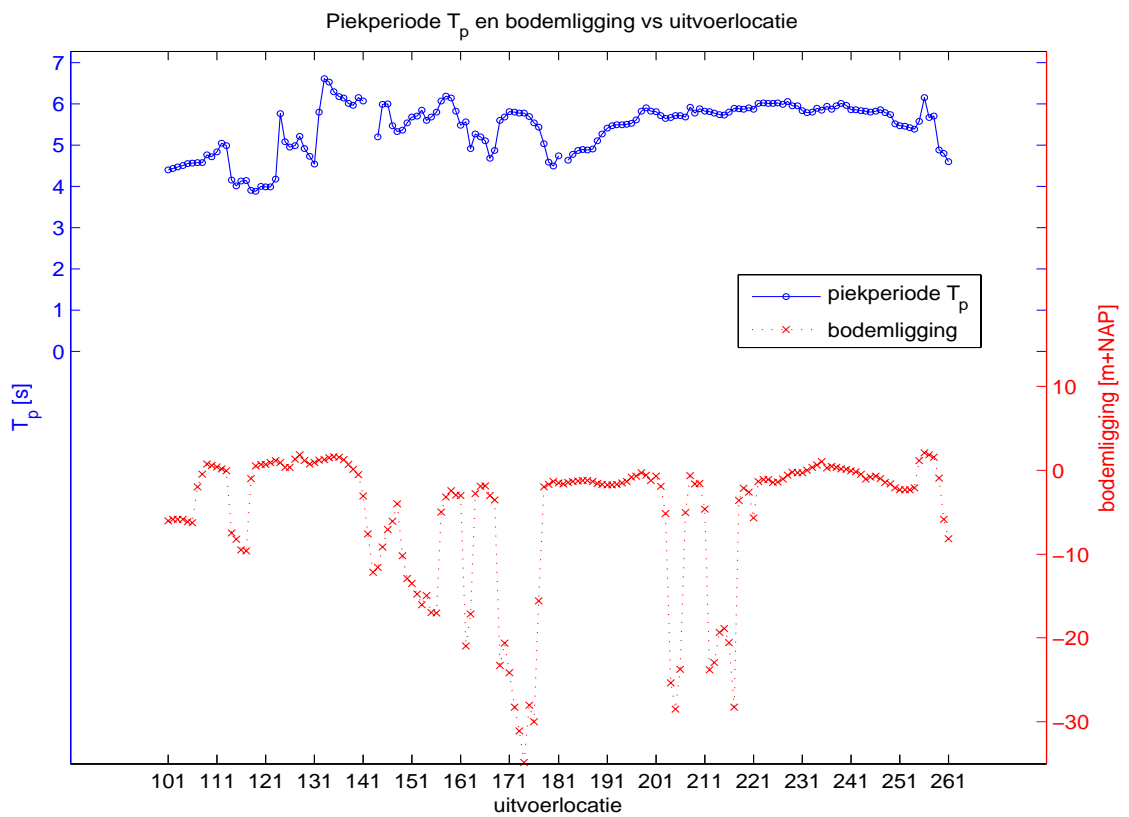
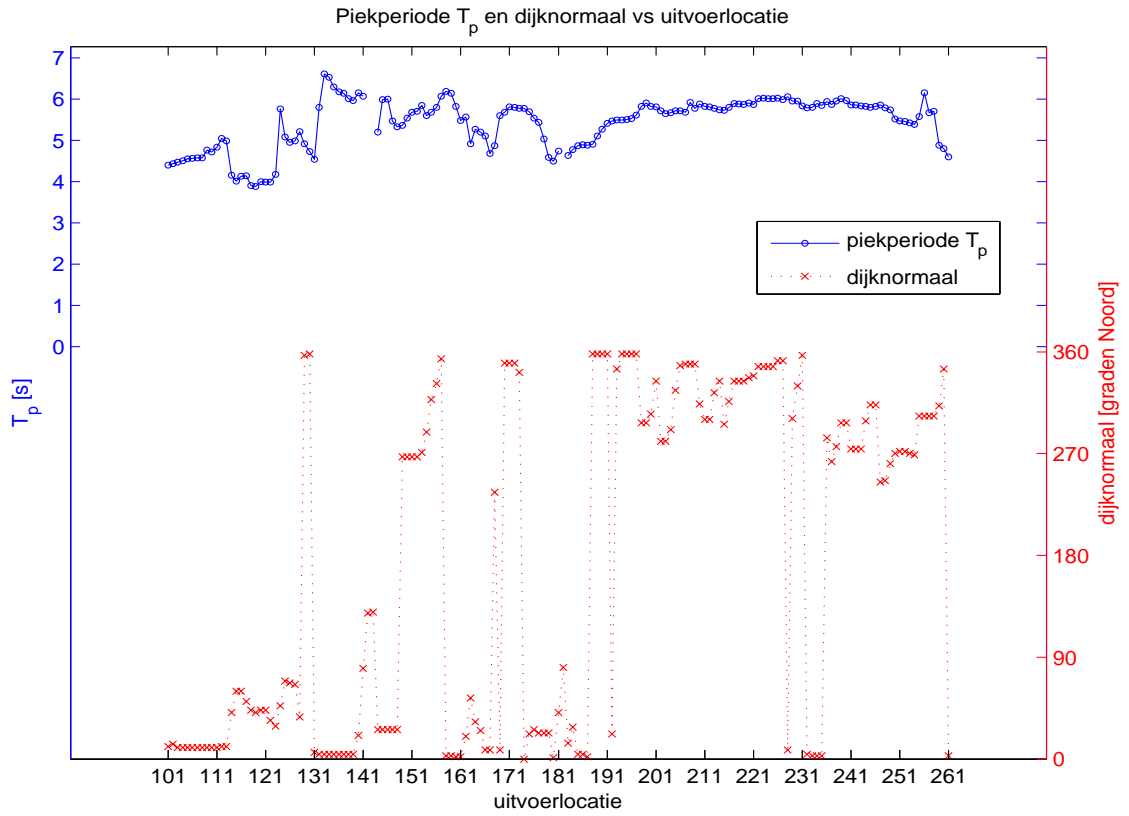
"Figuren Z"



Figuur B-13: Significante golfhoogte H_{m0} in het tweede illustratiepunt in combinatie met dijknormaal (boven) en bodemligging (onder) als functie van de uitvoerlocatie in gebied "Z".

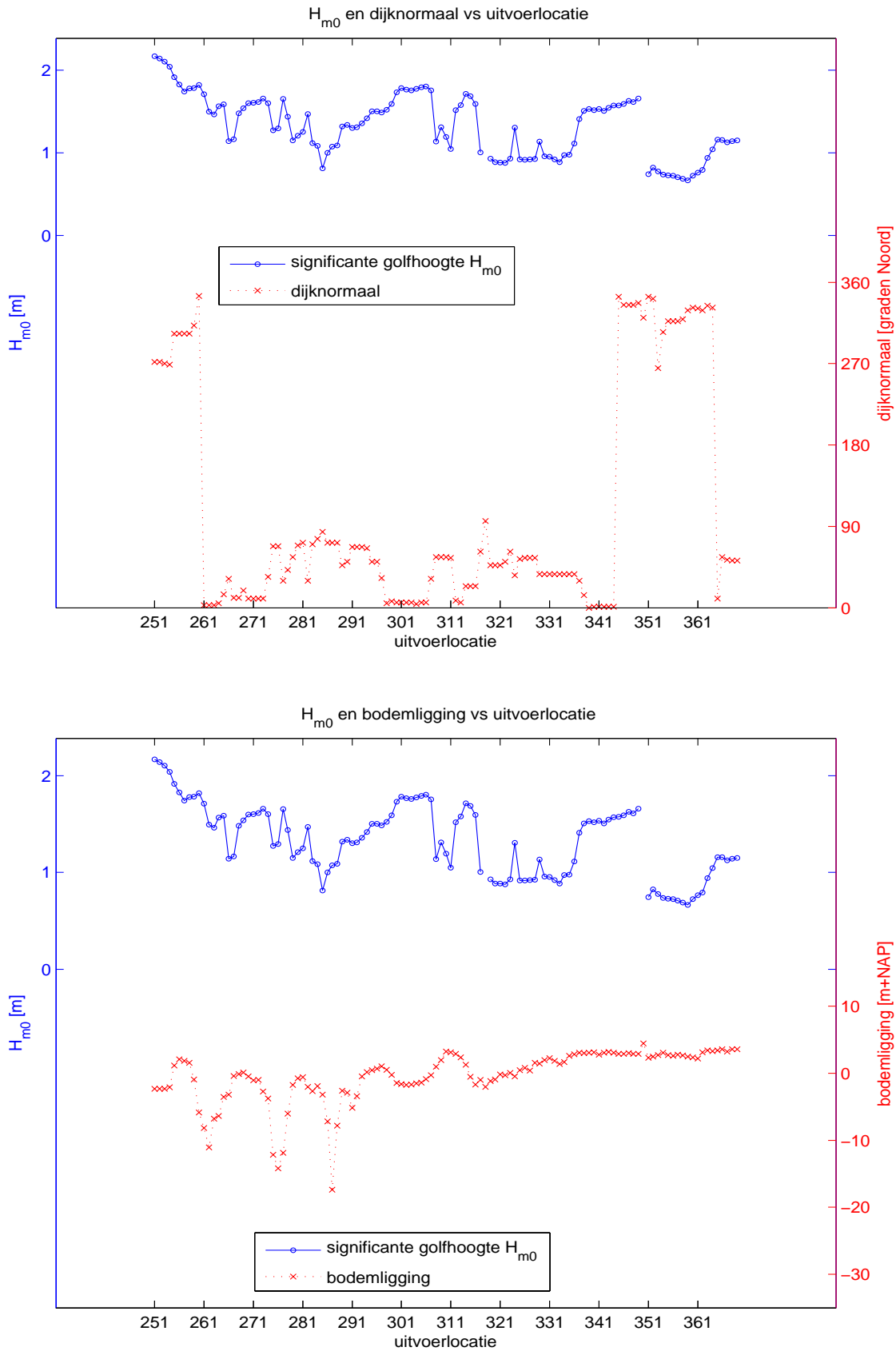


Figuur B-14: Golfperiode $T_{m-1,0}$ in het tweede illustratiepunt in combinatie met dijknormaal (boven) en bodemligging (onder) als functie van de uitvoerlocatie in gebied "Z".

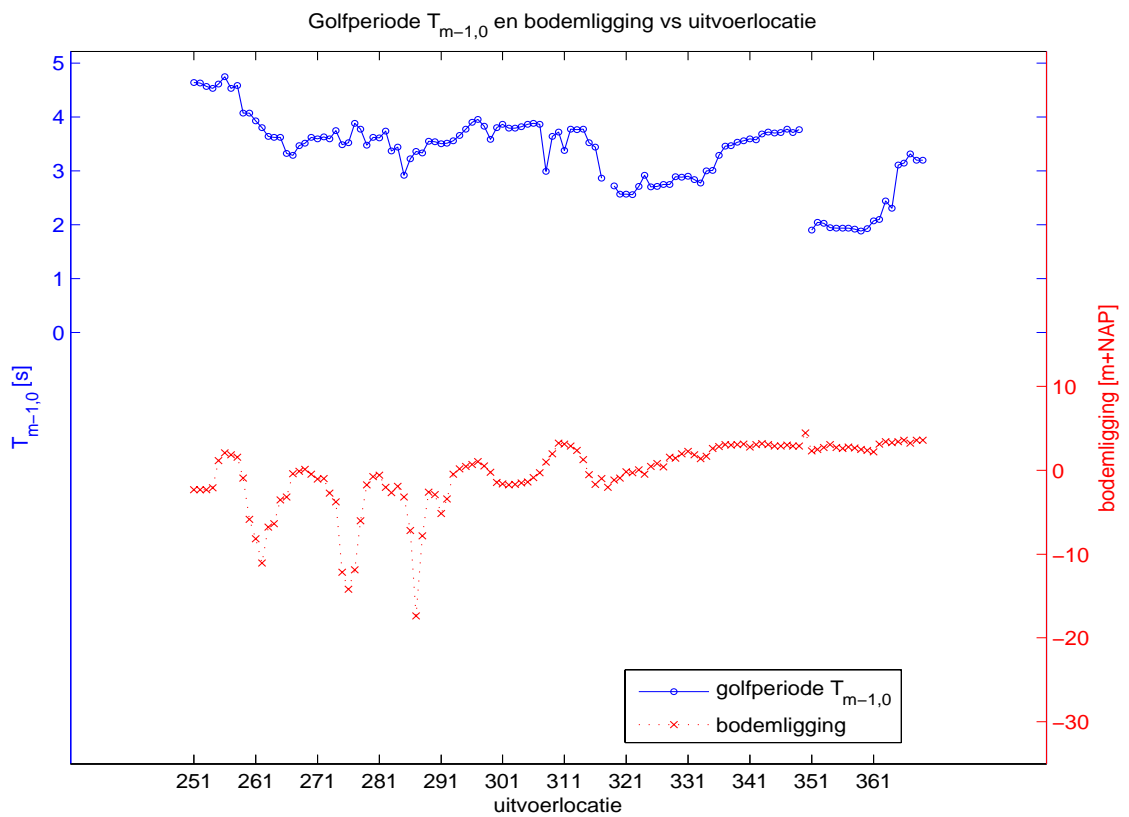
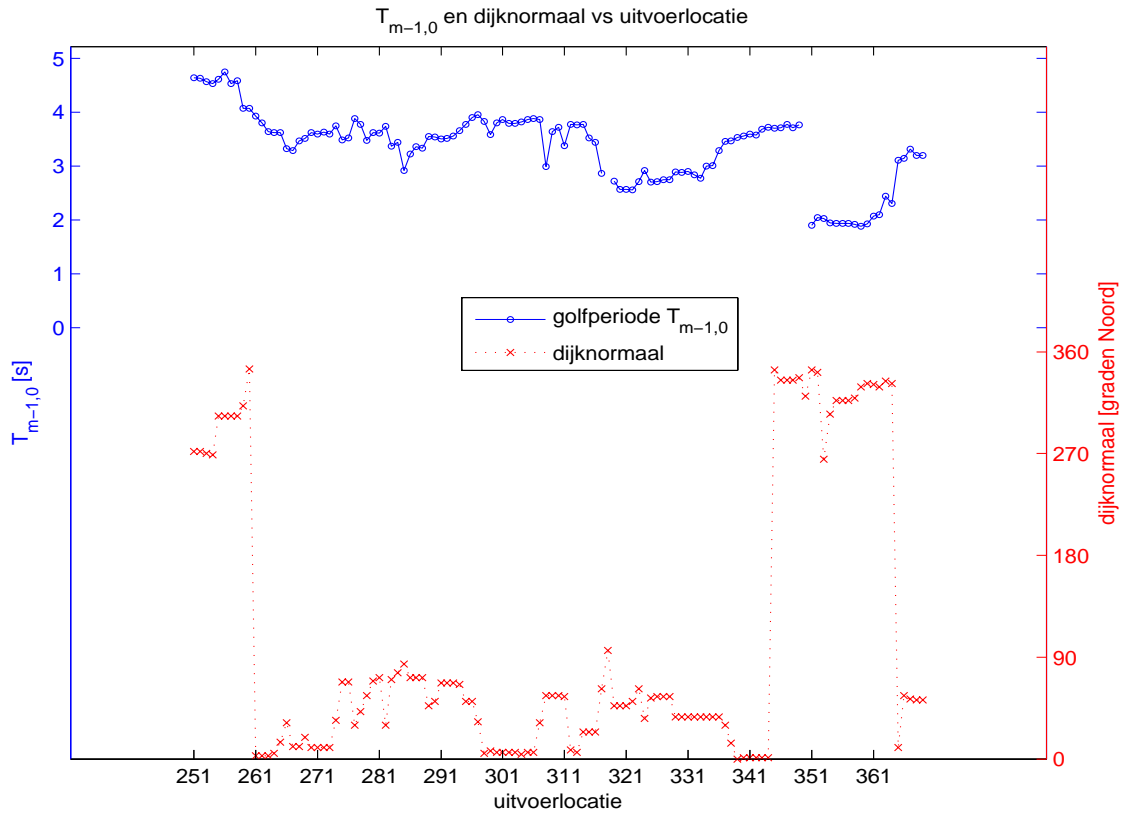


Figuur B-15: Piekperiode T_p in het tweede illustratiepunt in combinatie met dijknormaal (boven) en bodemligging (onder) als functie van de uitvoerlocatie in gebied "Z".

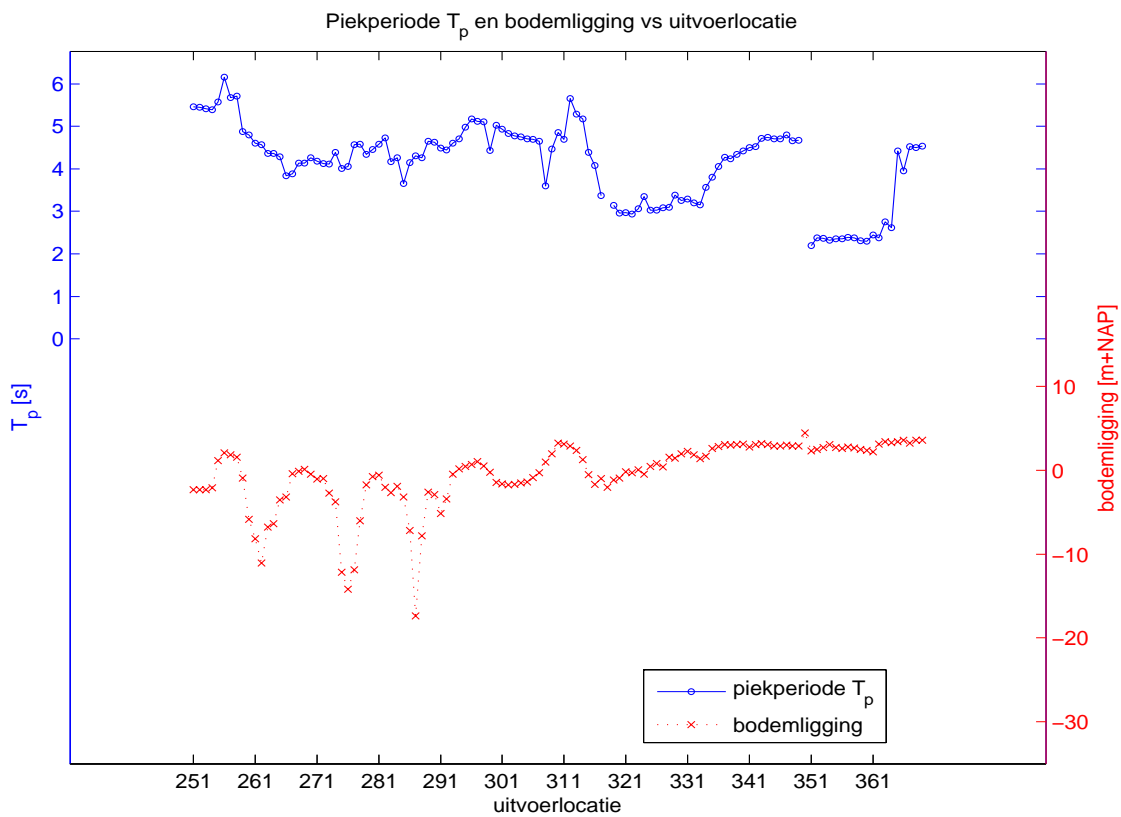
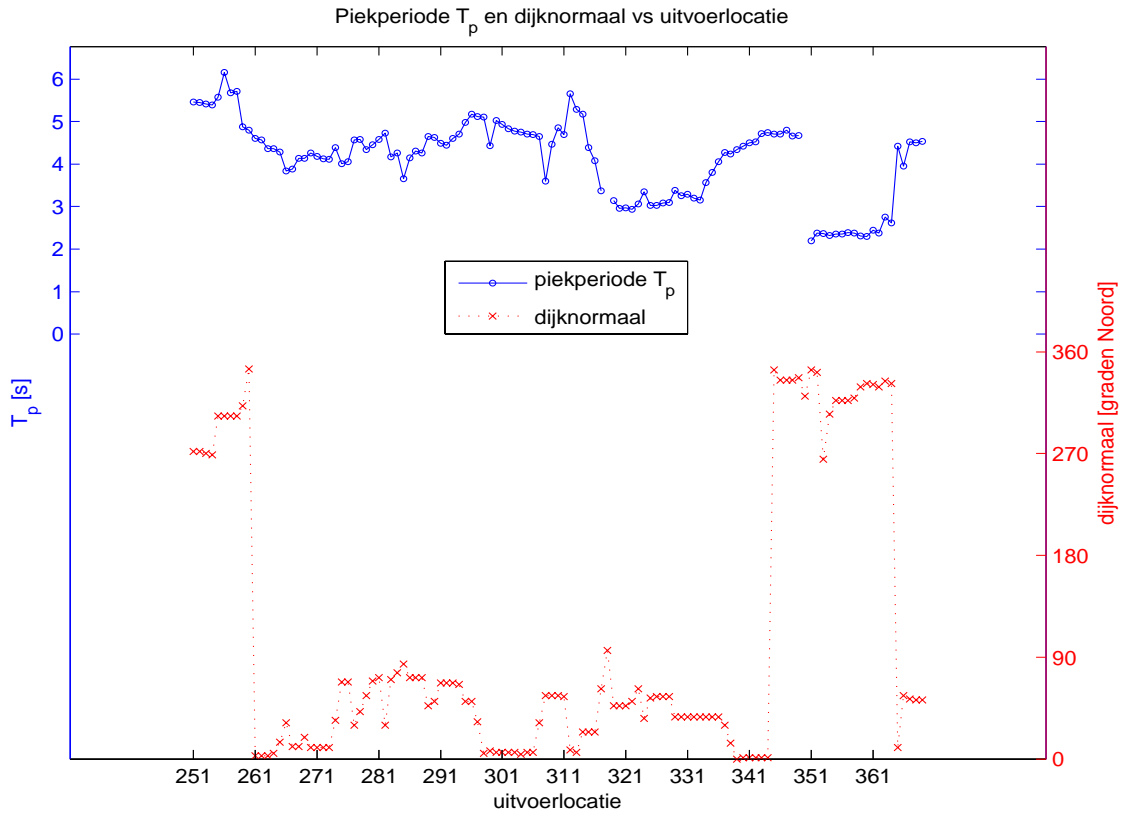
Figuren "ZO"



Figuur B-16: Significante golfhoogte H_{m0} in het tweede illustratiepunt in combinatie met dijknormaal (boven) en bodemligging (onder) als functie van de uitvoerlocatie in gebied "ZO".

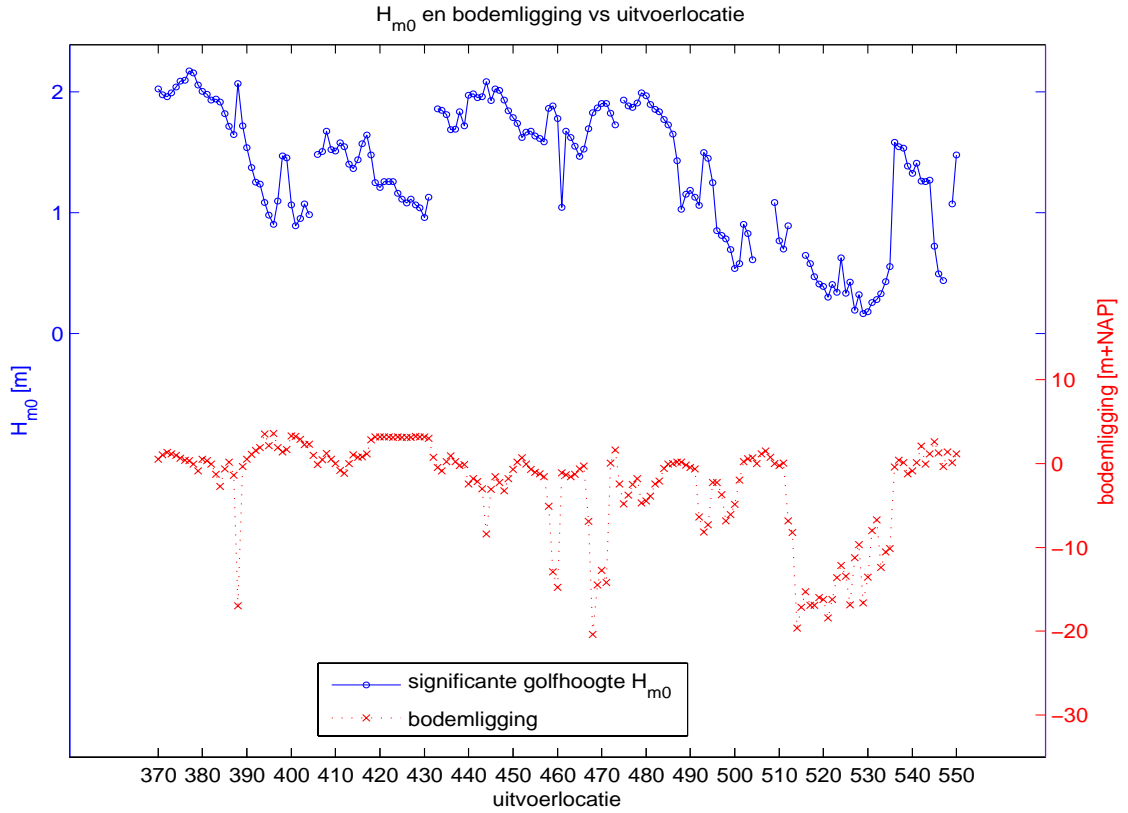
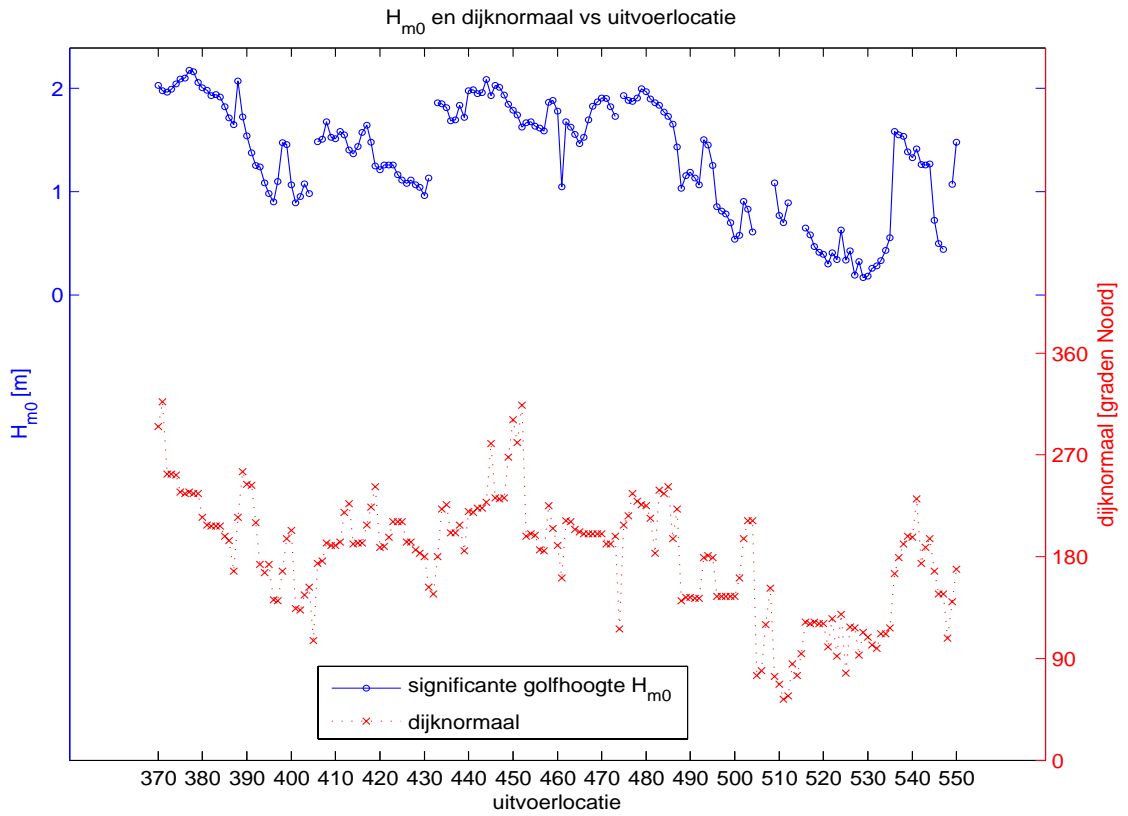


Figuur B-17: Golfperiode $T_{m-1,0}$ in het tweede illustratiepunt in combinatie met dijknormaal (boven) en bodemligging (onder) als functie van de uitvoerlocatie in gebied "ZO".

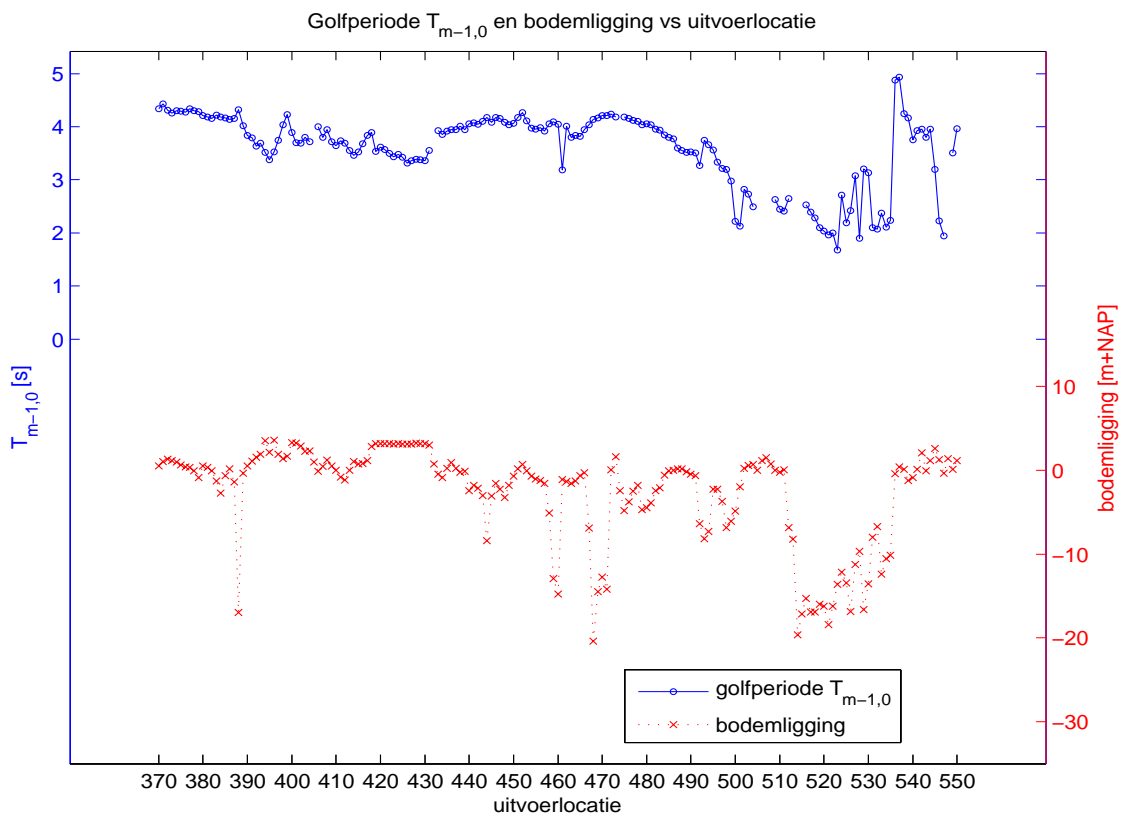
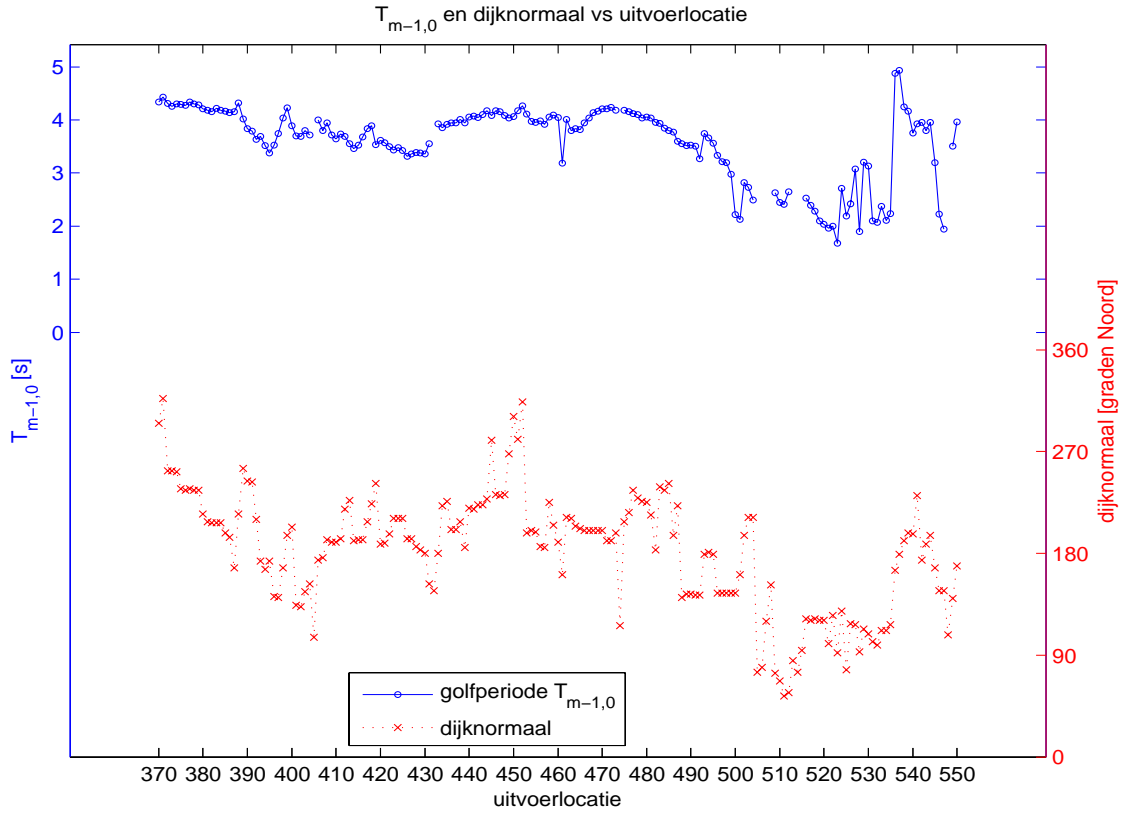


Figuur B-18: Piekperiode T_p in het tweede illustratiepunt in combinatie met dijknormaal (boven) en bodemligging (onder) als functie van de uitvoerlocatie in gebied "ZO".

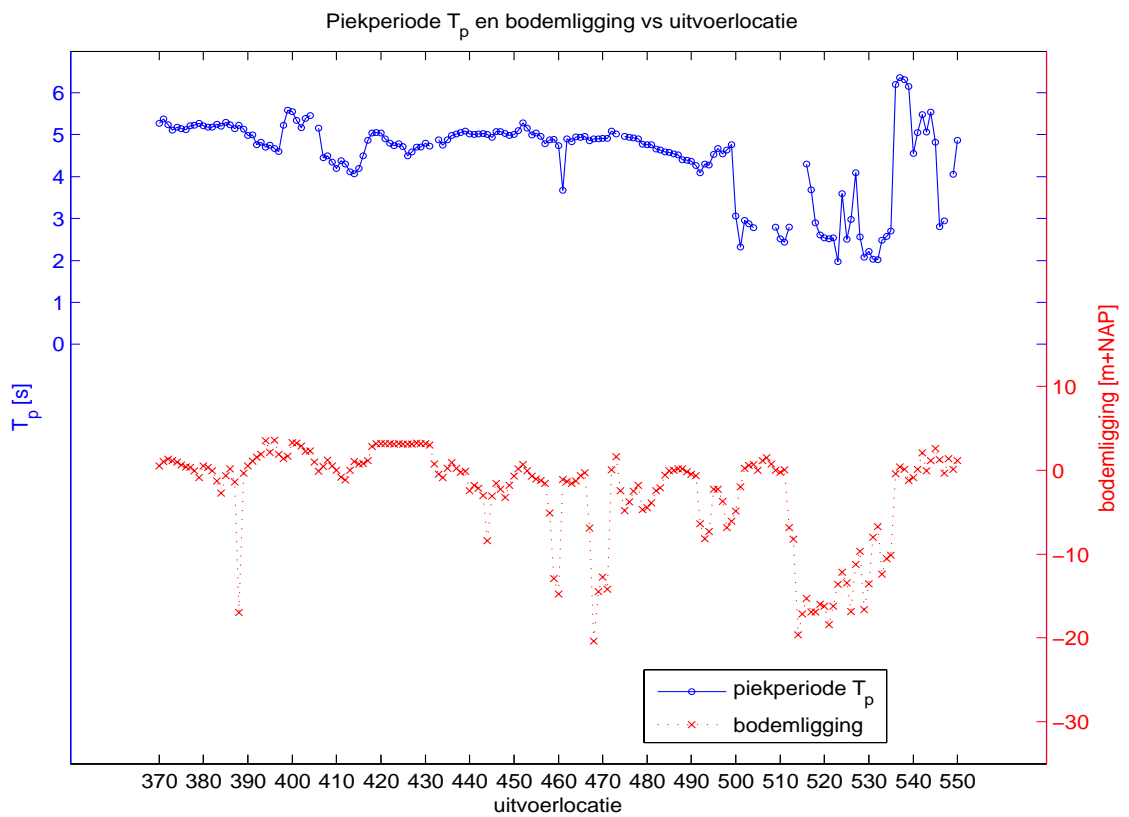
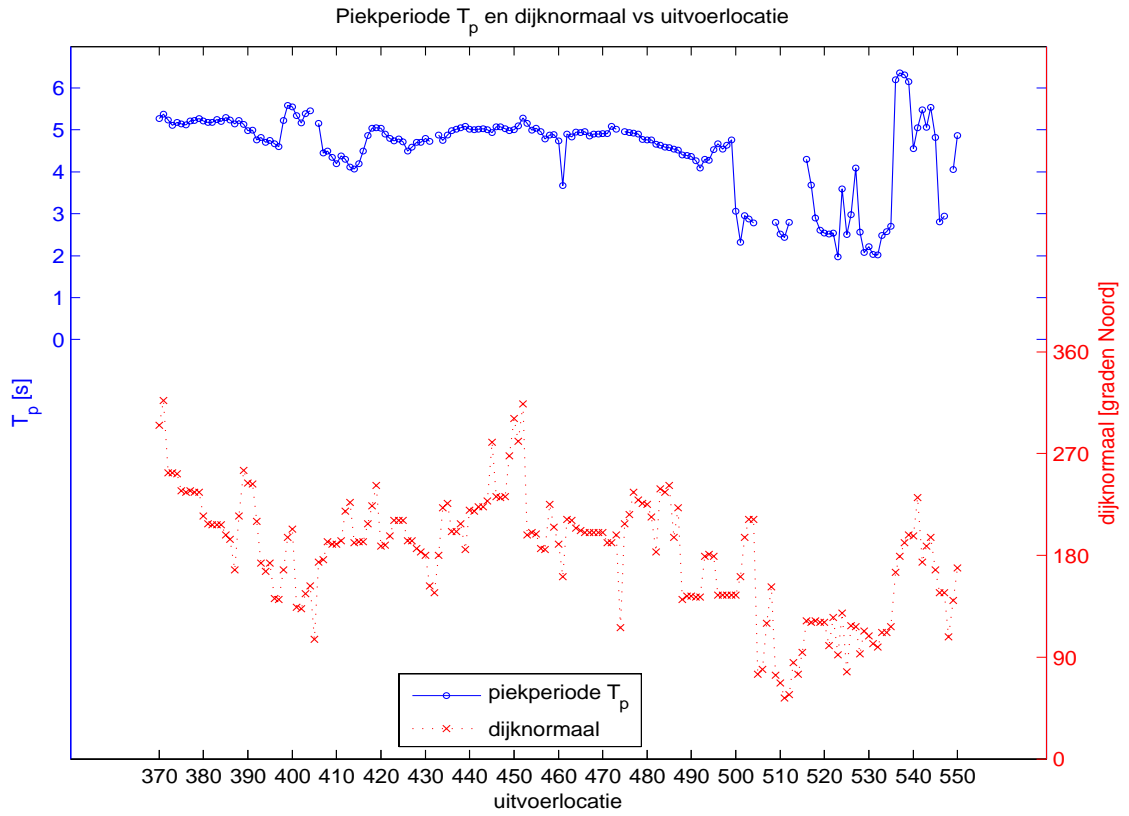
Figuren "NO"



Figuur B-19: Significante golfhoogte H_{m0} in het tweede illustratiepunt in combinatie met dijknormaal (boven) en bodemligging (onder) als functie van de uitvoerlocatie in gebied "NO".

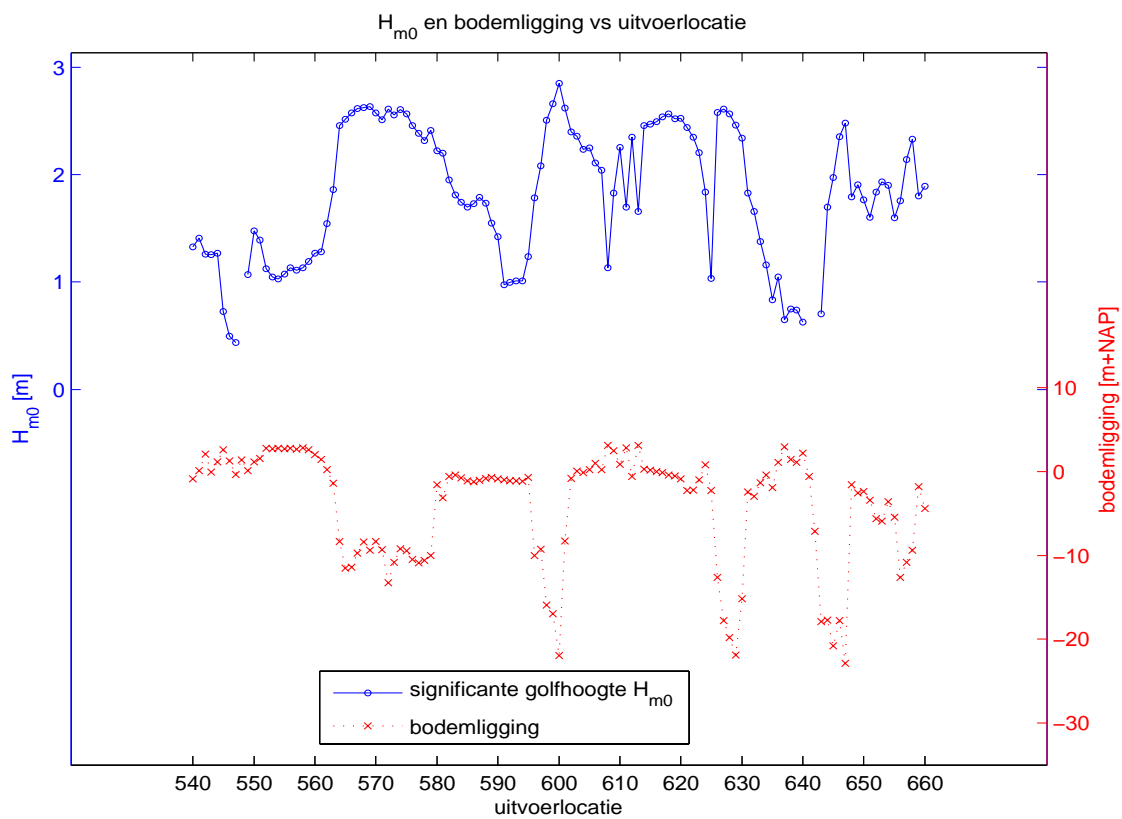
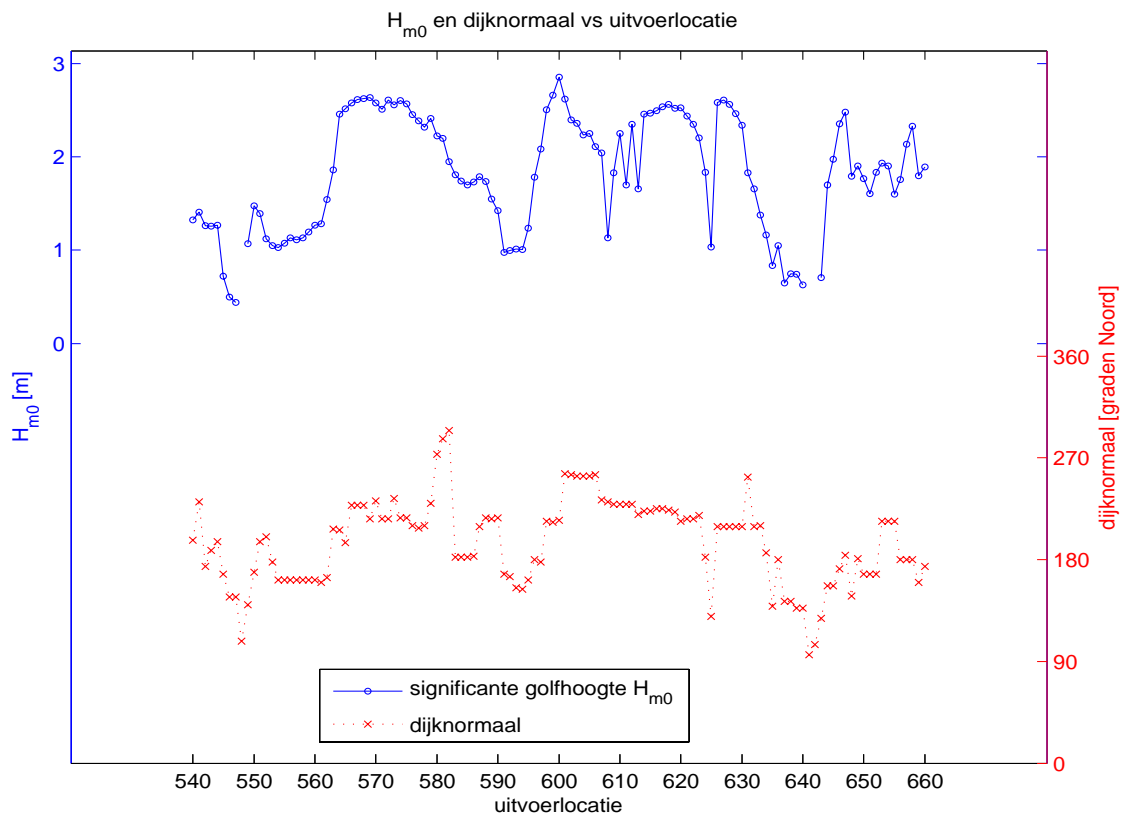


Figuur B-20: Golfperiode $T_{m-1,0}$ in het tweede illustratiepunt in combinatie met dijknormaal (boven) en bodemligging (onder) als functie van de uitvoerlocatie in gebied "NO".

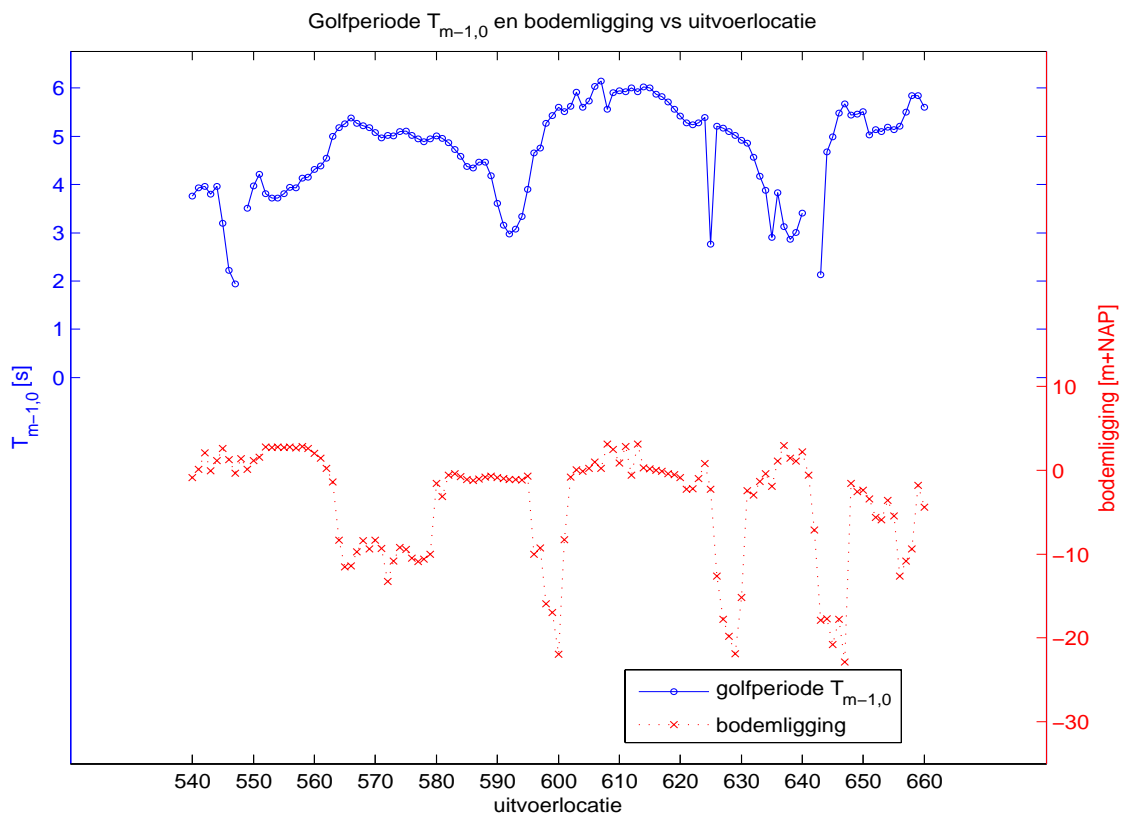
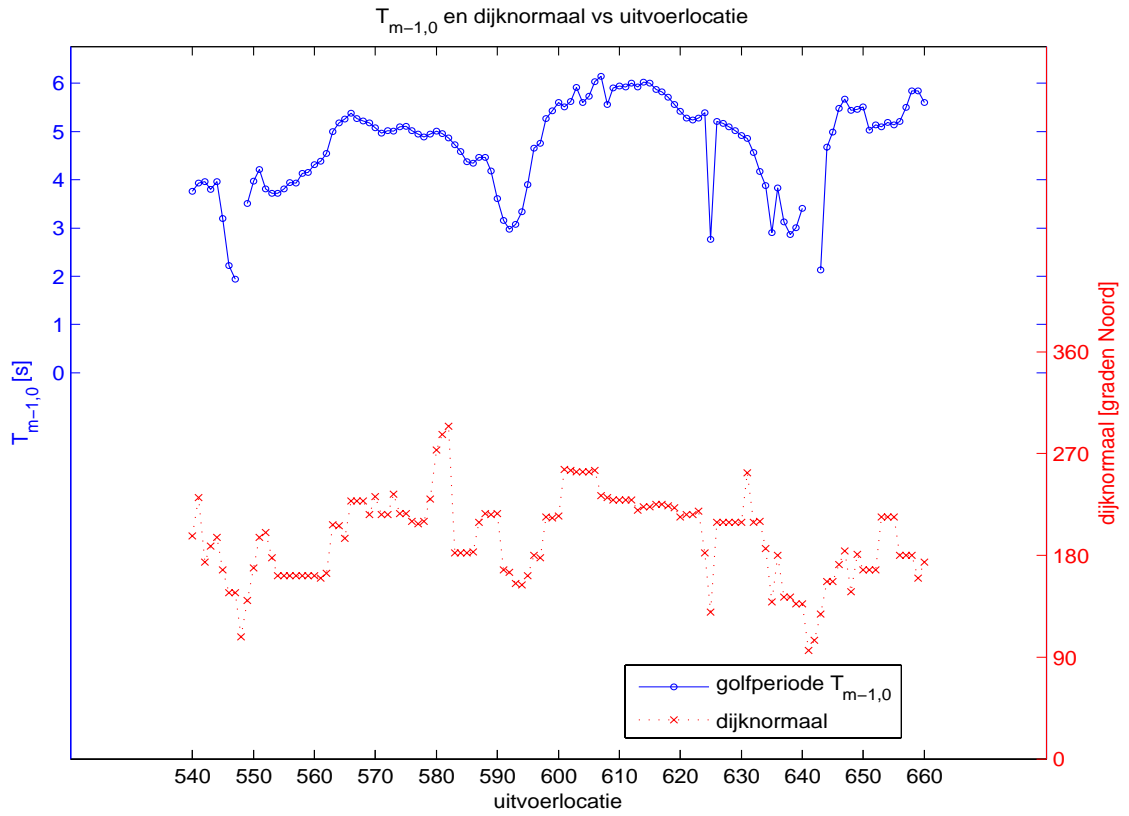


Figuur B-21: Piekperiode T_p in het tweede illustratiepunt in combinatie met dijknormaal (boven) en bodemligging (onder) als functie van de uitvoerlocatie in gebied "NO".

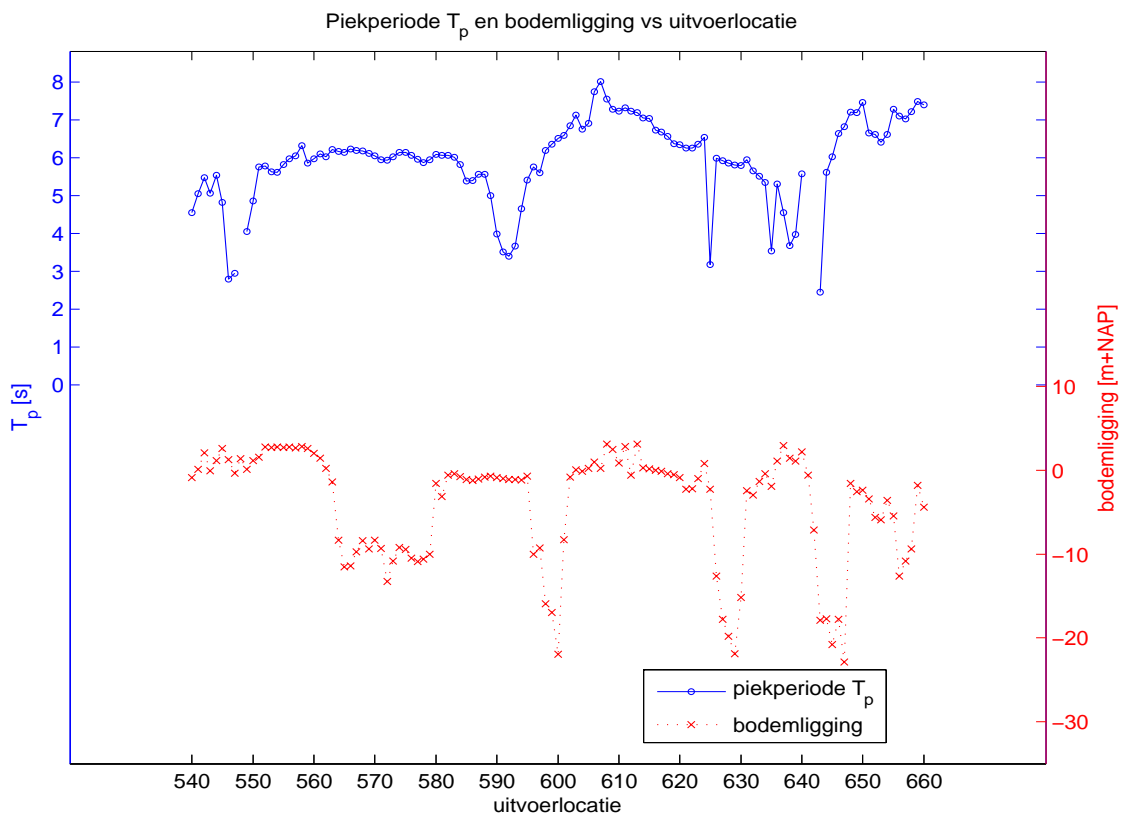
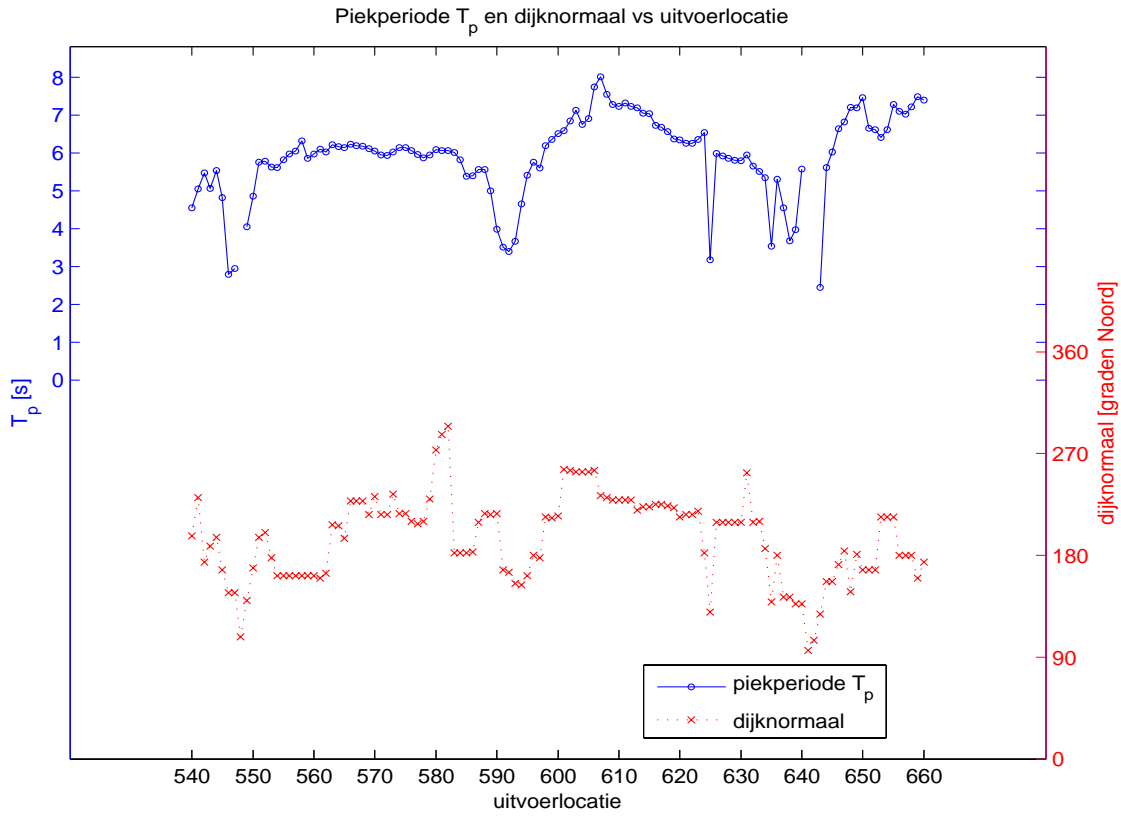
Figuren "N"



Figuur B-22: Significante golfhoogte H_{m0} in het tweede illustratiepunt in combinatie met dijknormaal (boven) en bodemligging (onder) als functie van de uitvoerlocatie in gebied "N".

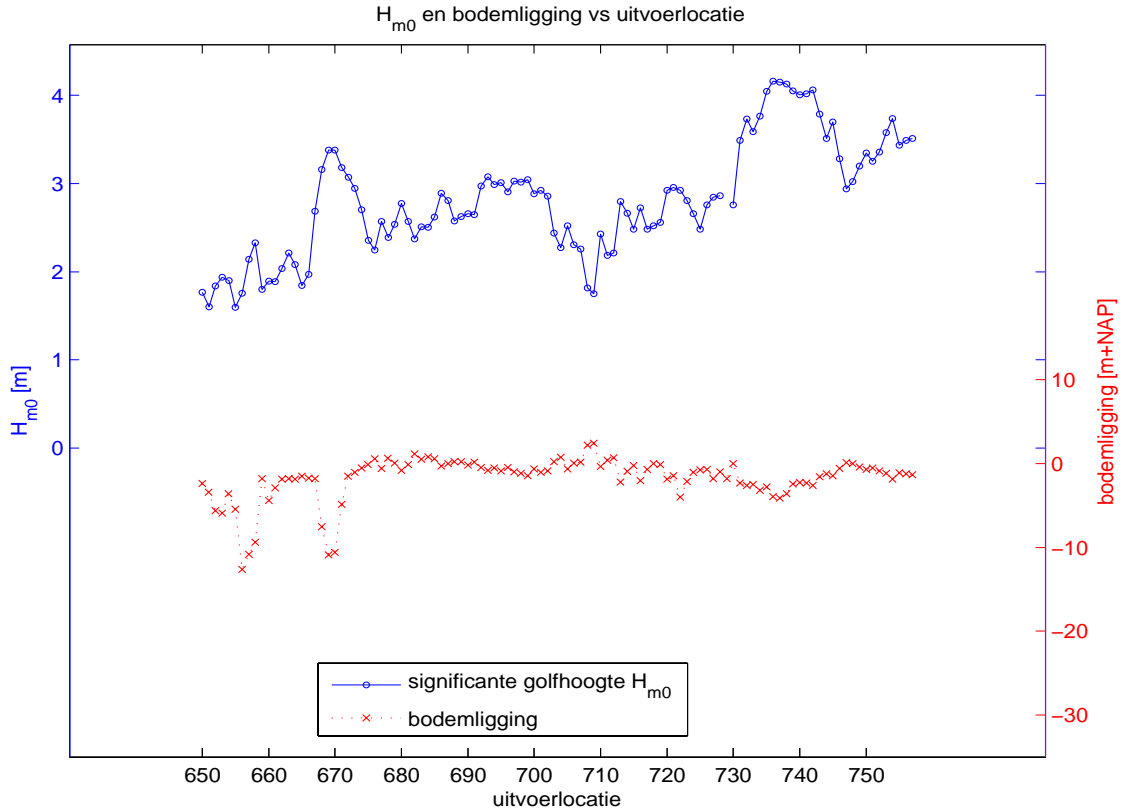
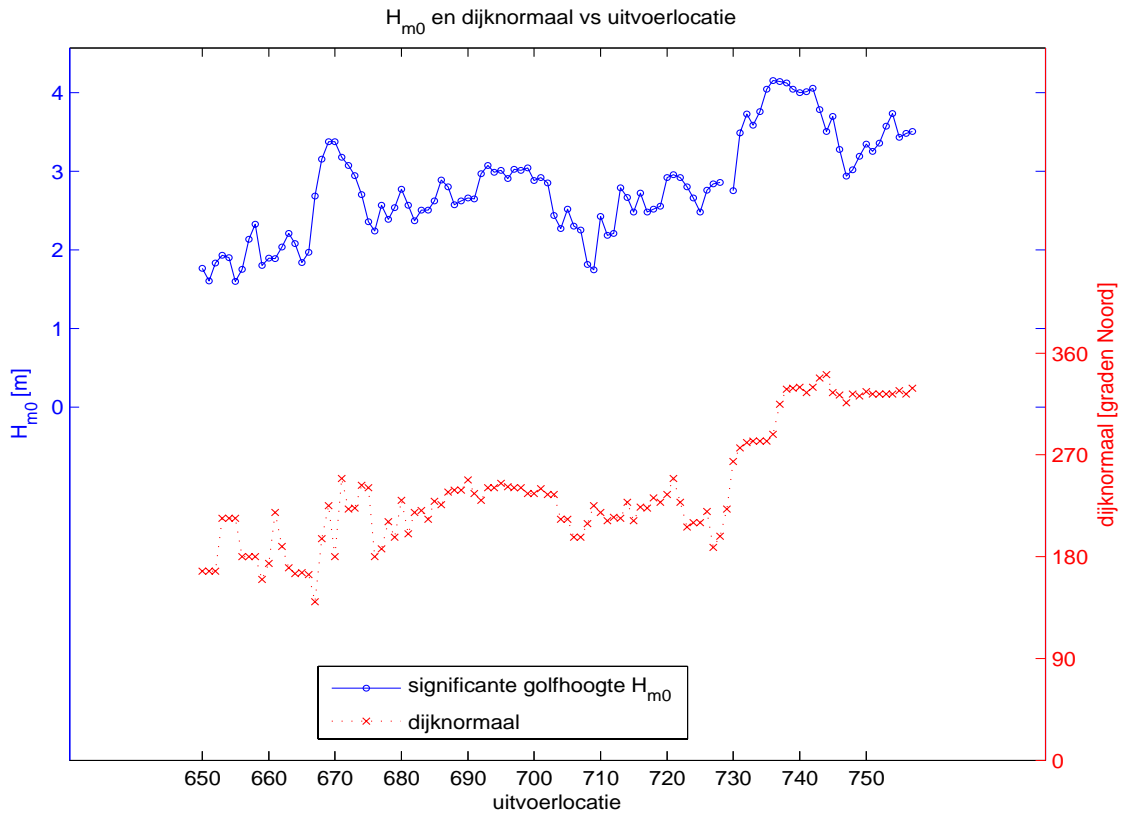


Figuur B-23: Golferiode $T_{m-1,0}$ in het tweede illustratiepunt in combinatie met dijknormaal (boven) en bodemligging (onder) als functie van de uitvoerlocatie in gebied "N".

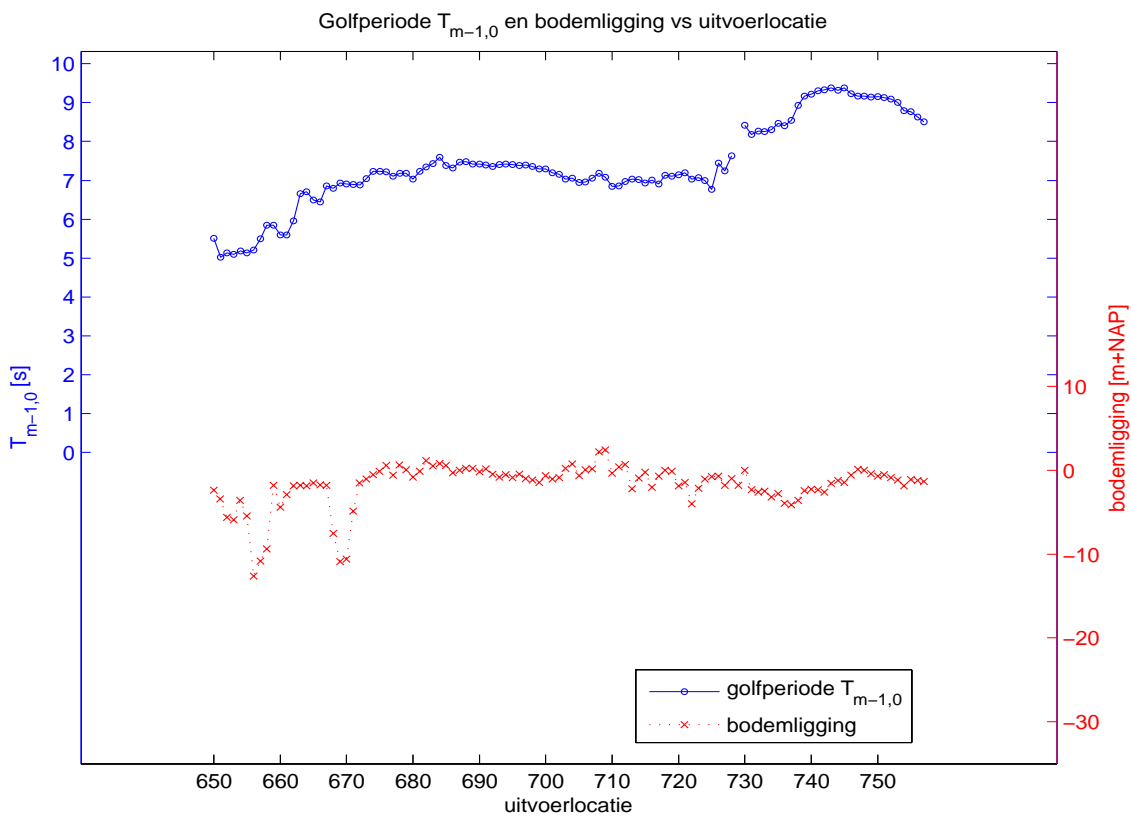
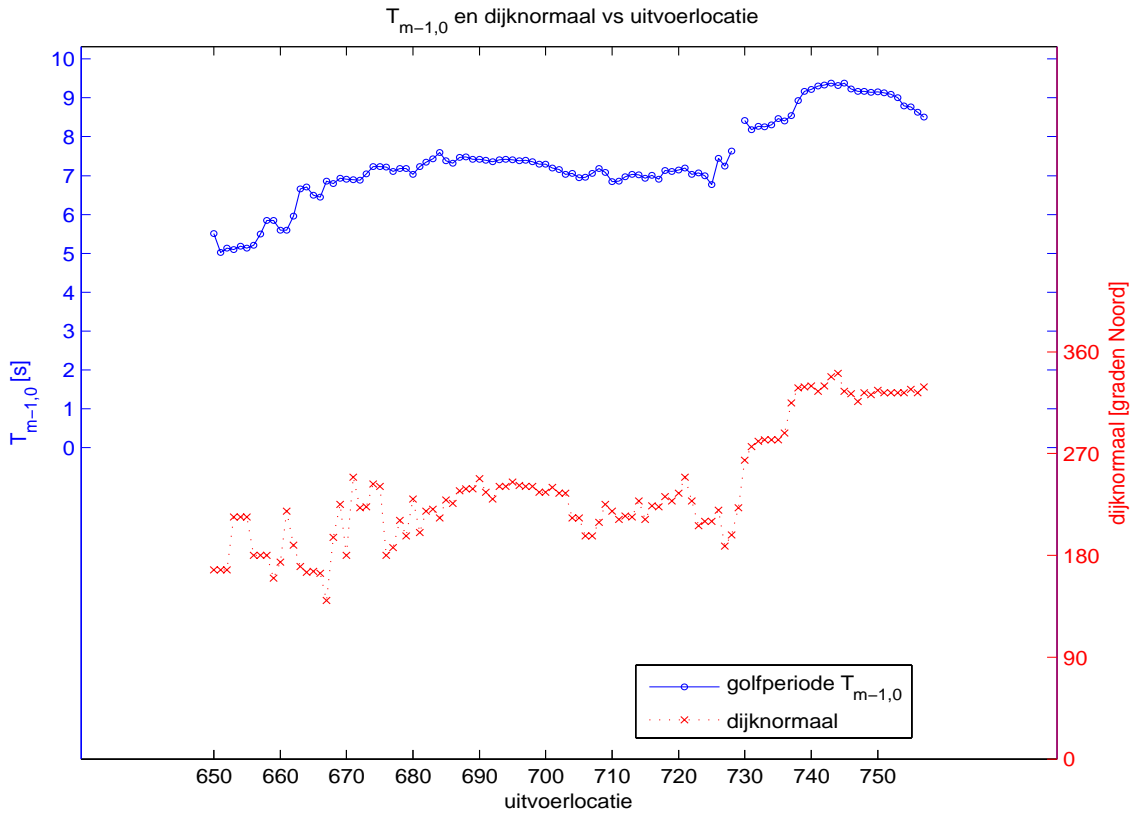


Figuur B-24: Piekperiode T_p in het tweede illustratiepunt in combinatie met dijknormaal (boven) en bodemligging (onder) als functie van de uitvoerlocatie in gebied "N".

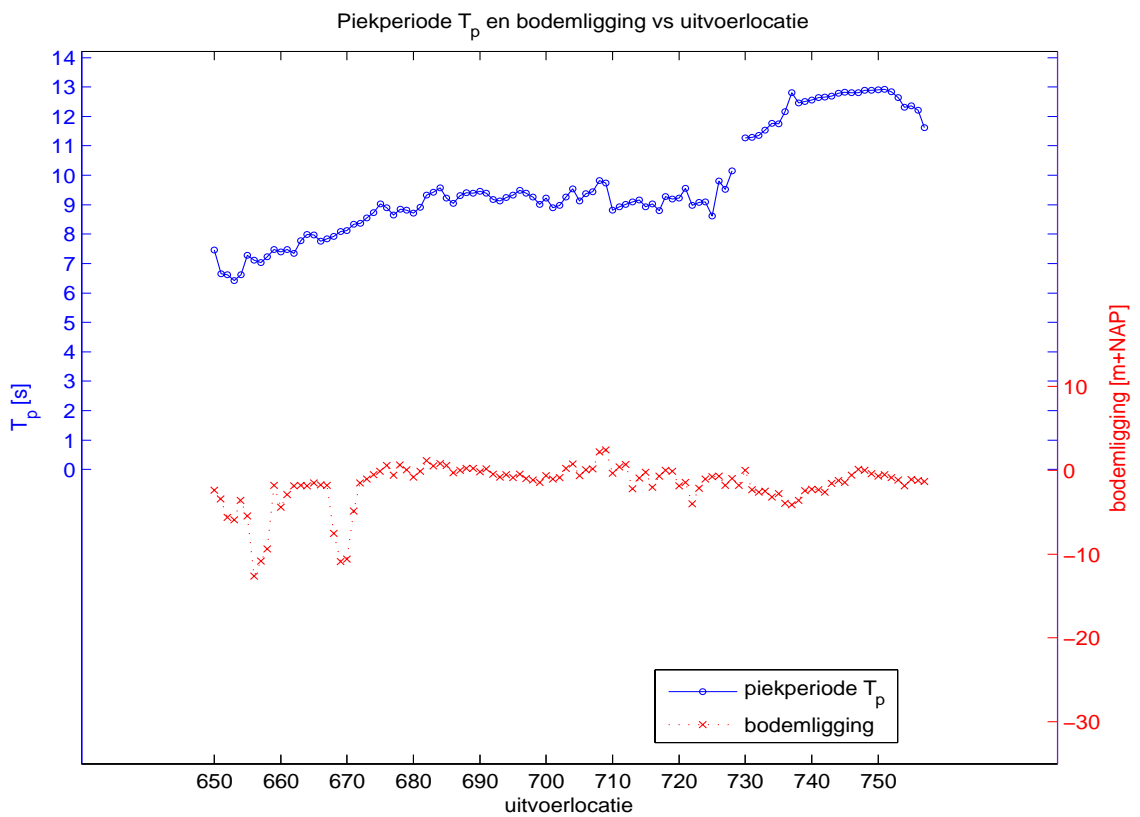
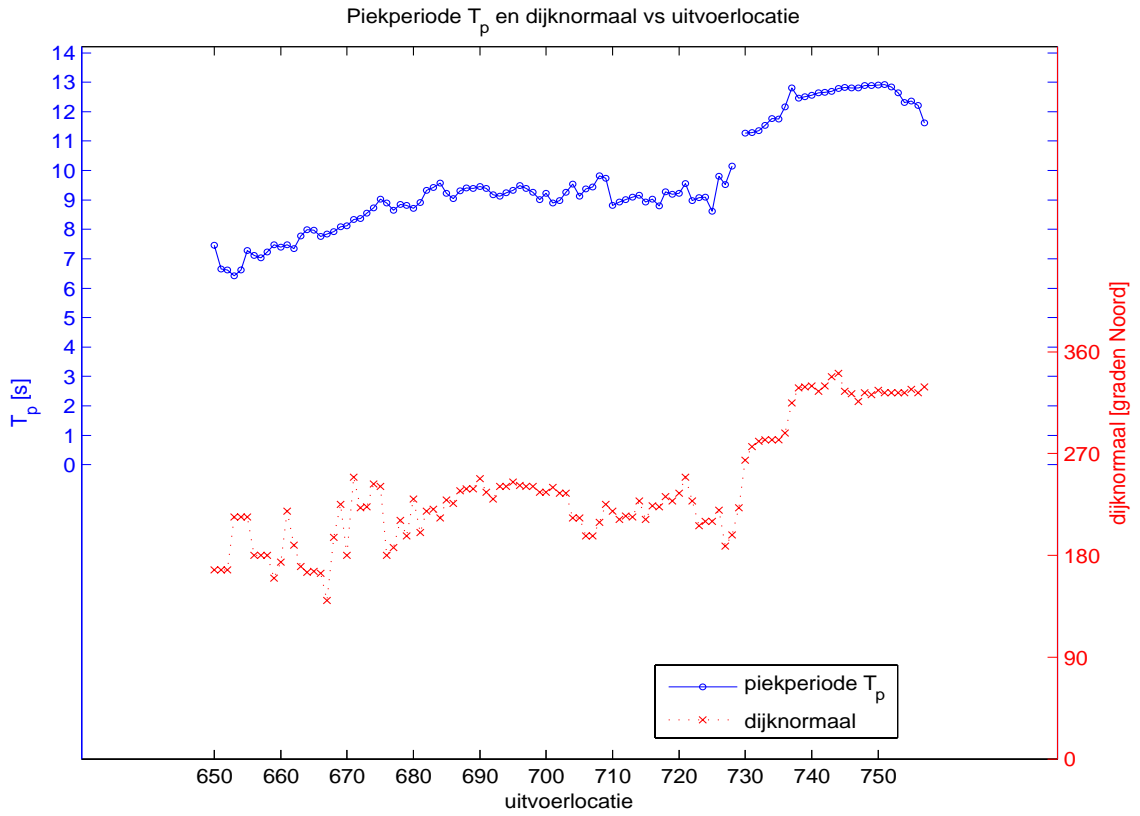
Figuren "NW"



Figuur B-25: Significante golfhoogte H_{m0} in het tweede illustratiepunt in combinatie met dijknormaal (boven) en bodemligging (onder) als functie van de uitvoerlocatie in gebied "NW".



Figuur B-26: Golfperiode $T_{m-1,0}$ in het tweede illustratiepunt in combinatie met dijknormaal (boven) en bodemligging (onder) als functie van de uitvoerlocatie in gebied "NW".



Figuur B-27: Piekperiode T_p in het tweede illustratiepunt in combinatie met dijknormaal (boven) en bodemligging (onder) als functie van de uitvoerlocatie in gebied "NW".

Bijlage C Tabellen golfcondities

nr. [-]	orient. [° N]	bodemh. [m+NAP]	H_{m0} [m]	$T_{m-1,0}$ [s]	T_p [s]	golfr. [° N]	WLo [m+NAP]	WSo [m/s]	WRo [° N]
1	236	1.4	2.8	4.3	7.1	330	5.27	80	295
2	283	2.1	1.1	6.1	12.5	327	5.15	20	320
3	280	0.9	2.3	8.3	13.0	326	5.15	26	315
4	269	-0.7	3.0	8.9	13.4	329	5.15	26	320
19	326	0.1	3.0	8.5	12.2	329	5.17	25	320
20	329	-1.3	3.5	8.5	12.1	332	5.17	23	330
24	4	-0.5	3.2	8.4	12.3	338	5.17	22	330
25	32	1.6	2.0	8.5	12.5	344	5.17	23	325
26	62	1.6	1.9	8.3	12.9	353	5.17	24	320
27	79	2.9	1.3	7.7	12.1	3	5.17	21	320
28	79	2.7	1.1	7.0	11.5	11	5.17	20	320
29	79	2.2	1.2	6.7	12.7	2	5.17	20	320
31	1	2.7	1.2	7.1	13.7	347	5.18	23	320
32	340	0.4	2.5	8.3	13.0	344	5.18	24	320
34	280	1.1	2.6	8.5	12.8	332	5.18	24	320
36	338	-0.3	3.2	8.5	12.4	333	5.18	22	330
38	328	1.4	2.4	8.5	12.7	333	5.18	24	320
39	356	-0.6	3.0	8.2	11.7	336	5.19	23	325
52	291	-0.8	3.2	7.8	9.1	314	5.24	29	295
53	322	-3.0	3.6	7.3	8.1	315	5.25	28	300
68	50	-2.8	2.1	6.5	7.6	331	5.21	23	320
69	15	1.0	2.1	6.8	8.9	328	5.22	28	300
73	36	-0.4	2.4	6.6	7.9	344	5.22	27	310
74	55	-16.1	2.2	5.7	6.5	328	5.22	21	330
86	13	-0.7	1.8	5.1	5.7	338	5.21	26	310
87	13	-0.6	1.9	5.3	7.0	335	5.22	26	310
88	20	-1.3	2.3	5.9	7.0	332	5.21	27	310
89	26	-5.5	1.8	4.5	5.0	324	5.21	27	305

Tabel C-1: Golfcondities, wind en waterstand voor locaties in het gebied "ZW" waarvan één van de golfparameters H_{m0} , T_p en $T_{m-1,0}$ in absolute zin een groot verschil vertoont met naastgelegen locaties. De waarde van de golfparameter waarvoor het verschil met een buurpunt groot is, is schuingedrukt. Legenda: orient. is de dijknormaal, bodemh. is de bodemhoogte, golfr. is de hoek van golfaanval en WLo, WSo, WRo zijn de offshore waterstand, windsnelheid en windrichting.

nr. [-]	orient. [° N]	bodemh. [m+NAP]	H_{m0} [m]	$T_{m-1,0}$ [s]	T_p [s]	golfr. [° N]	WLo [m+NAP]	WSo [m/s]	WRo [° N]
113	11	0.0	1.9	4.6	5.0	323	5.19	28	300
114	41	-7.5	1.4	4.0	4.1	326	5.19	23	310
123	29	1.1	1.4	4.0	4.2	343	5.18	27	305
124	47	0.9	1.5	4.4	5.8	344	5.18	27	305
131	6	0.9	1.5	4.2	4.5	337	5.18	26	310
132	4	1.2	1.7	4.5	5.8	337	5.17	28	305
141	80	-3.0	1.9	5.1	6.1	342	5.17	26	310
144	26	-11.6	1.1	3.6	5.2	330	5.17	28	305
162	20	-21.0	2.1	4.8	5.6	315	5.17	28	300
163	54	-17.1	1.5	4.3	4.9	326	5.34	21	320
168	236	-3.5	1.5	4.0	4.9	321	5.16	25	290
169	8	-23.3	2.1	4.7	5.6	311	5.16	28	300

Tabel C-2: Golfcondities, wind en waterstand voor locaties in het gebied "Z" waarvan één van de golfparameters H_{m0} , T_p en $T_{m-1,0}$ in absolute zin een groot verschil vertoont met naastgelegen locaties. De waarde van de golfparameter waarvoor het verschil met een buurpunt groot is, is schuingedrukt. Legenda: orient. is de dijknormaal, bodemh. is de bodemhoogte, golfr. is de hoek van golfaanval en WLo, WSo, WRo zijn de offshore waterstand, windsnelheid en windrichting.

nr. [-]	orient. [° N]	bodemh. [m+NAP]	H_{m0} [m]	$T_{m-1,0}$ [s]	T_p [s]	golfr. [° N]	WLo [m+NAP]	WSo [m/s]	WRo [° N]
307	32	-0.3	1.8	3.9	4.6	316	5.12	28	300
308	56	1.0	1.1	3.0	3.6	329	5.42	18	320
316	24	-1.7	1.6	3.4	4.1	322	5.13	29	300
317	62	-1.0	1.0	2.9	3.4	321	5.13	19	310
349	337	2.9	1.7	3.8	4.7	297	5.12	31	295
351	344	2.3	0.7	1.9	2.2	274	5.11	30	290
364	332	3.3	1.0	2.3	2.6	285	5.11	33	290
365	10	3.4	1.2	3.1	4.4	331	5.11	30	300

Tabel C-3: Golfcondities, wind en waterstand voor locaties in het gebied "ZO" waarvan één van de golfparameters H_{m0} , T_p en $T_{m-1,0}$ in absolute zin een groot verschil vertoont met naastgelegen locaties. De waarde van de golfparameter waarvoor het verschil met een buurpunt groot is, is schuingedrukt. Legenda: orient. is de dijknormaal, bodemh. is de bodemhoogte, golfr. is de hoek van golfaanval en WLo, WSo, WRo zijn de offshore waterstand, windsnelheid en windrichting.

nr. [-]	orient. [° N]	bodemh. [m+NAP]	H_{m0} [m]	$T_{m-1,0}$ [s]	T_p [s]	golfr. [° N]	WLo [m+NAP]	WSo [m/s]	WRO [° N]
370	295	0.5	2.0	4.3	5.3	287	5.11	29	290
431	153	3.0	1.1	3.6	4.7	247	5.13	26	290
433	180	-0.5	1.9	3.9	4.9	268	5.13	30	285
460	190	-14.7	1.8	4.0	4.7	270	5.13	27	285
461	161	-1.1	1.0	3.2	3.7	253	5.14	18	270
462	212	-1.3	1.7	4.0	4.9	263	5.13	29	290
499	145	-6.1	0.7	3.0	4.8	219	5.15	19	285
500	145	-4.9	0.5	2.2	3.1	219	5.17	15	275
512	57	-6.9	0.9	2.7	2.8	317	5.16	27	310
516	122	-15.3	0.6	2.5	4.3	196	5.17	16	260
523	92	-13.6	0.3	1.7	2.0	19	5.35	12	330
524	129	-12.2	0.6	2.7	3.6	194	5.17	17	270
525	77	-13.4	0.3	2.2	2.5	26	5.35	13	320
526	118	-16.8	0.4	2.4	3.0	193	5.17	13	275
527	117	-11.2	0.2	3.1	4.1	197	5.15	10	290
528	93	-9.7	0.3	1.9	2.6	20	5.35	12	325
529	113	-16.6	0.2	3.2	2.1	195	5.16	10	291
530	109	-13.5	0.2	3.1	2.2	192	5.16	10	300
531	102	-8.0	0.3	2.1	2.0	46	5.35	11	320
535	117	-10.1	0.6	2.2	2.7	219	5.15	12	290
536	165	-0.4	1.6	4.9	6.2	214	5.15	28	290
539	198	-1.2	1.4	4.2	6.2	235	5.16	27	290
540	197	-0.8	1.3	3.8	4.6	248	5.15	26	290
544	196	1.2	1.3	4.0	5.5	232	5.16	26	290
545	167	2.6	0.7	3.2	4.8	221	5.16	21	290
546	147	1.3	0.5	2.2	2.8	235	5.16	16	290
547	147	-0.3	0.4	1.9	2.9	235	5.16	15	290
549	140	0.1	1.1	3.5	4.1	228	5.16	24	290

Tabel C-4: Golfcondities, wind en waterstand voor locaties in het gebied "NO" waarvan één van de golfparameters H_{m0} , T_p en $T_{m-1,0}$ in absolute zin een groot verschil vertoont met naastgelegen locaties. De waarde van de golfparameter waarvoor het verschil met een buurpunt groot is, is schuingedrukt. Legenda: orient. is de dijknormaal, bodemh. is de bodemhoogte, golfr. is de hoek van golfaanval en WLo, WSo, WRo zijn de offshore waterstand, windsnelheid en windrichting.

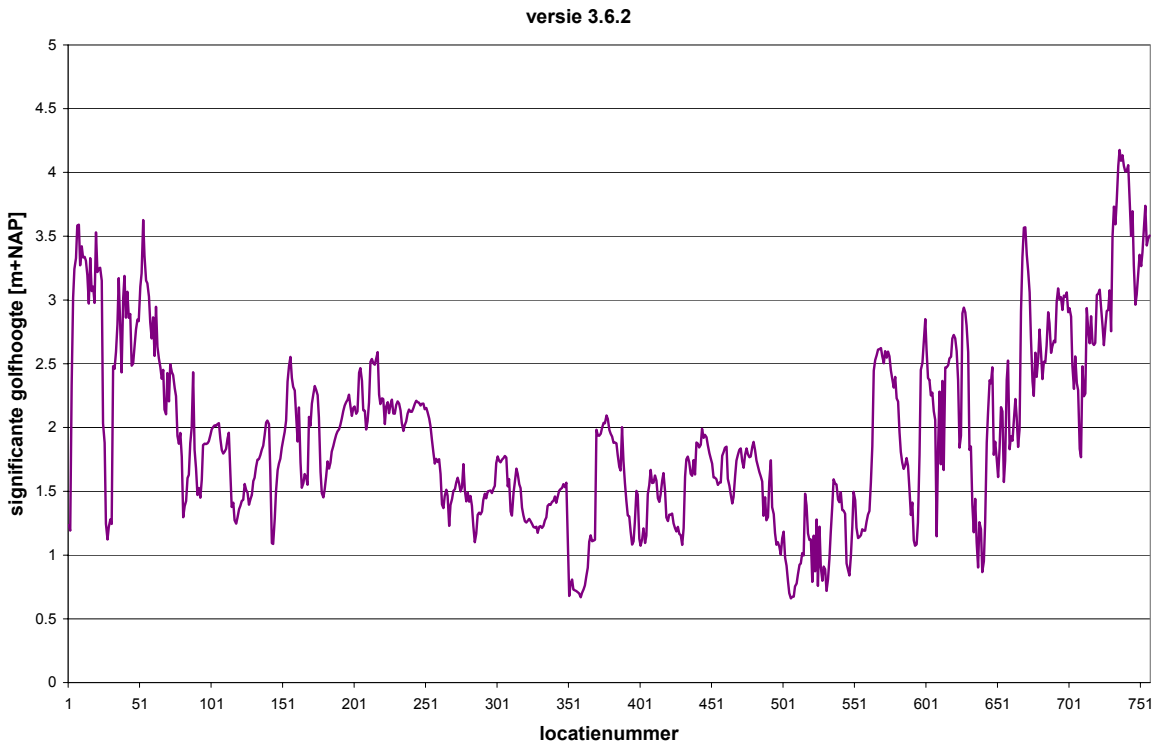
nr. [-]	orient. [° N]	bodemh. [m+NAP]	H_{m0} [m]	$T_{m-1,0}$ [s]	T_p [s]	golfr. [° N]	WLo [m+NAP]	WSo [m/s]	WRo [° N]
563	207	-1.4	1.9	5.0	6.2	253	5.17	29	290
564	206	-8.3	2.5	5.2	6.2	271	5.17	29	290
589	216	-0.7	1.5	4.2	5.0	250	5.18	29	290
590	217	-0.9	1.4	3.6	4.0	251	5.18	31	290
595	162	-0.7	1.2	3.9	5.4	240	5.19	28	290
596	180	-10.0	1.8	4.7	5.8	257	5.19	28	290
607	233	0.2	2.0	6.1	8.0	241	5.19	27	290
608	231	3.2	1.1	5.6	7.5	247	5.19	26	290
609	229	2.5	1.8	5.9	7.3	262	5.19	27	290
610	229	0.9	2.3	5.9	7.2	262	5.19	27	290
611	229	2.9	1.7	5.9	7.3	258	5.19	27	290
612	229	-0.6	2.3	6.0	7.2	255	5.19	28	290
613	220	3.1	1.7	5.9	7.2	251	5.19	27	290
614	223	0.3	2.5	6.0	7.1	254	5.19	28	290
624	182	0.8	1.8	5.4	6.5	233	5.20	28	290
625	130	-2.3	1.0	2.8	3.2	215	5.15	15	210
626	209	-12.6	2.6	5.2	6.0	252	5.21	28	270
630	209	-15.2	2.3	4.9	5.8	249	5.21	28	280
631	253	-2.5	1.8	4.9	6.0	239	5.21	29	290
634	186	-0.4	1.2	3.9	5.4	233	5.21	28	290
635	139	-1.9	0.8	2.9	3.5	220	5.21	17	260
636	180	1.1	1.0	3.8	5.3	222	5.22	26	290
639	137	1.1	0.7	3.0	4.0	222	5.22	19	270
640	137	2.2	0.6	3.4	5.6	226	5.21	20	290
643	128	-17.9	0.7	2.1	2.5	194	5.19	12	200
644	157	-17.7	1.7	4.7	5.6	238	5.22	24	270
647	184	-22.9	2.5	5.7	6.8	246	5.22	29	290
648	148	-1.6	1.8	5.4	7.2	223	5.22	29	290

Tabel C-5: Golfcondities, wind en waterstand voor locaties in het gebied "N" waarvan één van de golfparameters H_{m0} , T_p en $T_{m-1,0}$ in absolute zin een groot verschil vertoont met naastgelegen locaties. De waarde van de golfparameter waarvoor het verschil met een buurpunt groot is, is schuingedrukt. Legenda: orient. is de dijknormaal, bodemh. is de bodemhoogte, golfr. is de hoek van golfaanval en WLo, WSo, WRo zijn de offshore waterstand, windsnelheid en windrichting.

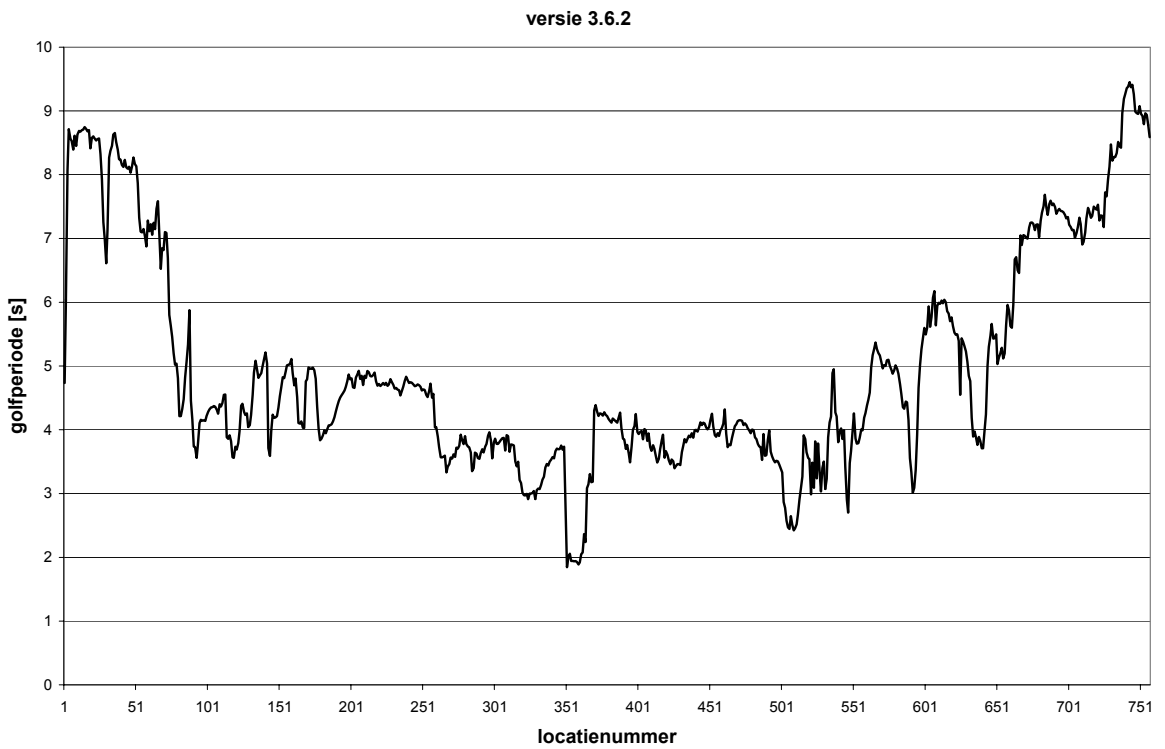
nr. [-]	orient. [° N]	bodemh. [m+NAP]	H_{m0} [m]	$T_{m-1,0}$ [s]	T_p [s]	golfr. [° N]	WLo [m+NAP]	WSo [m/s]	WRo [° N]
658	180	-9.4	2.3	5.8	7.2	243	5.22	29	285
659	160	-1.8	1.8	5.8	7.5	229	5.22	28	290
666	164	-1.8	2.0	6.4	7.8	225	5.22	28	290
667	140	-1.8	2.7	6.9	7.8	228	5.22	28	270
709	225	2.4	1.7	7.1	9.7	241	5.27	25	290
710	219	-0.3	2.4	6.8	8.8	247	5.27	26	290
712	215	0.7	2.2	7.0	9.0	247	5.27	25	290
713	214	-2.2	2.8	7.0	9.1	249	5.26	24	270
725	210	-0.7	2.5	6.8	8.6	246	5.29	22	270
726	220	-0.7	2.8	7.4	9.8	256	5.29	26	280
728	198	-1.0	2.9	7.6	10.2	260	5.29	27	280
730	264	0.0	2.8	8.4	11.3	282	5.31	28	290
731	276	-2.3	3.5	8.2	11.3	290	5.31	29	290

Tabel C-6: Golfcondities, wind en waterstand voor locaties in het gebied "NW" waarvan één van de golfparameters H_{m0} , T_p en $T_{m-1,0}$ in absolute zin een groot verschil vertoont met naastgelegen locaties. De waarde van de golfparameter waarvoor het verschil met een buurpunt groot is, is schuingedrukt. Legenda: orient. is de dijknormaal, bodemh. is de bodemhoogte, golfr. is de hoek van golfaanval en WLo, WSo, WRo zijn de offshore waterstand, windsnelheid en windrichting.

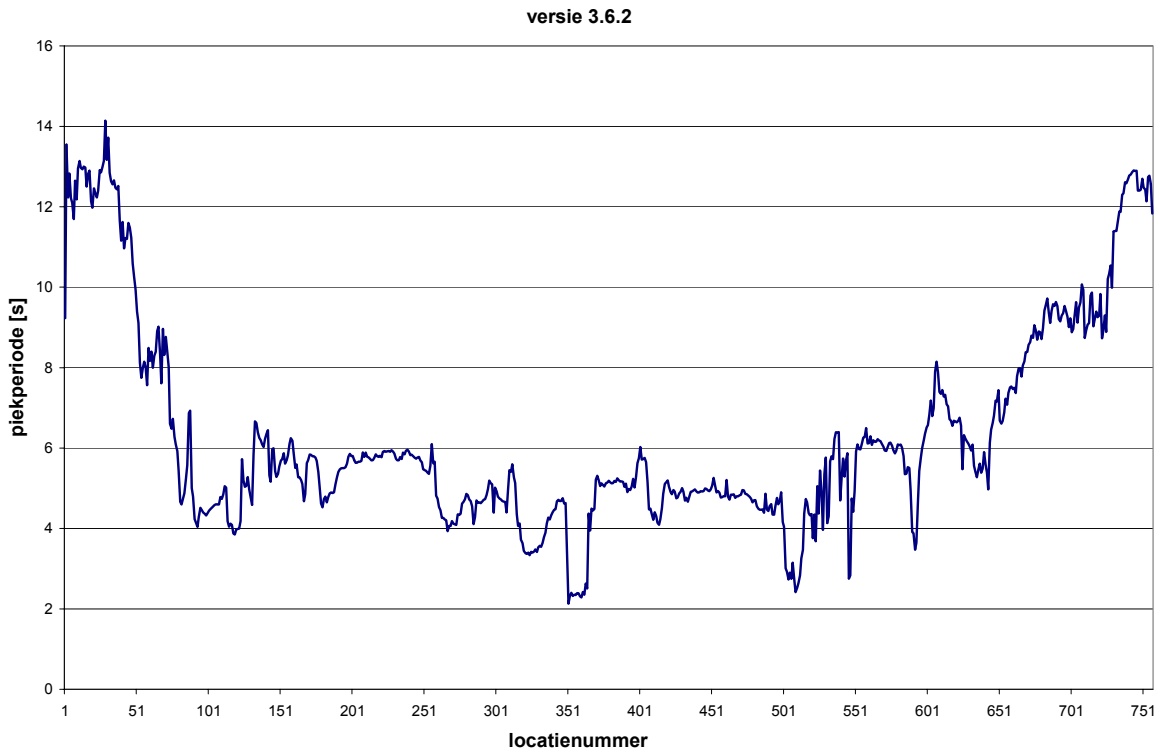
Bijlage D Golfcondities eerste illustratiepunt



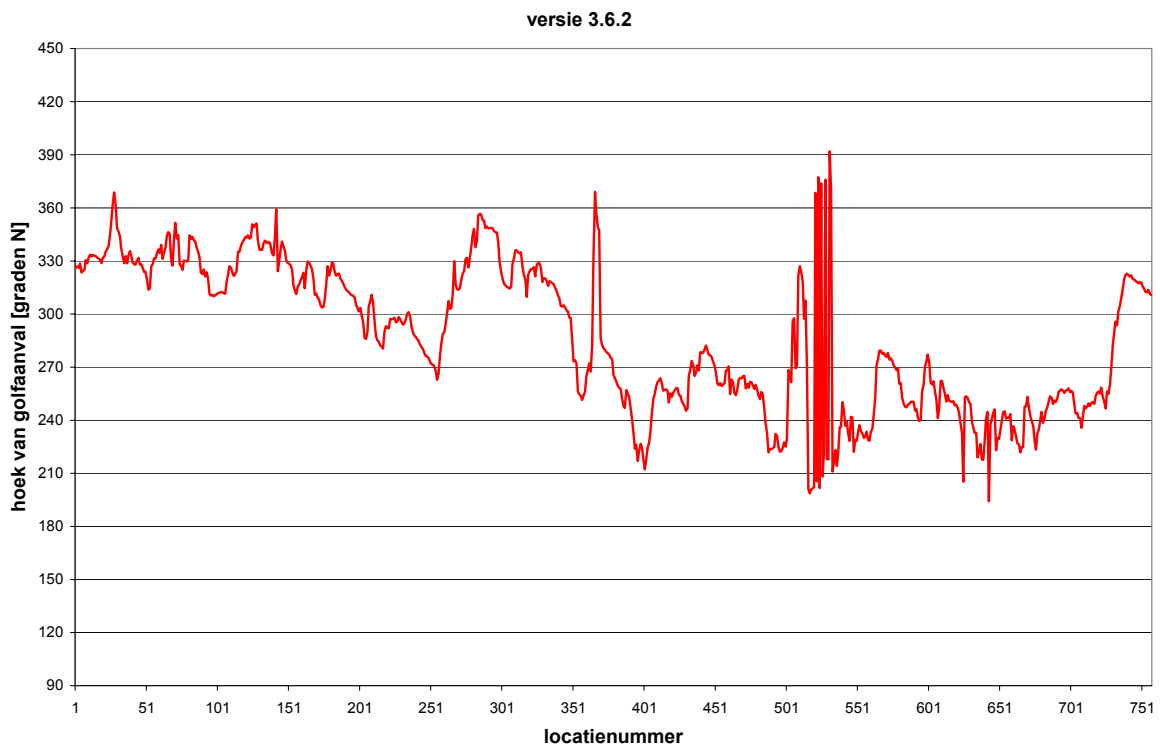
Figuur D-1: Significante golfhoogte H_{m0} in het eerste illustratiepunt als functie van het locatienummer.



Figuur D-2: Golfperiode $T_{m-1,0}$ in het eerste illustratiepunt als functie van het locatienummer.



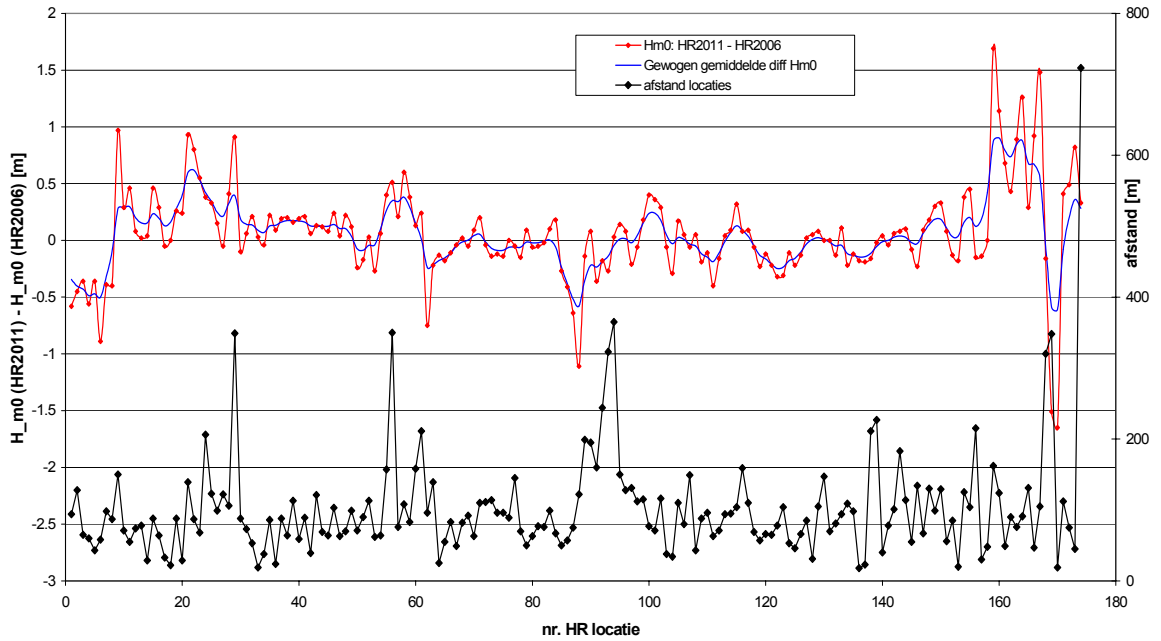
Figuur D-3: Piekperiode T_p in het eerste illustratiepunt als functie van het locatienummer.



Figuur D-4: Hoek van golfaanval θ in het eerste illustratiepunt als functie van het locatienummer. (Bij de hoek is 90 graden opgeteld.)

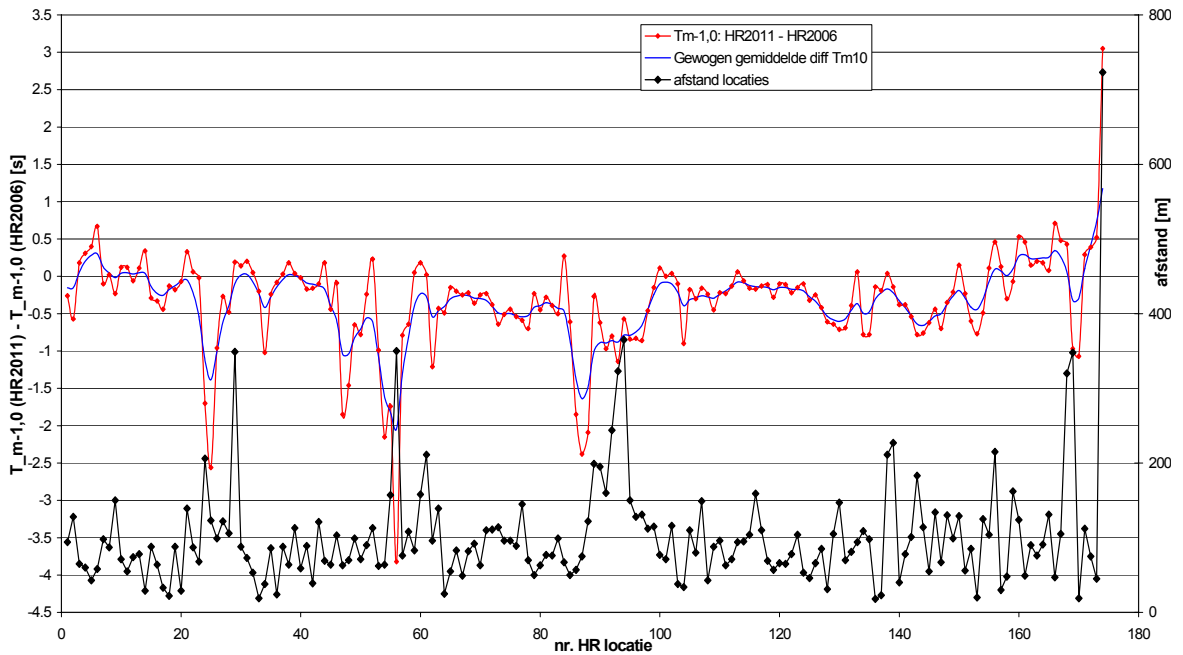
Bijlage E Figuren vergelijking met HR2006

Figuur verschil H_{m0} (concept HR2011 – HR2006)



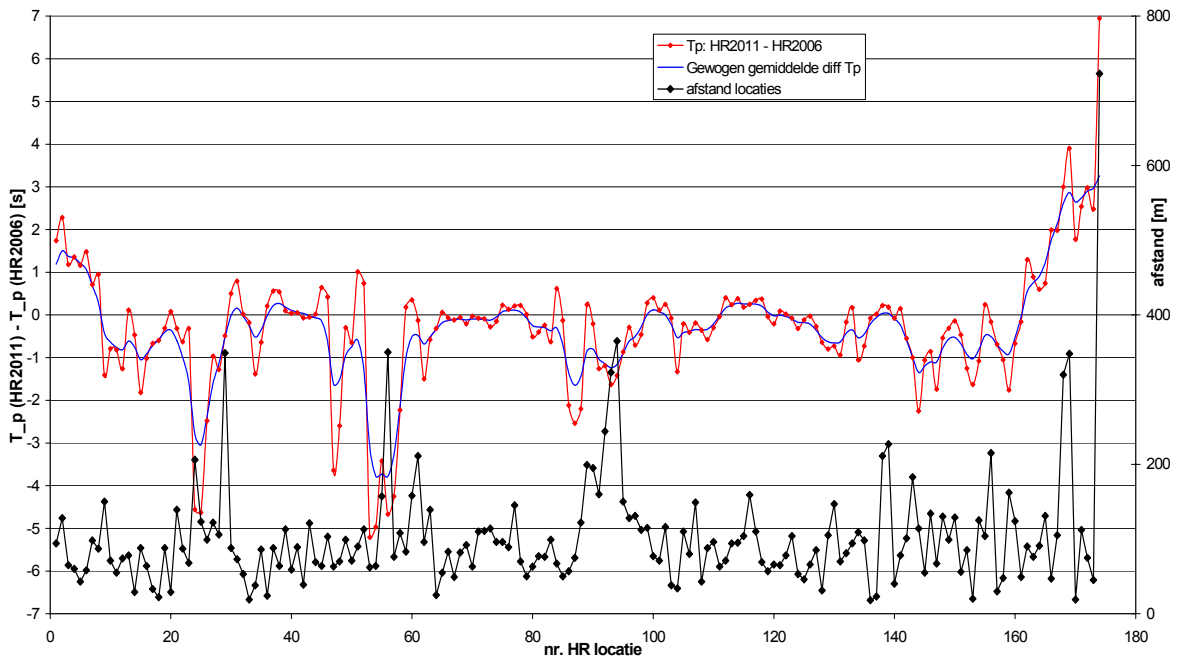
Figuur E-1: Verschil in H_{m0} volgens concept HR2011 en HR2006 (rode lijn) in combinatie met de afstand tussen de uitvoerlocaties (zwarte lijn) voor concept HR2011 en HR2006. De blauwe lijn is een filter (gewogen gemiddelde) over een venster van 9 locaties.

Figuur verschil $T_{m-1,0}$ (concept HR2011 – HR2006)

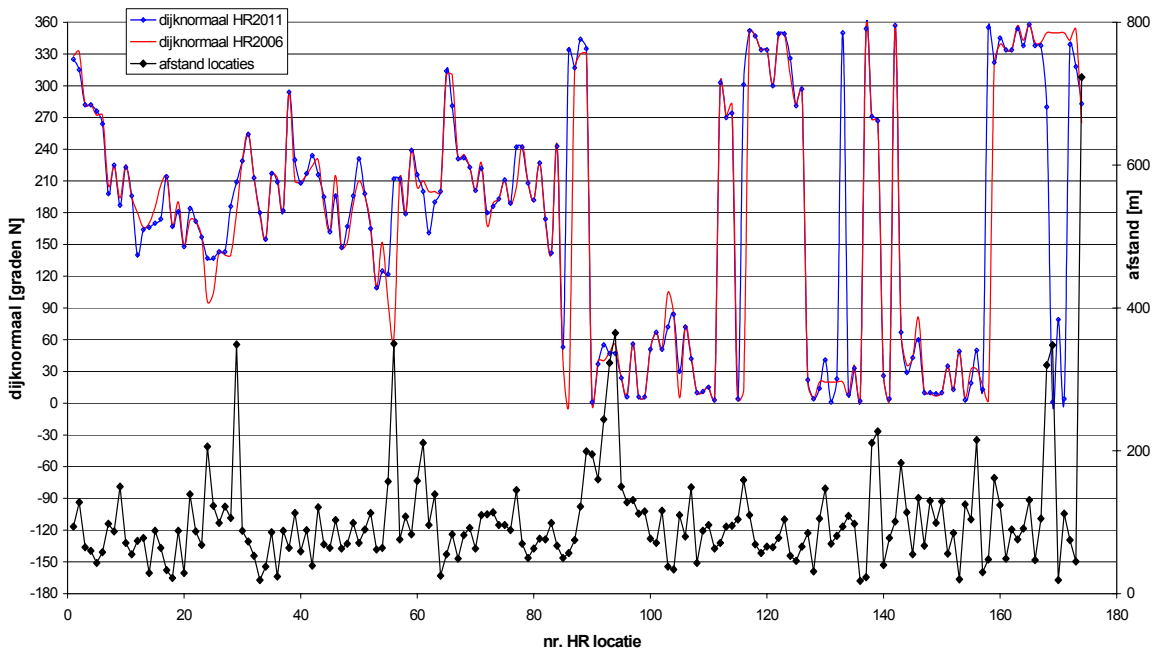


Figuur E-2: Verschil in $T_{m-1,0}$ volgens concept HR2011 en HR2006 (rode lijn) in combinatie met de afstand tussen de uitvoerlocaties (zwarte lijn) voor concept HR2011 en HR2006. De blauwe lijn is een filter (gewogen gemiddelde) over een venster van 9 locaties.

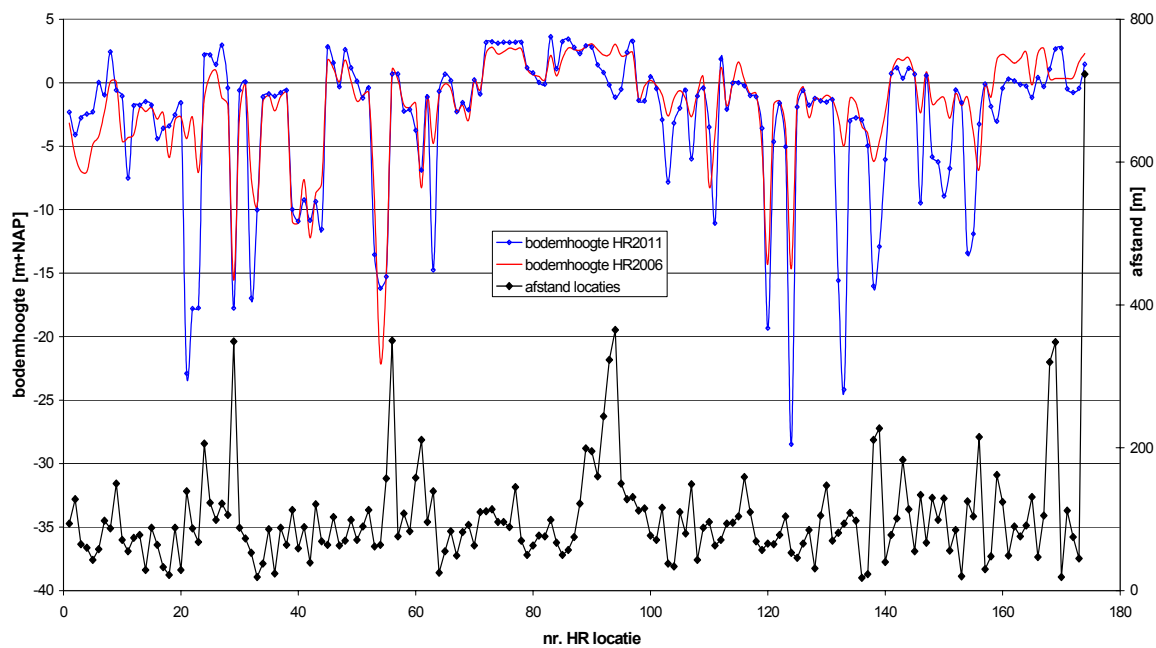
Figuur verschil T_p (concept HR2011 - HR2006)



Figuur E-3: Verschil in T_p volgens concept HR2011 en HR2006 (rode lijn) in combinatie met de afstand tussen de uitvoerlocaties (zwarte lijn) voor concept HR2011 en HR2006. De blauwe lijn is een filter (gewogen gemiddelde) over een venster van 9 locaties.



Figuur E-4: Dijknormaal van de HR2006 en concept HR2011 uitvoerlocaties in combinatie met de onderlinge afstand tussen de locaties.



Figuur E-5: Bodemligging van de HR2006 en concept HR2011 uitvoerlocaties in combinatie met de onderlinge afstand tussen de locaties.