

Maatregelverkenning voor het Deltaprogramma Zoetwater

Eerste beeld voor fase 2



Maatregelverkenning voor het Deltaprogramma Zoetwater

Eerste beeld voor fase 2

Marjolein Mens
Joost Delsman
Nienke Kramer
Janneke Pouwels
Sibren Loos
Corine ten Velden
Peter Gijsbers
Geert Prinsen
Ymkje Huismans
Karel Heynert

Titel

Maatregelverkenning voor het Deltaprogramma Zoetwater

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving, UTRECHT	11202240-017	11202240-017-ZWS-0001	48

Trefwoorden

Zoetwatervoorziening, maatregelverkenning, Deltaprogramma Zoetwater, afvoerverdeling, watertekort, POA, Haringvliet, Noordzeekanaal, Volkerak-Zoommeer, IJsselmeer/Markermeer, QWAST, NWM, LHM

Samenvatting

Dit rapport beschrijft de modelberekeningen en analyses die zijn uitgevoerd om tot een eerste beeld te komen van de effecten van mogelijke maatregelen voor de zoetwatervoorziening van Nederland in de huidige situatie en voor Deltascenario Warm2050. Hierbij ging het voornamelijk om maatregelen die tot bovenregionale afwegingen kunnen leiden. Met bovenregionale afwegingen wordt bedoeld dat het effect van een maatregel in de ene regio of ten behoeve van een gebruiksfunctie een significant effect heeft op een andere regio of gebruiksfunctie. In dit eerste beeld is naar de hydrologische en waterhuishoudkundige effecten gekeken. In 2019 zal de volgende stap in het proces van het Deltaprogramma Zoetwater ook aandacht besteden aan de economische aspecten van de afwegingen.

De volgende afwegingen zijn onderzocht:

- 1 Andere waterverdeling Rijntakken ten behoeve van het zoet houden van de Lek
- 2 Groter doorspoeldebiet Noordzeekanaal ten behoeve van het terugdringen van zoutindringing als gevolg van de nieuwe zeesluis bij IJmuiden
- 3 Aanpassen van de afvoerverdeling in het midden-rivierengebied ten behoeve van de aanvoer naar de Permanente Oostelijke Aanvoer (POA) in vergelijking met de Klimaatbestendige Wateraanvoer (KWA+) voor West-Nederland
- 4 Doorspoelstop Volkerak-Zoommeer en het effect hiervan op regionale watertekorten in Zeeland.

..

Daarnaast is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd naar de benodigde buffer van het IJsselmeer/Markermeer om regionale watertekorten in extreem droge jaren volledig te voorkomen.

Met het Nationaal Water Model zijn twee droge jaren (1976 en 2003) onder het Deltascenario Warm2050 doorgerekend, en met de Quick Water Allocation Scan Tool (QWAST) is een 100-jarige tijdreeks doorgerekend om inzicht te krijgen in de variabiliteit van de effecten onder verschillende droge omstandigheden.

De analyses in Hoofdstuk 2 en Hoofdstuk 3 laten zien dat het niet mogelijk is om één waterverdelingsvariant te bedenken die in alle (droge) jaren alle belangen optimaal kan bedienen. Dit komt omdat de meest gunstige waterverdeling afhankelijk is van de specifieke droogtecondities in een jaar. In de meeste jaren lijkt er in het IJsselmeer/Markermeer meer ruimte te zijn dan in de Waal om in de extra watervraag voor de Lek en het Noordzeekanaal te voorzien. Voor de Lek geldt in dit geval dat het water niet direct uit het IJsselmeer/Markermeer komt, maar dat het stuwprogramma van stuw Driel wordt aangepast, zodat meer water via de Nederrijn naar de Lek kan worden aangevoerd ten koste van de aanvoer naar de IJssel.

Titel
Maatregelverkenning voor het Deltaprogramma
Zoetwater

Opdrachtgever Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving, UTRECHT	Project 11202240-017	Kenmerk 11202240-017-ZWS-0001	Pagina's 48
---	--------------------------------	---	-----------------------




De additionele bovenstroomse watervraag van de POA (ten opzichte van de KWA+) treedt zo goed als uitsluitend op wanneer de afvoer van de Waal wel relatief laag is maar nog zodanig hoog dat scheepvaart door de extra onttrekking naar verwachting niet gehinderd wordt.

Uit de analyse in Hoofdstuk 5 blijkt dat het blijven doorspoelen van het Volkerak-Zoommeer tijdens lage afvoeren de regionale watertekorten maximaal met ongeveer twee derde zou kunnen terugbrengen, terwijl het de verzilting van de noordrand van de Rijn-Maasmonding nauwelijks beïnvloedt.

In Hoofdstuk 6 is de maximaal benodigde bufferschijf IJsselmeer/Markermeer onderzocht. Uit eerdere analyses is gebleken dat in 4 van de 100 jaar (Deltascenario Warm2050) een bufferschijf van ongeveer 20 cm gebruikt wordt, waarbij meer dan 5% van de vraag niet geleverd kan worden. Om de tekorten in deze jaren te voorkomen volgt uit de analyses in dit hoofdstuk dat een bufferschijf nodig zou zijn van 30 tot 45 cm (afgerond). Dit is 10 tot 25 cm extra bufferschijf ten opzichte van de bufferschijf van 20 cm die nu met flexibel peilbeheer maximaal (direct) beschikbaar is.

Referenties

Mens, M.J.P., Delsman, J., Kramer, N., Pouwels, J., Loos, S., Ten Velden, C., Gijsbers, P., Prinsen, G., Huismans, Y., Heynert, K. (2018) Maatregelverkenning voor het Deltaprogramma Zoetwater: Eerste beeld voor fase 2. Rapport 11202240-017, Deltares, Delft.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
0.2	dec. 2018	Marjolein Mens		Judith ter Maat		Gerard Blom	

Status
definitief

Inhoud

1	Inleiding	1
1.1	Deltaprogramma Zoetwater en maatregelverkenning	1
1.2	Doel van dit rapport	2
1.3	Maatregeloverzicht en proces	2
1.4	Aanpak van de analyse	3
2	Andere waterverdeling Rijntakken	5
2.1	Systeembeschrijving	5
2.2	Beschrijving van de afweging	6
2.3	Modelimplementatie van de doorgerekende varianten	6
2.4	Resultaten en discussie	7
2.4.1	Karakteristieke jaren	7
2.4.2	Langjarige reeks	10
2.5	Conclusies	12
3	Groter doorspoeldebiet Noordzeekanaal	13
3.1	Systeembeschrijving	13
3.2	Beschrijving van de afweging	13
3.3	Modelimplementatie van de doorgerekende varianten	14
3.4	Resultaten en discussie	15
3.4.1	Karakteristieke jaren	15
3.4.2	Langjarige reeks	19
3.5	Conclusies	20
4	Permanente Oostelijk Aanvoer en grotere kier Haringvlietsluizen	21
4.1	Systeembeschrijving	21
4.1.1	Het Noordelijk Deltabekken	21
4.1.2	Zoetwatervoorziening Midden-West Nederland en Permanente Oostelijke Aanvoer	23
4.2	Beschrijving van de afweging	25
4.3	Modelimplementatie van de doorgerekende varianten	25
4.4	Resultaten en discussie	26
4.4.1	Effecten opgeschoven kierprogramma op verzilting in het benedenrivierengebied	26
4.4.2	Karakteristieke jaren	27
4.4.3	Langjarige reeks	29
4.4.4	Effect op verzilting Noordrand	30
4.5	Conclusies	30
5	Doorspoelstop Volkerak-Zoommeer	31
5.1	Systeembeschrijving	31
5.2	Beschrijving van de afweging	32
5.3	Modelimplementatie van de doorgerekende varianten	32
5.3.1	Sobek-RE Noordelijk Deltabekken model	32
5.3.2	Landelijk Hydrologisch Model	33
5.4	Resultaten en discussie	35
5.4.1	Karakteristieke jaren	35

5.4.2	Chlorideberekening benedenrivierengebied	36
5.5	Conclusies	38
6	Benodigde bufferschijf IJsselmeer/Markermeer	39
6.1	Introductie	39
6.2	Resultaten en discussie	40
6.3	Conclusies	41
7	Referenties	43
 Bijlage(n)		
A	Modelinstrumentarium	A-1
A.1	Inleiding	A-1
A.2	Nationaal Water Model	A-1
A.3	Quick Water Allocation Scan Tool	A-4

1 Inleiding

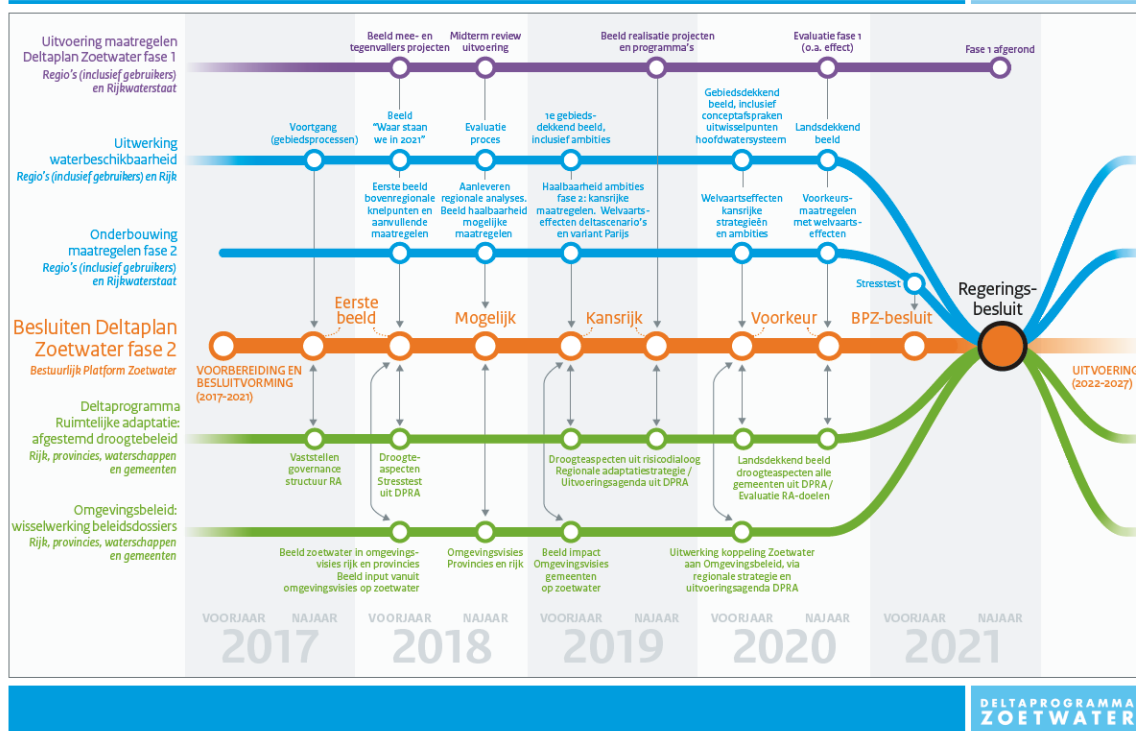
1.1 Deltaprogramma Zoetwater en maatregelverkenning

In het Deltaprogramma Zoetwater wordt volgens de bestuurlijke routekaart (zie onderstaande figuur) toegewerkt naar een regeringsbesluit in 2021. Dit loopt via een iteratief proces van het maken van een eerste beeld (2017/2018), naar het selecteren van mogelijke (2018) en kansrijke (2019) maatregelen en adaptatiepaden, en een voorkeursbesluit in 2020. Tegelijkertijd vindt een herijking van de Deltabeslissingen en de voorkeursstrategieën uit Deltaprogramma fase 1 plaats. In 2021 neemt de regering een besluit over de herijkte Deltabeslissingen, voorkeursstrategieën en het Deltaplan (maatregelen) voor de periode 2022-2028. Het Deltaprogramma Zoetwater zit nu in de fase om tot mogelijke maatregelen te komen (zie routekaart in Figuur 1.1). De analyses in dit rapport dragen daaraan bij.

Het afwegen en trechteren van maatregelen naar het voorkeursbesluit vindt plaats in nauwe interactie tussen Rijk, zoetwaterregio's en gebruiksfuncties middels werksessies, verdiepingssessies en zoetwatertweedaagse.

Tijdens de Zoetwatertweedaagse van 12/13 juni 2018 is afgesproken dat WV/LDeltares een verkenning zal uitvoeren om een eerste inschatting te geven van het (geo-)hydrologische en waterhuishoudkundige effecten van keuzes in de verdeling van water in het hoofdwatersysteem (bv. meer water aanvoeren via stuw Driel) en grotere (regionale) maatregelen met effect op de waterverdeling in de hoofdtrakken van het oppervlaktewatersysteem (bv. Permanente Oostelijke Aanvoer).

Deltaplan Zoetwater - Routekaart naar fase 2 | producten en mijlpalen



Figuur 1.1 Routekaart zoetwater: producten en mijlpalen in het proces naar het regeringsbesluit over de zoetwatervoorziening van Nederland.

1.2 Doel van dit rapport

Dit rapport beschrijft de modelberekeningen en analyses die zijn uitgevoerd om tot een eerste beeld te komen van de hydrologische en waterhuishoudkundige effecten van mogelijke maatregelen. Hierbij ging het voornamelijk om maatregelen die tot bovenregionale afwegingen kunnen leiden. Met bovenregionale afwegingen wordt bedoeld dat het effect van een maatregel in de ene regio of ten behoeve van een gebruiksfunctie een significant effect heeft op een andere regio of gebruiksfunctie. Bijvoorbeeld: het zoet houden van de Lek ten behoeve van regionale en drinkwatervoorziening bij lage afvoeren heeft effect op de waterstanden op de Waal met gevolgen voor scheepvaart.

1.3 Maatregeloverzicht en proces

Op basis van onder andere eerdere modelanalyses (Mens et al., 2018a/b) is in het Bestuurlijk Platform Zoetwater van maart 2018 een aantal bovenregionale afwegingen voorgelegd. Op basis hiervan is door Deltares/WVL een voorstel gedaan voor het uitvoeren van een aantal bovenregionale maatwerksommen, deze zijn aangevuld door regio, waarna in samenspraak met DPZW en WVL een keuze gemaakt is in de uit te voeren sommen op basis van relevantie en haalbaarheid. De sommen zijn vervolgens geclusterd onder 5 'afwegingen' met verschillende varianten. Tabel 1.1 geeft het overzicht van de afwegingen met bijbehorende modelberekeningen. Deze sommen worden in het betreffende hoofdstuk verder toegelicht.

Tabel 1.1 Overzicht van de uitgevoerde berekeningen, geclusterd in 5 afwegingen. De term 'S2-som' verwijst naar de tweede set 100-jarige (geo-)hydrologische reeksen die in 2017 met het Nationaal Water Model zijn doorgerekend (zie ook Bijlage A).

ID	Variant	toelichting
Andere waterverdeling Rijntakken [Hoofdstuk 2]		
M0	Referentiesom	Huidige afvoerverdeling; gelijk aan S2-som*
M1	voorrang tegengaan verzilting Lek/ARK	Huidige afvoerverdeling: extra vraag, uit de Waal halen
M2	voorrang tegengaan verzilting Lek/ARK en scheepvaart	Anders verdelen: extra vraag, uit de IJssel halen
M3	voorrang scheepvaart Waal ten koste van verzilting/regio	watervoorziening regio, en hagestein en Irenesluizen knijpen
Groter doorspoeldebiet Noordzeekanaal [Hoofdstuk 3]		
M0	Referentiesom	Flexibel peilbeheer IJsselmeer/Markermeer
M4	NZK voorrang op gebruikers IJM/MM	NZK vraag voorzien: uit Markermeer
M5	NZK voorrang op Waal en gebruikers IJM/MM	NZK vraag voorzien: uit ARK en Markermeer
M10	NZK voorrang op Waal	NZK vraag voorzien: uit ARK, ten koste van de Waal
Permanente Oostelijke Aanvoer en grotere kier Haringvlietsluizen [Hoofdstuk 4]		
M0	Referentiesom	Huidige KWA-capaciteit
M1	Lek zoet houden	Huidige KWA-capaciteit en minimum debiet Hagestein 25 m3/s
M8	POA	M0 met POA
M9	POA + Lek zoet houden	M1 met POA
Doorspoelstop Volkerak-Zoommeer [Hoofdstuk 5]		
M0	Referentiesom	Gebruikers uit VZM kunnen altijd innemen
M12	Doorspoelstop en innamestop VZM	Doorspoelstop en innamestop zodra noordrand RMM verzilt
Buffergebruik IJsselmeer (gevoeligheidsanalyse) [Hoofdstuk 6]		
M0	Referentiesom	Flexibel peilbeheer; gebruikers worden gekort wanneer peil < -0,30 m NAP
G2	Geen limiet op uitzakken IJsselmeerpeil t.b.v. gebruikers	Flexibel peilbeheer; gebruikers worden niet gekort

*met uitzondering van minimum debiet ARK ter hoogte van Weesp en watervraag NZK via Oranjesluizen

1.4 Aanpak van de analyse

Voor een uitgebreid beeld van de mogelijke effecten van maatregelen op de waterverdeling en watertekorten is het belangrijk om naar meerdere droge jaren te kijken, die verschillen in mate en timing van de droogte. Het gebruik van het Nationaal Water Model (NWM) heeft hierbij de voorkeur, omdat dit de meest uitgebreide en goed-onderbouwde inschatting geeft. Het was echter niet haalbaar om alle maatregelvarianten door te rekenen met NWM voor meer dan twee droge jaren. Er is daarom gekozen voor een combinatie-aanpak: met NWM zijn twee droge jaren (1976 en 2003) onder het Deltascenario Warm2050 doorgerekend, en met Quick Water Allocation Scan Tool (QWAST¹) is een 100-jarige tijdreeks doorgerekend om inzicht te krijgen in de variabiliteit van de effecten onder verschillende droogte omstandigheden. Deze combinatie-aanpak is toegepast voor de afweging 'andere waterverdeling Rijntakken' (Hoofdstuk 2) en Permanente Oostelijke Aanvoer' (Hoofdstuk 4). Voor de afweging 'groter doorspoeldebiet NZK' (Hoofdstuk 3) is alleen met QWAST gerekend. De afweging 'doorspoelstop Volkerak-Zoommeer' (Hoofdstuk 5) is juist alleen met NWM gesimuleerd, omdat QWAST hiervoor nog niet geschikt wordt geacht. Tot slot is de gevoeligheidsanalyse 'benodigde bufferschijf IJsselmeer/Markermeer' (Hoofdstuk 6) met het DistributieModel (DM; onderdeel van het Nationaal Water Model) uitgevoerd.

We gaan uit van de 100-jarige tijdreeks die in 2017 met het Nationaal Water Model is doorgerekend (zogenaamde S2-som) voor zowel de huidige situatie als het Deltascenario Warm2050. Om eenvoudig aanpassingen te doen in de modelschematisaties is een maatwerk omgeving in FEWS opgezet (zie bijlage A). De sommen zijn uitgevoerd voor 1976 en 2003 in het Deltascenario Warm2050. Voor toelichting op de modelversies en andere aannames in zowel QWAST als NWM wordt verwezen naar bijlage A.

Criteria en indicatoren

Om het effect te analyseren zijn de volgende criteria met indicatoren bekeken (NB. niet alle criteria zijn relevant voor elke afwegingen en daarom verschillen de gebruikte criteria per analyse):

- Regionale watervoorziening
 - o Regionale watertekorten in percentage ten opzichte van de vraag;
- Scheepvaart
 - o Aantal dagen dat de decadegemiddelde Waalafvoer (traject Tiel-Werkendam) lager is dan $750 \text{ m}^3/\text{s}$, een 'signaleringswaarde' voor lage waterstanden die nadelig kunnen zijn voor de scheepvaart²;
- Waterkwaliteit
 - o Aantal dagen dat de decadegemiddelde afvoer in de monding van de Lek lager is dan $25 \text{ m}^3/\text{s}$, die nodig is om de Lek zoet te houden (dit wordt verder toegelicht in Hoofdstuk 2);

¹ QWAST is een snelle variant van NWM, speciaal ontwikkeld voor DPZW, waarin hydrologische processen vereenvoudigd zijn weergegeven. Op basis van watervraag uit NWM, berekent QWAST de waterverdeling in de belangrijkste netwerktakken.

² Voor scheepvaart is geen duidelijke kritische grenswaarde bekend. De Overeengekomen Lage Afvoer (OLA) van $1020 \text{ m}^3/\text{s}$ bij Lobith is het referentiekader voor het op diepte houden van de vaarwegen in de riviertakken. Deze OLA vertaalt zich in een afvoer op de Waal (Tiel-Werkendam) van ongeveer $750 \text{ m}^3/\text{s}$. Er is aangenomen dat bij lagere afvoeren problemen op kunnen treden met de bevaarbaarheid van de Waal. Bij wijze van gevoeligheidsanalyse is ook met een grenswaarde van $600 \text{ m}^3/\text{s}$ gerekend.

- Aantal dagen dat de decadegemiddelde afvoer in het Amsterdam Rijnkanaal (ARK) lager is dan $25 \text{ m}^3/\text{s}$ (bij Weesp), die minimaal nodig is om zoutindringing vanuit het Noordzeekanaal te beperken (Mens et al., 2018c).

Daarnaast zijn de volgende variabelen geanalyseerd:

- Afvoer op aantal punten in het HWS (IJssel, Nederrijn, ARK, NZK, Waal);
- Aanvoer grote inlaten regionaal systeem (bv. doorvoer Rijnland, Twentekanalen);
- Peilverloop en buffergebruik IJsselmeer.

Met de langjarige reeksen uit QWAST zijn de volgende indicatoren berekend:

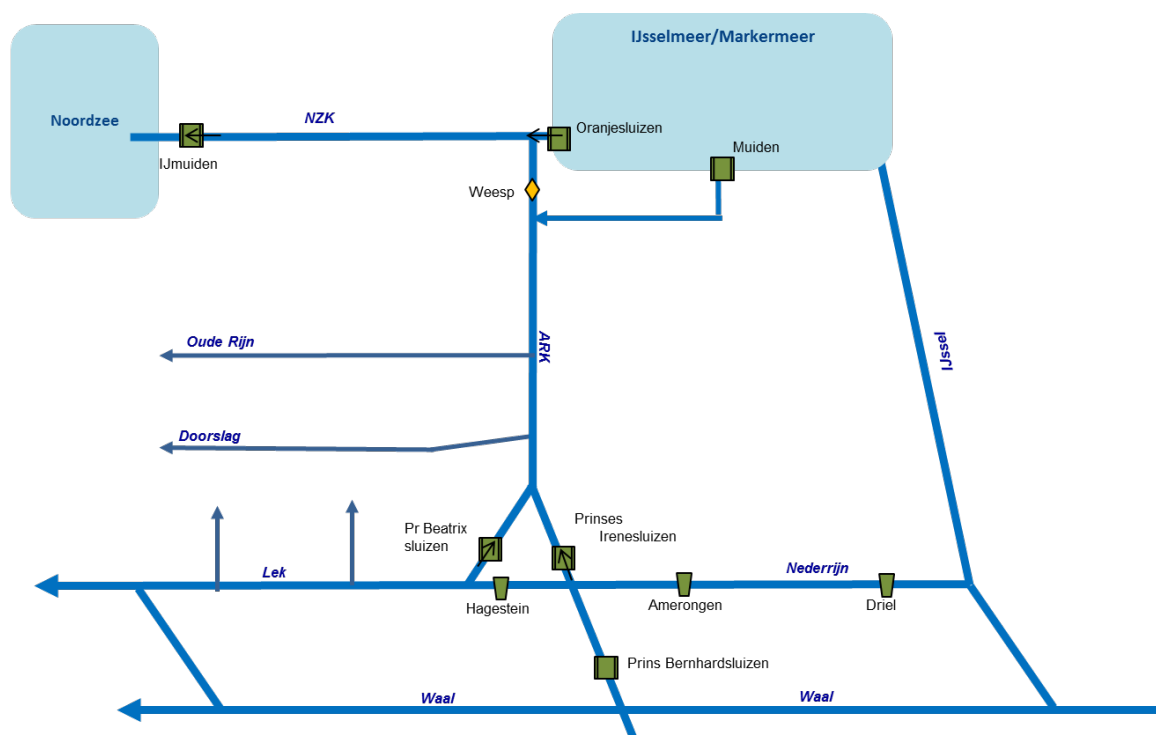
- Regionale watervoorziening
 - Aantal jaar waarin het regionale watertekort $> 2\%$ van de vraag;
- Scheepvaart:
 - Gemiddeld aantal dagen per jaar dat de Waalafvoer kleiner is dan 600 en 750 m^3/s ;
- Waterkwaliteit
 - Gemiddeld aantal dagen per jaar dat de decadegemiddelde afvoer in de monding van de Lek lager is dan $25 \text{ m}^3/\text{s}$;
 - Gemiddeld aantal dagen per jaar dat de decadegemiddelde afvoer in het Amsterdam Rijnkanaal ter hoogte van Weesp lager is dan $25 \text{ m}^3/\text{s}$;

2 Andere waterverdeling Rijntakken

2.1 Systeembeschrijving

Het voorzieningsgebied van de Rijntakken beslaat ongeveer 2/3 van de oppervlakte van Nederland (Figuur 2.1). Bij lage afvoeren vindt er sterke sturing plaats: Stuw Driel zorgt ervoor dat er water richting de IJssel en Nederrijn blijft stromen. De sturing is afhankelijk van de Rijnafvoer en is vastgelegd in het stuwprogramma. Stuw Amerongen en Driel regelen de vaardieptes op het pand Driel-Amerongen en met de stuwen Amerongen, Hagestein en prins Bernhardsluizen en Prinses Irenesluizen wordt de vaardiepte op het ARK-Betuwapand gereguleerd. Bij lage afvoeren gaan de Prins Bernhardsluizen open en staat het ARK-Betuwapand in open verbinding met de Waal. De waterinlaat bij de Prinses Irenesluizen is er in eerste instantie op gericht om de waterstand in ARK-Noordpand en Noordzeekanaal op peil te houden. Er wordt in ARK/NZK niet gestuurd op zout, maar in de praktijk is er wel een minimum afvoer bij Weesp afgesproken om zoutindringing op het ARK-Noordpand te voorkomen of te beperken.

Een minimum afvoer voor de Lek (via stuw Hagestein) is niet vastgelegd in het stuwbeheer. In de praktijk is het operationeel beheer van deze stuw voornamelijk gericht op waterstanden ten behoeve van de scheepvaart.



Figuur 2.1 Vereenvoudigde weergave van het gebied dat voorzien wordt vanuit de Rijntakken.

2.2 Beschrijving van de afweging

Het doel van de verdelingsvariant 'andere waterverdeling Rijntakken' is het zoet houden van de Lek ten gunste van de innamepunten voor drinkwatervoorziening langs de Lek en de regionale watervoorziening van Midden-West Nederland. De Lek kan bij langdurig lage afvoeren verzilten als gevolg van zoutindringing vanuit Noordzee via Nieuwe Waterweg en Nieuwe Maas. Naar schatting komt dit eens in de 5 à 10 jaar voor bij sterke klimaatverandering volgens het Wh_dry scenario (zie Mens et al., 2018a). Onlangs is door Hydrologic (2018a) geconcludeerd dat een minimum debiet van 20-40 m³/s bij Hagestein nodig is om de Lek onder deze omstandigheden zoet te houden.

Bij de huidige afvoerverdeling zal het extra water voor de Lek via de Waal worden aangevoerd, wanneer de aanvoer via de Nederrijn niet toereikend is. In de praktijk zal deze situatie zich vooral voordoen wanneer lage afvoeren samenvallen met een grote regionale vraag die via de KWA moeten worden voorzien. De KWA wordt in werking gesteld bij lage afvoeren en een groot neerslagtekort in het zomerhalfjaar, omdat inlaat Gouda dan gesloten moet worden als gevolg van externe verzilting, en tegelijkertijd de regionale vraag dan groot is als gevolg van het neerslagtekort. Dit gebeurt naar schatting eens in de 5 jaar bij sterke klimaatverandering (Mens et al., 2018a).

Als de extra watervraag voor de Lek niet ten koste mag gaan van de waterstand op de Waal, dan zijn er nog twee opties: ofwel het extra water wordt via Nederrijn aangevoerd ten koste van de IJsselafvoer, ofwel de extra watervraag gaat ten koste van de regionale watervoorziening. Dit is uitgewerkt in 3 varianten:

- M1 Extra watervraag Lek wordt voorzien ten koste van de Waal (huidige afvoerverdeling aanhouden)
- M2 Extra watervraag Lek wordt voorzien ten koste van de IJssel (afvoerverdeling zo aanpassen dat er meer water naar de Nederrijn stroomt ten koste van de IJssel)
- M3 Extra watervraag Lek wordt voorzien ten koste van de Regionale watervoorziening (huidige afvoerverdeling aanhouden, en onttrekking via ARK-Betuwepand/Waal beperken)

In M2 wordt scheepvaart op de Waal 'ontzien', maar kunnen effecten optreden op de IJssel en in het voorzieningsgebied van het IJsselmeer. Door bij lage afvoeren een groter minimum debiet op te leggen bij Driel (richting Nederrijn), zal de IJsselafvoer lager worden en de buffer IJsselmeer minder snel worden aangevuld. Hierdoor kunnen watertekorten in het IJsselmeergebied groter worden. Het effect is afhankelijk van de mate van droogte en de daarmee gepaarde watervraag aan het IJsselmeer/Markermeer. In een droog jaar waarin het peil in de referentie uitzakt tot net boven de -0,30 m NAP, en waarbij tekorten klein zijn, zal de variant tot extra uitzakking en grotere tekorten leiden. In een zeer droog jaar, waarin het peil in de referentie al ver uitzakt (<0,30 NAP), worden gebruikers al gekort en zal de variant naar verwachting relatief gezien een minder groot (additioneel) effect hebben.

2.3 Modelimplementatie van de doorgerekende varianten

ID	Variant	toelichting
Andere waterverdeling Rijntakken [Hoofdstuk 2]		
M0	Referentiesom	Huidige afvoerverdeling; gelijk aan S2-som*
M1	voorrang tegengaan verzilting Lek/ARK	Huidige afvoerverdeling: extra vraag, uit de Waal halen
M2	voorrang tegengaan verzilting Lek/ARK en scheepvaart	Anders verdelen: extra vraag, uit de IJssel halen
M3	voorrang scheepvaart Waal ten koste van verzilting/regio	watervoorziening regio, en hagestein en Irenesluizen knijpen

In de varianten M1 t/m M3 is uitgegaan van een minimum debiet van 25 m³/s bij de monding van de Lek. De afvoer over Hagestein is in het model mede afhankelijk van de vraag van inlaat Krimpenerwaard en inlaat Koekoek (beide liggen tussen Hagestein en monding Lek). Om de Lek zoet te houden is het belangrijk dat er een minimum debiet in de monding overblijft. Een minimum debiet opleggen bij Hagestein zou ertoe kunnen leiden dat er in de monding van de Lek te weinig afvoer overblijft. Uit de berekeningen is gebleken dat het debiet bij Hagestein in de varianten minimaal 30 m³/s is, in lijn met de resultaten van Hydrologic (2018a). In de praktijk is het benodigde debiet bij Hagestein sterk afhankelijk van de afvoer bij Lobith en hoeveel er langs de Lek nog ingelaten wordt.

Bij variant M2 wordt het extra water voor de Lek niet via de Waal aangevoerd, maar via de Nederrijn en ten koste van de IJssel. De afvoer over stuw Driel (Nederrijn) is in het model gekoppeld aan de afvoer bij Lobith en volgt in grote lijnen het stuwprogramma. Bij een Lobithafvoer van 1590 m³/s gaat er 30 m³/s over Driel. In variant M2 is de minimum afvoer over Driel aangepast naar 50 m³/s, wat bij lage afvoeren neerkomt op ongeveer 25 m³/s extra ten opzichte van M0.

Bij variant M3 wordt het extra water voor de Lek gedeeltelijk aangevoerd via de Waal, maar met een maximum van 50 m³/s over het Betuwepand. Het water dat dan nog extra nodig is gaat ten koste van de aanvoer naar de regio. Dit werkt door in de afvoer ARK ter hoogte van Weesp en de regionale watertekorten.

Overige uitgangspunten en modelinstellingen zijn samengevat in Tabel 2.1

Tabel 2.1 Uitgangspunten/modelinstellingen.

Locatie	Parameter	debiet (m ³ /s)			
		M0	M1	M2	M3
Amsterdam Rijnkanaal (bij Weesp)	Doorspoelvraag	25	25	25	25
ARK-Betuwepand	Capaciteit	60	75	50	50
Lek (monding)	Minimum debiet	0	25	25	25
Nederrijn (bij stuw Driel)	Minimum debiet	30	30	50	30

2.4 Resultaten en discussie

2.4.1 Karakteristieke jaren

Figuur 2.2 t/m Figuur 2.5 laat de berekeningsresultaten zien voor de varianten op een aantal sleutellocaties in het hoofdwatersysteem, in het zeer droge jaar 1976. In alle varianten is de afvoer over de Lek grofweg 30 m³/s hoger geworden dan in de situatie zonder maatregelen (M0). De 'dip' in juli en augustus is als gevolg van de inzet van de KWA, waarbij extra water uit de Lek onttrokken wordt via inlaat Koekoek. De inzet van de KWA is ook zichtbaar in het afvoerverloop van het ARK-Betuwepand: de afvoer neemt hierdoor in juli en augustus toe met ongeveer 20 m³/s (WARM-huidig). In variant M2 ('Lek 25 tkv IJssel') en M3 ('Lek 25 tkv regio') is de afvoer over ARK-Betuwepand gelimiteerd op 50 m³/s.

Als gevolg van de grotere aanvoer via ARK-Betuwepand in alle varianten, neemt de afvoer over de Waal af. Zoals verwacht vindt de grootste afname plaats in M1 ('Lek 25 tkv Waal'): ongeveer 30 m³/s in het zomerhalfjaar. Zelfs in M2 ('Lek 25 tkv IJssel') wordt nog tot 15 m³/s meer water uit de Waal aangevoerd, ondanks de opgelegde extra aanvoer vanuit de Nederrijn. Dit heeft te maken met verdeelsleutels in het model, die bepalen welk deel van de vraag vanuit Hagestein en Irenesluizen via Betuwepand wordt aangevoerd.

Hierdoor wordt het effect van deze variant wellicht onderschat: bij een aangepaste verdeelsleutel zou de IJsselafvoer nog lager kunnen worden en de Waalafvoer minder afnemen.

Het afvoerverloop van de Nederrijn en de IJssel laat zien dat alleen variant M2 ('Lek 25 tkv IJssel') hier significante invloed op heeft. De IJsselafvoer wordt in deze variant gereduceerd met ongeveer 25 m³/s. Als gevolg hiervan zakt het IJsselmeerpeil verder uit (Figuur 2.5). Dit werkt ook door de tekorten in het voorzieningsgebied van het IJsselmeer/Markermeer een toename van 12 naar 18% van de watervraag in 1976 (zie Tabel 2.2).

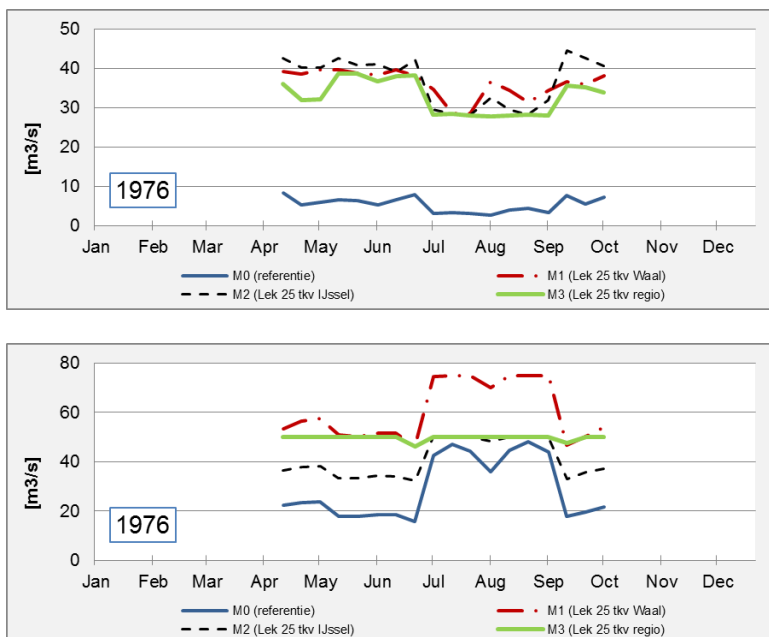
Het karakteristieke jaar 2003 gaf vergelijkbare resultaten (figuren niet opgenomen in dit rapport). Tabel 2.2 geeft een samenvatting van de effecten van de varianten voor de twee karakteristieke jaren voor de criteria zoals gedefinieerd in H1. In variant M3 is zowel de aanvoer vanuit de Nederrijn als de aanvoer van Betuwepand beperkt, terwijl het zoet houden van de Lek voorrang krijgt. Dit gaat ten koste van de regionale watervoorziening van West-Nederland en Rivierengebied: tekorten in Midden-West-Nederland nemen in 1976 toe van 6 naar 10% van de watervraag, en tekorten in het Rivierengebied nemen toe van 16 naar 19% van de watervraag. Ook de minimale afvoer over ARK (ter hoogte van Weesp) kan niet de hele tijd worden gehaald.

Het effect op de Waal lijkt klein. In de praktijk zal het effect waarschijnlijk in de orde van dagen zijn. Met de hier berekende decadedegemiddelde afvoeren is dit effect niet goed zichtbaar. Omdat een toename van de onderschrijdingsduur van lage afvoeren economisch significant effect kan hebben, is het aan te bevelen om de analyse uit te breiden met berekeningen op dagbasis.

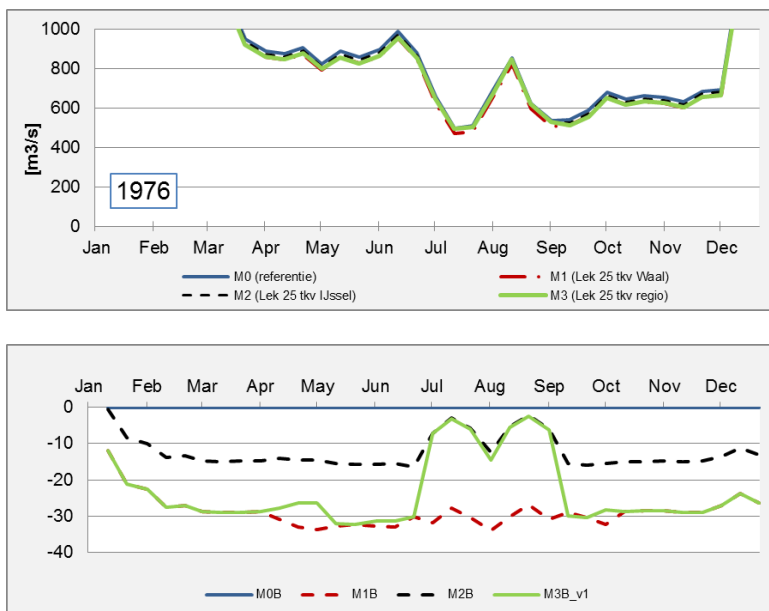
Tabel 2.2 Overzicht van de scores op de criteria in de vier varianten voor karakteristieke jaren 1976 en 2003 (Deltascenario Warm2050). De kleuren geven de hoogste (rood) en de laagste waarde (groen) tussen de varianten.

1976		Watertekort				Waterkwaliteit		Scheepvaart	
Warm2050		IJsselmeer gebied	Midden West Nederland	Rivieren gebied	Totaal	Qlek < 25 m3/s	Qweesp < 25 m3/s	QWaal	
		[% vd vraag in zomerhalfjaar]				[dagen/zomerhalfjaar]		<750 m3/s	< 600 m3/s
M0	huidig	12	6	16	11	193	0	91	51
M1	Lek 25 tkv Waal	12	5	16	11	0	0	91	61
M2	Lek 25 tkv IJssel	18	7	16	15	0	10	91	51
M3	Lek 25 tkv regio	13	10	19	13	0	61	91	51

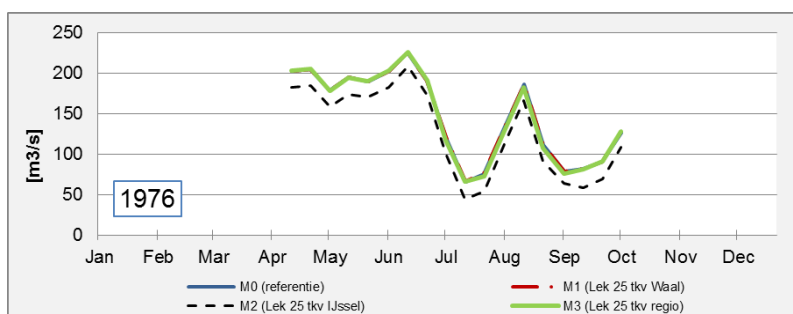
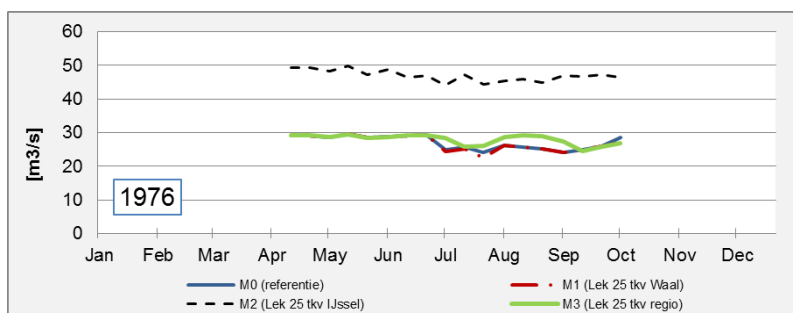
2003		Watertekort				Waterkwaliteit		Scheepvaart	
Warm2050		IJsselmeer gebied	Midden West Nederland	Rivieren gebied	Totaal	Qlek < 25 m3/s	Qweesp < 25 m3/s	QWaal	
		[% vd vraag in zomerhalfjaar]				[dagen/zomerhalfjaar]		<750 m3/s	< 600 m3/s
M0	huidig	1	3	14	3	122	0	81	51
M1	Lek 25 tkv Waal	1	3	14	3	0	0	81	51
M2	Lek 25 tkv IJssel	5	3	14	5	0	0	81	51
M3	Lek 25 tkv regio	2	6	16	5	0	41	81	51



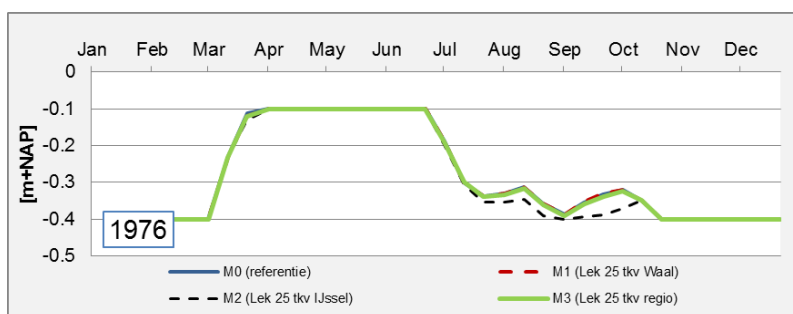
Figuur 2.2 Berekende afvoer over de Lek voor inlaat Krimpenerwaard (boven) en over het ARK-Betuwepand (onder) in karakteristiek jaar 1976 (scenario Warm2050).



Figuur 2.3 Berekende afvoer over de Waal (boven) en verschil met de referentie (onder) in karakteristiek jaar 1976 (scenario Warm2050).



Figuur 2.4 Berekende afvoer over de Nederrijn (boven) en IJssel (onder) in karakteristiek jaar 1976 in scenario Warm2050.



Figuur 2.5 Berekend peilverloop van het IJsselmeer in karakteristiek jaar 1976 in scenario Warm2050.

2.4.2 Langjarige reeks

Tabel 2.3 toont de resultaten voor de 100-jarige reeks zoals berekend met QWAST. Dit geeft een iets ander beeld dan in de karakteristieke jaren. Met de huidige afvoerdivisie (M1) gaat het extra water voor de Lek ook hier ten koste van scheepvaart op de Waal. Het gemiddeld aantal dagen per jaar overschrijding van $750 \text{ m}^3/\text{s}$ neemt toe van 35 naar 39 dagen.

Als niet al het extra water voor de Lek uit de Waal wordt aangevoerd maar ook de inlaat naar de regio wordt beperkt (M3), is dit effect op de Waalafvoer niet zichtbaar. Het aantal dagen overschrijding van de kritische Waalafvoer is hetzelfde als in M1 (Figuur 2.6), terwijl de tekorten in de regio MWN wel toenemen: in 14 van de 100 jaar is sprake van een tekort $> 2\%$ van de vraag, ten opzichte van 10 van de 100 jaar in M0. De afvoer op de Waal is in sommige jaren wel iets lager dan in M1, maar dit zie je dit niet terug in de gekozen indicator van overschrijdingsduur in dagen. Dit kan als volgt worden verklaard: de afvoer uit de Waal wordt alleen beperkt in de periodes waarin de afvoer door het Betuwepand anders groter zou worden dan $50 \text{ m}^3/\text{s}$ (zie ook Figuur 2.2 onder). De extra watervraag voor de Lek leidt blijkbaar slechts in een paar jaar tot grotere debieten door het Betuwepand. Voor een deel is het effect dus beperkt door de manier waarop het in het model is geïmplementeerd. Het effect van deze variant op het IJsselmeer wordt hierdoor mogelijk onderschat.

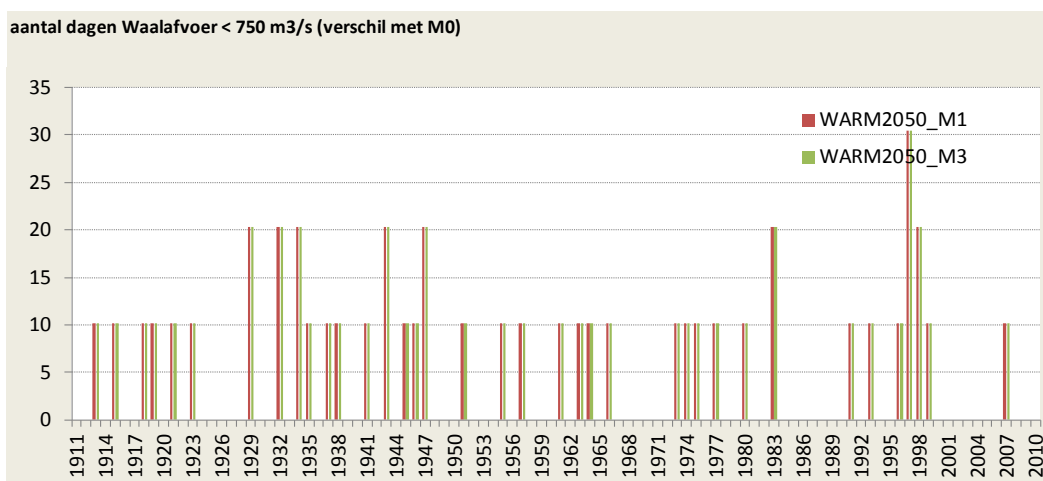
De M2 variant is in QWAST anders ingesteld dan in NWM, waardoor het leidt tot andere resultaten. In de variant M2 wordt in QWAST gestuurd op een minimale afvoer van 700 m³/s over de Waal en een minimale afvoer van 25 m³/s in de monding van de Lek. Om dit voor elkaar te krijgen, wordt de aanvoer naar de regio via de KWA-route in droge jaren gekort, en wordt de afvoer over de IJssel gekort. Desondanks gaat de scheepvaart op de Waal er gemiddeld gezien op achteruit. Het vraagt verdere modeliteratie om ervoor te zorgen dat in deze variant meer water via de Nederrijn wordt aangevoerd ten koste van de IJssel, zodat de regionale wateraanvoer wel kan worden voorzien en zonder dat de Waalafvoer verder afneemt. Vanwege de afwijkende resultaten is ervoor gekozen deze variant niet verder te analyseren.

De vergelijking tussen NWM resultaten en QWAST resultaten geeft aan dat de effecten in individuele (droge) jaren significant kunnen zijn, terwijl de gemiddelde effecten over 100 jaar bekeken veel kleiner zijn. Dit komt omdat de varianten vooral effect hebben in droge jaren met een kleine herhalingstijd. Verder blijkt dat de meest gunstige waterverdeling in een jaar afhankelijk is van het verloop van de droogte in dat jaar. In sommige jaren is het gunstiger om water uit het IJsselmeer te halen, omdat daar nog ruimte is, terwijl in andere jaren meer ruimte is op de Waal. Het is dus niet mogelijk om 1 waterverdelingsvariant te bedenken die in alle jaren hoog scoort op alle criteria.

Het verdient aanbeveling om verschillende waterverdelingsvarianten verder te onderzoeken met QWAST, omdat dit model in staat is om een optimale waterverdeling te berekenen die voor elk (droogte)jaar anders kan uitpakken.

Tabel 2.3 Overzicht van de criteria in de vier varianten gemiddeld over 100 jaar, zoals berekend met QWAST (scenario Warm2050). De kleuren geven de hoogste (rood) en de laagste waarde (groen) tussen de varianten. NB. De resultaten voor M2 wijken af van wat op basis van NWM verwacht kan worden; dit vraagt nader onderzoek.

	QWAST -100 jaar	Watertekort	Waterkwaliteit		Scheepvaart		
	Warm2050	IJsselmeergebied [aantal jaar watertekort > 2%]	Midden West Nederland	Qlek < 25 m ³ /s	Qweesp < 25 m ³ /s	QWaal < 750 m ³ /s < 600 m ³ /s	
			gemiddeld #dagen per jaar				
M0	huidig	3	10	130	0	35	11
M1	Lek zoet tkv Waal	3	10	13	0	39	14
M2	Lek zoet tkv IJssel	3	20	0	0	42	10
M3	Lek zoet tkv regio	3	14	13	0	39	14



Figuur 2.6 Effect van variant M1 en M3 op de Waalafvoer uitgedrukt in het aantal dagen per jaar onder de drempelwaarde van 750 m³/s (berekend met QWAST).

2.5 Conclusies

Het doel van de verdelingsvariant 'andere waterverdeling Rijntakken' is het zoet houden van de Lek ten gunste van de innamepunten voor drinkwatervoorziening langs de Lek en de regionale watervoorziening van Midden-West Nederland. De analyse heeft de volgende inzichten gegeven:

- Lek zoet houden, door voldoende water af te laten bij Hagestein, gaat met huidig beheer ten koste van de afvoer van Waal ter hoogte van St. Andries en leidt daardoor tot een afname van de vaardiepte in grofweg 20 van de 100 jaar (in Deltascenario Warm2050). In droge jaren gaat er tot 30 m³/s minder afvoer over de Waal. Hoe dit precies doorwerkt in de vaardiepte is moeilijk te zeggen op basis van deze verkennende berekeningen; dit vraagt om een gedetailleerdere analyse op dagbasis;
- Extra water voor de Lek aanvoeren via de Nederrijn door de afvoerverdeling bij lage afvoeren aan te passen met de stuw bij Driel gaat ten koste van de IJsselafvoer en de waterbeschikbaarheid voor het IJsselmeergebied. In zeer droge jaren kan het watertekort in het IJsselmeergebied flink toenemen, maar dit komt niet vaak voor (naar schatting in 3 van de 100 jaar in het Deltascenario Warm2050). In de meeste jaren lijkt er nog voldoende buffer in het IJsselmeer om een lagere IJsselafvoer op te vangen. Het vraagt nader onderzoek om een uitspraak te doen over het mogelijke effect in minder extreme jaren. In deze verkenning is het effect op de vaardieptes op de IJssel en op inname Twentekanalen niet meegenomen.
- Extra water voor de Lek aanvoeren ten koste van aanvoer naar regio West-Nederland leidt tot grotere regionale watertekorten, terwijl de Waalafvoer slechts in beperkte mate 'gespaard' wordt.

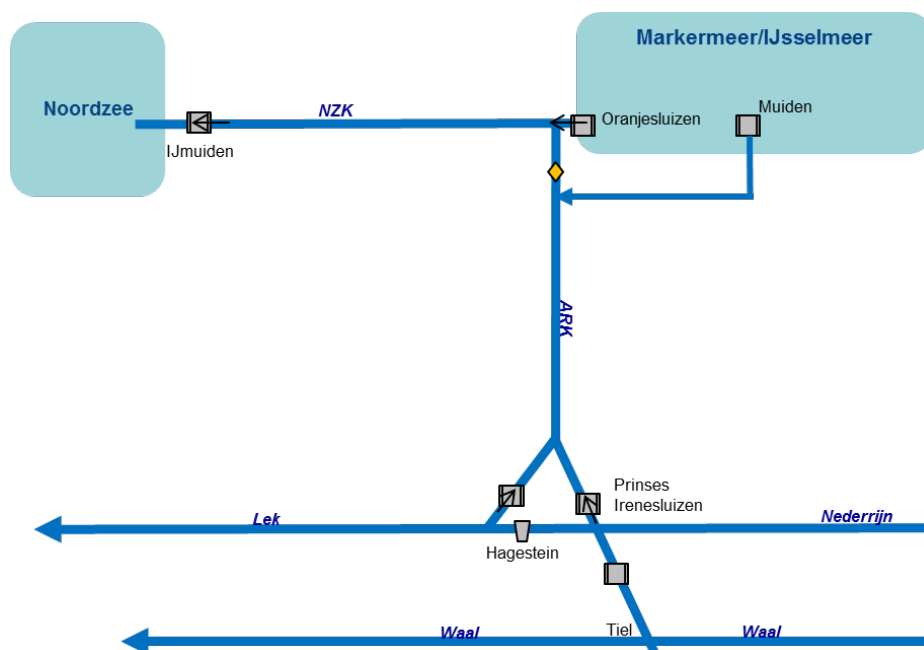
De analyses hebben laten zien dat het niet mogelijk is om één waterverdelingsvariant te bedenken die in alle (droge) jaren alle belangen optimaal kan bedienen. Dit komt omdat de meest gunstige waterverdeling afhankelijk is van de specifieke droogtecondities in een jaar. Hiervoor zouden varianten en/of protocollen ontwikkeld kunnen worden, onderbouwd met een set (synthetische) droogtejaren met een specifiek verloop in de tijd. Het is belangrijk hierbij aandacht te hebben voor de benodigde voorspeltermijn van droogtecondities. Het verdient daarnaast aanbeveling om de effecten van deze varianten economisch door te vertalen.

3 Groter doorspoeldebiet Noordzeekanaal

3.1 Systeembeschrijving

Het Noordzeekanaal (NZK) is een belangrijke scheepvaartverbinding tussen de Noordzee en de havens van Amsterdam, en tussen Noordzee en Amsterdam Rijnkanaal en de Rijntakken. Daarnaast dient het ARK/NZK systeem als bron voor drinkwater, als aanvoerroute voor regionale watervoorziening tijdens droge perioden en voor het afvoeren van overtollig water tijdens natte perioden. De belangrijkste knoppen in dit systeem tijdens droge periodes zijn (Figuur 3.1):

- Prinses Irenesluizen om water in te laten vanuit Nederrijn naar ARK;
- Oranjesluizen om water vanuit Markermeer in te laten op NZK;
- Zeesluis Muiden om water vanuit Markermeer in te laten op de Vecht.



Figuur 3.1 Vereenvoudigde weergave van het Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal systeem.

3.2 Beschrijving van de afweging

Om het zoutgehalte in het NZK/ARK op het niveau te houden van autonome ontwikkeling (i.e. het huidige klimaat en verwachte stijging van aantal schuttingen), in de situatie dat de nieuwe zeesluis bij IJmuiden operationeel is (verwacht in najaar 2019) en de Selectieve Onttrekking gerealiseerd is (verwacht in 2022), zal extra water aangevoerd moeten worden uit het Markermeer of de Waal. Uit de analyse van NWM-resultaten blijkt dat in het huidige klimaat bijna altijd voldoende water beschikbaar is. Eens in de 33 jaar is een afweging nodig, omdat de buffer in het IJsselmeer dan aangesproken wordt, ook zonder de extra wateraanvoer (Mens et al., 2018a).

Als ervoor gekozen wordt om het extra water uit het Markermeer/IJsselmeer aan te voeren, zal onder extreme klimaatverandering (WARM) in 2050 vaker (~ 1:15 jaar) een afweging gemaakt moeten worden tussen de gebruikers van het IJsselmeer/Markermeer (Mens et al., 2018a). Een andere optie is om extra water uit de Waal aan te voeren, met mogelijk negatieve effecten voor scheepvaart op de Waal.

Het is onzeker hoeveel debiet minimaal nodig is om de Selectieve Onttrekking te laten werken als mitigerende maatregel voor zoutindringing. We hanteren hier als uitgangspunt een minimum debiet van 50 m³/s (zie Bijlsma, 2017; Verbruggen, 2017). De langjarig gemiddelde afvoer bij IJmuiden is ongeveer 60 m³/s met een standaarddeviatie van 26 m³/s (Kramer, 2017). Vrijwel jaarlijks komen periodes voor in het zomerhalfjaar dat de afvoer lager is dan 50 m³/s; in 2003 werd deze afvoer gedurende ongeveer 6 weken onderschreden (Kramer, 2017).

In deze analyse zijn de volgende varianten onderzocht:

- M0 Referentiesom: geen minimum debiet voor Noordzeekanaal opgelegd bij IJmuiden
- M4 Extra vraag voor Noordzeekanaal wordt voorzien uit het Markermeer via Oranjesluizen en zeesluis Muiden.
- M5 Extra vraag voor Noordzeekanaal wordt gedeeltelijk uit Markermeer en gedeeltelijk uit het Amsterdam-Rijnkanaal aangevoerd
- M10 Extra vraag voor Noordzeekanaal wordt uit het Amsterdam-Rijnkanaal aangevoerd.

3.3 Modelimplementatie van de doorgerekende varianten

Groter doorspoeldebiet Noordzeekanaal [Hoofdstuk 3]	
M0 Referentiesom	Flexibel peilbeheer IJsselmeer/Markermeer
M4 NZK voorrang op gebruikers IJM/MM	NZK vraag voorzien: uit Markermeer
M5 NZK voorrang op Waal en gebruikers IJM/MM	NZK vraag voorzien: uit ARK en Markermeer
M10 NZK voorrang op Waal	NZK vraag voorzien: uit ARK, ten koste van de Waal

In de referentiesom (M0) wordt de afvoer over het Noordzeekanaal grotendeels bepaald door aanvoer uit het Markermeer (via de Oranjesluizen en Muiden) en de aanvoer uit de Nederrijn (via Irenesluizen/ARK). In het model (QWAST) is de minimale afvoer ARK ter hoogte van Weesp ingesteld op 25 m³/s. De aanvoer via Oranjesluizen varieert tussen 10 en 20 m³/s. De aanvoer via zeesluis Muiden is opgelegd met een gemiddelde van 7 m³/s. De berekende afvoer bij IJmuiden is regelmatig lager dan de gewenste 50 m³/s bij IJmuiden.

In M4 wordt het extra benodigde water uit het Markermeer aangevoerd. De 'gebruiker' NZK krijgt daarbij in het model voorrang ten opzichte van de regionale watervoorziening. Dit kan ertoe leiden dat de regionale tekorten toenemen in jaren waarin het Markermeerpeil uitzakt.

In M5 wordt het extra benodigde water uit de Nederrijn/Waal aangevoerd. Hierbij is de vraag via Oranjesluizen gereduceerd tot maximaal 5 m³/s; zeesluis Muiden is ongewijzigd en voert gemiddeld nog 7 m³/s aan. De minimum afvoer via Weesp is verhoogd naar 40 m³/s. De extra watervraag wordt hiermee verdeeld over Markermeer en Waal. Het effect van deze variant zal daarom naar verwachting liggen tussen dat van M4 en M10.

In M10 wordt het extra benodigde water voornamelijk uit de Nederrijn/Waal aangevoerd. De aanvoer via zowel Oranjesluizen als Muiden is in deze variant gereduceerd tot gezamenlijk 5 m³/s. De minimum afvoer via Weesp is verhoogd naar 40 m³/s. De regionale lozingspunten (o.a. Kromme Rijn) dragen ertoe bij dat bij IJmuiden de minimum afvoer van 50 m³/s altijd gehaald wordt.

Tabel 3.1 Overzicht van modelinstellingen QWAST in de verschillende varianten (blauwe kleur geeft aan dat de instelling aangepast is t.o.v. M0).

ID	Omschrijving	uit Markermeer			via Irenesluizen
		IJmuiden	Oranjesluizen	Zeesluis Muiden	ARK (Weesp)
		Qmin (m ³ /s)	Qmin-Qmax (m ³ /s)	Qmin-Qmax (m ³ /s)	Qmin (m ³ /s)
M0	Huidig beheer	-	10-20	0-10	25
M4	NZK zoet - uit Markermeer	50	10-25	7-25	25
M5	NZK zoet - uit ARK en Muiden	50	2-6	0-10	40
M10	NZK zoet - uit ARK	50	2-6	0	40

3.4 Resultaten en discussie

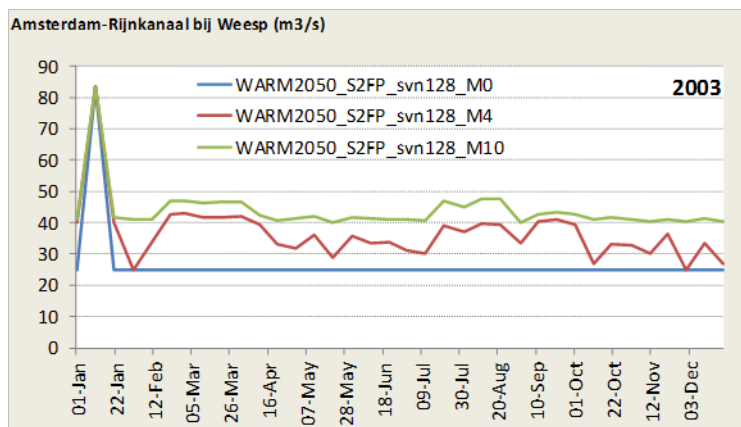
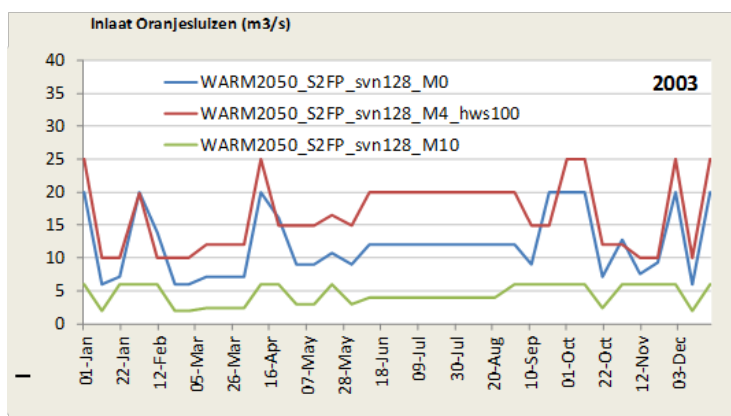
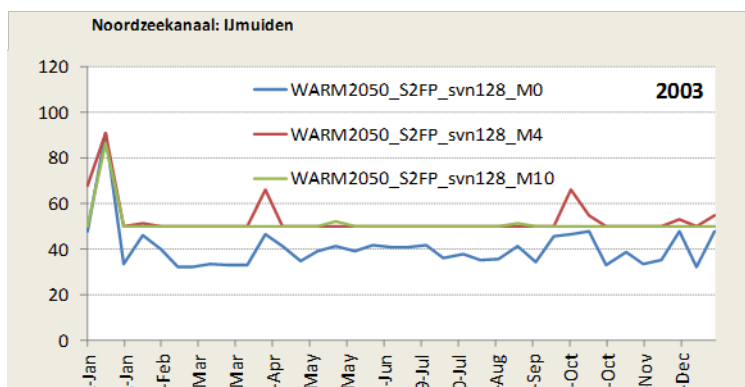
3.4.1 Karakteristieke jaren³

2003

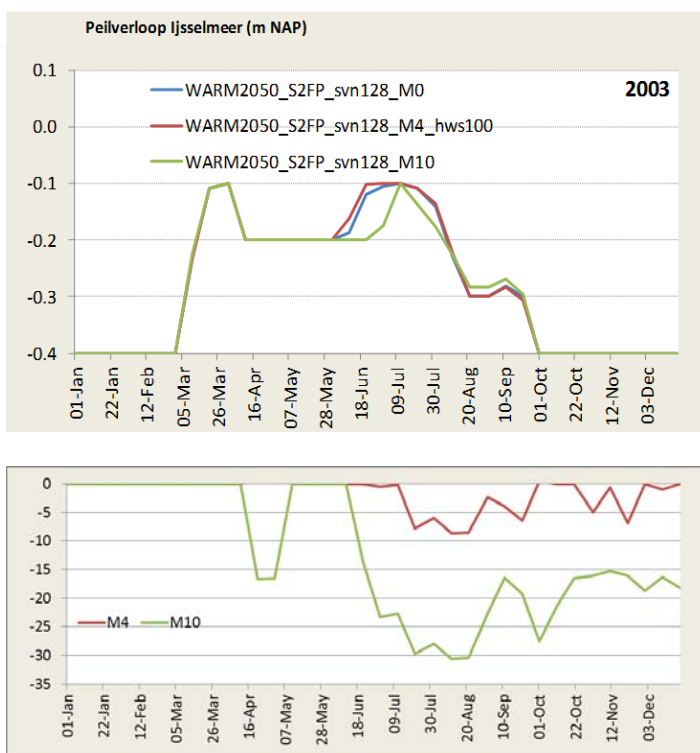
Figuur 3.2 laat de QWAST-berekeningsresultaten zien voor de referentie en twee van de drie varianten in het jaar 2003 (scenario Warm2050) op een aantal sleutellocaties in het hoofdwatersysteem. In alle varianten wordt de minimum afvoer via IJmuiden (50 m³/s) altijd gehaald. In M4 wordt extra water via Oranjesluizen ingelaten, terwijl in M10 de inlaat Oranjesluizen juist lager wordt. In zowel M4 als M10 wordt de afvoer over Weesp hoger.

Figuur 3.3 toont de doorwerking van de veranderde afvoerverdeling op peilverloop IJsselmeer en afvoer over de Waal. In M10 is het effect op de Waal het grootst: 15 – 30 m³/s lagere afvoer. Het peil IJsselmeer wordt in M10 later opgezet, omdat er minder vraag is vanuit het Noordzeekanaal. Het model heeft alleen de timing van opzet geoptimaliseerd. Het patroon van uitzakken is vergelijkbaar met M0 en M4, met uitzondering van het iets hogere peil aan het eind van het zomerseizoen. Het 'extra water' dat beschikbaar is gekomen vertaalt zich dus niet in significant kleinere regionale watertekorten. In M4 wordt het peil juist eerder opgezet om later in de zomer in de extra vraag van Noordzeekanaal te kunnen voorzien. Hoewel het peilverloop verder vergelijkbaar is met dat in M0, treden wel grotere regionale tekorten op (van 1% naar 4% van de watervraag; Tabel 3.2).

³ In tegenstelling tot de andere afwegingen is voor deze analyse is gebruik gemaakt van QWAST in plaats van NWM



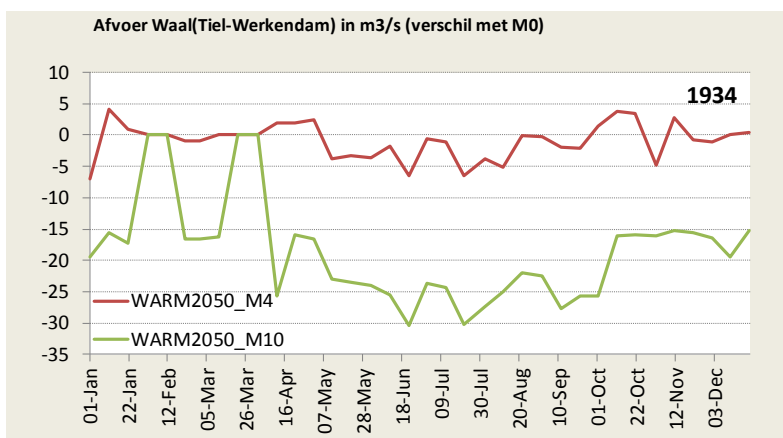
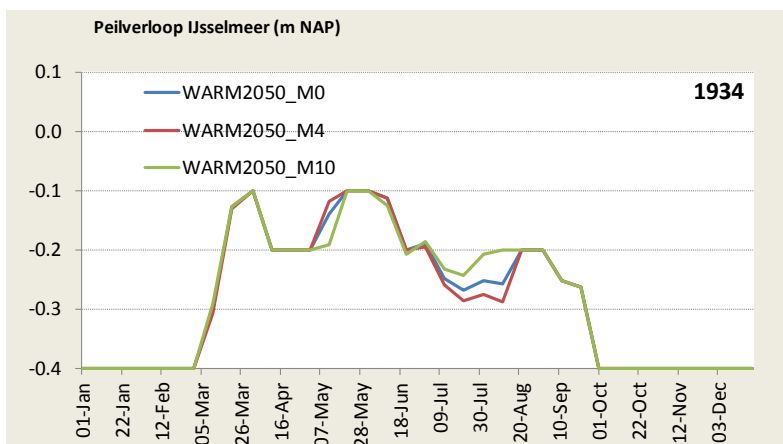
Figuur 3.2 Berekende afvoer over Noordzeekanaal bij IJmuiden (boven), aanvoer vanuit Markermeer naar Noordzeekanaal via Oranjesluizen (midden), en afvoer over het Amsterdam-Rijnkanaal ter hoogte van Weesp (onder), in karakteristiek jaar 2003 (scenario Warm2050).



Figuur 3.3 Berekend peilverloop IJsselmeer (boven) en afname in afvoer over de Waal (verschil met de referentie; onder) in karakteristiek jaar 2003 (scenario Warm2050).

1934

Figuur 3.4 toont de doorwerking van de veranderde afvoerverdeling op peilverloop IJsselmeer en afvoer over de Waal in het karakteristieke jaar 1934. In M10 is het effect op de Waal het grootst: 15 – 30 m³/s lagere afvoer. Het peil IJsselmeer wordt in M10 later opgezet, omdat er minder vraag is vanuit het Noordzeekanaal. Daarnaast zakt het peil minder ver uit. Het 'extra water' dat beschikbaar is gekomen vertaalt zich ook in dit jaar niet in significant kleinere regionale watertekorten. In M4 wordt het peil juist eerder opgezet om in de extra vraag van Noordzeekanaal te kunnen voorzien. Ook zakt het peil iets verder uit. Omdat het peil niet lager wordt dan -0,30 m NAP treden nemen de regionale tekorten niet toe. (Tabel 3.2). Er is in dit voorbeeldjaar dus voldoende buffer in het IJsselmeer om in de toegenomen vraag te voorzien, mits het peil tijdig wordt opgezet.



Figuur 3.4 Berekend peilverloop IJsselmeer (boven) en afname in afvoer over de Waal (verschil met M0; onder) in karakteristiek jaar 1934 (scenario Warm2050).

Tabel 3.2 Overzicht van de scores op de criteria in de twee karakteristieke jaren 2003 en 1934. De kleuren geven de hoogste (rood) en de laagste waarde (groen) tussen de varianten.

2003							
ID	Omschrijving	NZK	Regionale watertekorten		Vaardiepte Waal		
		IJmuiden	IJsselmeergebied	Midden-West-NL	Tiel/Werkendam		
		#dagen <50 m3/s	%tekort	%tekort	#dagen<750 m3/s	<600	
M0	Huidig beheer		355	1	9	112	51
M4	NZK zoet - uit Markermeer		0	4	9	112	51
M5	NZK zoet - uit ARK en Muiden		0	1	9	112	51
M10	NZK zoet - uit ARK		0	1	9	112	61
1934							
ID	Omschrijving	NZK	Regionale watertekorten		Vaardiepte Waal		
		IJmuiden	IJsselmeergebied	Midden-West-NL	Tiel/Werkendam		
		#dagen <50 m3/s	%tekort	%tekort	#dagen<750 m3/s	<600	
M0	Huidig beheer		365	0	7	71	0
M4	NZK zoet - uit Markermeer		0	0	7	71	0
M5	NZK zoet - uit ARK en Muiden		0	0	7	91	20
M10	NZK zoet - uit ARK		0	0	7	101	20

3.4.2 Langjarige reeks

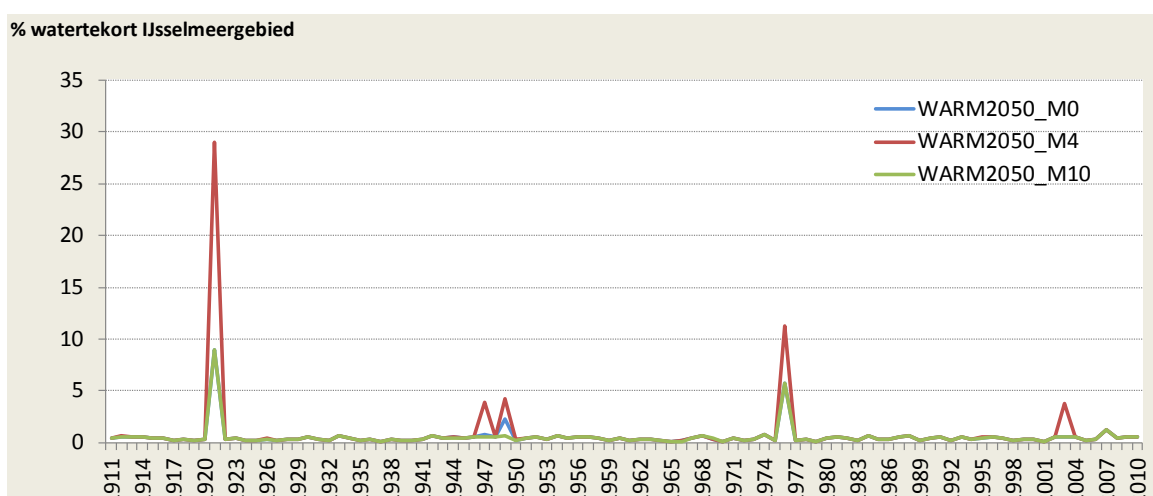
De gemiddelde scores over 100 jaar geven hetzelfde beeld, maar de verschillen tussen de varianten zijn minder groot (Tabel 3.3). Als het extra water voor NZK uit het Markermeer wordt gehaald (M4), dan kunnen watertekorten in het IJsselmeergebied toenemen. Een zichtbaar effect op het watertekort treedt in slechts 5 van de 100 jaar op (Figuur 3.5). In de andere jaren is er blijkbaar voldoende buffer in het IJsselmeer/Markermeer om in de extra vraag te voorzien.

Als het extra water voor NZK via ARK wordt aangevoerd (M10), dan neemt het aantal dagen met lage afvoer op de Waal toe: gemiddeld van 35 naar 38 dagen per jaar onderschrijding van de drempelwaarde van 750 m³/s. Zoals aangegeven in Hoofdstuk 2 is het effect eigenlijk te klein om met een modeltijdstep van decades te simuleren. Daarbij kan het effect in een individueel jaar groot zijn. Figuur 3.6 laat zien dat de onderschrijdingsduur op de Waal in grofweg 20 van de 100 jaar 10 dagen langer wordt. Omdat lage Waalafvoeren in de referentie (M0) al vaak voorkomen in het Deltascenario Warm2050, leidt elke extra onttrekking tot een vergroting van dit knelpunt.

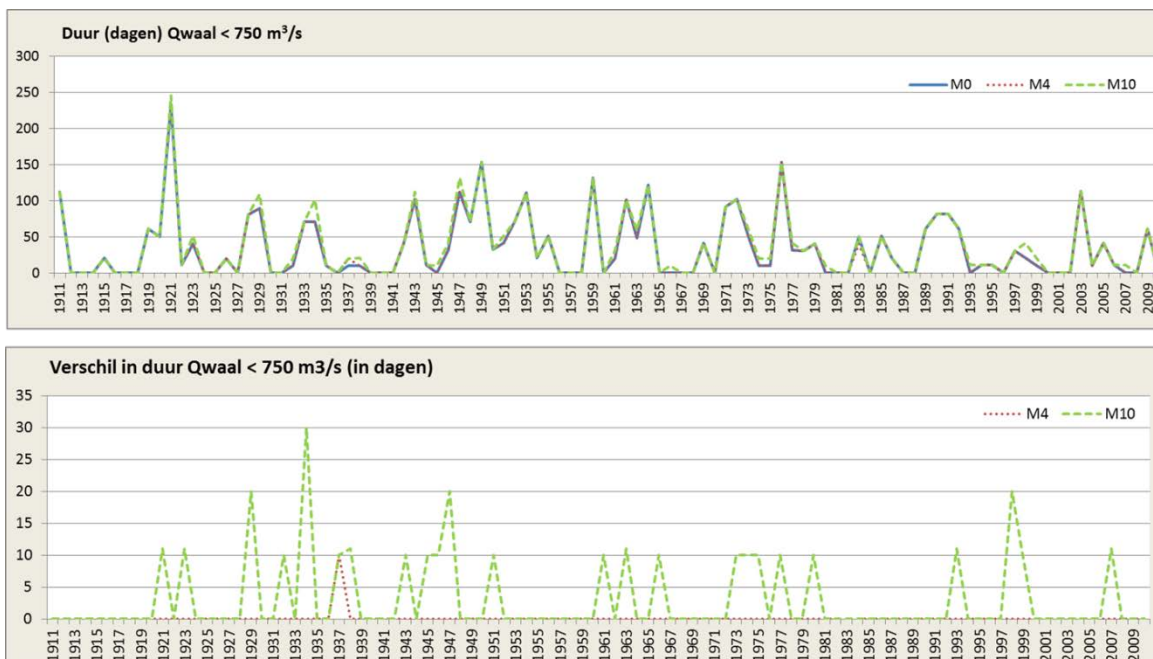
Het valt op dat in de jaren met het grootste effect op de IJsselmeertekorten (1921 en 1976), het effect op de Waal niet het grootst is; in 1976 is er zelfs geen effect zichtbaar op de Waal. Dit duidt erop dat er niet één waterverdelingsvariant te bedenken is die in alle jaren het gunstigste resultaat oplevert op basis van de gekozen criteria.

Tabel 3.3 Overzicht van de scores op de criteria berekend over 100 jaar met QWAST (Deltascenario Warm2050).

Gemiddelde over 100 jaar		Warm2050			Vaardiepte Waal	
		NZK IJmuiden	Regionale watertekorten		Tiel/Werkendam	
		gemiddeld #dagen/jr Q<50 m3/s	IJsselmeergebied	Midden-West-NL	#dagen/jaar Q<750 m3/s	<600 m3/s
ID	Omschrijving		aantal jaar met tekort > 2%			
M0	Huidig beheer	350	3	10	35	11
M4	NZK zoet - uit Markermeer	0	5	10	35	11
M5	NZK zoet - uit ARK en Muiden	0	2	10	37	13
M10	NZK zoet - uit ARK	0	2	10	38	13



Figuur 3.5 Knelpunt watervoorziening IJsselmeergebied uitgedrukt in %watertekort ten opzichte van de vraag.



Figuur 3.6 Knelpunt scheepvaart op de Waal uitgedrukt in aantal dagen onderschrijding van 750 m³/s ter hoogte van Tiel/Werkendam, absoluut (boven) en verschil met M0 (onder).

3.5 Conclusies

Het doel van de geanalyseerde varianten is het garanderen van een minimum debiet van 50 m³/s door de spuiscuis bij IJmuiden, ten behoeve van het optimaal functioneren van de zoutmitigerende maatregel Selectieve Onttrekking. Hiervoor is in droge jaren extra water nodig ten opzichte van het huidige beheer. Dit water kan worden aangevoerd uit het Markermeer of uit het ARK-Betuwepand (via de Prinses Irenesluizen). De analyses hebben laten zien dat het effect van de varianten op de Waal en op de regionale watertekorten afhankelijk is van hoe de droogte zich in de tijd ontwikkelt:

- Indien het extra water uit het Markermeer/IJsselmeer wordt aangevoerd (Deltascenario Warm2050) nemen de regionale watertekorten in het IJsselmeergebied in 3 van 100 jaar significant toe. In de meeste jaren lijkt er nog voldoende buffer in het IJsselmeer/Markermeer beschikbaar te zijn.
- Indien het extra water uit de Waal wordt aangevoerd, dan neemt de duur van lage afvoeren in 20 van de 100 jaar toe met 10-30 dagen.

Er lijkt hiermee meer ruimte in het IJsselmeer te zitten dan in de Waal. Meerdere varianten zouden ontwikkeld kunnen worden die rekening houden met specifieke droogtecondities. Het vraagt een economische doorvertaling om de grotere regionale tekorten af te wegen tegen de langere duur van lage afvoeren op de Waal.

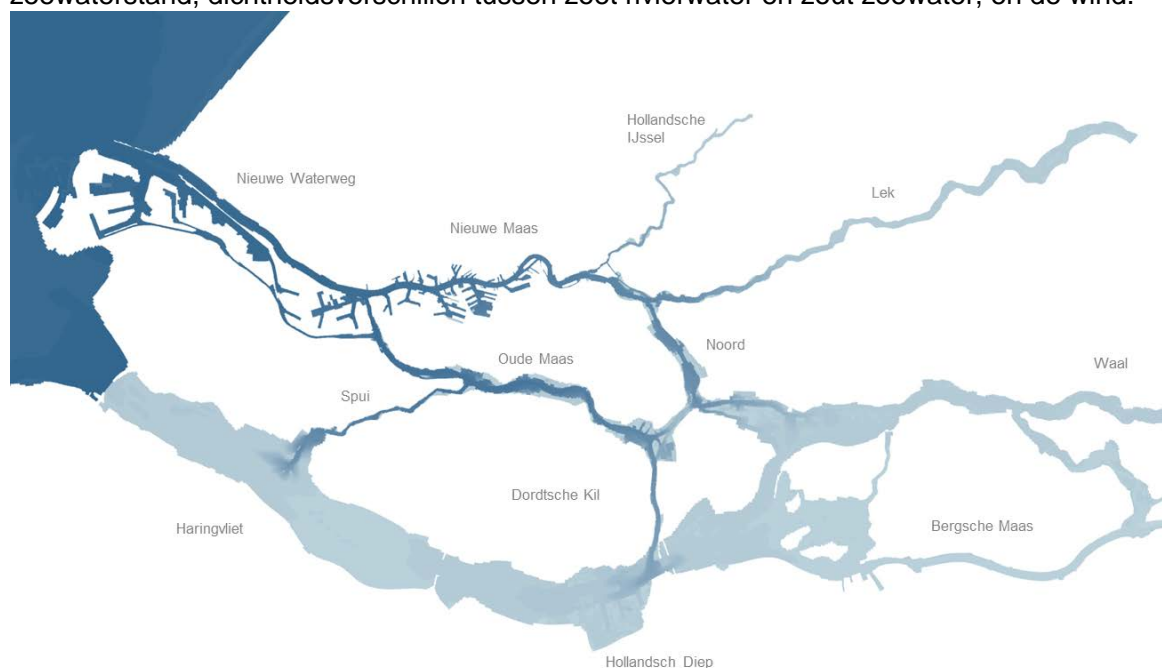
4 Permanente Oostelijk Aanvoer en grotere kier Haringvlietsluizen

4.1 Systeembeschrijving

4.1.1 Het Noordelijk Deltabekken

Deze systeembeschrijving is grotendeels overgenomen uit Van Der Kaaij en De Goede (2011).

Het Noordelijk Deltabekken vormt het overgangsgebied tussen de benedenlopen van de rivieren Rijn en Maas en de Noordzee (Figuur 4.1). Het rivierwater wordt naar de Noordzee afgevoerd door de Nieuwe Waterweg, het Hartelkanaal en de Haringvlietsluizen. De waterbeweging en zoutverplaatsing in het gebied worden beïnvloed door de rivierafvoer, de zeewaterstand, dichtheidsverschillen tussen zoet rivierwater en zout zeewater, en de wind.



Figuur 4.1 Belangrijkste wateren in het Noordelijk Deltabekken.

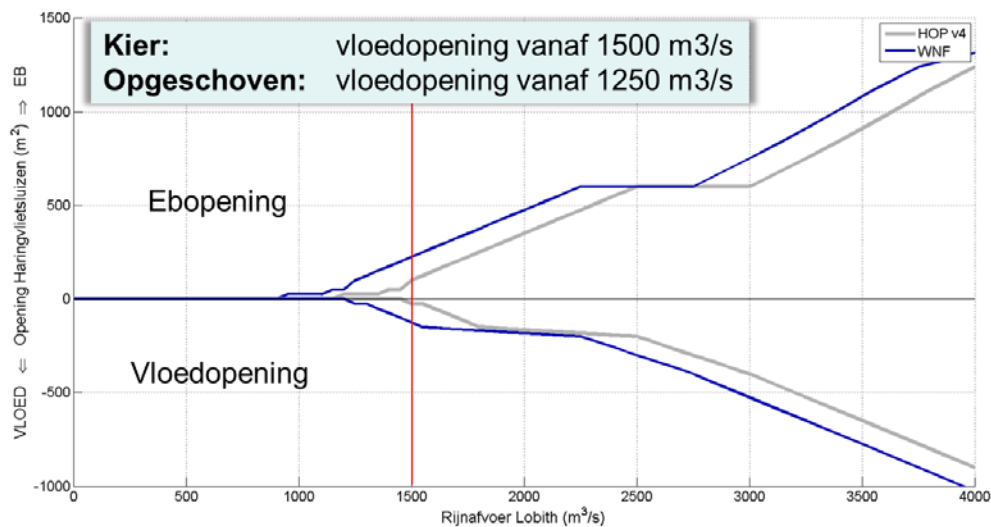
De menselijke invloed op de ontwikkeling van het Noordelijk Deltabekken is sinds de 12e eeuw voortdurend groter geworden. Sinds de tweede helft van de negentiende eeuw is de menselijke invloed op het systeem doorslaggevend. Veel rivierarmen zijn gekanaliseerd, dieper gemaakt, of zelfs gegraven, om het waternetwerk veiliger, beter geschikt voor de scheepvaart en de waterhuishouding te maken. Die veranderingen hebben een grote invloed op de watercirculatie in het gebied.

Na de stormvloedramp van 1 februari 1953 werd door de toenmalige Deltacommissie geadviseerd diverse zeegaten in het zuidwesten van het land af te sluiten, door uitvoering van de Deltawerken. In dat kader is de Haringvlietdam tussen 1958 en 1970 gebouwd tussen Voorne-Putten en Goeree-Overflakkee. De Haringvlietsluizen hebben een maximaal doorstroomoppervlak van ongeveer 6000 m² en kunnen ongeveer 25.000 m³/s water doorlaten. Het huidige bedieningsprogramma van de Haringvlietsluizen heet Lozingsprogramma Haringvlietsluizen 1984 (LPH'84). Het Lozingsprogramma is gericht op:

- veiligheid tegen overstroming;
- handhaving van de zoetwaterhuishouding langs de zuidrand ten behoeve van voornamelijk de drinkwater- en de landbouwwatervoorziening;
- verdeling van de rivierafvoeren over het Noordelijk Deltabekken, zodanig dat de kans op verzilting van de noordrand minimaal is.

Na de ingebruikneming van de Haringvlietsluizen is de getijslag afgenomen tot 0,20 à 0,30 m op zowel het Haringvliet als het Hollandsch Diep, waar deze oorspronkelijk respectievelijk ongeveer 2,10 m en 1,85 m bedroeg. Door de afsluiting is het water in het Haringvliet zoet geworden. Hoewel de afsluiting van het Haringvliet veel voordelen heeft gebracht ten aanzien van veiligheid en de zoetwatervoorziening, heeft het besluit ook nadelen. Een groot deel van het gebied verloor zijn geleidelijke overgangen van zoet naar zout en daarmee zijn estuariene karakter. Aan de landzijde van de sluisen zijn de waterbekkens zoet en min of meer stagnant geworden. Door de sterk verminderde dynamiek heeft zich ook een grote hoeveelheid verontreinigd slib afgezet. Bovendien heeft de afsluiting van de zeegaten nadelige ecologische gevolgen gehad, bijvoorbeeld door de verdwijning van veel planten- en diersoorten die karakteristiek zijn voor estuaria. Tot slot zijn de stroomsnelheden in de verbindende takken van Rijn-Maasmonding (Spui, Dordtsche Kil, Noord en Oude Maas) sterk toegenomen, waardoor deze takken zijn gaan eroderen (meerdere meters over de afgelopen 50 jaar) en ontgrondingskuilen sterk gegroeid zijn en nieuwe zijn ontstaan. Dit heeft invloed op de waterverdeling van het systeem en op de stabiliteit van de oevers en infrastructuur.

Om visintrek in noordelijke deltagebied weer mogelijk te maken, is besloten de Haringvlietsluizen soms op een kier te zetten, zodat de sluisen niet alleen bij eb, maar ook bij vloed geopend worden. Figuur 4.2 geeft het Haringvlietsluizen Operationeel Programma (HOP), ook wel Kierbesluit, dat 15 november 2018 in werking wordt gesteld. Uitgangspunt van het Kierbesluit is dat innamepunten ten oosten van de lijn Middelharnis – Spui zoet blijven.



Figuur 4.2 'Opgeschoven' kandidaat kierprogramma.

Het Wereld Natuur Fonds (WNF) wil de ecologische waarden in het Haringvliet verder verbeteren door een ruimer Kierprogramma te hanteren. Hierbij worden de sluisen zowel bij eb, als bij vloed eerder (bij een lagere Rijnafvoer bij Lobith) en verder geopend; de opening is bij gelijke afvoeren groter dan in het HOP v4. Het door WNF voorgestelde programma is weergegeven in Figuur 4.2.

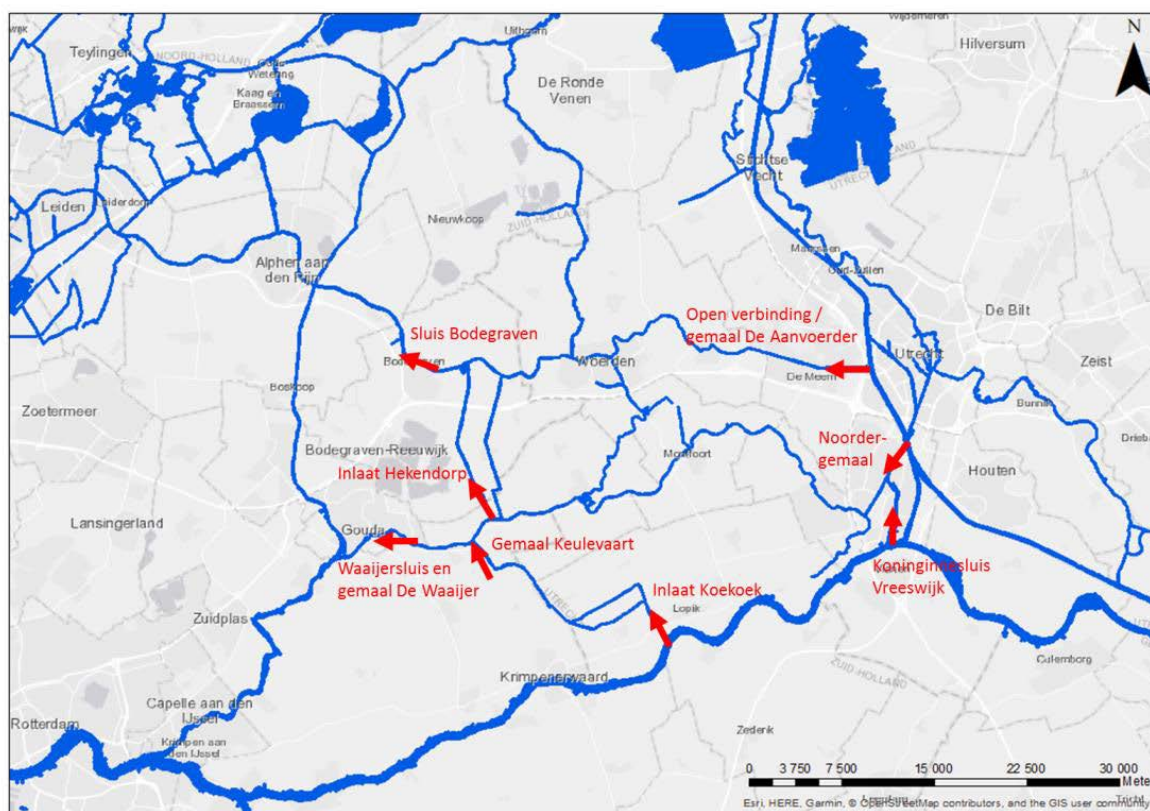
4.1.2 Zoetwatervoorziening Midden-West Nederland en Permanente Oostelijke Aanvoer

De Inlaat Gouda speelt een belangrijke rol in de zoetwatervoorziening van Midden-West Nederland. De Inlaat Gouda neemt onder vrij verval water in vanuit de Hollandsche IJssel. De waterinlaat is het grootste regionale waterinlaatpunt van Midden-West Nederland en voorziet het beheersgebied van het Hoogheemraadschap Rijnland van water. Achter het inlaatpunt liggen zowel belangrijke hoogwaardige landbouwgebieden (boomteelt rond Boskoop, de bollenstreek en de kassenteelt rond Aalsmeer) als belangrijke van zoetwater afhankelijke natuurgebieden, zoals de Vinkeveense plassen. Zoet water wordt verder gebruikt om kwetsbare veengebieden op peil te houden, en om de negatieve effecten van zoutlast uit de diepe polders te beperken door het watersysteem door te spoelen. In een gemiddeld jaar wordt er zo'n 50 Mm³ water ingelaten bij Gouda, in een (extreem) droog jaar kan dit oplopen tot meer dan 100 Mm³ (Van der Wateren - De Hoog and Van Kruiningen, 2008). De capaciteit van de inlaat bij Gouda hangt af van het getijde op de Hollandsche IJssel; de daggemiddelde capaciteit is zo'n 20 m³/s. Inlaat bij Gouda wordt gestopt als chloridegehalten in de Hollandse IJssel oplopen tot structureel meer dan 250 mg/l.

Wanneer chloridegehalten in de Hollandsche IJssel structureel oplopen tot meer dan 250 mg/l, kan de Klimaatbestendige Wateraanvoer (KWA) als alternatieve wateraanvoerroute worden ingezet. Water wordt dan aangevoerd naar Bodegraven, via de Oude Rijn, Leidse Rijn en Gekanaliseerde Hollandsche IJssel. De maximale capaciteit van deze aanvoerroute is 6.9 m³/s, waarvan 4 m³/s bestemd is voor Rijnland (de overige 2.9 m³/s moet volgens het Waterakkoord door worden gevoerd naar Delfland en Schieland). In fase 1 van het Deltaprogramma Zoetwater is voorgesteld om de capaciteit van de KWA te vergroten tot 15 m³/s (KWA+).

Deze capaciteitsvergroting wordt onder meer gerealiseerd door ook water van de Gekanaliseerde Hollandse IJssel via de Waaiersluis door te voeren naar de Hollandse IJssel, om zo in de Hollandse IJssel een zoetwaterbel te laten ontstaan die als tegendruk tegen zoutindringing dient en van waaruit bij Gouda water kan worden ingelaten.

Het vergroten van de opening van de Haringvlietsluizen heeft naar verwachting negatieve effecten op de zoetwaterbeschikbaarheid in het benedenrivierengebied, waaronder de Hollandse IJssel. Vanuit het Wereld Natuur Fonds is geopperd om het Hoogheemraadschap van Rijnland permanent van water te voorzien via de KWA route: de Permanente Oostelijke Aanvoer (POA), zodat geen water meer aangevoerd hoeft te worden vanuit de Hollandse IJssel. In Hydrologic (2018b) is deze aanvoerroute verder uitgewerkt (zie Figuur 4.3) en zijn kosten en baten voor de regio bepaald.



Figuur 4.3 Belangrijkste inlaat- en doorvoerlocaties aanvoerroutes van de KWA en de POA (Hydrologic, 2018b).

In Hydrologic (2018b) wordt een complete uitwerking van de POA gegeven, waarbij aanvoer eerst plaatsvindt via Gekanaliseerde Hollandse IJssel en Enkele Wiericke naar Bodegraven (tot $6 \text{ m}^3/\text{s}$), vervolgens via de Waaiersluis en de zoetwaterbuffer in de Hollandse IJssel en inlaat bij Gouda (tot $10 \text{ m}^3/\text{s}$). Ten slotte wordt tot $14.5 \text{ m}^3/\text{s}$ water aangevoerd via de Leidsche Rijn en Gemaal de Aanvoerder. De aanvoerconstructies die hiervoor worden gebruikt zijn eerst het Noordergemaal (tot $10 \text{ m}^3/\text{s}$), vervolgens wordt ook Gemaal Koekoek ingezet (tot $20.5 \text{ m}^3/\text{s}$), en ten slotte Gemaal de Aanvoerder (tot $27.5 \text{ m}^3/\text{s}$). De debieten bij de aanvoerconstructies zijn hoger omdat deze inclusief de watervraag van HDSR zijn.

De Krimpenerwaardroute (onderdeel van de KWA++) wordt dus **niet** ingezet bij de POA, ook de Dubbele Wiericke en Lange Linschoten worden niet ingezet.

Verder wordt de wateraanvoer van Schieland uit de Hollandse IJssel, bij Snelle Sluis, niet voorzien door de POA: Schieland blijft ook bij een POA innemen vanuit de Hollandse IJssel. Hydrologic (2018b) beschrijft – meer kwalitatief – naast de POA ook een tussenvariant (de AORTA, Adaptieve Oostelijke Regionale en Tijdsafhankelijke Aanvoer), waarbij een optimum wordt gezocht tussen aanvoer via de Hollandse IJssel en aanvoer via de POA. Deze variant is niet voldoende uitgewerkt om in deze studie te worden meegenomen.

4.2 Beschrijving van de afweging

De afweging waar het hier om gaat is uiteindelijk die tussen meer ruimte geven aan ecologische waarden in het Haringvliet, versus de verminderde zoetwaterbeschikbaarheid in het benedenrivierengebied. De POA is hierbij een voorstel om deze verminderde zoetwaterbeschikbaarheid voor in ieder geval Hoogheemraadschap Rijnland te compenseren. De regionale kosten en baten van de POA zijn beschreven door Hydrologic (2018b). De bovenstroomse gevolgen van het instellen van de POA zijn niet onderzocht. De hier beschreven maatwerksommen richten zich specifiek op de bovenstroomse gevolgen van het instellen van de POA, en zijn daarmee slechts een beperkt deel van de uiteindelijke afweging.

4.3 Modelimplementatie van de doorgerekende varianten

Permanente Oostelijke Aanvoer en grotere kier Haringvlietsluizen [Hoofdstuk 4]	
M0 Referentiesom	Huidige KWA-capaciteit
M1 Lek zoet houden	Huidige KWA-capaciteit en minimum debiet Hagestein 25 m ³ /s
M8 POA	M0 met POA
M9 POA + Lek zoet houden	M1 met POA

NB. met ' huidige KWA-capaciteit' wordt hier de KWA+ bedoeld.

De bovenstroomse gevolgen van implementatie van de POA zijn onderzocht voor vier situaties:

- M0 De referentiesituatie (met geïmplementeerde Deltaprogramma fase 1 maatregelen; in dit geval is met name van belang dat de KWA+ is gerealiseerd)
- M1 De situatie waarbij er meer water over de Lek wordt gestuurd (minimum afvoer 25 m³/s) om verzilting van het dispersieve deel van de Lek te voorkomen
- M8 Idem als M0 maar dan met aanwezigheid van de POA
- M9 Idem als M1, maar dan met aanwezigheid POA+Lek 25 m³/s

De varianten zijn alleen doorgerekend voor het Deltascenario Warm2050, omdat hierbij de grootste effecten worden verwacht.

In de maatwerksommen is de POA geïmplementeerd in het LHM door de KWA+ standaard in te zetten voor de watervraag van Rijnland, Stichtse Rijnlanden en Delfland. De precieze volgorde van inzet van kunstwerken en aanvoerroutes verschilt tussen de POA zoals beschreven door Hydrologic (2018b) en de in LHM geïmplementeerde KWA+ route. De watervraag aan het Amsterdam-Rijnkanaal, en daarmee de bovenstroomse effecten, zijn wel gelijk. Omdat alleen wordt gekeken naar bovenstroomse effecten is in overleg met Rijnland (mondelinge communicatie Mark Kramer) besloten de implementatie van de KWA+ in LHM niet verder aan te passen.

Ook in QWAST is de POA geïmplementeerd door de KWA+ route standaard in te zetten voor de watervraag van Rijnland.

4.4 Resultaten en discussie

4.4.1 Effecten opgeschoven kierprogramma op verzilting in het benedenrivierengebied

Om het effect van een opgeschoven kierprogramma op de zoutindringing en waterbeweging te evalueren zijn de jaren 1988 -1990 doorgerekend met SOBEK-RE NDB. Deze periode is ook gebruikt voor de MER-studie en is gekozen omdat zij samen representatief zijn voor langjarig gemiddelde omstandigheden.

De belangrijkste eisen aan het nieuwe kierprogramma zijn:

1. Geen verzilting ten oosten van de lijn Middelharnis-Spui (i.v.m. zoetwaterinname);
2. Geen toename verzilting aan de noordrand (i.v.m. zoetwaterinname);
3. De waterstand bij Moerdijk dient niet lager te worden dan 0 m NAP (i.v.m. scheepvaart).

Met het oog op deze criteria zijn in Tabel 4.1 de volgende punten geëvalueerd:

- Gemiddelde zoutconcentraties bij verschillende locaties langs de noordrand, namelijk Krimpen aan de IJssel, innamepunten van OASEN, DUNEA en het innamepunt van het waterschap bij Parksluizen.
- Duur dat de waterstand bij Moerdijk onder de 0 m NAP is.

Het eerste criterium, geen verzilting voorbij de lijn Middelharnis-Spui, kon niet goed worden geëvalueerd met de bestaande modellen.

Uit deze evaluatie volgt dat met opgeschoven kierprogramma de afvoer over de Nieuwe Waterweg afneemt, waardoor de verzilting aan de noordrand bij Parksluizen en Krimpen aan de IJssel toeneemt. Ten gevolge van het opgeschoven kierprogramma zal de gemiddelde waterstand aan de zuidrand dalen en de getijslag toenemen. Beide veranderingen zorgen ervoor dat de waterstand bij Moerdijk vaker onder NAP zal komen. Het is echter mogelijk dat dit gecompenseerd wordt door zeespiegelstijging.

Met behulp van systeemkennis is beredeneerd dat de zoutindringing aan de zuidrand, zowel zou kunnen toenemen als afnemen, namelijk:

- Doordat de sluizen eerder en verder opengaan bij vloed, zal de zoutindringing toenemen;
- Doordat de afvoer door de Haringvlietsluizen naar zee toeneemt en meer zout wordt uitgespoeld, zal de zoutindringing afnemen.

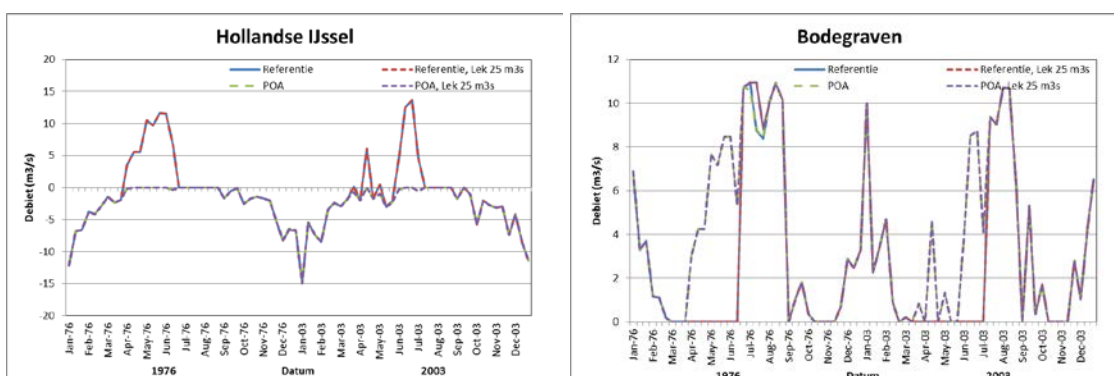
Welk effect sterker zal zijn is niet duidelijk, maar kan in de toekomst nader bepaald worden met behulp van een 3D model.

Tabel 4.1 Resultaten Sobek-1D 1988 – 1990 (Van der Kaaij, 2016). Voor Moerdijk zijn de waterstanden geëvalueerd (totale duur in uren en aantal getijcycli dat de waterstand onder de 0 m NAP), voor de overige locaties zijn de gemiddelde chlorideconcentraties weergegeven. De geëvalueerde stuurprogramma's zijn het huidige stuurprogramma (LPH'84), het kandidaat stuurprogramma 'kierbesluit' (HOPv4) en het opgeschoven kierprogramma (WNF).

	Resultaten SOBEK-1D 1988 - 1990		
	LPH'84 (huidig)	HOPv4 (Kier) (Opgeschoven Kier)	WNF
Moerdijk (totale duur in uren)	270	318	716
Moerdijk (aantal getijcycli)	125	170	388
Krimpen (gemiddelde chloriniteit in mg/l)	251	256	300
OASEN (gemiddelde chloriniteit in mg/l)	200	200	200
DUNEA (gemiddelde chloriniteit in mg/l)	200	200	201
Parksluizen (gemiddelde chloriniteit in mg/)	800	915	1259

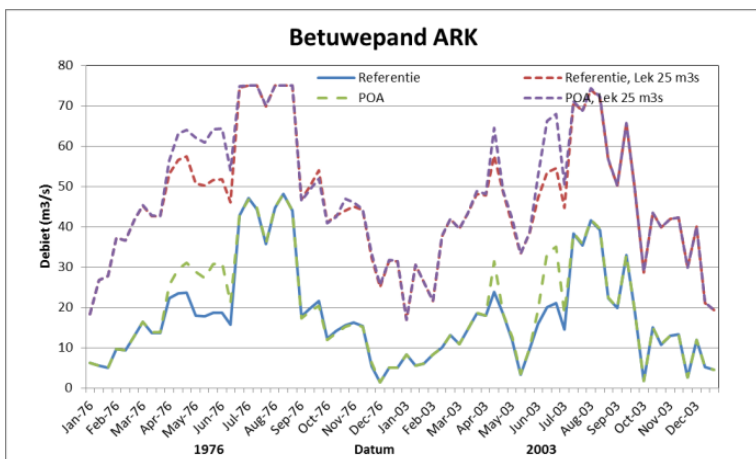
4.4.2 Karakteristieke jaren

Met het LHM (Landelijk Hydrologisch Model als onderdeel van het Nationaal Water Model) is het bovenstroomse effect berekend van implementatie van de POA voor het droge jaar 2003 en het extreem droge jaar 1976, beide bij Deltascenario Warm2050. In Figuur 4.4 wordt het effect van implementatie van de POA op de aanvoerroute Hollandse IJssel naar Gouda (de standaard aanvoerroute) en de inlaat Bodegraven (aanvoerroute POA / KWA) duidelijk. De jaren 1976 en 2003 zijn beide 'KWA-jaren', jaren waarin op een zeker moment de chloridegehalten in de Hollandse IJssel te hoog worden en wordt overgeschakeld op de KWA+. Vanaf dat moment verschillen de varianten met en zonder POA niet langer van elkaar, de POA is immers geïmplementeerd als 'altijd KWA+'. In 1976 is dit het geval vanaf medio juni, in 2003 vanaf juli. In de voorgaande periode treden er wel duidelijke verschillen op. In de referentiesommen (M0 en M1) vindt er aanvoer plaats via de Hollandse IJssel, in de POA-sommen is deze aanvoer 0. Deze aanvoer wordt grotendeels overgenomen door de inlaat Bodegraven. Waar deze in de referentiesommen 0 is, is de aanvoer in de POA-sommen in de periode voorafgaand aan het inzetten van de KWA+ maximaal zo'n 8 m³/s. Dat de inlaat Bodegraven niet de gehele aanvoer via de Hollandse IJssel (maximaal zo'n 14 m³/s) overneemt komt doordat de KWA+ via twee routes water aanvoert naar Hoogheemraadschap Rijnland. Naast Bodegraven bereikt een deel van het via de KWA+ aangevoerde water Rijnland via de Gekanaliseerde Hollandse IJssel, de Waaiersluis en inname vanuit de zoetwaterbel in de Hollandse IJssel bij Gouda.

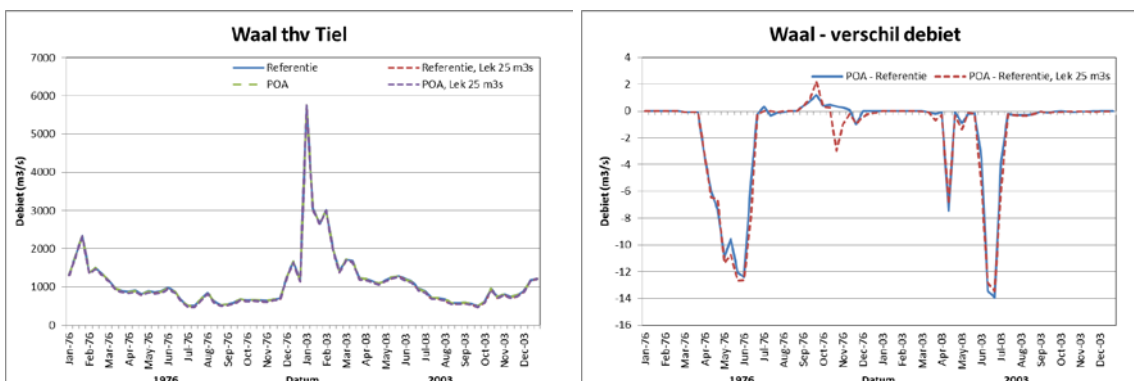


Figuur 4.4 Berekende debieten in de Hollandse IJssel (links), en bij Bodegraven (rechts), voor de jaren 1976 en 2003 Warm 2050, voor de vier maatwerksommen.

Het door de POA extra gevraagde water wordt via het Amsterdam-Rijnkanaal en de Lek in de LHM simulaties voorzien via het Betuwepand van het Amsterdam-Rijnkanaal en uiteindelijk onttrokken aan de Waal. In Figuur 4.5 is zichtbaar dat de volledige additionele watervraag van de POA wordt voorzien vanuit het ARK-Betuwepand. De POA leidt niet tot een toename van de watervraag aan de Nederrijn.

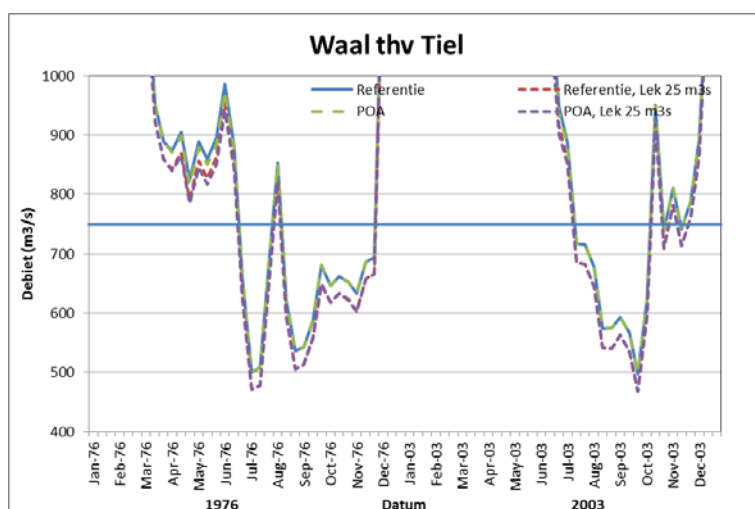


Figuur 4.5 Berekende debieten in het Betuwepand ARK, voor de jaren 1976 en 2003 Warm 2050, voor de vier maatwerksommen.



Figuur 4.6 Berekend debiet van de Waal bij Tiel (links) voor de jaren 1976 en 2003 Warm2050 voor de vier maatwerksommen, en het verschil in het berekend debiet van de Waal bij Tiel voor M8-M0 en M9-M1 (rechts).

Figuur 4.6 geeft het debiet op de Waal ter hoogte van Tiel voor de vier maatwerksommen, en het verschil tussen de situatie met en zonder POA. De afvoer via de Waal neemt af met de additionele watervraag van de POA. Het verschil treedt op voorafgaand aan KWA-perioden, tijdens een KWA-periode zijn er geen verschillen voor de Waal-afvoer.



Figuur 4.7 Berekend debiet van de Waal bij Tiel voor de jaren 1976 en 2003 Warm2050 voor de vier maatwerksommen, ingezoomd op perioden met lage afvoer.

Als maat voor eventuele scheepvaartbeperkingen hanteren we de onderschrijding van 750 m³/s afvoer op de Waal. Deze waarde is afgeleid uit de Overeengekomen Laagste Afvoer, zie paragraaf 1.4. Zoals blijkt uit Figuur 4.7 treedt er geen verschil op in de duur van de onderschrijding van deze signaleringswaarde bij inzet van de POA: de POA is in de beschouwde jaren alleen actief wanneer de afvoer van de Waal voldoende hoog is. Dit is ook naar verwachting, omdat verziltingsproblemen op de Hollandse IJssel (en daarmee het instellen van de KWA+) sterk samenhangen met lage afvoeren op de Waal.

4.4.3 Langjarige reeks

Met behulp van QWAST is ook langjarig gekeken naar de bovenstroomse effecten van implementatie van de POA. Hierbij is gekeken hoe vaak de POA gemiddeld wordt ingezet, in vergelijking tot de KWA+. Deze periode is korter dan een volledig zomerhalfjaar, omdat alleen perioden met een watervraag worden geteld. Tevens is gekeken hoe vaak de afvoer van de Waal lager is dan de signaleringswaarde van 750 m³/s. Resultaten zijn gegeven in Tabel 4.2 (Huidig) en Tabel 4.3 (Warm2050).

Tabel 4.2 Resultaten 100-jarige QWAST berekeningen voor de vier maatwerksommen, Deltascenario Warm2050.

Huidig, 100 jaar		Inzet KWA+/POA		Vaardiepte Waal Tiel / Werkendam
		aantal jaren	gemiddeld #dagen / zhr ¹	gemiddeld #dagen / zhr ¹
	Omschrijving	inzet KWA+	inzet KWA+	Q < 750 m ³ /s
M0	Huidig beheer	12	3	4
M1	Lek zoethouden	12	3	4
M8	POA	100	146	4
M9	POA + Lek zoethouden	100	146	4

¹zhr: zomerhalfjaar, van 1 april tot 1 oktober

Tabel 4.3 Resultaten 100-jarige QWAST berekeningen voor de vier maatwerksommen, Deltascenario Warm2050.

WARM 2050, 100 jaar		Inzet KWA+/POA		Vaardiepte Waal
		aantal jaren	gemiddeld #dagen / zhjr ¹	Tiel / Werkendam gemiddeld #dagen / zhjr ¹
Omschrijving	inzet KWA+		inzet KWA+	Q<750 m ³ /s
M0	Huidig beheer	48	15	13
M1	Lek zoethouden	48	15	14
M8	POA	100	147	13
M9	POA + Lek zoethouden	100	147	14

¹zhjr: zomerhalfjaar, van 1 april tot 1 oktober

Een KWA-situatie komt in Deltascenario Warm2050 gemiddeld zo'n 15 dagen per zomerhalfjaar voor, ten opzichte van gemiddeld 3 dagen per jaar in het huidige klimaat (12 KWA-jaren huidig, versus 48 KWA jaren in Warm2050). Het effect op de onderschrijdingsduur van een Waalafvoer van 750 m³/s is minimaal. Bij huidig klimaat wordt de signaleringswaarde zowel zonder als met POA gemiddeld 4 dagen per jaar onderschreden, in Warm2050 neemt dit voor zowel zonder als met POA toe tot gemiddeld 14 dagen per jaar.

4.4.4 Effect op verzilting Noordrand

Het instellen van de POA betekent een wat andere waterverdeling in het benedenrivierengebied. Immers, de watervraag van Rijnland (maximaal zo'n 14 m³/s) wordt niet langer onttrokken uit de Hollandsche IJssel, maar wordt uiteindelijk voorzien vanuit de Waal. Hoewel een andere waterverdeling wel gevolgen kan hebben voor de zoutindringing, wordt verwacht dat de andere waterverdeling zo goed als geen invloed heeft op de chlorideverdeling in de Nieuwe Maas nabij de monding van de Hollandsche IJssel. De hoeveelheid water die de Nieuwe Waterweg verlaat en daarmee tegendruk biedt aan zout blijft namelijk gelijk. Een andere verdeling van de afvoeren in de Rijn-Maasmonding kan wel lokaal effecten hebben op de zoutconcentratie (Huismans, 2016), maar omdat het om kleine verschillen gaat is de verwachting dat dit effect in de praktijk niet merkbaar is. Wel relevant is de stopzetting van de inlaat bij Gouda voor de chlorideverdeling op de Hollandsche IJssel zelf (Kuijper, 2016, 2017, Huismans et al., 2018). Doordat de watervraag van Rijnland niet langer uit de Hollandsche IJssel voorzien wordt, zullen de chlorideconcentraties in de Hollandsche IJssel lager zijn, met wellicht positieve gevolgen voor de andere inlaatpunten aan de Hollandsche IJssel. Deze mogelijke gevolgen zijn niet verder onderzocht.

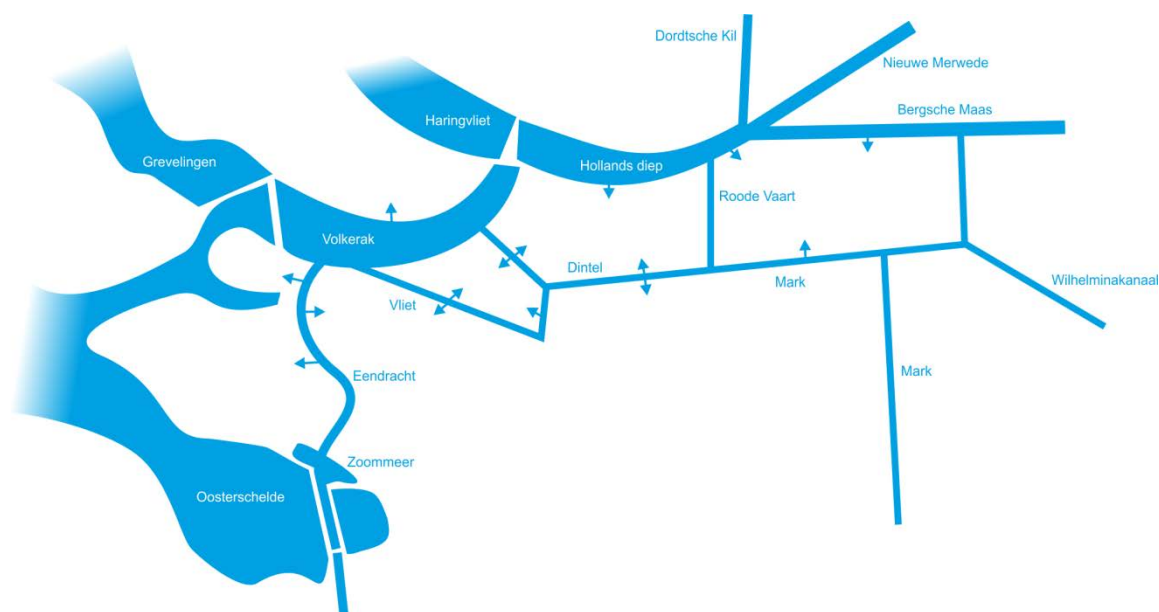
4.5 Conclusies

Het verder openen van de Haringvlietsluizen leidt, door afname van de afvoer door de Nieuwe Waterweg, tot hogere chlorideconcentraties in de noordrand van de Rijn-Maasmonding. De langjarig gemiddelde chlorideconcentratie bij Krimpen aan de IJssel neemt dan met zo'n 20% toe. De Permanente Oostelijke Aanvoer (POA) is geopperd als alternatieve wateraanvoerroute om Midden-West Nederland van water te voorzien. De additionele watervraag van de POA wordt volledig voorzien via het Betuwepand ARK vanuit de Waal. Wanneer in de uitgangssituatie de Klimaatbestendige Wateraanvoer (KWA) actief is, is er geen verschil tussen POA en de uitgangssituatie. Omdat bij lage Rijnafvoeren het benedenrivierengebied verzilt en de KWA in werking wordt gesteld, treedt de additionele bovenstroomse watervraag van de POA zo goed als uitsluitend op wanneer de afvoer van de Waal wel relatief laag is maar nog zodanig hoog dat scheepvaart niet gehinderd wordt. Negatieve effecten van de POA ten opzichte van de KWA op de scheepvaart op de Waal lijken daarmee minimaal.

5 Doorspoelstop Volkerak-Zoommeer

5.1 Systeembeschrijving

Het Volkerak-Zoommeer ligt op het grensgebied van de provincies Zeeland, Zuid-Holland en Noord-Brabant en bestaat uit het Krammer-Volkerak in het noorden en het Zoommeer in het zuiden (Figuur 5.1). Beide bekkens zijn verbonden door de Eendracht. Voor de uitvoering van de Deltawerken waren het Krammer-Volkerak en het Zoommeer getijdengebieden die in open verbinding stonden met de Noordzee (Van Der Kaaij and De Goede, 2011). Het Volkerak-Zoommeer in zijn huidige vorm is ontstaan door de aanleg van een aantal dammen: tussen 1965 en 1970 zijn de verbindingen met het Grevelingen (Grevelingendam) en het Hollandsch Diep (Volkerakdam) verbroken, en later zijn de Markiezaatskade (1983), Oesterdam (1985), en de Philipsdam (1987) gebouwd. Door de afsluiting veranderde het estuarium binnen een jaar in een zoetwatersysteem. De verblijftijd van water in het meer is ongeveer 120 dagen (Van Der Kaaij and De Goede, 2011). Het Volkerak-Zoommeer is onderdeel van de scheepvaartroute tussen Rotterdam en Antwerpen. In droge perioden levert het meer zoetwater aan omliggende gebieden ten behoeve van de landbouw.



Figuur 5.1 Belangrijkste waterlichamen en regionale waterinname rond het Volkerak-Zoommeer.

Sinds 1994 wordt het Volkerak-Zoommeer in de zomer geplaagd door de bloei van blauwalgen (cyanobacteriën) die schadelijk zijn voor mens en milieu. De belangrijkste oorzaak van het blauwalgenprobleem in het Volkerak-Zoommeer is de grote aanvoer van meststoffen vanuit de Brabantse rivieren in combinatie met de lange verblijftijd van het water in het meer. Wanneer er drijfslagen van blauwalgen optreden kan het water uit het Volkerak-Zoommeer niet gebruikt worden voor de landbouw. In recente jaren is de blauwalgenproblematiek afgenomen, mede door graasdruk van de invasieve exoot quaggamossel. Het is niet bekend hoe stabiel deze situatie is.

Het *Waterakkoord Volkerak-Zoommeer* (2016) legt het waterbeheer in normale en bijzondere situaties vast. In normale omstandigheden wordt met het doorspoelbeheer gestreefd naar een maximale chlorideconcentratie van 450 mg/l bij de regionale innamepunten. Voor het doorspoelen wordt water aangevoerd vanuit het Hollandsch Diep en afgevoerd via de Bathse Spuisluis naar de Westerschelde. Het doorspoeldebiet is maximaal 22,5 m³/s. Samen met de watervraag ten behoeve van peilhandhaving incl. schutverliezen bevat het waterakkoord een maximale watervraag aan het Hollandsch Diep van 50 m³/s.

De beschikbaarheid van water uit het Hollandsch Diep is afhankelijk van de Rijnaafvoer te Lobith. Zolang er geen sprake is van een laagwatersituatie worden er voor peilhandhaving geen beperkingen gesteld aan de aanvoer van water uit het Hollandsch Diep. Bij een lage Rijnaafvoer bestaat er gevaar voor verzilting van de Hollandsche IJssel. De LCW kan in deze situatie besluiten tot stopzetting van de doorspoeling van het Volkerak-Zoommeer. In onderling overleg tussen de verschillende waterbeheerders wordt bij dreigende verzilting van de Rijn-Maasmonding doorspoeling ook zonder tussenkomst van de LCW gestaakt (mondelinge mededeling RWS Kust & Zee). Bij een Rijnaafvoer van minder dan 800 m³/s wordt het doorspoelen sowieso gestaakt (Handboek LCW). Aanvoer ten behoeve van peilhandhaving blijft, afhankelijk van het besluit van de LCW, nog (beperkt) mogelijk.

De laatste jaren wordt onderzocht of het Volkerak-Zoommeer in de toekomst weer een zoutwatersysteem dient te worden. Hier is nog geen besluit over gevallen. In deze studie gaan we uit van het huidige, zoete watersysteem.

5.2 Beschrijving van de afweging

Bij laagwatersituaties en dreigende verzilting van het benedenrivierengebied wordt de doorspoeling van het Volkerak-Zoommeer gestopt. Dit om meer water naar de noordrand van het benedenrivierengebied te sturen en zo de verzilting van de Hollandse IJssel en het voor Midden-West Nederland belangrijke inlaatpunt Gouda tegen te gaan.

Bij het stoppen van het doorspoelen van het Volkerak-Zoommeer lopen chlorideconcentraties in het Volkerak-Zoommeer echter langzaam op, wat na zo'n twee weken (mondelinge mededeling RWS Kust en Zee) kan leiden tot inlaatbeperkingen voor de regionale innamepunten. Deze inlaatbeperkingen kunnen vervolgens leiden tot watertekorten en schade in de regio.

5.3 Modelimplementatie van de doorgerekende varianten

Doorspoelstop Volkerak-Zoommeer [Hoofdstuk 5]

M0 Referentiesom	Gebruikers uit VZM kunnen altijd innemen
M12 Doorspoelstop en innamestop VZM	Doorspoelstop en innamestop zodra noordrand RMM verzilt

5.3.1 Sobek-RE Noordelijk Deltabekken model

Het effect van het stopzetten van doorspoeling van het Volkerak-Zoommeer is eerder onderzocht door in het kader van Slim Watermanagement, deelproject Rijn-Maasmonding (Huisman, 2016). Hiervoor zijn 1D berekeningen uitgevoerd met het Sobek-RE model van het Noordelijk Deltabekken. In de berekeningen is een Bovenrijnaafvoer van 980 m³/s verondersteld, met een chlorideconcentratie bij Lobith van 125 mg/l. Het gaat om statische berekeningen, waarbij de rivierafvoer constant wordt gehouden en een cyclisch getij wordt verondersteld (zonder springtij / doottij cycli).

Onder meer de volgende situaties zijn doorgerekend (Huismans, 2016):

- 1 Referentiesituatie: onttrekking van 50 m³/s naar het Volkerak-Zoommeer, geen afvoer over de Lek,
- 2 Stopzetten onttrekking Volkerak-Zoommeer: geen onttrekking naar het Volkerak-Zoommeer, afvoerverdeling over Lek en Waal identiek aan referentiesituatie.

Hoewel de maximale capaciteit van de Volkeraksluizen 75 m³/s is, wordt in de praktijk meestal niet meer dan 50 m³/s onttrokken. Jaargemiddeldes liggen zelfs maar rond de 10 à 20 m³/s debiet over de Volkeraksluizen. Meer details over de berekening zijn te vinden in (Huismans, 2016).

Naast deze zogeheten statische berekening, is ook een dynamische berekening uitgevoerd, waarbij variërende randvoorwaarden van het jaar 2011 zijn opgelegd (Huismans et al., 2018).

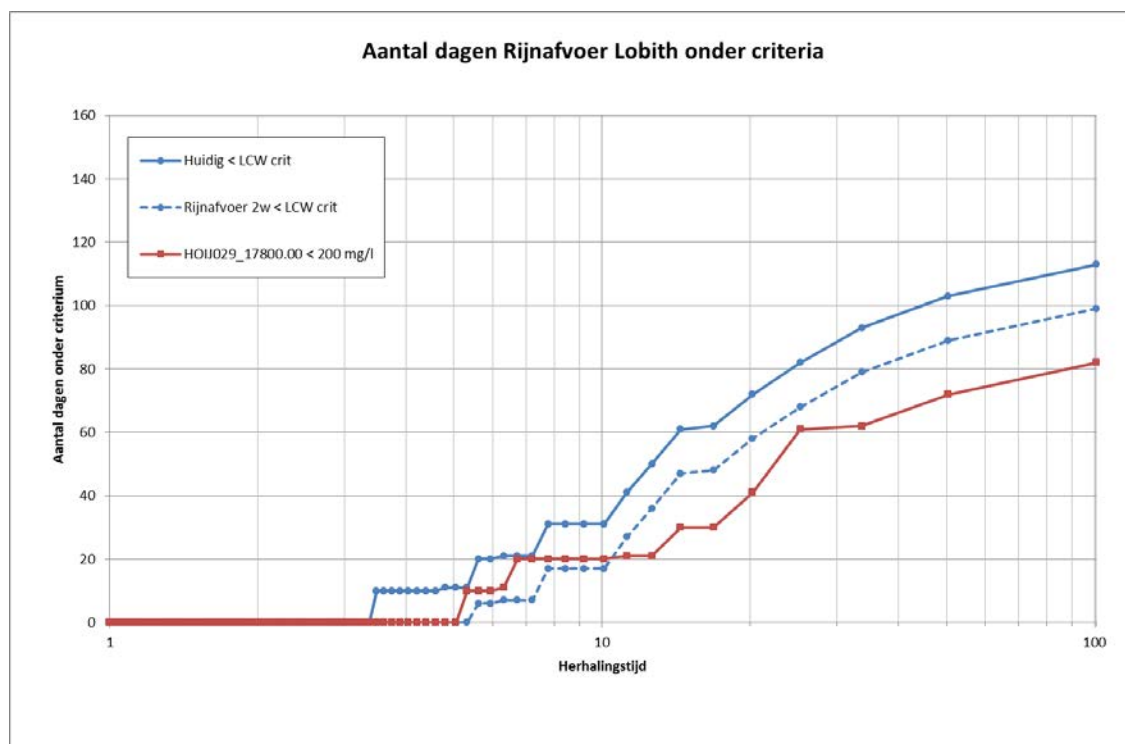
5.3.2 Landelijk Hydrologisch Model

Binnen het Nationaal Water Model is geen berekening van chloride mogelijk in het Volkerak-Zoommeer. Het Volkerak-Zoommeer is namelijk niet opgenomen in het Noordelijk Deltabekken-model (NDB-model), waarmee binnen het NWM chloride in het benedenrivierengebied wordt berekend. Er kan daarom in het LHM (onderdeel van het NWM) ook geen innamestop worden gesimuleerd bij de regionale innamepunten, die water innemen uit het Volkerak-Zoommeer. Hiermee is de referentieberekening (M0) voor deze afweging niet de referentie, maar juist de berekening van het alternatief. Immers, in de M0 som wordt de regionale inname niet gekort, omdat het model geen oplopende chlorideconcentraties in het VZM berekent als gevolg van de doorspoelstop. De doorspoelstop wordt wel gesimuleerd als functie van de afvoer bij Lobith.

Voor deze afweging is daarom om eigen referentieberekening gemaakt (M12), waarbij de regionale inname wel – zoals huidige praktijk – wordt gekort als doorspoeling van het Volkerak-Zoommeer meer dan twee weken wordt gestaakt. Om dit te bereiken, ondanks het feit dat chloride in het Volkerak-Zoommeer in het NWM niet wordt gemodelleerd, is locatie Krimpen aan den IJssel gekozen als representatieve locaties in het NDB-model waar wel chlorideconcentraties beschikbaar zijn.

Om deze locatie te kiezen is de 'duurlijn' (herhalingstijd van de duur van het onderschrijden of overschrijden van een criterium) van de Rijnafvoer vergeleken met de duurlijn van de chlorideconcentratie bij Krimpen aan den IJssel (Figuur 5.2). Deze duurlijnen komen behoorlijk overeen. Voor de Rijnafvoer is als onderschrijdingscriterium het LCW-criterium⁴ gekozen. De aanname is hierbij dat doorspoeling van het Volkerak-Zoommeer gestopt wordt wanneer het LCW-criterium wordt onderschreden. Vervolgens duurt het ongeveer twee weken voordat chlorideconcentraties dermate oplopen dat regionale inname uit het Volkerak-Zoommeer wordt gestopt. We kijken daarom naar de herhalingstijd van het ten minste twee weken onderschrijden van het LCW-criterium. Voor de chlorideconcentratie bij Krimpen aan den IJssel is als grenswaarde 200 mg/l gekozen en tevens een minimale overschrijdingsduur van 2 weken.

⁴ Als LCW-criterium geldt een Rijnafvoer bij Lobith van 1000 m³/s voor de maanden januari tot en met april, en september tot en met december; een afvoer van 1400 m³/s in mei, 1300 m³/s in juni, 1200 m³/s in juli en 1100 m³/s in augustus.



Figuur 5.2 Vergelijking herhalingstijd overschrijding LCW criterium, overschrijding LCW criterium langer dan twee weken, en overschrijding van 200 mg/l grens bij Krimpen aan den IJssel (modelcode HOIJ029_17800.00).

In het Distributiemodel (onderdeel van LHM) is vervolgens de regionale inname voor de districten die water onttrekken uit het Volkerak-Zoommeer afhankelijk gemaakt van de berekende chlorideconcentratie te Krimpen aan de IJssel. Regionale inname wordt daarbij gestopt wanneer de concentratie bij Krimpen aan de IJssel oploopt tot boven de 200 mg/l, als representatief voor de situatie dat doorspoeling van het Volkerak-Zoommeer inmiddels al tenminste twee weken is gestaakt. Het betreft de districten Tholen, st Philipsland, Oostflakkee, de Reigersbergsche polder en de Brabantse PAN polders (districten 127, 136, 271, 509, 761, 791, 950, 951, 952 en 953).

Met deze zelfde maatwerksom zijn ook een aantal aanpassingen gedaan aan de schematisering in West-Brabant, om een betere watervraag aan het Mark-Vlietsysteem te berekenen. Het betreft de aanpassingen:

- 1 Gewenst doorspoeldebiet op Mark-Vlietboezem wordt verplaatst naar monding Dintel en Steenbergsche Vliet. Daarbij wordt de 7 m³/s gelijk verdeeld over beide takken, dus 3.5 m³/s op elke tak.
- 2 Knopen Dintel en Steenbergsche Vliet betrekken niet langer water uit het Volkerak, maar alleen uit Mark-Vliet boezem.
- 3 Voorkomen van teruglevering doorspoelwater uit de polders op de Mark-Vlietboezem, door afvoer van polders in de zomermaanden richting Hollands Diep te sturen.
- 4 Beperken bovenstroomse aanvoer vanuit België op basis gemiddelde dagminima reeks 1993-2017 (gegevens Klaas-Jan Douben, waterschap Brabantse Delta):
 - April: 1,72 m³/s
 - Mei: 1,15 m³/s
 - Juni: 0,72 m³/s
 - Juli: 0,47 m³/s

- Augustus: 0,4 m³/s
- September: 0,87 m³/s

Deze afvoeren zijn vermenigvuldigd met een stroomgebiedsfactor (afvoeren worden gemeten stroomafwaarts van de grens, waardoor een deel van deze afvoer uit Nederland komt) van 33000 (ha stroomgebied in België) / 58000 (ha totaal)⁵.

- 5 Beregening in de West-Brabantse polders is verondersteld volledig uit oppervlaktewater te worden voorzien (LHM orig: 75 om 25% oppervlakte- versus grondwaterberegening, Witteveen+Bos (2010) schat een verhouding van 85 om 15%). In Zeeland zonder wateraanvoermogelijkheden wordt beregening volledig uit grondwater verondersteld.

De varianten zijn alleen doorgerekend voor het Deltascenario Warm2050, omdat hierbij de grootste effecten worden verwacht.

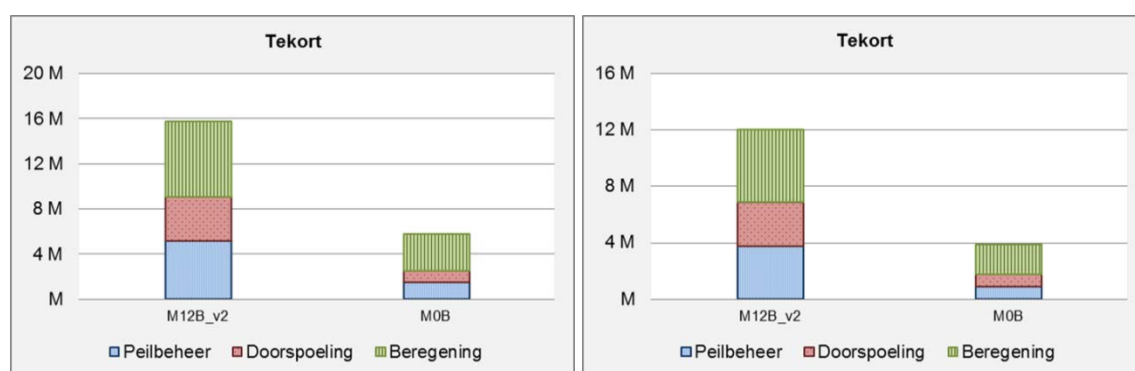
Voor deze afweging zijn geen berekeningen uitgevoerd met QWAST.

5.4 Resultaten en discussie

5.4.1 Karakteristieke jaren

Met het LHM is voor de jaren 1976 en 2003 (Warm 2050) voor zowel de referentiesituatie (M12 in dit geval), als voor het alternatief (M0, geen doorspoelstop), berekend hoe groot de regionale tekorten zijn als gevolg van innamestops.

Figuur 5.3 geeft de berekende regionale watertekorten voor 1976 en 2003 in Warm2050. De bijbehorende watervraag verschilt uiteraard tussen de jaren, voor 1976 is deze 25 Mm³, voor 2003 20 Mm³. Door de lange periode van lage afvoeren en verzilting van het benedenrivierengebied in deze beide jaren, is er gedurende een lange periode in deze jaren een innamestop van kracht. De regionale tekorten lopen daarom flink op, tot zo'n 60% van de watervraag. Zonder doorspoelstop in het Volkerak-Zoommeer zijn de tekorten beduidend lager, zo'n 25% (1976), of 20% (2003) van de vraag. De optredende tekorten zonder doorspoelstop zijn grotendeels te verklaren door een beperkte capaciteit van enkele inlaatwerken in het LHM.

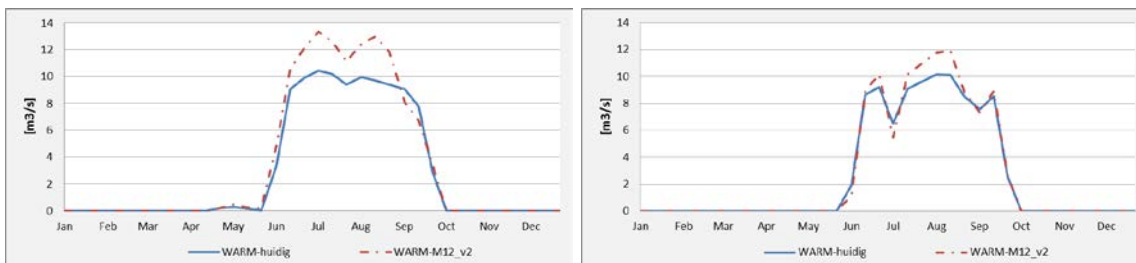


Figuur 5.3 Regionale watertekorten voor peilbeheer, doorspoeling en beregening uit oppervlaktewater voor de districten die water onttrekken uit het Volkerak-Zoommeer, voor de jaren 1976 (links) en 2003 (rechts).

⁵ Stroomgebiedsgrootte Aa of Weerijis is totaal 19000 ha, waarvan 12000 in België, stroomgebied Bovenmark is totaal 39000 ha, waarvan 21000 in België.

Deze analyse gaat ervan uit dat er in de referentie (M12) de gehele periode van lage rivierafvoeren het doorspoelen van het Volkerak-Zoommeer en daarmee ook de regionale inname is gestaakt, terwijl regionale inname in het alternatief (M0) juist nooit gestaakt wordt. Op beide is wat af te dingen. Zo vindt de in M12 gehanteerde doorspoelstop in werkelijkheid plaats op basis van onderling overleg tussen waterbeheerders. Wanneer het doorspoelen van het Volkerak-Zoommeer tot regionale knelpunten leidt, kan een andere afweging gemaakt worden, of wordt de afweging opgeschaald naar de LCW. Pas bij een zeer lage Rijnafvoer (van 800 m³/s) wordt doorspoeling volgens het Waterakkoord gestopt (*Waterakkoord Volkerak-Zoommeer*, 2016). Dit is in de berekende jaren niet aan de orde geweest. Verder wordt in de berekeningen geen rekening gehouden met de blauwalgenproblematiek in het Volkerak-Zoommeer. Dit terwijl drijfslagen van blauwalgen vaker tot inlaatbeperkingen leiden dan oplopende chlorideconcentraties. Drijfslagen van blauwalgen worden niet voorkomen door doorspoelen, en zullen ook zonder doorspoelstop optreden. De berekende verschillen tussen beide berekeningen zullen dan ook in werkelijkheid lager uitvallen.

Door aanpassingen aan de waterverdeling binnen het Mark-Vlietsysteem in West-Brabant is de watervraag aan het hoofdwatersysteem sterk toegenomen, van maximaal zo'n 10 m³/s (M0), tot zo'n 13.5 m³/s (M12) in 1976, en van 10 m³/s (M0) tot 12 m³/s (M12) in 2003, beide Warm 2050 (Figuur 5.4). Deze toename is grotendeels het gevolg van het niet langer 'hergebruiken' van water dat voor het doorspoelen van het Mark-Vlietsysteem is bestemd. De na de gemaakte aanpassingen (M12) berekende aanvoerbehoefte is voor 1976 in Warm 2050 ongeveer gelijk aan wat door de regio is berekend als aanvoerbehoefte, maar dan voor een 1/10 droog jaar in het huidige klimaat (Witteveen+Bos, 2010).

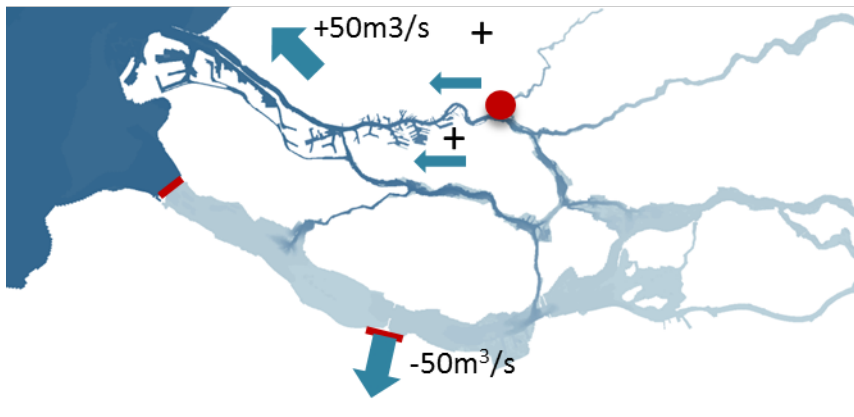


Figuur 5.4 Berekend opgeteld debiet Inlaat Oosterhout en Roode Vaart voor 1976 (links) en 2003 (rechts), Warm 2050.

5.4.2 Chlorideberekening benedenrivierengebied

Onderstaande beschrijving is grotendeels ontleend aan (Huisman, 2016).

Van de 50 m³/s die extra beschikbaar komt op het Haringvliet / Hollandsch Diep, stroomt 10 m³/s via het Spui naar de noordrand en 33 m³/s via de Dordtsche Kil naar de Noordrand. De ontbrekende 7 m³/s is Waalwater dat door de hogere waterstanden op het Hollandsch Diep / Haringvliet nu via de Beneden Merwede de Rijn-Maasmonding binnenstroomt in plaats van via de Nieuwe Merwede. Dit alles resulteert in een toename van restdebieten op de Oude Maas (zeewaarts van het Spui) van 28-34 m³/s en op de Nieuwe Maas van 16 m³/s, dus van de 50 m³/s stroomt een-derde via de Nieuwe Maas en twee-derde via de Oude Maas (Figuur 5.5). Tot slot neemt de afvoer in de Maasmond toe met dezelfde 50 m³/s die aan de zuidrand minder onttrokken wordt, omdat de Haringvlietsluizen bij de geldende afvoer (980 m³/s) gesloten zijn.



Figuur 5.5 Weergave effect stopzetting onttrekking van 50 m³/s bij de Volkeraksluizen op afvoerverdeling in het benedenrivierengebied. De rode stip is Krimpen aan de IJssel.

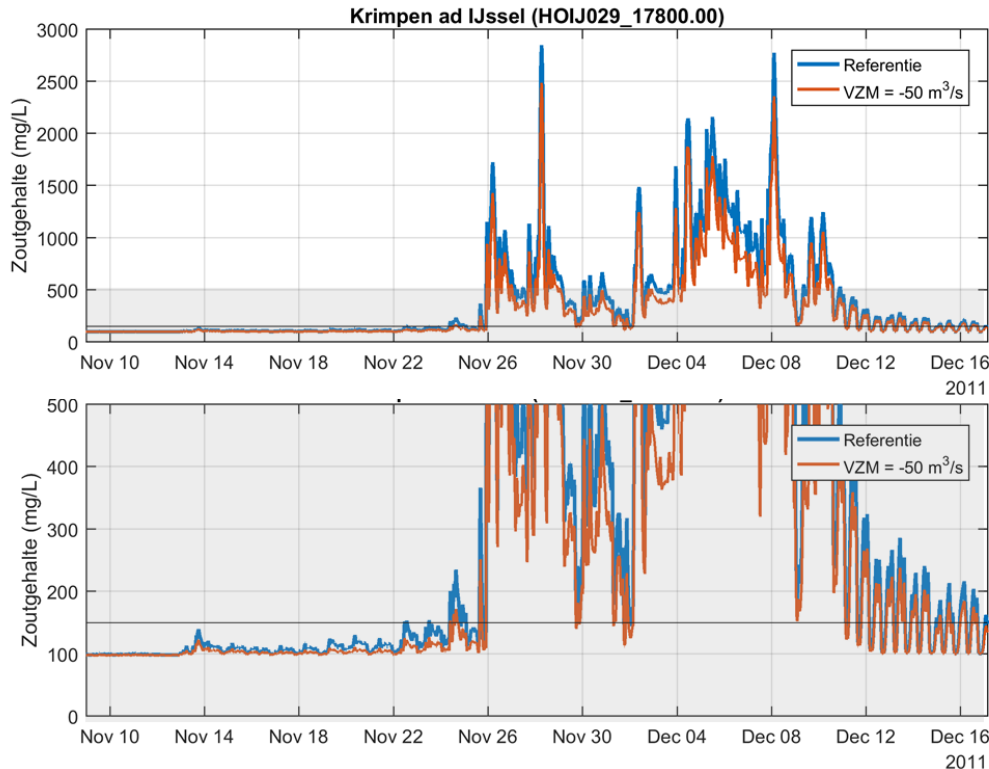
Door de grote buffercapaciteit in het Haringvliet en het Hollandsch diep duurt het enige tijd voordat deze nieuwe afvoerverdeling zich heeft ingesteld. Pas na vier dagen is de afvoerverdeling geheel aangepast aan de nieuwe situatie.

Doordat er 50 m³/s extra door de Maasmond naar buiten stroomt, zal er minder zout de Rijn-Maasmonding binnenstromen en zal dus ook de zoutconcentratie in de Hollandsche IJssel afnemen. Omdat daarnaast de afvoer over de Nieuwe Maas met 16 m³/s toeneemt, zal deze extra tegendruk helpen om de zoutconcentraties op de Nieuwe Maas, en daarmee de Hollandsche IJssel, te verlagen. Dit zien we terug in de chlorideresultaten. Hieruit blijkt dat de maximumchlorideconcentratie in de Hollandsche IJssel nabij de stormvloedkering met 13% daalt (22 mg Cl/liter) daalt, in de monding van de Hollandsche IJssel en op de Nieuwe Maas bij de van Brienoordbrug met zo'n 20% daalt en op de Nieuwe Waterweg met 3%.

Omdat zoutconcentraties met een vertraging reageren op veranderingen in de hydrodynamica, zien we dat het geruime tijd duurt voordat de chlorideconcentraties een nieuw evenwicht bereiken en dat deze periode langer is dan voor de hydrodynamica. Hierbij is de aanpassingstijd op de Hollandsche IJssel nabij de stormvloedkering het langst, pas na 8 getijden is meer dan 50% van de verandering bereikt (dat wil zeggen dat de daling na 8 getijden voor het eerst meer is dan 11 mg Cl/l op een totale daling van 22 mg Cl/l) en pas na 21 getijden is meer dan 90% van de verandering bereikt. De aanpassingstijden nabij de stormvloedkering in de Hollandsche IJssel zijn langer dan op de Nieuwe Maas en in de monding van de Hollandsche IJssel. Dit komt doordat veranderingen in debiet en zoutconcentratie primair op de Nieuwe Maas plaatsvinden en pas later doorwerken naar de zijtak Hollandsche IJssel.

Bovenstaande resultaten gelden voor een statische berekening, waarbij de rivierafvoer constant wordt gehouden en een cyclisch getij wordt verondersteld (zonder springtij / doottij cycli). Hierbij wordt een duidelijke afname van de chlorideconcentratie bij Krimpen aan de IJssel berekend. Ook uit de dynamische berekening van de chlorideconcentraties voor een verziltingsgebeurtenis in het jaar 2011 met en zonder onttrekking van 50 m³/s bij de Volkeraksluizen blijkt een duidelijke afname van de chlorideconcentraties bij Krimpen aan de IJssel (Figuur 5.6). Echter, voor het waterbeheer is met name de overschrijdingsduur van de 250 mg/l grenswaarde van belang. Bij deze grenswaarde wordt de regionale waterinlaat bij Gouda gestopt. Uit Figuur 5.6 blijken slechts verwaarloosbare verschillen in de overschrijdingsduur van de 250 mg/l grenswaarde.

In praktische zin lijkt er daarmee geen significant effect op te treden van het stoppen met innemen bij de Volkeraksluizen op de verzilting bij Krimpen aan de IJssel.



Figuur 5.6 Chlorideconcentratie Krimpen aan de IJssel berekend met het 1D Sobek NDB-model, voor de periode 10 november – 16 december 2011, voor de situatie met en zonder $50 \text{ m}^3/\text{s}$ onttrekking bij de Volkeraksluizen. Boven geeft het gehele bereik van zoutconcentraties, onder ingezoomd op het grijze gedeelte in de bovenste figuur (tot 500 mg/l).

5.5 Conclusies

Bij lage rivierafvoeren en dreigende verzilting van het benedenriviereengebied, wordt doorspoeling van het Volkerak-Zoommeer in de praktijk in onderling overleg gestaakt. Uit een recente studie is gebleken dat een doorspoelstop een zeer klein effect heeft op verzilting van de noordrand: de overschrijdingsduur van de 250 mg/l grens voor inname bij Gouda werd in een dynamische modelberekening nauwelijks beïnvloed. Een doorspoelstop kan wel de regionale watertekorten vergroten. Uit de analyse in dit hoofdstuk is gebleken dat het blijven doorspoelen van het Volkerak-Zoommeer regionale watertekorten maximaal met ongeveer twee derde zou kunnen terugbrengen. In deze indicatieve berekening is geen rekening gehouden met de blauwalgenproblematiek en regionale innamestops als gevolg hiervan. Omdat blauwalgenbloei ook bij doorspoelen optreedt, is het berekende effect op regionale watertekorten mogelijk een overschatting. Ook is het mogelijke effect van een doorspoelstop op achterwaartse verzilting via Spui buiten beschouwing gelaten.

6 Benodigde bufferschijf IJsselmeer/Markermeer

6.1 Introductie

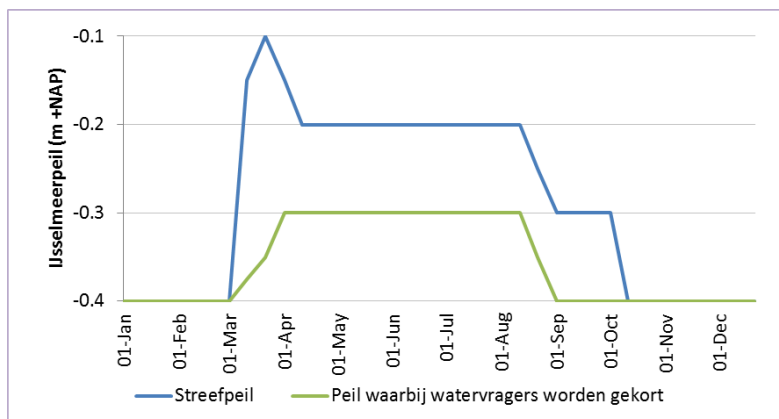
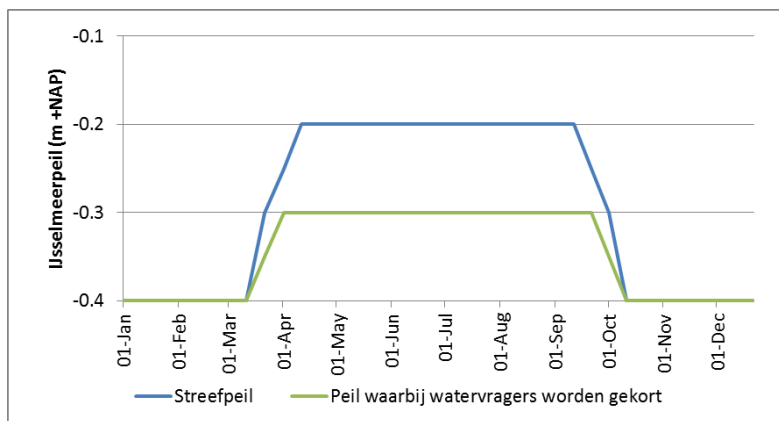
Met deze gevoeligheidsanalyse wordt inzicht gegeven in de benodigde bufferschijf IJsselmeer die in theorie nodig zou zijn om 100% van de watervraag te kunnen voorzien onder het Deltascenario Warm2050. Het IJsselmeer/Markermeer voorziet een groot deel van Nederland (Noord-Holland, Friesland, Groningen, Drenthe, Flevoland, Noordoostpolder) van zoet water ten tijde van groot neerslagtekort. Tot voor kort was de direct beschikbare buffer 10 cm, door het peil uit te laten zakken van -0,20 m NAP naar -0,30 m NAP. Verder uitzakken onder -0,30 vergt een beslissing van de Landelijke Coördinatiecommissie Waterverdeling (LCW). Met het recent ingevoerde flexibel peilbeheer van de grote meren is het streefpeil nog steeds -0,20 m NAP, maar mag het meerpeil bij dreigend zoetwatertekort gedurende het zomerhalfjaar opgezet worden tot -0,10 m. Mits het peil tijdig kan worden opgezet, is de potentiële bufferschijf hiermee vergroot naar 20 cm.

Het vorige peilbeheer van het IJsselmeer werd in het Nationaal Water Model als volgt opgelegd: een zomerstreefpeil van -0.20 m NAP, een winterstreefpeil van -0.40 m NAP en prioritering volgens Figuur 2.1. Met de prioriteringsregels worden de afspraken tussen waterbeheerders over de waterverdeling tijdens zeer droge periodes en een situatie van waterschaarste nagebootst. Naarmate het IJsselmeerpeil lager wordt krijgt het peilbeheer van het IJsselmeer/Markermeer een hogere prioriteit ten opzichte van de andere vragers (zoals doorspoelen, beregenen, industrie). Bij het minimum peil (-0.40 m NAP) wordt al het beschikbare water gebruikt om te voorkomen dat het peil verder uitzakt ten gevolge van verdamping, en worden alle andere gebruikers gekort, in de veronderstelling dat verder uitzakking de veiligheid (o.m. stabiliteit van dijken, funderingen) in gevaar brengt c.q. onomkeerbare schade oplevert. De doorspoelvraag van het IJsselmeer zelf om oplading met zout als gevolg van zoutindringing via de Afsluitdijk te voorkomen is in het model ingesteld op 10 m³/s.

Omdat het model geen voorspelmodus heeft, kan het niet inspelen op een eventuele droge periode en indien nodig het peil verder opzetten. Het peilbeheer is in het model wel iets aangepast (zie figuur) om rekening te houden met een tijdelijke opzet ten behoeve van natuur bij de start van het zomerseizoen, en iets eerder uit te zakken naar winterstreefpeil conform het nieuwe (flexibele) peilbesluit.

NB. In de nieuwe berekeningen met het Nationaal Water Model (Basisprognoses 2018), die recent beschikbaar zijn gekomen, is ervoor gekozen om het 'streefpeil' in het model in te stellen op -0,10 m (Hunink et al. 2019). De consequentie hiervan is dat het peil ook in een normaal jaar opgezet wordt, terwijl dat in de praktijk niet zal gebeuren. Omdat we voor het Deltaprogramma Zoetwater alleen geïnteresseerd zijn in de droge jaren, is deze aanname acceptabel. Als de gevoeligheidsanalyse herhaald zou worden met deze nieuwe instellingen zou het peil 10 cm hoger uitkomen. De berekende benodigde bufferschijf verandert hiermee niet.

Uit eerdere berekeningen met het Nationaal Water Model (oude peilbeheer) bleek dat het IJsselmeerpeil in Deltascenario Warm2050 in 5 van de 100 jaar meer dan 10 cm uitzakt met watertekorten van meer dan 5% van de vraag. Het gaat om de jaren 1921, 1976, 1947, 1949 en 2003 in het Deltascenario Warm2050. Voor deze jaren is opnieuw berekend hoever het peil zou uitzakken als alle watervragers altijd voorrang krijgen boven het handhaven van het IJsselmeerpeil. Dit geeft inzicht in de benodigde bufferschijf als het doel is om in (zeer) droge jaren in alle watervraag te voorzien.



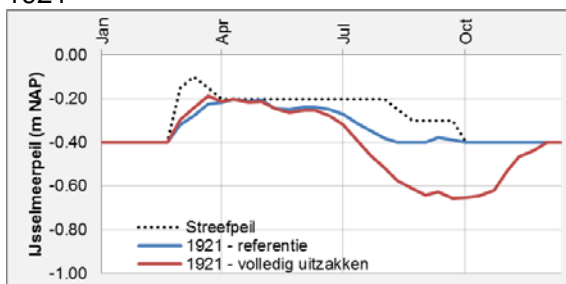
Figuur 6.1 Peilbeheer in het Nationaal Water Model: oude peilbeheer (boven) en flexibel peilbeheer (onder).

6.2 Resultaten en discussie

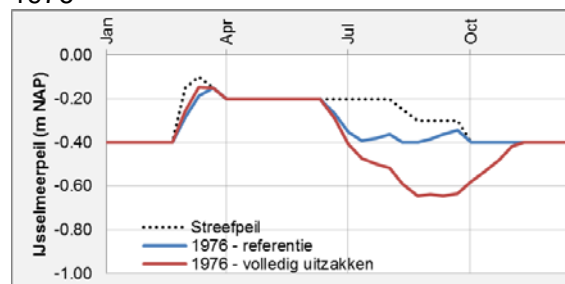
Het peil van het IJsselmeer zakt in de berekening zoals verwacht in de alle jaren verder uit dan wanneer uitgegaan wordt van een peilbeheer waarbij gebruikers gekort worden <0,30 m NAP (Figuur 6.2 en Tabel 6.1). Het volledig laten uitzakken is een manier om erachter te komen hoeveel totale buffer nodig zou zijn om te voorkomen dat tekorten optreden. In de meest extreme jaren 1921 en 1976 zakt het peil uit tot ongeveer -0,65 m NAP. Dit is 25 cm onder het minimum peil van -0,40 m. De uitzakking vindt in deze jaren plaats aan het eind van het zomerseizoen, met het laagste peil in september. De benodigde buffer is in deze jaren 45 cm (afgerond).

Met het recent ingevoerde flexibel peilbeheer is het mogelijk om het peil in een droog jaar op te zetten naar -0,10 m +NAP, mits er tijdig geanticipeerd kan worden op een aankomende droogte. De maximaal beschikbare bufferschijf neemt hierdoor toe naar 20 cm (tussen -0,10 m en -0,30 m NAP). Met het nieuwe peilbeheer en de optie 'volledig uitzakken' zou het peilverloop in de berekeningen 10 cm hoger uitkomen. De berekende benodigde bufferschijf blijft gelijk.

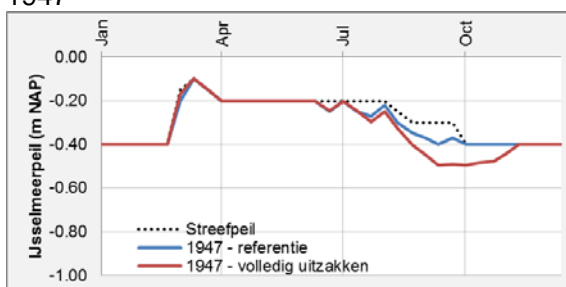
1921



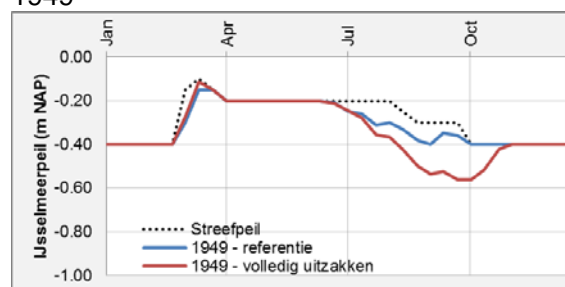
1976



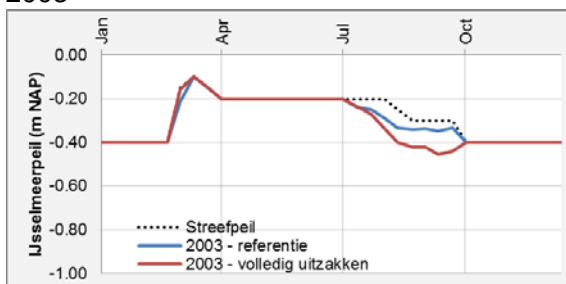
1947



1949



2003



Figuur 6.2 Berekend peilverloop IJsselmeer voor 5 jaren in Deltascenario Warm2050: met flexibel peilbeheer en 'volledig uitzakken'.

Tabel 6.1 Minimum peil IJsselmeer en benodigde bufferschijf bij 'volledig uitzakken' in de 5 meest extreme jaren in Deltascenario Warm2050; benodigde buffer is berekend als het maximale verschil met het zomerstreefpeil van -0,20 m NAP en berekend over het zomerhalfjaar.

jaar	1921	1947	1949	1976	2003
Minimum peil zomerhalfjaar (m +NAP)	-0.64	-0.50	-0.54	-0.65	-0.45
Benodigde buffer (m)	0.46	0.30	0.36	0.45	0.25

6.3 Conclusies

Uit eerdere analyses is gebleken dat in 4 van de 100 jaar (Deltascenario Warm2050) een bufferschijf van ongeveer 20 cm gebruikt wordt, waarbij meer dan 5% van de vraag niet geleverd kan worden. Om de tekorten in deze jaren te voorkomen volgt uit de analyses in dit hoofdstuk dat een bufferschijf nodig zou zijn van 30 tot 45 cm (afgerond). Dit is 10 tot 25 cm extra bufferschijf ten opzichte van de bufferschijf van 20 cm die nu met flexibel peilbeheer maximaal (direct) beschikbaar is. De benodigde bufferschijf neemt verder toe als ervoor gekozen wordt om in deze extreme jaren extra water aan te voeren via Driel ten behoeve van het zoet houden van de Lek (zie Hoofdstuk 3) en naar het Noordzeekanaal ten behoeve van de zout-mitigerende maatregel Selectieve Onttrekking (zie Hoofdstuk 4). Dit vraagt nader onderzoek.

7 Referenties

Bijlsma., A., 2017. Samenvatting Delft3D berekeningen voor droge periode 2003 voor het NZK en ARK. A. Bijlsma, Deltares memo 11200215-000-HYE-0006, Delft.

Gijsbers, P. en Ten Velden, C., 2017. Validatie QWAST-Nederland: Quick Water Allocation Scanning Tool voor inzet in Knelpuntenanalyse 2.0. Deltares rapport 11200588-025, Delft.

Huismans, Y., 2016. Systeemanalyse Rijn-Maasmonding: analyse relaties noord- en zuidrand en gevoeligheid stuurknoppen, Deltares rapport 1230077-001, Delft.

Huismans, Y. van der Wijk, R., Fujisaki, A., Sloff, C.J., 2018. Zoutindringing in de Rijn-Maasmonding - Knelpunten en effectiviteit stuurknoppen. Deltares rapport 1200589-001, Delft.

Hydrologic, 2018a. Verzilting op de Lek: Onderzoek naar de inzet van Stuw Hagestein voor het bestrijden van verzilting op de Lek. Rapport P954, Hydrologic, Amersfoort

Hydrologic, 2018b. Vervolgonderzoek kosten en effecten permanente oostelijke zoetwateraanvoer voor West-Nederland, Hydrologic rapport P950. Amersfoort.

Kramer, N., 2017. Adaptief of robuust ontwerpen SO-IJ in verband met klimaatverandering. Deltares memo 11200588-008, Delft.

Kuijper, K., 2015. Analyse debiet- en zoutmetingen Hollandsche IJssel. Deltares rapport 1220106-003, Delft.

Mens, M.J.P., R. van der Wijk, N. Kramer, J.C. Hunink, J. de Jong, B. Becker, P. Gijsbers, C. ten Velden, 2018a. Hotspotanalyses voor het Deltaprogramma Zoetwater - Inhoudelijke rapportage. Deltares rapport 11202240-004, Delft.

Mens, M.J.P., Prinsen, G., Hunink, J., Bachmann, D., Snippen, E. Delsman, J. 2018b. Analyse van de 100-jarige reeks ten behoeve van de Knelpuntenanalyse Zoetwater 2017. Deltares rapport 11202240, Delft.

Mens, M.J.P., Van den Boogaard, H., Buschman, F. en Nolte, A., 2018c. Eenvoudige zoutrelaties voor snelle zoetwateranalyses: Onderdeel van KPP-project Systeemanalyse Verzilting 2017. Deltares rapport 11200589-002, Delft.

Van Der Kaaij, T., De Goede, E., 2011. 3D modellering van zoutverspreiding in het Noordelijk Deltabekken, Deltares rapport 1201226-002, Delft.

Van der Kaaij, T., 2016. Onderzoek kierprogramma Haringvliet, verziltingssituatie monding Hollandsche IJssel. Deltares memo 1221159-000, Delft.

Verbruggen, W., 2017. Aanvullende berekeningen effectiviteit selectieve onttrekking 2003, Wilbert Verbruggen, Deltares concept memo 11200215-000-HYE-0003, Delft.

Waterakkoord Volkerak-Zoommeer, 2016.

Witteveen+Bos, 2010. Nadere verkenning alternatieve zoetwatervoorziening West-Brabant, Tholen en St . Philipsland, Witteveen+Bos rapport HT367-1, Deventer.

A Modelinstrumentarium

A.1 Inleiding

Voor een compleet beeld van de mogelijke effecten van maatregelen op de waterverdeling en watertekorten is het belangrijk om naar meerdere droge jaren te kijken, die verschillen in mate en timing van de droogte. NWM heeft hierbij de voorkeur, omdat dit de meest realistische inschatting geeft. Het was echter niet haalbaar om alle maatregelvarianten door te rekenen met NWM voor meerdere droge jaren. Er is daarom gekozen voor een combinatie-aanpak: met NWM zijn twee droge jaren (1976 en 2003) onder het Deltascenario Warm2050 doorgerekend, en met QWAST is een 100-jarige reeks doorgerekend om inzicht te krijgen in de statistiek. De maatregelverkenning 'NZK' is hierop een uitzondering; hiervoor is alleen met QWAST gerekend uit praktische overwegingen. De maatregelverkenning 'Doorspoelstop VZM' is alleen met NWM geanalyseerd, omdat hiervoor een koppeling met een zoutmodel nodig was; dit is met QWAST nog niet mogelijk. De gevoeligheidsanalyse 'benodigde buffer IJsselmeer/Markermeer' is alleen met NWM doorgerekend, omdat een 100-jarige reeks voor deze analyse niets zou toevoegen.

A.2 Nationaal Water Model

S2-som als referentie

Bij de start van de maatwerksommen waren de Basisprognoses 2018⁶ nog niet beschikbaar. Daarom is als uitgangspunt de vorige 100-jarige reeks berekening van het Nationaal Water Model genomen (deze berekeningen zijn al eerder geanalyseerd voor het Deltaprogramma Zoetwater; Mens et al., 2018b), ook wel bekend als de S2-som⁶. Hierin zitten niet:

- de geactualiseerde Deltascenario's (update wat betreft socio-economische scenario's),
- de nieuwe referentie (onder andere update van potentieel beregend areaal, aangepaste doorspoelvragen)

De S2-som bevat wel grootschalige DPfase1 maatregelen zoals KWA+ (grotere capaciteit van de Klimaatbestendige Water Aanvoer voor West Nederland).

Om de sommen met NWM te kunnen draaien is een zogenaamde maatwerk omgeving ingericht bij Deltares. Dit is in principe een kopie van de NWM-FEWS configuratie, zoals geïnstalleerd bij SSC campus ten behoeve van de Basisprognose berekeningen, maar heeft extra opties. Die extra opties maken het mogelijk om per model achter de schermen aanpassingen te doen in de modelinvoerfiles. De maatwerk omgeving maakt gebruik van de S2 database (modeluitvoer), zodat deelmodellen eenvoudig opnieuw gedraaid kunnen worden zonder dat de hele modellentrein nodig is.

Tabel A.1 geeft een overzicht van alle sommen die gedraaid zijn met NWM (maatwerk omgeving) en de belangrijkste aanpassingen in relevante parameters. De M0 som is ten eerste gedraaid om te verifiëren dat de maatwerk omgeving tot vergelijkbare resultaten leidt als de S2-som, en ten tweede om een aantal kleine aanpassingen in het hoofdwatersysteem door te voeren die beter overeenkomen met het huidige beheer.

⁶ <https://publicwiki.deltares.nl/display/NW/Zoetwater> en <https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/applicaties-modellen/applicaties-per/watermanagement/watermanagement/nationaal-water/basisprognoses-2018/>

Tabel A.1 Toelichting op de berekeningen die zijn uitgevoerd met het Nationaal Water Model.

	Referentie (A)
M0	<p>Referentiesom, wijkt af van S2-som op de volgende punten:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Flexibel IJsselmeerpeil (zoals in de nieuwe referentie van BP2018) - NZK vraag vergroot (zoals in de nieuwe referentie van BP2018) - Minimum debiet ARK bij Weesp = 25 m³/s
M1	<ul style="list-style-type: none"> • M1a = M0a file als uitgangspunt <ul style="list-style-type: none"> ○ plus MM-NZK 10-20 m³/s als S2 ○ plus Weesp 25 m³/s ○ plus aanvoer monding Lek 25 m³/s ○ extra aanvoer via Waal (Betuwepand max. 75 m³/s)
M2	<ul style="list-style-type: none"> • M2a = M0a file als uitgangspunt <ul style="list-style-type: none"> ○ plus MM-NZK 10-20 m³/s als S2 ○ plus Weesp 25 m³/s ○ plus aanvoer monding Lek 25 m³/s ○ extra aanvoer via Driel (ten laste van IJssel) (Betuwepand max. 50 m³/s)
M3	<ul style="list-style-type: none"> • M3a = M1a file als uitgangspunt <ul style="list-style-type: none"> ○ dwz M0a <ul style="list-style-type: none"> ▪ plus MM-NZK 10-20 m³/s als S2 ▪ plus Weesp 25 m³/s ▪ plus aanvoer monding Lek 25 m³/s ▪ extra aanvoer via Waal (Betuwepand max. 75 m³/s) ○ Maar in M3a geen extra aanvoer via Waal; Betuwepand capaciteit teruggezet op 50; test impact op scheepvaart Waal
M4	<ul style="list-style-type: none"> • M4a = M0a file als uitgangspunt <ul style="list-style-type: none"> ○ plus MM-NZK 10-20 m³/s als S2, met hoge prioriteit ○ plus Weesp 25 m³/s ○ flexpeil BP2017
M8	<ul style="list-style-type: none"> • M8a = M0a file als uitgangspunt <ul style="list-style-type: none"> ○ verder alleen POA = geen KWA, maar permanente oostelijke aanvoer ○ nog geen aanpassing verdeelsleutels
M9	<ul style="list-style-type: none"> • M9a = M1a file als uitgangspunt <ul style="list-style-type: none"> ○ verder alleen POA = geen KWA, maar permanente oostelijke aanvoer ○ nog geen aanpassing verdeelsleutels
M12	<ul style="list-style-type: none"> • districten die uit VZM onttrekken stoppen met onttrekking als Cl conc Krimpen > 200 mg/l • beregening Zeeland uit grondwater ipv oppervlaktewater • beregening polders Brab Delta uit oppervlaktewater • andere locatie gewenst debiet Mark • districten Dinteloord en Zevenbergen lozen op Hollands Diep ipv terug op Mark/Dintel in zomer • Mark/Dintel geen aanvoer vanuit Volkerak

	Warm (B)
M0	<ul style="list-style-type: none"> Energie koelwater Utrecht en Lateraalkanaal: 80% reductie tov S2
M1	<ul style="list-style-type: none"> M1b = M0B file als uitgangspunt <ul style="list-style-type: none"> plus MM-NZK 10-20 m3/s als S2 plus Weesp 25 m3/s plus aanvoer monding Lek 25 m3/s extra aanvoer via Waal (Betuwepand max. 75 m3/s)
M2	<ul style="list-style-type: none"> M2B = M0B file als uitgangspunt <ul style="list-style-type: none"> plus MM-NZK 10-20 m3/s als S2 plus Weesp 25 m3/s plus aanvoer monding Lek 25 m3/s extra aanvoer via Driel (ten laste van IJssel) (Betuwepand max. 50 m3/s)
M3	<ul style="list-style-type: none"> M3B = M1B file als uitgangspunt <ul style="list-style-type: none"> dwz M0b plus <ul style="list-style-type: none"> plus MM-NZK 10-20 m3/s als S2 plus Weesp 25 m3/s plus aanvoer monding Lek 25 m3/s extra aanvoer via Waal (Betuwepand max. 75 m3/s) maar extra aanvoer Betuwepand teruggedraaid; max. 50 m3/s
M4	<ul style="list-style-type: none"> M4b = M0b file als uitgangspunt <ul style="list-style-type: none"> plus MM-NZK 10-20 m3/s als S2, met hoge prioriteit plus Weesp 25 m3/s flexpeil BP2017
M8	<ul style="list-style-type: none"> M8b = M0b file als uitgangspunt <ul style="list-style-type: none"> verder alleen POA = geen KWA, maar permanente oostelijke aanvoer nog geen aanpassing verdeelsleutels
M9	<ul style="list-style-type: none"> M9b = M1b file als uitgangspunt <ul style="list-style-type: none"> verder alleen POA = geen KWA, maar permanente oostelijke aanvoer nog geen aanpassing verdeelsleutels
M12	<ul style="list-style-type: none"> districten die uit VZM onttrekken stoppen met onttrekking als Cl conc Krimpen > 200 mg/l berekening Zeeland uit grondwater ipv oppervlaktewater berekening polders Brabantse Delta uit oppervlaktewater andere locatie gewenst debiet Mark districten Dinteloord en Zevenbergen lozen op Hollands Diep ipv terug op Mark/Dintel in zomer Mark/Dintel geen aanvoer vanuit Volkerak

A.3 Quick Water Allocation Scan Tool

De Quick Water Allocation Scanning Tool (QWAST) is een snel rekenend waterverdelingsinstrument van het hoofdwatersysteem in Nederland dat gevoed wordt met dezelfde randvoorwaarden als in NWM (netto neerslag en afvoeren van de grote rivieren), en watervragen die berekend zijn met het National Water Model. QWAST heeft in dit project als doel om snel en verkennend inzicht te geven in de bovenregionale waterhuishoudkundige gevolgen van mogelijk te nemen (combinaties van) waterhuishoudkundige maatregelen onder verschillende scenario's (d.w.z. klimaat- en socio-economische ontwikkelingen). De QWAST maakt het mogelijk om knelpunten en potentiële knelpunten te scannen om zo kansrijke maatregelen te trechteren. De kansrijke maatregelen komen daarna in aanmerking voor het in meer detail doorrekenen met het complexe Nationaal Water Model (NWM).

QWAST is in 2016 door Deltares ontwikkeld op basis van RTC-Tools (softwarepakket voor het maken van waterverdelingsmodellen) en Delft-FEWS (softwarepakket voor het maken van een gebruikersschil voor gegevensbeheer, voor- en nabewerking en visualisatie). In 2017 is dit instrument verder ontwikkeld en gevalideerd met het oog op toepassing in het Deltaprogramma Zoetwater. De referentieberekening van QWAST reproduceert resultaten van NWM en is daarop gevalideerd. Dit is vastgelegd in een validatiedocument (Gijsbers en Ten Velde, 2016). Sindsdien is een aantal wijzigingen doorgevoerd in de QWAST-schematisatie ten behoeve van de toepassing in de hotspotanalyses (Mens et al., 2018a) en de toepassing in de maatregelverkenning (dit rapport).

Voor dit rapport is versie S2FP_svn128 gebruikt. Deze versie gaat uit van de watervragen en randvoorwaarden zoals berekend met het Nationaal Water Model in de S2-som (zie vorige paragraaf). In tegenstelling tot NWM heeft QWAST de mogelijkheid om het peil van het IJsselmeer en het Markermeer flexibel te beheren afhankelijk van de mate van droogte in een gesimuleerd jaar. In QWAST wordt zodoende het IJsselmeerpeil en het Markermeerpeil verder opgezet naar -0,10 m NAP als later in het zomerhalfjaar extra buffer nodig is in verband met droogte.

Tabel A.2 geeft een overzicht van de in dit rapport gebruikte QWAST-berekeningen en bijbehorende modelinstellingen.

Daarnaast is voor maatwerksom M2 (Hoofdstuk 2) de aansturing binnen QWAST aangepast, zodat de afvoerverdeling over de Rijntakken vraaggestuurd wordt. Deze versie heet S2FPRVAR_svn128 (Rijnafvoer VARIabel). In de S2FP_svn128 versie volgt de afvoerverdeling grofweg het stuwprogramma, vergelijkbaar met de manier waarop het in het Nationaal Water Model is geschematiseerd. Door de afvoerverdeling vraaggestuurd te maken zijn er meer mogelijkheden om de afvoerverdeling per (droog) jaar te optimaliseren op basis van door de gebruiker opgegeven 'constraints'. Met deze instelling kon in M2 meer water richting Nederrijn worden gestuurd ten koste van de IJssel. Uit de toepassing is echter gebleken dat deze variant nog niet het gewenste effect had en dus verder geoptimaliseerd moet worden.

Tabel A.2 Overzicht van de maatwerksommen en instellingen in QWAST.

Som	QWAST naam	Parameterinstellingen			
		Lek (Hagestein)	NZK (Oranjesluizen)	ARK (Muiden)	ARK (Weesp)
		Qmin	Qmin-Qmax	Qmin-Qmax	Qmin
M0	WARM2050_S2FP_svn128_M0	0	10-20	0-10	25
<i>Afvoerverdeling Rijntakken (Hoofdstuk 2)</i>					
M1	WARM2050_S2FP_svn128_M1	40	10-20	0-10	25
M2	WARM2050_S2FPRVAR_svn128_M2	40	10-20	0-10	25
M3	WARM2050_S2FP_svn128_M3_BP50_LH40	40	10-20	0-10	25
<i>Doorspoelvraag Noordzeekanaal (Hoofdstuk 3)</i>					
M4	WARM2050_S2FP_svn128_M4_hws100	0	10-25	7-25	25
M5	WARM2050_S2FP_svn128_M5	0	2-6	0-10	40
M10	WARM2050_S2FP_svn128_M10	0	2-6	0	40
<i>Permanente Oostelijke Aanvoer (Hoofdstuk 4)</i>					
M8	WARM2050_S2FP_svn128_M8_POA	0	10-20	0-10	25
M9	WARM2050_S2FP_svn128_M9_POA_LH40	40	10-20	0-10	25

NB. De watervraag van de IJssel-Vechtdelta is ten opzichte van LHM vergroot met een factor 1.5 (zoals in de hotspotanalyse; Mens et al., 2018a)