

RAPPORT

Peiloptimalisatie Volkerak-Zoommeer

Onderdeel van Slim Watermanagement
Rijn-Maasmonding

Klant: Rijkswaterstaat WVL (opdrachtgever), Waterschap
Brabantse Delta, Waterschap Scheldestromen

Referentie: DY1175WATRP2010231016

Status: Definitief/F1.0

Datum: 20 november 2020

HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

Jonkerbosplein 52
6534 AB NIJMEGEN
Water

Trade register number: 56515154

+31 88 348 70 00 **T**

+31 24 323 93 46 **F**

info@rhdhv.com **E**

royalhaskoningdhv.com **W**

Titel document: Peiloptimalisatie Volkerak-Zoommeer

Ondertitel: Peiloptimalisatie Volkerak-Zoommeer

Referentie: DY1175WATRP2010231016

Status: F1.0/Definitief

Datum: 20 november 2020

Projectnaam: Peiloptimalisatie Volkerak-Zoommeer

Projectnummer: DY1175

Classificatie

Projectgerelateerd

Behoudens andersluidende afspraken met de Opdrachtgever, mag niets uit dit document worden vervoelvoudigd of openbaar gemaakt of worden gebruikt voor een ander doel dan waarvoor het document is vervaardigd. HaskoningDHV Nederland B.V. aanvaardt geen enkele verantwoordelijkheid of aansprakelijkheid voor dit document, anders dan jegens de Opdrachtgever. Let op: dit document bevat persoonsgegevens van medewerkers van HaskoningDHV Nederland B.V. en dient voor publicatie of anderszins openbaar maken te worden geanonimiseerd.

Inhoud

1	Inleiding	1
1.1	Achtergrond	1
1.2	Doelstelling	1
1.3	Leeswijzer	2
2	Situatieschets	3
2.1	Waterschap Brabantse Delta	5
2.2	Waterschap Scheldestromen	6
3	Methode	9
3.1	Beschikbare en gebruikte data	9
3.2	Validatie, data-analyse, feature engineering	9
3.2.1	Validatie en data-analyse	9
3.2.2	Filtering en opschoning	10
3.2.3	Omgang met missende waarden	10
3.2.4	Feature engineering	10
3.3	Opzet model	11
3.3.1	Watervraag	11
3.3.2	Waterschap Brabantse Delta	12
3.3.3	Waterschap Scheldestromen	14
3.3.3.1	Inlaat Campweg	15
3.3.3.2	Inlaat Van Haften	16
3.3.3.3	Inlaat Drie Grote Polders	16
4	Resultaten	17
4.1	Resultaten waterschap Brabantse Delta	17
4.2	Resultaten Waterschap Scheldestromen	20
4.2.1	Inlaat Campweg	20
4.2.2	Inlaat Van Haften	22
4.3	Gecombineerde resultaten en rekentool	24
5	Analyse	26
5.1	Afleiden kantelpunten	26
5.1.1	Kantelpunten in een normaal jaar	26
5.1.2	Kantelpunten in een droog jaar	29
5.2	Opzetten polderpeilen	30
5.3	Interpretatie kantelpunten	32
5.3.1	Inlaat Oosterhout	32
5.3.2	Inlaat Campweg	36
5.3.3	Inlaat Van Haften	37

5.4	Onzekerheid in meetgegevens	37
6	Conclusies en aanbevelingen	39
6.1	Conclusies	39
6.2	Aanbevelingen	39
7	Literatuur	41

Bijlagen

1.	Gebruikte data	
----	----------------	--

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Het programma Slim Watermanagement is erop gericht om de zoetwatervoorziening in Nederland te verbeteren (zie www.slimwatermanagement.nl voor meer informatie). In situaties van droogte blijkt het lang niet altijd mogelijk om zoetwater op de plekken te krijgen waar het water het hardste nodig is. Dit terwijl droogte tot economische schade leidt. Uit de evaluatie van de droogte van de zomer van 2018 blijkt dat de schadepost van de droogte 900 – 1650 miljoen euro was, voornamelijk voor landbouw en scheepvaart (Projectteam Beleidstafel Droogte, 2019). De schade aan natuur die ook is opgetreden kon niet worden gekwantificeerd. Slim Watermanagement zet zich in om het beschikbare water beter te benutten. Enerzijds door in te zetten op het verbeteren van het operationele waterbeheer en anderzijds door samen te werken met verschillende waterbeheerders die vaak dezelfde zoetwaterbron gebruiken.

Het project ‘peiloptimalisatie Volkerak-Zoommeer’ is uitgevoerd als onderdeel van de Slim Watermanagement regio Rijn-Maasmonding. Het peil van het Volkerak-Zoommeer beïnvloedt in belangrijke mate de zoetwatervoorziening van twee waterschappen:

- Waterschap Scheldestromen voor de eilanden Tholen en St. Philipsland.
- Waterschap Brabantse Delta voor het Mark-Dintel-Vliet systeem.

Waterschap Hollandse Delta grenst ook aan het Volkerak-Zoommeer, maar laat beperkt water in vanuit het Volkerak-Zoommeer en kan gemakkelijker overschakelen naar het Hollandsch Diep.

De waterschappen Scheldestromen en Brabantse Delta hebben verschillende wensen voor het optimale peil van het Volkerak-Zoommeer. In het zomerhalfjaar is waterschap Scheldestromen in principe gebaat bij een hoog peil van het Volkerak-Zoommeer en waterschap Brabantse Delta juist bij een laag peil. Op die manier kunnen beide waterschappen zoveel mogelijk water inlaten. Daarnaast is Staatsbosbeheer, vanwege broedvogels, gedurende het broedseizoen gebaat bij een constant dalend peil (de zogeheten peiltrap).

- Waterschap Scheldestromen – wens – hoog peil van Volkerak-Zoommeer.
- Waterschap Brabantse Delta – wens – laag peil van Volkerak-Zoommeer.
- Staatsbosbeheer – wens – peiltrap (tijdens het broedseizoen), alleen een dalend peil van Volkerak-Zoommeer.

Het peil van het Volkerak-Zoommeer wordt beheerd door Rijkswaterstaat. De drie waterbeheerders willen de samenwerking op basis van de resultaten van het project “Peiloptimalisatie Volkerak-Zoommeer” verbeteren, en zodoende meer inzicht verwerven in het operationele peilbeheer en de gevolgen daarvan voor de inlaat van zoetwater.

Omdat de relaties tussen het inlaten van water en het peil van het Volkerak-Zoommeer niet altijd lineair zijn, ligt het voor de hand om data science-technieken toe te passen in het project.

1.2 Doelstelling

Het hoofddoel van het project is om te bepalen wat het optimale peil is van het Volkerak-Zoommeer in relatie tot de inlaat van zoetwater. Zoals gezegd hebben zowel Waterschap Scheldestromen voor de Zeeuwse kant als Waterschap Brabantse Delta voor de Brabantse kant een belang bij het waterpeil van het Volkerak-Zoommeer als het gaat om het inlaten van water. Aangezien de twee waterschappen een tegengesteld belang hebben, kan ervanuit gegaan worden dat er een bepaalde bandbreedte is waarbij het peil voor zowel waterschap Scheldestromen als Brabantse Delta voldoet.

Buiten deze bandbreedte voldoet het peil voor één van de twee waterschappen niet meer. De uiteinden van de bandbreedte wordt gevormd door twee kantelpunten: het peil waarbij het net niet meer mogelijk is om voldoende water in te laten (figuur 1-1).

Het berekenen van deze tijdsafhankelijke kantelpunten staat centraal in het project. Het middel om de kantelpunten te berekenen is het toepassen van data science-technieken.

	<i>Peil/ kantelpunt</i>	<i>Q inlaat Tholen en St. Philipsland</i>	<i>Q inlaat Oosterhout</i>
Kantelpunt 1	0,15 mNAP	voldoet	te laag
	1 (... mNAP)	voldoet	voldoet
Kantelpunt 2	2 (... mNAP)	te laag	voldoet
	-0,1 mNAP		

Figuur 1-1: Kantelpunten

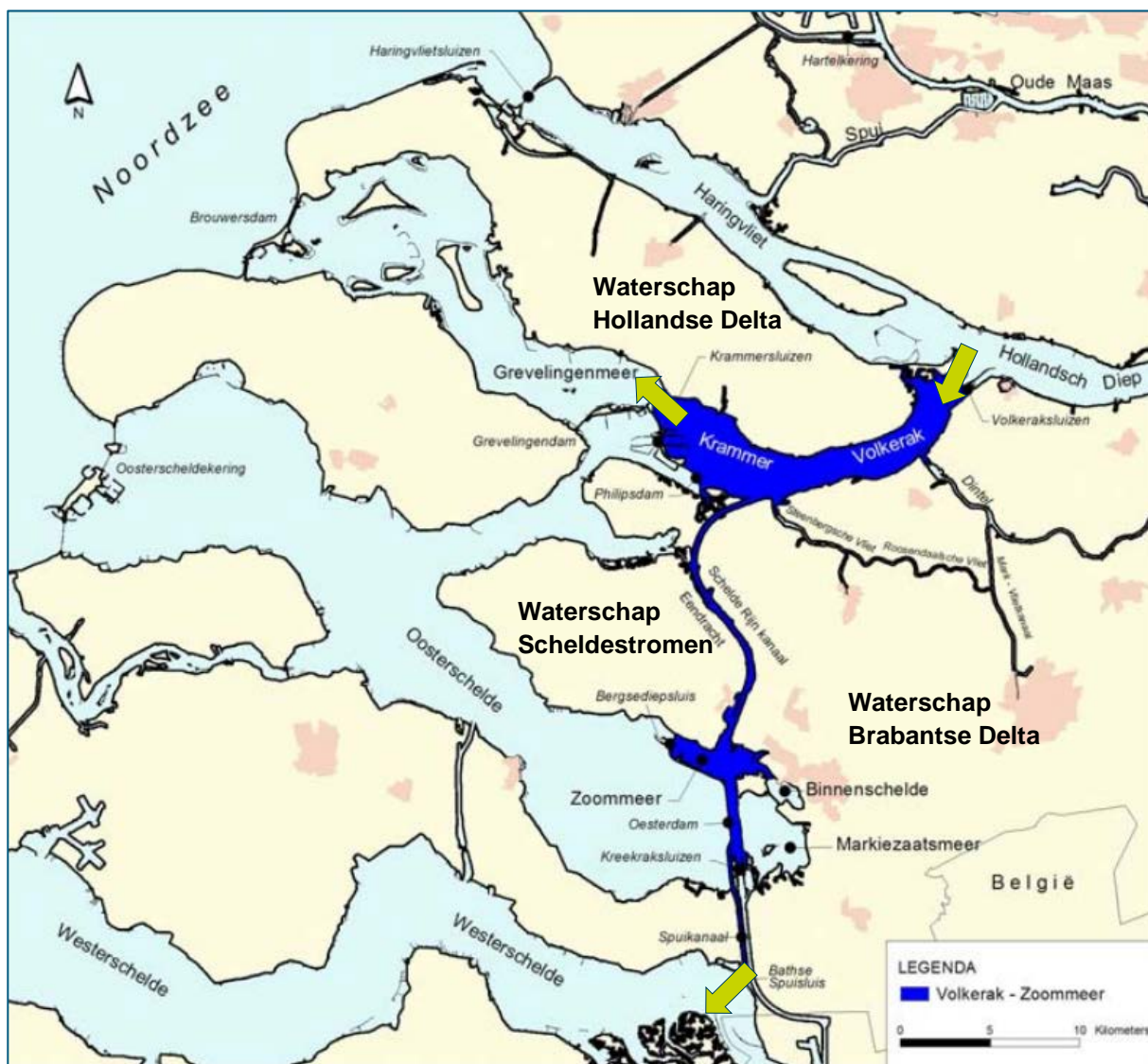
1.3 Leeswijzer

Dit rapport is als volgt opgebouwd: in hoofdstuk 2, Situatieschets, wordt de context van de vraagstelling en de analyse geschetst voor alle stakeholders binnen dit onderzoek. Hoofdstuk 3, Methode, beschrijft de toegepaste methode om de kantelpunten te bepalen. In hoofdstuk 4, Resultaten, worden de resultaten van de analyse weergegeven per waterschap en gecombineerd. De interpretatie van deze resultaten en afleiding van kantelpunten wordt vervolgens in hoofdstuk 5, Analyse, gepresenteerd. Hoofdstuk 6, Conclusies en aanbevelingen, gaat in op het mogelijke handelingsperspectief op basis van de resultaten. Tot slot zijn in hoofdstuk 7 en 8 een literatuurlijst en bijlagen bijgevoegd.

2 Situatieschets

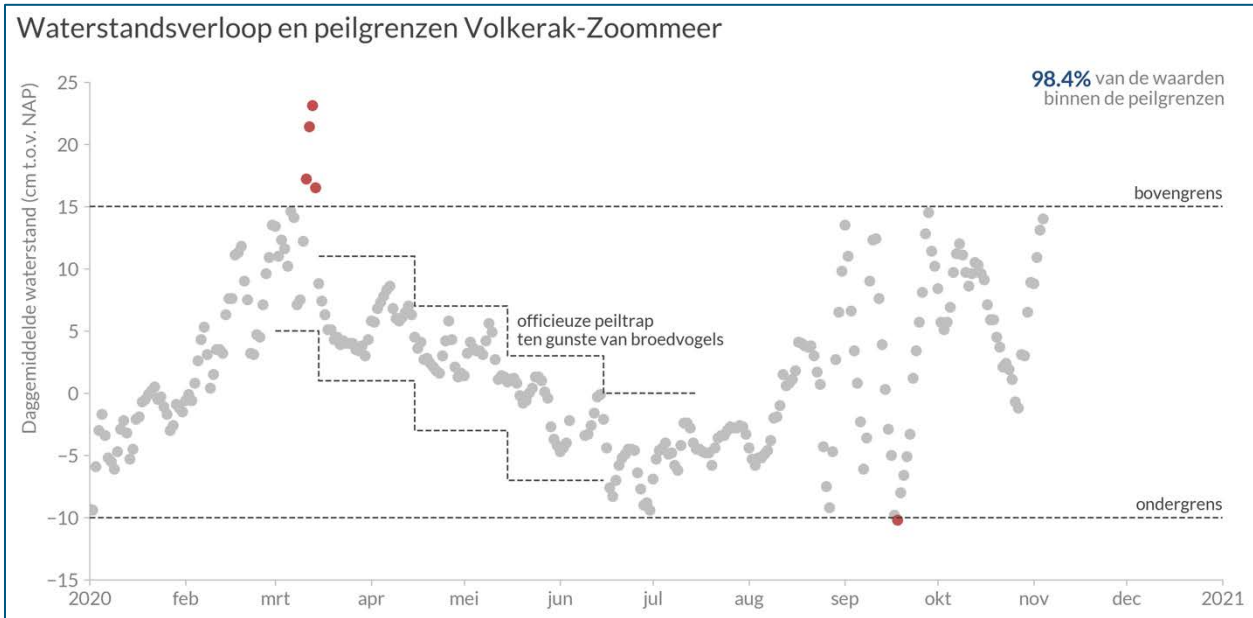
Het Volkerak-Zoommeer ligt in Zuidwest-Nederland en vormt de grens tussen Noord-Brabant aan de oostzijde en Zeeland en Zuid-Holland aan de westzijde. Het waterlichaam bestaat uit twee meren: Volkerak en Zoommeer verbonden door het Schelde-Rijnkanaal. Samen vormen ze een wateroppervlak van 8300 hectare groot. Het Volkerak-Zoommeer is als onderdeel van het Deltaplan met dammen afgescheiden van overige wateren, bijvoorbeeld de Grevelingendam als afscheiding van de Grevelingen, etc. In figuur 2-1 is met pijlen weergegeven hoe het peilbeheer van het Volkerak-Zoommeer onder reguliere omstandigheden plaatsvindt. Er kan water uit het Hollands Diep worden ingelaten en afvoer vindt plaats bij de Bathse Spuisluis of in geval van calamiteiten met hoog water bij de Krammersluizen.

Het Volkerak-Zoommeer is door de afsluiting van de Grevelingen en de Oosterschelde een reservoir van zoet water en op die manier van belang voor de levering van zoet water in de regio: aan Tholen, St. Philipsland en het westelijk deel van Waterschap Brabantse Delta (figuur 2-3). In het peilbesluit van het Volkerak-Zoommeer (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1996) is vastgelegd dat het waterpeil tussen -0,1mNAP en +0,15mNAP moet liggen. Dit is bevestigd in het waterakkoord van januari 2016.

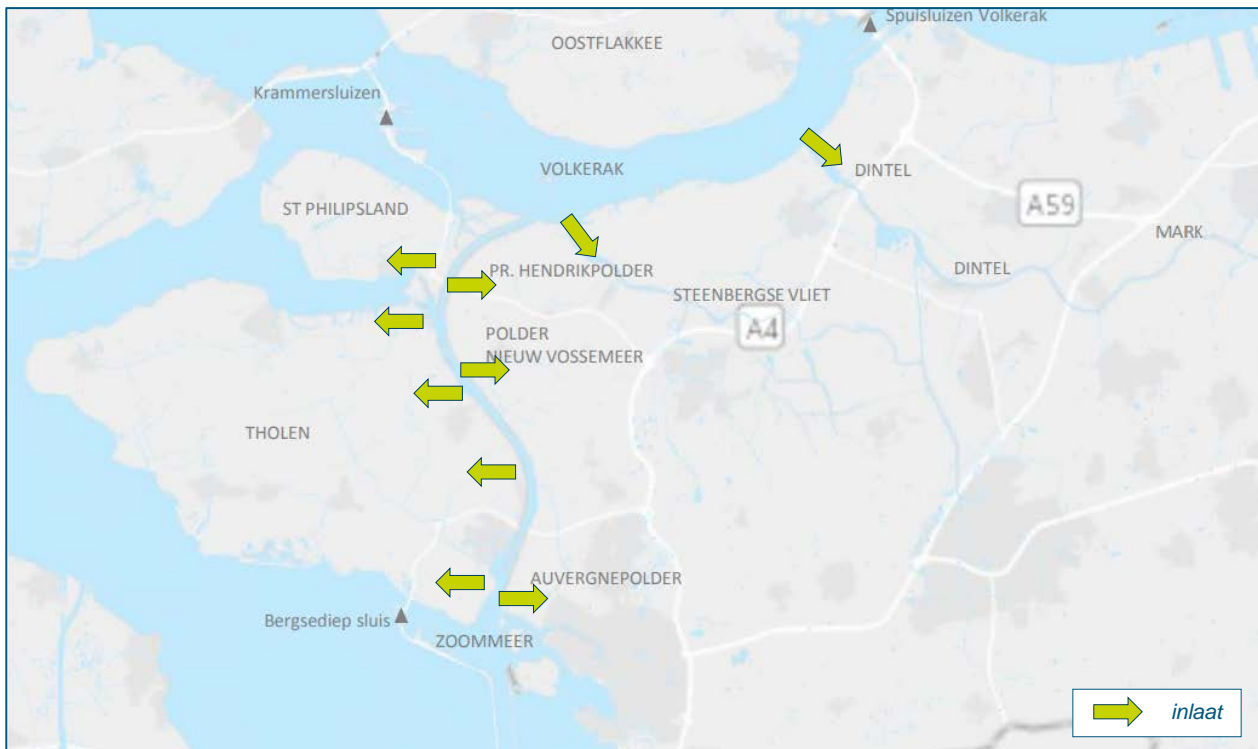


Figuur 2-1 Ligging van Volkerak-Zoommeer met in- en uitlaatpunten. Bron: Rijkswaterstaat dienst Zeeland, 2012

Rijkswaterstaat houdt naast het peilbesluit ook rekening met de wensen van Staatsbosbeheer die, in verband met nesten van broedvogels gedurende het broedseizoen, een telkens dalend peil wenst. Dit wordt de peiltrap genoemd, zie figuur 2-2.



Figuur 2-2 Peiltrap op het Volkerak-Zoommeer voor broedvogels



Figuur 2-3 Volkerak-Zoommeer met aanliggende polders die worden voorzien van zoet water uit het Volkerak-Zoommeer
Bron: Hydrologic, 2017

2.1 Waterschap Brabantse Delta

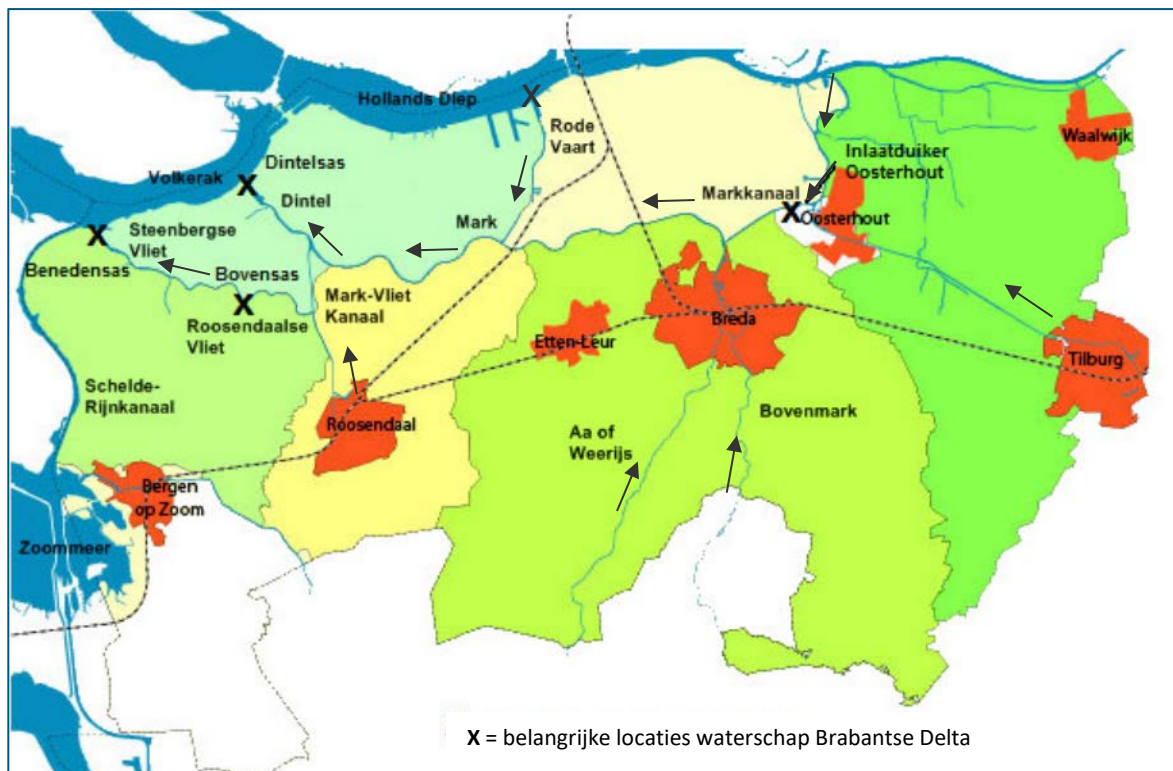
Het beheergebied van Waterschap Brabantse Delta bestaat uit een vrij afwaterend deel en een peilbeheerst deel. Het peilbeheerste deel bevindt zich in het noorden en westen van het gebied. Door het peilbeheerste gebied loopt de Mark-Dintel-Vliet boezem. De boezem vervult een belangrijke rol voor zowel de afvoer van overtollig water als de aanvoer van zoet water in de zomer van de polders.

De afvoer van een groot deel van het water uit het beheergebied van Waterschap Brabantse Delta verloopt via de Mark-Dintel-Vliet boezem waarbij zowel water uit de polders als van het vrij afwaterende deel wordt afgevoerd naar het Volkerak-Zoommeer (figuur 2-4).

De aanvoer van water gedurende het zomerseizoen geschiedt op drie manieren:

- Rechtstreekse waterinlaat vanuit het Volkerak-Zoommeer in de Prins Hendrik-polder, de Auvergnepolder en de polders Nieuw Vossemeer (PAN-polders).
- Inlaat in de Mark-Dintel-Vliet boezem door de open verbinding tussen het Volkerak-Zoommeer en de boezem.
- Inlaat via inlaatduiker Oosterhout ten noorden van Breda. Dit is water afkomstig uit de Amertak (benedenpand van het Wilhelminakanaal). Het benedenpand van het Wilhelminakanaal staat via de Amertak in open verbinding met de Amer/Bergsche Maas. Het inlaatwater stroomt van oost naar west door de Mark-Dintel-Vliet boezem richting het Volkerak-Zoommeer (figuur 2-4).
- Inlaat via de Marksluis. In uitzonderlijke situaties is het ook mogelijk om water in te laten via de Marksluis. De Marksluis verbindt de Amertak via het Markkanaal met de Mark en de Mark-Dintel-Vliet boezem. Rijkswaterstaat is beheerder van de Marksluis. In 2018 en 2020 is de Marksluis ingezet om extra water aan te voeren.

Vanaf 2022 is extra waterinlaat mogelijk vanuit het Hollands Diep via de Roode Vaart.



Figuur 2-4 Situatieschets van Mark-Dintel-Vliet systeem in relatie tot het Volkerak-Zoommeer. Bron: M. van den Berg, 2009

Afhankelijkheid van waterpeil op het Volkerak-Zoommeer

Als het waterpeil van het Volkerak-Zoommeer hoog is, dan stijgt ook het waterpeil van de Mark-Dintel-Vliet boezem. Hierdoor neemt het hoogteverschil bij de inlaatduiker van Oosterhout af en kan Waterschap Brabantse Delta minder water inlaten. Waterschap Brabantse Delta is dus gebaat bij een zo laag mogelijk peil van het Volkerak-Zoommeer. Het waterpeil en het debiet van de Mark-Dintel-Vliet boezem wordt niet alleen bepaald door de inlaat bij Oosterhout en het peil van het Volkerak-Zoommeer. Beken uit het vrijafwaterende gebied voeren ook water af naar de Mark-Dintel-Vliet boezem, bijvoorbeeld bij Breda de Aa of Weerijns en de Bovenmark.

Het peil van het Volkerak-Zoommeer heeft gezien het relatief lage peil in de PAN-polders geen invloed op het inlaatdebiet in de PAN-polders en daarom zijn deze polders buiten beschouwing gelaten in deze studie naar peiloptimalisatie.

Doorspoelprotocol

Om de waterkwaliteit van de Mark-Dintel-Vliet boezem op peil te houden hanteert Waterschap Brabantse Delta een doorspoelprotocol. Het doel van het doorspoelprotocol is het voorkomen van blauwalgenbloei. Het waterschap monitort of er blauwalgenbloei optreedt, of de verblijftijden van het water in de boezem te lang worden en of de watertemperatuur te hoog is. Bij cyano-chlorofyl gehaltes van meer dan 12,5 µg/l, een watertemperatuur boven de 21 °C en/of oplopende verblijftijden wordt het doorspoelprotocol in werking gesteld (Hydrologic, 2017). Dit betekent dat er extra water wordt ingelaten bij inlaat duiker Oosterhout, mocht het inlaatdebiet op de Mark-Dintel-Vliet boezem niet toereikend zijn. Waterschap Brabantse Delta heeft berekend dat de watervraag voor het doorspoelprotocol 4,8 m³/s is.

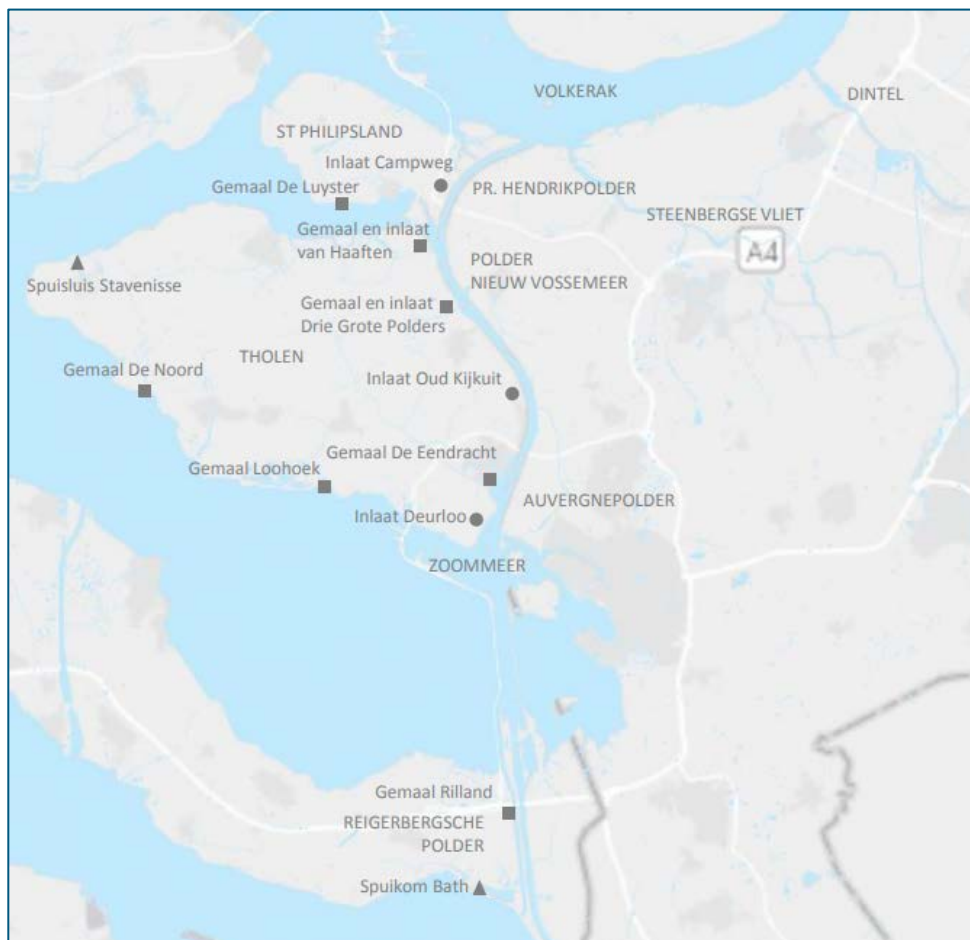
2.2 Waterschap Scheldestromen

Waterschap Scheldestromen voert water uit het Volkerak-Zoommeer aan voor de polders van Tholen en St. Philipsland. De polders hebben van nature last van brakke kwel door de ligging in de delta. Om landbouw te kunnen bedrijven in de polder is aanvoer van zoet water van belang. Er wordt door Waterschap Scheldestromen gestuurd op zoutgehaltes in de polders. In de praktijk wordt bij aanvoer gestreefd naar zoveel mogelijk inlaatwater, voor zover het ontvangende watersysteem het water goed kan verwerken en het inlaten zinvol is wat betreft de sturing in achterliggende polders. Een zo laag mogelijk zoutgehalte in combinatie met zoveel mogelijk inlaat levert de hoogst haalbare gebruikskwaliteit op. Het waterschap streeft ernaar dit tot in de periferie van het aanvoergebied te realiseren.

St. Philipsland heeft één inlaat: Campweg. Inlaat Campweg is een inlaatduiker met daarin een stuw die onder vrij verval water uit het Volkerak-Zoommeer inlaat. Het verval tussen het Volkerak-Zoommeer en het zomerpeil in de polder is beperkt. Daarom is er ook een voorstuwer aanwezig om water uit het Volkerak-Zoommeer de duiker in te stuwen.

Tholen heeft vier inlaten: Van Haften, Drie Grote Polders, Oud-Kijkuit en Deurloo. Inlaat Van Haften is de grootste en belangrijkste inlaat voor Tholen. Het is een duiker die water onder vrij verval inlaat. Zo'n 56% van het gebied wordt bediend door deze inlaat. Dit areaal kan soms nog worden uitgebreid om een groter gebied van water te kunnen voorzien. Inlaat Drie Grote Polders is een inlaatduiker met een vaste stuw. De drempelhoogte van de vaste stuw is echter nooit vastgesteld, waardoor ook niet duidelijk is of de inlaat erg afhankelijk is van het peil van het Volkerak-Zoommeer. Oud Kijkuit en Deurloo zijn inlaten met een vaste stuw. Op Tholen zijn de inlaten Van Haften en Drie Grote Polders ook de afvoerpunten bij neerslag. Het waterschap moet na neerslag omschakelen van inlaten naar afvoeren.

De ligging van de inlaten van Waterschap Scheldestromen zijn opgenomen in figuur 2-5. De kenmerken van de inlaten zijn opgenomen in tabel 2-1.



Figuur 2-5 Inlaatlocaties van Waterschap Scheldestromen. Bron: Hydrologic, 2017

Tabel 2-1 Kenmerken inlaatkunstwerken St. Philipsland en Tholen

Inlaat	Type kunstwerk	Peil Volkerak-Zoommeer	Zomerpeil polder	Afhankelijk van peil Volkerak-Zoommeer?
Campweg	Stuw met drempel op -0,18 mNAP Ook voorstuwer aanwezig.	-0,1 tot +0,15 mNAP	- 0,25 mNAP	Ja
Van Haften	Duiker	-0,1 tot +0,15 mNAP	- 0,40 mNAP	Ja
Drie Grote Polders	Stuw met drempel van onbekende hoogte	-0,1 tot +0,15 mNAP	-1,90 mNAP	Onduidelijk omdat drempelhoogte ontbreekt
Oud Kijkuit	Stuw met drempel op -1,15 mNAP	-0,1 tot +0,15 mNAP	-1,50 mNAP	Nee
Deurloo	Stuw met drempel op -1,20 mNAP	-0,1 tot +0,15 mNAP	-1,40 mNAP	Nee

Afhankelijkheid van waterpeil op het Volkerak-Zoommeer

Als het peil van het Volkerak-Zoommeer hoog is, dan kan er meer water in de polders van Waterschap Scheldestromen worden gelaten. Door het hogere peil is het hoogteverschil tussen het Volkerak-Zoommeer en de polder groter. Dit leidt tot een groter verval over de inlaatkunstwerken en daardoor is er meer inlaat mogelijk. Andersom geredeneerd: bij een te laag peil van het Volkerak-Zoommeer kan Waterschap Scheldestromen onvoldoende water inlaten. Of het Volkerak-Zoommeer erg bepalend is voor de hoeveelheid inlaatwater, is ook afhankelijk van het polderpeil bij een vrij verval inlaat, en/of de hoogte van de drempel van de stuwen in de inlaten.

Van de inlaten Oud Kijkuit en Deurloo is vastgesteld dat het verschil tussen het peil van het Volkerak-Zoommeer en de drempel van de stuw zodanig groot is dat het niet uitmaakt of het peil van het Volkerak-Zoommeer op -0,10 mNAP staat of op +0,15 mNAP. Er kan ruim voldoende ingelaten worden (zie §3.3.3). Voor de inlaat Drie Grote Polders is de hoogte van de drempel niet bekend en daarom kan niet met zekerheid worden gezegd of het Volkerak-Zoommeer bepalend is voor de hoeveelheid inlaatwater. De inlaten Campweg en Van Haften zijn erg afhankelijk van het peil van het Volkerak-Zoommeer.

3 Methode

Om de kantelpunten voor het peil van het Volkerak-Zoommeer te bepalen is een aantal stappen doorlopen. Allereerst is een dataset opgesteld met daarin alle relevante historische meetreeksen van de betrokken waterbeheerders. Deze dataset is gefilterd, opgeschoond en waar nodig zijn missende waarden geïmputeerd. Aan de hand van de dataset is voor beide waterschappen de historische watervraag berekend. Door de watervraag af te zetten tegen de historische wateraanvoer is geanalyseerd wanneer er een tekort of overschot aan water bestond. Dit is met data science-technieken vertaald in een gewenst peil van het Volkerak-Zoommeer, waaruit de kantelpunten en andere interessante situaties zijn afgeleid.

3.1 Beschikbare en gebruikte data

Voor dit onderzoek is data gebruikt uit de volgende bronnen:

- Rijkswaterstaat:
 - Peiltrappen voor het Volkerak-Zoommeer.
 - Waterstanden van het Volkerak-Zoommeer.
 - Waterstanden van de Bergsche Maas/Amer bij Moerdijk en Keizersveer.
- Waterschap Brabantse Delta:
 - Debieten en waterstanden bij inlaat Oosterhout en overige meetpunten (zie bijlage 1).
 - Meetgegevens blauwalgen (cyano-chlorofyl) in de Mark-Dintel-Vliet boezem.
 - Volumes inhoud van trajecten voor bepaling verblijftijden in de Mark-Dintel-Vliet boezem.
- Waterschap Scheldestromen:
 - Debieten, waterstanden schuifhoogtes, klepstanden van stuwen bij de uitlaten (gemalen) en inlaten (zie bijlage 1).
 - Chloride gehalten bij de inlaten en de polders.
- KNMI:
 - Regenval, verdamping, windrichting en windkracht van de weerstations Wilhelminadorp (323), Woensdrecht (340), Gilze-Rijen (350).
 - Regenval van de amateurstations Oudenbosch, Klundert, Steenberg en Anna-Jacoba polder.

3.2 Validatie, data-analyse, feature engineering

3.2.1 Validatie en data-analyse

Om gevoel te krijgen bij de juistheid van de beschikbare data is een aantal validatie-analyses uitgevoerd:

- *Histogrammen van alle relevante tijdsreeksen*, om te zien of de verdeling van de gemeten waarden volgens verwachting is. Dat wil zeggen: dat er bijvoorbeeld een duidelijke verdeling rondom één veelvoorkomende waarde is, of rondom twee waarden voor een waterstand in het geval van een zomer- en winterstreefpeil, en niet meerdere pieken op vreemde waarden.
- *Correlatieplots van alle relevante combinaties van variabelen*, om te zien of de verwachte correlaties ook daadwerkelijk in de dataset terug te vinden zijn.
- *Normale tijdreeks-plots van alle relevante reeksen*, om te zien of de reeksen rare patronen of outliers vertonen, en of de geïmputeerde waarden kloppen. Daarnaast kan hiermee gezien worden of er geen ander beheer is gevoerd in bepaalde periodes.

Met betrokken waterbeheerders zijn de bovenstaande analyses besproken. Op basis daarvan is besloten dat de meeste tijdsreeksen goed bruikbaar waren, maar dat een aantal tijdsreeksen afwijkingen vertoonde (bijvoorbeeld het bovenstroomse waterpeil bij inlaat Campweg). Waar relevant wordt in paragraaf 3.3.3.1 t/m 3.3.3.3 omschreven hoe dit de analyse beïnvloed heeft.

3.2.2 Filtering en opschoning

Niet alle tijdsreeksen beslaan dezelfde periode, zoals het overzicht in bijlage 1 laat zien. De meeste tijdsreeksen zijn beschikbaar voor de periode van 2016 t/m 2019 en daarom is deze periode geselecteerd voor de analyse. Daarnaast zitten er in die periode zowel zeer droge (bijvoorbeeld 2018) als normale jaren (bijvoorbeeld 2017) wat de periode interessant maakt voor de analyse. Als tijdsinterval voor deze analyse is voor uur-waarden gekozen, omdat dit interval na overleg met hydrologen van beide betrokken waterschappen als toereikend is bestempeld. Daarnaast worden effecten op waterstanden door o.a. scheepvaart hiermee uitgemiddeld.

Een aantal reeksen bevat, na overleg met betrokken hydrologen van de waterschappen, waarden die dermate hoog/laag zijn dat het meetfouten moeten zijn. Om deze “outliers” te verwijderen is gebruik gemaakt van een voortschrijdend gemiddelde en standaarddeviatie. Wanneer een waarde meerdere (bijv. 10+) standaarddeviaties van het gemiddelde afwijkt, is de waarde gelabeld als een outlier en verwijderd uit de dataset.

3.2.3 Omgang met missende waarden

Ook in de periode 2016-2019 waren er nog missende waarden in de tijdsreeksen, onder andere door het verwijderen van de outliers. De missende waarden zijn voor zover mogelijk aangevuld door middel van imputatie. De ontbrekende waarden zijn op de volgende manier voorspeld aan de hand van de gerelateerde tijdsreeksen die wel bekend zijn:

1. Eén tijdreeks met missende waarden als doelvariabele te kiezen.
2. Een data science-model te trainen dat aan de hand van andere tijdreeksen de doelvariabele voorspelt, dit trainen gebeurt met de data uit tijdsperioden dat er wel een waarde voor de doelvariabele is. In dit geval is een multivariaat lineair regressie-model gebruikt, omdat er een continue waarde voorspelt dient te worden die mogelijk niet voorkomt binnen de trainingsdata. Dit maakt veel andere methoden ongeschikt, zoals uitgebreider uitgelegd wordt aan het eind van paragraaf 3.3.2.
3. Met het data science-model de doelvariabele voorspellen en in te vullen wanneer er een missende waarde is.

Deze manier van data imputeren is meerdere malen doorlopen, waarbij telkens de voorspelde waarden in andere variabelen weer gebruikt zijn om de missende waarden in één tijdreeks te voorspellen, totdat er (vrijwel) geen variatie in de uitkomsten meer zit. Hiervoor is de IterativeImputer¹ implementatie gebruikt uit veelgebruikte Python library Scikit-learn. Als estimator is de LinearRegression implementatie gebruikt, tevens uit Scikit-learn. Belangrijk is hier dat de voorspelmodellen geen rekening houden met fysieke onmogelijkheden; voor een debiet kan bijvoorbeeld een negatieve waarde voorspeld worden. Wanneer dat het geval is, is de voorspelde waarde vervangen door ondergrens ‘0’.

De geïmputeerde data is met hydrologen van Brabantse delta en Scheldestromen besproken om te bepalen of de imputaties logisch zijn, of dat we beter een theoretische reeks kunnen gebruiken indien beschikbaar.

3.2.4 Feature engineering

Op basis van de beschikbare gemeten data zijn nieuwe variabelen afgeleid en/of toegevoegd die helpen bij de verdere analyse. De volgende nieuwe variabelen zijn toegevoegd aan de dataset:

- *Gesommeerde en gemiddelde neerslag over de afgelopen 7/14/31 dagen*, om een beeld te geven van de droogte in een periode.

¹ <https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.impute.IterativeImputer.html>

- *SPI/SPEI-indicatoren voor KNMI-meetstation Gilze-Rijen*, eveneens om een beeld te geven van de droogte in een periode.
- *Gesommeerde afvoer van Bovenmark en Aa of Weerijs*, deze beken dragen bij aan het beschikbare water voor de Mark-Dintel-Vliet boezem. Bij een hoge afvoer van de beken hoeft er minder water te worden ingelaten bij duiker Oosterhout. De afvoer van Bovenmark en Aa of Weerijs is opgeteld bij de aanvoer via duiker Oosterhout om de totale aanvoer voor Waterschap Brabantse Delta te bepalen (afgezien van de Marksluis).
- *Verblijftijden voor specifieke trajecten van de Mark-Dintel-Vliet boezem*, om te bepalen of er noodzaak is tot het inzetten van het doorspoelprotocol of niet. Hiervoor is het volume van een traject van het watersysteem gebruikt, gedeeld door de afvoer in m³/s op dat traject.
- *Tijdskolommen als maand, dag*, om data science-modellen seizoensinvloeden te kunnen laten leren.

3.3 Opzet model

Om de kantelpunten voor de peiloptimalisatie te identificeren was het nodig om de relatie te leggen tussen het waterpeil van het Volkerak-Zoommeer en het al-dan-niet kunnen aanvoeren van een benodigd debiet bij beide waterschappen. Daarvoor zijn per inlaatpunt drie tijdsreeksen opgesteld:

- A. Het historisch ingelaten debiet.
- B. Het theoretisch maximale debiet dat historisch ingelaten had kunnen worden, gegeven de toen bestaande waterpeilen van het Volkerak-Zoommeer en andere relevante boven- en benedenstroomse peilen.
- C. De watervraag gegeven de omstandigheden (bijv. droogte, noodzaak tot doorspoelen).

Op basis van deze tijdsreeksen was het mogelijk om te bepalen hoeveel ruimte er historisch nog was om meer water in te laten (reeks B – reeks A) en wat het watertekort dan eventueel nog was (reeks C – reeks B). Vervolgens was het mogelijk om te bepalen wat het waterpeil van het Volkerak-Zoommeer had moeten zijn om het benodigde debiet wél te kunnen inlaten. Dit is gedaan door eerst te bepalen wat de waterpeilen boven- en benedenstrooms van een inlaat hadden moeten zijn (waarbij één van beiden historisch gegeven is) en dat te vertalen naar een waterpeil op het Volkerak-Zoommeer.

3.3.1 Watervraag

Alvorens in te gaan op de analyse per waterschap en per inlaat, is het nodig om de watervraag te definiëren. De watervraag bestaat uit meerdere posten:

- Water dat gebruikt wordt door agrariërs om te irrigeren.
- Compensatie van verdamping en wegzijging van oppervlaktewater.
- Doorspoelwater om algenbloei en zuurstofloosheid te voorkomen, ook bv. in stedelijk gebied
- Doorspoelwater om brak of zout oppervlaktewater te verdunnen,
- en vaak is er ook een overmaat van water nodig om het aangevoerde water op de plaats van bestemming te krijgen.

De watervraag is daarnaast ook dynamisch: op warme dagen neemt de verdamping toe en beregenen agrariërs hun gewassen. Op wat koudere dagen en dagen met neerslag is de watervraag lager. Voor Scheldestromen geldt dat de mate van verzilting de watervraag voor doorspoeling bepaald: bij aanvang van het groeiseizoen neemt deze geleidelijk toe en na neerslagrijke perioden is de watervraag voor doorspoeling relatief groot om ingesloten ‘zoutproppen’ in het watersysteem te verwijderen en weer een goede basiskwaliteit te realiseren.

Voor waterbeheerders is de watervraag daarom niet exact bekend. Het is immers onmogelijk om op alle locaties en alle momenten meetgegevens van de watervraag te hebben. Om toch invulling te geven aan de watervraag maken waterbeheerders vaak gebruik van kentallen, ook al hebben die zoals hierboven

toegelicht zeker hun beperkingen en onzekerheden (zie ook §5.4). Voor de watervraag in een normale zomerse situatie wordt 0,1 l/s/ha gehanteerd en voor een extreem droge situatie 0,3 l/s/ha. In deze studie is eveneens gebruik gemaakt van deze kentallen. Voor Waterschap Brabantse Delta geldt dat er ook rekening moet worden gehouden met de extra watervraag voor het doorspoelprotocol die via de inlaatduiker in Oosterhout gerealiseerd moet worden (tabel 3-1).

Tabel 3-1 Watervraag per inlaat

Inlaat	Achterliggend gebied [ha.]	Watervraag normaal 0,1 l/s/ha [m ³ /s]	Watervraag droog 0,3 l/s/ha [m ³ /s]	Extra watervraag doorspoelprotocol [m ³ /s]
Duiker Oosterhout	28.100	2,81	8,43	4,8
Campweg	1.930	0,19	0,58	n.v.t.
Van Haaften	6.530	0,65	1,96	n.v.t.
Drie Grote Polders	2.915	0,29	0,87	n.v.t.
Oud Kijkuit	1.749	0,17	0,52	n.v.t.
Deurloo	466	0,05	0,14	n.v.t.

3.3.2 Waterschap Brabantse Delta

Voor Waterschap Brabantse Delta geldt dat water ingelaten wordt via de inlaatduiker bij Oosterhout. De analyse focust zich daarom op deze inlaat. Daarnaast is er afvoer van twee grote beken bij Breda, namelijk de Bovenmark en de Aa of Weerij. De afvoer van de beken en de inlaat bij Oosterhout bepalen samen het debiet op de Mark.

De reeksen, zoals omschreven in §3.3, bij inlaatduiker Oosterhout zijn als volgt bepaald:

- A. Het historische debiet is de optelsom van de debieten van de Bovenmark, de Aa of Weerij en de inlaatduiker bij Oosterhout.
- B. Het theoretisch maximale historische debiet is de optelsom van de debieten van de Bovenmark, de Aa of Weerij en het theoretisch maximale inlaatdebet van de inlaatduiker bij Oosterhout. Daarvoor is de onderstaande debietformule gebruikt met een volledig open schuif h en de historische peilen boven- en benedenstrooms.

$$Q = m * h * b * \sqrt{2 * 9.81 * (H_{bov} - H_{ben})}$$

$$Q_{Oosterhout} = 0.87 * 1.78 * 1.75 * \sqrt{2 * 9.81 * (H_{bov} - H_{ben})}$$

- C. De watervraag ($Q_{n_{totaal}}$) bestaat uit twee componenten, zoals beschreven in §3.3.1. De watervraag in een normale situatie is 0,1 l/s/ha en in een extreem droog jaar kan dit oplopen tot 0,3 l/s/ha. Daarnaast heeft Waterschap Brabantse Delta een doorspoelprotocol om de vorming van blauwalgen te voorkomen. Dit levert vier mogelijke (combinaties van) watervragen op, weergegeven in tabel 3-2.

Het is niet exact bekend wanneer het zo droog is dat de watervraag oploopt naar 0,3 l/s/ha. In de dataset zijn neerslag, neerslagtekort, verdamping en SPEI-index wel indicatoren, maar het ontbreekt aan een goede drempelwaarde. Daarom is ervoor gekozen om de hele zomer van 2018 als droog jaar te nemen en de overige jaren als normale jaren. 2018 was immers een erg droog jaar en het levert veel inzicht op om één jaar als droog jaar mee te nemen. Als maatstaf voor het inzetten van het doorspoelprotocol gebruikt het waterschap de verblijftijd van water in de Mark-Dintel-Vliet boezem (per traject). De verblijftijd in het traject van Bovensas tot Benedensas (zie figuur 2-4) is als maatgevend gekozen.

Wanneer de 7-daags gemiddelde verblijftijd langer is dan 12 dagen, dient er doorgespoeld te worden met 4,8 m³/s extra water.

Tabel 3-2 Watervraag Waterschap Brabantse Delta voor de Mark-Dintel-Vliet boezem

	Watervraag	
	Normaal (0,1 l/ha/s)	Droog (0,3 l/ha/s)
Doorspoelprotocol		
Niet doorspoelen	2,81 m ³ /s	8,43 m ³ /s
Doorspoelen (4,8 m ³ /s)	7,61 m ³ /s	13,23 m ³ /s

De historische watervraag is vervolgens vertaald in een benodigd benedenstrooms waterpeil bij de inlaat Oosterhout. Daarvoor is eerst de aanvoer over de Bovenmark en Aa of Weerij's van het totaal benodigde debiet afgetrokken:

$$Qn_{Oosterhout} = Qn_{totaal} - Q_{Bovenmark} - Q_{AaOfWeerij's}$$

Eventueel kan ook aanvoer via de Marksluis nog ervan afgetrokken worden.

De debietformule bij Oosterhout is:

$$Q = m * h * b * \sqrt{2 * 9.81 * (H_{bov} - H_{ben})}$$

Met $m = 0.87$, $h = 1.78$, $b = 1.75$. Om H_{ben} te bepalen voor een bepaald debiet $Qn_{Oosterhout}$, is de debietformule uitgedrukt in Hn_{ben} :

$$Hn_{ben} = H_{bov} - \frac{\left(\frac{Qn}{m * h * b}\right)^2}{2 * 9.81}$$

Aan de hand van deze formule is bepaald wat het benedenstroomse peil bij inlaat Oosterhout had moeten zijn om aan $Qn_{Oosterhout}$ te voldoen. Hn_{ben} dient vervolgens vertaald te worden in het benodigde peil op het Volkerak-Zoommeer. Hoewel deze twee peilen in verbonden waterlichamen gemeten worden, liggen deze metingen dermate ver uit elkaar dat er geen eenvoudig lineair verband tussen bestaat. Dit is eerder ook aangetoond in de Redeneerlijn waterinlaat Oosterhout vs. peil van het Volkerak-Zoommeer van Klaas-Jan Douben uit maart 2019.

Om dit benodigde peil te vertalen in een benodigd peil van het Volkerak-Zoommeer is een voorspelmodel getraind dat, gegeven Hn_{ben} bij Oosterhout en features met betrekking tot het weer, de tijd van het jaar en afvoer vanaf de Bovenmark en Aa of Weerij's, het peil van het Volkerak-Zoommeer voorspelt. De historische H_{ben} is gebruikt voor het trainen van het model, voor de voorspellingen is H_{ben} vervangen door Hn_{ben} .

Om te bepalen welke factoren relevant zijn om mee te nemen, is eerst het peil van het Volkerak-Zoommeer voorspeld met alleen het peil bij Oosterhout, om daarna het residu (= de fout in de voorspelling) te correleren met alle beschikbare andere variabelen zoals eerder beschreven paragrafen 3.1 en 3.2.4. De correlerende variabelen zijn ook beoordeeld op mogelijke informatie-lekken: een peil dat ook in het Volkerak-Zoommeer ligt zou niet valide zijn om te gebruiken.

Vanwege de aard van het probleem is een multivariaat lineair regressiemodel gebruikt. Specifiek de LinearRegression-implementatie uit de Python library Scikit-learn, die eerder ook gebruikt is om missende data te imputeren. In een lineair regressiemodel wordt de lineaire relatie tussen een uitkomstvariabele Y en voorspellende variabele X beschreven als $Y = a + bX + \varepsilon$ waarin de waardes voor constanten a en b zo geleerd worden dat het residu ε zo klein mogelijk is. En dus $a + bX$ zo dicht mogelijk Y benaderd. In dit geval zijn meerdere voorspellende variabelen X_i met $i \in \{1, 2, \dots, n\}$ gebruikt. Dit wordt een multivariate lineaire regressie genoemd, waarvoor de volgende formule geldt:

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n + \varepsilon$$

Kortom: voor elke gebruikte voorspellende variabele wordt een wegingsfactor geleerd, zodat de optelsom van de voorspellende variabelen – maal hun wegingsfactor – de voorspelling voor Y geeft. In de rest van deze rapportage zal naar dit data science-model gerefereerd worden als het MLR-model.

Voordelen hiervan t.o.v. complexere modellen zijn onder andere de korte trainingstijd en de mogelijkheid tot extrapolatie naar waarden voor H_{ben} die niet in de trainingsdata voorkwamen. Deze extrapolatie is een essentieel onderdeel van de methode: deze situatie kan voorkomen wanneer er een benedenstrooms peil bij inlaat Oosterhout nodig is dat in het verleden niet voor is gekomen. Modellen gebaseerd op regels/partities zoals tree-based modellen kunnen hier minder goed mee omgaan. Doordat het een lineair model betreft, kunnen de extrapolaties niet plots enorm afwijken van de daadwerkelijk gemeten waarden voor Y wanneer er situaties voorspeld worden die niet in de trainingsdata voorkwamen. Met een non-lineair model zou dat een risico kunnen zijn.

Uiteindelijk werd op deze manier een gewenst peil van het Volkerak-Zoommeer verkregen, dat het voor Waterschap Brabantse Delta mogelijk zou maken om genoeg water in te laten. Dit peil kan gezien worden als de bovenkant van de bandbreedte waarin het peil van het Volkerak-Zoommeer zich idealiter bevindt, de gewenste peilen voor Waterschap Scheldestromen vormen de onderkant van deze bandbreedte (zie figuur 1-1).

3.3.3 Waterschap Scheldestromen

Voor Waterschap Scheldestromen geldt dat verschillende inlaten water aanvoeren vanuit het Volkerak-Zoommeer voor verschillende achterliggende gebieden (arealen), zie hoofdstuk 2. De analyse voor Waterschap Scheldestromen is voor elke inlaat apart uitgevoerd. Middels proefberekeningen is aangetoond dat het inlaatdebiet bij de inlaten Oud Kijkuit en Deurloo niet afhankelijk zijn van het peil van het Volkerak-Zoommeer (tabel 3-3). In overleg met Waterschap Scheldestromen is daarom besloten dat het uitvoeren van de analyse alleen relevant is voor de inlaten Campweg, Van Haften en Drie Grote Polders.

Tabel 3-3 Bepaling maximaal inlaatdebiet bij gegeven peil van het Volkerak-Zoommeer voor de inlaten van Waterschap Scheldestromen (alles in m³/s)

Inlaat	Watervraag 0,1 l/s/ha	Watervraag 0,3 l/s/ha	Inlaatdebiet bij VZM peil van -0,1 mNAP	Inlaatdebiet bij VZM peil van +0,15 mNAP
Campweg	0,19	0,58	0,10	0,87
Van Haften	0,65	1,96	1,76*	3,30*
Drie Grote Polders	0,29	0,87	Niet bekend **	Niet bekend **
Oud Kijkuit	0,17	0,52	6,73	9,92
Deurloo	0,05	0,14	0,62	1,15

* inlaat Van Haften is afhankelijk van het gekozen benedenstroomse polderpeil. Het zomerpeil is -0,40 mNAP, maar wordt in de zomer vaak hoger opgezet tot wel -0,20 mNAP. Daarom is voor deze berekening uitgegaan van -0,20 mNAP.

** van inlaat Drie Grote Polders kon de beschikbare formule om het debiet te berekenen niet worden toegepast, omdat de hoogte van de drempel in de inlaat niet bekend is, zie §3.3.3.3.

3.3.3.1 Inlaat Campweg

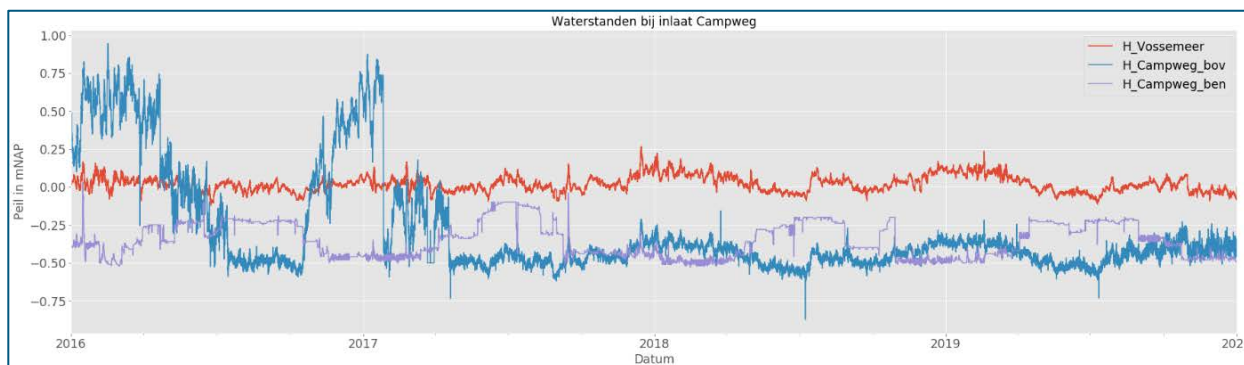
De reeksen zijn als volgt bepaald:

- A. Het historisch debiet is gegeven als tijdsreeks.
- B. De volgende stuwformule is gebruikt om het theoretisch maximale debiet over de inlaat, reeks B, te bepalen:

$$Q = 1.7 * c * m * B * (H_{bov} - H_{ref})^{3/2}$$

Met constanten $c = 1$, $m = 1.53$, de breedte $B = 1.77$ en drempelhoogte $H_{ref} = -0,18 \text{ mNAP}$

Belangrijk bij de inlaat Campweg is de invloed van een voorstuwer die voor de inlaat geplaatst is. De voorstuwer dient ervoor te zorgen dat er, ondanks een klein verval, toch een debiet door de inlaat komt. Er is echter geen informatie beschikbaar over de precieze invloed van de voorstuwer op het inlaatdebiet. Er is daarom geprobeerd deze invloed te bepalen door het theoretisch maximale debiet, dat bepaald werd met bovenstaande formule, te vergelijken met het daadwerkelijk gemeten debiet. Echter, door een incorrect bovenstrooms peil H_{bov} (zie afbeelding figuur 3-1: het bovenstrooms peil in het blauw is eerst erg grillig, en daarna structureel te laag) was de invloed van de voorstuwer niet goed in te schatten. Vanwege de geografische nabijheid van Rijkswaterstaat-meetlocatie Vossemeer (VOSM_WT) is die waterstand - bij het trainen van een MLR-model - als bovenstrooms peil gebruikt bij inlaat Campweg en is de invloed van de voorstuwer niet in de analyse opgenomen.



Figuur 3-1 Waterstanden bij inlaat Campweg en de waterstand bij RWS-meetpunt Vossemeer

- C. De watervraag die is vastgesteld met Waterschap Scheldestromen is te zien in Tabel 3-3. Voor de inlaat Campweg geldt dat het bediende areaal 1930 hectare groot is.

Voor de inlaten van Waterschap Scheldestromen gold dat het bovenstroomse peil bepaald moest worden aan de hand van het benodigde debiet en het benedenstroomse peil. Daarom is de stuwformule als volgt uitgedrukt in het benodigde bovenstroomse waterpeil Hn_{bov} :

$$Hn_{bov} = \left(\frac{Qn}{1.7 * c * m * B} \right)^{2/3} + H_{ref}$$

Vervolgens is analoog aan de methode in §3.3.2 een MLR-model getraind om de gevonden Hn_{bov} te vertalen in een gewenst peil van het Volkerak-Zoommeer. Daarbij is in dit geval de relatie gelegd tussen het waterpeil bij Rijkswaterstaat-meetlocatie Vossemeer, dat tijdens de modeltraining als H_{bov} gebruikt is, en het gewogen gemiddelde peil van het Volkerak-Zoommeer, waarin alle gewenste peilen in dit onderzoek uitgedrukt zijn.

3.3.3.2 Inlaat Van Haaften

De reeksen zijn als volgt bepaald:

- A. Het historisch debiet is gegeven als tijdreeks.
- B. De inlaat Van Haaften werkt volledig onder vrij verval. De volgende duikerformule is gebruikt om het inlaatdebiet te bepalen:

$$Q = m * h * b * \sqrt{2 * 9.81 * (H_{bov} - H_{ben})}$$

Met constante $m = 0.63$, en dimensies $h = 1$, $b = 2$ wanneer de inlaatschuif volledig open staat.

- C. De watervraag die is vastgesteld met Waterschap Scheldestromen is te zien in tabel 3-3. Voor de inlaat Van Haaften geldt dat het bediende areaal 6530 hectare groot is.

Om het benodigde bovenstroomse waterpeil te bepalen is de duikerformule als volgt uitgedrukt in Hn_{bov} :

$$Hn_{bov} = H_{ben} - \frac{\left(\frac{Qn}{m * h * b}\right)^2}{2 * 9.81}$$

Vervolgens is analoog aan de methode in §3.3.2 een MLR-model getraind om de gevonden Hn_{bov} te vertalen in een gewenst peil van het Volkerak-Zoommeer.

Deze gebruikte debietformules gaan uit van vrij mogelijkheid tot inlaten. In praktijk is bekend dat de aanvoerroute naar de inlaat verzand als gevolg van scheepvaartverkeer en dat eens in de 3-4 jaar baggeren noodzakelijk is om de aanvoer naar het inlaatkunstwerk te garanderen (zie §5.4).

3.3.3.3 Inlaat Drie Grote Polders

Voor inlaat Drie Grote Polders is de volgende stuwformule gebruikt om het debiet over de inlaat te bepalen:

$$Q = 1.7 * c * m * B * (H_{bov} - H_{ref})^{3/2}$$

Met constanten $c = 1$, $m = 0.87$ en de breedte $B = 2$.

Voor deze inlaat was zowel geen betrouwbare bovenstroomse waterstand H_{bov} als drempelhoogte H_{ref} beschikbaar. Er is geprobeerd om H_{bov} te vervangen door het peil van het Volkerak-Zoommeer (meetlocatie Vossemeer), maar het bleek niet mogelijk om een duidelijke schatting van drempelwaarde H_{ref} te maken. Met behulp van een meetreeks van de waterschijf over de drempel is geprobeerd deze inschatting te maken, maar de waterschijf was constant over de tijd door sturing op debiet en gaf daardoor niet de benodigde informatie.

Het benedenstroomse zomerpeil bij Drie Grote Polders is -1,90 mNAP, bijna 2 meter onder het peil van het Volkerak-Zoommeer. Er zou dus ruim voldoende verval moeten zijn om genoeg water in te laten, afhankelijk van de hoogteligging van de drempel en de dimensionering van de inlaat. De drempelbreedte bij Drie Grote Polders is 2 meter (gelijk aan drempelbreedte inlaat van Haaften). In de praktijk is het effect van een lager peil van het Volkerak-Zoommeer op de inlaatcapaciteit nooit waargenomen. In overleg met Waterschap Scheldestromen is besloten dat deze inlaat niet berekend kan worden, maar dat deze ook geen significante invloed kan hebben op de kantelpunten. De inlaat is daarom verder buiten beschouwing gelaten in de analyse.

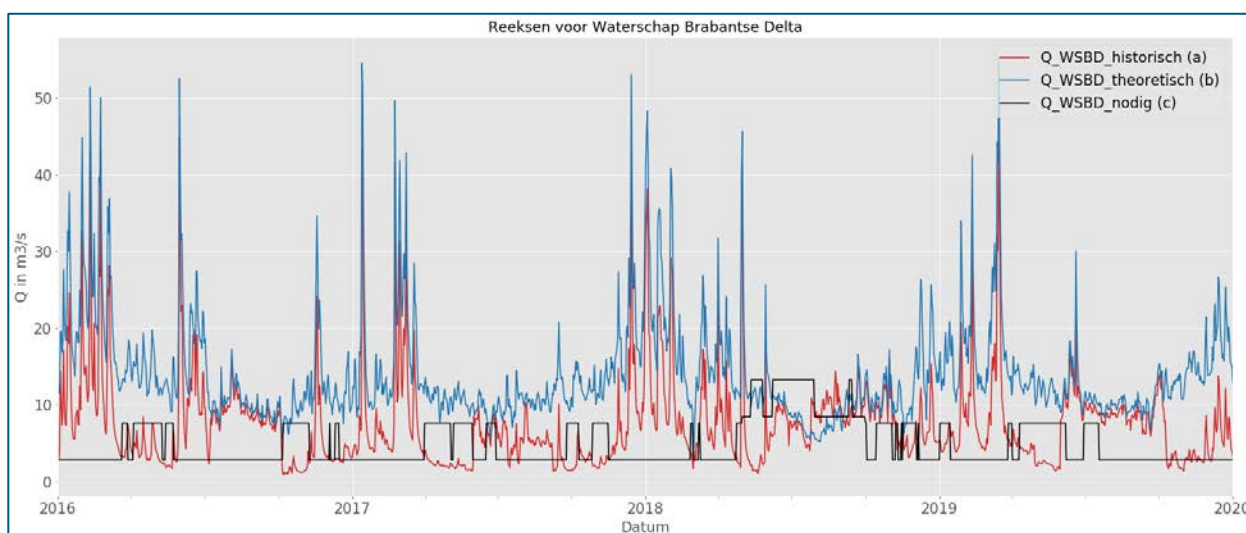
4 Resultaten

In dit hoofdstuk zijn de resultaten per waterschap, en vervolgens gecombineerd, getoond.

4.1 Resultaten Waterschap Brabantse Delta

De tijdsreeksen beschreven in §3.3.2 (A. historisch debiet, B. theoretisch maximaal historisch debiet en C. watervraag) zijn gevisualiseerd in figuur 4-1. Voor de duidelijkheid is in tabel 4-1 weergegeven in welke perioden, in de zomer, het doorspoelprotocol in werking trad. Het is goed te zien dat in de winter het debiet op de Mark-Dintel-Vliet boezem veel hoger is dan de benodigde watervraag. Er zijn pieken in het debiet oplopend tot 40 m³/s. Dit is vooral gerelateerd aan hoge afvoeren van de beken Bovenmark en Aa of Weerijds.

Ingezoomd op de zomers, is te zien dat er dan geregeld meer water nodig was dan ingelaten werd. Opvallend is ook de zomer van 2018 waarin er meer water is ingelaten dan theoretisch mogelijk: dat komt door het openzetten van de Marksluis, die wel in het historische debiet, maar niet in het theoretisch maximum historische debiet is meegenomen.



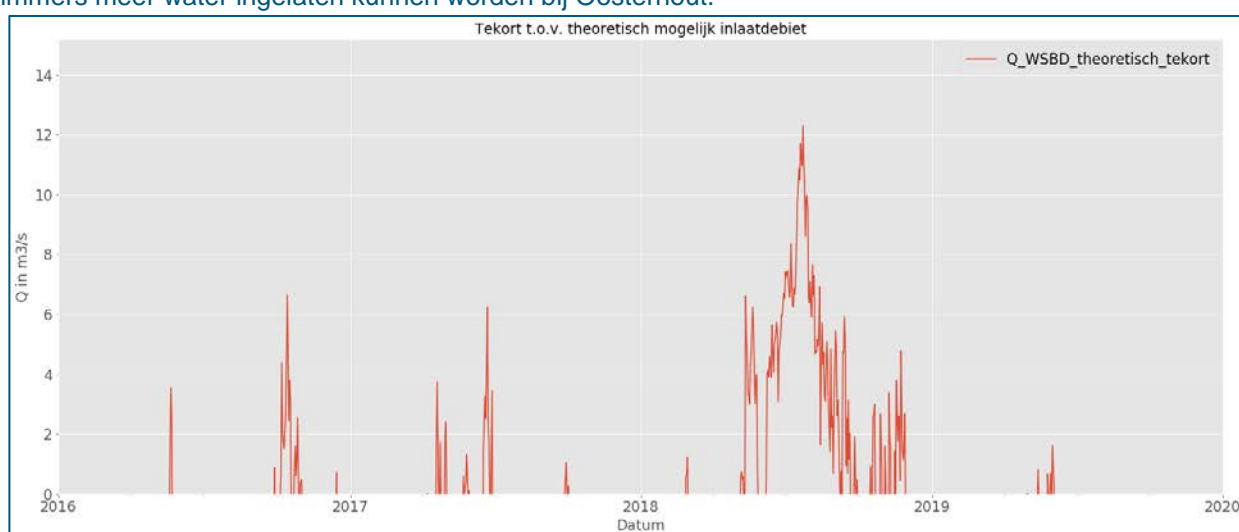
Figuur 4-1 Dagwaarden historisch debiet, theoretisch maximaal historisch debiet en watervraag Waterschap Brabantse Delta.

Start doorspoelen	Stop doorspoelen	Duur (dagen)
04/04/2016	10/05/2016	36
14/05/2016	24/05/2016	10
01/04/2017	04/05/2017	33
07/05/2017	31/05/2017	24
17/06/2017	29/06/2017	12
25/09/2017	10/10/2017	15
24/04/2018	01/05/2018	7
12/05/2018	27/05/2018	15
08/06/2018	30/07/2018	52

11/09/2018	15/09/2018	4
11/04/2019	08/06/2019	58
30/06/2019	19/07/2019	19

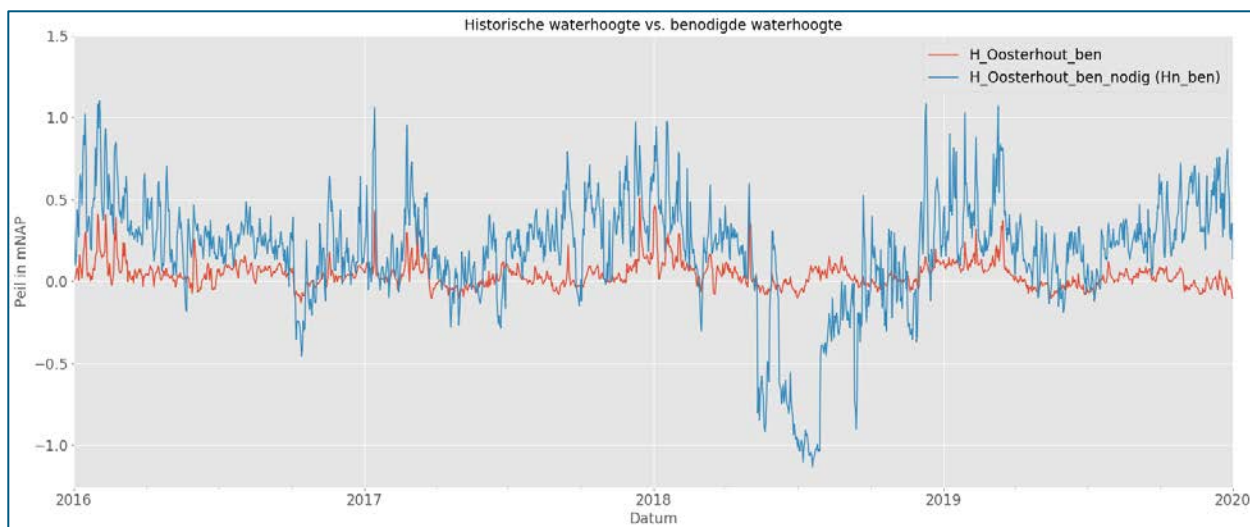
Tabel 4-1: Perioden in zomer waarop doorspoelprotocol in werking trad

Op basis van deze tijdsreeksen, kan het historisch watertekort bepaald worden ten opzichte van het theoretisch maximaal historische inlaatdebiet (reeks C – reeks B). Met andere woorden: wat is het watertekort, zelfs als de inlaatduiker bij Oosterhout volledig open had gestaan? Onderstaande grafiek laat zien dat er af en toe in de zomer een tekort optreedt, met name in 2018. Op die momenten had het waterschap dus mogelijk kunnen profiteren van een lager peil van het Volkerak-Zoommeer, dan had er immers meer water ingelaten kunnen worden bij Oosterhout.



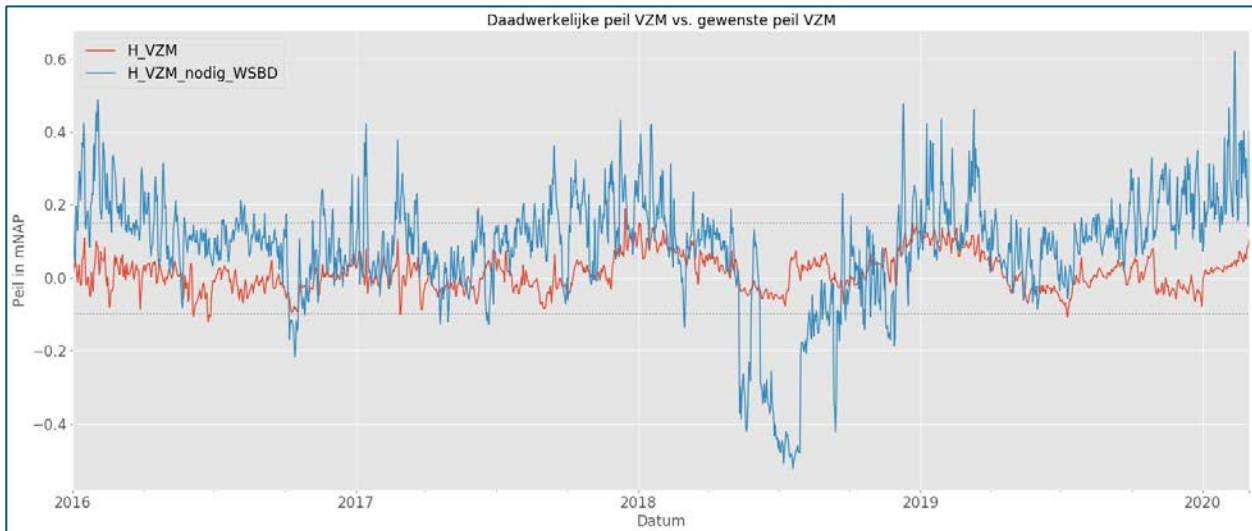
Figuur 4-2 Dagwaarden watertekort Waterschap Brabantse Delta berekend door watervraag (reeks C) minus theoretisch maximaal historisch debiet (reeks B). Een positief getal is een watertekort.

Aan de hand van de formule in §3.3.2 is Hn_{ben} bepaald, zoals gevisualiseerd in Figuur 4-3.



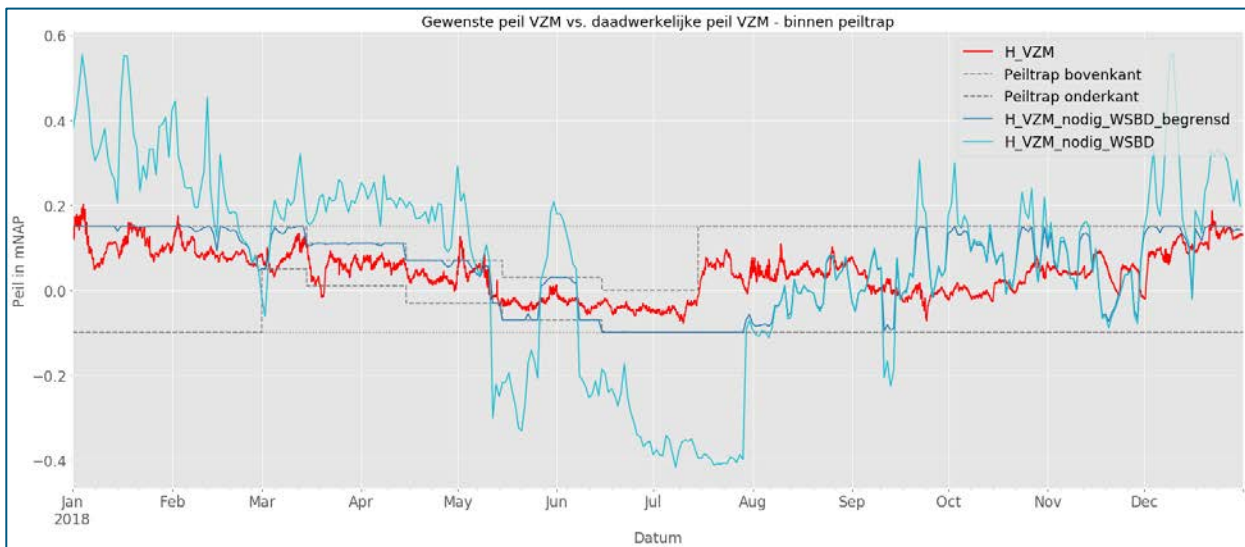
Figuur 4-3 Dagwaarden benodigd benedenstrooms peil bij Oosterhout om aan watervraag te kunnen voldoen ten opzichte van het gemeten benedenstroomse peil

Het MLR-model dat getraind is om de relatie te leggen tussen $H_{n_{ben}}$ en het peil van het Volkerak-Zoommeer baseert de voorspelling, naast H_{ben} , op de periode van het jaar (dag en maand) en de debieten op de Bovenmark en Aa of Weerij. Deze debieten vormden een logische feature; ze hebben direct invloed op de waterpeilen bij Oosterhout en op het Volkerak-Zoommeer en vormen daarnaast een proxy voor bijvoorbeeld regenval. Door het MLR-model toe te passen werd het gewenste peil van het Volkerak-Zoommeer verkregen, zoals weergegeven in figuur 4-4.



Figuur 4-4 Dagwaarden gewenst peil van het Volkerak-Zoommeer t.o.v. het historische peil. De beheermarges van het Volkerak-Zoommeer peil zijn aangegeven met stippellijnen.

Het valt op dat het gewenste peil meestal boven de (onderste) beheermarge en het historische peil van het Volkerak-Zoommeer ligt, maar soms ook daaronder. Dit geldt met name voor de zomer van 2018, dat als droog jaar aangemerkt is. Door de peiltrap van RWS als grenzen toe te voegen, en de data naar daggemiddelden om te zetten, is meer inzicht verkregen in het Volkerak-Zoommeerpeil dat Waterschap Brabantse Delta – binnen de peiltrap - nodig had gehad. Dit is voor het jaar 2018 gevisualiseerd in figuur 4-5.



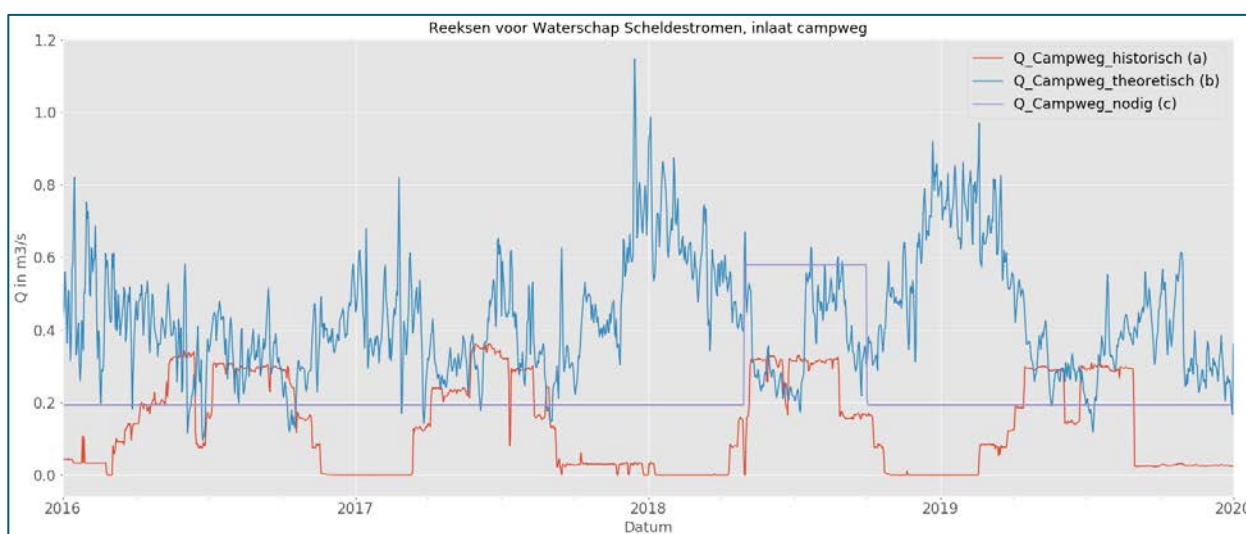
Figuur 4-5 Dagwaarden benodigd peil op het Volkerak-Zoommeer voor Waterschap Brabantse Delta in 2018 (droogte). Zowel onbegrensd als begrensd op de peiltrap. Historisch peil aangegeven in het rood.

4.2 Resultaten Waterschap Scheldestromen

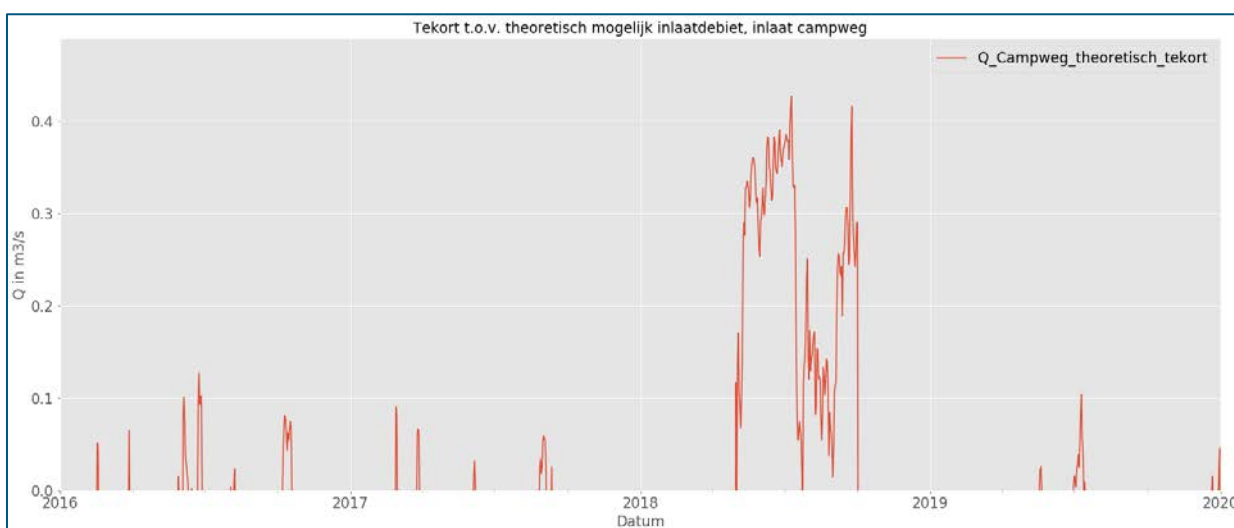
Voor Waterschap Scheldestromen zijn de resultaten verdeeld in een paragraaf per geanalyseerde inlaat.

4.2.1 Inlaat Campweg

De tijdsreeksen beschreven in §3.3.3.1 (A. historisch debiet, B. theoretisch maximaal historisch debiet en C. watervraag) zijn gevisualiseerd in figuur 4-6. Het is te zien dat in de zomer het historische ingelaten debiet voldoet aan de watervraag, behalve in de zomer van 2018, die als droog is aangemerkt. In die zomer valt op dat ook het theoretisch maximale inlaatdebiet niet afdoende was geweest, een verhoging van het Volkerak-Zoommeerpeil was voor Waterschap Scheldestromen dus wenselijk geweest. Dat is tevens goed te zien in figuur 4-7.

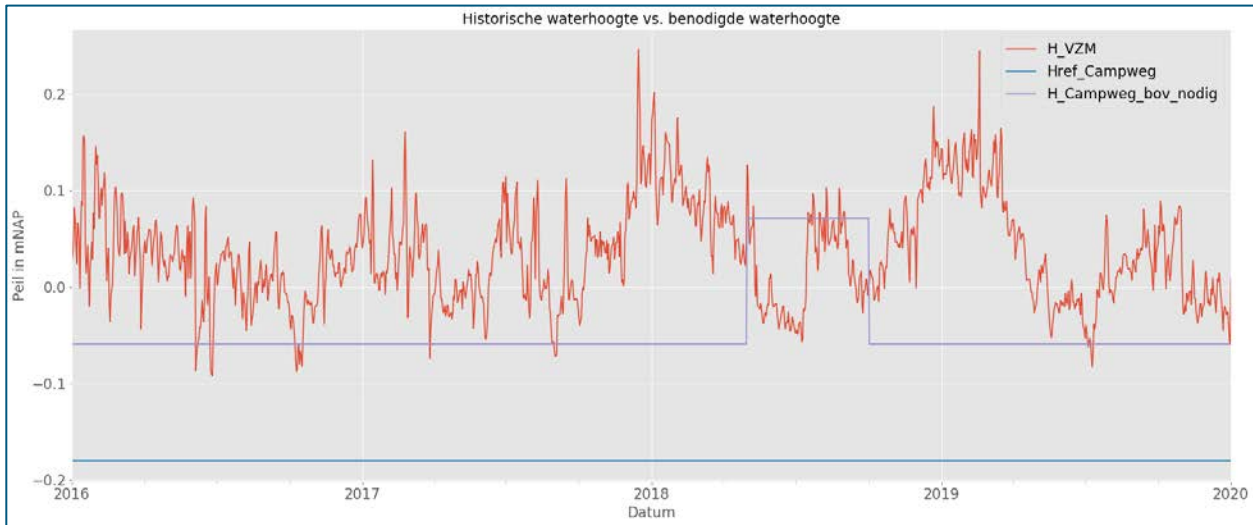


Figuur 4-6 Dagwaarden historisch debiet, theoretisch maximaal historisch debiet en watervraag, Waterschap Scheldestromen, inlaat Campweg.



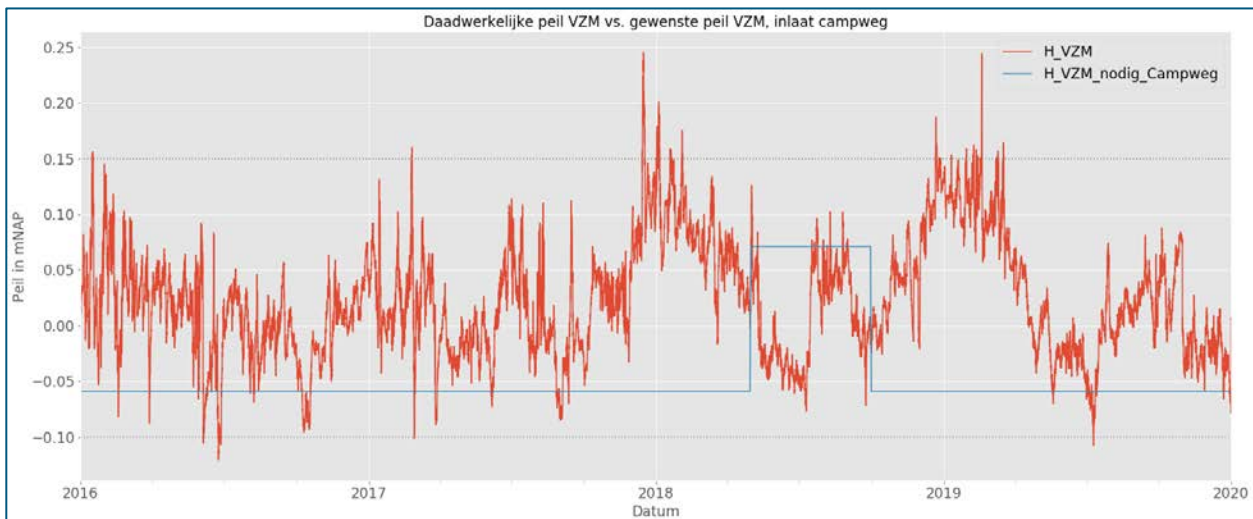
Figuur 4-7 Dagwaarden watertekort waterschap Scheldestromen voor inlaat Campweg berekend door watervraag (reeks C) minus theoretisch maximaal historisch debiet (reeks B). Een positief getal is een watertekort.

Aan de hand van de formule in §3.3.3.1 is Hn_{bov} bepaald, zoals gevisualiseerd in figuur 4-8.



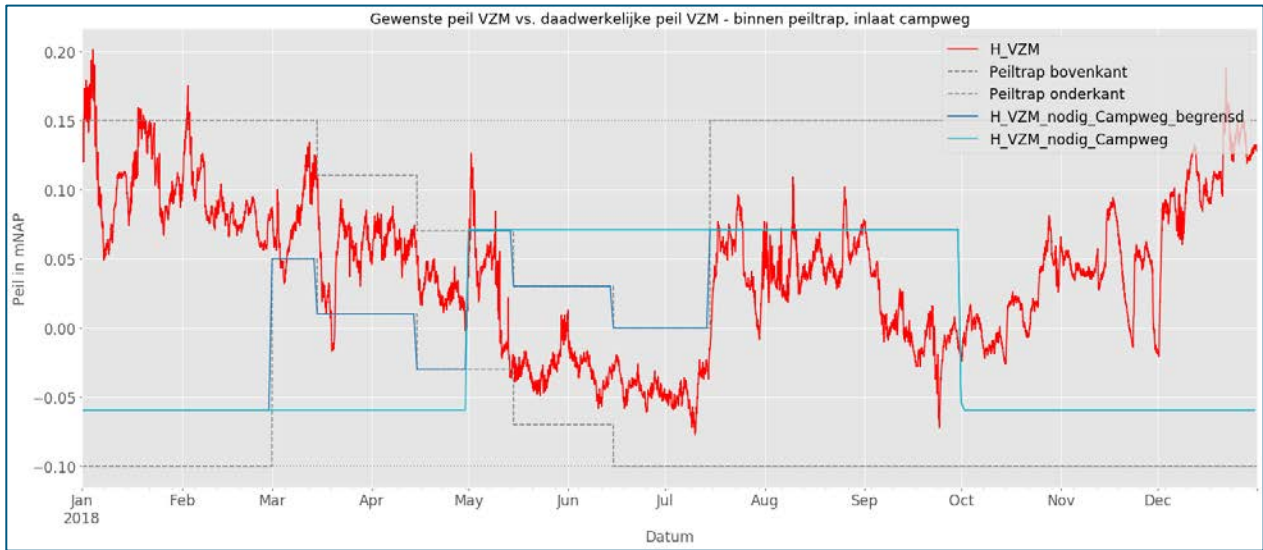
Figuur 4-8 Dagwaarden benodigd bovenstrooms peil voor inlaat Campweg om aan de watervraag te kunnen voldoen ten opzichte van het gemeten benedenstroomse peil en het Volkerak-Zoommeerpeil.

Het MLR-model dat vervolgens getraind is om de relatie te leggen tussen Hn_{bov} en het peil van het Volkerak-Zoommeer baseert de voorspelling, naast H_{bov} , op de periode van het jaar (dag en maand) en variabelen over de windsterkte en richting. Dit laatste is gedaan omdat uit gesprekken met hydrologen is gebleken dat er verhang op het Volkerak-Zoommeer kan ontstaan door sterke wind. Dit verhang is een van oorzaken voor het verschil tussen H_{bov} (in dit geval het Vossemeer-peil) en het gewogen gemiddelde peil van het Volkerak-Zoommeer. Door het MLR-model toe te passen werd het gewenste peil van het Volkerak-Zoommeer verkregen, zoals weergegeven in figuur 4-9.



Figuur 4-9 Dagwaarden het gewenste peil van het Volkerak-Zoommeer ten opzichte van het historische peil. De beheermarges van het Volkerak-Zoommeer peil zijn aangegeven met stippellijnen.

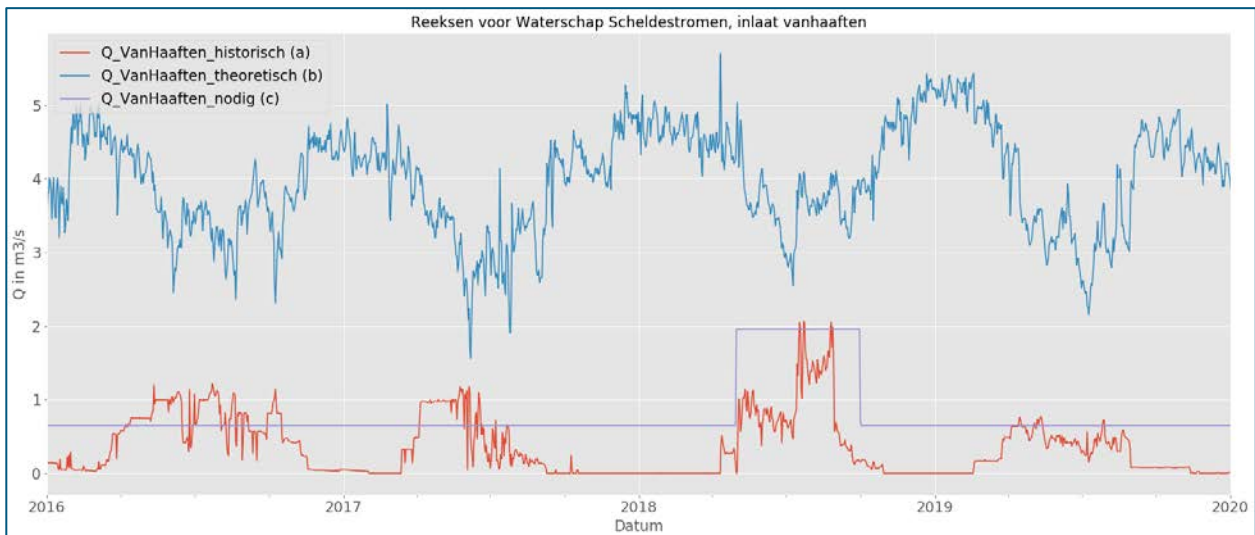
Het valt op dat het gewenste peil vrijwel altijd onder het historische peil ligt, behalve in de zomer van 2018. Door de peiltrap van RWS als grenzen toe te voegen, en de data naar daggemiddelden om te zetten, is meer inzicht verkregen in het Volkerak-Zoommeerpeil dat Waterschap Scheldestromen voor inlaat Campweg nodig had gehad. Dit is voor het jaar 2018 gevisualiseerd in figuur 4-10.



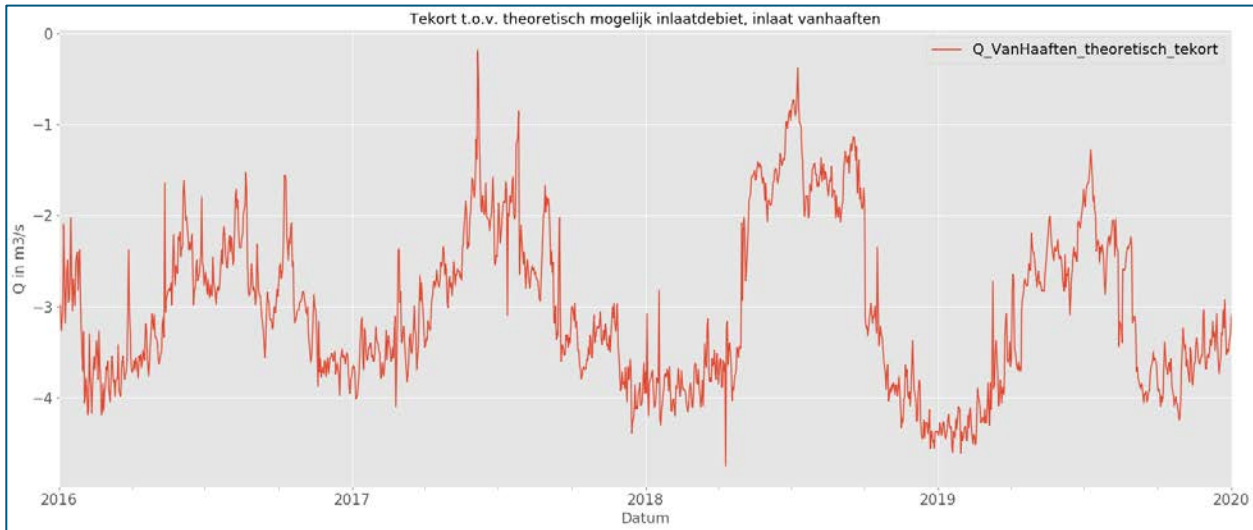
Figuur 4-10 Benodigd peil op het Volkerak-Zoommeer voor Waterschap Scheldestromen, inlaat Campweg, in 2018 (droogte). Zowel onbegrensd als begrensd op de broedtrap. Historisch peil aangegeven in het rood.

4.2.2 Inlaat Van Haften

De tijdsreeksen beschreven in §3.3.3.2 (A. historisch debiet, B. theoretisch maximaal historisch debiet en C. watervraag) zijn gevisualiseerd in figuur 4-11. Het is te zien dat in de zomer het historische ingelaten debiet vaak voldoet aan de watervraag en de theoretisch maximale inlaatmogelijkheid. In de zomer van 2018 is een kort moment te zien dat niet aan de watervraag werd voldaan, maar dat dat theoretisch wel mogelijk was. Dat is er geen problemen ontstaan in relatie tot de watervraag is goed te zien in figuur 4-12.

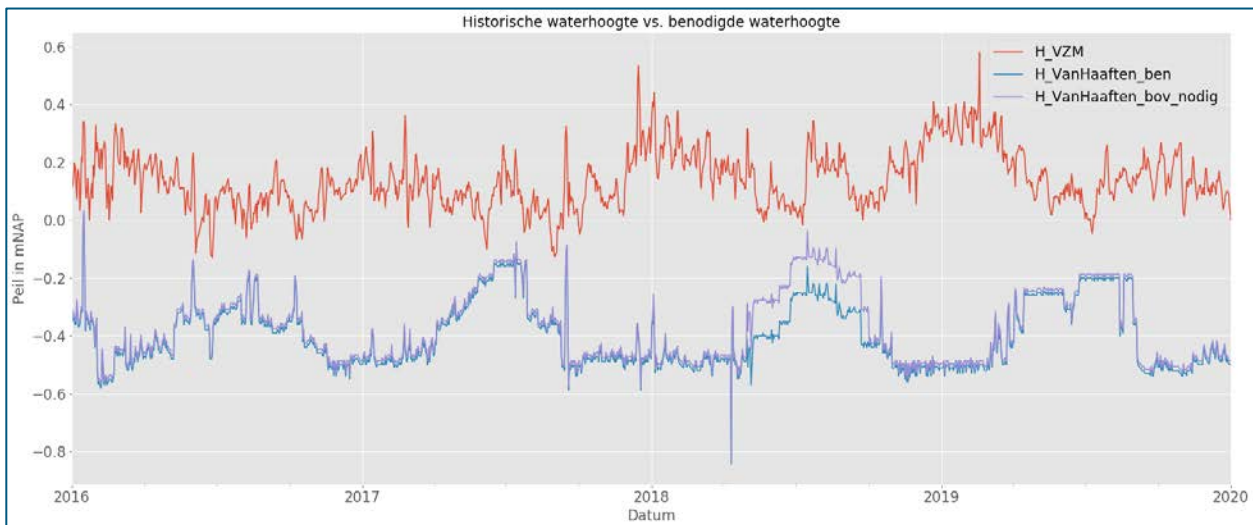


Figuur 4-11 Dagwaarden historisch debiet, theoretisch maximaal historisch debiet en watervraag, Waterschap Scheldestromen, inlaat Van Haften



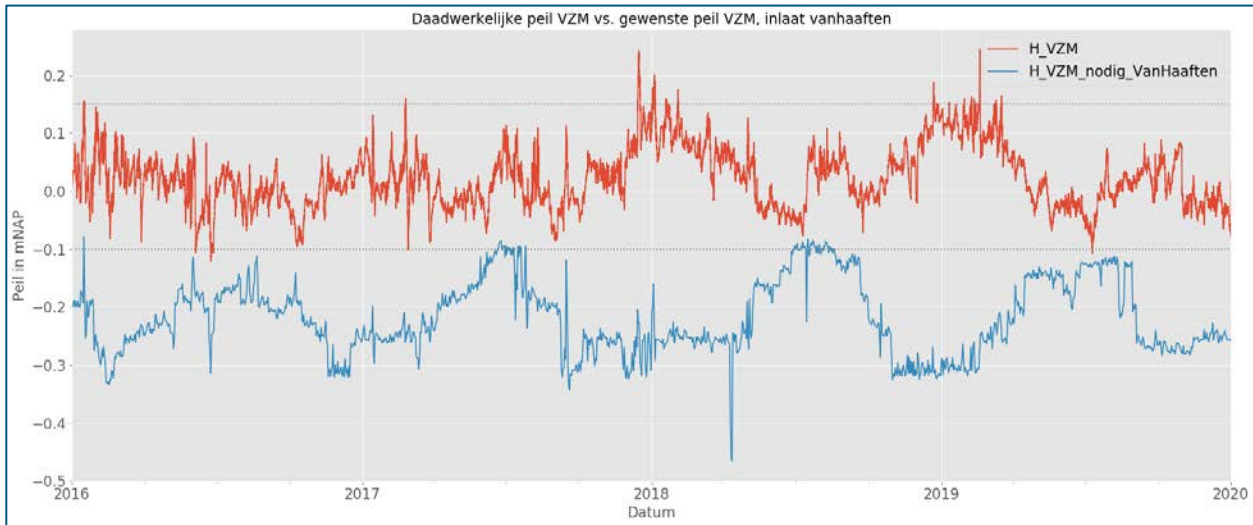
Figuur 4-12 Dagwaarden watertekort Waterschap Scheldestromen voor inlaat Van Haaften berekend door watervraag (reeks C) minus theoretisch maximaal historisch debiet (reeks B). Een positief getal is een watertekort.

Aan de hand van de duikerformule uitgedrukt in Hn_{bov} is het benodigde bovenstroomse peil bepaald, zoals gevisualiseerd in figuur 4-13. Het valt op dat er, wanneer het geen droog jaar is, slechts een heel klein verval nodig is om aan de watervraag te voldoen.



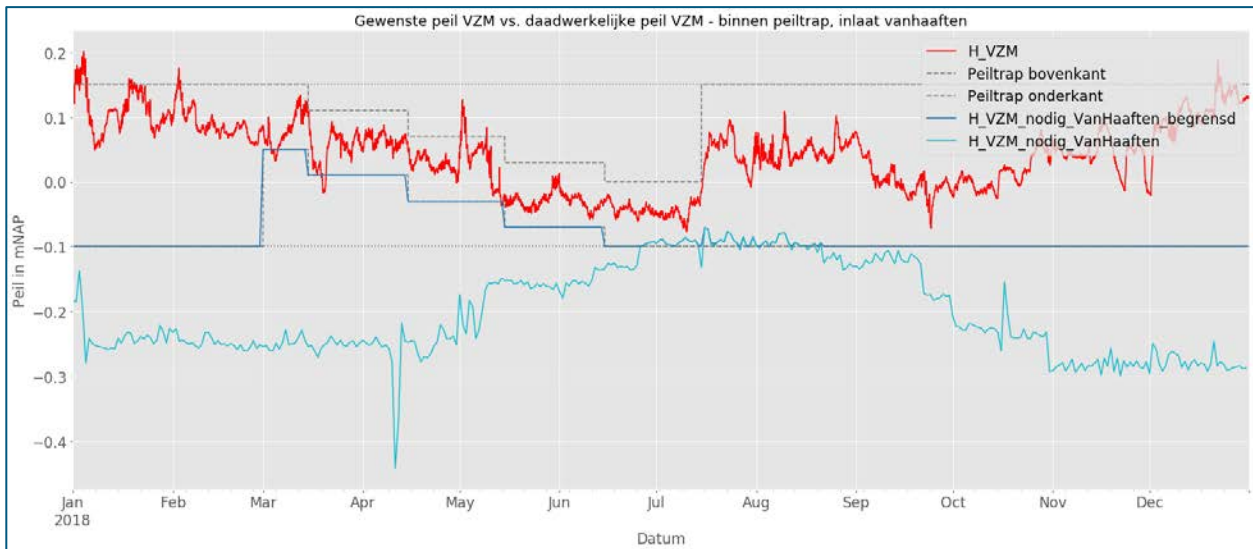
Figuur 4-13 Dagwaarden benodigd bovenstroomse peil voor inlaat Van Haaften om aan de watervraag te voldoen ten opzichte van het gemeten benedenstroomse peil en het Volkerak-Zoommeerpeil

Analoog aan §4.2.1 is met een getraind MLR-model het gewenste peil op het Volkerak-Zoommeer bepaald, zoals gevisualiseerd in figuur 4-14.



Figuur 4-14 Dagwaarden gewenste peil van het Volkerak-Zoommeer ten opzichte van het historische peil. De beheermarges zijn aangegeven met stippellijnen

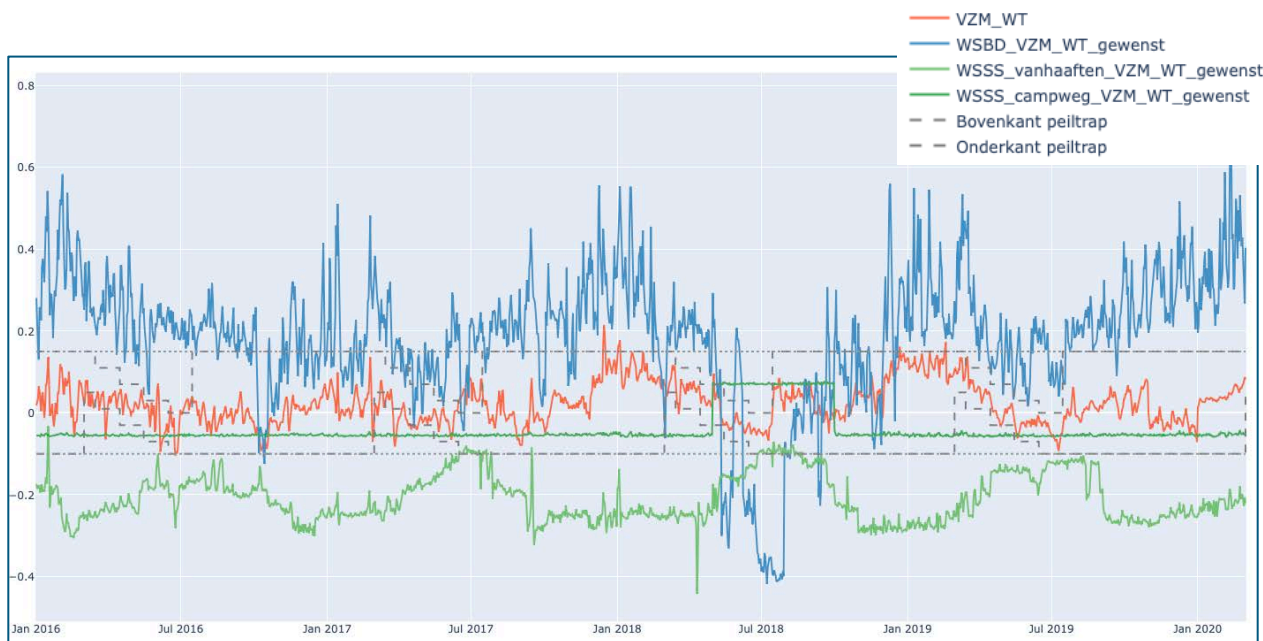
Het gewenste peil ligt nagenoeg altijd onder de onderste beheermarge van het Volkerak-Zoommeer peil, behalve kort in de zomers van 2017 en 2018. Door de peiltrap van RWS als grenzen toe te voegen, en de data naar daggemiddelden om te zetten, is meer inzicht verkregen in het Volkerak-Zoommeerpeil dat Waterschap Scheldestromen voor inlaat Van Haaften nodig had gehad. Dit is voor het jaar 2018 gevisualiseerd in figuur 4-15.



Figuur 4-15 Benodigd peil op het Volkerak-Zoommeer voor Waterschap Scheldestromen, inlaat Van Haaften, in 2018 (droogte). Zowel onbegrensd als begrensd op de peiltrap. Historisch peil aangegeven in het rood.

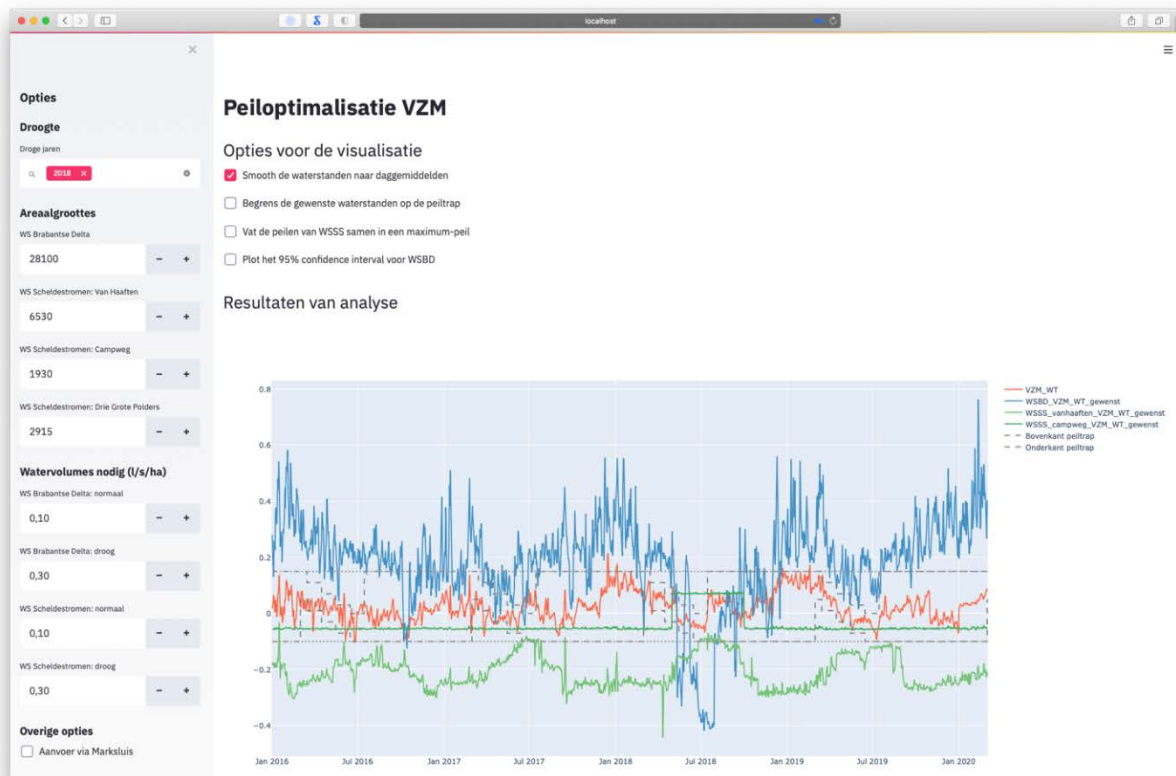
4.3 Gecombineerde resultaten en rekentool

De resultaten uit dit hoofdstuk zijn samengevat weergegeven in figuur 4-16. Nadere analyse van deze figuur en de bijbehorende kantelpunten is uitgewerkt in hoofdstuk 5.



Figuur 4-16 Overzicht van alle gewenste peilen ten opzichte van het historisch Volkerak-Zoommeerpeil

Om verdere analyse en aanpassing van variabelen mogelijk te maken is tevens een online tool ontwikkeld. Een screenshot van de tool is te zien in figuur 4-17. Aan de linkerzijde kan een aantal variabelen voor de analyse ingesteld worden, waarna het resulterende scenario aan de rechterzijde gevisualiseerd wordt. De visualisaties in de tool kunnen geëxporteerd worden.



Figuur 4-17 Screenshot van rekentool voor genereren nieuwe resultaten

De tool wordt beschikbaar gesteld aan de betrokken waterschappen en Rijkswaterstaat om in later stadium te gebruiken voor nadere analyse.

5 Analyse

5.1 Afleiden kantelpunten

Het hoofddoel van het project is om te bepalen wat het optimale peil is van het Volkerak-Zoommeer voor de inlaat van zoetwater. De twee waterschappen hebben een tegengesteld belang. Waterschap Brabantse Delta wil liever een laag peil van het Volkerak-Zoommeer en Waterschap Scheldestromen liever een hoog peil. In deze studie is berekend wat het gewenste peil is voor beide waterschappen. In figuur 5-1 t/m figuur 5-4 is per jaar het gewenste peil van het Volkerak-Zoommeer weergegeven. Uit deze figuren kunnen kantelpunten worden afgeleid.

5.1.1 Kantelpunten in een normaal jaar

In de analyse zijn vier jaren beschouwd, waarvan drie jaren (2016, 2017 en 2019) een watervraag hebben van 0,1 l/s/ha; gedefinieerd als een normale watervraag. Eén jaar is doorgerekend als een extra droog jaar met een watervraag van 0,3 l/s/ha, namelijk 2018. Er was daarnaast watervraag door inzet van het doorspoelprotocol, zoals weergegeven in tabel 4-1. Als we alleen kijken naar de jaren met een normale watervraag van 0,1 l/s/ha, dan is te zien dat het gewenste peil voor Waterschap Brabantse Delta meestal boven het peil van de peiltrap ligt (de blauwe lijn ligt boven de bovenste gestreepte lijn). Dit betekent dat Waterschap Brabantse Delta in een normaal jaar voldoende water kan inlaten als het peil van het Volkerak-Zoommeer aan de bovenkant van de peiltrap wordt gehouden. Voor Waterschap Scheldestromen geldt juist dat het peil van het Volkerak-Zoommeer al voldoet als het waterpeil aan de onderzijde van de peiltrap wordt gehouden, behalve in de zomerperiode van half juni tot half juli.

Toch zijn er wel momenten waarop het gewenste peil van het Volkerak-Zoommeer hoger of lager ligt dan de grenzen van de peiltrappen die Rijkswaterstaat hanteert:

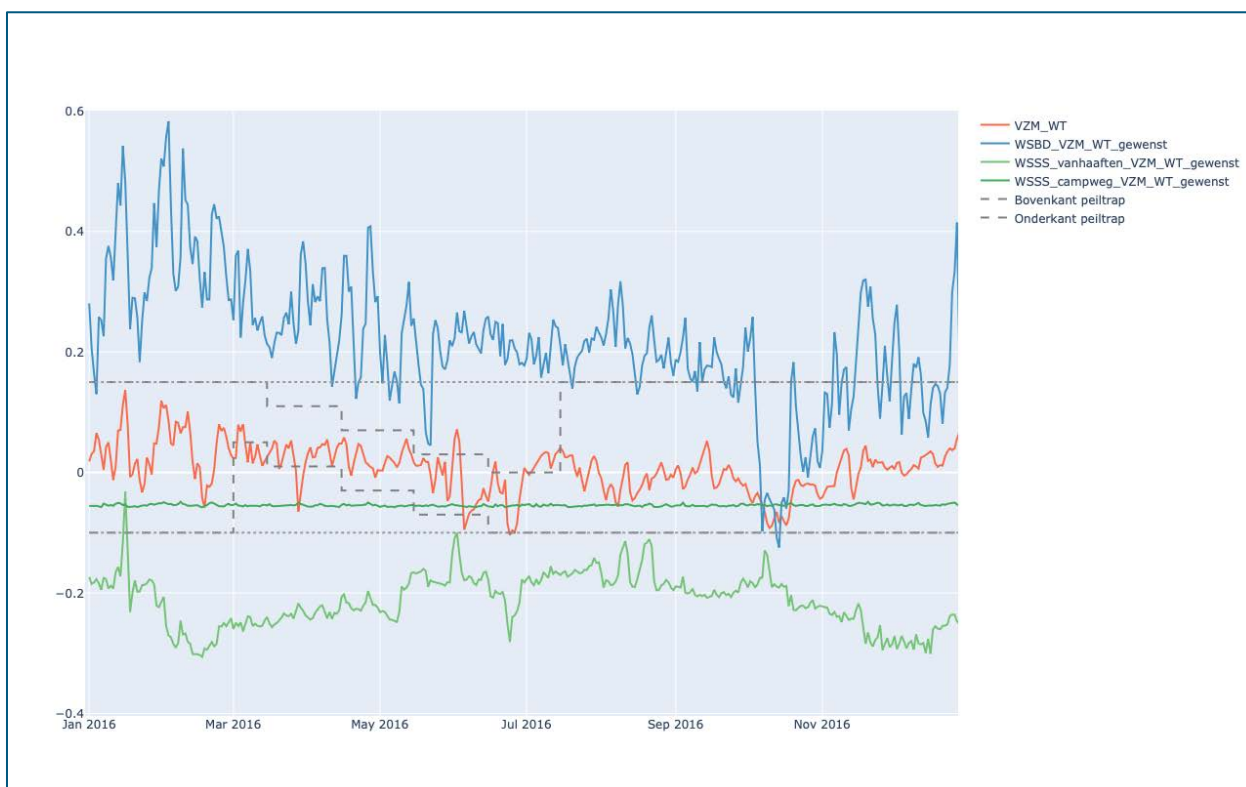
- 2016: Waterschap Scheldestromen 4 t/m 9 juni, 22 t/m 28 juni, 8 t/m 20 oktober voor inlaat Campweg.
- 2017: Waterschap Brabantse Delta 20 en 30 april gewenst peil raakt de onderkant peiltrap Waterschap Scheldestromen korte momenten in voorjaar en 28 augustus t/m 4 september voor inlaat Campweg.
- 2019: Waterschap Scheldestromen 1 t/m 15 juli voor inlaat Campweg.

Voor Waterschap Brabantse Delta zijn er in drie jaar tijd twee dagen dat er niet voldoende water kan worden ingelaten en dat bij een lager peil van het Volkerak-Zoommeer wel voldoende ingelaten had kunnen worden. Dit komt omdat op die twee dagen het bovenstroomse peil bij inlaatduiker Oosterhout plotseling 10 cm lager is dan de voorgaande dagen. De dag daarna is het bovenstroomse waterpeil weer voldoende hoog. Het is voor Rijkswaterstaat lastig zo niet onmogelijk om het peil van het Volkerak-Zoommeer voor één dag te verlagen. Voor Waterschap Brabantse Delta zullen de nadelen beperkt zijn van twee losse dagen waarop niet voldoende kan worden ingelaten. De dagen ervoor en erna is er immers wel voldoende inlaat mogelijk. De voorraad inlaatwater in de Mark-Dintel-Vliet boezem is voldoende om deze incidenten op te vangen.

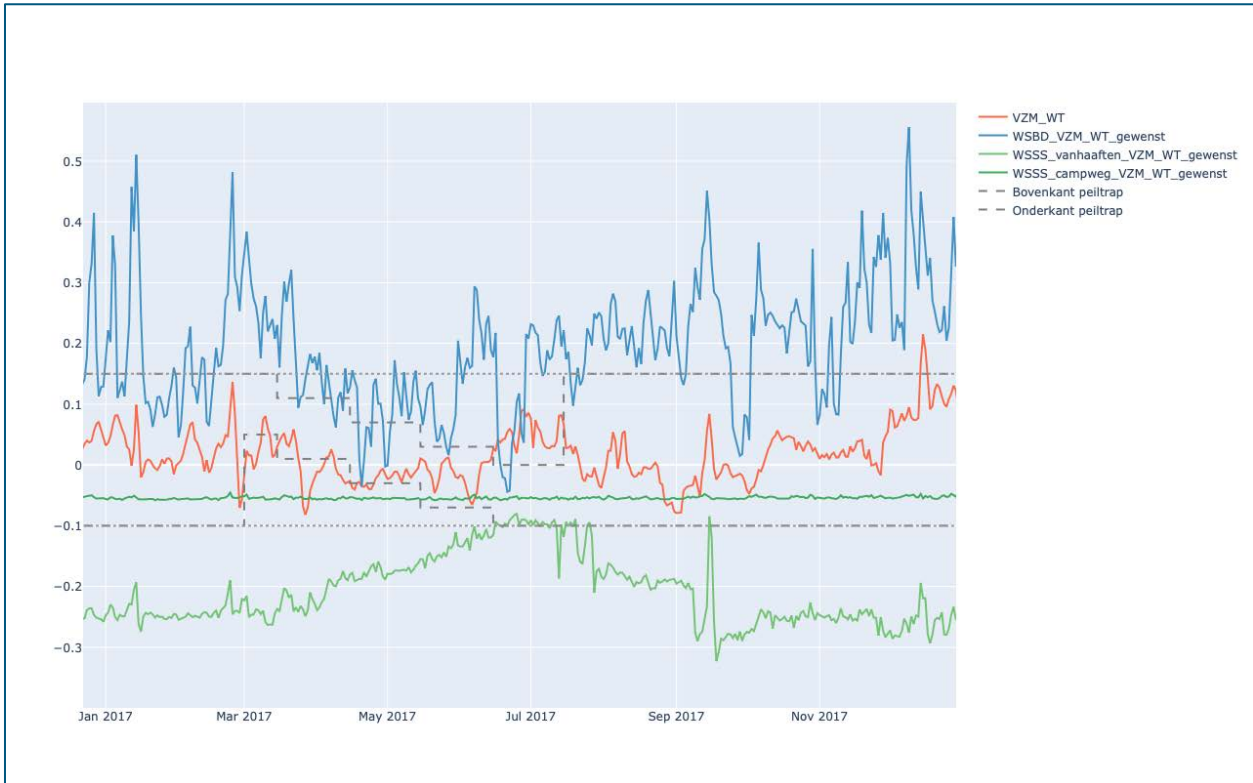
Voor Waterschap Scheldestromen zijn er gedurende de jaren meerdere momenten dat er niet voldoende water ingelaten kan worden. Het is bekend dat het verval over inlaat Campweg heel gering is. De drempel of stuwhoogte is -0,18 mNAP. In juli is het peil van het Volkerak-Zoommeer op zijn laagst. De onderkant van de peiltrap ligt dan op -0,10 mNAP. Dit betekent een verval van 8 cm over de inlaat, oftewel een inlaatdebiet van 0,10 m³/s. Inlaat Campweg heeft een gewenste inlaat hoeveelheid van 0,19 m³/s. Als Rijkswaterstaat het peil aan de onderkant van de peiltrap op -0,10 mNAP houdt, dan is er onvoldoende inlaat mogelijk. Opvallend genoeg is een kleine peilstijging van het Volkerak-Zoommeer voldoende om wel genoeg in te laten. Als het peil van het Volkerak-Zoommeer -0,05 mNAP is, dan is er een verval van 13 cm over de inlaat, oftewel een inlaatdebiet van 0,21 m³/s. Waterschap Scheldestromen geeft zelf ook aan dat

het moeilijk is om voldoende water in te laten bij inlaat Campweg, daarom is er een voorstuwer aanwezig om makkelijker water in te laten.

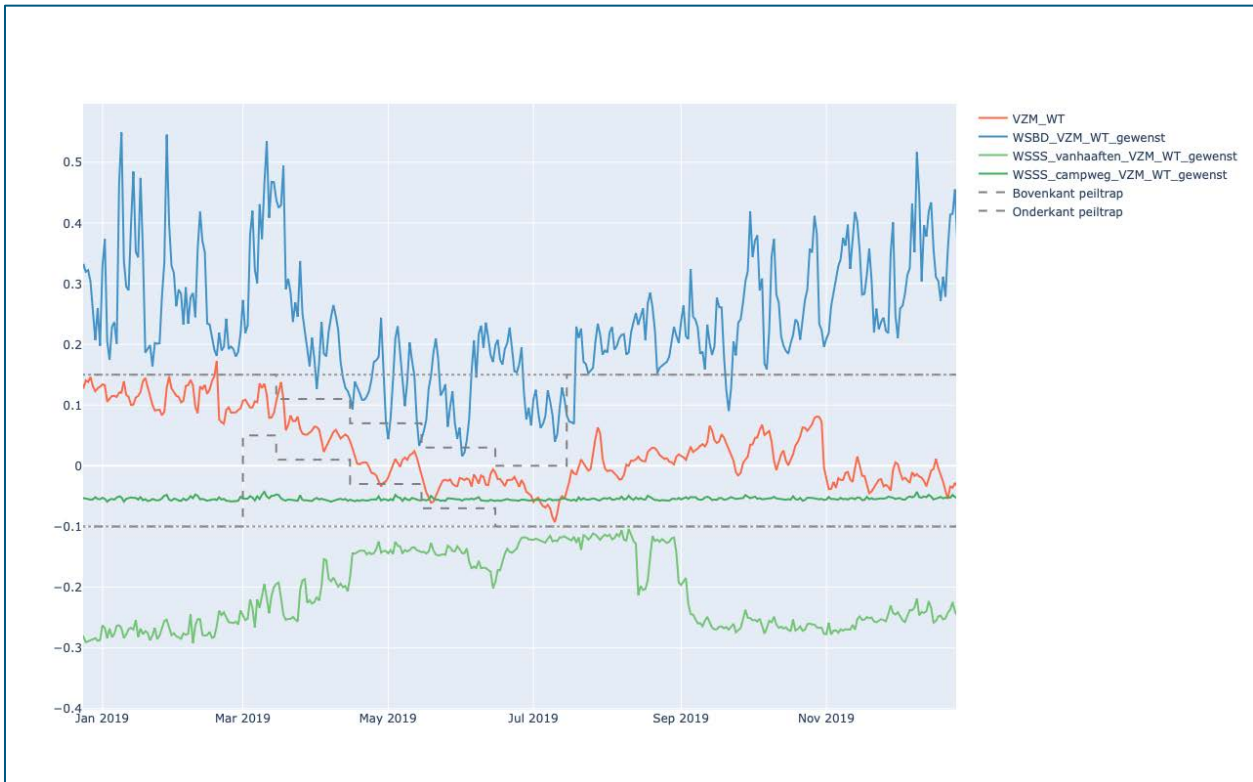
De conclusie die hieruit getrokken kan worden is dat in een normale zomer met een normale watervraag er alleen een kantelpunt optreedt voor Waterschap Scheldestromen en niet voor Waterschap Brabantse Delta. Het waterpeil van het Volkerak-Zoommeer mag niet lager dan $-0,05$ mNAP zakken om voldoende in te kunnen laten bij inlaat Campweg. In juli is de peiltrap die Rijkswaterstaat hanteert op zijn laagste punt. De onderkant van de peiltrap is dan $-0,10$ mNAP. Als Rijkswaterstaat de onderkant van de peiltrap volgt, kan Waterschap Scheldestromen onvoldoende inlaten bij inlaat Campweg. De nuance hierbij is dat de voorstuwer bij de inlaat dit waarschijnlijk compenseert.



Figuur 5-1 Gewenst peil op het Volkerak-Zoommeer voor 2016



Figuur 5-2 Gewenst peil op het Volkerak-Zoommeer voor 2017



Figuur 5-3 Gewenst peil op het Volkerak-Zoommeer voor 2019

5.1.2 Kantelpunten in een droog jaar

De analyse van het droge jaar 2018 geeft interessante inzichten. In de analyse is heel 2018 aangemerkt als droog jaar met een verhoogde watervraag van 0,3 l/s/ha. NB: in werkelijkheid zal niet constant de watervraag zo hoog zijn, maar het geeft inzicht om te doen alsof. In figuur 5-4 zijn de gewenste peilen van het Volkerak-Zoommeer weergegeven.

Voor inlaat Oosterhout geldt dat het gewenste peil van het Volkerak-Zoommeer ver onder de peiltrap ligt die Rijkswaterstaat hanteert. Vanaf 11 mei tot 8 augustus ligt het gewenste peil van het Volkerak-Zoommeer onder de onderkant van de peiltrap, tot een peil van -0,4 mNAP. Dit geeft aan dat het verval over de inlaatduiker Oosterhout te klein is om voldoende in te laten. Het gewenste peil van het Volkerak-Zoommeer ligt echter ver buiten de marges van het peilbesluit van het Volkerak-Zoommeer. In de periode na 8 augustus ligt het gewenste peil van het Volkerak-Zoommeer tussen de marges van de peiltrap in. Waterschap Brabantse Delta zou meer water kunnen inlaten als in droge zomers de onderkant van de peiltrap wordt gehanteerd. Het kantelpunt in droge zomers is voor Waterschap Brabantse Delta daarom op de ondergrens van de peiltrap gelegd. Een aandachtspunt is dat de peiltrap loopt tot 15 juli waardoor Rijkswaterstaat daarna een flinke marge heeft om het waterpeil in te stellen tussen -0,10 en +0,15 mNAP. 15 juli is een principedatum: wanneer Staatsbosbeheer aangeeft dat er geen nestelingen meer zijn, kan het peil eerder opgezet worden. Het zou goed zijn om afspraken te maken welk peil gewenst is, aangezien door de waterschappen ook na 15 juli vaak nog veel water wordt ingelaten.

Voor inlaat Campweg geldt dat het gewenste inlaatdebiet bij een watervraag van 0,3 l/s/ha gelijk is aan 0,58 m³/s. Het peil van het Volkerak-Zoommeer dat nodig is om zoveel water in te laten is +0,075 mNAP (kantelpunt). De onderkant van de peiltrap is altijd lager dan +0,075 mNAP. De bovenkant van de peiltrap is van 15 april t/m 15 juli lager dan +0,075 mNAP. Oftewel in een droog jaar is het voor Waterschap Scheldestromen niet mogelijk om 0,3 l/s/ha in te laten bij inlaat Campweg, omdat het waterpeil van het Volkerak-Zoommeer te laag zal zijn. Rijkswaterstaat volgt immers de peiltrap. De aanwezigheid van de voorstuwer zal het te hoge peil enigszins compenseren. Uit de meetgegevens blijkt dat het waterschap maximaal 0,35 m³/s inlaat. Meer water inlaten zal niet mogelijk zijn.

Voor inlaat Van Haften geldt dat het gewenste inlaatdebiet bij een watervraag van 0,3 l/s/ha gelijk is aan 1,96 m³/s. In de droge zomer van 2018 kon hier net aan worden voldaan met de gehanteerde waterpeilen van het Volkerak-Zoommeer. In figuur 5-4 is te zien dat de lichtgroene lijn in juli 2018 net onder de onderkant van de peiltrap ligt. Inlaat van Haften is een inlaat onder vrij verval. Dat betekent dat zowel het peil van het Volkerak-Zoommeer als het polderpeil het inlaatdebiet beïnvloeden. In juli 2018 is het polderpeil -0,23 mNAP (verhoogd peil ten opzichte van het zomerpeil van -0,40 mNAP). Bij dat polderpeil is een waterstand van -0,10 mNAP van het Volkerak-Zoommeer voldoende om 1,96 m³/s in te laten. Het laagste peil van het Volkerak-Zoommeer is -0,10 mNAP (onderkant peiltrap en peilbesluit). Voor inlaat Van Haften is het kantelpunt dus gelijk met de onderkant van het peilbesluit. Het gewenste waterpeil van het Volkerak-Zoommeer bij inlaat Van Haften is afhankelijk van het polderpeil. Als een hoger polderpeil wordt gehanteerd, dan verschuift het gewenste Volkerak-Zoommeerpeil. Hier is in §5.2 een nadere analyse van gemaakt.

Het kantelpunt van inlaat Campweg ligt hoger en is daarom maatgevender voor het bepalen van het optimale peil van het Volkerak-Zoommeer voor Waterschap Scheldestromen.

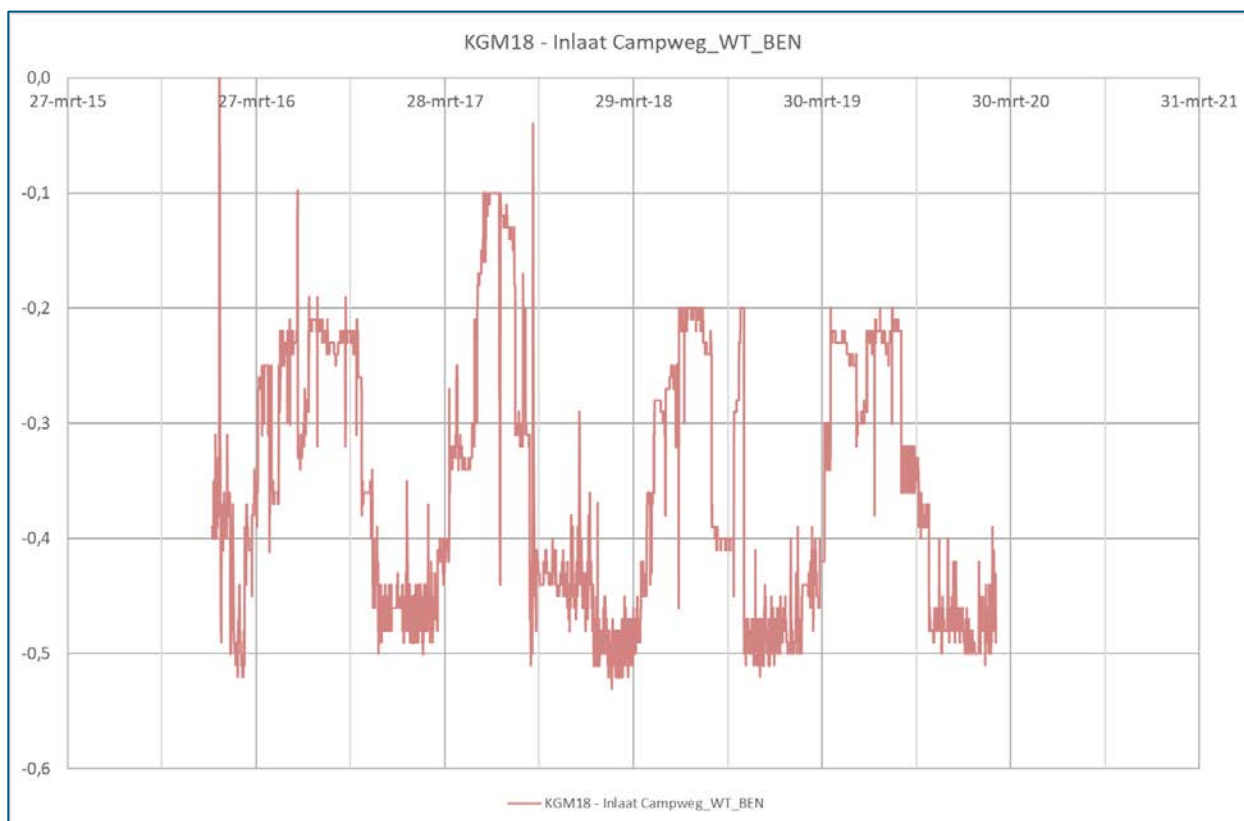
In een droge zomer hebben Waterschap Brabantse Delta en Waterschap Scheldestromen duidelijk een tegengesteld belang. Voor Waterschap Brabantse Delta is het gewenste peil van het Volkerak-Zoommeer de onderkant van de peiltrap, of zelfs nog lager. Voor Waterschap Scheldestromen is het gewenste peil van het Volkerak-Zoommeer +0,075 mNAP (gebaseerd op inlaat Campweg).



Figuur 5-4 Gewenst peil op het Volkerak-Zoommeer voor 2018

5.2 Opzetten polderpeilen

Opvallend in de data is dat de polderpeilen van de inlaten Campweg en Van Haften soms heel hoog worden opgezet. Het benedenstroomse waterpeil van inlaat Campweg kent een zomerpeil van $-0,25$ mNAP. In de zomer van 2017 is het polderpeil echter hoger opgezet dan de drempel van de stuw op $-0,18$ mNAP (figuur 5-5). Dit is ongetwijfeld gedaan om meer verhang te creëren in de polder. Het inlaatwater moet immers nog een hele route afleggen om de hele polder van water te voorzien en door begroeiing van watergangen in het groeiseizoen is het lastig om het inlaatwater ver achterin in de polder te krijgen. Een andere overweging voor peilopzet kan zijn om verzilting tegen te gaan. Het effect is echter contraproductief, als het polderpeil boven de drempel van de inlaat komt, aangezien het polderpeil de inlaat dan gaat belemmeren. Het is aan te raden om het polderpeil altijd onder de drempel van $-0,18$ mNAP te houden.

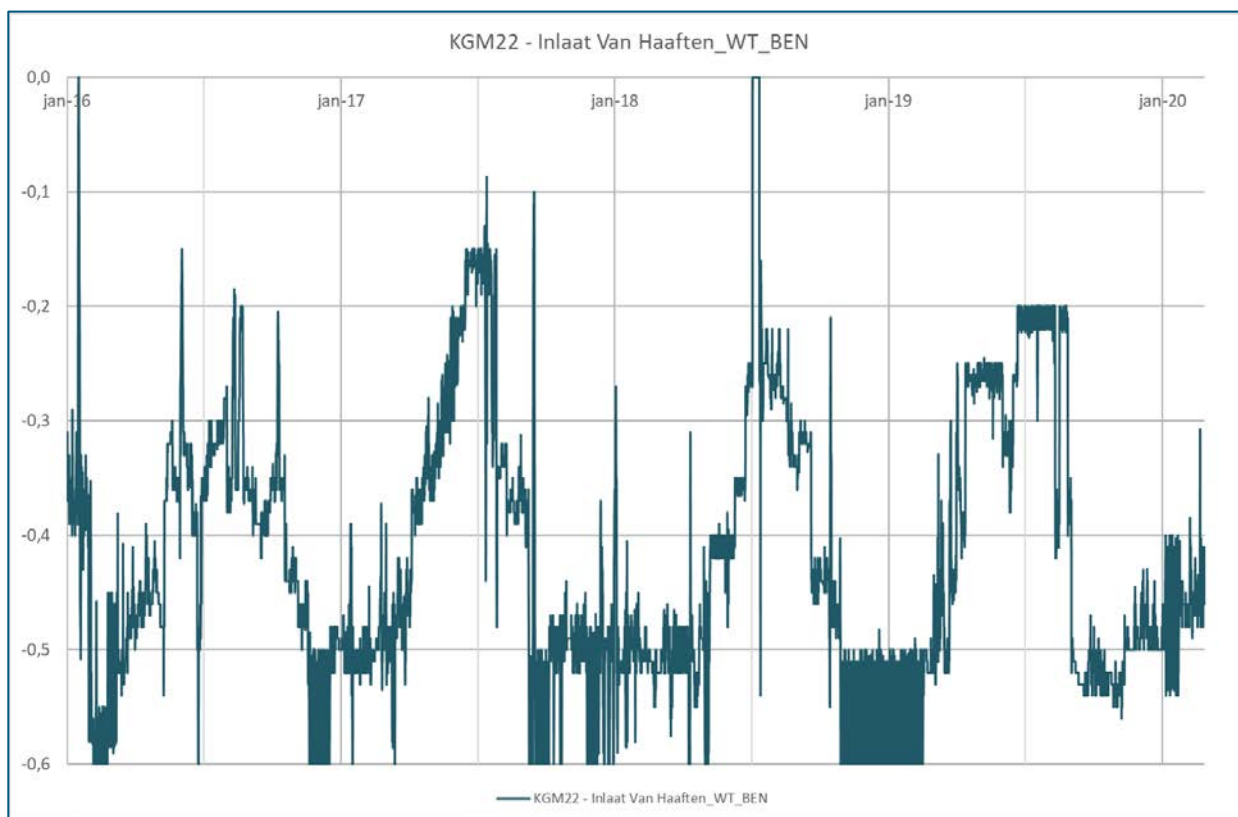


Figuur 5-5 Polderpeil benedenstrooms van inlaat Campweg.

Voor inlaat Van Haften is een vergelijkbaar beeld te zien (figuur 5-6). Het zomerpeil in het peilgebied waarin wordt ingelaten is -0,40 mNAP. In de zomer is het waterpeil vaak hoger -0,25, -0,20 of zelfs -0,15 mNAP in 2017. Ook hier wordt dat gedaan om het verhang in het watersysteem te vergroten en verzilting te verminderen. Hoge benedenstroomse waterpeilen verminderen het potentiële inlaatdebiet met ongeveer 0,4-0,5 m³/s per 5 cm peilopzet. Hoe hoger het peil, hoe groter het verlies aan inlaatdebiet. Dit is geïllustreerd in tabel 5-1. De watervraag van het gebied dat door inlaat Van Haften wordt voorzien van water is 0,65 m³/s (normaal) tot 1,96 m³/s (droog). Als er veel water aangevoerd moet worden in een droge situatie, dan is het aan te raden om het polderpeil niet hoger dan -0,25 mNAP op te zetten, omdat dit ten koste gaat van het gewenste inlaatdebiet.

Tabel 5-1 Effect opzetten polderpeil op het inlaatdebiet bij inlaat Van Haften

Situatie	Polderpeil, benedenstrooms inlaat Van Haften	Peil VZM onderkant peiltrap in juli (laagste peil)	Inlaatdebiet
Juni 2017	-0,15 mNAP	-0,08 mNAP	1,48 m ³ /s
Juli 2019	-0,20 mNAP	-0,08 mNAP	1,93 m ³ /s
Mei 2019	-0,25 mNAP	-0,08 mNAP	2,30 m ³ /s
Juli 2016	-0,30 mNAP	-0,08 mNAP	2,62 m ³ /s
Juni 2018	-0,35 mNAP	-0,08 mNAP	2,90 m ³ /s
zomerpeil	-0,40 mNAP	-0,08 mNAP	3,16 m ³ /s



Figuur 5-6 Polderpeil benedenstrooms van inlaat Van Haaften

5.3 Interpretatie kantelpunten

Uit de analyse in §5.1 zijn kantelpunten afgeleid voor een normaal jaar en een droog jaar:

Tabel 5-2 Kantelpunten

	Kantelpunt Brabantse Delta	Kantelpunt Scheldestromen
Normaal jaar (0,1 l/s/ha)	Geen	-0,05 mNAP
Droog jaar (0,3 l/s/ha)	Onderkant peiltrap	+0,075 mNAP

In deze paragraaf is uitgerekend wat het effect is op de inlaatdebieten als er gekozen wordt om het peil van het Volkerak-Zoommeer bovenaan of juist onderaan de peiltrap te hanteren. Oftewel: stel dat Rijkswaterstaat ervoor kiest om het peil van het Volkerak-Zoommeer zo in te stellen dat het aan de onderkant van de peiltrap ligt, hoeveel extra water kan Waterschap Brabantse Delta dan inlaten en hoe verhoudt zich dat tot de totale watervraag. En hoeveel minder kan Waterschap Scheldestromen dan inlaten? Dit inzicht is nodig voor de waterbeheerders om met elkaar in gesprek te kunnen over het optimale waterpeil van het Volkerak-Zoommeer. In de volgende paragrafen is een simpele waterbalans weergegeven waarbij de inlaat wordt vergeleken met de watervraag.

5.3.1 Inlaat Oosterhout

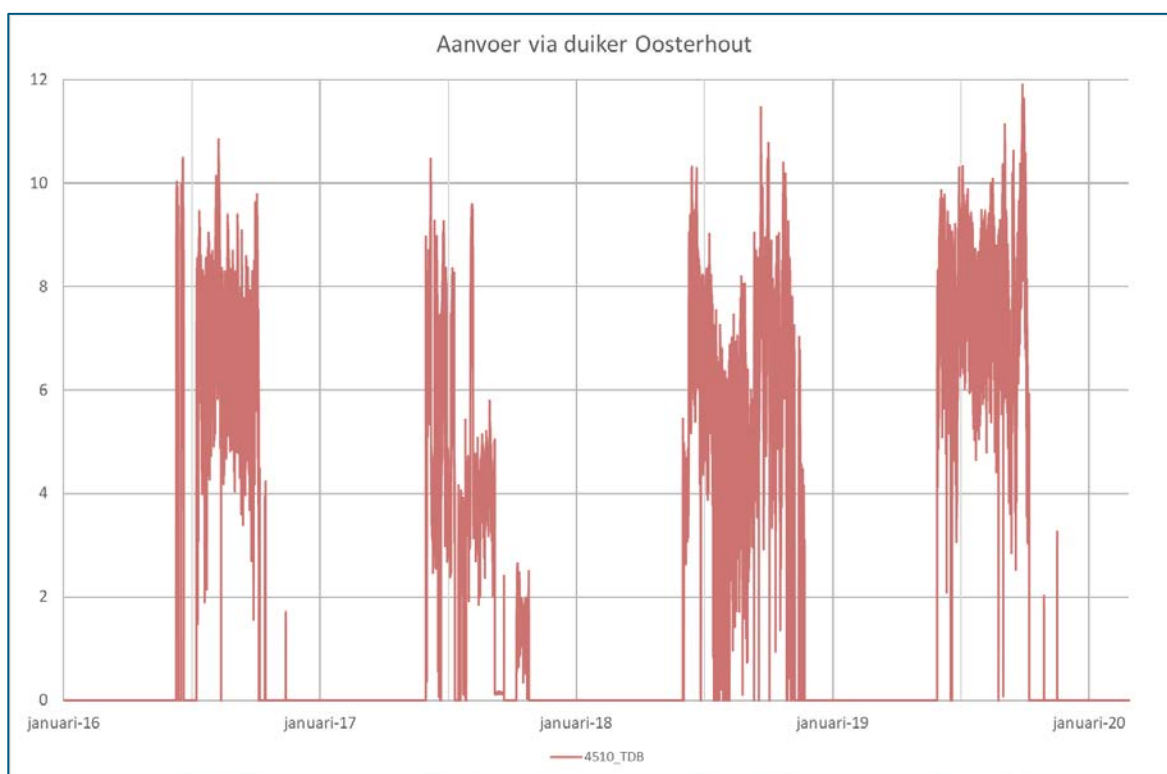
Allereerst is er een versimpelde waterbalans gemaakt om het aanbod van water te vergelijken met de watervraag. In deze waterbalans zijn de werkelijke meetgegevens van de periode 2016-2019 verwerkt (tabel 5-4). De watervraag van het achterliggende gebied van inlaat Oosterhout is 2,8 tot 13,2 m³/s, afhankelijk of het een normale of droge periode is en of er nog extra water nodig is voor het doorspoelen van de Mark-Dintel-Vliet boezem (tabel 5-3). De beken van het vrij afwaterende deel van het beheergebied voorzien al

voor een deel in de wateraanvoer, dit is de afvoer van de beken. Met name de Aa of Weerijns en de Bovenmark die in Breda in de Mark overgaan hebben een belangrijke bijdrage.

Tabel 5-3 Watervraag Waterschap Brabantse Delta voor de Mark-Dintel-Vliet boezem

Doorspoelprotocol	Watervraag	
	Normaal (0,1 l/ha/s)	Droog (0,3 l/ha/s)
Niet doorspoelen	2,81 m ³ /s	8,43 m ³ /s
Doorspoelen (4,8 m ³ /s)	7,61 m ³ /s	13,23 m ³ /s

Om deze bijdrage te kwantificeren is voor de vier beschikbare meetjaren (2016-2019) de maandgemiddelde afvoer van de Aa of Weerijns en Bovenmark bepaald. De afvoer in juni is gemiddeld nog 4,8 m³/s, maar in juli, augustus en september is de afvoer 1,6-1,8 m³/s.



Figuur 5-7 Inlaatdebiet inlaat Oosterhout (gemeten)

Inlaat Oosterhout levert theoretisch, als deze maximaal open staat, ongeveer 8-10 m³/s inlaatwater (figuur 5-7), maar omdat de inlaat niet altijd open staat en de waterpeilen niet altijd optimaal zijn, is de werkelijke gemiddelde inlaat over 2016-2019 in de zomermaanden 5-6 m³/s. In 2017 is er geëxperimenteerd met de inlaat waardoor er in 2017 minder is ingelaten dan had gekund. Dit drukt de gemiddelde waarde van de vier jaren naar beneden. In de waterbalans is daarom berekend wat gemiddeld ingelaten had kunnen worden als de inlaat niet was geknepen. Dit is 7-8 m³/s. Waterschap Brabantse Delta en Rijkswaterstaat kunnen in overleg ook water inlaten via de Marksluis. Dit is in 2018 gebeurd en op basis van de berekende debieten van 2018 levert de Marksluis een inlaatdebiet van 4,0 m³/s (bron: analyse-notebook Waterbalans MDV-Droogte door Thomas Deurloo²).

² <https://gitlab.com/thomasdeurloo/peilopt-vzm/-/blob/master/docs/Waterbalans+MDV++Droogte.html>

In tabel 5-4 is te zien dat de aanvoer via inlaat Oosterhout en de beken Aa of Weerijns en Bovenmark samen 9,2 tot 12,4 m³/s is. Dit is ruim voldoende voor de normale watervraag ook als er een extra doorspoelbehoefte is van 4,8 m³/s. Het is ook voldoende voor een verhoogde watervraag van 0,3 l/s/ha in droge situaties. Er is echter niet voldoende water om te voldoen aan een verhoogde watervraag van 0,3 l/s/ha in droge situaties in combinatie met een extra doorspoelbehoefte. Daarvoor is 13,2 m³/s nodig, terwijl er maar 9,2 tot 12,4 m³/s beschikbaar is. De extra doorspoelbehoefte van 4,8 m³/s kan wel gerealiseerd worden door de Marksluis open te zetten zoals in 2018 is gedaan. In de toekomst is er ook een extra mogelijkheid tot aanvoer van water via de Roode Vaart van 3,5 m³/s.

Tabel 5-4 Waterbalans met huidige peilen op het Volkerak Zoommeer en huidige inlaatbeleid

	Juni	Juli	Augustus	September
Aa of Weerijns en Bovenmark	4,8 m ³ /s	1,6 m ³ /s	1,6 m ³ /s	1,8 m ³ /s
Duiker Oosterhout (max.)	7,6 m ³ /s	6,9 m ³ /s	7,1 m ³ /s	7,4 m ³ /s
Marksluis (2018)	4 m ³ /s	4 m ³ /s	4 m ³ /s	4 m ³ /s
Totaal aanvoer (+ Marksluis)	12,4 (+ 4) m ³ /s	8,5 (+ 4) m ³ /s	8,7 (+ 4) m ³ /s	9,2 (+ 4) m ³ /s
	0,44 l/s/ha	0,30 l/s/ha	0,31 l/s/ha	0,33 l/s/ha
Watervraag normaal	2,8 m ³ /s	2,8 m ³ /s	2,8 m ³ /s	2,8 m ³ /s
Watervraag normaal + doorspoelprotocol	7,6 m ³ /s	7,6 m ³ /s	7,6 m ³ /s	7,6 m ³ /s
Watervraag droog	8,4 m ³ /s	8,4 m ³ /s	8,4 m ³ /s	8,4 m ³ /s
Watervraag droog + doorspoelprotocol	13,2 m ³ /s	13,2 m ³ /s	13,2 m ³ /s	13,2 m ³ /s

Reguliere aanvoer voldoende voor watervraag

Aanvoer + Marksluis voldoende voor watervraag

Aanvoer + Marksluis niet voldoende voor watervraag

Vervolgens is gekeken in hoeverre de waterstanden op het Volkerak-Zoommeer de waterbalans beïnvloeden. In tabel 5-5 is de waterbalans opgesteld ervan uitgaande dat Rijkswaterstaat de bovenkant van de peiltrap aanhoudt en in tabel 5-6 is de waterbalans opgesteld ervan uitgaande dat Rijkswaterstaat de onderkant van de peiltrap aanhoudt. Hier is wederom het getrainde MLR-model voor de relatie tussen het peil van het Volkerak-Zoommeer en het benedenstroomse peil bij duiker Oosterhout ingezet. Het blijkt dat het inlaatdebiet over duiker Oosterhout met 0,75 tot 1,9 m³/s toeneemt als het peil van het Volkerak-Zoommeer de onderkant van de peiltrap zou volgen in plaats van de bovenkant (tabel 5-7). De toename van het inlaatdebiet van 1,9 m³/s geldt voor de maanden augustus en september. Het peilverschil tussen de boven- en onderkant van de peiltrap is in die maanden groter, omdat het broedseizoen dan is afgelopen. Tijdens het broedseizoen is het peilverschil tussen de boven- en de onderkant van de peiltrap kleiner. Uit de waterbalans blijkt dat de toename van het inlaatdebiet van 0,75 – 1,9 m³/s niet voldoende is om ook aan de watervraag te kunnen voldoen in een droge periode (0,3 l/s/ha) waarbij er ook moet worden doorgespoeld. Als de onderkant van de peiltrap wordt gevolgd is de aanvoer over de Mark-Dintel-Vliet boezem 9,75-12,9 m³/s, wat minder is dan de benodigde 13,2 m³/s. De inzet van de Marksluis en/of Roode Vaart blijft noodzakelijk, ook als het meest optimale peil van het Volkerak-Zoommeer wordt gehanteerd, namelijk de onderkant van de peiltrap.

Tabel 5-5 Waterbalans met peilen van het Volkerak Zoommeer aan de bovenkant van de peiltrap

	Juni	Juli	Augustus	September
Aa of Weerijns en Bovenmark	4,8 m ³ /s	1,6 m ³ /s	1,6 m ³ /s	1,8 m ³ /s
Duiker Oosterhout (bovenkant peiltrap)	7,36 m ³ /s	6,70 m ³ /s	6,47 m ³ /s	6,53 m ³ /s
Marksluis (2018)	4 m ³ /s	4 m ³ /s	4 m ³ /s	4 m ³ /s
Totaal aanvoer (+ Marksluis)	12,16 (+ 4) m ³ /s	8,30 (+ 4) m ³ /s	8,07 (+ 4) m ³ /s	8,33 (+ 4) m ³ /s
	0,43 l/s/ha	0,30 l/s/ha	0,29 l/s/ha	0,30 l/s/ha
Watervraag normaal	2,8 m ³ /s	2,8 m ³ /s	2,8 m ³ /s	2,8 m ³ /s
Watervraag normaal + doorspoelprotocol	7,6 m ³ /s	7,6 m ³ /s	7,6 m ³ /s	7,6 m ³ /s
Watervraag droog	8,4 m ³ /s	8,4 m ³ /s	8,4 m ³ /s	8,4 m ³ /s
Watervraag droog + doorspoelprotocol	13,2 m ³ /s	13,2 m ³ /s	13,2 m ³ /s	13,2 m ³ /s

Tabel 5-6 Waterbalans met peilen van het Volkerak Zoommeer aan de onderkant van de peiltrap

	Juni	Juli	Augustus	September
Aa of Weerijns en Bovenmark	4,8 m ³ /s	1,6 m ³ /s	1,6 m ³ /s	1,8 m ³ /s
Duiker Oosterhout (onderkant peiltrap)	8,12 m ³ /s	8,14 m ³ /s	8,40 m ³ /s	8,44 m ³ /s
Marksluis (2018)	4 m ³ /s	4 m ³ /s	4 m ³ /s	4 m ³ /s
Totaal aanvoer (+ Marksluis)	12,92 (+ 4) m ³ /s	9,74 (+ 4) m ³ /s	10,0 (+ 4) m ³ /s	10,24 (+ 4) m ³ /s
	0,46 l/s/ha	0,34 l/s/ha	0,34 l/s/ha	0,35 l/s/ha
Watervraag normaal	2,8 m ³ /s	2,8 m ³ /s	2,8 m ³ /s	2,8 m ³ /s
Watervraag normaal + doorspoelprotocol	7,6 m ³ /s	7,6 m ³ /s	7,6 m ³ /s	7,6 m ³ /s
Watervraag droog	8,4 m ³ /s	8,4 m ³ /s	8,4 m ³ /s	8,4 m ³ /s
Watervraag droog + doorspoelprotocol	13,2 m ³ /s	13,2 m ³ /s	13,2 m ³ /s	13,2 m ³ /s

Reguliere aanvoer voldoende voor watervraag

Aanvoer + Marksluis voldoende voor watervraag

Aanvoer + Marksluis niet voldoende voor watervraag

Tabel 5-7 Verschil in aanvoerdebiet door duiker Oosterhout als de boven- of juist de onderkant van de peiltrap wordt gehanteerd

	Juni	Juli	Augustus	September
Duiker Oosterhout (bovenkant peiltrap)	7,36 m ³ /s	6,70 m ³ /s	6,47 m ³ /s	6,53 m ³ /s
Duiker Oosterhout (onderkant peiltrap)	8,12 m ³ /s	8,14 m ³ /s	8,40 m ³ /s	8,44 m ³ /s
Verschil in debiet	0,76 m ³ /s	1,43 m ³ /s	1,92 m ³ /s	1,91 m ³ /s

5.3.2 Inlaat Campweg

Ook voor inlaat Campweg is een analyse uitgevoerd wat het inlaatdebiet zou zijn als de grenzen van de peiltrap worden gehanteerd als peil van het Volkerak-Zoommeer (tabel 5-8). De peiltrap verspringt op de 15^e van de maand. Omdat het inlaatdebiet van inlaat Campweg alleen afhankelijk is van het bovenstroomse peil van het Volkerak-Zoommeer is ervoor gekozen om aan te sluiten bij de wijzigingen van de peiltrap, in plaats van een analyse per maand. Te zien is wat deels in voorafgaande paragrafen ook is omschreven:

- De watervraag voor een normale zomer van 0,1 l/s/ha kan niet worden geleverd in de periode 15 mei – 1 oktober als de onderkant van de peiltrap wordt gehanteerd. Er kan dan 0,04 m³/s te weinig worden ingelaten. Als de bovenkant van de peiltrap wordt gehanteerd, is er wel voldoende aanvoer mogelijk in deze periode.
- In de overige periodes kan aan de watervraag van 0,1 l/s/ha worden voldaan als de onderkant van de peiltrap wordt gevolgd.
- Aan de watervraag in droge periodes kan niet worden voldaan als de onderkant van de peiltrap wordt gehanteerd.
- Aan de watervraag in droge periodes kan wel worden voldaan in de perioden 15 maart-15 mei en na 15 juli als de bovenkant van de peiltrap wordt gehanteerd.
- Het verschil in inlaatdebiet tussen het hanteren van de boven- of juist de onderkant van de peiltrap is 0,25 tot 0,77 m³/s (zie tabel 5-8). Als het verschil tussen de boven- en de onderkant van de peiltrap toeneemt, neemt ook het verschil in debiet toe.

Tabel 5-8 Verschil in aanvoerdebiet door inlaat Campweg als de boven- of juist de onderkant van de peiltrap wordt gehanteerd

	15 maart – 15 april	15 april – 15 mei	15 mei – 15 juni	15 juni – 15 juli	15 juli - oktober
Bovenkant peiltrap	+0,11 mNAP	+0,07 mNAP	+0,03 mNAP	0,00 mNAP	+0,15 mNAP
Onderkant peiltrap	+0,01 mNAP	-0,03 mNAP	-0,07 mNAP	-0,10 mNAP	-0,10 mNAP
Inlaat Campweg (bovenkant peiltrap)	0,72 m ³ /s	0,58 m ³ /s	0,44 m ³ /s	0,35 m ³ /s	0,87 m ³ /s
Inlaat Campweg (onderkant peiltrap)	0,38 m ³ /s	0,27 m ³ /s	0,17 m ³ /s	0,10 m ³ /s	0,10 m ³ /s
Verschil in debiet	0,34 m ³ /s	0,31 m ³ /s	0,27 m ³ /s	0,25 m ³ /s	0,77 m ³ /s
Watervraag normaal	0,19 m ³ /s	0,19 m ³ /s	0,19 m ³ /s	0,19 m ³ /s	0,19 m ³ /s
Watervraag droog	0,58 m ³ /s	0,58 m ³ /s	0,58 m ³ /s	0,58 m ³ /s	0,58 m ³ /s

Kan voldoen aan watervraag bij onderkant peiltrap

Kan voldoen aan watervraag bij bovenkant peiltrap

Kan NIET voldoen aan watervraag, ook niet bij bovenkant peiltrap

5.3.3 Inlaat Van Haaften

Voor inlaat Van Haaften is dezelfde analyse uitgevoerd wat het inlaatdebiet zou zijn als de grenzen van de peiltrap worden gehanteerd als peil van het Volkerak-Zoommeer (tabel 5-9). Omdat het inlaatdebiet van inlaat Van Haaften afhankelijk is van het benedenstroomse polderpeil en deze een variatie kent, is ervoor gekozen om een analyse per maand te maken.

Inlaat Van Haaften is een inlaat die ruim is gedimensioneerd. Als het peil van het Volkerak-Zoommeer aan de onderkant van de peiltrap wordt gehouden, dan kan aan de watervraag worden voldaan, zowel van een normaal jaar (0,1 l/s/ha) als van een droog jaar (0,3 l/s/ha). Het verschil in inlaatdebiet tussen het hanteren van de boven- of juist de onderkant van de peiltrap is 0,52 tot 1,24 m³/s (zie tabel 5-9). Als het verschil tussen de boven- en de onderkant van de peiltrap toeneemt, neemt ook het verschil in debiet toe. Het verschil tussen augustus en september, waarin de peiltrap hetzelfde is, wordt veroorzaakt door het verschil in het polderpeil wat het waterschap hanteert.

Tabel 5-9 Verschil in aanvoerdebiet door inlaat Van Haaften als de boven- of juist de onderkant van de peiltrap wordt gehanteerd

	Juni*	Juli*	Augustus	September
Bovenkant peiltrap	+0,03 mNAP	0,00 mNAP	+0,15 mNAP	+0,15 mNAP
Onderkant peiltrap	-0,07 mNAP	-0,10 mNAP	-0,10 mNAP	-0,10 mNAP
Benedenstroomse peil Van Haaften (gemiddelde 2016-2019)	-0,30 mNAP	-0,23 mNAP	-0,30 mNAP	-0,43 mNAP
Inlaat Van Haaften (bovenkant peiltrap)	3,20 m ³ /s	2,69 m ³ /s	3,76 m ³ /s	4,26 m ³ /s
Inlaat Van Haaften (onderkant peiltrap)	2,68 m ³ /s	2,03 m ³ /s	2,52 m ³ /s	3,22 m ³ /s
Verschied in debiet	0,52 m ³ /s	0,66 m ³ /s	1,24 m ³ /s	1,04 m ³ /s
Watervraag normaal	0,65 m ³ /s	0,65 m ³ /s	0,65 m ³ /s	0,65 m ³ /s
Watervraag droog	1,96 m ³ /s	1,96 m ³ /s	1,96 m ³ /s	1,96 m ³ /s

* peil 15 mei tot 15 juni is representatief genomen voor juni en peil 15 juni tot 15 juli is representatief genomen voor juli.

Kan voldoen aan watervraag bij onderkant peiltrap

Kan voldoen aan watervraag bij bovenkant peiltrap

Kan NIET voldoen aan watervraag, ook niet bij bovenkant peiltrap

5.4 Onzekerheid in meetgegevens

Bij de interpretatie van de resultaten van dit onderzoek dient rekening gehouden te worden met onzekerheden in de analyse.

Databronnen

- Zoals te zien is in bijlage 1, zijn de aangeleverde meetreeksen niet 100% compleet. Ontbrekende data is geïmputeerd en met experts besproken, maar kan alsnog afwijken van de (onbekende) daadwerkelijke situatie.
- Door ontbrekende data kon er slechts 4 jaar aan gegevens geanalyseerd worden. Hoewel deze jaren gevarieerd waren qua weerpatroon, zou meer data robuustere uitkomsten opleveren.

- De data van inlaat Drie Grote Polders bij Waterschap Scheldestromen was niet bruikbaar voor de analyse. In de praktijk worden op deze locatie geen capaciteitsproblemen waargenomen, dus het ontbreken van deze data had waarschijnlijk geen invloed op de uitkomsten van de analyse.
- De data van meerdere inlaten bij Waterschap Scheldestromen was niet bruikbaar voor de analyse, terwijl deze inlaten mogelijk van invloed zijn op de kantelpunten.

Gebruikte formules

- De gebruikte debietformules voor inlaten en stuwen zijn theoretische afgeleiden en bevatten derhalve onzekerheidsmarges. Dit hangt samen met de gebruikte constanten.
- De onderhoudssituatie van een kunstwerk en de omgeving van het inlaatkunstwerk kan invloed hebben op de mate waarin de formules de werkelijkheid benaderen. Voor Waterschap Scheldestromen speelt dit met name voor inlaat Van Haften, welke met regelmaat van jaren het nodige onderhoud vraagt om verzanding tegen te gaan.
- De benodigde debieten per seconde/ha, en de afweging van een droge/normale situatie is grotendeels gebaseerd op aannames. Deze aannames hebben grote impact op de resultaten van de analyse.

Waterpeilen

- De voorstuwer bij Campweg is buiten beschouwing gelaten in de analyse, maar heeft waarschijnlijk wel degelijk (veel) invloed op het benodigde peil op het Volkerak-Zoommeer.
- Peilmetingen zijn niet altijd nauwkeurig, afwijkingen van 1-2 cm zijn normaal. In dit onderzoek gaat het af en toe om enkele centimeters die het verschil maken. Dat heeft ook zijn uitwerking op de debietformules, waar de gemeten peilen in gebruikt worden.
- Turbulentie of golfslag van boten kunnen de peilmetingen beïnvloeden, zeker bij de inlaten van Waterschap Scheldestromen. Dit is zo veel mogelijk gemitigeerd door met daggemiddelden te rekenen voor Waterschap Scheldestromen.
- Opwaaiing en verhang zorgen ervoor dat het peil van het Volkerak-Zoommeer niet gelijk is over het hele Volkerak-Zoommeer. De metingen van Rijkswaterstaat kunnen dus verschillen van de metingen van de waterschappen. Rijkswaterstaat kan hierdoor ook niet exact op de peiltrap sturen, en stuurt daarom op een gewogen gemiddeld peil.
- Door voorgaande twee punten kan er onnauwkeurigheid ontstaan bij het leggen van de relatie tussen de peilen bij een waterschap en die van Rijkswaterstaat. Deze zijn goed voorspelbaar, maar bevatten alsnog een kleine onzekerheidsmarge.

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Conclusies

Het hoofddoel van het project was om te bepalen wat het optimale peil is van het Volkerak-Zoommeer in relatie tot de inlaat van zoetwater voor Waterschap Scheldestromen en Waterschap Brabantse Delta. In dit onderzoek is aangetoond dat er, hoewel de waterschappen een tegengesteld belang hebben, in normale jaren een bandbreedte bestaat waarin het peil binnen de door Rijkswaterstaat gehanteerde peiltrap ten behoeve van broedvolgels voor beide waterschappen voldoet. In droge jaren geldt dat die bandbreedte in de zomer niet bestaat, zoals te zien in tabel 6-1.

Tabel 6-1 Kantelpunten

	Kantelpunt Scheldestromen (ondergrens)	Kantelpunt Brabantse Delta (bovengrens)
Normaal jaar (0,1 l/s/ha)	-0,05 mNAP	Geen
Droog jaar (0,3 l/s/ha)	+0,075 mNAP	Onderkant peiltrap

Voor de zomer van een droog jaar dient de afweging gemaakt te worden welk peil van het Volkerak-Zoommeer het meest oplevert/minste schade veroorzaakt voor beide waterschappen. In hoofdstuk 5 is geanalyseerd welk effect het hanteren van de onder- of bovenkant van de peiltrap in dat geval heeft. Het is gebleken dat inlaat Van Haaften (Scheldestromen) in deze afweging geen rol speelt: aan de watervraag kan worden voldaan bij elk peil binnen de peiltrap.

Voor inlaat Campweg (Scheldestromen) geldt dat, als het aandeel van de voorstuwer buiten beschouwing wordt gelaten, het peil van het Volkerak-Zoommeer een groot effect heeft op de mogelijkheid om water in te laten, met name in een droog jaar. In het voor- en najaar kan aan de watervraag worden voldaan als de bovenkant van de peiltrap wordt gehanteerd, maar in de zomermaanden is zelfs dat niet afdoende. Het is voor Waterschap Scheldestromen dus belangrijk dat het Volkerak-Zoommeer peil in droge perioden zo dicht mogelijk bij de bovenkant van de peiltrap ligt.

Voor Waterschap Brabantse Delta geldt dat in de zomer van een droog jaar het peil binnen de peiltrap niet erg veel verschil maakt: als de inlaat bij Oosterhout volledig geopend is, is er nagenoeg altijd genoeg waterinlaat mogelijk. Dit geldt echter niet als ook het doorspoelprotocol in werking treedt. Uit de analyse blijkt dat extra aanvoer via de Marksluis (en in de toekomst via de Roode Vaart) als (nood-)oplossing kan dienen. De inzet van de Marksluis voor aanvoer van water kan alleen in afstemming met Rijkswaterstaat (als beheerder) en dient echter te worden geminimaliseerd vanwege de beperkingen die dan worden opgelegd voor de scheepvaart. Het peil op het Volkerak-Zoommeer (0,75-1,9 m³/s verschil tussen onder- en bovenkant peiltrap) kan gemitigeerd worden door de inzet van de Marksluis (4 m³/s) of Roode Vaart (3,5 m³/s).

6.2 Aanbevelingen

Op basis van de bevindingen in dit onderzoek bevelen we het volgende aan:

Handelingsperspectief

- Het peil van het Volkerak-Zoommeer in de zomer niet onder -0,05 mNAP laten zakken.
- Afspraken maken over periode ná 15 juli: het broedseizoen is afgelopen dus er is meer marge om het peil aan te passen. Het droge seizoen is vaak nog niet voorbij, dus de waterschappen hebben nog steeds belang bij een bepaald peil van het Volkerak-Zoommeer.

- De polderpeilen bij inlaten Campweg en Van Haften niet te hoog opzetten. Bij Campweg moet het peil onder de drempelhoogte van -0,18 mNAP blijven om verdrinken van de stuw te voorkomen. Bij Van Haften moet bij normale watervraag een maximaal peil van -0,20 mNAP en bij droge watervraag een maximaal peil van -0,25 mNAP gehanteerd worden. Het waterschap kiest voor peilopzet om water beter in het watersysteem te kunnen verspreiden, het inlaatdebiet wordt echter te laag als de peilen te hoog worden opgezet.
- Aanpassingen aan kunstwerk Campweg uitvoeren. Deze inlaat is het meest kritisch voor het te hanteren peil op het Volkerak-Zoommeer. Ook is er in de huidige situatie al een voorstuwer nodig om voldoende in te kunnen laten. De aanpassing van het kunstwerk is niet eenvoudig aangezien het polderpeil vrij dicht bij het peil van het Volkerak-Zoommeer ligt, waardoor opties onder vrij verval al snel tegen beperkingen aanlopen.

Randvoorwaarden

- Het verder op orde brengen van de meetgegevens bij Waterschap Scheldestromen: bovenstroomse waterpeilen, missende reeksen en gegevens over de dimensionering van de inlaat bij Drie Grote Polders (de drempelhoogte).
- Invloed van de voorstuwer bij Campweg beter in beeld brengen, deze is immers cruciaal voor het kunnen voldoen aan de watervraag.

Verder onderzoek

- Economisch perspectief toevoegen aan de analyse om zo een betere afweging te kunnen maken van baten/lasten bij verschillende peilen in een droge zomer.

7 Literatuur

Berg van den M. (2009) Sturen op Zout. Afstudeeronderzoek naar de beperking van de zoutindringing in de Mark-Vliet boezem als gevolg van een zout Volkerak-Zoommeer door gebruik te maken van Real Time Control. April 2009.

Hydrologic (2017) Redeneerlijnen waterbeheer regio Volkerak-Zoommeer. Gezamenlijke uitwerking van Rijkswaterstaat en de waterschappen Brabantse Delta, Scheldestromen en Hollandse Delta. December 2017

Ministerie van Verkeer en Waterstaat (1996) Peilbesluit Volkerak-Zoommeer, 29 februari 1996.

Projectteam Beleidstafel Droogte (2019) Nederland beter weerbaar tegen droogte, in opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, december 2019.

Rijksinpassingsplan Waterberging Volkerak-Zoommeer NL.IMRO.0000.IMip12BERGINGVZM-3000

Rijkswaterstaat Zee en Delta, Waterschap Brabantse Delta, Waterschap Hollandse Delta, Waterschap Scheldestromen, Rijkswaterstaat West-Nederland Zuid, Rijkswaterstaat Zuid-Nederland (2016) Waterakkoord Volkerak-Zoommeer. Actualisatie 1 januari 2016.

Rijkswaterstaat dienst Zeeland (2012) Milieueffectrapportage Waterkwaliteit Volkerak-Zoommeer. Ontwerp MER, april 2012

Bijlage

1. Gebruikte data

Waterschap Brabantse Delta

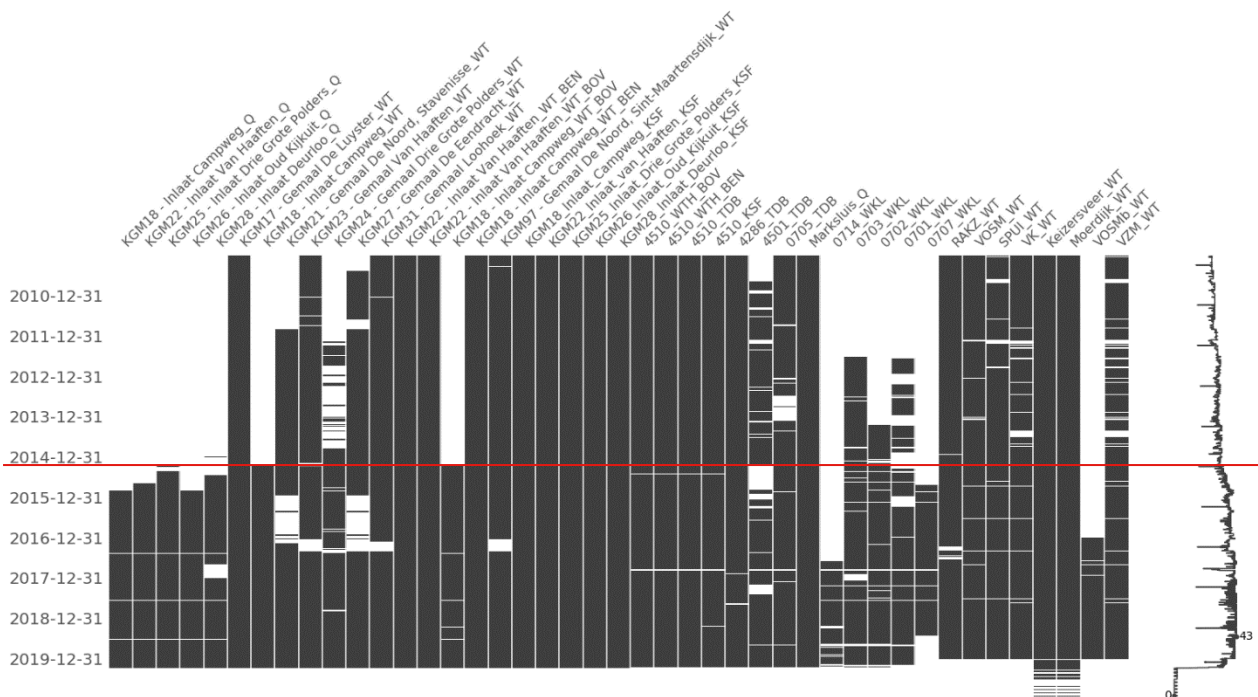
Locatie	Debiet (Q)	Waterstand (WT)	Chloride (CL)	Klepstand (KSF)	Temperatuur (T)	Cyanochlorofyl (WKL)
Inlaten						
Oosterhout (4510)	Q	WT bov, ben		KSF		
Bovenmark (Blauwe kamer; 4286)	Q					
Aa of Weerijis (Oranjeboombrug; 4501)	Q					
Molenbeek (Zuidrand Roosendaal; 7500)	Q					
Dintelsas (7501)	Q	WT				
0701, 0702, 0703, 0707, 0714						WKL
Benedensas (0705)	Q					
Sluizen						
Marksuis	Q					

Waterschap Scheldestromen

Locatie	Debiet (Q)	Waterstand (WT)	Chloride (CL)	Klepstand (KSF)
Gemalen				
De Luyster	Q	WT		
Van Haaften	Q	WT		
Drie Grote Polders	Q	WT		
De Eendracht	Q	WT	CL	
Loohoek	Q	WT		
De Noord, Sint-Maartsendijk	Q	WT		
De Noord, Stavenisse	Q	WT		
Inlaten				
Campweg	Q	WT	CL + instroom	KSF
Van Haaften	Q	WT	CL + instroom	KSF
Drie Grote Polders	Q		CL	KSF

Locatie	Debiet (Q)	Waterstand (WT)	Chloride (CL)	Klepstand (KSF)
Oud Kijkuit	Q		CL	KSF
Deurloo	Q		CL	KSF
Meetpunten				
Campweg, St. Philipsland			CL	
Zuidijk, St. Philipsland			CL	
Langeweg, St. Philipsland			CL	
Noordweg, St. Philipsland			CL	
Westweg, St. Annaland			CL	
Pierhoekseweg, St. Annaland			CL	
Sluispolderweg, Oud Vossemeer			CL	
Zeedijk, Oud Vossemeer			CL	
Vogelsangsedijk, Oud Vossemeer			CL	
Withoekseweg, St. Annaland			CL	
Tweede Dijk, St. Annaland			CL	
Pelleweg, Poortvliet			CL	
Schoondorpseweg, Poortvliet			CL	

Missende data



Figuur B1-1 Overzicht van missende waarden per tijdsreeks. Missende waarden zijn wit aangegeven, de rode lijn markeert het gekozen startpunt van 1-1-2016



Regional Office Locations

Royal HaskoningDHV is an independent, international engineering and project management consultancy with over 138 years of experience. Our professionals deliver services in the fields of aviation, buildings, energy, industry, infrastructure, maritime, mining, transport, urban and rural development and water.

Backed by expertise and experience of 6,000 colleagues across the world, we work for public and private clients in over 140 countries. We understand the local context and deliver appropriate local solutions.

We focus on delivering added value for our clients while at the same time addressing the challenges that societies are facing. These include the growing world population and the consequences for towns and cities; the demand for clean drinking water, water security and water safety; pressures on traffic and transport; resource availability and demand for energy and waste issues facing industry.

We aim to minimise our impact on the environment by leading by example in our projects, our own business operations and by the role we see in “giving back” to society. By showing leadership in sustainable development and innovation, together with our clients, we are working to become part of the solution to a more sustainable society now and into the future.

Our head office is in the Netherlands, other principal offices are in the United Kingdom, South Africa and Indonesia. We also have established offices in Thailand, India and the Americas; and we have a long-standing presence in Africa and the Middle East.



royalhaskoningdhv.com

