



Vlaanderen
is wetenschap

Monitoring hydrologie Zwin

Rapportage 2021

Sam Provoost, Alexander Van Braeckel & Wouter Van Gompel

**INSTITUUT
NATUUR- EN BOSONDERZOEK**

Auteurs:

Sam Provoost, Alexander Van Braeckel & Wouter Van Gompel
Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek

Reviewers:

Joost Vanoverbeke

Het INBO is het onafhankelijk onderzoeksinstituut van de Vlaamse overheid dat via toegepast wetenschappelijk onderzoek, data- en kennisontsluiting het biodiversiteitsbeleid en -beheer onderbouwt en evalueert.

Vestiging:

Herman Teirlinckgebouw
INBO Brussel
Havenlaan 88 bus 73, 1000 Brussel
vlaanderen.be/inbo

e-mail:

sam.provoost@inbo.be

Wijze van citeren:

Provoost S, Van Braeckel A & Van Gompel W (2021). Monitoring hydrologie Zwin. Rapportage 2021. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2021 (63). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel.
DOI: doi.org/10.21436/inbor.70277346

D/2022/3241/040

Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2021 (63)

ISSN: 1782-9054

Verantwoordelijke uitgever:

Maurice Hoffmann

Foto cover:

Sam Provoost

Dit onderzoek werd uitgevoerd in opdracht van:

het Agentschap voor Maritieme Dienstverlening en Kust, afdeling Kust (MDK) van de Vlaamse overheid.

**AGENTSCHAP
MARITIEME
DIENSTVERLENING en
KUST**



Dit werk valt onder een [Creative Commons Naamsvermelding-GelijkDelen 4.0 Internationaal-licentie](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

MONITORING HYDROLOGIE ZWIN

Rapportage 2021

Sam Provoost, Alexander Van Braeckel & Wouter Van Gompel

doi.org/10.21436/inbor.70277346

Dankwoord

We danken de terreinploeg van het Agentschap Natuur en Bos voor de logistieke ondersteuning. Bijzondere dank aan Reinhardt Strubbe en Bram Conings voor de hulp bij het plaatsen van de peilbuizen.



Samenvatting

Binnen dit project, uitgevoerd in opdracht van het agentschap voor Maritieme Dienstverlening en Kust, afdeling Kust (MDK) worden de hydrologie en hydrodynamiek van oppervlakte- en grondwater in het (uitgebreide) Zwin opgevolgd. De opdracht sluit aan bij het onderzoek naar de sedimentdynamiek en hydrografie in het gebied dat het Waterbouwkundig Laboratorium uitvoert.

Met het project willen we eerst algemene kennis opdoen over het functioneren van de hydrodynamiek. De belangrijkste vraag is echter wat de effecten zijn van de uitgevoerde natuurontwikkelingsmaatregelen op het overstromingsregime. De ingrepen met de grootste verwachte impact zijn de verbreding en verdieping van de hoofdgeul tussen augustus 2016 en maart 2017, en de doorbraak van de oude internationale dijk. Dat laatste was de effectieve realisatie van de Zwinuitbreiding op 4 februari 2019.

Er zijn meetpunten geïnstalleerd in zowel het Oude Zwin als in de Zwinuitbreiding. Ze bevinden zich zoveel mogelijk ter hoogte van de transecten voor vegetatiemonitoring. Zo kunnen we in de toekomst relaties tussen vegetatieontwikkeling en hydrodynamiek onderzoeken. Het meetnet werd uitgebouwd tussen maart 2016 en september 2020, en telt nu 20 meetpunten. Het betreft vooral ondiepe peilbuizen (ca. 2 m die) en één meetpunt in de getijdenkreek aan de stuw. Alle meetpunten zijn uitgerust met sondes die op regelmatige tijdstippen (water)druk en temperatuur meten. Vijf sondes meten ook nog eens conductiviteit als maat voor de saliniteit van het water. De druksondes meten doorgaans om de 15 minuten een peil, wat voldoende is om de bereikte waterstijghoogtes per tijdcyclus nauwkeurig weer te geven. Voor het opvolgen van de doorstroming van de getijdengolf in de tijd is een hogere meetfrequentie wenselijk. Hiervoor is een beperkte datareeks in twee meetpunten opgemeten.

De peilregimes in het gebied worden primair bepaald door het dubbeldaagse overstromingsregime. Enkel in de hoogstgelegen buizen aan de rand van de dijk of van het centrale lage duintje, zien we in geringe tot sterke mate het effect van de seizoenale variatie in het neerslagoverschot weerspiegeld. In deze punten meten we ook een lagere saliniteit door ondergrondse uitstroom van zoet grondwater. Verder kunnen ook neerslag en evapotranspiratie tijdelijk de saliniteit van het grondwater respectievelijk verlagen en verhogen.

Uit de meetreeksen in de intertidale buizen kunnen we duidelijk de patronen afleiden van enerzijds 'sheet flow' of doorstroming van de vloedgolf over de schorren en anderzijds 'channel flow', een veel snellere doorstroming doorheen de krekken. Deze channel flow geeft aanleiding tot grotere aanvoerdebieten en dus potentieel sterkere overstroming maar zorgt ook voor versnelde afvoer en dus diepere drainage.

Door afremming van de waterstroom door reliëf en vegetatie geeft de sheet flow aanleiding tot reductie van de lokale peilhoogtes en een verminderde overstroming. Om trends in de lokale overstromingsfrequentie te kunnen bekijken moeten we die loskoppelen van de temporele variabiliteit van de tijhoogtes op zee. Hiervoor beschouwen we eerst de 'potentiële overstroming' van een locatie als een bepaalde hoogwaterstand in Cadzand de maaiveldhoogte van deze locatie overschrijdt. De potentiële overstromingsfrequentie wordt hier uitgedrukt als het aantal dagen met dergelijke overstromingen per maand. Daarna bekijken we de reële overstromingsfrequentie, namelijk het aantal dagen per maand waarbij het gemeten peil in de peilpunten diezelfde maaiveldhoogte overschrijdt. De verhouding



tussen de reële en de potentiële overstromingsfrequentie noemen we de gerealiseerde overstromingsfrequentie en gebruiken we voor trendanalyse.

De 4 laagstgelegen meetpunten staan via de geulen en krekens in goede verbinding met de zee. Daar is de gerealiseerde overstromingsfrequentie nagenoeg 100%. In twee van die meetpunten die al vanaf maart 2016 worden bemeaten (250 en 222), is het effect van de geuluitbreiding duidelijk te zien. We zien dat de vloedgolf veel sneller het gebied binnendringt en bij eb vlugger wegstroomt. Dit gaat gepaard met een geleidelijke erosie van sommige krekens, zoals ter hoogte van meetpunt 222. Ook in de Zwinuitbreiding vertonen de meetpunten een zeer hoge 'gerealiseerde overstromingsfrequentie' omdat het gebied laaggelegen is en door de brede geul gemakkelijk overstroomt. Verschillende van de (recent geplaatste) meetpunten in de Zwinuitbreiding lijken echter niet optimaal te functioneren, wellicht door de snelle dichtslibbing van de filter. Deze snelle sedimentatie is bijvoorbeeld goed te volgen in het peilverloop van meetpunt 267.

In het noordwestelijk deel van het Oude Zwin is de gerealiseerde overstromingsfrequentie zeer laag (12 tot 15%). Deze zone is namelijk door het dempen van de noordelijke geul en het opstuwen van het water rond de vogeleilanden kunstmatig gestabiliseerd. Enkel bij hoog springtij komt deze zone nog onder water. In de loop van het project werd een lichte stijging van het gemiddeld peil en van de saliniteit in deze zone (meetpunt 203) waargenomen. Dit is waarschijnlijk gerelateerd aan de toegenomen dynamiek ten zuiden van de eilanden.

In de overige meetpunten in het Oude Zwin worden uiteenlopende 'gerealiseerde overstromingsfrequenties' bereikt. Een aantal van deze punten vertoont tijdens het project een toename van de gerealiseerde overstromingsfrequentie, wat wijst op een toename van de dynamiek. Het gaat om meetpunt 209, centraal in het Oude Zwin en meetpunten 215 en 220, in het zuidwesten van het gebied. Zeker in deze laatste zone is deze trend duidelijk gerelateerd aan de Zwinuitbreiding en de wijziging en het versterken van de waterdoorstroming in het gebied. Ook in het meer oostelijk gelegen meetpunt 218 zien we een toename van de overspoeling maar hier is de trend niet significant. Wellicht zal een langere meetreeks wel significante effecten aangeven. Door het geleidelijk eroderen van bepaalde krekens, treedt de verhoging van de dynamiek dieper op de schorre met enige vertraging op.

In de nabije toekomst is het wenselijk om de waargenomen overspoelingsdynamiek te relateren met de vegetatieopnames in de transecten. Hiervoor is een gerichte verderzetting van de hydrologische metingen aangewezen.



Inhoudstafel

Dankwoord.....	2
Samenvatting.....	3
1 Inleiding.....	7
2 Uitbouw van het meetnet.....	8
3 Gegevensinzameling en -verwerking.....	11
3.1 Loggers.....	11
3.1.1 Algemeen.....	11
3.1.2 Tijd.....	11
3.1.3 Saliniteit.....	12
3.1.4 Luchtdruk en waterstijghoogte.....	12
3.1.5 Stijghoogte en saliniteit.....	13
3.2 Getijden.....	13
3.3 Overstromingsfrequentie.....	16
3.4 zoute gracht en Pompgemaal.....	17
4 Resultaten.....	18
4.1 Getijdendoorwerking in het Zwn.....	18
4.1.1 Tijdsverschil met maximale tijhoogte.....	18
4.1.2 Hoogteverschil met maximale tijhoogte.....	19
4.2 Stijghoogtepatronen.....	23
4.2.1 Noordwestelijk deelgebied: gestuwd & duinovergangen.....	23
4.2.1.1 ZWIP048.....	23
4.2.1.2 ZWIP049.....	23
4.2.1.3 ZWIP203.....	24
4.2.1.4 ZWIP213.....	26
4.2.2 Noordoostelijk deelgebied nabij de Zwinmonding.....	28
4.2.2.1 ZWIP204.....	29
4.2.2.2 ZWIP205.....	30
4.2.2.3 ZWIP209.....	32
4.2.2.4 ZWIP210.....	34
4.2.2.5 ZWIP250.....	35
4.2.3 Zuidwestelijk gebied (met nieuwe afwatering via de Zwinuitbreiding).....	37
4.2.3.1 ZWIP215.....	37
4.2.3.2 ZWIP217.....	39
4.2.3.3 ZWIP220.....	40
4.2.3.4 ZWIS248.....	42
4.2.4 Zuidoostelijk gebied dat afwatert naar de Zwingeu.....	43
4.2.4.1 ZWIP218.....	43
4.2.4.2 ZWIP221.....	45



4.2.4.3	ZWIP222	46
4.2.5	Zwinuitbreiding	49
4.2.5.1	ZWIP263	49
4.2.5.2	ZWIP267	50
4.2.5.3	ZWIP367	51
4.2.5.4	ZWIP270	52
4.2.5.5	ZWIP274	54
4.3	Conclusies.....	55
4.3.1	Het meetnet	55
4.3.2	Tij-gedomineerde peilregimes	56
4.3.3	Effecten van de natuurherstelwerken	58
	Referenties	59

1 INLEIDING

Dit onderzoek maakt deel uit van de monitoring van de sedimentdynamiek en hydrografie in het (uitgebreide) Zwin en sluit aan bij het onderzoeksproject hierover dat wordt uitgevoerd door het Waterbouwkundig Laboratorium in opdracht van het Agentschap voor Maritieme Dienstverlening en Kust, afdeling Kust (MDK) van de Vlaamse overheid. Deze opdracht focust op het opvolgen van de hydrologie (zowel oppervlaktewater als grondwater) en hydrodynamiek, met als finale doel om een integratie mogelijk te maken tussen hydrologie/hydrografie en morfodynamiek enerzijds en vegetatieontwikkeling anderzijds. Om deze relatie optimaal te kunnen bekijken, zijn grondwatermeetpunten zoveel mogelijk voorzien ter hoogte van bestaande vegetatietransecten.

Door het waterpeil continu te monitoren in een aantal volledig geperforeerde peilbuizen verspreid over het Zwin, kan een inschatting gemaakt worden hoever het getij in het gebied doordringt (overspoelingsreikwijdte) en wat bijgevolg de overstromingsfrequentie is op een bepaalde locatie. Deze variabele is gerelateerd aan de overspoelingsduur (de tijd gedurende dewelke het getij blijft staan) en de aangeleverde getijvolumes die de schorbodem potentieel kunnen indringen. Deze variabelen zijn in het indertidale systeem sterk bepalend voor de vegetatieontwikkeling en daarmee geassocieerde fauna. De hydrologie van het Zwin wordt aangestuurd door de getijdenwerking op zee. Om het systeem te begrijpen, moeten we dus de doorwerking van de getijdengolf in het gebied beter begrijpen. Hiervoor zijn meetpunten geplaatst in zowel de aanvoerkreken als op de schorren zelf.

De focus van het onderzoek ligt op de opvolging van de grootschalige natuurontwikkelingswerken die de voorbij jaren in het gebied zijn uitgevoerd. Dit omvat zowel de 'Oude Zwinvlakte' waar het getijregime sterk is veranderd door de toegenomen dimensie van de aanvoergeul (ligging en omvang), als de uitbreiding van het Zwin in de Willem-Leopoldpolder. Eén van de belangrijke motivaties voor het uitvoeren van deze ingrepen was het verhogen van de mariene dynamiek in het gebied. In dit project willen we nagaan in hoeverre effectief een toename van de overstromingsfrequentie wordt vastgesteld.

Belangrijke ingrepen in het Zwin met potentiële effecten op de waterhuishouding waren:

- maart 2013: dempen meest noordelijke doorbraakgeul
- 2 augustus 2016 – 9 maart 2017: verbreding/verdieping van de hoofdgeul
- 18-22 oktober 2018: opvullen van de gracht ten zuiden van oude Internationale Dijk
- 4 februari 2019: doorbraak van de oude internationale dijk, effectieve realisatie Zwin-uitbreiding
- 4-15 februari 2019: opvullen van de geul ten noorden van oude Internationale Dijk.



2 UITBOUW VAN HET MEETNET

In maart 2016 werd gestart met de uitbouw van het hydrologisch meetnet in het Zwin. Het betrof twee peilbuizen gelegen in kreken, namelijk 222 en 250. Eind november 2016 werd een volgende reeks meetpunten geïnstalleerd en een laatste campagne in het oude Zwin vond plaats in augustus 2018. De meetpunten in de Zwin-uitbreiding werden geplaatst eind september 2020. Het meetnet binnen het Zwin omvat actueel 20 meetpunten (figuur 1.1, tabel 2.1). De peilpunten zijn echte 'peilbuizen', wat betekent dat zij over de volledige diepte van de waterkolom geperforeerd zijn.



Figuur 1.1. Hydrologisch meetnet in het Zwin.

Tabel 2.1. Overzicht van de peilpunten met XY coördinaten, hoogte van de de top van de buis (Nulpunt) en hoogte van het maaiveld in de onmiddellijke omgeving gebruikt voor het bepalen van een overstromings-event.

WATINA Code	X (Lambert '72)	Y (Lambert '72)	Nulpunt (m TAW)	Maaiveld (m TAW)	Start meting
ZWIP047X	78576,83	228533,06	4,94	4,92	1 december 2016
ZWIP048X	79036,11	228242,60	5,23	5,21	29 november 2016
ZWIP049X	78967,86	228377,66	6,1	6,07	8 augustus 2019
ZWIP203X	79075,62	228764,15	4,75	4,86	21 maart 2017
ZWIP204X	79694,57	228868,48	4,71	4,76	28 augustus 2018
ZWIP205X	79875,30	228933,46	4,81	4,84	13 maart 2017
ZWIP205A	79877,76	228934,30	4,74	4,84	21 maart 2019
ZWIP209X	79771,96	228690,99	4,64	4,75	13 maart 2017
ZWIP210X	80185,42	228761,79	4,51	4,53	13 maart 2017
ZWIP213X	79544,58	228488,39	4,71	4,72	21 maart 2019
ZWIP215X	79374,36	228246,60	4,54	4,63	7 augustus 2018
ZWIP217X	79750,34	228352,68	5,05	5,02	28 augustus 2018
ZWIP218X	80145,13	228399,43	4,47	4,63	21 maart 2019
ZWIP220X	79710,91	228136,03	4,63	4,67	13 maart 2017
ZWIP221X	80278,65	228120,72	4,44	4,44	13 maart 2017
ZWIP222X	80292,62	228240,38	4,63	nvt	14 maart 2016
ZWIP222A	80292,91	228240,22	4,81	nvt	8 augustus 2019
ZWIP222B	80292,94	228241,18	4,44	nvt	1 oktober 2020
ZWIP250X	80646,85	228769,28	3,87	nvt	14 maart 2016
ZWIP250A	80645,18	228777,10	3,19	nvt	30 september 2020
ZWIP263X	80172,44	227077,32	4,37	4,26	1 oktober 2020
ZWIP267X	79803,89	227733,76	3,86	3,70	30 september 2020
ZWIP270X	80439,57	226810,56	3,71	3,25	22 oktober 2020
ZWIP274X	80867,77	227115,11	4,42	4,24	30 september 2020
ZWIP367X	79839,90	227794,04	4,32	4,25	1 oktober 2020
ZWIS248X	79269,35	228287,89	5,15	nvt	8 augustus 2019





Figuur 1.2. Plaatsing van ZWIP210 op 29 november 2016 (links) en van ZWIP267 op 30 september 2020 (rechts).



3 GEGEVENSINZAMELING EN -VERWERKING

3.1 LOGGERS

3.1.1 Algemeen

In getijdenafhankelijke systemen zijn automatische drukloggers onontbeerlijk om de frequent schommelende watertafels vast te leggen. De loggers meten standaard druk en temperatuur; meting van conductiviteit (ctd-diver) is optioneel en vergt duurdere loggers. In dit project werden 8 dergelijke ctd divers ingezet. Hierdoor was het nodig om af en toe de loggers van meetpunt te veranderen. De meetfrequentie van de eerste meetreeks bedroeg 1 meting per 5 minuten. Dergelijke hoge resolutie is wenselijk om de timing van de overstroming op te volgen maar vergt een regelmatige uitlezing van de loggers op het terrein gezien de data-capaciteit van de loggers beperkt is (tot 22 000 metingen). Daarom werd de meetfrequentie later verlaagd naar 1 meting per 15, 20 of zelfs 30 minuten.

Bij elke installatie van een logger is het noodzakelijk om minstens één, maar bij voorkeur enkele handmatige referentiemetingen uit te voeren om de berekende waterpeilen te calibreren.



Figuur 3.1. Uitlezen van loggers in het veld.

3.1.2 Tijd

Alle meetgegevens worden omgezet naar de Midden-Europese Tijd (MET of E: CET). Dit is onze wintertijd. Deze omzetting is nodig voor loggers die in zomertijd zijn geprogrammeerd en meteo-gegevens van Meetnet Vlaamse Banken die in UTC zijn uitgedrukt.

Midden-Europese Tijd (MET) = CET = onze wintertijd = UTC + 1u

3.1.3 Saliniteit

De ctd divers meten specifieke conductiviteit, uitgedrukt in mS/cm. Het is een maat voor het zoutgehalte of de saliniteit van het water en wordt vooral kwalitatief gebruikt. Onderstaande tabel geeft een conversie weer tussen zoutgehalte (uitgedrukt in klassen en in 'Total Dissolved Solids') en de conductiviteitsmetingen.

Tabel 3.1. Relatie tussen de geleidbaarheid, de TDS (Total Dissolved Solids) en de grondwaterkwaliteit (De Moor en De Breuck 1969)

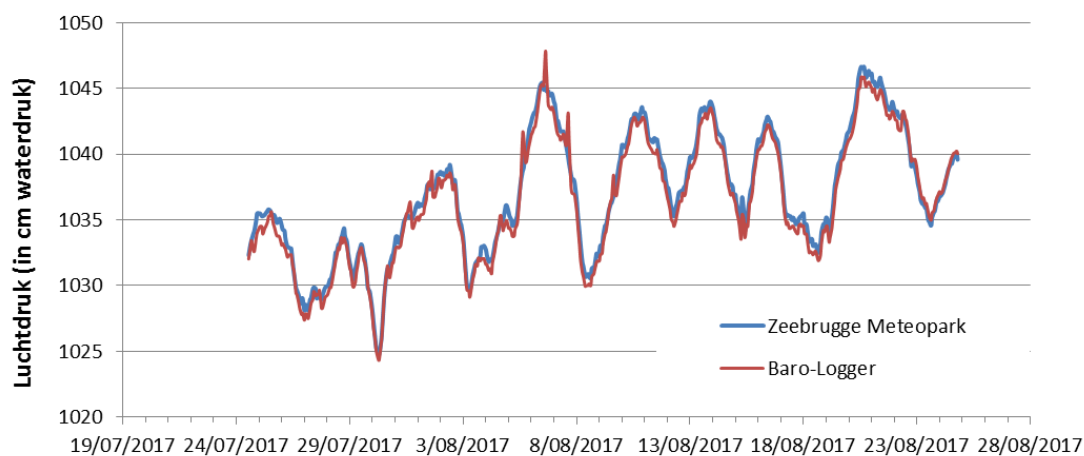
Kwaliteitsklasse (De Moor & De Breuck, 1969)	TDS (mg/l) (De Moor & De Breuck, 1969)	Geleidbaarheid σ (mS/m)
VF : zeer zoet	<200	> 5
F : zoet	200 - 400	5 - 10
MF : matig zoet	400 - 800	10 - 20
WF : zwak brak	800 - 1600	20 - 40
MB : matig brak	1600 - 3200	40 - 80
B : brak	3200 - 6400	80 - 160
VB : zeer brak	6400 - 12800	160 - 320
MS : matig zout	12800 - 25600	320 - 640
S : zout	>25600	> 640

3.1.4 Luchtdruk en waterstijghoogte

Een belangrijke stap in de verwerking van de loggerdata is de luchtdrukcompensatie. De loggers meten immers de totale druk en die is een combinatie van de waterdruk en de luchtdruk. Hiervoor worden luchtdrukmetingen omgezet in cm waterkolom en van de totale drukmeting afgetrokken.

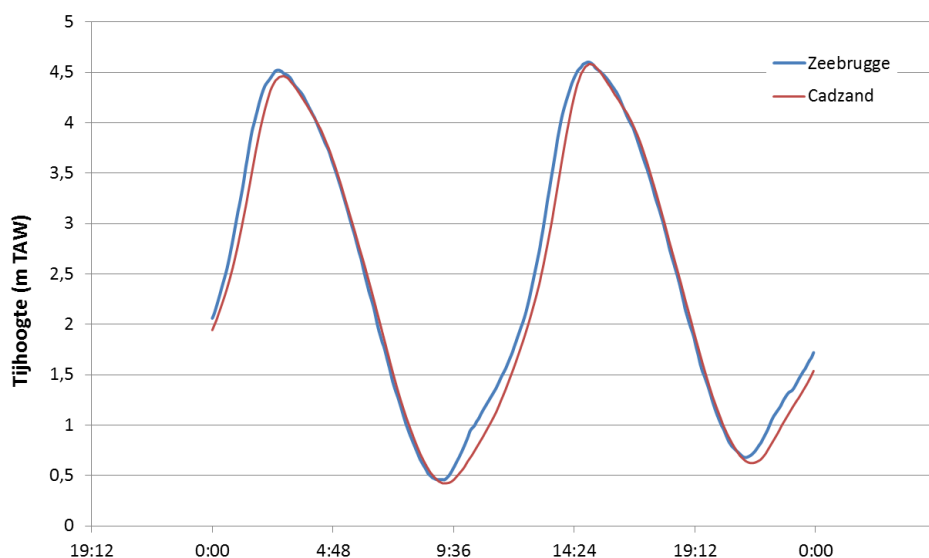
$$1\text{mbar} = 1,0198 \text{ cm H}_2\text{O bij } 4^\circ\text{C}$$

Luchtdrukmetingen werden uitgevoerd aan de hand van een 'Baro-logger' die zich in de ANB loods in de Zwinduinen bevindt. Gezien deze meetreeks onvolledig is, werd gebruik gemaakt van de luchtdrukmetingen in het Meteopark Zeebrugge, een meetstation van het Meetnet Vlaamse Banken (meetnetvlaamsebanken.be). Beide reeksen vertonen een zeer goede overeenkomst (figuur 3.2).

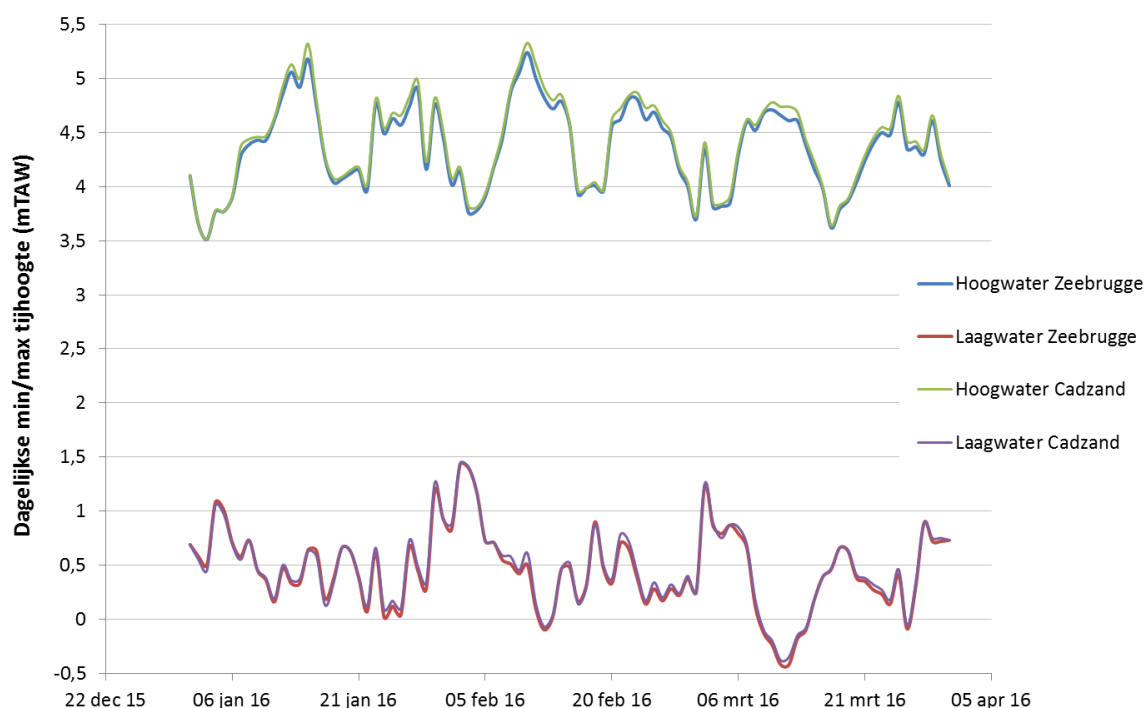


Figuur 3.2. Relatie tussen de luchtdrukmetingen in het Meteopark Zeebrugge (Meetnet Vlaamse Banken)

uitzonderlijke weersomstandigheden oplopen tot meer dan anderhalve meter. Zo was het laagwater op 13 januari 2017 om 19u50 1,73 m hoger dan de voorspelde waarde.



Figuur 3.3. Tijlhoogte Zeebrugge (Dam) en Cadzand op 1 januari 2021.

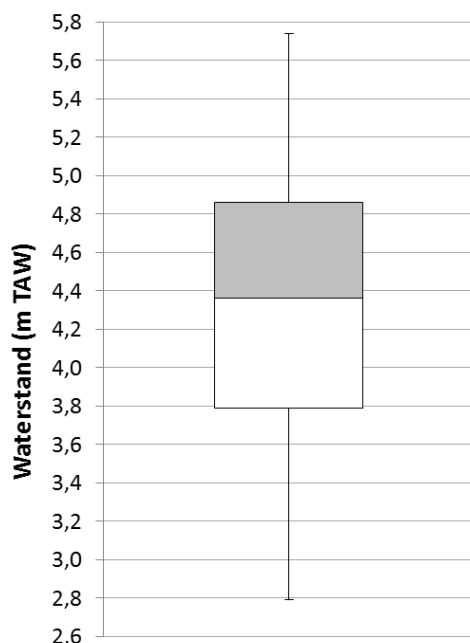


Figuur 3.4. Tijlhoogte Zeebrugge (Dam) en Cadzand op 1 januari 2021.

De meest relevante tijldata voor het gebied worden gemeten in Cadzand en zijn beschikbaar via Waterinfo van Rijkswaterstaat (<https://waterinfo.rws.nl>). Het dichtste Belgische meetstation is Zeebrugge (gegevens via Meetnet Vlaamse Banken <https://meetnetvlaamsebanken.be>).



Uit de meetreeksen blijkt er tussen de hoogwaters van Zeebrugge en Cadzand een tijdsverschil van ongeveer 15'. Het hoogwater treedt later op in Cadzand en is net als het laagwater hoger dan Zeebrugge. Hoogteverschil in de recente periode bedraagt gemiddeld 5,2 cm voor het hoogwater en 1,7 cm hoger voor het laagwater (figuur 3.3 en 3.4).



Figuur 3.5. Boxplot met de verdeling van de hoogwaterstanden in Cadzand (januari 2016 – mei 2021). Weergave van minimum, maximum, 10 en 90 percentielen.

Uit de meetreeks voor Cadzand, die we verder in deze studie als basis gebruiken, leiden we voor de periode 1 januari 2016 tot mei 2021 een gemiddeld hoogwater af van 4,35 m TAW (mediaan 4,36 m). De verdeling van de laagwaters is voor de overstroming van de schorren minder relevant. 80% van de hoogwaters is begrepen tussen 3,79 en 4,86 m TAW. Het meest extreme hoogwater bedroeg 5,74 m (3 januari 2018, storm Eleanor). Systematische extremen komen voor tijdens een equinox, het tijdstip in het jaar waarop de zon loodrecht boven de evenaar staat (tabel 3.2). Op die momenten staat de zon ook het dichtst bij de evenaar en is de aantrekkingskracht van de zon op de aarde het hoogst .

Tabel 3.2. Moment van lente- en herfstequinox te Cadzand in de periode 2017-2021.

	Lente	Herfst
2017	20 maart	22 september
2018	20 maart	23 september
2019	20 maart	23 september
2020	20 maart	22 september
2021	20 maart	22 september



3.3 OVERSTROMINGSFREQUENTIE

De habitatvariatie in intertidale systemen wordt in eerste instantie bepaald door duur en frequentie van de mariene overstromingen. Om dit te kwantificeren, maken we gebruik van getijdencycli als tijdseenheden. Eén cyclus definiëren we als de periode tussen een tijdstip bij vloed met gemiddelde tijhoogte tot een volgend tijdstip bij vloed met gemiddelde tijhoogte. Gezien in de gemeten tijhoogtes waarnemingen ontbreken en er in de curves vaak onregelmatigheden voorkomen, definiëren we de tijcycli op basis van de vloeiende lijnen van de astronomische tijhoogtes.

Een (astronomische) tijcyclus te Cadzand duurt gemiddeld 12 uur 25 minuten maar toont variatie tussen 11u55 en 13u05. In de astronomische tijreeksen gaan we op zoek naar de meetpunten die het dichtst bij de gemiddelde tijhoogtes gelegen zijn. Voor Cadzand is dit 2,30 m TAW. We selecteren het eerste punt in de tijdsreeks waarbij het hoogteverschil met 2,3 m TAW kleiner is dan 10 cm. We kiezen 10 cm gezien alle hoogteverschillen tussen twee opeenvolgende tijhoogtes uit de reeks begrepen zijn tussen 0 en 20 cm. Deze punten bepalen start- en eindpunt van een halve tijcyclus. De opeenvolging van een hoogwater en een laagwater halve tijcyclus vormt een volledige tijcyclus. Vervolgens worden de reële maximale hoogwater- en laagwaterstanden voor elke cyclus bepaald op basis van de effectieve waterhoogtemetingen.

Een bepaalde hoogwaterstand (hier gemeten te Cadzand) geeft aanleiding tot een potentiële overstroming van een locatie indien deze waterstand de maaiveldhoogte van deze locatie overschrijdt. Geïntegreerd over een tijdsinterval (hier gebruiken we een maand) spreken we van de **potentiële overstromingsfrequentie**.

Ecologisch relevanter is uiteraard de **reële overstromingsfrequentie**, de frequentie waarmee het *gemeten* peil in de peilpunten deze maaiveldhoogte overschrijdt. Die frequentie kan een stuk lager liggen dan de potentiële frequentie door de traagheid van de instroom bij vloed doorheen de schorren of door drempels (zoals oeverwallen of de oost-west georiënteerde dijk centraal in het Oude Zwin).

De verhouding tussen de reële en de potentiële overstromingsfrequentie noemen we de **gerealiseerde overstromingsfrequentie**.



3.4 ZOUTE GRACHT EN POMPGEMAAL

Als tegemoetkoming naar de landbouw werden bij de Zwinuitbreiding specifieke maatregelen genomen ten gunste van een landbouwvriendelijke waterhuishouding in de omringende polders. Die omvatten de aanleg van een dubbel grachtensysteem met een ‘zoute en zoete gracht’ rondom de uitbreiding om de zoute kwel die uit het intertidale gebied richting polder stroomt op te vangen. De ‘zoute gracht’ sluit het dichtsbij de dijk. Het water uit deze gracht wordt continu afgepompt richting Zwinuitbreiding. De zoute gracht heeft een gemiddeld peil van 1,08 m TAW dat door het pompregime schommelt tussen ca. 0,95 en 1,15 m TAW. Het pompen gebeurt op een tiental tijdsintervallen per dag, alles samen wordt ongeveer de helft van de dag gepompt. Met een pompdebiet van ca. 0,3 m³/s betekent dit dat er een grootte-orde van 13 000 m³ per dag uit de zoute gracht wordt weggepompt richting Zwin-uitbreiding (ten zuiden van meetpunt 270).

Rondom de zoute gracht ligt een gracht met zoet water waarin het peil hoger staat dan in de zoute gracht. Hiermee wordt afstroming van zout water richting polder tegengegaan. Pompen vanuit de zoete gracht gebeurt sporadisch, bij grote winterse wateroverschotten in de polder. Begin maart 2020 werd gedurende 110 uren gepompt, wat met een debiet van 0,2 m³/s een totaal volume van ca. 80 000 m³ overeenkomt. Begin februari 2021 werden 157 pompuren genoteerd waarbij zo’n 110 000 m³ zoet water in het Zwin werden gepompt. Deze pompingen gebeuren nagenoeg constant, dus onafhankelijk van het getij.

Peilen in de zoete en zoute gracht zijn te raadplegen via https://www.waterinfo.be/station/01K02_050.



4 RESULTATEN

4.1 GETIJDENDOORWERKING IN HET ZWN

4.1.1 Tijdsverschil met maximale tijhoogte

De metingen zijn begonnen op 14 maart 2016, dus vóór de verbreding van de geul. Er zijn voor die periode gegevens voorhanden van 2 meetpunten, namelijk 250 vooraan in de geul en 222, gelegen langsheen een secundaire geul, zo'n 750 m dieper (meer stroomopwaarts) in het gebied.

In april 2016, vóór de verbreding van de Zwingeel, zien we dat de maximale waterstand bij springtij zich in peilbuis 250, op 600 m van de Zwinmonding, een tiental minuten later voordoet dan bij het meetpunt aan de haven in Cadzand (figuur 4.1). Gezien de vloedstroom langs de kust uit het zuidwesten komt, lijkt dit verschil relatief groot. Het toont dat de voortplantingssnelheid van de vloedgolf beduidend groter is op grotere diepte in volle zee dan bij de instroom in een nog ondiepe Zwingeel. Bij doottij gaat het nog wat trager; dan wordt het maximaal hoogwater ter hoogte van pb 250 zo'n 15 tot 20 minuten later bereikt dan in Cadzand. Gemiddeld bedraagt het tijdsverschil tussen hoogwater in meetpunt 250 en het tijmeetpunt Cadzand 29 minuten. Dit verschil lijkt amper afhankelijk van het moment in de springtijcyclus.

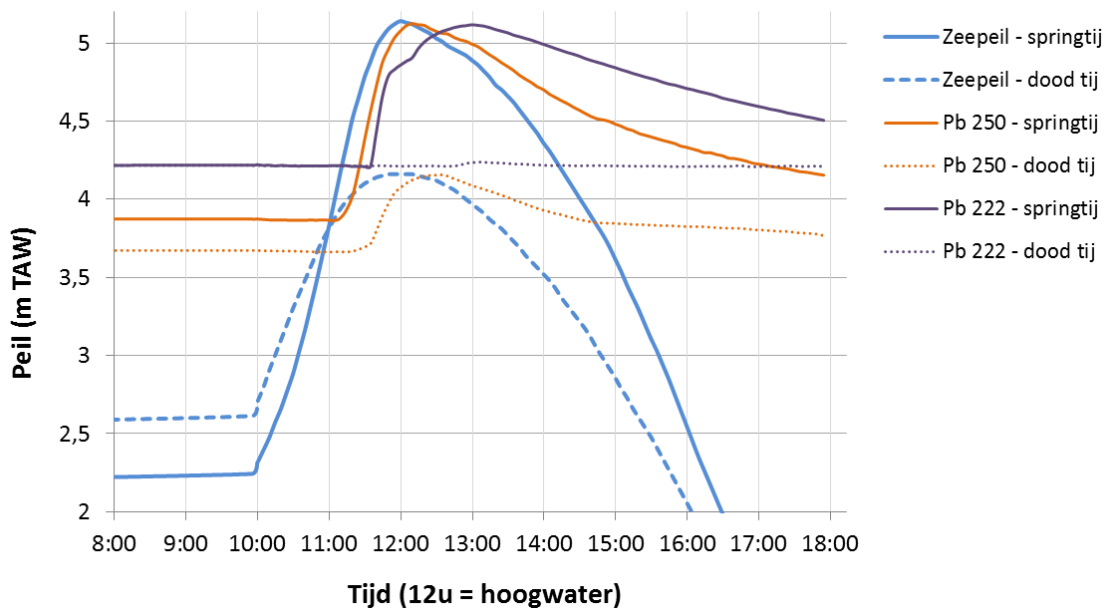
Bij peilbuis 222, 750 m stroomopwaarts van peilbuis 250 in een secundaire kreek zien we dat de maximale waterstand bij het springtij van 7 april 2016 pas 40 minuten later wordt bereikt dan in buis 250. Bij doottij op 18 april is een peilverhoging amper merkbaar. De maximale waterstand wordt er 45 minuten later bereikt dan in 250. Het gemiddeld tijdsverschil over alle tijhoogtes heen bedraagt 49 minuten.

Ook de vorm van de tijgolf in het Zwin is duidelijk veel assymetrischer in het gebied dan op volle zee. Dit komt door de vertraagde afvoer na het hoogwater wat kenmerkend is voor ondiepe gebieden.

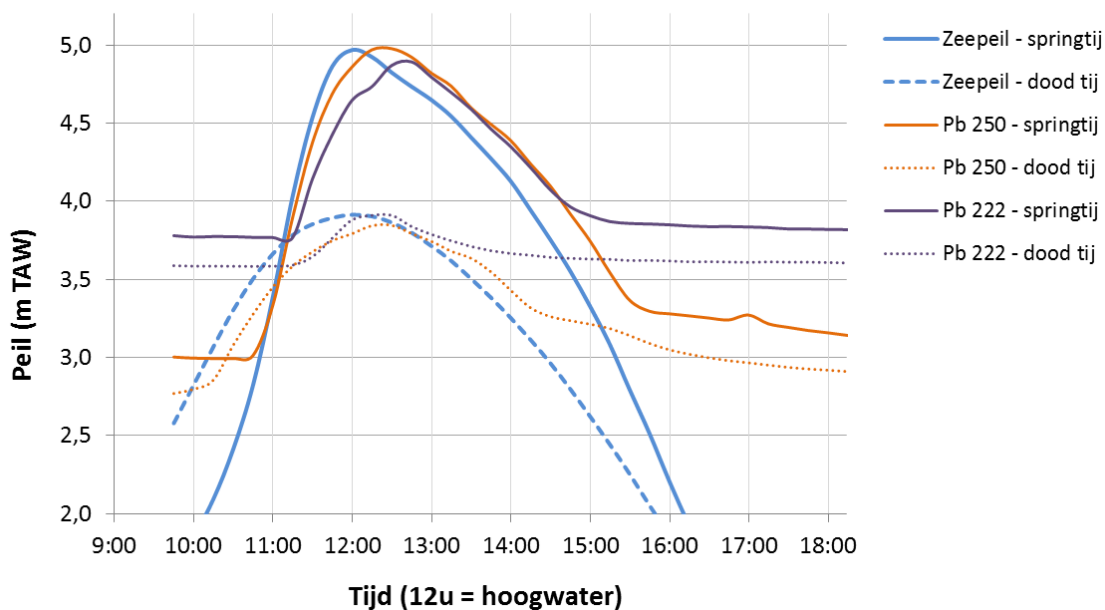
In maart 2021, ruim na de verbreding van de geul én de uitbreiding van het Zwin, is de snelheid en de vorm van de tijgolf in meetpunt 250 en 222 veranderd (figuur 4.2). Voor het hoogwater tijdstip in meetpunt 250 zien we een zeer snelle respons op de inkomende vloedgolf bij springtij waarbij het gemiddeld tijdsverschil is afgenomen van 29 naar 9 minuten. Na hoogwater daalt het veel sneller en pas na meer dan 3u start een afvlakking van de curve. Voor de verruiming van de Zwingeel was de afvlakking vrij direct.

Ook bij meetpunt 222 is de vorm van de curve veranderd. Het verschil met meetpunt 250 is sterk afgenomen, bij springtij tot ca. 15 minuten, bij doottij zien we nog nauwelijks verschil. Ook begint de afvlakking van de curve pas na 2u. Dit betekent dat de vloedgolf veel sneller het gebied binnendringt en bij eb vlugger wegstroomt. Het gemiddeld tijdsverschil tussen de hoogwaters is daarbij zelfs afgenomen van tot 49 naar 9 minuten. Ook ter hoogte van peilschaal 248 aan de stuw, zien we een snelle respons op het inkomend water. De maximale waterstanden worden er bereikt op iets minder dan een half uur na hoogwater in Cadzand.





Figuur 4.1. Spring- en dootij op respectievelijk 7 en 18 april 2016 (vóór de verbreding van de Zwingeuil).

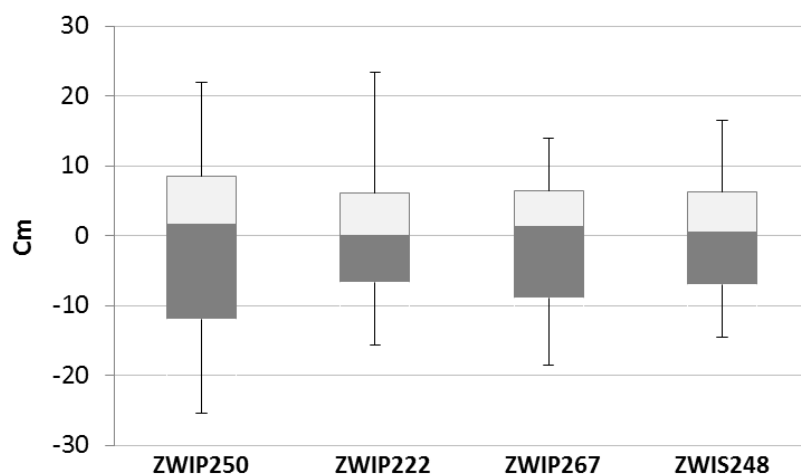


Figuur 4.2. Spring- en dootij op respectievelijk 31 februari en 25 maart 2021.

4.1.2 Hoogteverschil met maximale tijhoogte

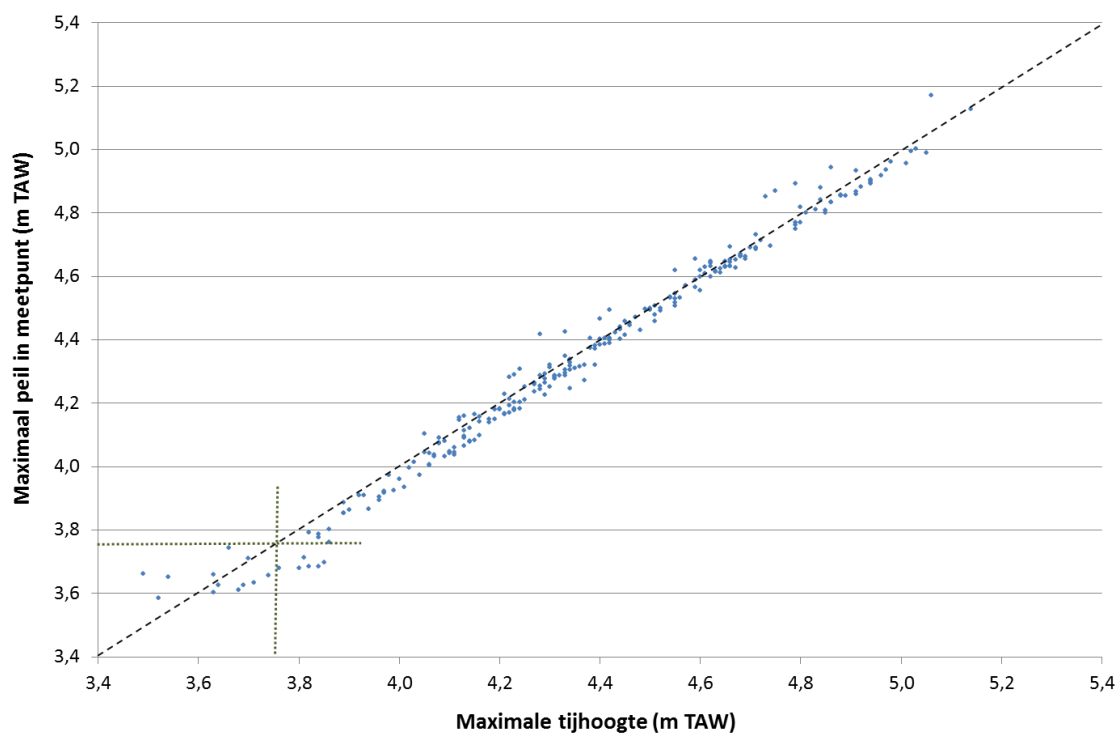
Hoogteverschillen tussen maximale peilen in de meetpunten en maximale hoogwaterstand in Cadzand kunnen met opstuwing of verlaging te maken hebben door windwerking maar ook door de geomorfologie van het gebied (figuur 4.3). Doorgaans (> 10% van de gevallen) blijft de opstuwing onder de 6,5 cm (meetpunten P267, P222 en S248) en onder de 8,5 cm in P250. Verlaging van het peil bedraagt doorgaans (< 90% van de gevallen) minder dan 7 cm in S248 en

P222; 9 cm in P267 en minder dan 12 cm in P250. We zien dus de grootste effecten in meetpunt 250, gelegen dicht bij de hoofdgeul.



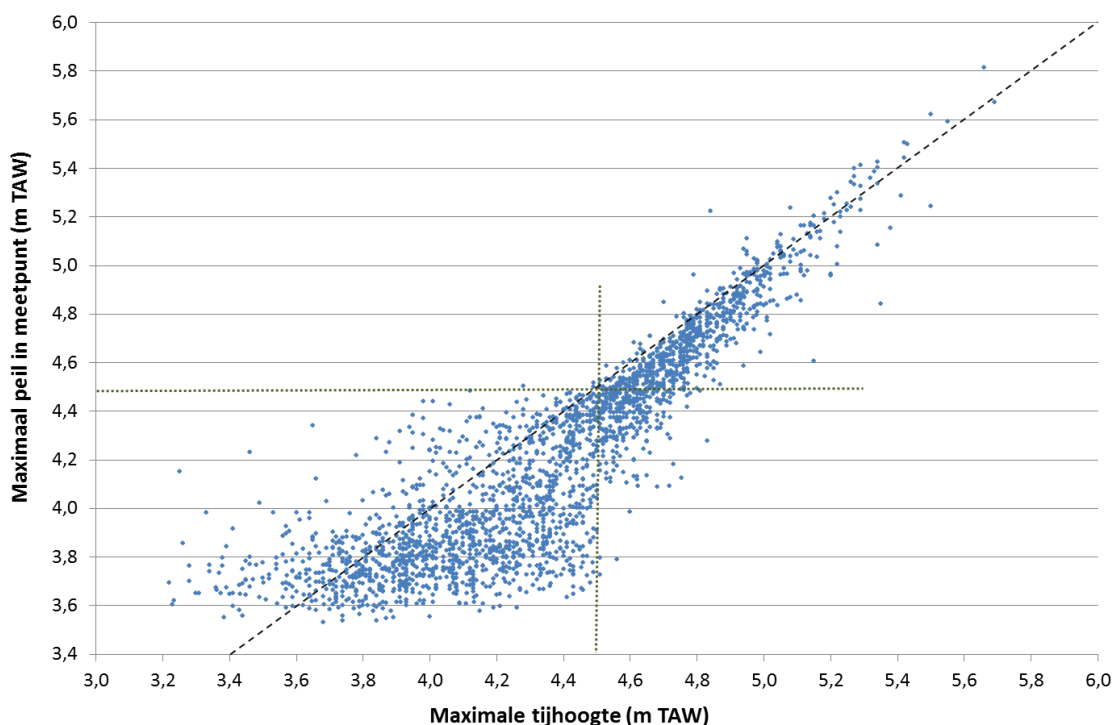
Figuur 4.3. Verdeling van de afwijking van maximale peilen ten opzichte van hoogwater in Cadzand in meetpunten landinwaarts P250, P222, P267 en S248.

De belangrijkste verschillen tussen maximale tijhoogtes op zee en ter hoogte van de peilpunten zijn gerelateerd aan de aard van de getijdoorwerking in het gebied. Ter hoogte van meetpunt 250, gelegen aan een kreek nabij de Zwingeel, zien we een bijna perfecte weerspiegeling van de tijhoogtes in de metingen (figuur 4.4).



Figuur 4.4. Relatie tussen maximale tijhoogte en maximale peil bereikt in meetpunt ZWIP250, met aanduiding van het maaiveldhoogte (in stippellijn).

Hoe meer hydrologisch geïsoleerd een locatie is, hoe sterker de afwijking van de gemeten maximale peilen ten opzichte van de maximale tijhoogtes op zee. Meetpunt 210 (figuur 4.5), nochtans dichtbij de Zwinmondning maar met een relatief lange afwateringskreek, is een recent afgegraven schor dat functioneert als een min of meer geïsoleerde komgrond.



Figuur 4.5. Relatie tussen maximale tijhoogte en maximale peil bereikt in meetpunt ZWIP210.

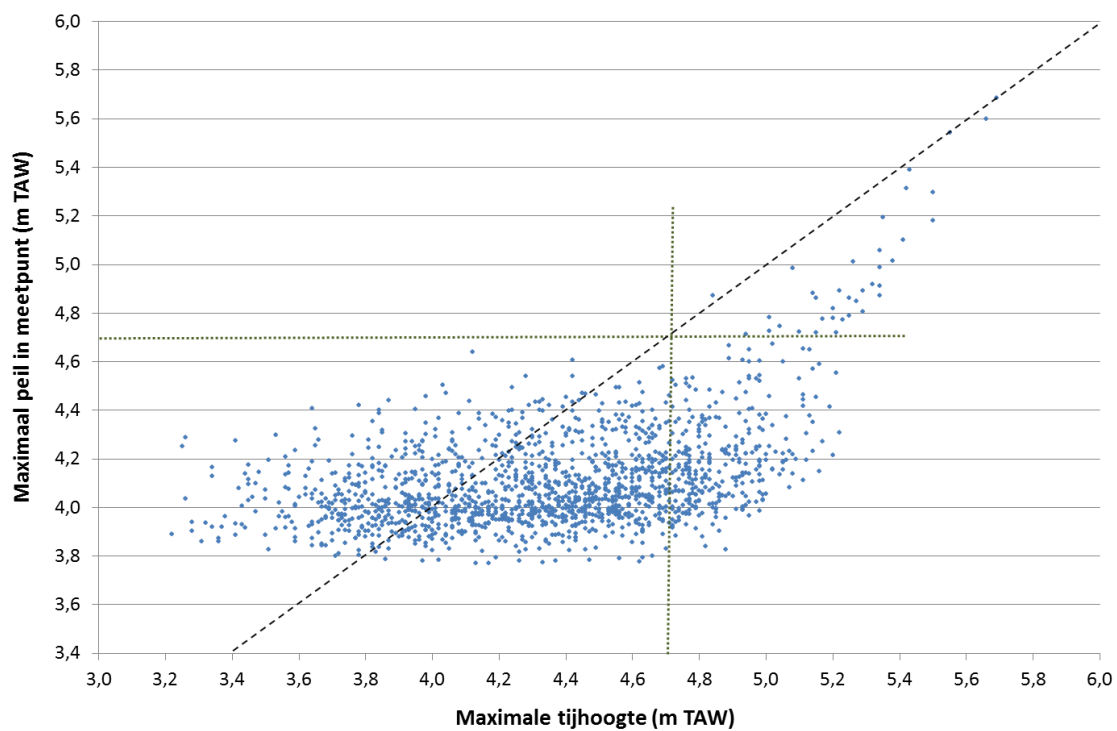
Bij hoogwaters tot meer dan een halve meter boven maaiveld gebeurt de doorstroming vermoedelijke rechtstreeks via de Zwingel d.m.v. zogenaamde ‘**sheet flow**’ of doorstroming over de oeverwal en het schorplateau heen waarbij de waterstanden in dit meetpunt weinig afwijken van de maximale tijhoogte op zee.

Bij hoogwaters lager dan een halve meter boven maaiveld is de doorstroming naar dit geïsoleerd meetpunt 210 (figuur 4.5) beperkter en treedt een verlaging van het hoogwater op. Wanneer de hoogste hoogwaterstand onder maaiveldhoogte komt, blijft het waterpeil in de peilbuis iets hoger staan omwille van de traagheid van de drainage doorheen het sediment. Deze hoogwaters (rechthoek onder de stippellijnen) zijn gekenmerkt door een doorstroming die concentreerd blijft in de kreek. Dit wordt aangeduid met de term ‘**channel flow**’ (Vandenbruwaene et al. 2013).

Meetpunt 204, gelegen achter de zeeleep in het Oude Zwin is hydrologisch nog sterker geïsoleerd dan 210 (figuur 4.6). Het meetpunt is oostwaarts ca. 250 m van een getijdenkreek verwijderd en ligt op 4,7 m TAW waardoor de overspoeling beperkt is. Westelijk ligt een hydrologisch geïsoleerde zone die afgedamd is om rond de broedvogeleilanden een permanent hoge waterstand te garanderen. Het peil stabiliseert hier rond 3,9 m TAW. Bij overstromingen boven maaiveld, wanneer er nog beperkte ‘sheet flow’ optreedt, is er nog een lineair verband tussen hoogwater in het meetpunt en op zee maar op een lager niveau. Bij hoogwaters onder maaiveldhoogte geeft het peil in het meetpunt louter een grondwaterstand weer. Dit is veelal hoger dan het zeepeil door de traagheid van de grondwaterstroming



doorheen het sediment. We zien ook dat de peilen zelden onder 3,9 m wegduiken door de hydrologische stabilisatie in het noordwestelijk terreindeel.



Figuur 4.6. Relatie tussen maximale tijhoogte en maximale peil bereikt in meetpunt ZWIP204.

4.2 STIJGHOOGTEPATRONEN

4.2.1 Noordwestelijk deelgebied: gestuwd & duinovergangen



Dit deelgebied vertoont een sterk gedempt getij door de stuw ter hoogte van meetpunt 248 op ca. 3,9 m TAW. Het vormt het meest 'stroomopwaartse' deel van het Zwin.

4.2.1.1 ZWIP048

Dit meetpunt is gelegen in het Zwinpark en valt net zoals ZWIP047 buiten het meetnet van deze studie. Er zijn slechts enkele metingen voorhanden. Ze wijzen op een voorjaarsgrondwaterstand (periode van één maand rond 1 april) van 4,4 à 4,55 m TAW en een zomerstand (eind augustus 2018 van 3,8 m).

4.2.1.2 ZWIP049

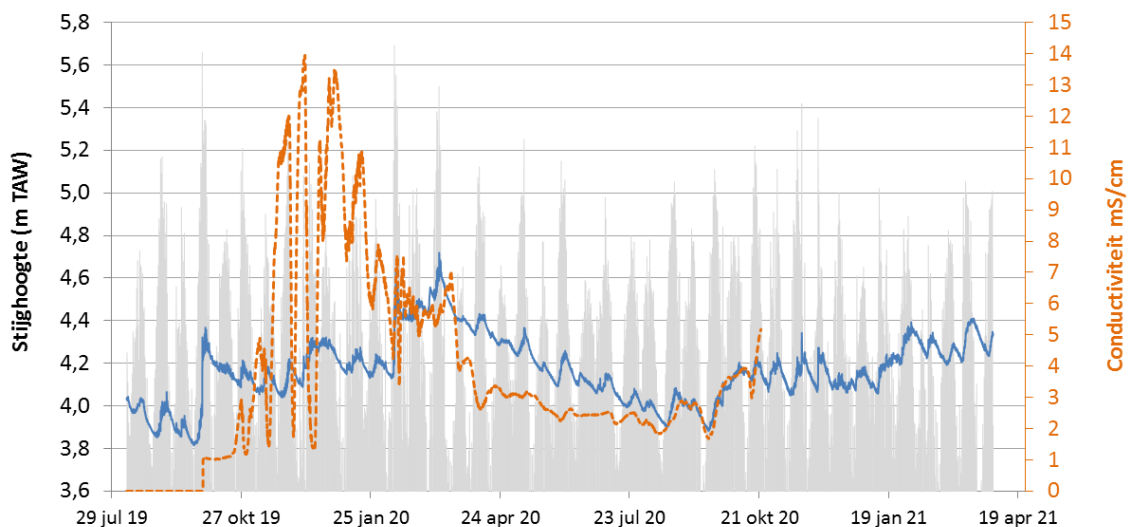
Meetpunt ZWIP049 is aan de rand van het Zwin gelegen en vertoont hydrologische kenmerken van zowel het getijdengebied als van de aanpalende duinen. Het maaiveld ter hoogte van het meetpunt ligt op 6,05 m TAW en is dus nooit overstroomd in de hier beschouwde periode.

Het gemiddeld peil in de periode augustus 2019 - augustus 2020 is 4,18 m TAW. Dit peil ligt 17 cm lager dan het gemiddeld hoogwater (4,35 m TAW). Door de lage evapotranspiratie in de winter klimt het peil tot rond of iets hoger dan de hoogwaterstand (figuur 4.7-4.8). Door de opbolling van de grondwatertafel onder de duinen stroomt het grondwater daarmee 's winters vanuit de Zwinduinen richting Zwin (Provoost et al. 2020). Tijdens de zomer zakt het peil tot uiteindelijk ca. 4 m TAW in augustus-september. Dit peil blijft echter hoger dan dit in de duinen, waar het grondwater door de evapotranspiratie veel dieper wegzakt. Hierdoor treedt een grondwaterstroming op vanuit het Zwin richting Zwinduinen en -polders. De jaarlijkse grondwaterschommelingen in meetpunt ZWIP049 worden dus duidelijk getemperd door de getijdeninvloed. Tussen de zomer van 2019 en de winter van 2020 bedroeg het maximaal verschil in grondwaterstand 90 cm. Tussen zomer 2020 en winter 2021 slechts 53 cm, wat heel laag is in vergelijking met de peilschommelingen middenin de duinen. In de Kleine Vlakte bijvoorbeeld lopen die op tot gemiddeld 120 cm. De enkele metingen in ZWIP048 bevestigen dit regime van alternerende richting van de grondwaterstroming.

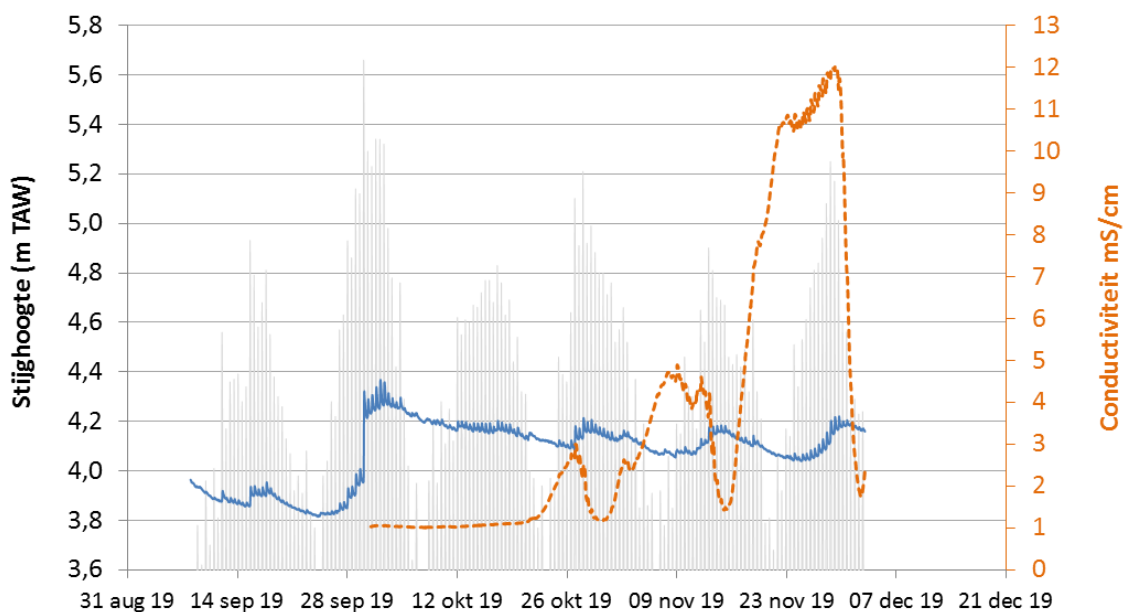
De landwaartse grondwaterstroming in de zomer lijkt niet te leiden tot een onmiddellijke verzilting van het ondiepe grondwater. Die treedt pas op in de herfst, in 2019 vanaf november.



De gemeten conductiviteit blijft ook relatief laag (maximum 13 mS/cm), wat wijst op temporele brakke condities.



Figuur 4.7. Verloop van stijghoogte (blauw) en conductiviteit (oranje) in meetpunt ZWIP049 (maaiveld op 6,05m TAW). In grijs het zeepeil in Cadzand.



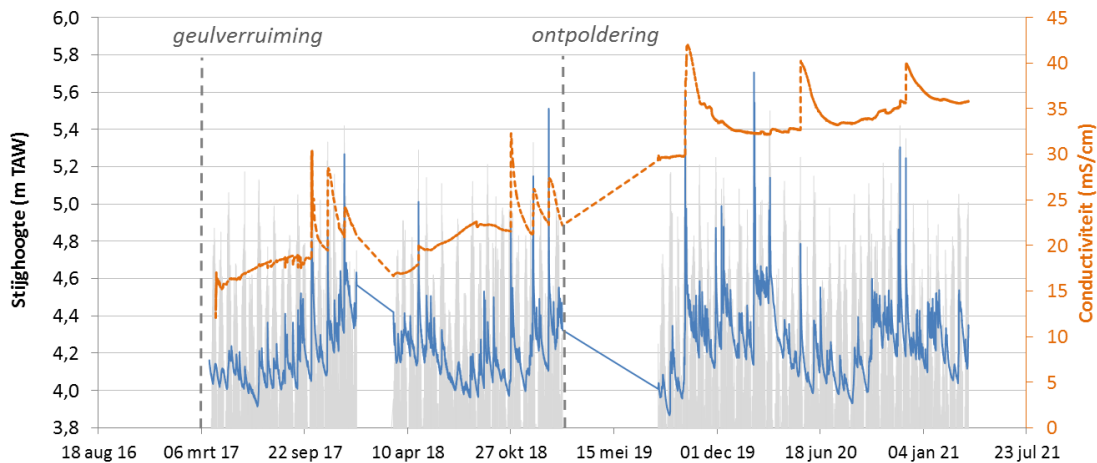
Figuur 4.8. Detail van het verloop van stijghoogte (blauw) en conductiviteit (oranje) in meetpunt ZWIP049. In grijs het zeepeil in Cadzand.

4.2.1.3 ZWIP203

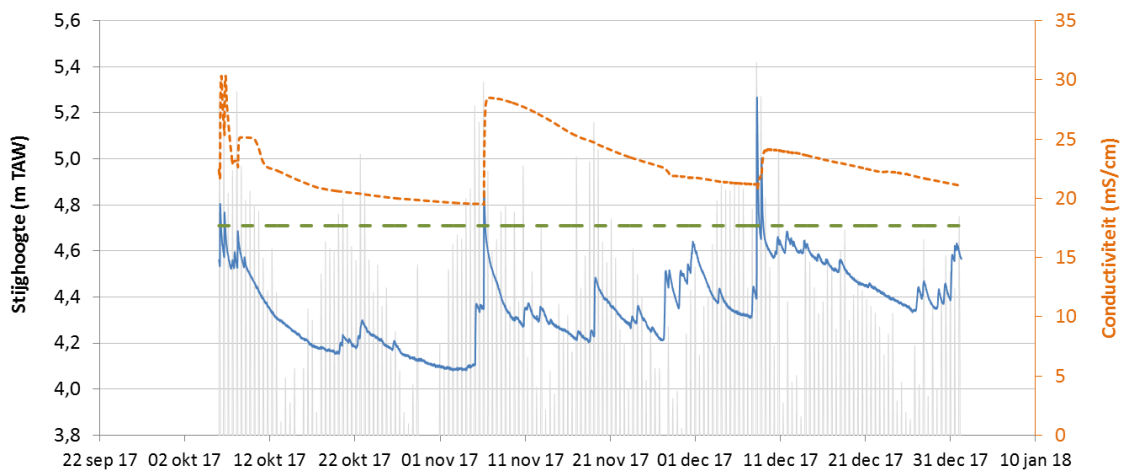
Meetpunten 203, 204 en 205 bevinden zich op de overgang tussen het intertidale deel van het Zwin en de zeereep ten noorden. De peilen van peilbuis 203 bevinden zich gemiddeld op 4,22 m TAW, dus 13 cm onder het gemiddeld hoogwaterpeil. Ze vertonen een duidelijk seizoenaal verloop (figuur 4.9-4.10). Tijdens de wintermaanden stijgt het water tot omstreeks het



gemiddeld hoogwaterpeil (bijvoorbeeld januari-februari 2020: gemiddeld 4,37 m TAW) en tijdens de zomermaanden zakt het weg tot enkele dm onder dit peil (bijvoorbeeld juli-augustus 2020: gemiddeld 4,08 m TAW). De seizoenale schommelingen van deze gemiddelden bedragen dus slechts enkele decimeters. Daar bovenop vertonen de peilen in buis 203 echter grote fluctuaties gerelateerd aan het getij. De springtijcycli zijn duidelijk weerspiegeld in de waterstanden en resulteren in maandelijkse schommelingen met een amplitude van enkele decimeters tot ruim een meter bij hoge spring-waterstanden. Door de beperking van de afvoer door de stuw komt het grondwater niet lager dan ca. 3,9 m TAW.



Figuur 4.9. Verloop van stijghoogte (blauw) en conductiviteit (oranje) in meetpunt ZWIP203. In grijs het zeepeil in Cadzand.

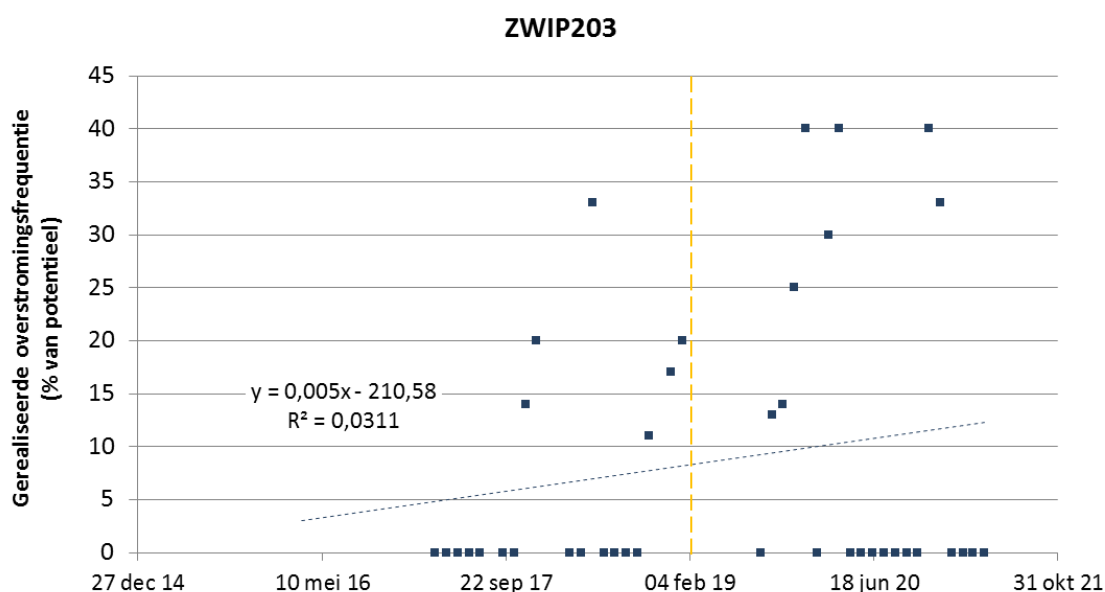


Figuur 4.10. Detail van het verloop van stijghoogte (blauw) en conductiviteit (oranje) in meetpunt ZWIP203. In grijs het zeepeil in Cadzand.

De conductiviteit vertoont een piekig patroon dat samengaat met springtij overstromingen. Opvallend is de geleidelijke stijging van de conductiviteit na de verruiming van de Zwingeel (afgewerkt maart 2017) van ca. 20 tot 35 mS/sec.

Na de verruiming van de Zwingel kon het zoute water steeds dieper in het gebied binnendringen o.a. door stroomopwaartse uitschuring van de kreek nabij de internationale dijk tot aan de stuw. Na de ontpoldering in februari 2019 vergrootte de kreekwijdte abrupt door aantakking aan de hoofdgeul via een breed uitgegraven geul ten zuiden van de Internationale Dijk. Wellicht heeft deze verhoogde getij-indringing geleid tot een verhoogde zoutwaterstand in de plas rond de vogeleilanden. We zien in ieder geval een lichte stijging van de gemiddelde waterstanden in meetpunt 203 in de periode maart 2017 – maart 2021 maar deze trend is niet significant (lineaire regressie: F-toets; n=35; p=0,056). Dit gaf wellicht toch aanleiding tot een geleidelijke verhoging van de saliniteit in deze zone. In meetpunt 205, meer oostelijk gelegen maar ook achter de zeereep, is deze trend niet te zien. Deze peilbuis ligt in het noordoostelijk gebied die steeds rechtstreeks beïnvloed is door af- en aanvoer van overstromingswater vanuit de Zwingel. Daar zien we net veel hogere schommelingen van de geleidbaarheid evenals van de stijghoogtes.

De overstromingsfrequentie in meetpunt 203 is zeer laag, gemiddeld treedt één dag om de 2 maanden een overstroming op van het maaiveld ter hoogte van het meetpunt (4,86 m TAW). De potentiële frequentie ligt hoger, namelijk rond 4 dagen per maand. Slechts 12% van de potentiële overstromingsdagen treedt er effectief overstroming op. Evenals de gemiddelde maandelijkse waterstand vertoont ook de ‘gerealiseerde overstromingsfrequentie’ (figuur 4.11), de verhouding tussen het aantal dagen met reële en potentiële overstroming een stijging maar deze trend is duidelijk niet significant (F-toets; n=39; p=0,35).



Figuur 4.11. Verloop van de maandelijks ‘gerealiseerde overstromingsfrequentie’, de verhouding tussen het aantal dagen met reële en potentiële overstroming in meetpunt ZWIP203.

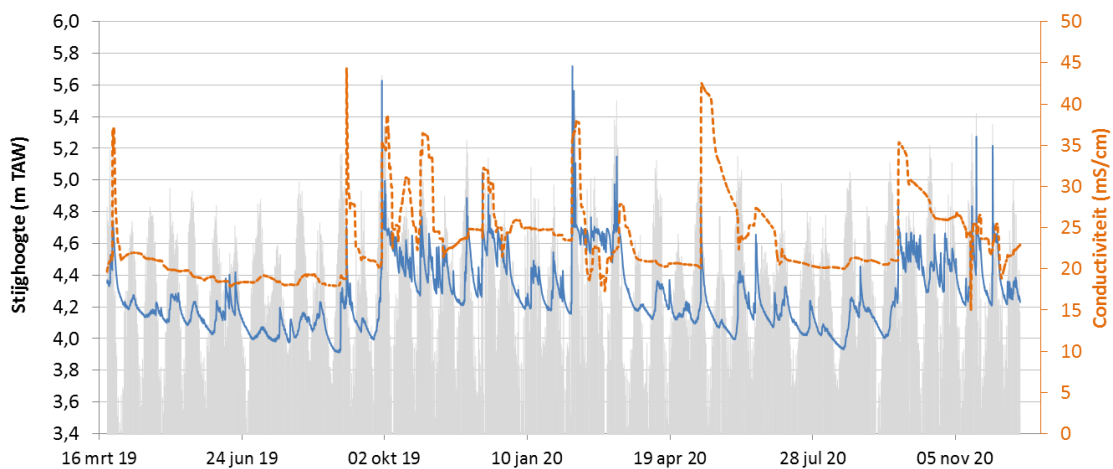
4.2.1.4 ZWIP213

Meetpunt ZWIP213 is centraal in het Oude Zwin gelegen, net ten noorden van het lage duin. Zowel maaiveld als top van de peilbuis bevinden zich op 4,71 m TAW. Het gemiddelde grondwaterpeil over de hele meetperiode (gestart na de ontpoldering) bedraagt 4,26 m TAW, duidelijk hoger dan in ZWIP209 en ZWIP210 uit het noordoostelijk gebied in dezelfde periode.

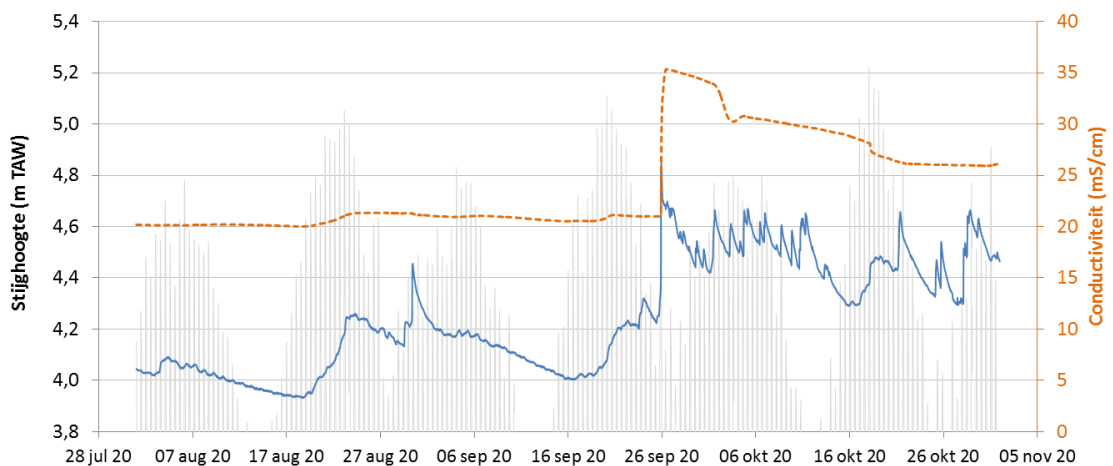
Dit heeft wellicht ook te maken met het beperkter wegzakken van het peil ten gevolge van de stuwning van de dichtstbijzijnde kreek op ca. 3,9 m TAW. In het verloop van de peilen zien we vooral de springtijcycli weerspiegeld, al is de impact beperkt tot een schommeling van ca. 20 cm. De invloed van het dagelijks getij is beperkt tot hoogstens enkele cm (figuur 4.12-4.14).

Op 29 september 2019 tonen de peilen een opvallende sprong vlak na de herfst-equinox. Op dat moment wordt een hoogwaterpeil van 5,66 m TAW bereikt in Cadzand, ruim boven de lokale maaiveldhoogte. Een gelijkaardig fenomeen maar minder uitgesproken doet zich voor op 25 sept 2020. Het hoogwater bereikt dan 4,84 m TAW in Cadzand. Tot slot is ook een licht effect van de seizoenale variatie in de evapotranspiratie merkbaar met nazomerpeilen die een twintigtal cm lager liggen dan die in het voorjaar.

De geleidbaarheid in ZWIP213 wijst op overwegend brak grondwater. Vanuit het duintje treedt wellicht een min of meer continue stroming op van zoet water. Bij overstroming zijn pieken in de geleidbaarheid zichtbaar tot het niveau gemeten bij zeewater.

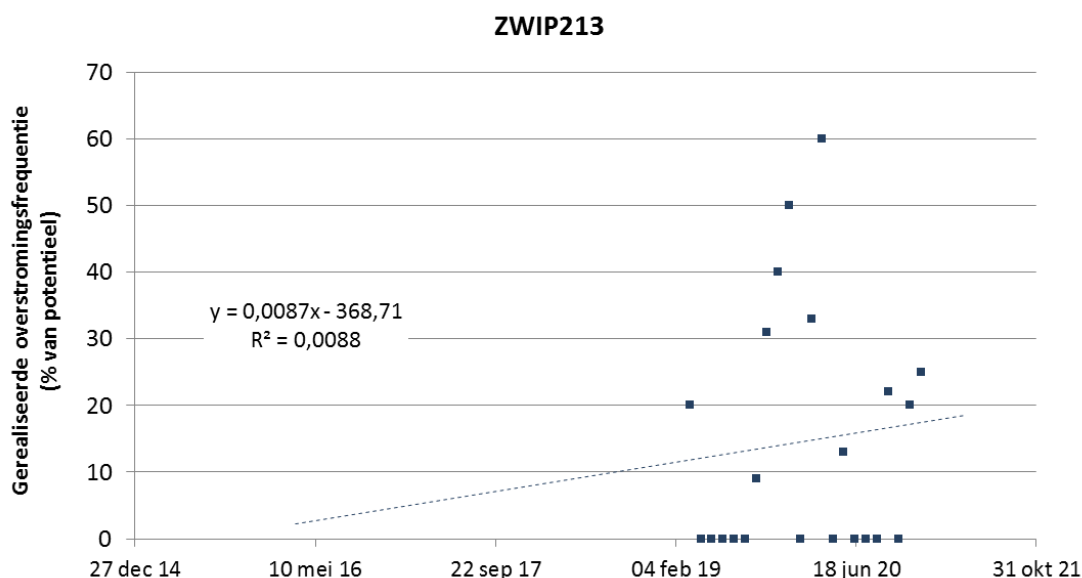


Figuur 4.12. Verloop van stijghoogte (blauw) en conductiviteit (oranje) in meetpunt ZWIP213 (mv: 4,71m TAW). In grijs het zeepeil in Cadzand.



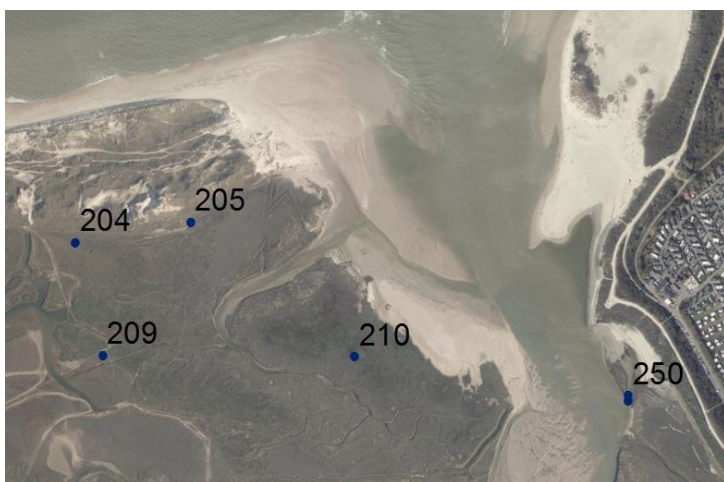
Figuur 4.13. Detail van het verloop van stijghoogte (blauw) en conductiviteit (oranje) in meetpunt ZWIP213. In grijs het zeepeil in Cadzand.

De overstromingsfrequentie is zeer laag, gemiddeld treedt overstroming op van het maaiveld ter hoogte van het meetpunt (4,72 m TAW) tijdens 1 dag per maand. De potentiële frequentie ligt beduidend hoger, namelijk 7,4 dagen per maand. Slechts 15% van de potentiële overstromingsdagen treedt er effectief overstroming op. Er is geen significante trend in de 'gerealiseerde overstromingsfrequentie' (figuur 4.14), de verhouding tussen het aantal dagen met reële en potentiële overstroming (F-toets; n=21; p=0,69). De meetreeks is wel heel kort om een mogelijke trend te detecteren.



Figuur 4.14. Verloop van de 'gerealiseerde overstromingsfrequentie', de verhouding tussen het aantal dagen met reële en potentiële overstroming per maand in meetpunt ZWIP213.

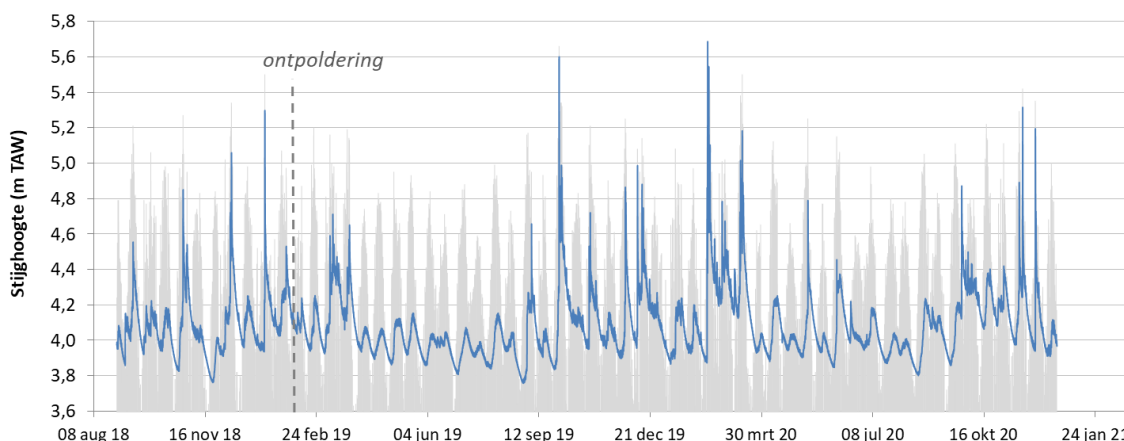
4.2.2 Noordoostelijk deelgebied nabij de Zwinmondig



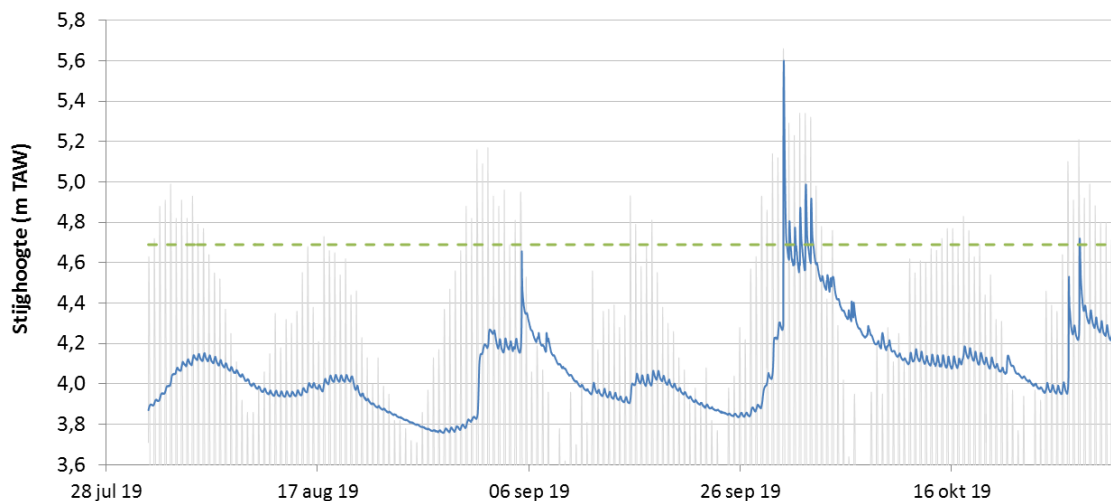
Deelgebied waar de nabijheid van de Zvingeul (en haar verruiming) een grote rol speelt.

4.2.2.1 ZWIP204

Meetpunt 204 is net zoals 203 aan de binnenrand van de zeeleep gelegen. Het gemiddeld peil bedraagt 4,08 m TAW. Er is een zwakke seizoenale fluctuatie van een 20-tal cm merkbaar maar die wordt in amplitude ruim overtroffen door de getijden-invloed (figuur 4.15-4.16). De maandelijks schommelingen bedragen zonder extreem hoogwater 20 tot 30 cm maar lopen op tot meer dan een meter bij hoog springtij. Ook de dagelijkse tijcycli worden weerspiegeld in de peilen maar die veroorzaken niet meer dan een 'rimpeling' van enkele centimeters.

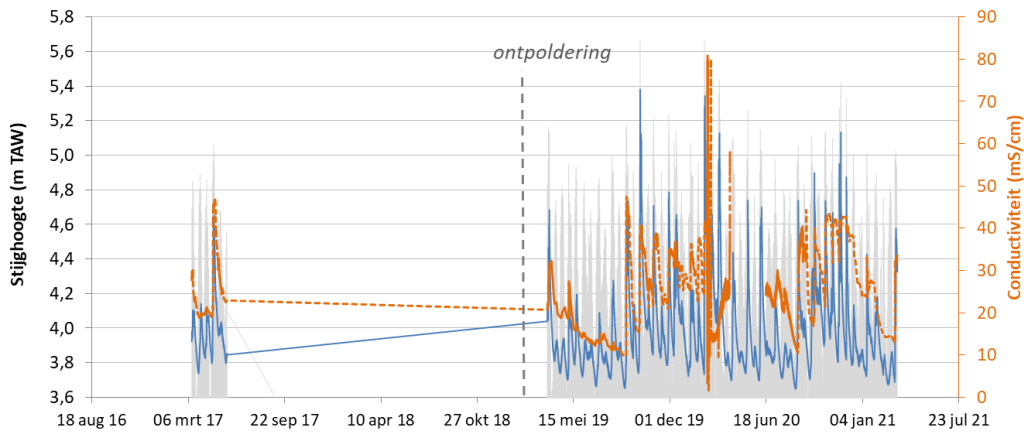


Figuur 4.15. Verloop van stijghoogte in meetpunt ZWIP204 (mv: 4,76m TAW). In grijs het zeepeil in Cadzand.

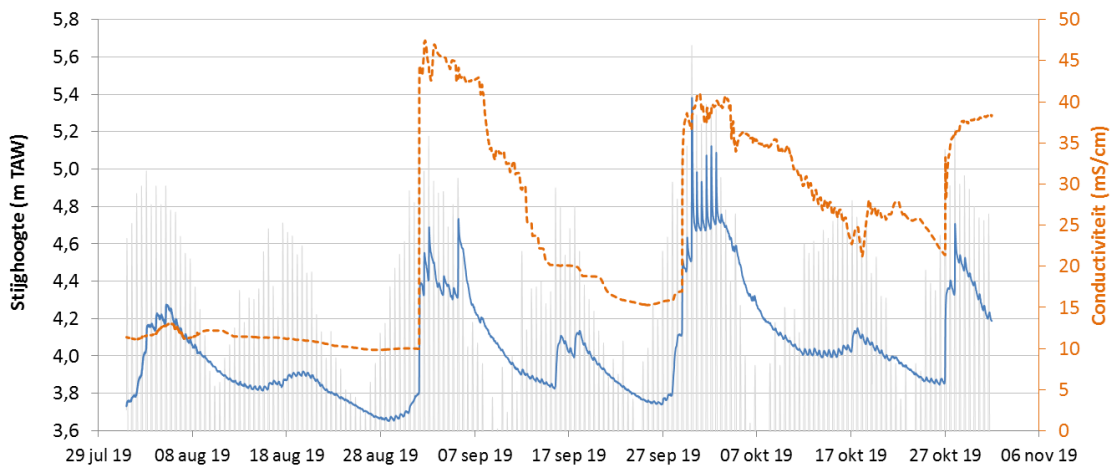


Figuur 4.16. Detail van het verloop van stijghoogte in meetpunt ZWIP204. In grijs het zeepeil in Cadzand.

De overstromingsfrequentie is zeer laag, gemiddeld treedt overstroming van het maaiveld ter hoogte van het meetpunt op tijdens 0,8 dagen per maand (4,76 m TAW). De potentiële frequentie ligt hoger, namelijk tegen 7 dagen per maand. Vergelijking met meetpunten 205 leert ons dat een maaiveld-hoogteverschil van 10 cm aanleiding geeft tot bijna een verdubbeling van de overstromingsfrequentie.

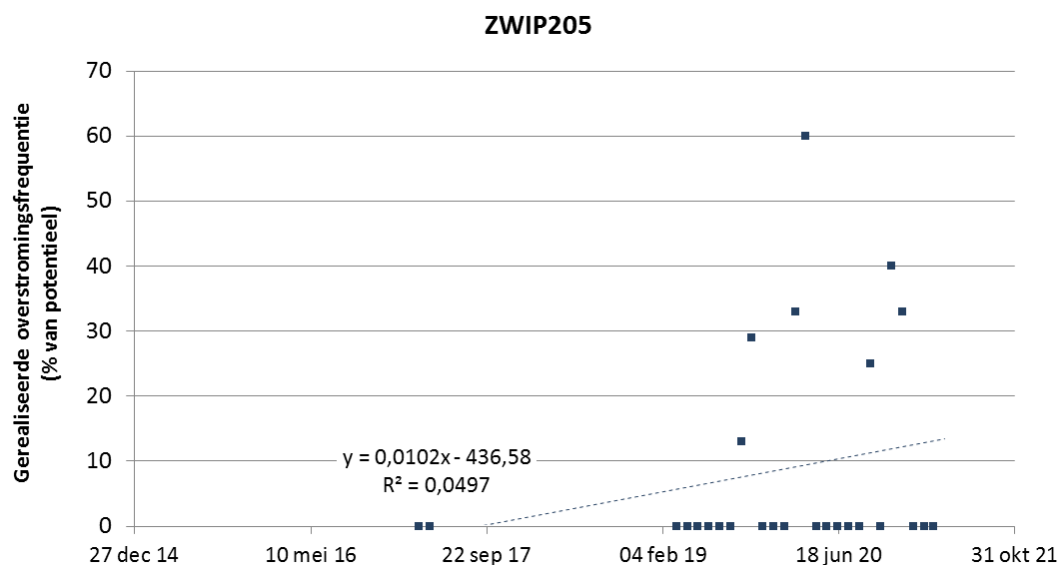


Figuur 4.18. Verloop van stijghoogte (blauw) en conductiviteit (oranje) in meetpunt ZWIP205 (mv: 4,84m TAW). In grijs het zeepeil in Cadzand.



Figuur 4.19. Detail van het verloop van stijghoogte (blauw) en conductiviteit (oranje) in meetpunt ZWIP205 (mv 4,84m TAW). In grijs het zeepeil in Cadzand.

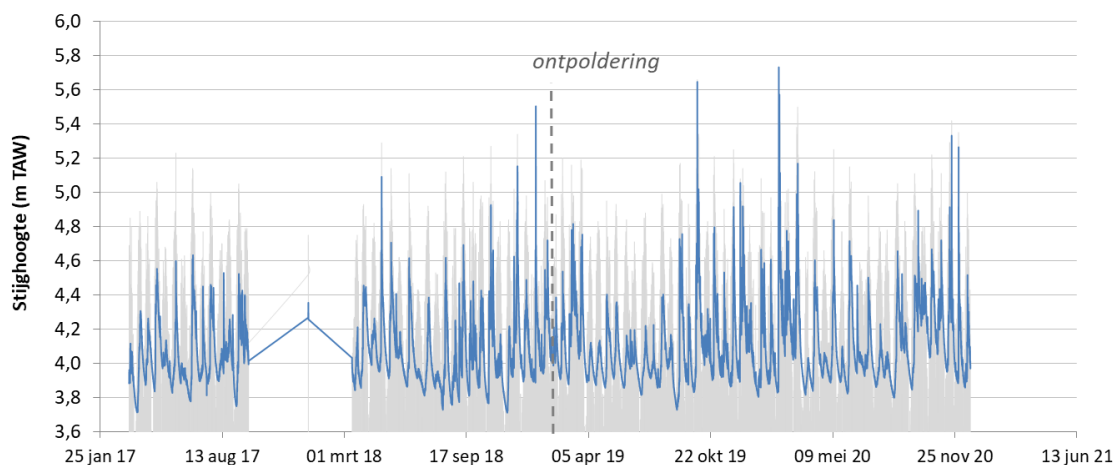
De overstromingsfrequentie is zeer laag, gemiddeld treedt één dag om de 2 maanden een overstroming op van het maaiveld ter hoogte van het meetpunt (4,84 m TAW, cfr. ZWIP203). De potentiële frequentie ligt hoger, namelijk rond 4 dagen per maand. Slechts in 13% van de potentiële overstromingsdagen treedt er effectief overstroming op. Er is geen significante trend te bespeuren in de 'gerealiseerde overstromingsfrequentie' (figuur 4.20), de verhouding tussen het aantal dagen met reële en potentiële overstroming (F-toets; $n=24$; $p=0,36$).



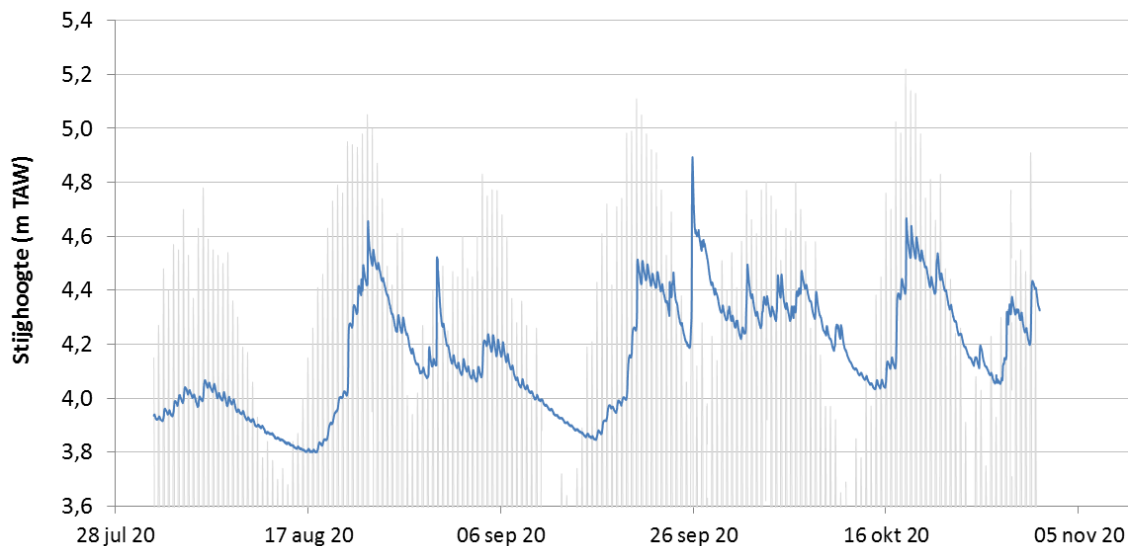
Figuur 4.20. Verloop van de 'gerealiseerde overstromingsfrequentie', de verhouding tussen het aantal dagen met reële en potentiële overstroming per maand in meetpunt ZWIP205.

4.2.2.3 ZWIP209

Meetpunt 209 ligt middenin het Oude Zwin, en net als meetpunt 213 op een relatief hooggelegen locatie (4,75 m TAW). Het ligt op de overgang van het gestuwde gebied rond de vogeleilanden en het oostelijke, getijafhankelijke deel van het oude Zwin. Het gemiddelde grondwaterpeil bedraagt 4,07 m TAW en zakt ook iets dieper weg dan het stuwniveau van het westelijk gebied van ca 3,9 m TAW. In het verloop van de peilen zien we vooral de springtijcycli weerspiegeld. Het dagelijks getij is beperkt zichtbaar; bij hogere waterstanden zien we een fluctuatie van ca. 10 cm per getijdencyclus (figuur 4.21-4.22).

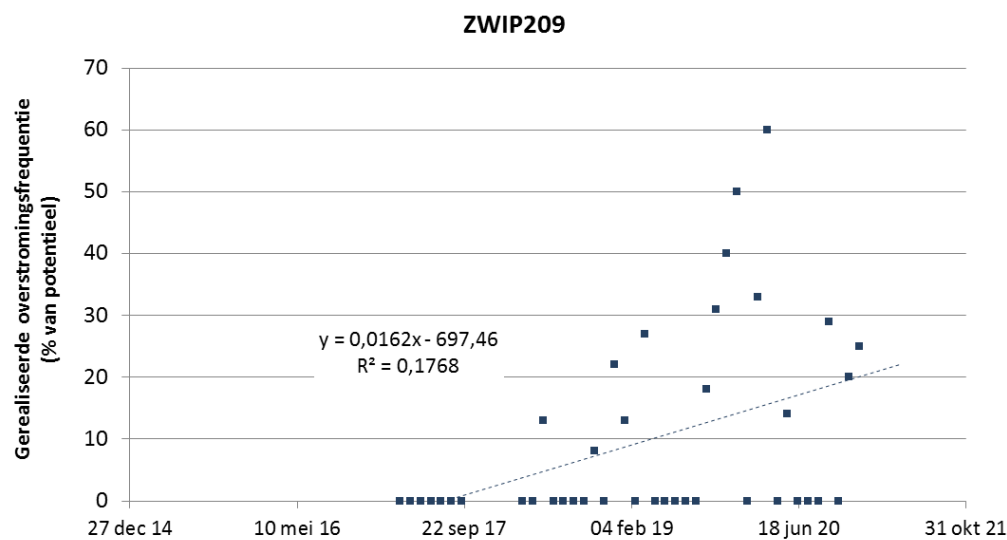


Figuur 4.21. Verloop van stijghoogte in meetpunt ZWIP209 (mv: 4,75 m TAW). In grijs het zeepeil in Cadzand.



Figuur 4.22. Detail van het verloop van stijghoogte in meetpunt ZWIP209. In grijs het zeepeil in Cadzand.

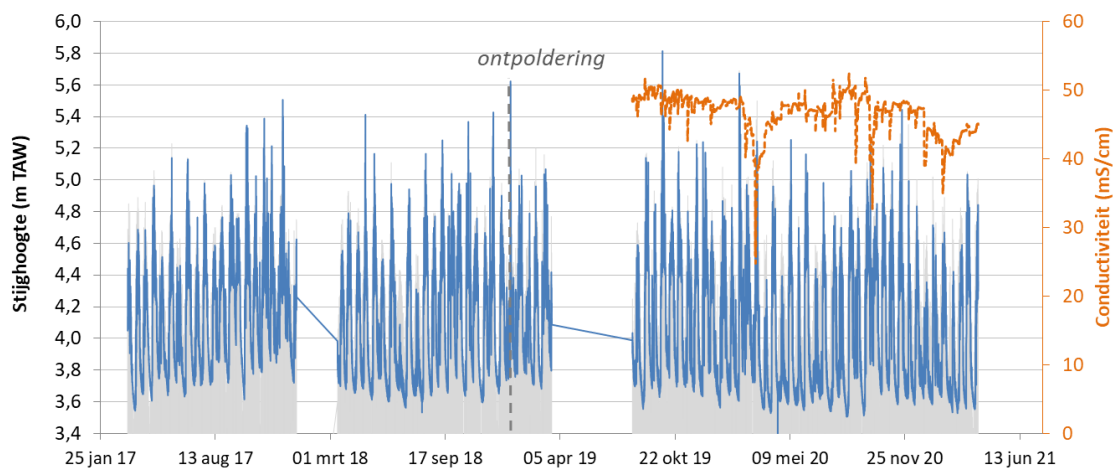
De overstromingsfrequentie is laag, gemiddeld treedt overstroming op van het maaiveld ter hoogte van het meetpunt (4,75 m TAW) tijdens 0,8 dagen per maand. De potentiële frequentie ligt hoger, namelijk tegen 7 dagen per maand (vergelijkbaar met ZWIP204). Slechts tijdens 12% van de potentiële overstromingsdagen treedt er effectief overstroming op. Er is wel een significante toename van de ‘gerealiseerde overstromingsfrequentie’ (figuur 4.23), de verhouding tussen het aantal dagen met reële en potentiële overstroming (F-toets; n=40; p=0,0057).



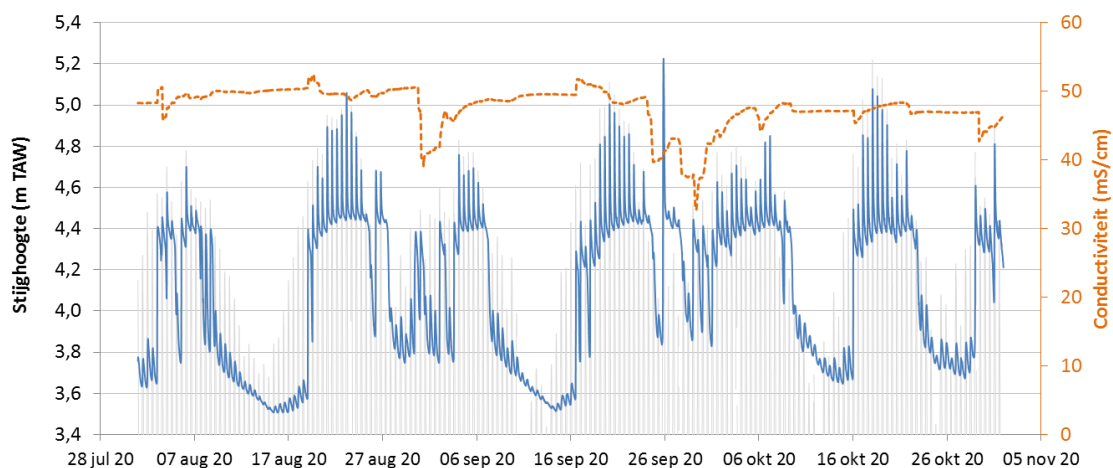
Figuur 4.23. Verloop van de ‘gerealiseerde overstromingsfrequentie’, de verhouding tussen het aantal dagen met reële en potentiële overstroming in meetpunt ZWIP209.

4.2.2.4 ZWIP210

Meetpunt ZWIP210 is gelegen in een afgeplagd deel van het Oude Zwin (2013). Het maaveld bevindt er zich op 4,53 m TAW. Het gemiddelde grondwaterpeil over de hele meetperiode bedraagt 4,05 m TAW (vergelijkbaar met ZWIP209). In het verloop van de peilen zien we zowel de springtijcycli als het dagelijks getij weerspiegeld. De springtijcycli veroorzaken schommelingen van ca. 1,5 m. Bij doortij is de fluctuatie veroorzaakt door het dagelijks tij beperkt tot enkel cm, bij springtij loopt die op tot ca. 60 cm (figuur 4.24-4.25).



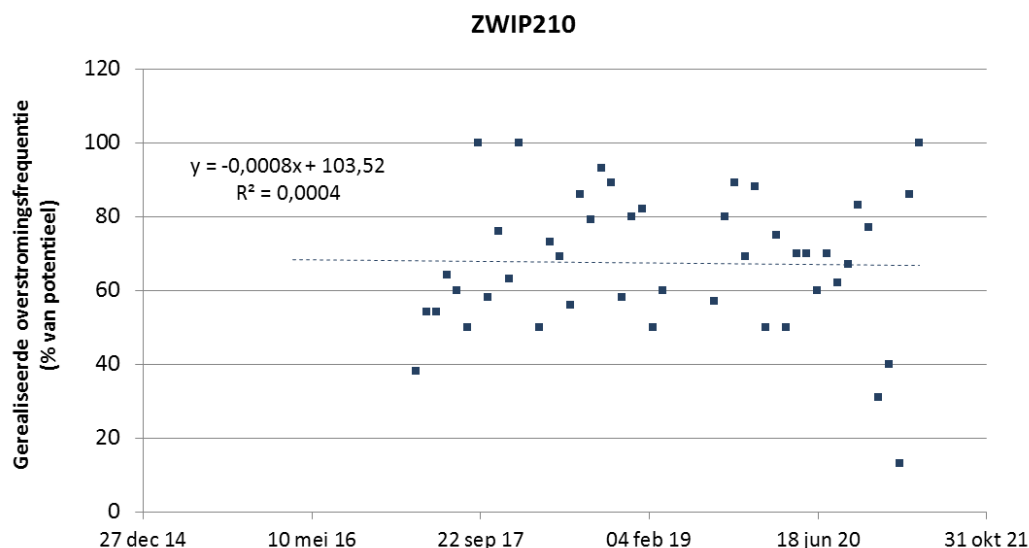
Figuur 4.24. Verloop van stijghoogte (blauw) en conductiviteit (oranje) in meetpunt ZWIP210 (mv: 4,53 m TAW). In grijs het zeepeil in Cadzand.



Figuur 4.25. Detail van het verloop van stijghoogte (blauw) en conductiviteit (oranje) in meetpunt ZWIP210. In grijs het zeepeil in Cadzand.

We meten een nagenoeg constante hoge conductiviteit met waarden tussen 40 en 50 mS/cm (zeewater). Dippen in de geleidbaarheid komen overeen met perioden van hoge hoge regenval zoals bijvoorbeeld begin maart 2020, eind september 2020 en begin februari 2021.



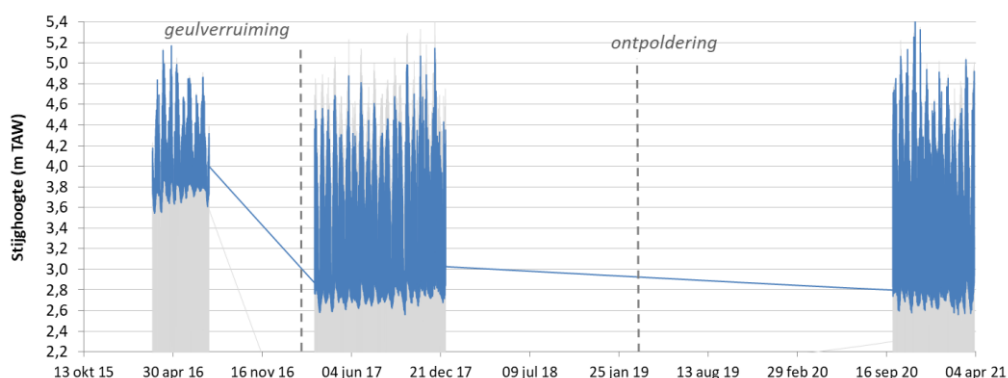


Figuur 4.26. Verloop van de 'gerealiseerde overstromingsfrequentie', de verhouding tussen het aantal dagen met reële en potentiële overstroming in meetpunt ZWIP210.

De overstromingsfrequentie is matig hoog, gemiddeld treedt overstroming op van het maaiveld ter hoogte van het meetpunt (4,53 m TAW) tijdens 9 dagen per maand. De potentiële frequentie ligt iets hoger, namelijk 13 dagen per maand. Ongeveer 70% van de potentiële overstromingsdagen treedt er effectief overstroming op. Er is geen trend in de 'gerealiseerde overstromingsfrequentie' (figuur 4.26), de verhouding tussen het aantal dagen met reële en potentiële overstroming. Effecten van de ontpoldering zijn op deze locatie dus beperkt. De impact van Zwingelverruiming valt niet uit deze meetreeks af te leiden.

4.2.2.5 ZWIP250

Het peilverloop in meetpunt ZWIP250 is sterk vergelijkbaar met dat van ZWIP222, beiden geplaatst voor de Zwingelverruiming. Het verschil is een snellere respons van peilbuis 250 op de getijden. We zien hier een sterke daling van de gemiddelde peilen optreden na de geulverruiming (2/8/2016 – 9/03/2017) van 3,9 m TAW in 2016 naar 3,08 TAW in 2017 (figuur 4.27). De buis is na erosie van de oude kreekbodem verplaatst (foto 4.1) naar een dieper punt 68 cm lager in de nieuwe kreek. Dit zorgde voor een lichte stijging van het gemiddeld peil naar 3,2 m in 2020.



Figuur 4.27. Verloop van stijghoogte in meetpunt ZWIP250 (mv2016-17: 3,87 m TAW; mv2020: 3,19 m TAW). In grijs het zeepeil in Cadzand.





Foto 4.1 peilbuislocatie van meetpunt ZWIP250 op a) 14 maart 2016, b & c) 13 maart 2017 en d) 30 september 2020

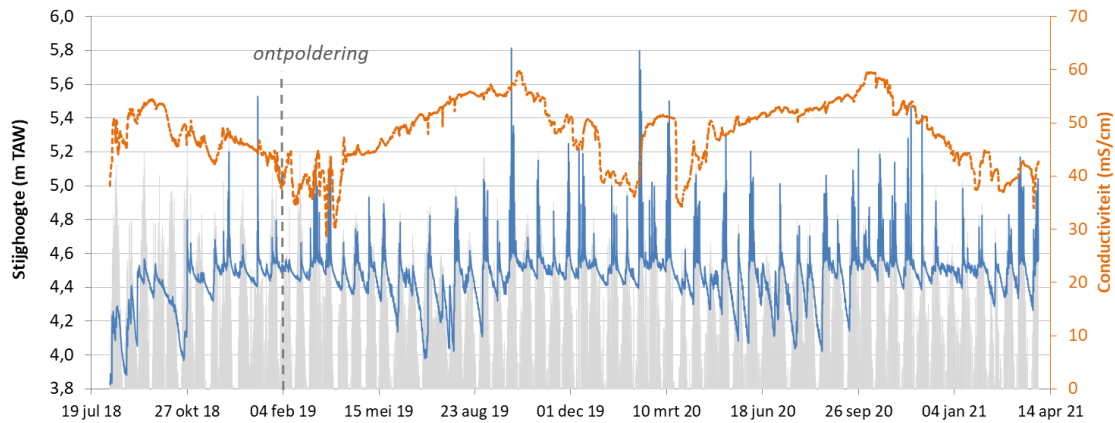
4.2.3 Zuidwestelijk gebied (met nieuwe afwatering via de Zwinuitbreiding)



Dit gebied onderging de grootste hydrologische verandering door een wissel van de hoofdkreek. Voor de ontpoldering van februari 2019 bestond deze uit een smalle kreek ten noorden van de internationale dijk. Na de ontpoldering vormde de breed uitgegraven geul ten zuiden van de Internationale Dijk de belangrijkste hoofdkreek en werd de oude gedempt.

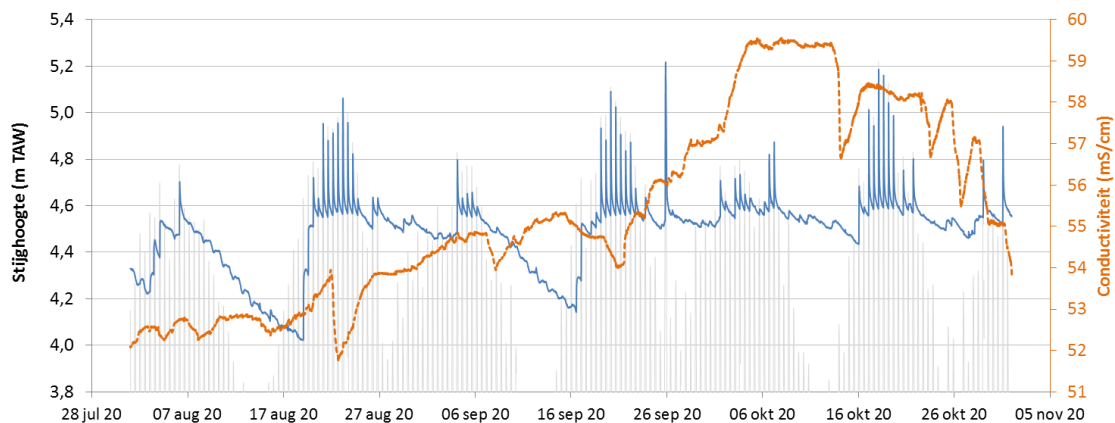
4.2.3.1 ZWIP215

Meetpunt 215 ligt aan de rand van een depressie in het zuidwesten van het Oude Zwin. Maaiveldhoogte is 4,63 m en gemiddeld grondwaterpeil bedraagt 4,45 m TAW. Het peil schommelt sterk rond dit gemiddelde. Er is een uitgesproken piekenpatroon aanwezig, gerelateerd aan de springtijcyclus, met fluctuaties tot ongeveer een meter. In tegenstelling tot bijvoorbeeld buis 213, in het noordwestelijk gedempt getijgebied, is het effect van extreem hoge waterstanden in peilbuis 215 snel uitgewerkt. Dit wijst op een belangrijk drainerend effect van de nabijgelegen geul. Hierdoor zijn ook de dagelijkse fluctuaties bij springtij sterk uitgesproken met een amplitude tot ongeveer 60 cm (figuur 4.29-4.30).



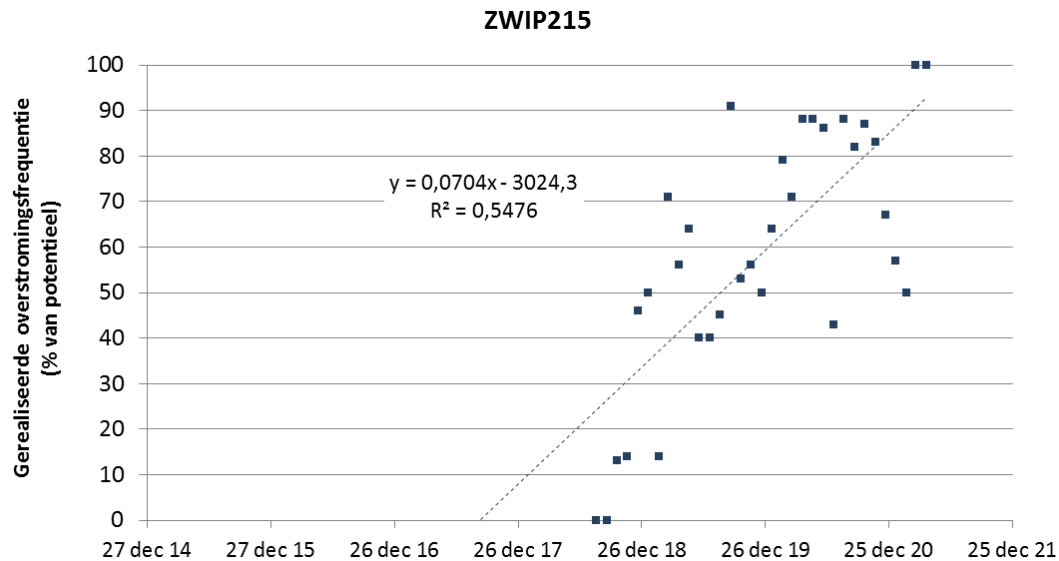
Figuur 4.29. Verloop van stijghoogte (blauw) en conductiviteit (oranje) in meetpunt ZWIP215 (mv:4,63 m TAW). In grijs het zeepeil in Cadzand.

We zien een seizoensaal evapotranspiratie-effect doordat het peil tijdens de zomermaanden dieper wegzakt, tot ca. 4 m TAW. Dit gaat gepaard met een duidelijke verhoging van de saliniteit. Er treedt dan dus tijdelijk een zekere concentratie op van het zoutgehalte in de depressie.



Figuur 4.30. Detail van het verloop van stijghoogte (blauw) en conductiviteit (oranje) in meetpunt ZWIP215. In grijs het zeepeil in Cadzand.

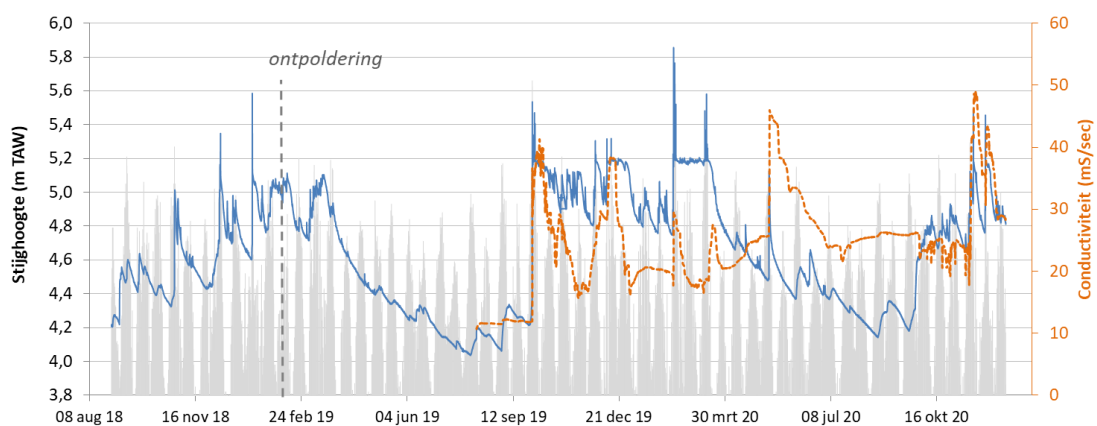
De overstromingsfrequentie ter hoogte van ZWIP215 is relatief laag, gemiddeld treedt overstroming op van het maaiveld ter hoogte van het meetpunt (4,63 m TAW) tijdens 6 dagen per maand. De potentiële frequentie ligt hoger, namelijk op 10 dagen per maand. In 60% van de potentiële overstromingsdagen treedt er effectief overstroming op. Er is een sterk significante toename in de 'gerealiseerde overstromingsfrequentie' (figuur 4.31), de verhouding tussen het aantal dagen met reële en potentiële overstroming, over de hele meetperiode; van augustus 2018 tot april 2021 (F-toets; $n=32$; $p<0,0001$). De ontpoldering in februari 2019 met bijhorende omschakeling van smalle naar een brede hoofdkreek in het nieuwe gebied speelt hierbij zeker een rol. De laatste twee maanden van de meetperiode bereikte die frequentie 100%, wat betekent dat bij ieder hoogwaterstand hoger dan 4,63 m TAW, het meetpunt ook effectief overstroomt.



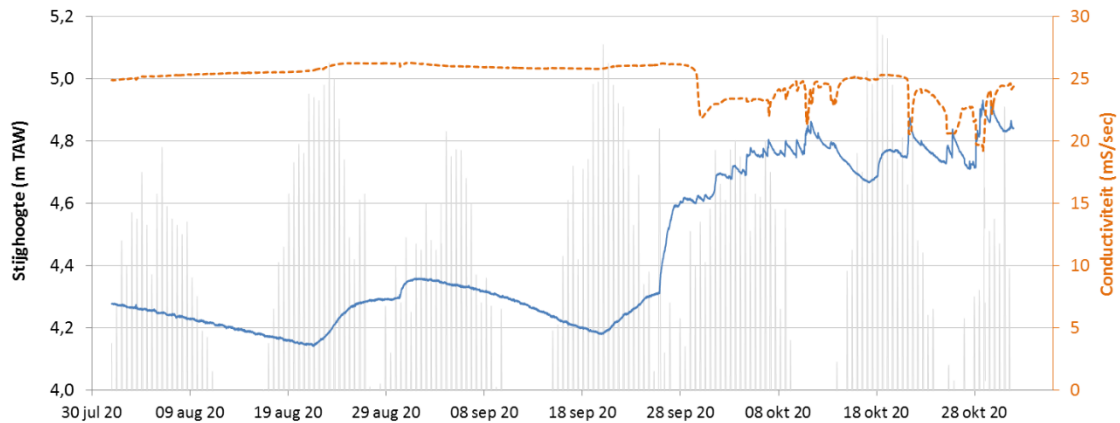
Figuur 4.31. Verloop van de ‘gerealiseerde overstromingsfrequentie’, de verhouding tussen het aantal dagen met reële en potentiële overstroming in meetpunt ZWIP215.

4.2.3.2 ZWIP217

Meetpunt ZWIP217 is net zoals 213 gelegen aan de rand van het lage duin in het Oude Zwin. Maaielhooft is 5,02 m TAW maar het meetpunt ligt in een ondiepe lokale depressie. Het gemiddeld grondwaterpeil bedraagt 4,62 m TAW. Dit is een opvallend hoog peil, het hoogste van alle meetpunten binnen de Zwinvlakte. Het peil vertoont een duidelijk seizoenaal effect, zowel in 2019 als in 2020 zien we een daling van het peil in lente en in de zomer met een minimum in de maand augustus. Het zomerpeil ligt daarbij zo’n 80 cm lager dan het winterpeil. In herfst en winter wordt het grondwaterregime sterk bepaald door de springtijcycli, met schommelingen tussen 20 en 80 cm (figuur 4.32-4.33). De hydrodynamiek ter hoogte van het meetpunt vertoont dus zowel kenmerken van een duingebied als van een intertidaal systeem.

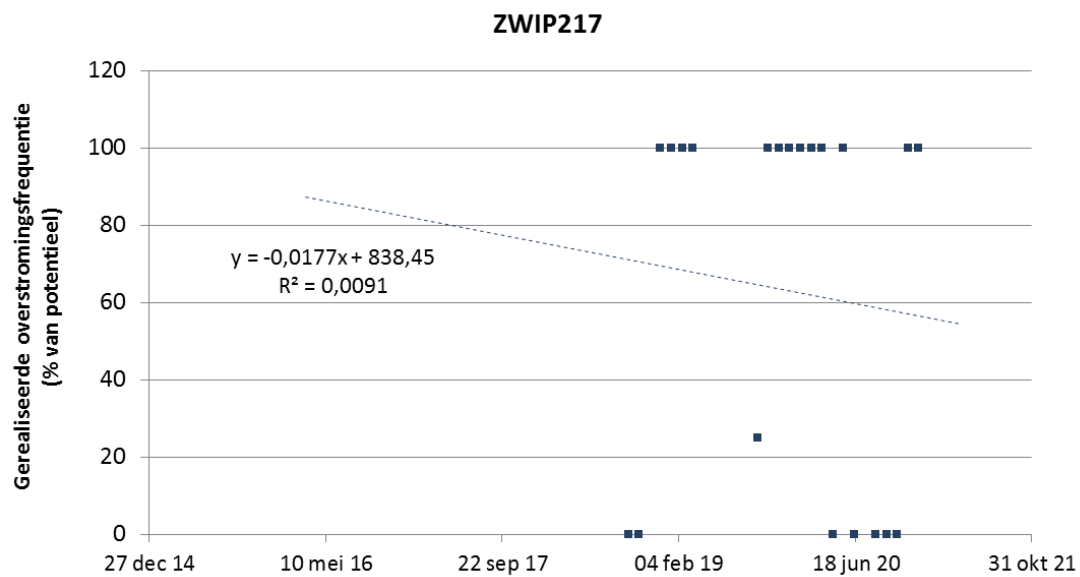


Figuur 4.32. Verloop van stijghoogte (blauw) en conductiviteit (oranje) in meetpunt ZWIP217 (mv:5,02 m TAW). In grijs het zeepeil in Cadzand.



Figuur 4.33. Detail van het verloop van stijghoogte (blauw) en conductiviteit (oranje) in meetpunt ZWIP217. In grijs het zeepeil in Cadzand.

Het maaiveld ter hoogte van peilbuis 217 ligt op 5,02 m TAW waardoor het meetpunt zelden overstroomt. De potentiële overstromingsfrequentie is 1,8 dagen per maand. De reële overstromingsfrequentie ligt iets hoger doordat het meetpunt in een kom gelegen is waar het water na overstroming blijft stagneren. De ‘gerealiseerde overstromingsfrequentie’ is daarmee ofwel 100% (spring-hoogwater bereikt het meetpunt) of 0 indien het meetpunt niet wordt bereikt (figuur 4.34). Er is geen significante trend in de gerealiseerde overstromingsfrequentie (F-toets; n=21; p=0,68).

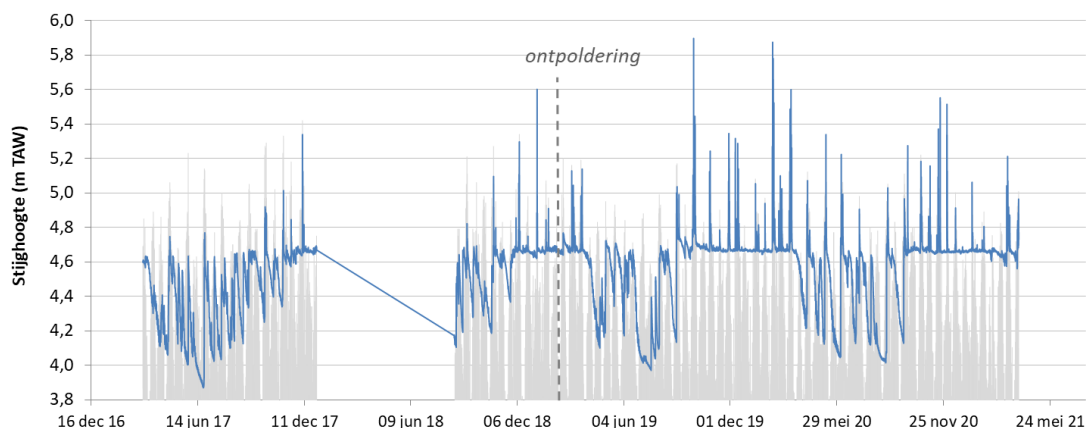


Figuur 4.34. Verloop van de ‘gerealiseerde overstromingsfrequentie’, de verhouding tussen het aantal dagen met reële en potentiële overstroming in meetpunt ZWIP217.

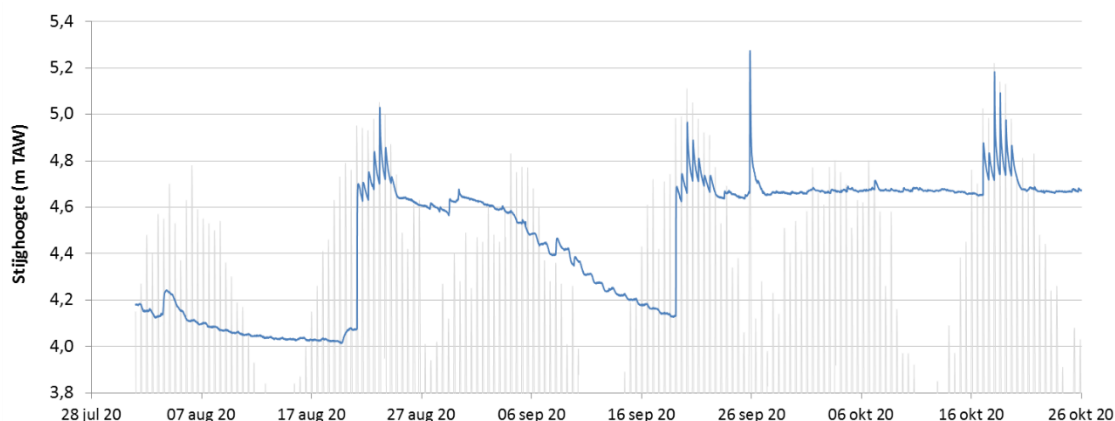
4.2.3.3 ZWIP220

Peilbuis ZWIP220 vertoont een specifiek patroon door de ligging aan de rand van een hydrologisch in zekere mate geïsoleerde kom. Hierdoor wordt het peil gestabiliseerd. Na overstromingspieken tijdens springtij valt het peil daardoor, althans in de winter, steeds terug

op de maaiveldhoogte van 4,67 m TAW. Vanaf het voorjaar begint het peil tijdens doortij te zakken door toename van de evapotranspiratie. Wellicht gaat dit gepaard met een verhoging van de conductiviteit door concentratie van het aanwezige zout maar in dit meetpunt werd nog geen conductiviteit gemeten. Tijdens de meetreeks zakte het water 60 tot 70 cm weg onder het peil van 4,67 m TAW. Het gemiddeld peil is daardoor hoog, namelijk 4,32 m TAW (figuur 4.35-4.36).



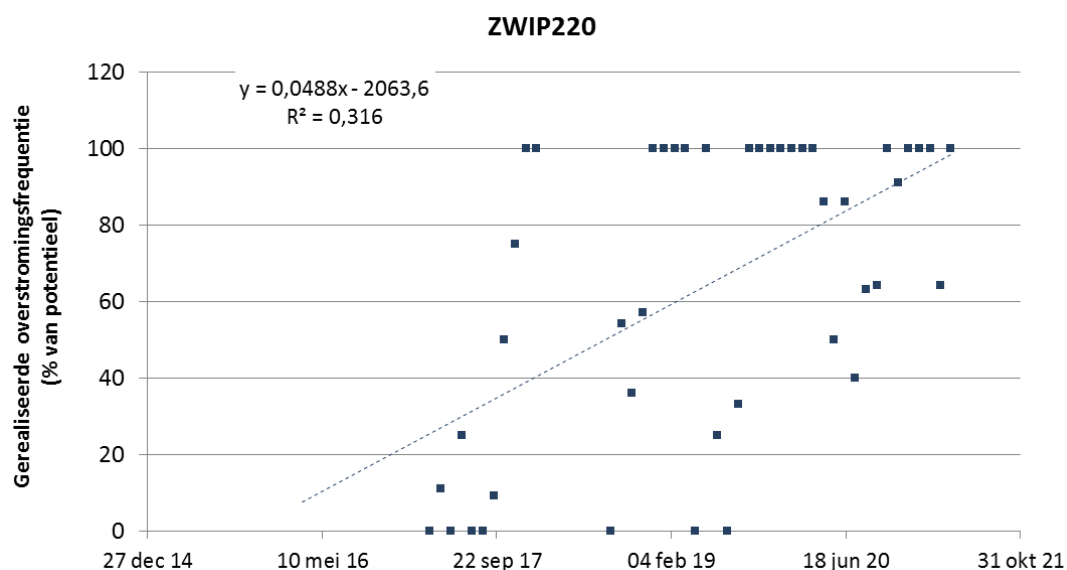
Figuur 4.35. Verloop van stijghoogte in meetpunt ZWIP220 (mv: 4,67 m TAW). In grijs het zeepeil in Cadzand.



Figuur 4.36. Detail van het verloop van stijghoogte in meetpunt ZWIP220. In grijs het zeepeil in Cadzand.

De overstromingsfrequentie is relatief laag, gemiddeld treedt overstroming op van het maaiveld ter hoogte van het meetpunt (4,67 m TAW) tijdens 10 dagen per maand. De potentiële frequentie ligt echter lager, namelijk op 8,9 dagen per maand. De potentiële overstromingsdagen zijn daarmee volledig ingevuld. Daarenboven is het meetpunt nog 11% van de potentiële overstromingsdagen extra overstroomd. Dit komt doordat het in een kom gelegen is waar het water na overstroming blijft stagneren. Daarnaast is er een positieve trend te zien in de 'gerealiseerde overstromingsfrequentie' (figuur 4.37), de verhouding tussen het aantal dagen met reële en potentiële overstroming. De trend is sterk significant (F-toets; $n=43$; $p<0,0001$). De ontpoldering en geulverbreding maken daarmee sneller een eind aan de 'zomerdip' in het waterpeil. In 2017 en 2018 werd het stabiele winterpeil bereikt op

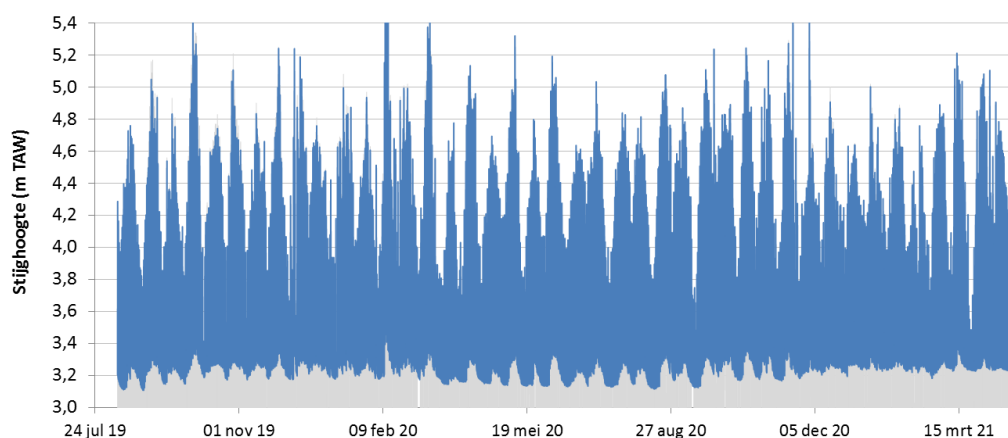
respectievelijk 18 en 26 november; na de Zwinuitbreiding, in 2019 en 2020 was dit respectievelijk 14 en 19 september (figuur 4.35).



Figuur 4.37. Verloop van de ‘gerealiseerde overstromingsfrequentie’, de verhouding tussen het aantal dagen met reële en potentiële overstroming in meetpunt ZWIP220.

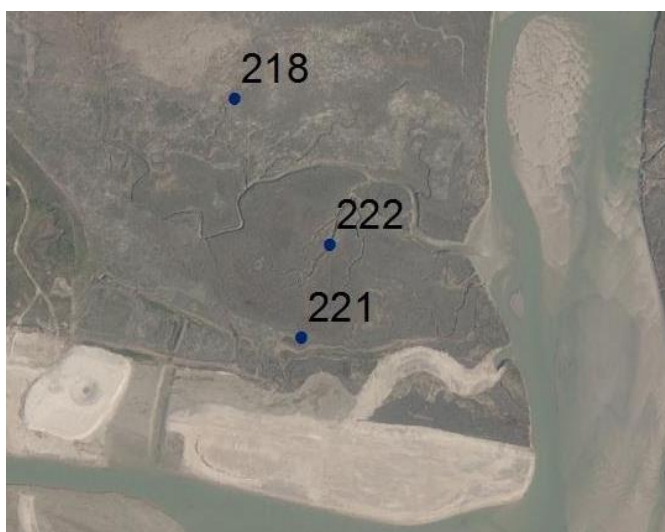
4.2.3.4 ZWIS248

Meetpunt ZWIS248 peilt de waterhoogte aan de getijdenkant van de stuw na de ontpoldering. Het toont welk getij het gestuwde deel met een drempel van ca. 3,9 m TAW kan binnenkomen. De hoogwaterpeilen volgen het dagelijkse tij. De afwijking van de dagelijkse maxima ten opzichte van het zeepeil gemeten in Cadzand, zowel opstuwing als peilverlaging, is in 80% van de gevallen kleiner dan 7 cm (figuur 4.2). De laagwaterstand fluctueert hoogstens een twintigtal cm in functie van de springtijcycli. Gemiddeld laagwaterpeil bedraagt ongeveer 3,2 m TAW (figuur 4.38). Maximaal hoogwater wordt ongeveer een half uur later gemeten dan in Cadzand. Dit is een ruwe inschatting gezien het tijdsinterval van de peilmeting 15 minuten bedraagt.



Figuur 4.38. Verloop van stijghoogte in meetpunt ZWIS248. In grijs het zeepeil in Cadzand.

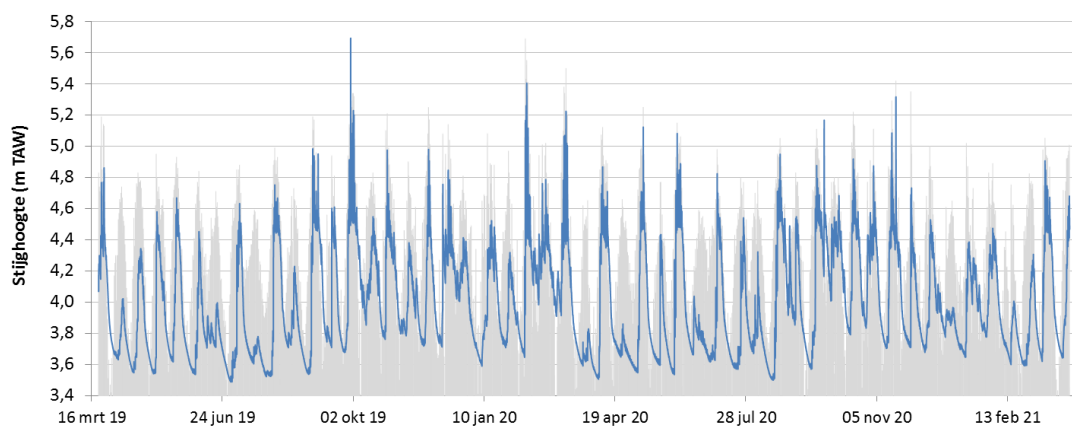
4.2.4 Zuidoostelijk gebied dat afwatert naar de Zvingeul



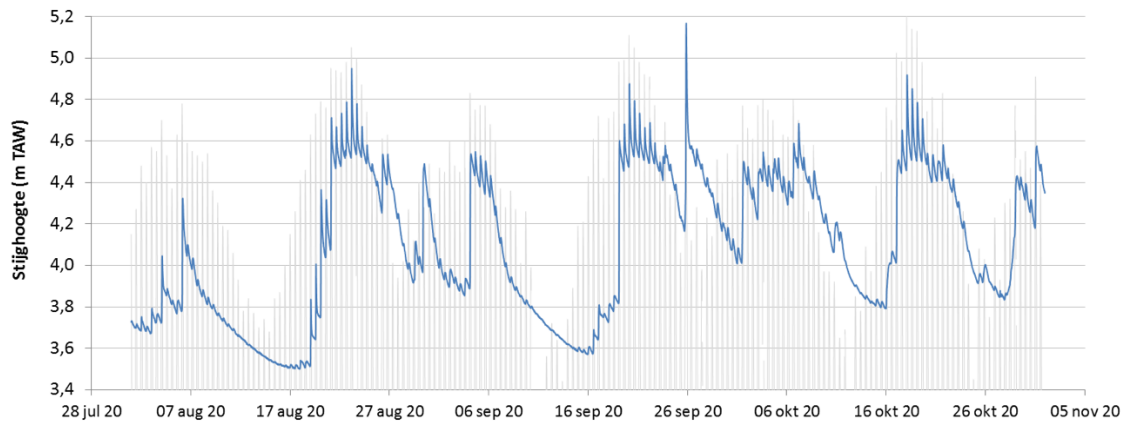
Het zuidoostelijk gebied is rechtstreeks verbonden met de Zvingeul waarbij de verruiming van de Zvingeul een groter effect verwacht wordt dan de Zwinuitbreiding.

4.2.4.1 ZWIP218

Meetpunt 218 ligt net zoals 210, in het Noordoosten, midden in de schorren van het Oude Zwin maar werd niet geplagd en ligt 10 cm hoger. Het verloop van de (grond)waterpeilen is dan ook sterk vergelijkbaar. Het gemiddeld peil van ZWIP218 is slechts 5 cm lager dan bij ZWIP210, namelijk 3,98 m TAW. De schommelingen worden heel sterk bepaald door de getijdencycli. De springtijcyclus veroorzaakt schommelingen in de grootte-orde van een meter (met extremen tot bijna 2 meter). Dagelijkse getijden geven bij springtij aanleiding tot schommelingen van enkele dm. Visueel is er geen patroon van seizoenale variabiliteit in neerslagoverschot merkbaar. Wel zijn hogere peilen merkbaar in de periode na de herfstequinox (figuur 4.39-4.40).

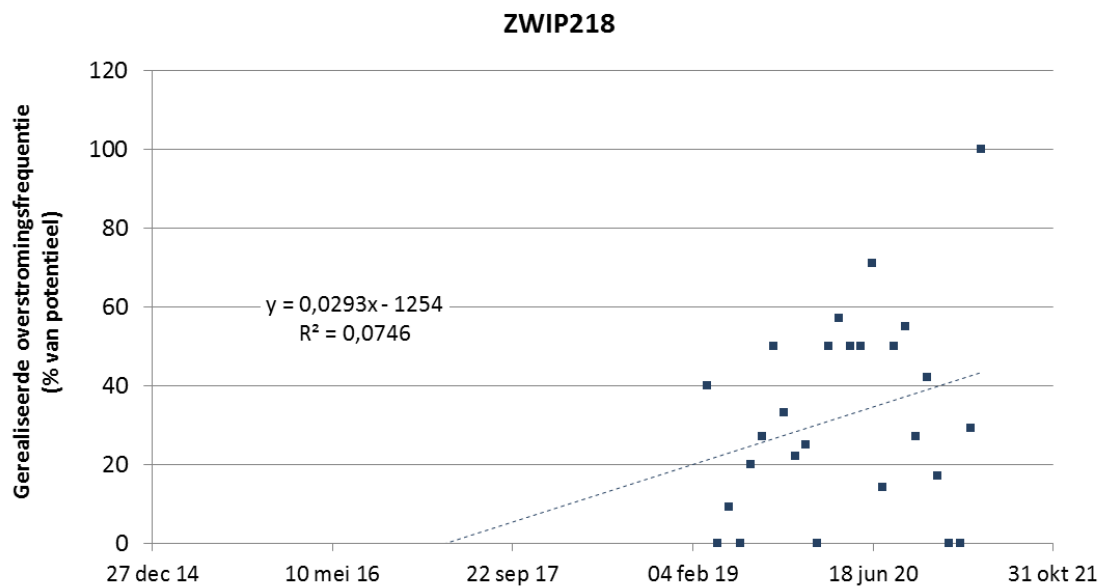


Figuur 4.39. Verloop van stijghoogte in meetpunt ZWIP218 (mv:4,63 m TAW). In grijs het zeepeil in Cadzand.



Figuur 4.40. Detail van het verloop van stijghoogte in meetpunt ZWIP218. In grijs het zeepil in Cadzand.

De overstromingsfrequentie is relatief laag, gemiddeld treedt overstroming op van het maaiveld ter hoogte van het meetpunt (4,63 m TAW) tijdens 3 dagen per maand. De potentiële frequentie ligt hoger, namelijk op 9,5 dagen per maand. Tijdens 31% van de potentiële overstromingsdagen treedt er effectief overstroming op. Dit is een laag aandeel in vergelijking met het geplagde poinierschormmeetpunt ZWIP210, waar 70% van de potentiële overstromingsdagen effectief overstroming optreedt. Er is een positieve trend te zien in de 'gerealiseerde overstromingsfrequentie' (figuur 4.41), de verhouding tussen het aantal dagen met reële en potentiële overstroming, maar de trend is (nog?) niet significant (F-toets; n=25; p=0,20). Een langere evaluatieperiode is wenselijk.

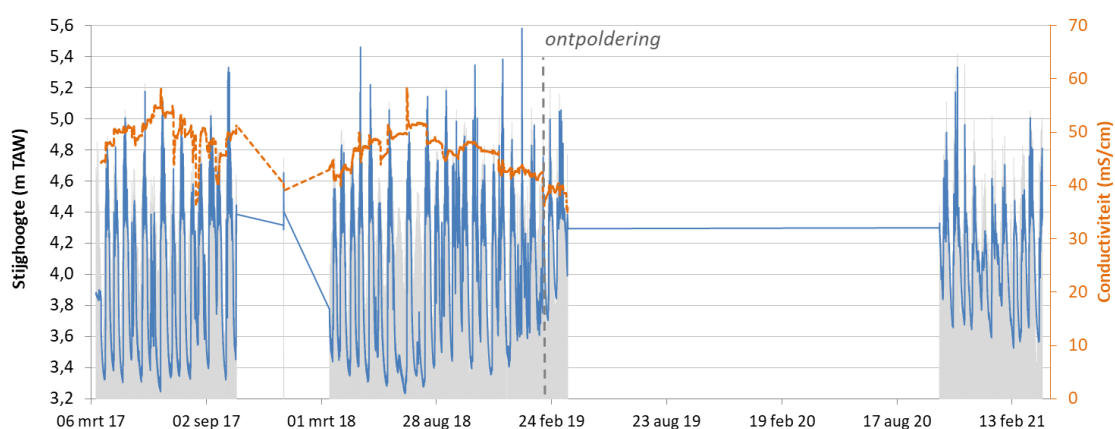


Figuur 4.41. Verloop van de 'gerealiseerde overstromingsfrequentie', de verhouding tussen het aantal dagen met reële en potentiële overstroming in meetpunt ZWIP218.

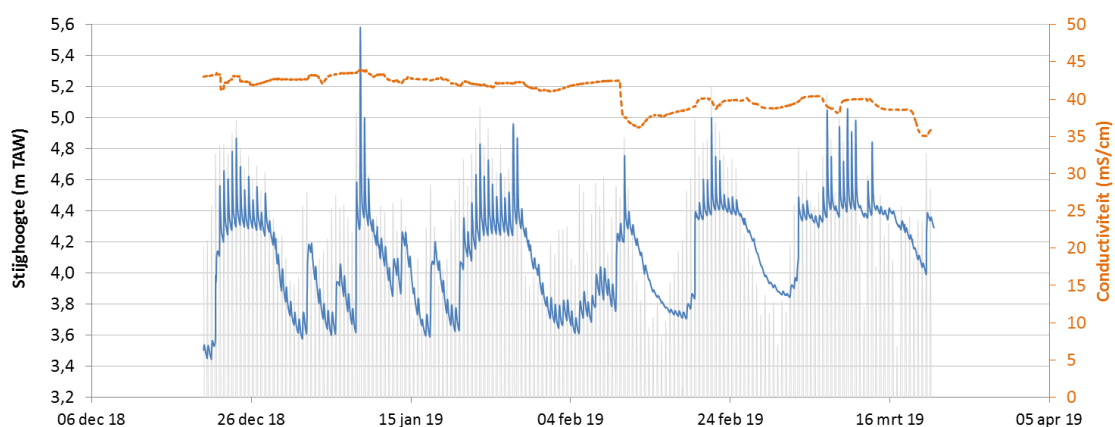
4.2.4.2 ZWIP221

Meetpunt ZWIP221 ligt in de schorre in het zuiden van het Oude Zwin. Maaiveldhoogte is 4,44 m TAW. Het peilverloop is uitgesproken getijden-bepaald met sterke schommelingen in relatie met van springtijcycli (tot 2 meter) en dagelijkse getijdencycli (tot ca. 0,5 m bij springtij). Het gemiddeld peil bedraagt 3,88 m TAW (figuren 4.42-43).

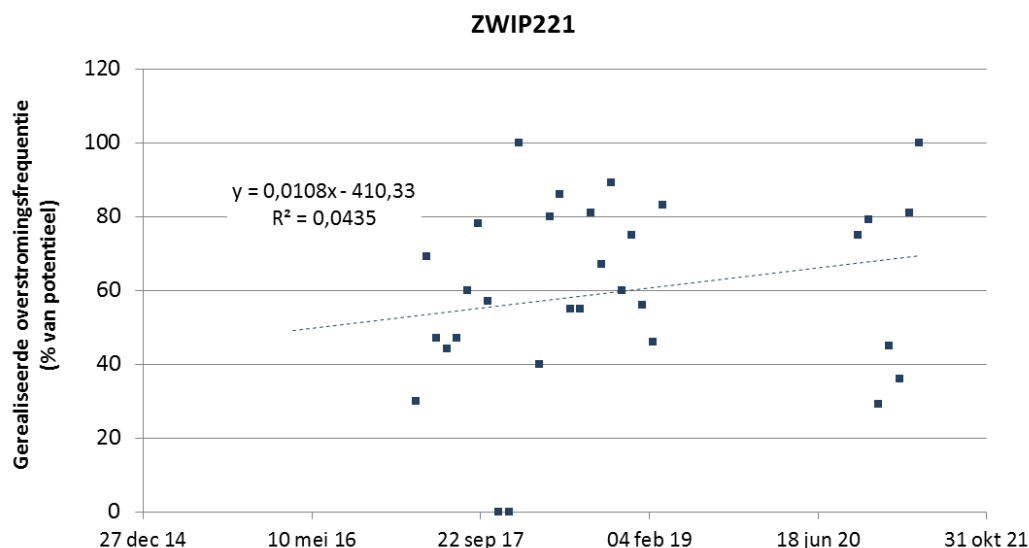
Het meetpunt ligt in de buurt van de voormalige internationale dijk gelegen. In oktober 2018 werd de artificiële kreek ten noorden van deze dijk gedempt. Het was één van de belangrijkste waterlopen in het Oude Zwin met een belangrijke impact op de waterhuishouding. Het meetpunt was 50 m van deze kreek verwijderd en dichtstbijzijnde grote kreek. Het dempen ervan heeft een duidelijke impact op het peilregime in meetpunt ZWIP221. Voor februari 2019 zakten de peilen geregeld weg tot onder 3,4 m TAW, nadien kwamen ze nog maar zelden onder 3,6 m.



Figuur 4.42. Verloop van stijghoogte (blauw) en conductiviteit (oranje) in meetpunt ZWIP221 (mv: 4,44 m TAW). In grijs het zeepeil in Cadzand.



Figuur 4.43. Detail van het verloop van stijghoogte (blauw) en conductiviteit (oranje) in meetpunt ZWIP221. In grijs het zeepeil in Cadzand.



Figuur 4.44. Verloop van de ‘gerealiseerde overstromingsfrequentie’, de verhouding tussen het aantal dagen met reële en potentiële overstroming in meetpunt ZWIP2.

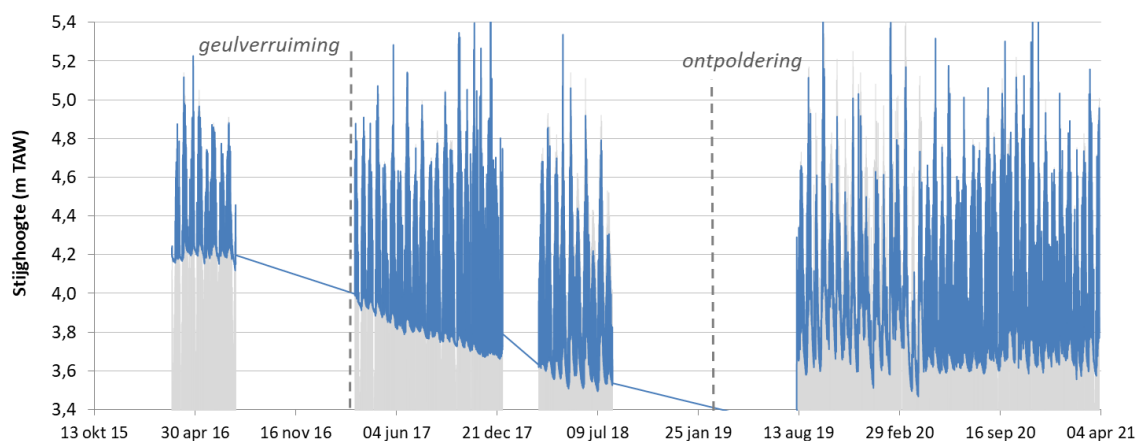
De overstromingsfrequentie is relatief laag, gemiddeld treedt overstroming op van het maaiveld ter hoogte van het meetpunt (4,44 m TAW) tijdens 9,4 dagen per maand. De potentiële frequentie ligt hoger, namelijk op 14,8 dagen per maand (ongeveer de helft van de dagen dus). De maaiveldhoogte (4,44 m TAW) ligt dan ook dicht tegen de gemiddelde tijhoogte in Cadzand. In 63% van de potentiële overstromingsdagen treedt er effectief overstroming op. Er lijkt een lichte toename van de ‘gerealiseerde overstromingsfrequentie’ (figuur 4.44), de verhouding tussen het aantal dagen met reële en potentiële overstroming, maar deze trend is niet significant (F-toets; $n=29$; $p=0,54$). Mogelijk heffen de effecten van het verbreden van de hoofdgeul en het dempen van de aanpalende kreek elkaar op.

4.2.4.3 ZWIP222

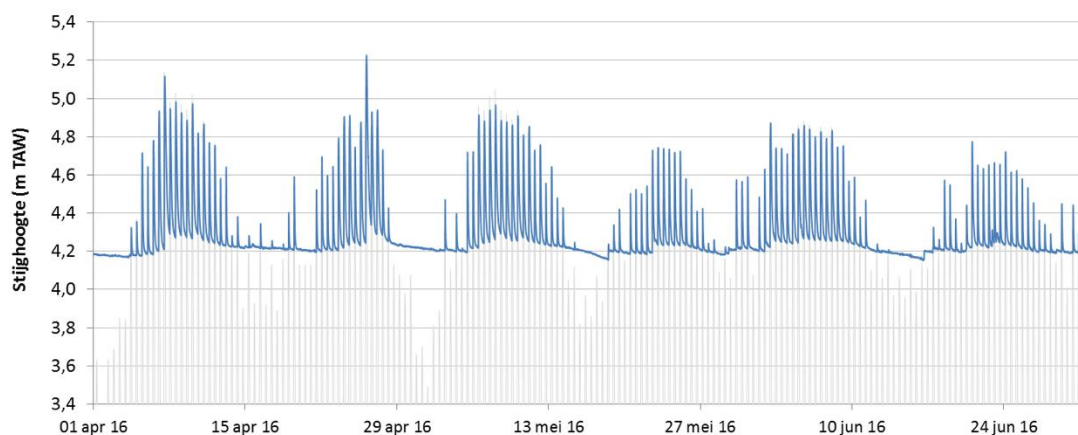
Meetpunt ZWIP222 is samen met ZWIP250 geïnstalleerd in een secundaire kreek. De geregistreerde peilen volgen dan ook zeer goed de getijdenbeweging in Cadzand (figuur 4.45-4.46). Het detail in figuur 4.37 toont dat beiden nagenoeg parallel verlopen bij springhoogwater (zie ook figuren 4.1 en 4.2). Bij doortij blijft het grondwater hangen ter hoogte van de bodem van de kreek.

Het gemiddeld peil over hele periode bedraagt 3,93 m TAW maar er treedt duidelijk een daling op in de loop van de meetperiode. In 2016 bedroeg het gemiddelde peil 4,27 m; in 2017 3,78 m TAW. Deze daling is te wijten aan een daling van de kreekbodem met ca. 60 cm. Dit gebeurde tijdens en na het verbreden van de hoofdgeul. Vanaf mei 2018 ongeveer treedt een stabilisatie op. Het is dus zeer waarschijnlijk dat de verhoogde waterdynamiek die hiermee gepaard ging, heeft geleid tot het uitschuren van de kreek tot een nieuw evenwichtsprofiel. Dit gebeurde door geleidelijke terugschrijdende erosie vanuit de verruimde Zvingeul stroomopwaarts de kreek.





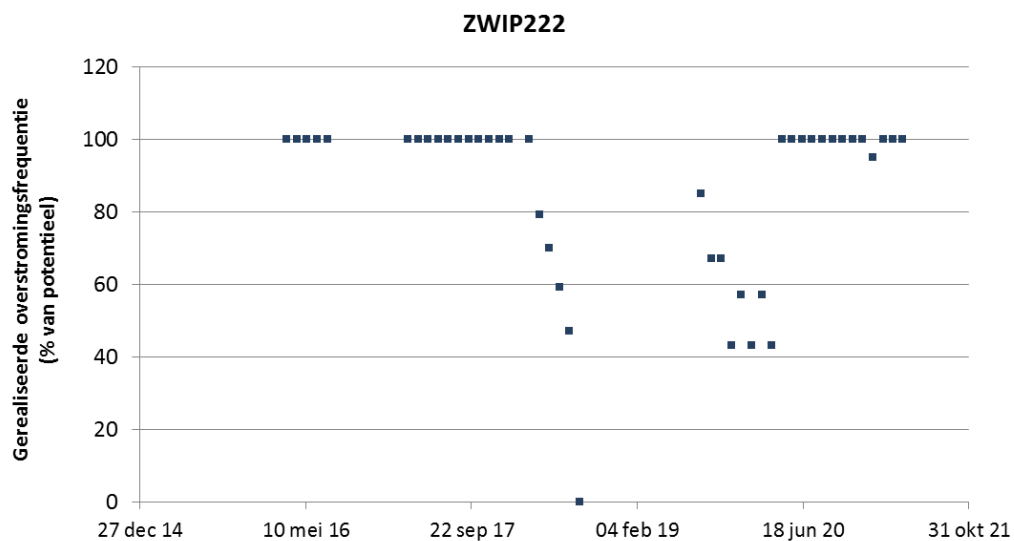
Figuur 4.45. Verloop van stijghoogte in meetpunt ZWIP222. In grijs het zeepeil in Cadzand.



Figuur 4.46. Detail van het verloop van stijghoogte in meetpunt ZWIP222. In grijs het zeepeil in Cadzand.

De overstromingsfrequentie van meetpunt ZWIP222 is vrij hoog, gemiddeld treedt overstroming van het meetpunt op tijdens 17,5 dagen per maand (als maaiveldhoogte werd hier 4,3 m TAW genomen). De potentiële frequentie ligt iets hoger, namelijk op 19,5 dagen per maand. Hiermee treedt er effectief overstroming op tijdens 90% van de potentiële overstromingsdagen. De ‘gerealiseerde overstromingsfrequentie’ (figuur 4.47), de verhouding tussen het aantal dagen met reële en potentiële overstroming, lijkt in de periode tussen 15 april 2018 en 15 maart 2020 een dip te vertonen. Dit is echter de periode waarbinnen gemeten werd in de versie A van het meetpunt, waarbij de buis relatief sterk was dichtgeslibd. Deze metingen zijn dus wellicht niet betrouwbaar. We nemen aan dat de gerealiseerde overstromingsfrequentie ter hoogte van het meetpunt dus constant 100% bedraagt, wat in een secundaire kreek dicht bij de hoofdgeul te verwachten is.





Figuur 4.47. Verloop van de ‘gerealiseerde overstromingsfrequentie’, de verhouding tussen het aantal dagen met reële en potentiële overstroming in meetpunt ZWIP222.



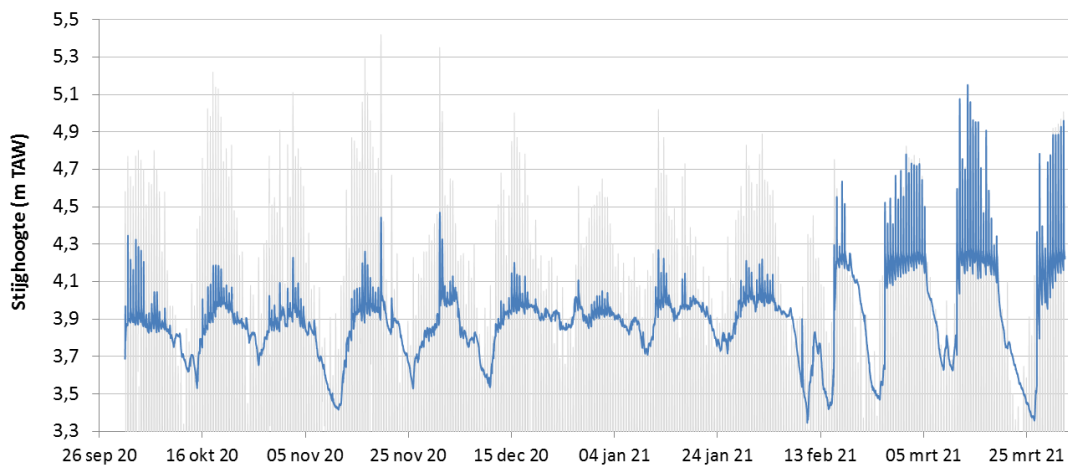
Foto 4.2 peilbuislocatie van meetpunt ZWIP222 op 14 maart 2016.

4.2.5 Zwinuitbreiding



4.2.5.1 ZWIP263

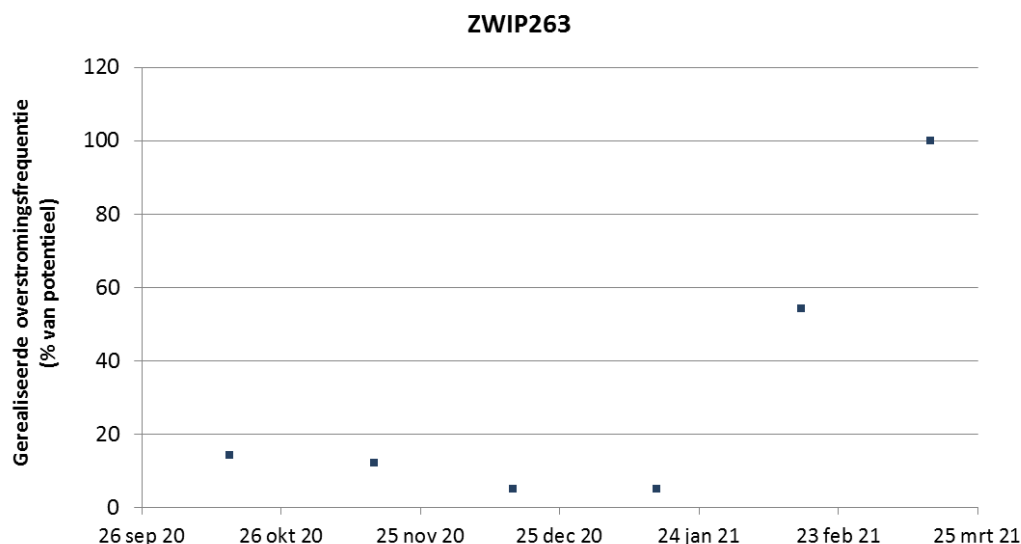
Meetpunt ZWIP263 ligt in het zuidwestelijk deel van de Zwinuitbreiding. De maaiveldhoogte bedraagt er 4,26 m TAW, een tiental cm onder gemiddeld hoogwater. Vanaf februari 2021 vertoont het peilverloop duidelijke fluctuaties in functie van de dagelijkse getijdencyclus met een gemiddeld peil van 3,97 m TAW (figuur 4.48). De periode daarvoor lijkt er iets niet te kloppen met de peilen. Zelfs bij springtij halen de hoge waterstanden nooit de zeepeilen. Wellicht is er hier een probleem met het meetpunt zelf zoals een te geringe doorstroming van het grond- en/of oppervlaktewater tot in de buis.



Figuur 4.48. Verloop van stijghoogte in meetpunt ZWIP263 (mv: 4,26 m TAW). In grijs het zeepeil in Cadzand.

De 'gerealiseerde overstromingsfrequentie' (figuur 4.49), de verhouding tussen het aantal dagen met reële en potentiële overstroming, weerspiegelt de peilschommelingen uit figuur 4.41. In de recente periode bedraagt die frequentie 100%, wat gezien de geëxposeerde ligging van het meetpunt te verwachten is. De overige punten op de grafiek zijn dus niet betrouwbaar.

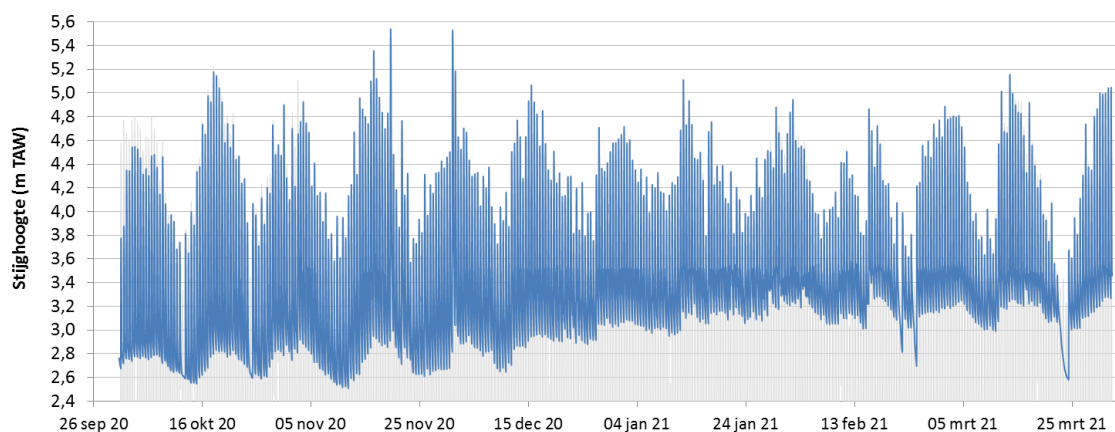




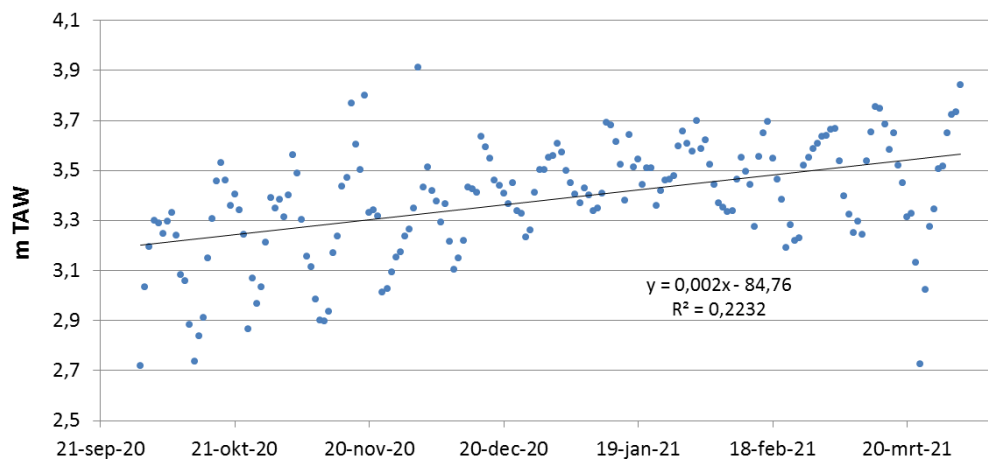
Figuur 4.49. Verloop van de 'gerealiseerde overstromingsfrequentie', de verhouding tussen het aantal dagen met reële en potentiële overstroming in meetpunt ZWIP263.

4.2.5.2 ZWIP267

Het maaiveld ter hoogte van dit meetpunt ligt op 3,7 m TAW, de top van de peilbuis zelf op 3,86 m. Het peil volgt de dagelijkse getijden en het maaiveld overstroomt zo goed als dagelijks (figuur 4.50). De afwijking van de dagelijkse maxima ten opzichte van het zeepeil gemeten in Cadzand, zowel opstuwung als peilverlaging, is in 80% van de gevallen kleiner dan 9 cm (figuur 4.2). De 'gerealiseerde overstromingsfrequentie' bedraagt 100% over de hele meetperiode. Gemiddeld bedraagt de stijghoogte 3,38 m maar we zien een significante toename van ca. 3,2 tot 3,5 m TAW tijdens de meetperiode (F-toets; n=184; p<0,0001; figuur 4.51). Deze toename is louter te wijten aan een stijging van de dagelijkse minimumpeilen. Wellicht is dit te wijten aan slibafzetting in het geultje waarin de buis zich bevindt.



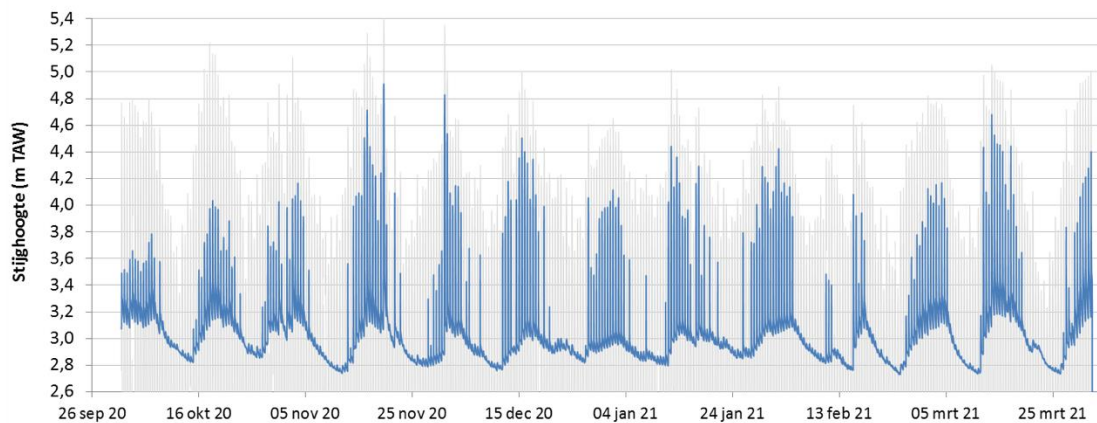
Figuur 4.50. Verloop van stijghoogte in meetpunt ZWIP267 (mv: 3,7 m TAW). In grijs het zeepeil in Cadzand.



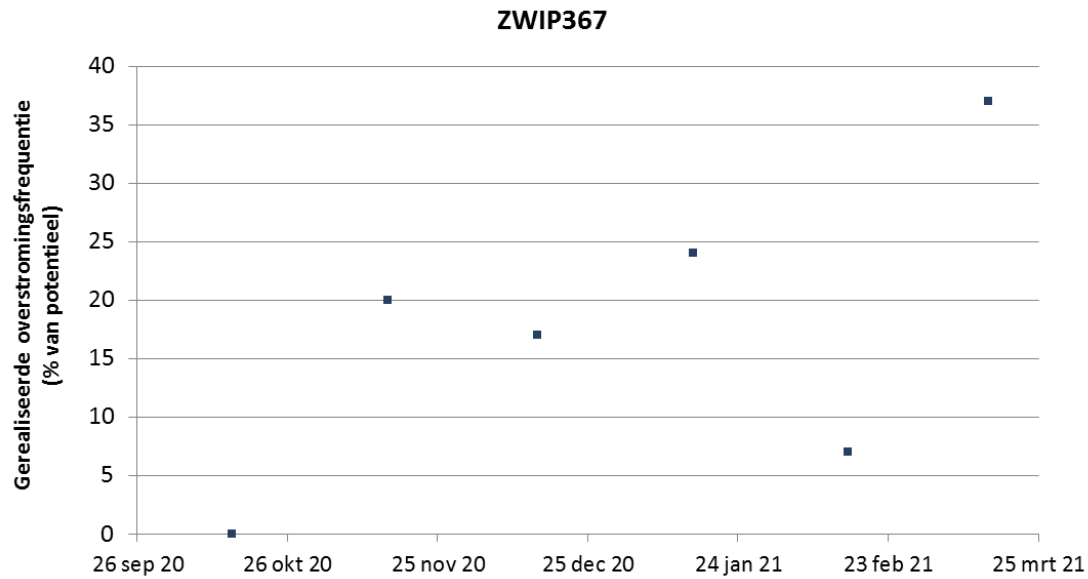
Figuur 4.51. Verloop van het daggemiddelde peil in meetpunt ZWIP267.

4.2.5.3 ZWIP367

Meetpunt ZWIP367 ligt in het noordwestelijk deel van de Zwinuitbreiding. De maaiveldhoogte bedraagt er 4,25 m TAW, ongeveer ter hoogte van het gemiddeld hoogwater. Evenals in meetpunt 263 zien we ook hier dat de hoge waterstanden in het meetpunt nooit de zeepielen bereiken, zelfs bij springtij (figuur 4.52). De ‘gerealiseerde overstromingsfrequentie’, de verhouding tussen het aantal dagen met reële en potentiële overstroming, is daarmee zeer laag, slechts 17% over de hele meetperiode (figuur 4.53). Wellicht is dus ook hier een probleem met het meetpunt zelf zoals een te geringe doorstroming van het grond- en/of oppervlaktewater tot in de buis.



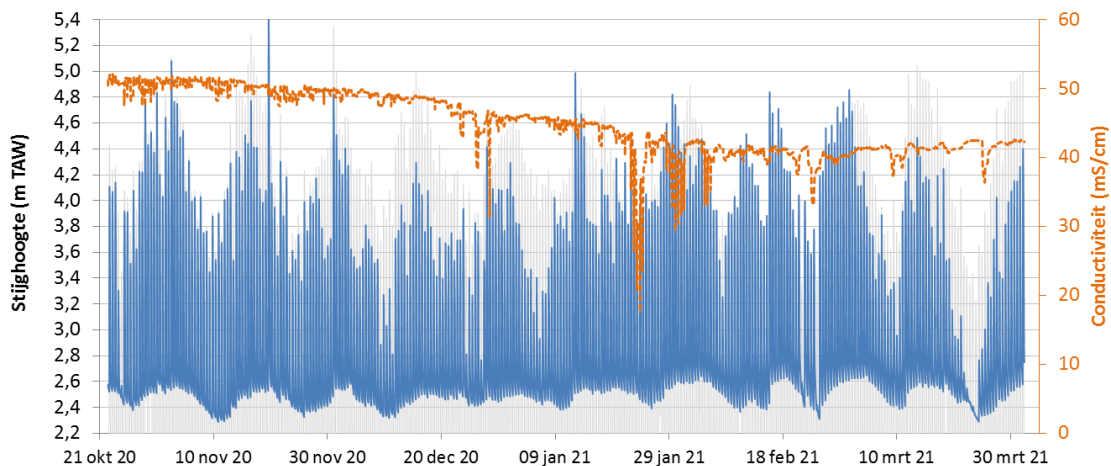
Figuur 4.52. Verloop van stijghoogte in meetpunt ZWIP367 (4,25 m TAW). In grijs het zeepeil in Cadzand.



Figuur 4.53. Verloop van de 'gerealiseerde overstromingsfrequentie', de verhouding tussen het aantal dagen met reële en potentiële overstroming in meetpunt ZWIP367.

4.2.5.4 ZWIP270

Peilbuis 270 is geïnstalleerd in het zuiden van de Zwinuitbreiding, aan de rand van de centrale geul, op ongeveer 270 m van het pompgemaal. Maaiveldhoogte bedraagt 3,25 m TAW en het gemiddeld waterpeil bedraagt 2,88 m TAW. De peilen volgen grotendeels de dagelijkse getijdschommelingen (figuur 4.54). De maximale peilen worden daarbij ongeveer een half uur later bereikt dan aan het meetpunt in Cadzand.



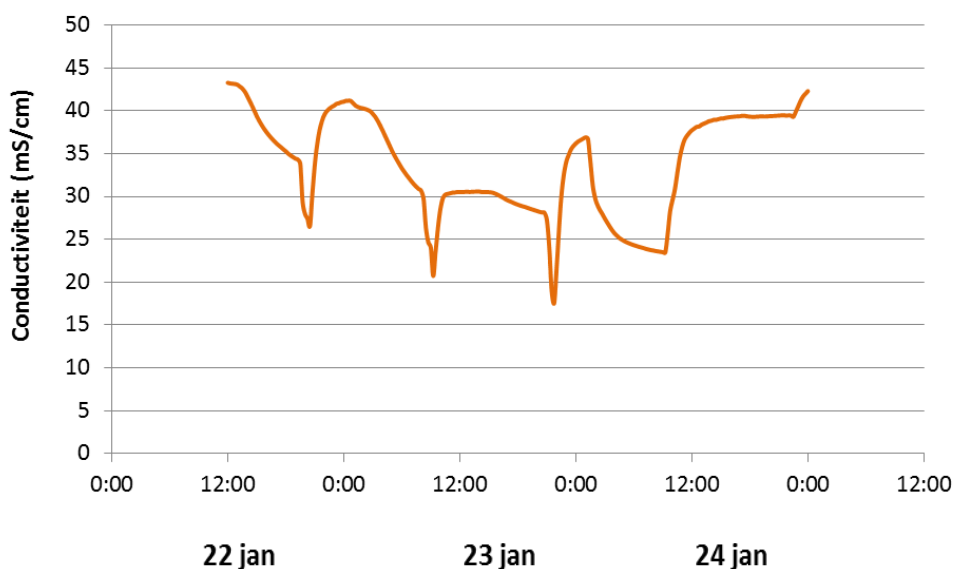
Figuur 4.54. Verloop van stijghoogte (blauw) en conductiviteit (oranje) in meetpunt ZWIP270 (mv: 3,25 m TAW). In grijs het zeepeil in Cadzand.

De saliniteit (conductiviteit) vertoont een geleidelijke daling doorheen najaar en winter en stabiliseert eind januari 2021. Gezien de top van de peilbuis zich op 3,71 m TAW bevindt, wordt hier enkel de saliniteit bij hoogwater gemeten. Fluxen van zoetwater bij lage waterstand



worden dus niet gedetecteerd. Af en toe treedt een dip op in de conductiviteit, bijvoorbeeld op 28 december tussen 12u en 12u30. Dit is een voorbeeld van een korte piek waarna de conductiviteit snel weer toeneemt (hier is om 13u al weer een waarde van 41,5 mS/sec bereikt) die duidelijk te wijten is aan hevige neerslag (14 mm neerslag gemeten in Dudzele).

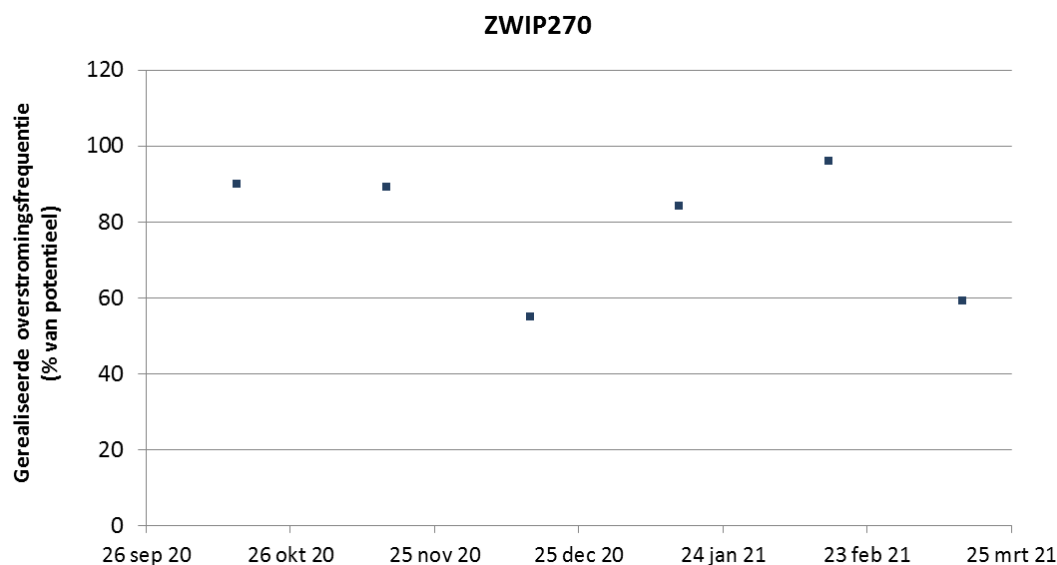
In de periode 22-24 januari 2021 doet zich een langere periode van verlaagde conductiviteit voor (figuur 4.55). Deze periode komt overeen met de lozing van een belangrijke hoeveelheid zoet water via het pompgemaal. De conductiviteit bereikt in het meetpunt maar pieksgewijswaarden onder 25 mS/cm. Er is dus slechts sprake van geringe verzoeting, zowel in de tijd als in zoutconcentratie. Over de toestand lager op het slik kunnen we echter geen uitspraken doen.



Figuur 4.55. Detail van het verloop van de conductiviteit in meetpunt ZWIP270. Tussen 22 januari 2021 (12u) en 24 januari (24u).

Het maaiveld ter hoogte van het meetpunt ligt op 3,25 m TAW en overstroomt gemiddeld tijdens 21,8 dagen per maand. De potentiële frequentie ligt hoger, namelijk op 28,6 dagen per maand. De 'gerealiseerde overstromingsfrequentie', de verhouding tussen het aantal dagen met reële en potentiële overstroming, bedraagt 76% over de hele meetperiode maar vertoont een vrij sterke fluctuatie, tussen 55 en 96% (figuur 4.56). Het is onduidelijk wat die variatie verklaart. Gezien de lage maaiveldhoogte en de ligging langsheen de hoofdgeul zou een hogere overstromingsfrequentie verwacht worden. Ook hier moet nagekeken worden of het water wel voldoende snel in de buis kan sijpelen. Gezien de dikke sliblaag zijn de poriën van de filter misschien nog weinig doorlatend (zie ook overige meetpunten in de uitbreiding). Het is weinig waarschijnlijk dat stuwingseffecten veroorzaakt door windwerking over het aanzienlijke wateroppervlak in de Zwinuitbreiding hier een belangrijke rol spelen gezien de systematische en grote verschillen tussen tijhoogtes in Cadzand en peilen in het meetpunt.

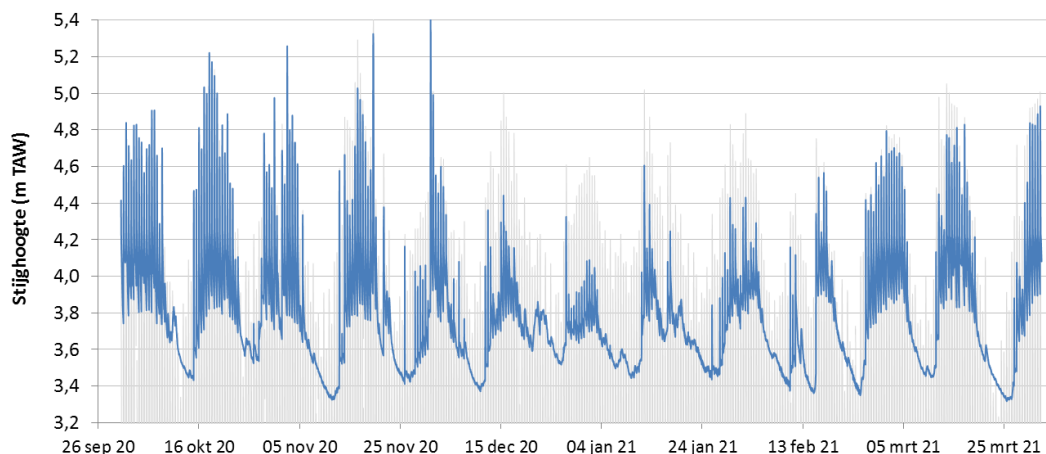




Figuur 4.56. Verloop van de 'gerealiseerde overstromingsfrequentie', de verhouding tussen het aantal dagen met reële en potentiële overstroming in meetpunt ZWIP270.

4.2.5.5 ZWIP274

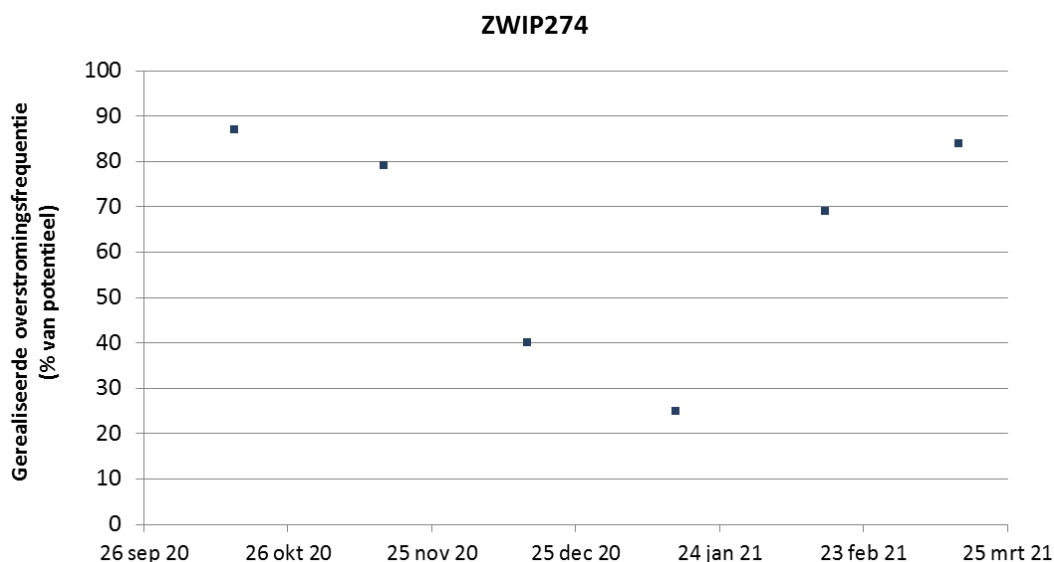
Meetpunt 274 ligt de zuidoostelijke rand van de Zwinuitbreiding. De maaiveldhoogte bedraagt 4,24 m TAW en het gemiddeld waterpeil bedraagt 3,77 m. Peilfluctuaties volgen ook hier goed de dagelijkse en sprin-getijdencycli maar net zoals in de meeste andere meetpunten in de uitbreiding is er een periode waarin de maximale tijhoogtes bijlange niet worden gehaald, ondanks overstroming van het maaiveld (figuur 4.57).



Figuur 4.57. Verloop van stijghoogte in meetpunt ZWIP274. In grijs het zeepeil in Cadzand.

Het maaiveld ter hoogte van het meetpunt ligt op 4,24 m TAW en overstroomt gemiddeld tijdens 12,2 dagen per maand. De potentiële frequentie ligt hoger, namelijk op 19 dagen per maand. De 'gerealiseerde overstromingsfrequentie', de verhouding tussen het aantal dagen

met reële en potentiële overstrooming, bedraagt 64% over de hele meetperiode maar vertoont net zoals bij de overige meetpunten in de Zwinuitbreiding een vrij sterke fluctuatie, tussen 40 en 87% (figuur 4.58). Ook hier is het onduidelijk wat die variatie verklaart, maar lijkt verstopping van de filter waardoor het oppervlaktewater onvoldoende kan binnenstromen in de buis het meest waarschijnlijk.



Figuur 4.58. Verloop van de ‘gerealiseerde overstroomingsfrequentie’, de verhouding tussen het aantal dagen met reële en potentiële overstrooming in meetpunt ZWIP274.

4.3 CONCLUSIES

4.3.1 Het meetnet

Op basis van de 20 meetpunten die actueel in het Zwin zijn geïnstalleerd, krijgen we een goed beeld van de verschillende grond- en oppervlaktewaterregimes in het Zwin. De recent geplaatste meetpunten in de Zwin-uitbreiding lijken echter niet goed te functioneren, wellicht doordat het zeer fijne sediment een vlotte doorstroming van water tot in de buis verhindert. Het is dan ook wenselijk dit probleem snel op te lossen, bijvoorbeeld door het omstorten van de peilbuizen met grof zand.

Het toont ook aan dat de bodemopbouw van nieuw ontpolderde gebieden niet vergelijkbaar is met die van een natuurlijk ontwikkelde schorre die hydrologisch meer doorlatend is. Dit is ook merkbaar aan de nog beperkte nieuwe kreekvorming in dit nieuw ontpolderd gebied. De bodemontwikkeling kan ook een effect hebben op kolonisatie en vestiging van flora en fauna in deze nieuwe ontpolderingssites die vaker iets langer duurt dan in goed gedraineerde omstandigheden. Opslibbing en aanzanding samen met nieuwe kreekvorming in deze nieuwe afzettinglaag zal de drainage op termijn verbeteren (Van Putte et al. 2019).



4.3.2 Tij-gedomineerde peilregimes

De peilregimes in het gebied worden primair bepaald door het *overstromingsregime*. De meeste meetpunten zijn gelegen in het intertidaal en dus door de getijden blootgesteld aan sporadische tot dubbeldaagse overstromingen met zeewater. Zelfs in de meetpunten op duinovergangen die niet of zelden overstroomd worden zoals ZWIP049 of ZWIP217, zien we nog een weerspiegeling van de getijden in de grondwaterschommelingen. Dit is te wijten aan de voortplanting van de drukgolf in de watervoerende lagen. Het fluctuatietraject wordt in deze twee meetpunten echter in de eerste plaats bepaald door de seizoensvariatie in het neerslagoverschot. Tijdens gemiddelde hydrologische jaren vertaalt dit zich in maximale peilen eind maart en minimale peilen eind september. Binnen de meetperiode van dit project was dit ook het geval in deze twee meetpunten. De seizoensvariatie fluctuatie bedroeg ca. 80 cm. Dit is vergelijkbaar met de zeeoeverdelen maar beduidend lager dan de centrale delen van de Zwinuinen. In meetpunt 49, dat tijdens de meetperiode nooit is overstroomd, bedraagt de fluctuatie veroorzaakt door de springtijcycli ongeveer 20 cm. Dit is beduidend lager dan de seizoensvariatie fluctuatie. Meetpunt 217 overstroomt wel sporadisch en dit veroorzaakt soms grote schoksgewijze peilschommelingen (tot 1 meter).

De waterregimes ter hoogte van de overige meetpunten wordt dus primair door de getijden bepaald. Daarbij speelt de absolute hoogteligging uiteraard een cruciale rol. In de 4 laagstgelegen meetpunten die via de geulen in goede verbinding staan met zee (meetpunten P222, P250, P267 en S248), zien we een rechtstreekse weerspiegeling van de getijdengolf in de fluctuaties, althans bij hoogwaters (bij doortij via channel flow en bij springtij sheet flow). De reële overstromingsfrequentie bedraagt hier 100%, wat betekent dat de potentiële overstromingsfrequentie volledig wordt ingevuld. Wel is er een tijdsverschil tussen het moment van hoogwatermaximum op zee en dit ter hoogte van het meetpunt. Het opkomend water dringt via de kreken echter snel het hele gebied binnen. Zelfs op het verste punt, aan peilschaal 248, bedraagt het tijdsverschil tussen de maximale waterstand en die in Cadzand minder dan een half uur.

In de overige meetpunten bereikt de reële overstromingsfrequentie lagere percentages en vertoont zij grote schommelingen. Dit wordt veroorzaakt door de traagheid van de overstroming over de schorren (enkel sheet flow) of door de aanwezigheid van drempels zoals de oost-west georiënteerde dijk centraal in het Oude Zwin. In de kreken zien we dat zelfs bij doortij dezelfde maximale waterhoogtes worden bereikt als op zee. Het verlagen van de overstromingsfrequentie is dus niet aan de doorstroming doorheen het krekensysteem te wijten. De verschillen treden pas op als de maximale hoogwaters in de buurt van de maaiveldhoogte komen.

De realisatie van de potentiële overstromingsfrequentie wordt goed geïllustreerd door de meetpunten ZWIP210 en 218. Ter hoogte van ZWIP210 treedt tijdens 70% van de potentiële overstromingsdagen ook effectief overstroming op. Bij ZWIP218, die verder van de hoofdgeul en 10cm hoger gelegen is, bedraagt dit aandeel nog slechts 31%.

Effecten van peilopstuwings of -verlaging door windwerking is vermoedelijk niet zo groot. Uit meetpunten met een hoge overstromingsfrequentie leiden we af dat dit effect tot grofweg 10 cm beperkt is.

In het noordwestelijk deel van het Zwin is de gerealiseerde overstromingsfrequentie laag. In de meetpunten 203, 204, 205, 209 en 213 bedraagt zij slechts 12 tot 15%. Deze zone ondervindt door het dempen van de noordelijke geul en het opstuwings van het water rond de



vogeleilanden slechts een gedempt getij waarbij de waterpeilen bij laagwater niet zo ver kunnen wegzakken. Enkel bij hoog springtij komt deze zone nog onder water.

Verder worden de lokale peilregimes mee bepaald door verschillende factoren. Een eerste element is de nabijheid van een duinlichaam. Dit is het geval bij meetpunt 49 (internationale dijk en achterliggende duinen); meetpunten 203, 204 en 205 (zeereep) maar ook 213 en 217 (rand van het lage centrale duintje). Deze meetpunten staan onder invloed van uitstromend (zoet grondwater), wat de saliniteit (conductiviteit) van het grondwater verlaagt. Dit resulteert in brakke tot zoete condities die afhankelijk van de overstromingsfrequentie in minder of meerdere mate fluctuaties vertonen. De betekenis van dit brakke water voor planten vergt nader onderzoek. Gezien veel schorrensoorten ondiep wortelen, is de impact op de schorrenvegetatie wellicht beperkt en is vooral de sporadische overstroming met zeewater bepalend voor de standplaatscondities. Het brakke grondwater is vooral relevant voor de poelen met aquatische vegetatie. We denken dan vooral aan de populatie *snavelruppia* in het Zwin maar uiteraard staat die soort symbool voor een hele levensgemeenschap van brakke waters.

In meetpunt 203 zien we een geleidelijke verhoging van de saliniteit in de periode 2017-2021, wellicht door de opstuwung van zeewater rondom de broedvogeleilanden door een verbeterde verbinding tussen zwingelmonding via de nieuwe hoofdkreek. Die opstuwung uit zich in een beperke en geleidelijke peilverhoging in meetpunt 203, hoewel deze trend (net) niet significant is. Globaal is het gemiddeld peil in 203 (4,22 m TAW) wel hoger dan de oostelijker gelegen meetpunten 204 (gemiddeld 4,08 m TAW) en 205, het dichtst tegen de geul (gemiddeld peil van 3,96 m TAW).

De *meteorologische condities* en met name vooral neerslag en evapotranspiratie, vormen een tweede belangrijk element die de peilfluctuaties mee bepalen. In de meeste peilpunten is de impact van de getijden dominant maar bij lage overstromingsfrequentie wordt ook de invloed van meteorologie belangrijk. Dit is duidelijk het geval in meetpunten 49 en 203, die een uitgesproken seizoenaal verloop kennen. In meetpunt 204 is dit al veel minder uitgesproken en meetpunt 205, eveneens aan de rand van de zeereep gelegen is een seizoenale fluctuatie al helemaal niet meer duidelijk. Ook locaties die wel regelmatig overstromen ondervinden echter invloed van meteorologische condities. Zo kan een zoutconcentratie optreden in droge periodes (bijvoorbeeld te zien in ZWIP215) en kan verzoeting optreden bij hevige neerslag (cfr. meetpunt 270). De seizoenale fluctuatie van de saliniteit in meetpunt 215 uit zich in onze metingen in schommelingen in de conductiviteit tussen ca. 40 mS/cm in de winter tot ca. 60 mS/cm in de zomer.

Een derde cruciale factor die de peilfluctuaties sterk beïnvloedt is de *nabijheid van geulen*. In de buurt van dergelijke geulen vertonen de peilfluctuaties een zeer piekig patroon door snelle aanvoer en snelle drainage van het zeewater. Het verschil in fluctuatiepatroon tussen bijvoorbeeld meetpunt 203 (gedempt) en 205 (dichter tegen de geul) is in dit opzicht illustratief. De korrelgrootte en daarmee gerelateerde hydraulische conductiviteit van het substraat zal hier mee de snelheid van drainage bepalen maar dit werd in deze studie niet in detail onderzocht. Komgronden en aanwezigheid van kleiplaten kunnen ook zorgen voor stagnerend water (ZWIP220, 210 en 217), waardoor de gemeten 'reële overstromingsfrequentie' hoger kan zijn dan door de getijhoogtes zou worden verwacht.



4.3.3 Effecten van de natuurherstelwerken

Verschillende meetpunten in het oude Zwin vertonen tijdens het project een toename van de gerealiseerde overstromingsfrequentie, wat wijst op een toename van de dynamiek. Deze trend is gerelateerd aan de effecten van zowel de Zwingeuilverruiming als de Zwinuitbreiding.

De effecten van de Zwingeuilverruiming kunnen slechts in 2 meetpunten worden bekeken gezien het meetnet toen nog grotendeels moest worden uitgebouwd. Het betreft ZWIP222 en ZWIP250, gelegen in secundaire krekken. In beide gevallen zien we een erosie van de kreek optreden en daarmee samenhangende verlaging van het globaal waterpeil (water zakt dieper weg). Hierdoor kan het water sneller het gebied binnendringen en uitstromen, wat duidelijk blijkt uit de verandering van de peilregimes in beide meetpunten.

In de overige meetpunten die slechts bemeten zijn na de geuluitbreiding, zien we een significante stijging van de gerealiseerde overstromingsfrequentie in meetpunten 209, 215 en 220. Bij deze laatste is de toename ook gerelateerd aan stagnatie van water in de depressie waarin de buis gelegen is. De toename in meetpunten 204, 205, 218 en 221 is mogelijk nog niet significant omdat de meetreeks niet lang genoeg is om dit aan te tonen. Verderzetting van de metingen is daarvoor wenselijk. In meetpunt 209 werden tot mei 2018 geen reële overstromingen geregistreerd. Daarna komt het aanvankelijk tijdens een beperkt aandeel van de potentiële overstromingen ook tot een reële overstroming. Een duidelijke stijging van de gerealiseerde overstromingen zien we vooral na de realisatie van de Zwinuitbreiding op 4 februari 2019. Toch blijft de gemiddelde gerealiseerde overstromingsfrequentie er nog laag (16%). In meetpunt 215 lijkt de toename meer continu te verlopen. De laatste twee maanden van de meetperiode bereikte de gerealiseerde overstromingsfrequentie 100%, wat betekent dat bij ieder hoogwaterstand hoger dan 4,63 m TAW, het meetpunt ook effectief overstroomt.

Effecten van de werken kunnen ook met enige vertraging optreden door geleidelijke herprofilering van krekken. Zo zien we ter hoogte van meetpunt 222 een sterke uitschuring van de kreek na de verbreding van de hoogdgeul waardoor het water sneller het gebied kan binnendringen (zie hoger). Omgekeerd is in meetpunt 267 een snelle dichtslibbing van de kreek te zien.

Tot slot geven we aan dat de relatie met de vegetatie geen deel uitmaakt van deze studie maar uiteraard wel een belangrijk doel vormt van het grondwateronderzoek. Het is dan ook wenselijk om deze relatie verder te onderzoeken op basis van de resultaten van het vegetatieonderzoek in de transecten.



Referenties

Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Vlaamse Hydrografie (sd). Overzicht van de tijwaarnemingen langs de Belgische kust. Periode 2001-2010 voor Nieuwpoort, Oostende en Zeebrugge.

De Boeck K., Van Hoestenbergh T., Vanlierde E., Deschamps M., Verwaest T. & Mostaert F. (2014). Saliniteit – Chloriniteit – Chlorositeit: Relaties in gebruik in zeewater en in de Beneden-Zeeschelde. Versie 3.0. WL Rapporten 12_076. Waterbouwkundig Laboratorium, Antwerpen, 10 p.

De Moor G. & De Breuck W. (1969). De freatische waters in het oostelijk kustgebied en in de Vlaamse Vallei. *Natuurwetenschappelijk Tijdschrift* 51: 3-68.

Provoost S., Van Gompel W. & Vercruyse W. (2020). Beheerevaluatie kust: Eindrapport 2015-2019. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2020.18, Brussel, 300 p.

Van Dam J.C. (1977). Determination of horizontal and vertical groundwater flow from piezometric levels observed in groundwater of varied densities. *Delft Progr. Rep.* 3: 19-34.

Vandenbruwaene W., Meire P., Temmerman S. & Bouma T.J. (2013). Bio-geomorphic effects on tidal channel evolution: impact of vegetation establishment and tidal prism change. *Earth Surface Processes and Landforms* 38(2): 122-132.

Van de Walle B. & Seys J. (2002). Het mysterie van het getij. *De Grote Rede* 6 : 2-6.

Van Putte N., Temmerman S., Verreydt G., Seuntjens P., Maris T., Heyndrickx M., Boone M., Joris I. & Meire, P. (2019). Groundwater dynamics in a restored tidal marsh are limited by historical soil compaction. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 244: 106101, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2019.02.006>.

Zwaenepoel A., Cosyns E., Lambrechts J., Ampe C., Langohr R., Vandenbohede A. & Lebbe L. (2007). Integrale gebiedsvisie en beheerplan voor het Vlaams Natuurreservaat "De Zwinduinen en -polders" te Knokke - Heist, met aandacht voor het recreatief medegebruik: Eindrapport. WVi, Aeolus, Universiteit Gent, Brugge, 355 p + bijlagen.

