

**Cumulatieve effecten van externe ingrepen
voor de zoetwatervoorziening in de 21^e eeuw**
Deltaprogramma – Deelprogramma Zoetwater



**Cumulatieve effecten van externe
ingrepen voor de
zoetwatervoorziening in de 21e
eeuw**

Foto omslag <https://beeldbank.rws.nl>, Rijkswaterstaat / Joop van Houdt

1220104-000

Titel

Cumulatieve effecten van externe ingrepen voor de zoetwatervoorziening in de 21e eeuw

Opdrachtgever
RWS-WVL

Project
1220104-000

Kenmerk
1220104-000-VEB-0004

Pagina's
89

Trefwoorden

Deltaprogramma, Deelprogramma Zoetwater, klimaatverandering, watervraag, waterbeschikbaarheid, landelijke waterverdeling, waterbalans, zoetwatervoorziening, stresstest

Samenvatting

Dit rapport geeft de resultaten weer van de kwantitatieve verkenningen die in het najaar van 2014 en het voorjaar van 2015 gedaan zijn in het kader van de zogenaamde stresstest: een nader onderzoek naar de robuustheid van het Deltaplan Zoetwater. Het Ministerie van Infrastructuur en Milieu wil op verzoek van de Tweede Kamer (laten) toetsen of (en hoelang) de Voorkeursstrategie Zoetwater, zoals vastgelegd in het Deltaprogrammaboek Zoetwater, voldoet, ook als de negatieve gevolgen van klimaatontwikkeling, vergroting van de zoetwatervraag en wijzigingen in de infrastructuur zich opstapelen.

Deze Voorkeursstrategie Zoetwater omvat onder andere de volgende maatregelen:

- Extra wateraanvoer naar West-Brabant vanuit het Hollandsch Diep door de Roode Vaart;
- Extra wateraanvoer naar de Maas vanuit de Waal door het Maas-Waalkanaal (nader onderzoek naar deze optie);
- Vergroten van de capaciteit van de Kleinschalige Wateraanvoer (KWA), waarvoor extra water onttrokken wordt aan de Lek en de Waal (via het Betuwepand van het Amsterdam-Rijnkanaal (ARK);
- Alternatieve inlaatsluis Spijkenisse om de robuustheid van het Bernisse-Brielse meersysteem te vergroten; en
- Flexibel peilbeheer op IJsselmeer en Markermeer om een buffer van 20cm beschikbaar te maken voor de watervoorziening van Noord-Nederland.

In het onderzoek zijn de cumulatieve effecten op het watersysteem en op de landbouw verkend van vier externe ingrepen en ontwikkelingen die de zoetwatervoorziening (extra) onder druk zetten bij droogte. Dit is gedaan voor 4 karakteristieke jaren onder Deltascenario Warm in 2050, met een doorkijk naar 2100. Van de vier Deltascenario's die binnen het Deltaprogramma gebruikt zijn voor de toekomstverkenning combineert Deltascenario Warm de grootste totale watervraag, o.a. doordat dit scenario de grootste watervraag van de landbouw oplevert, met de meest ingrijpende klimaatverandering¹ (W+ scenario in de KNMI'06 scenario's). N.B. Het Deltascenario Stoom betekent de grootste waterbehoefte voor de drinkwatervoorziening. Qua hoeveelheid gaat dat echter om ordes minder dan de landbouwwaterbehoefte en daarom is er voor gekozen om de effecten in Deltascenario Warm te verkennen.

¹ Deltascenario Warm is gebaseerd op het klimaatscenario W+ van het KNMI uit 2006 met een nadere uitwerking uit 2009 (in dit rapport verder aangeduid als KNMI'06). Via een gevoeligheidsanalyse is ook het effect van de nieuwe KNMI'14 scenario's beschreven.

Titel
Cumulatieve effecten van externe
ingrepen voor de
zoetwatervoorziening in de 21e
eeuw

Opdrachtgever RWS-WVL	Project 1220104-000	Kenmerk 1220104-000-VEB-0004	Pagina's 89
---------------------------------	-------------------------------	--	-----------------------

Hieronder worden de vier ingrepen en ontwikkelingen gespecificeerd evenals hun verwachte individuele effect.

1. *Verdieping van de Nieuwe Waterweg tot -16,30 m NAP wat leidt tot toename van het risico op externe verzilting van West-Nederland als gevolg van het verder binnendringen van de zouttong.* Op basis van 3D zoutberekeningen met continue afvoeren (800 m³/s, 1000 m³/s of 1200 m³/s Rijnafvoer bij Lobith) is het effect van een verdieping op de chlorideconcentraties in het benedenrivieren gebied berekend als equivalent van een verminderde afvoer van de Rijn bij Lobith. Het effect van verdieping tot -16,30 m NAP komt ongeveer overeen met 50 tot 85 m³/s minder Rijnafvoer. Een mogelijke (optionele) compenserende maatregel voor het frequenter overschrijden van het gewenste chlorideniveau bij de inlaat van Gouda is een frequentere inzet van de KWA voor de wateraanvoer naar West-Nederland;
2. *Aanleg van een nieuwe zeesluis bij IJmuiden wat mogelijk leidt tot een grotere zoutlast op het Noordzeekanaal en daardoor tot een verder doordringen van de zouttong in het Noordzeekanaal (NZK) en het Amsterdam-Rijnkanaal (ARK).* Als mitigerende maatregel om verzilting van de drinkwaterwinning bij Nieuwersluis te voorkomen is aangenomen dat ca. 20 m³/s extra aanvoer vanuit Lek en Waal vereist is voor doorspoeling van ARK en NZK;
3. *Een zout Volkerak-Zoommeer wat leidt tot een extra zoutlast voor het Hollandsch Diep en het Haringvliet via de Volkeraksluizen.* We gaan er in deze verkenning van uit dat het met inzet van nieuwe methodes mogelijk is om deze zoutlast te beperken tot 20 kg/s. Dit leidt tot verhoging van de chlorideconcentratie bij inlaat Bernisse. Als alternatief voor de inzet van inlaat Bernisse wordt een (frequentere) inzet van de inlaatsluis Spijkenisse overwogen;
4. *Toename van beregening in de landbouw (mede als gevolg van vaker voorkomen van droge periodes).* Dit is binnen het onderzoek verkend als een verdubbeling van het potentieel beregend areaal (ten opzichte van het beregeningsareaal zoals dat beschreven is in Deltascenario Warm) en het intensiveren van de beregening uit grondwater en oppervlaktewater door de minimale periode tussen opeenvolgende giften te verkorten van 7 naar 5 dagen. Dat staat dus los van een eventuele verwachte ontwikkeling vanuit de sector en is een aanname voor dit onderzoek.

De ingrepen 1 t/m 3 zorgen ervoor dat het risico op verzilting toeneemt, terwijl de laatste (mogelijke) ontwikkeling een grotere watervraag tot gevolg heeft. Deze vier ingrepen en ontwikkelingen en de bijbehorende compenserende maatregelen worden verder gezamenlijk aangeduid als “de ingrepen”.

In het kader van de “stresstest” heeft RWS-WVL aan Deltares gevraagd om elf navolgende vragen te beantwoorden. Om deze vragen te beantwoorden zijn er nieuwe berekeningen uitgevoerd met het Deltamodel (o.m. situatie grondwater, oppervlaktewater en landelijke waterverdeling in Nederland, effecten voor landbouw) en het 1D Noordelijk Deltabekken model (externe verziltingssituatie in de Rijn-Maasmond). De complexiteit van de

Titel
Cumulatieve effecten van externe
ingrepen voor de
zoetwatervoorziening in de 21e
eeuw

Opdrachtgever RWS-WVL	Project 1220104-000	Kenmerk 1220104-000-VEB-0004	Pagina's 89
---------------------------------	-------------------------------	--	-----------------------

zoetwatervoorziening vereist dat er met dynamische modellen en integraal gerekend wordt. Het systeem is immers niet stationair en niet alle effecten mogen bij elkaar opgeteld worden.

In deze samenvatting beantwoorden we de gestelde vragen en presenteren we de belangrijkste inzichten die zijn verworven met de nieuwe modelberekeningen. We beantwoorden eerst vragen die betrekking hebben op de robuustheid van de watervoorziening, en daarna vragen die betrekking hebben op onzekerheden en gevoeligheden voor aannames.

De vragen ten aanzien van de robuustheid en de antwoorden daarop zijn:

- *Vraag: Onder welke droogtejaren is er een probleem en onder welke niet?*

In voorgaande analyses voor Deelprogramma Zoetwater zijn historische gegevens van 1976 gebruikt als karakteristiek voor een extreem droog jaar met een kans van voorkomen van 1/100 jaar en gegevens van 1989 als karakteristiek voor een droog jaar met een kans van 1/10 jaar. Nadeel van karakteristieke jaren is dat er geen enkel jaar is waarvoor de kans voor alle delen van Nederland en voor alle aspecten van droogte (neerslagtekort, Rijn afvoer, Maasafvoer en externe verzilting) hetzelfde is. Zo is voor 1989 de Rijn- en Maasafvoer hoger en de externe verzilting geringer dan bij een 1/10 jaar past.

Resultaten van de eerdere verkenningen voor Deelprogramma Zoetwater lieten zien dat er nu al knelpunten optreden met betrekking tot de zoetwatervoorziening in extreem droge jaren. In de gebieden waar geen wateraanvoer mogelijk is, zijn er in de huidige situatie bovendien ook in een gemiddeld of droog jaar op sommige plekken al knelpunten. Verder lieten de resultaten zien dat die problemen ongeveer gelijk blijven bij een gematigde klimaatverandering (klimaatscenario G in de Deltascenario's Rust en Druk) voor 2050 en 2100, maar dat die problemen bij een snelle klimaatverandering in 2050 en 2100 toenemen en dan ook zullen voorkomen in (niet-extreem) droge jaren.

Er zijn binnen de verkenning die de afgelopen maanden is uitgevoerd aanvullende berekeningen uitgevoerd gebaseerd op o.m. het historische jaar 1967, een gemiddeld jaar, en op het historische jaar 2003, dat wat betreft neerslagtekort vergelijkbaar is met 1989 (allebei kans van 1/10 jaar), maar dat een lagere Rijnaflow heeft waardoor er een sterkere externe verzilting optreedt. In 2003 heeft externe verzilting geleid tot sluiting van de inlaat Gouda en het in gebruik stellen van de KWA.

De resultaten van de aanvullende berekeningen laten zien dat onder het Deltascenario Warm de knelpunten in de watervoorziening in ernst toenemen en dat het aantal dagen²

² Dit aantal dagen (indicator 24 uur overschrijding of langer van het chlorideniveau) kan niet zonder meer vergeleken worden met het aantal sluitingsdagen voor Gouda of het aantal dagen waarop de inzet van de KWA nodig is. Belangrijkste reden is dat bij inzet van de KWA ook rekening wordt gehouden met bijvoorbeeld de weersverwachting, de regionale watervraag op dat moment en risico dat de zouttong het Hollandsch IJssel op wordt getrokken als gevolg van waterinname en vervolgens niet of nauwelijks weggespoeld kan worden. Dit wordt slechts beperkt meegenomen in het model. In de praktijk kan er echter aanleiding zijn de bij waarden die iets hoger of lager dan 250 mg/l liggen in te nemen of juist al te sluiten en/of de

Titel
Cumulatieve effecten van externe
ingrepen voor de
zoetwatervoorziening in de 21e
eeuw

Opdrachtgever
RWS-WVL

Project
1220104-000

Kenmerk
1220104-000-VEB-0004

Pagina's
89

waarop bij Gouda de chlorideconcentratie van 250 mg/l overschreden wordt voor 'een 2003 jaar' zal liggen tussen dat wat eerder berekend is voor een droog jaar als 1989 en voor een extreem droog jaar als 1976. De huidige capaciteit van de KWA zal in 'een 2003 jaar' onder Deltascenario Warm 2050 niet meer voldoen.

Voor de inlaat Bernisse laten de resultaten zien dat er in de huidige situatie in een gemiddeld jaar geen problemen te verwachten zijn. Zonder maatregelen en ingrepen leidt een droog jaar als 1989 onder Deltascenario Warm 2050 niet tot problemen, maar een droog jaar als 2003 en een extreem droog jaar als 1976 wel. Voor de komende decennia kan inzet van de inlaatsluis Spijkenisse hiervoor een oplossing bieden. De effectiviteit van de inlaatsluis Spijkenisse kan door klimaatverandering geleidelijk afnemen, maar deze zal naar verwachting alleen bij extreme klimaatverandering (W+) en pas na 2050 het geval zijn.

- *Vraag: Hoe verandert de inzet van de KWA(+) in aanwezigheid van de ingrepen?*

De KWA wordt in werking gesteld bij lage Rijnaftvoeren en (dreigende) verzilting in de Hollandsche IJssel waardoor er in de beheersgebieden van Hoogheemraadschappen Delfland, Rijnland en Schieland een tekort aan zoet water kan ontstaan. In 2003 en 2011 is de KWA ingezet nadat de inlaat bij Gouda in de Hollandsche IJssel gesloten was. Om mogelijke veranderingen in de frequentie en duur van de inzet van de KWA als gevolg van de ingrepen vast te stellen is daarom gekeken naar het aantal dagen dat de chlorideconcentratie op de locaties Krimpen aan de IJssel (monding Hollandsche IJssel) en Gouda 24 uur of langer het niveau van 200 mg/l resp. 250 mg/l in het zomerhalfjaar overschrijdt. De modelresultaten laten zien dat dat onder het Deltascenario Warm in 2050 de frequentie en duur van de inzet ten opzichte van de huidige situatie toeneemt. Voor een gemiddeld jaar als 1967 worden voor Deltascenario Warm in 2050 10 tot 20 dagen overschrijding in het zomerhalfjaar van het chlorideniveau bij Gouda berekend, wat duidt op geen of een beperkte inzet van de KWA. In droge jaren lijkt inzet van de KWA+ noodzakelijk gedurende 1 tot 2 maanden (niet *per se* aaneengesloten) en in extreem droge jaren gedurende 3 maanden.

De verdieping van de Nieuwe Waterweg en (in mindere mate) de extra doorspoeling voor bestrijding van extra verzilting door de nieuwe zeesluis bij IJmuiden zorgen ervoor dat frequentie en duur van de inzet van de KWA+ onder Deltascenario Warm in 2050 verder toenemen: voor een gemiddeld jaar tot 1 à 2 maanden, voor een droog jaar tot 2 à 3 maanden en voor een extreem droog jaar tot 3 à 4 maanden.

- *Vraag: Is voor het Brielse-Meersysteem de neveninlaat Spijkenisse nog steeds een alternatief voor de inlaat Bernisse als alle ingrepen worden geïmplementeerd?*

Voor de zuidrand van de Rijn-Maasmond (m.n. Spui, Haringvliet en Hollandsch Diep) is het effect van het zoutlek vanuit een zout Volkerak-Zoommeer dominant. Het effect van een verdieping van de Nieuwe Waterweg of bestrijding van extra verzilting door de nieuwe Zeesluis bij IJmuiden is naar verwachting beperkt.

KWA niet stop te zetten als deze al aanstond, maar in werking te laten, omdat de verwachting is dat de laagwaterperiode zal aanhouden.

Titel
Cumulatieve effecten van externe
ingrepen voor de
zoetwatervoorziening in de 21e
eeuw

Opdrachtgever
RWS-WVL

Project
1220104-000

Kenmerk
1220104-000-VEB-0004

Pagina's
89

De toename van de overschrijding van het chlorideniveau bij de inlaat Bernisse bij een zout Volkerak-Zoommeer kan in de huidige situatie in bijna alle gevallen opgevangen worden door gebruik van de inlaat Spijkenisse. De ingrepen hebben alleen bij zeer lage Rijnafvoeren effect op de chlorideconcentratie bij Spijkenisse. Bij deze lage afvoeren is de inlaat Spijkenisse echter toch al niet meer inzetbaar, omdat de inlaatvensters onder vrij verval dan te kortdurend worden. Overigens zullen deze lage Rijnafvoeren bij de snelle klimaatverandering in Deltascenario Warm vaker voorkomen, waardoor de inzetbaarheid van inlaat Spijkenisse af zal nemen. Naar verwachting zal in het Deltascenario Druk (matige klimaatscenario) de situatie niet anders zijn dan in de huidige situatie; de invloed van de verdieping van de Nieuwe Waterweg op de bruikbaarheid van de inlaatvensters zal vele malen kleiner zijn dan de invloed van weervariaties. Gebruik van de inlaatsluis Spijkenisse vereist 'slim watermanagement' om de korte inlaatvensters van maximaal enkele uren per getijperiode effectief te benutten. Slim watermanagement vereist adequate monitoring, voorspellingen en gegevensuitwisseling tussen waterbeheerders.

Een andere mogelijkheid is tijdelijke normversoepeling van 150 naar 200 mgCl/l voor de Bernisse-inlaat. Een maatregel die reeds voorzien is in het adaptatiepad van de Voorkeursstrategie Zoetwater, maar bij een zoute variant van het Volkerak-Zoommeer mogelijk eerder in beeld komt. Daarmee blijft naar verwachting het huidige niveau van regionale watervoorziening vanuit het Brielse Meer (kwantiteit en leveringszekerheid) nagenoeg volledig intact. Alleen voor de (hoogwaardige) industriewatervoorziening vanuit het Brielse Meer zijn dan extra maatregelen nodig conform het adaptatiepad van de Voorkeursbeslissing Zoetwater.

- *Vraag: Wat zijn de effecten van de ingrepen op de drinkwater- en industriewaterinlaatpunten?*

Resultaten van eerdere modelberekeningen laten voor de drinkwaterinlaten zien dat er voor de Deltascenario's Druk en Rust voor de zichtjaren 2050 en 2100 weinig veranderingen te verwachten zijn ten opzichte van de huidige situatie: de norm voor het zoutgehalte van het inlaatwater wordt niet of slechts een beperkt aantal dagen overschreden in een gemiddeld en in een droog jaar. De ingrepen hebben hier slechts beperkt effect op.

In de Deltascenario's Warm en Stoom nemen het aantal sluitingsdagen (voor oppervlaktewaterwinning) en de jaargemiddelde zoutconcentraties (voor oeverinfiltratie) in alle typen droogtejaren aanzienlijk toe. In dat geval zullen de ingrepen leiden tot een verdere toename van de verzilting.

De extra onttrekking aan de Waal voor het doorspoelen van het Amsterdam-Rijnkanaal voor de nieuwe zeesluis bij IJmuiden leidt in de modelresultaten tot een beperkte toename van minder dan 10 dagen van het aantal sluitingsdagen van innamepunten in het benedenrivierengebied. Verdieping in de Nieuwe Waterweg tot ca. -16,3 m NAP voegt hieraan voor de noordrand (Nieuwe Waterweg, Nieuwe Maas, Noord en Lek) nog een halve maand extra sluiting toe. Mogelijk is de verzilting van de Lek te beperken door een minimum afvoer over de stuw Hagestein te handhaven. Aanbevolen wordt dit nader te onderzoeken.

Titel
Cumulatieve effecten van externe
ingrepen voor de
zoetwatervoorziening in de 21e
eeuw

Opdrachtgever
RWS-WVL

Project
1220104-000

Kenmerk
1220104-000-VEB-0004

Pagina's
89

Als de Haringvlietsluizen bij lage afvoeren langdurig gesloten zijn, zal de zoutlekage bij een zout Volkerak-Zoommeer leiden tot extra verzilting van Hollandsch Diep, Haringvliet en Spui. De modelresultaten laten zien dat dit leidt tot aanzienlijke extra verzilting van de locaties langs deze wateren. Het heeft echter geen significant effect op sluitingsdagen en jaargemiddeldeconcentraties van locaties aan de Lek of Hollandsche IJssel.

De effecten van de ingrepen op industriewaterinlaatpunten zijn hetzelfde als die voor drinkwaterinlaatpunten. De effecten op de belangrijke aanvoer via het Brielse Meer naar het Botlek gebied zijn bij de vorige vraag beschreven.

- *Vraag: Wat zijn de gevolgen van meer berekening voor de (benodigde) peilen of capaciteiten indien sprake is van verdubbeling van het potentieel beregend areaal en vaker beregenen in de toekomst?*

Intensiever beregenen heeft als doel het verminderen van de landbouwschade. Dat is in de berekeningen bereikt door verdubbeling van het potentieel beregeningsareaal en het verkorten van de periode tussen twee berekeningen in. Hierdoor kan vaker en meer worden beregend. In de extra watervraag kan worden voorzien door middel van o.a. inzet van de uitgebreide KWA en aanspreken van de extra bufferschijf van het IJsselmeer.

Een verdubbeling van het potentieel beregend areaal en vaker beregenen kan in droge en extreem droge jaren op de Hoge Zandgronden leiden tot het verder dalen van de grondwaterstand met enkele decimeters (een daling tot 50 cm is mogelijk). Dit is een extra daling ten opzichte van het klimaateffect, dat in deze gebieden al circa 30-40 cm is (GLG).

De verwachting is dat een extra schijf van enkele decimeters op zowel het IJsselmeer als het Markermeer nodig is om de aanvoer naar de beregende arealen te vergroten in Deltascenario Warm in 2050. In extreem droge jaren ontstaan er dan nog wel tekorten in de berekening; deze tekorten worden veroorzaakt door de beperkte aanvoercapaciteit die gedimensioneerd is op een droog-jaarsituatie (uitgangspunt).

De maximaal benodigde capaciteit voor de KWA wordt op basis van de piekwatervraag van de Hoogheemraadschappen Rijnland en De Stichtse Rijnlanden voor een droog jaar in 2050 onder Deltascenario Warm op ca. 25-35 m³/s geschat. Voor een extreem droog jaar is naar schatting ca. 40 m³/s nodig als het potentieel beregeningsareaal wordt verdubbeld.

- *Vraag: Wat levert een doorkijk naar 2100 voor Deltascenario Warm op?*

Bij een doorkijk naar 2100 worden de onzekerheden in het scenario en in de resultaten van berekeningen groter. Toch kan wel geconcludeerd worden dat er onder Deltascenario Warm voor 2100 aanvullende maatregelen noodzakelijk zijn. De uitbreiding van de capaciteit van de KWA de huidige 7 – 10 m³/s naar 15 m³/s zal dan niet meer voldoende zijn voor handhaving van het huidige niveau van leveringszekerheid in het zomerhalfjaar. Indicatieve berekeningen geven aan dat uitbreiding tot 24 m³/s gewenst is vanuit de waterbehoefte in West-Nederland in een (extreem) droog jaar onder Deltascenario Warm. De modelresultaten laten een verhoging van de chlorideconcentraties zien, waardoor we verwachten dat de frequentie en duur van de inzet van de KWA+ onder Deltascenario

Titel
Cumulatieve effecten van externe
ingrepen voor de
zoetwatervoorziening in de 21e
eeuw

Opdrachtgever RWS-WVL	Project 1220104-000	Kenmerk 1220104-000-VEB-0004	Pagina's 89
---------------------------------	-------------------------------	--	-----------------------

Warm in 2100 verder zal toenemen. Ook in een gemiddeld jaar wordt dan het inzetten van de KWA sowieso noodzakelijk. De inzet van KWA+ wordt ook nog eens frequenter en langduriger door de verdieping van de Nieuwe Waterweg en extra doorspoeling van het ARK, terwijl extra capaciteit nodig is als het beregeningsareaal wordt vergroot. Ook de bufferschijf van 20 cm op IJsselmeer en Markermeer voldoet in Deltascenario Warm 2100 niet meer om het watertekort niet toe te laten nemen in een droog jaar (1989). Daarvoor zou een bufferschijf van ca. 40 cm noodzakelijk zijn. Voor een extreem droog jaar (1976) zou in Deltascenario Warm in 2100 de bufferschijf van 40-50 cm onder Deltascenario Warm in 2050 moeten worden vergroot naar ruim 80-90 cm in het IJsselmeer plus 40 cm in het Markermeer. Grotere bufferschijven zullen nodig zijn als er meer vraag naar oppervlaktewater voor beregening ontstaat. Zo was al berekend dat een verdubbeling van het potentieel beregend areaal kan leiden tot een toename van de vereiste bufferschijf met enkele decimeters in 2050 bij sterke klimaatverandering; onder Deltascenario Warm in 2100 zal dit nog groter zijn. Uiteraard zeggen deze rekenuitkomsten niets over de wenselijkheid van een dergelijke bufferschijf, noch over de vraag of het fysisch mogelijk is dergelijke bufferschijven op te bouwen. Ook zijn in het Deltaprogramma Zoetwater maatregelen benoemd om de watervraag te verminderen.

Antwoorden op de vragen ten aanzien van onzekerheden en de gevoeligheid voor aannames zijn:

- *Vraag: Blijft de conclusie staan dat een zoute variant van het Volkerak-Zoommeer geen effect heeft op de noordrand?*

Op basis van het onderzoek van Van der Kaaij & Uittenbogaard (2011) wordt geconcludeerd dat een extra zoutlast van 20 kg zout/s als gevolg van een zout Volkerak-Zoommeer niet of nauwelijks effect heeft op de noordrand van de Rijn-Maasmond (waaronder de Hollandsche IJssel en inlaat Gouda). De verwachting is dat dit in het Deltascenario Warm ook in 2050 het geval is voor de locaties Krimpen en Gouda; dit houdt in dat de frequentie van het sluiten van de inlaat Gouda c.q. de inzet van de KWA om West-Nederland van water te voorzien als gevolg van die ingreep niet of nauwelijks verandert.

- *Vraag: Wat is de gevoeligheid van de modeluitkomsten voor de manier waarop de verdieping in de Nieuwe Waterweg in het model beschreven is?*

Het modelinstrumentarium waarmee de nieuwe berekeningen zijn uitgevoerd omvat geen 3D model dat stroming en menging van water met verschillende dichtheden kan beschrijven op basis van de fysische processen. Dat is wel noodzakelijk om de invloed van de ingrepen op de verzilting van de Rijn-Maasmond betrouwbaar te kwantificeren. Het 1D NDB (Noordelijk Delta Bekken) model is afgeregeld op de huidige situatie en voldoet daarmee voor de beschrijving van situaties waarbij de geometrie van de Rijn-Maasmond niet verandert.

Om toch ook een uitspraak te kunnen doen over het effect van verdieping van de Nieuwe Waterweg is het gevolg van deze ingreep voor 1D modeltoepassing vertaald in een equivalente afname van de Rijnafvoer bij Lobith (dQ) op basis van de resultaten van

Titel

Cumulatieve effecten van externe ingrepen voor de zoetwatervoorziening in de 21e eeuw

Opdrachtgever
RWS-WVL

Project
1220104-000

Kenmerk
1220104-000-VEB-0004

Pagina's
89

eerdere 3D berekeningen (met continue afvoer en harmonische getijden) uitgevoerd door bureau Svašek Hydraulics in opdracht van het Havenbedrijf Rotterdam. Er is hierbij gekeken naar het verschil in chlorideconcentratie berekend voor locatie Krimpen aan de IJssel en naar het verschil in Rijnafoer waarmee dit zelfde concentratieverschil wordt bereikt. Deze aanpak houdt in dat de modelresultaten gebruikt kunnen worden om een inschatting te krijgen van het effect op locatie Krimpen aan de IJssel en Hollandsche IJssel en voor bijvoorbeeld de Lek alleen met grote voorzichtigheid. Voor de zuidrand van de Rijn-Maasmond zijn deze resultaten niet bruikbaar.

Het Havenbedrijf Rotterdam is voornemens vergunning te vragen voor een verdieping tot NAP-16,3 m. Omdat eerder werd gedacht aan een verdieping tot -17m NAP zijn voor beide situaties berekeningen uitgevoerd.

Voor een verdieping tot -17m NAP kan uit de resultaten van de 3D berekeningen bij verschillende afvoeren een dQ van $-100 \text{ m}^3/\text{s}$ (Rijnafoer bij Lobith) afgeleid worden; dit houdt in dat een chlorideconcentratie van 200 mg/l die zich bij Krimpen aan de IJssel in de huidige situatie zonder verdieping van de Nieuwe Waterweg voordoet bij een Rijnafoer van ca. $1000 \text{ m}^3/\text{s}$, in de situatie met aanwezigheid van een verdieping zich al bij ca. $1100 \text{ m}^3/\text{s}$ voordoet (een verschuiving in de afvoer dus van $100 \text{ m}^3/\text{s}$ (d.w.z. $dQ = -100 \text{ m}^3/\text{s}$)). Voor een verdieping tot -16,3 m NAP varieert de dQ afhankelijk van de afvoer tussen -50 en $-85 \text{ m}^3/\text{s}$. Uitgaande van een gevoeligheidsanalyse is in dit onderzoek het effect van een mogelijke verdieping met een equivalent dQ van $-50 \text{ m}^3/\text{s}$ en dQ van $-100 \text{ m}^3/\text{s}$ verkend. Gezien de onvolkomenheden van de gevolgde methode zijn de berekeningen wel geschikt om een inschatting van het effect te krijgen, maar wordt aanbevolen in de lopende systeemanalyse (apart onderzoek) voor de Rijn-Maasmond de methode te verbeteren.

Er is gevonden dat onder Deltascenario Warm in 2050 een dQ van $-50 \text{ m}^3/\text{s}$ leidt tot ongeveer 20 extra dagen overschrijding van het chlorideconcentratieniveau bij Gouda en een dQ van $-100 \text{ m}^3/\text{s}$ tot ongeveer 30 extra dagen.

- *Vraag: Wat is de gevoeligheid voor een grotere/kleinere zoutlast uit een zout Volkerak-Zoommeer?*

Eerder Deltares onderzoek stelt dat een zoutlast van 20 kg zout/s leidt tot een verhoging van de chlorideconcentratie bij Bernisse, als de Haringvlietsluizen gesloten zijn en met een Rijnafoer van $800 \text{ m}^3/\text{s}$, met maximaal 55 mg Cl/l . Deze verhouding is lineair, dus bij een verdubbeling van de zoutlast zal de maximale concentratieverhoging ook twee keer zo groot zijn.

Zonder zoutlekbeperkende maatregelen bij de Volkeraksluizen zou de zoutlast ongeveer 480 kg zout/s bedragen. Om de zoutlast te beperken tot ca. 10% daarvan moet een combinatie van bestaande en nieuwe technieken toegepast worden, en daarbij is $25 \text{ m}^3/\text{s}$ aan zoet water nodig. Verdere verlaging van de zoutlast tot 20 kg/s , bij hetzelfde debiet aan zoetwater, lijkt haalbaar bij inzet van aanvullende maatregelen op basis van nieuwe technieken. Een nog verdere verlaging van de zoutlekkage lijkt vooralsnog niet mogelijk zolang er geen beperkingen mogen worden opgelegd aan de schutcapaciteit.

Een grotere zoutlast dan voorzien zou kunnen optreden als de maatregelen bij de Volkeraksluizen niet de verwachte effectiviteit hebben. Dit heeft direct effect op de

Titel
Cumulatieve effecten van externe
ingrepen voor de
zoetwatervoorziening in de 21e
eeuw

Opdrachtgever
RWS-WVL

Project
1220104-000

Kenmerk
1220104-000-VEB-0004

Pagina's
89

chlorideconcentraties bij de inlaatsluizen Bernisse en Spijkenisse. Voor Bernisse zal een verdubbeling van de zoutlast leiden tot een verhoging van de chlorideconcentratie met maximaal 110 mg Cl/l (bij gesloten Haringvlietluis en Rijnafvoer van 800 m³/s). Dit zal voor inlaat Bernisse leiden tot een forse toename van het aantal sluitingsdagen bij een sluitcriterium van 150 mgCl/l, maar ook bij de inlaat Spijkenisse zal de concentratie dan vrijwel altijd boven 150 mg/l liggen.

Als een grotere zoutlast bestreden zou worden met een verdubbeling van het zoetwaterdebiet naar het Volkerak, 50 m³/s i.p.v. 25 m³/s, zou dit ten koste gaan van de uitstroom via de Nieuwe Waterweg. Daarmee neemt de zoutindringing via de Nieuwe Waterweg naar verwachting enigszins toe (voorlopig geschat op ca. 5 à 10 dagen, maar dit is afhankelijk van het scenario). Een extra doorspoeldebiet in het Volkerak-Zoommeer heeft verder nog gevolgen voor de chlorideconcentratie op het meer en de daarmee samenhangende waterkwaliteit en ecologie, maar dit valt buiten de scope van voorliggende studie.

- *Vraag: Wat zijn de gevolgen van de nieuwe KNMI'14 scenario's voor de conclusies?*

Ook in de KNMI'14 scenario's is een onderscheid te maken tussen scenario's met een gematigde (G en Gh) en met een snelle klimaatverandering (W en Wh), net als in de KNMI'06 scenario's. Wat betreft het neerslagtekort in Nederland is het gematigde KNMI'14 scenario G vergelijkbaar met het KNMI'06 scenario G dat gebruikt is in de Deltascenario's Rust en Druk. Het neerslagtekort in de scenario's met snelle klimaatverandering is in de KNMI'14 scenario's echter aanzienlijk kleiner dan in de oude scenario's. Het meest extreme Wh scenario leidt nu in 2100 tot een neerslagtekort dat vergelijkbaar is met dat in 2050 onder het KNMI'06 W+ scenario dat gebruikt is in de Deltascenario's Warm en Stoom.

Het effect van de nieuwe scenario's op de Rijnafvoer is nog niet berekend. Het is echter te verwachten dat het verschil tussen de gematigde scenario's ook hierbij beperkt zal zijn en dat de nieuwe scenario's met snelle klimaatverandering een geringere afname van de afvoer in de zomer zullen laten zien dan in het KNMI'06 W+ scenario.

De richting van de klimaatscenario's blijft dus hetzelfde, maar het tempo van de snelle klimaatverandering wordt in de KNMI'14 scenario's lager ingeschat dan in de KNMI'06 scenario's. Het belangrijkste gevolg voor de conclusies van het Deltaprogramma Zoetwater is dat maatregelen voorzien voor scenario's met snelle klimaatverandering pas later genomen zullen hoeven te worden. De adaptiepaden blijven dus hetzelfde, alleen zal de inzet van de maatregelen verder naar de toekomst verschuiven. Adaptief Deltamanagement biedt een uitstekend raamwerk voor het omgaan met deze veranderingen in de scenario's.

- *Vraag: Welke kennishiaten bestaan er nog?*

Bij de uitvoering van de werkzaamheden voor dit rapport is een aantal knelpunten geconstateerd met betrekking tot de huidige methodes en het modelinstrumentarium. Daarnaast zijn nieuwe inzichten ontstaan hoe beslissingen over de zoetwatervoorziening in Nederland in de toekomst onderbouwd kunnen worden. Dit heeft geleid tot de volgende

Titel
Cumulatieve effecten van externe
ingrepen voor de
zoetwatervoorziening in de 21e
eeuw

Opdrachtgever
RWS-WVL

Project
1220104-000

Kenmerk
1220104-000-VEB-0004

Pagina's
89

aanbevelingen met betrekking tot de beleidsanalyse, het modelinstrumentarium en de onzekerheden in het systeem:

- o Met het oog op de beheer- en beleidsopgaven voor de Rijn-Maasmond in de komende decennia wordt aanbevolen meer kennis en inzichten op te bouwen over de verziltingsprocessen en –statistiek in (delen) van hoofdwatersysteem en de factoren die hierop van invloed zijn, om zodoende in staat te zijn de onderlinge samenhang en de invloed van ingrepen en maatregelen op de verziltingsprocessen beter in beeld te brengen. Deze kennis kan onder meer verankerd worden in een goede beschrijving van het systeem en een verbeterd modelinstrumentarium (zie volgend punt).
- o Voor een aantal gedefinieerde cases zijn de 1D NDB-modeluitkomsten om de effecten van de ingreep in de gehele Rijn-Maasmond kwantitatief te bepalen niet plausibel. Zo zijn, door de manier waarop het effect van een verdieping in de Nieuwe Waterweg kon worden gemodelleerd, de resultaten voor de zuidrand (Haringvliet, Hollandsch Diep en Spui) niet bruikbaar. Ook het effect van een zout Volkerak-Zoommeer op de noordrand (Nieuwe Waterweg en Hollandsche IJssel) kon niet met het model in beeld worden gebracht. In plaats daarvan is gebruik gemaakt van deskundigenoordeel op basis van systeemkennis en van inzichten op basis van monitoringgegevens en/of door derden uitgevoerde 3D modelberekeningen uit eerdere studies. Aanbevolen wordt in een vervolgstudie de verschillende verziltingstypen die zich in de Rijn-Maasmond voordoen, met en zonder ingrepen, met een 3D model door te rekenen met een specifieke focus op de extreem lage chloriderange (100-500 mg/l). De uitkomsten van de 3D berekeningen kunnen ook gebruikt worden voor het verbeteren van de 1D NDB modellering van een verdieping in de Nieuwe Waterweg. Hierbij moet gedacht worden aan aanpassingen in het systeemmodel zelf (bodempligging, dispersie, afregelen verziltingsprocessen, e.d.) in plaats van modellering door een aanpassing van de randvoorwaarden. Idem voor verbetering van de effecten van een zout Volkerak-Zoommeer (verbeteren dispersiecoëfficiënten). Om goed de relatie met de zoetwatervoorziening te kunnen bestuderen raden wij aan om in ieder geval het NDB model (of de opvolger van dit model) te integreren in het deltamodel, of op zijn minst eenvoudige data uitwisseling te gaan faciliteren. Onderdeel van bovengenoemd onderzoek zou ook de vraag kunnen betreffen of de inzetbaarheid van Inlaatsluis Spijkenisse kan worden vergroot door water in te pompen in plaats van alleen onder vrij verval in te laten.
- o Aangezien een verdieping in de Nieuwe Waterweg een aanzienlijk effect heeft op de chlorideconcentraties op de noordrand, wordt aanbevolen het effect van een eventuele verdieping in de Nieuwe Waterweg op de frequentie van de inzet van de Kleinschalige Wateraanvoer in meer detail uit te werken. Denk aan het effect van een verdieping NWW op veranderingen in de verziltingssituatie (verschuiving verziltingsconcentraties en typen verzilting die zich voordoen) en de beslisboom voor de inzet KWA (welke locaties en drempelwaarden in bijvoorbeeld chlorideniveaus zijn maatgevend voor de inzet van de KWA, etc.)

Titel

Cumulatieve effecten van externe ingrepen voor de zoetwatervoorziening in de 21e eeuw

Opdrachtgever
RWS-WVL

Project
1220104-000

Kenmerk
1220104-000-VEB-0004

Pagina's
89

- o Met oog op de resterende kennisvragen betreffende de gevoeligheid ten aanzien van klimaatverandering en –variabiliteit wordt aanbevolen kennis en tools te ontwikkelen voor een meer risico-gebaseerde aanpak voor de zoetwatervoorziening, o.a. door het rekenen met langjarige tijdseries die de klimaatvariabiliteit en kansen en gevolgen (directe en indirecte) ten aanzien van bijvoorbeeld verschillende verziltingssituaties beter beschrijven. Ook wordt aanbevolen de nieuwe klimaatscenario's (KNMI'14) door te rekenen, zodra ook de Rijn- en Maasafvoeren die bij de verschillende scenario's horen bekend zijn en de conclusies uit dit onderzoek te updaten.
- o Dit onderzoek heeft laten zien dat de Voorkeursstrategie Zoetwater zoals vastgelegd in de Deltabeslissing Zoetwater (maatregelen en bijbehorende adaptatiepaden) nog steeds in staat is de nadelige gevolgen van een aantal ingrepen op te vangen, als er toe besloten zou worden die negatieve effecten op te vangen door gebruik te maken van de maatregelen uit de voorkeursstrategie. Als de cumulatie van effecten van mogelijke ingrepen zich inderdaad zou voordoen, ligt de keuze voor om maatregelen eerder uit te voeren. Ook kunnen reeds getroffen maatregelen/voorzieningen vaker ingezet worden. De nieuwe klimaatscenario's (KNMI'14) laten daarentegen zien dat maatregelen voorzien voor scenario's met snelle klimaatverandering later in de tijd genomen zullen hoeven te worden. Dit past goed bij de Adaptief Deltamanagement benadering die gericht is op het omgaan met deze veranderingen in de scenario's. Omdat monitoring van ontwikkelingen en veranderingen ten behoeve van het uitoefenen van Adaptief Deltamanagement relatief nieuw is (denk aan het definiëren en bepalen van signposts en trigger waarden), wordt aanbevolen hier de komende jaren kennis voor te ontwikkelen.

Status

definitief

Inhoud

1 Inleiding	1
1.1 Achtergrond	1
1.2 Verzoek	2
1.3 Over dit rapport	3
1.4 Leeswijzer	3
2 Ingrepen die effect hebben op de verzilting	5
2.1 Zoutindringing in West-Nederland	5
2.1.1 Gevoeligheid karakteristiek 1/10 jaar	7
2.1.2 Gevoeligheid nieuwe klimaatscenario's	9
2.2 Grote Nieuwe Zeesluis IJmuiden	10
2.2.1 Grote Nieuwe Zeesluis leidt tot aanpassing gewenst debiet Amsterdam-Rijnkanaal	10
2.2.2 Grote Nieuwe Zeesluis leidt tot aanpassing minimum gewenste debieten regionale wateren	11
2.3 Verdieping Nieuwe Waterweg	11
2.3.1 Verdieping Nieuwe Waterweg en robuustheid aanvoer West-Nederland via inlaat Gouda of Kleinschalige Wateraanvoer	11
2.3.2 Verdieping Nieuwe Waterweg en robuustheid Brielse Meer- Bernisse systeem	14
2.4 Zout Volkerak-Zoommeer	15
2.4.2 Uitgangspunten voor de situatie na combinatie van de ingrepen	18
2.4.5 Uitgangspunten voor de situatie na combinatie van ingrepen	19
3 Aanpak, randvoorwaarden en uitgangspunten van de berekeningen	21
3.1 Overzicht van de externe ingrepen en maatregelen en hun invloedssfeer	21
3.2 Toegepast modelinstrumentarium	22
3.3 Gesimuleerde maatregelpakketen en scenario's	23
3.4 Vergelijking situaties en indicatoren	25
3.5 Definitie watervraag/-aanvoer	27
3.6 Ruimtelijke schaal	27
4 Hoge zandgronden	31
4.1 Effecten op de regionale watertekorten	31
4.2 Effecten op de landbouw	33
5 Rivierengebied	35
5.1 Effecten op de regionale watertekorten	35
5.2 Effecten op de landbouw	36
6 IJsselmeergebied	39
6.1 Benodigde bufferschijf voor maximale levering aan de regio	39
6.2 Effecten op de regionale watertekorten	40
6.3 Effecten op de landbouw	42
7 Benedenrivierengebied	45
7.1 Verhoging van de chlorideconcentraties in de Rijn-Maasmond	45

7.1.1	Effecten op de noordrand van de Rijn-Maasmond: locaties Gouda en Krimpen	45
7.1.2	Effecten op de zuidrand van de Rijn-Maasmond: locaties Bernisse en Spijkenisse	47
7.2	Effecten op de regionale watertekorten	49
7.3	Effecten op de landbouw	51
7.4	Verhoging van de chlorideconcentraties: effecten op de inlaatpunten voor drink- en industriewater	52
7.5	Kleinschalige Water Aanvoerroute (KWA)	54
7.5.1	Capaciteit KWA	55
7.5.2	Verandering in frequentie en duur inzet KWA	58
7.5.3	Opmerkingen	58
8	Zuidwestelijke Delta zonder aanvoer	61
8.1	Effecten op de regionale watertekorten	61
8.2	Effecten op de landbouw	62
9	Conclusies en aanbevelingen	65
9.1	Inleiding	65
9.2	Antwoorden op de gestelde vragen	66
 Bijlage(n)		
A	Literatuur	A-1
B	Overzicht uitkomsten drink- en industriewaterpunten	B-1

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

In september 2014 heeft de Deltacommissaris het advies voor de Deltabeslissing Zoetwater gepresenteerd aan de regering. De deltabeslissing moet er voor zorgen dat Nederland ook in de toekomst over voldoende zoetwater blijft beschikken: een nieuwe aanpak voor het beperken van zoetwatertekorten en het optimaal benutten van zoetwater voor economische en nutsfuncties. Dit advies is door de regering overgenomen en door de 2^e kamer geaccordeerd. De nieuwe aanpak zet in op:

- een gezamenlijke inspanning van overheden en watergebruikers;
- gerichte investeringen in het watersysteem en zuinig watergebruik; en
- beter inzichtelijk maken van de waterbeschikbaarheid voor de watergebruikers door het afspreken van voorzieningenniveaus.

Het Rijk, provincies, gemeenten en waterschappen hebben de voorgestelde deltabeslissing per deelgebied vertaald in voorkeurstategieën. De voorkeurstategie vormt voor het betreffende deelgebied het strategisch kompas voor de keuze van maatregelen en voorzieningen die voortvloeien uit de deltabeslissing. De voorkeurstategieën zetten er op in dat:

- Het hoofdwatersysteem versterkt zal worden als zoetwaterbuffer. Het gaat dan vooral om het IJsselmeer.
- Het hoofdwatersysteem versterkt zal worden als aanvoerroute voor zoetwater. Denk aan de aanvoer via het Amsterdam-Rijnkanaal naar de Kleinschalige Aanvoerroute om West-Nederland van water te kunnen voorzien als alternatief voor een gesloten inlaat bij Gouda als gevolg van verzilting tijdens laagwater periodes.
- Regio's en sectoren hun watervraag zullen verminderen door efficiënter met zoetwater om te gaan.

Tegelijkertijd zijn er allerlei ontwikkelingen gaande waarvan onbekend is wat die samen betekenen voor de zoetwatervoorziening in de 21^e eeuw. Het gaat dan om ontwikkelingen die niet opgenomen waren in de Deltascenario's, maar waarvan de verwachting is dat ze wel (extra) druk (kunnen) opleveren voor de zoetwatervoorziening omdat ze de waterbeschikbaarheid verkleinen dan wel omdat ze de watervraag verhogen.

Zo lopen er vanuit de Rijksstructuurvisie Grevelingen en Volkerak-Zoommeer, vanuit het Havenbedrijf Rotterdam en vanuit het project Zeetogang IJmond initiatieven die mogelijk kunnen leiden tot een verslechtering van de verziltings situatie en daarmee van de leveringszekerheid van de zoetwatervoorziening in Zuidwest en West-Nederland. Compenserende en mitigerende maatregelen die in beeld zijn, kunnen in de ene regio de effecten beperken, maar in andere regio's het verziltingseffect juist versterken door bijvoorbeeld onttrekking aan de Waal afvoer.

Verder zijn er nog veel onzekerheden over de watervraag vanuit de landbouwsector. De verwachting is dat het potentieel beregend areaal naar de toekomst toe wel eens uitgebreid zou kunnen worden als gevolg van drogere zomers; berekening uit grondwater en oppervlaktewater zal hierdoor toenemen. Het potentieel beregend areaal bepaalt sterk de uitkomsten voor de beregeningsvraag aan het hoofdwatersysteem en de droogteschades van de landbouw.

1.2 Verzoek

De effecten van elke ontwikkeling zijn in het kader van aparte onderzoekstrajecten onderzocht, samen met de maatregelen die eventueel nodig zijn om mogelijk nadelige effecten te mitigeren.³ (Friocourt, in voorbereiding; Ter Maat, 2014a; Ter Maat, 2014b, De Vries, 2014b; Hydrologic, 2013)). Een cumulatieve kwantitatieve effectbepaling ontbreekt echter nog. Deze effectbepaling is urgent met het oog op het verzoek van de Tweede Kamer aan de minister van Infrastructuur en Milieu voor de uitvoering van een stresstest met oog op het toetsen van de robuustheid van de zoetwaterstrategie en de gevoeligheid ten aanzien van onzekerheden in toekomstontwikkelingen en aannames.

In het kader van de stresstest zijn er door Deltares nieuwe berekeningen uitgevoerd. De complexiteit van zoetwatervoorziening vereist dat er met dynamische modellen en integraal gerekend wordt. Het systeem is immers niet stationair en niet alle effecten mogen bij elkaar opgeteld worden. Frequentie en duur van lage rivierafvoer, zoutconcentraties, ruimtelijke verdeling van vraag en aanbod, werking van maatregel etc. zijn van belang om vast te stellen of er werkelijk een watertekort is en zo ja, waar. Bovendien zijn de gevolgen per gebruiksfunctie verschillend. Daarom zijn de berekeningen uitgevoerd met het Deltamodel (o.m. situatie grondwater, oppervlaktewater en landelijke waterverdeling in Nederland, effecten voor landbouw) en het Noordelijk Deltabekken model (externe verziltingssituatie in de Rijn-Maasmond).

Naast een algemene beschrijving van de cumulatieve effecten van de ingrepen en maatregelen en de gegenereerde inzichten, is het specifieke doel van het onderzoek antwoord te geven op de volgende vragen:

- 1 Onder welke droogtejaren is er een probleem en onder welke niet?
- 2 Hoe verandert de inzet van de KWA(+) in aanwezigheid van de ingrepen?
- 3 Is voor het Brielse Meer systeem de neveninlaat Spijkenisse nog steeds een alternatief voor de inlaat Bernisse als de ingrepen worden geïmplementeerd?
- 4 Wat zijn de effecten van de ingrepen op de drink- en industriewaterpunten?
- 5 Wat zijn de gevolgen van meer berekening voor de (benodigde) peilen of capaciteiten indien sprake is van verdubbeling van het potentieel beregend areaal en vaker beregenen in de toekomst?
- 6 Wat levert een doorkijk naar 2100 voor Deltascenario Warm op?
- 7 Blijft de conclusie staan dat een zout Volkerak-Zoommeer geen effect heeft op de noordrand van de Rijn-Maasmond (waaronder de Hollandsche IJssel en inlaat Gouda)?
- 8 Wat is de gevoeligheid van de modeluitkomsten voor de manier waarop de verdieping in de Nieuwe Waterweg in het model beschreven is?
- 9 Wat is de gevoeligheid voor een grotere/kleinere zoutlast uit een zout Volkerak-Zoommeer?
- 10 Wat zijn de gevolgen van de nieuwe KNMI'14 scenario's voor de conclusies?

³ De effecten van een zoute variant van het Volkerak-Zoommeer en uitbreiding van het beregeningsareaal zijn in fase 4 van het Deelprogramma Zoetwater al verkend (Ter Maat et al, 2014b), maar nog niet in samenhang met de ingrepen die hier genoemd worden.

11 Welke kennishiaten bestaan er nog?

1.3 Over dit rapport

Dit rapport presenteert de uitkomsten van de kwantitatieve verkenning van de cumulatieve effecten van externe ingrepen die de zoetwatervoorziening (extra) onder druk zetten onder deltasceario Warm (d.w.z. snelle klimaatverandering en sociaaleconomische krimp).

De berekeningen zijn een aanvulling op berekeningen die uitgevoerd zijn in de 4^e fase van het Deltaprogramma zoals gerapporteerd in Ter Maat et al. (2014a). De nieuwe berekeningen zijn uitgevoerd in het najaar van 2014 en voorjaar van 2015, met een nieuwe versie van het Deltamodel en het Noordelijk Deltabekken model.

Voorliggend rapport is bedoeld als technisch achtergrondrapport voor Deelprogramma Zoetwater. Het rapport doet verslag van de opzet, uitkomsten en analyse van de nieuwe berekeningen en moet gezien worden als een aanvulling op het rapport van fase 4 (Ter Maat et al, 2014a). Bij het opstellen van het voorliggende rapport zijn wij ervan uitgegaan dat de lezer bekend is met de inhoud van de vorige Deltares rapporten voor Deelprogramma Zoetwater. In een tussenrapport zijn eerder de uitkomsten van de eerste berekeningen, najaar 2014, gepresenteerd (Ter Maat et al, 2015).

1.4 Leeswijzer

De indeling van het rapport is als volgt:

Hoofdstuk 2 geeft een introductie en algemene beschrijving van de ingrepen en de te verwachten individuele effecten op de verziltingssituatie in West- Nederland onder verschillende klimaatcondities gebaseerd op eerdere studies.

Hoofdstuk 3 gaat in op de aanpak van de cumulatieve kwantitatieve effectbepaling en de uitgangspunten en aannames voor de modelberekeningen. Ook beschrijft het de clustering van maatregelen en ingrepen in sommen en de omzetting van de maatregelen en ingrepen naar modelinvoer. Noties uit het fase 4 rapport die van belang zijn voor de interpretatie van de uitkomsten, zoals het Deltamodel, definitie van de zoetwatervraag, indeling van knelpunt-/adaptatiegebieden, etc. worden hier nogmaals kort beschreven.

Hoofdstuk 4 t/m 8 bespreken de resultaten van de berekeningen voor verschillende knelpunt-/adaptatiegebieden in Nederland door te kijken naar regionale oppervlaktewatervraag en -tekort, grondwaterstandveranderingen, peilverloop IJsselmeer en/of Markermeer, droogteschade voor de landbouw en sluitingsdagen van inlaatpunten. De uitkomsten zijn geclusterd rondom de volgende knelpunt-/adaptatiegebieden:

- Hoofdstuk 4: Hoge zandgronden. Het hoger gelegen deel van Nederland waar geen of maar beperkte wateraanvoer mogelijk is
- Hoofdstuk 5: Rivierengebied. Het gebied dat de gevolgen ondervindt van lagere afvoeren in de Nederrijn, het Amsterdam-Rijnkanaal, de Waal en het benedenstroomse deel van de Maas
- Hoofdstuk 6: IJsselmeergebied. Het gebied dat wordt bedreigd door watertekort uit het IJsselmeer en Markermeer (als gevolg van onvoldoende buffervoorraad) of de IJssel (als gevolg van onvoldoende afvoer)
- Hoofdstuk 7: Benedenrivierengebied. Het gebied dat wordt bedreigd door het sluiten van de waterinlaat door toename van het risico van externe verzilting in het benedenrivierengebied

- Hoofdstuk 8: Zuidwestelijke Delta zonder aanvoer. Het zuidelijke deel van de Zeeland waar geen water vanuit het hoofdwatersysteem wordt aangevoerd.
- Hoofdstuk 9 bevat de belangrijkste conclusies en aanbevelingen. Dit hoofdstuk is gelijk aan de samenvatting voorin dit rapport.

2 Ingrepen die effect hebben op de verzilting

Dit hoofdstuk geeft een korte beschrijving van de ingrepen en een indicatie van de te verwachten individuele effecten gebaseerd op eerdere studies. De eerste paragraaf geeft een algemene beschrijving van het zoutindringingsproces en de gevoeligheid van het voorkomen van verzilting ten aanzien van klimaatvariabiliteit- en klimaatverandering. Achtereenvolgens wordt ingegaan op: de grote nieuwe zeesluis (paragraaf 2.2), de verdieping in de Nieuwe Waterweg (paragraaf 2.3) en de zoute variant van het Volkerak-Zoommeer (paragraaf 2.4) en hun verwachte effect op de verzilting.

Onderstaande tekst is een bewerking/update van de literatuurstudie die in het kader van de “Verkenning effecten van ingrepen en maatregelen op de verzilting in West-Nederland” (Ter Maat, 2014) is uitgevoerd en de memo “Kwantitatieve analyse effect nieuwe KNMI'14 scenario's voor de Deltabeslissingen” (Ter Maat en Van der Vat, 2014).

2.1 Zoutindringing in West-Nederland

Het indringen van zout is een natuurlijk proces in estuariene gebieden (bijv. Rijn-Maasmonding), dat het gevolg is van getijbeweging en van dichtheidsverschillen tussen zoet- en zoutwater. Het speelt ook bij afgedamde rivierarmen langs de kust op het moment dat er voorzieningen aanwezig zijn ten behoeve van het passeren van schepen of vissen (bijv. Noordzeekanaal via de schutsluizen van IJmuiden).

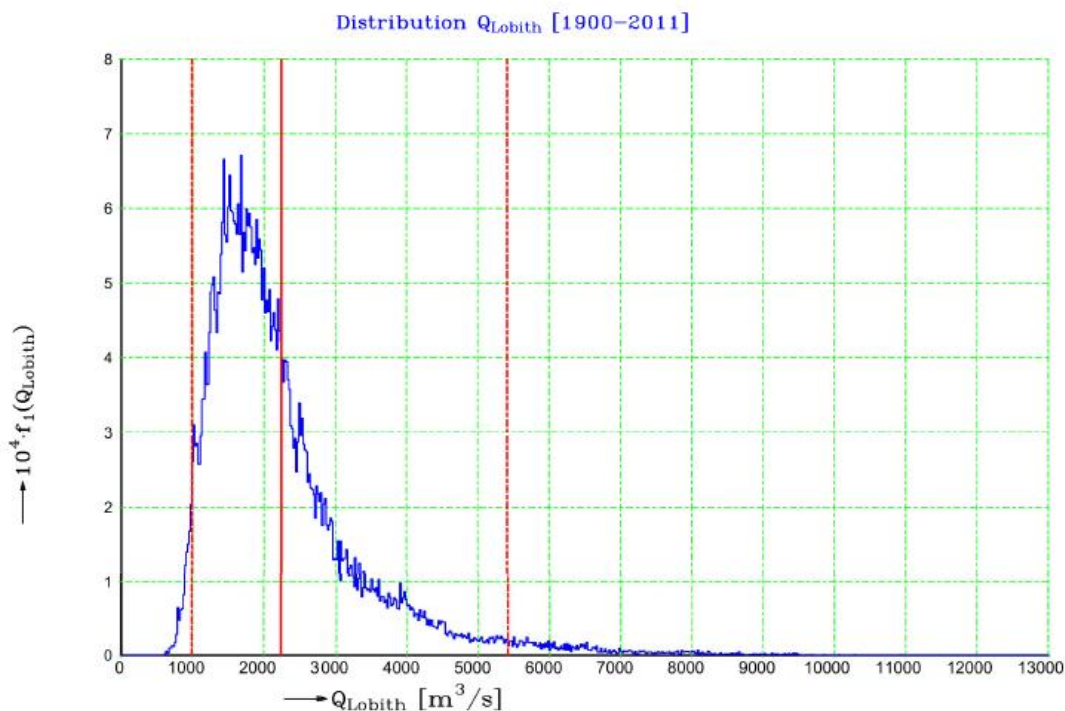


Figuur 2.1 Overzicht van het gebied met belangrijke sleutellocaties.

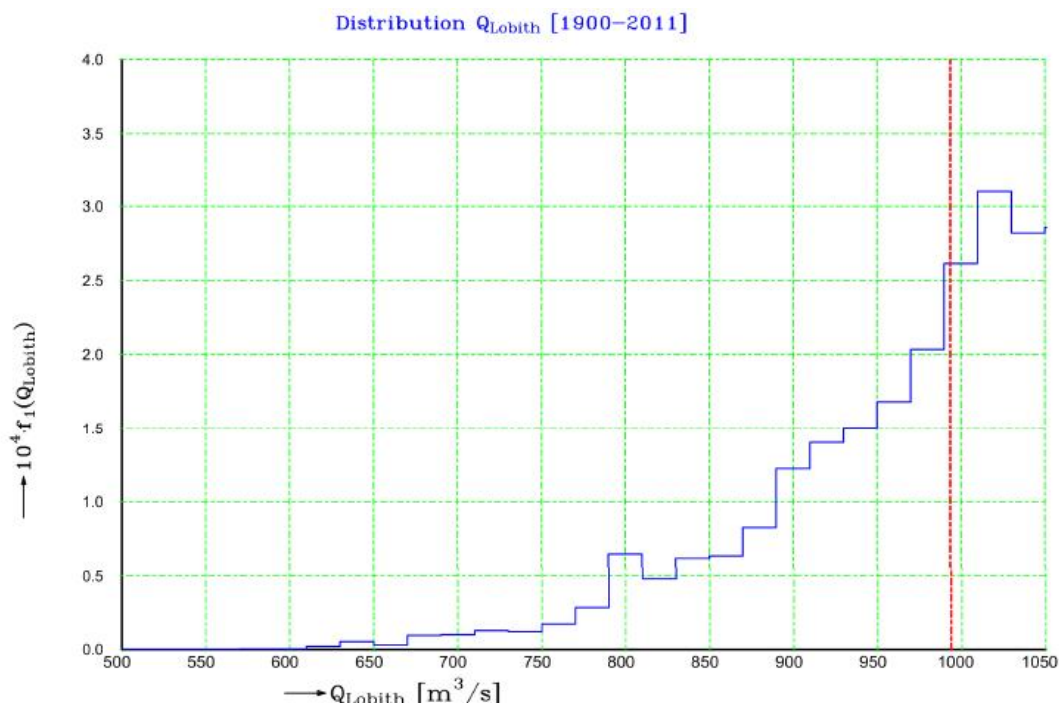
In Nederland wordt voor het tegengaan van zoutindringing in het algemeen sterk gebruik van een gecontroleerde verdeling van zoetwater tussen de verschillende rivierarmen. Alleen op

het moment dat de aanvoer vanuit de grote rivieren te laag wordt kunnen aanzienlijke problemen optreden. Figuur 2.2 laat een frequentieverdeling zien van gemeten Bovenrijnafvoeren bij Lobith voor de periode 1900-2011. De gemiddelde Bovenrijnafvoer bedraagt ongeveer 2200 m³/s.

In praktijk wordt vaak over lage rivierafvoer gesproken op het moment dat de Bovenrijnafvoer bij Lobith onder 1200 m³/s daalt. Deze afvoer correspondeert ook ongeveer met de grens waaronder er (vaak) maatregelen moeten worden genomen om de nadelige effecten van zoutindringing op een aantal locaties in West-Nederland te beperken. Er wordt gesproken over een periode van zeer lage rivierafvoer als de Bovenrijnafvoer rond 1000 m³/s ligt, en over een periode van extreem lage rivierafvoer als de Bovenrijnafvoer tot 800 m³/s daalt. In de praktijk vinden periodes van lage rivierafvoer ongeveer ieder jaar plaats. Periodes van extreem lage rivierafvoer zijn in de periode 1900-2011 maar enkele keren opgetreden. Figuur 2.2 en Figuur 2.3 geven de frequentieverdeling voor de historische afvoerreeks.



Figuur 2.2 Frequentieverdeling van de Bovenrijnafvoer bij Lobith van 1900 tot 2011 (historische reeks) met het gemiddelde (centrale rode lijn) en de 2,5% grenzen voor onderschrijding (linker rode lijn) en overschrijding (rechter rode lijn). Hiervoor zijn afvoerclassen van 20 m³/s gebruikt. De verticale as geeft aan het aantal keer dat de een bepaalde afvoerklasse is geregistreerd in de 10-minuten afvoermetingen.



Figuur 2.3 Detail van Figuur 2.2 voor de lage Bovenrijnafvoer bij Lobith tussen 1900 en 2011, en de 2,5% grens voor overschrijding (rode lijn).

Ook de duur van de periode van lage (of zeer lage of extreem lage) rivierafvoer en het moment in het jaar waar die optreedt zijn van belang. In het algemeen kan er goed worden omgegaan met korte periodes van lage rivierafvoer.

Recentelijk, d.w.z. in de afgelopen 14 jaren (2000-2013) zijn 8 periodes van minimaal 14 aaneengesloten dagen geregistreerd met een Bovenrijnafvoer van minder dan 1300 m³/s (zie ook De Vries, 2014b):

- 3 periodes met Bovenrijnafvoeren tussen 1100 en 1300 m³/s: juli-augustus 2006, oktober-november 2007 en augustus 2012;
- 3 periodes met Bovenrijnafvoeren tussen 900 en 1300 m³/s: november 2005, september-oktober 2009 en mei 2011;
- 2 periodes met Bovenrijnafvoeren kleiner dan 900 m³/s: september-oktober 2003 en november-december 2011.

2.1.1 Gevoeligheid karakteristiek 1/10 jaar

Tot op heden is in het Deltaprogramma Zoetwater altijd gewerkt met karakteristieke droge jaren.

1989 wordt tot nu toe in het kader van Deltaprogramma Deelprogramma Zoetwater gehanteerd als een karakteristiek “droog jaar” (frequentie van voorkomen ca. 1:10 jaar), maar leidt in de huidige klimaatsituatie tot geen overschrijding van chlorideconcentraties bij Gouda, wat wel in 2003 en 2011 het geval is geweest. (Friocourt, 2015 (in afronding)). Oorzaak is de afvoer in 2003, die veel lager is dan de afvoer in 1989. Tegelijkertijd wordt 2003 in eerdere studies vaak gekarakteriseerd als ook een droog jaar.

Daarom is in overleg met RWS-WVL gekozen om in deze kwantitatieve verkenning ook met het jaar 2003 te rekenen. De jaren 1989 en 2003 behoren tot de droogste jaren binnen de periode 1980-2010. Het cumulatief neerslagtekort in het jaar 2003 is nagenoeg gelijk aan dat in het jaar 1989, maar het jaar 2003 kent een beduidend hoger afvoerdeficiet. Ter vergelijking zijn in Tabel 2.1 het potentiële maximale neerslagtekort en het afvoerdeficiet weergegeven voor de karakteristieke jaren die zijn toegepast binnen deelprogramma Zoetwater. Opvallend is dat het afvoerdeficiet van 2003 ongeveer halverwege tussen dat van 1976 en 1989 ligt.

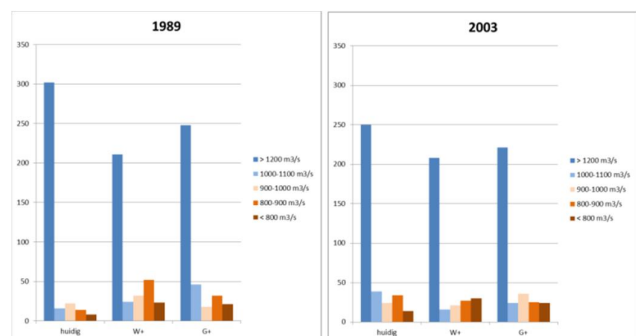
Tabel 2.1 Potentieel neerslag tekort en afvoerdeficiet bij Lobith voor 2003 vergeleken met 1967, 1989 en 1976 (een karakteristiek gemiddeld, droog respectievelijk extreem droog jaar) in het huidige klimaat zoals gebruikt in de analyses voor Deelprogramma Zoetwater.

Jaar	Potentieel cumulatief neerslagtekort (mm)	Afvoerdeficiet* (miljoen m ³ gedurende het zomerhalfjaar)
1967	170	445
1976	338	10837
1989	238	3759
2003	223	7095

* Het afvoerdeficiet is bepaald t.o.v. een afvoerdrempel van 1800 m³/s; het is het gesommeerde tekort (in miljoen m³) van alle dagafvoeren die lager zijn dan 1800 m³/s in het zomerhalfjaar. Dit betekent dat een Rijnafvoer van bijv. 1000 m³/s overeenkomt met een afvoerdeficiet van 800 m³/s, terwijl voor een afvoer van 2000 m³/s een afvoerdeficiet van 0 m³/s wordt berekend.

Uit droogtestatistiek op basis van NHI blijkt dat de herhalingstijd van het neerslagtekort zoals gevonden voor 1989 ongeveer 10 jaar is. Echter de herhalingstijd van het afvoerdeficiet zoals gevonden voor 1989 is 5 jaar. Gecombineerd levert dit een herhalingstijd van 8,3 jaar op (neerslagtekort weegt iets zwaarder). Voor 1976 ligt de gecombineerde herhalingstijd rond de 100 jaar (KNMI, 2004). De herhalingstijden voor het jaar 2003 zijn (nog) niet bepaald. De verwachting is dat de herhalingstijd voor het neerslagtekort ergens rond de 10 jaar zal liggen, terwijl die voor het afvoerdeficiet veel hoger zal zijn, aangezien het afvoerdeficiet beduidend hoger is dan dat van 1989.

Hoewel het cumulatief neerslagtekort voor 1989 en 2003 dus nagenoeg gelijk is, is het zo dat beide jaren tot verschillende situaties van droogteschade hebben geleid. Dit vanwege verschillen in type van het verloop van Bovenrijnafvoer, het moment van het jaar waarin verzilting is opgetreden en de watervraag die zich daarbij heeft voorgedaan. De watervraag en de verwachte duur van de droogteperiode bepaalt juist of KWA wel of niet moet worden ingezet.

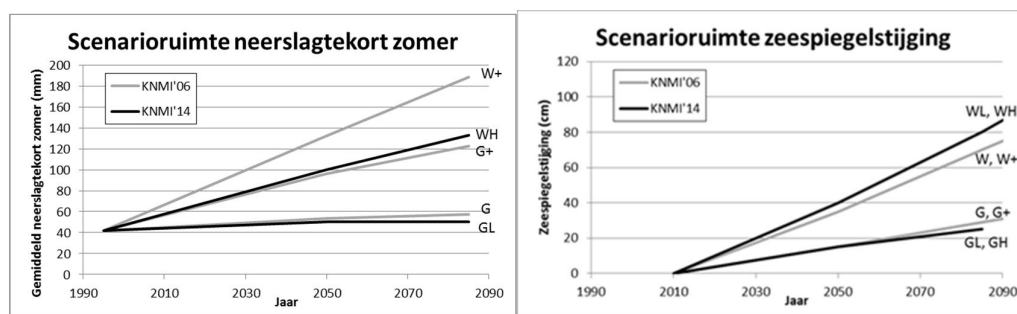


Figuur 3.5 Histogrammen van de daggemiddelde Rijnafvoeren (m³/s) voor de huidige situatie, W+ en G+ voor de karakteristieke droge jaren 1989 en 2003 (in dagen)

2.1.2 Gevoeligheid nieuwe klimaatscenario's

De Deltascenario's (Bruggeman et al, 2013) geven aan dat als gevolg van klimaatverandering periodes van lage rivierafvoer in de toekomst mogelijk vaker zullen optreden, terwijl de watervraag zal toenemen als gevolg van socio-economische ontwikkelingen. De Deltascenario's zijn gebaseerd op de klimaatscenario's van het KNMI uit 2006 met een nadere uitwerking uit 2009 (in dit rapport verder aangeduid als KNMI'06).

In 2014 heeft het KNMI nieuwe klimaatscenario's afgegeven (verder aangeduid als KNMI'14) (KNMI, 2014). Ook in de KNMI'14 scenario's is een onderscheid te maken tussen scenario's met een gematigde (G en Gh) en met een snelle klimaatverandering (W en Wh). Wat betreft het neerslagtekort in Nederland is het gematigde KNMI'14 scenario G redelijk vergelijkbaar met het KNMI'06 scenario G dat gebruikt is in de Deltascenario's Rust en Druk. De toename van het neerslagtekort onder snelle klimaatverandering gaat in de nieuwe scenario's echter aanzienlijk minder snel. Het meest extreme Wh scenario leidt nu in 2100 tot een neerslagtekort dat vergelijkbaar is met dat in 2050 onder het KNMI'06 W+ scenario dat gebruikt is in de Deltascenario's Warm en Stoom.



Figuur 2.4 De scenarioruimte voor KNMI'06 en KNMI'14 klimaatscenario's voor neerslagtekort in de zomer gebaseerd op de maanden juni, juli en augustus (links) en zeespiegelstijging (rechts) (Ter Maat en Van der Vat, 2014)

Het externe verziltingsrisico wordt m.n. bepaald door de rivierafvoer van de Rijn en de zeespiegel. Er zijn echter nog geen resultaten beschikbaar van het effect van de nieuwe scenario's op de Rijnafvoer. Het is echter te verwachten dat het verschil tussen de gematigde scenario's ook hierbij beperkt zal zijn en dat de nieuwe scenario's met snelle klimaatverandering een kleinere afname van de afvoer in de zomer zullen laten zien dan in het KNMI'06 W+ scenario. (Ter Maat en Van der Vat, 2014)

De richting van de klimaatscenario's blijft dus hetzelfde, maar het tempo van de snelle klimaatverandering wordt onder de KNMI'14 scenario's lager ingeschat dan onder de KNMI'06 scenario's. Het belangrijkste gevolg voor de conclusies van het Deltaprogramma Zoetwater is dat maatregelen voorzien voor scenario's met snelle klimaatverandering later in de tijd genomen hoeven te worden. De adaptiepaden blijven dus hetzelfde, alleen zal de inzet van de maatregelen verder naar de toekomst verschuiven. Adaptief Deltamanagement biedt een uitstekend raamwerk voor het omgaan met deze veranderingen in de scenario's. (Ter Maat en Van der Vat, 2014).

2.2 Grote Nieuwe Zeesluis IJmuiden

In de MER-studie voor de grote nieuwe zeesluis IJmuiden is het effect dat de grote nieuwe zeesluis bij IJmuiden kan hebben op de mate van indringing van zout water in het Noordzeekanaal en de gevolgen daarvan op het milieu, onderzocht en zijn mogelijke compenserende maatregelen opgesteld.

Twee daarvan hebben betrekking op:

- Het gewenste debiet in het Amsterdam-Rijnkanaal noordpand
- Zijkanaal C – Schutsluis Spaarndam

2.2.1 Grote Nieuwe Zeesluis leidt tot aanpassing gewenst debiet Amsterdam-Rijnkanaal

Modelstudies van Arcadis hebben aangetoond dat wanneer het langdurig extreem droog is en daardoor het debiet van het Amsterdam-Rijnkanaal (ARK) langdurig afneemt, de kans bestaat dat bij een grotere sluis zout water vanuit het Noordzeekanaal het Amsterdam-Rijnkanaal instroomt (Arcadis, 2013). Een verhoging van het minimale debiet door het ARK is daarom in beeld als mogelijke mitigerende maatregel om extra zoutindringing door de grotere nieuwe sluis te voorkomen.

Arcadis heeft berekend dat wanneer het debiet van het Amsterdam-Rijnkanaal gedurende een periode van 4 weken $10 \text{ m}^3/\text{s}$ bedraagt, het zout het drinkwaterinnamepunt Nieuwersluis kan bereiken. Het debiet van $10 \text{ m}^3/\text{s}$ daggemiddelde afvoer via het Amsterdam-Rijnkanaal is momenteel in het waterakkoord opgenomen als “minimale waarde” maar volgens de analyse van Arcadis is dat dus onvoldoende om zoutindringing te voorkomen.⁴

Uit de berekeningen van Arcadis blijkt verder dat uitgaande van het huidige klimaat, realisatie van de nieuwe Zeesluis en verwijdering van het sluiseiland bij Zeeburg een debiet van $16 \text{ m}^3/\text{s}$ in vrijwel alle situaties volstaat om Nieuwersluis zoet te houden. Wel zijn na 4 weken $16 \text{ m}^3/\text{s}$ bij Weesp de chlorideconcentraties op de bodem ter hoogte van Nieuwersluis licht gestegen naar 250 mg Cl/l . Aan het oppervlak geldt de achtergrondconcentratie. Bij een debiet van $22 \text{ m}^3/\text{s}$ is ook in de buurt van de bodem geen effect merkbaar.

Studies van Hydrologic (2013) hebben aangetoond dat deze hoeveelheden water beschikbaar zijn vanuit het hoofdwatersysteem ook in combinatie met uitbreiding van de Kleinschalige Wateraanvoerroute die West-Nederland van water moet voorzien (als de inlaat bij Gouda gesloten is als gevolg van verhoogde chlorideconcentraties bij Krimpen aan de IJssel). Aanvoer kan gescheiden vanuit het IJmeer (via sluis bij Muiden) en vanuit de Lek (via Prinses Irenesluizen). Inzet van de sluis bij Muiden is niet nodig, maar volgens Hydrologic wel wenselijk, robuuster en flexibeler, terwijl de kosten beperkt zijn. Levering van $45\text{-}50 \text{ m}^3/\text{s}$ via de Irenesluizen is fysiek mogelijk, maar dit heeft wel consequenties voor de scheepvaart. Ook is door Hydrologic geconcludeerd dat het totaal aan extra onttrekkingen leidt tot een beperkte toename van de verzilting benedenstrooms, echter niet tot een omslag in het functioneren van het systeem (Hydrologic, 2013).

⁴ Ter vergelijking: deze $10 \text{ m}^3/\text{s}$ is geen praktijkwaarde maar een theoretische ondergrens gericht op het borgen van het drinkwaterpunt. De studie van Arcadis heeft laten zien dat een weekgemiddelde afvoer van $10 \text{ m}^3/\text{s}$ zich nog nooit heeft voorgedaan in de meetperiode 2006-2013.

Hydrologic adviseert om de 16 m³/s als minimale ondergrens te beschouwen en daarnaast een staffel te hanteren die gerelateerd is aan de duur in plaats van één minimale waarde. Bijvoorbeeld een minimaal tweewekelijks gemiddeld debiet van 16 (of 15) en verder een minimaal maandelijks gemiddeld debiet van 22 (of 20). Anders gezegd: in vrijwel alle situaties voldoet 16 m³/s, alleen in extreem droge situaties is het verstandig om na 2-3 weken (en ongunstige prognoses) het debiet te verhogen naar 22 m³/s. Uit de documenten wordt evenwel niet duidelijk wat gezien/gedefinieerd wordt als een droge periode voor het ARK (de situatie in het kanaal wordt m.n. bepaald door operationeel beheer) en ook het waterakkoord geeft hier geen uitsluitsel over.

Om de cumulatieve effecten in deze kwantitatieve verkenning te bepalen gaan we op basis van bovenstaande uit van de volgende randvoorwaarden:

- Het gewenste debiet in het Amsterdam-Rijnkanaal ter hoogte van Nieuwersluis is ca. 20 m³/s. Zoals boven beschreven is dit een worst-case benadering.
- Het water wordt aangevoerd via de Prinses Irenesluizen en wordt onttrokken aan de Lek en (bij onvoldoende afvoer op de Lek/Nederrijn ook) aan de Waal. Ook dit is een worst-case benadering. In de praktijk zal eerst het beschikbare debiet bij Hagestein worden gebruikt en vervolgens zal het overige debiet via het Betuwepand uit de Waal nabij Tiel komen. Verder kan op zijn minst een gedeelte van het gewenste debiet bij Muiden vanuit het IJmeer ingelaten worden (waarmee dan wel een beroep wordt gedaan op de IJsselmeerbuffer en/of Markermeerbuffer).

2.2.2 Grote Nieuwe Zeesluis leidt tot aanpassing minimum gewenste debieten regionale wateren

Door de extra verzilting in het Noordzeekanaal zullen de chlorideconcentraties bij Zijkanaal C van het Noordzeekanaal met orde 1,5 g Cl/l stijgen. Hierdoor zal bij de sluis Spaarndam de zoutindringing vanuit Zijkanaal C naar de boezem van Rijnland toenemen. Volgens een recente studie zou een klein continu doorspoeldebiet effectief zijn om het binnendringende zout sneller af te voeren en verdere verspreiding te voorkomen. In de huidige doorspoelpraktijk wordt incidenteel een groot debiet gespuid, en dat is naar verwachting minder effectief om de verspreiding van het zout te beperken. Een andere optie is om de extra zoutindringing met extra doorspoeling te compenseren, bijvoorbeeld door de KWA+ implementatie te versnellen. Uit een indicatieve berekening blijkt dat een klein extra debiet (1 m³/s verdeeld over Halfweg en Spaarndam) de verspreiding van de extra zoutlast richting Bollenstreek aanzienlijk zou verminderen (Prinsen en Uittenbogaard, 2014).

2.3 Verdieping Nieuwe Waterweg

2.3.1 Verdieping Nieuwe Waterweg en robuustheid aanvoer West-Nederland via inlaat Gouda of Kleinschalige Wateraanvoer

Huidige situatie

Voor de zoetwatervoorziening van Rijnland wordt in de huidige situatie water ingelaten uit de Hollandsche IJssel bij Gouda. De inlaat wordt in principe gesloten als het chloridegehalte hoger wordt dan 250 mg/l in de Hollandsche IJssel. Voor SOBEK-RE Noordelijk Deltabekken modelberekeningen wordt een concentratie van 200 mg/l nabij de stormvloedkering bij Krimpen aan den IJssel aangehouden als drempelwaarde voor de sluiting, omdat uit studie is gebleken dat dit het sluitingsregime in de praktijk het beste benaderd (Prinsen, 2013)⁵. Bij

⁵ In praktijk blijken met het SOBEK-RE Noordelijk Deltabekken model overschrijdingen van de chlorideniveau 200 mg/l bij Krimpen a/d IJssel betrouwbaarder te zijn dan overschrijdingen van de chlorideniveau 250 mg/l bij Gouda,

benadering is dit meestal bij een afvoer bij Lobith kleiner dan ca. 1000 m³/s. In dat geval reikt de zoutindringing verder in oostelijke richting t door afgenomen tegendruk van de afvoer. Op het moment dat er een inlaatbeperking optreedt bij Gouda, wordt alleen water ingelaten via de Kleinschalige Wateraanvoer (KWA) als er een watervraag in de regio is. Op dit moment heeft de KWA een capaciteit van ca. 7 -10 m³/s (Ter Maat e.a., 2014).

Binnen de zoetwaterverkenning voor het Deelprogramma Zoetwater is verkend hoe vaak bij Gouda niet kan worden ingelaten als gevolg van externe verzilting. Met het SOBEK-RE Noordelijk Deltabekken model is berekend hoe vaak de chlorideconcentratie 24 uur of langer achtereen hoger is dan het chlorideniveau van 250 mg/l (in de zomerperiode). Er is gekeken naar de situatie die zich voordoet tijdens een karakteristiek gemiddeld, droog en extreem droog jaar. Uit de berekeningen volgt dat in de huidige situatie er in een gemiddeld en droog jaar (kar. jaar 1989) geen sluiting nodig is, maar dat in een extreem droog jaar het aantal sluitingsdagen geschat wordt op zo'n 46 dagen (zie hoofdstuk 7.1).

Situatie na de mogelijke ingreep

Door een verdieping van de Nieuwe Waterweg kan de zoutindringing vanuit zee via de rivier zich verder verplaatsen naar het oosten, met als gevolg dat de chlorideconcentratie bij Krimpen vaker de grenswaarde zal overschrijden en de inlaat Gouda eerder gesloten zal moeten worden. Als gevolg van de verdieping zal dus een bepaalde chlorideconcentratie (bijvoorbeeld 200 mg Cl/l) bij een bepaalde locatie (bijvoorbeeld Krimpen a/d IJssel) voor een hogere afvoer bij Lobith worden bereikt dan in de huidige situatie. In praktijk wordt de concentratie 200 mg Cl/l bij Krimpen a/d IJssel bereikt voor een Bovenrijnafvoer van ca. 1000 m³/s. Volgens berekeningen uitgevoerd door Svašek Hydraulics in opdracht van het Havenbedrijf (situatie tijdens continue afvoeren 800 m³/s, 1000 m³/s resp. 1200 m³/s afvoer bij Lobith en harmonisch getijden), ligt het debiet ongeveer 105 m³/s hoger voor een concentratie van 200 mg/l bij Krimpen a/d IJssel als gevolg van de verdieping tot NAP -17 m (Svašek Hydraulics, 2014; zie ook figuur 2.5). (M.a.w. de chlorideconcentratie die zich bij Krimpen a/d IJssel voordoet in de situatie zonder verdieping bij een Rijn afvoer bij Lobith van ca. 1000 m³/s doet zich in de situatie met verdieping al voor bij een afvoer van ca. 1105 m³/s.) Bij een andere concentratie kan de equivalente debietverschuiving anders zijn.

Inmiddels heeft het Havenbedrijf Rotterdam haar plannen bijgesteld en gaat zij inmiddels uit van een verdieping van NAP-16,3 m. Hiervoor wordt op dit moment een MER opgesteld. Ook hiervoor zijn weer op dezelfde wijze berekeningen uitgevoerd door Svašek Hydraulics in opdracht van het Havenbedrijf. Volgens de nieuwe berekening komt het effect van een verdieping naar NAP-16,3 m voor de chlorideconcentratie 200 mg/L bij Krimpen a/d IJssel overeen met een verschuiving in Bovenrijnafvoer van 50 m³/s. Voor de chlorideconcentraties 175 en 250 mg/L zijn de verschuivingen iets groter, 83 en 64 m³/s respectievelijk. (Svašek Hydraulics, 2014; zie ook figuur 2.6).

Opvallend is dat zelfs in de referentiesituatie (zonder verdieping) bij de nieuwe berekeningen de chlorideconcentraties bij Krimpen a/d IJssel systematisch 30 mg/l lager dan in de eerdere berekeningen (Figuur 2.5 en Figuur 2.6). Volgens Svašek Hydraulics (2014b) zijn de referentieberekeningen niet opnieuw uitgevoerd, maar er wordt in Svašek Hydraulics (2014b) niet ingegaan op mogelijke oorzaken voor dit verschil.

vanwege beperkte tekortkomingen van het model, en ook de koppeling tussen concentratie bij Gouda en werkelijke inlaten, wat in het model moeilijk te sturen is voor scenarioberekeningen (Prinsen, 2013).

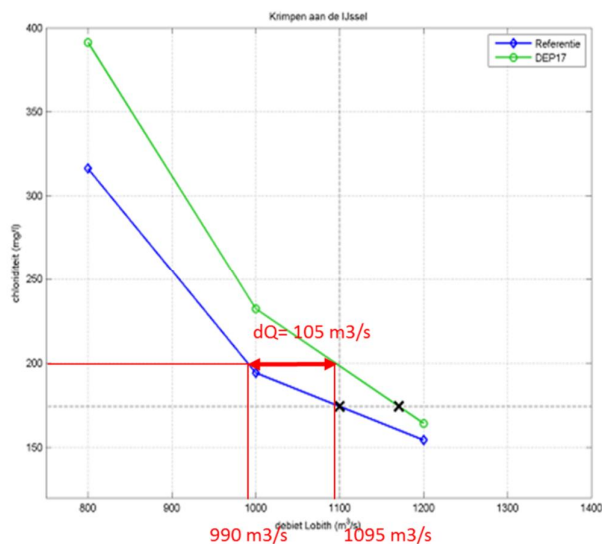
Er wordt ook opgemerkt dat een overschrijding bij Krimpen a/d IJssel volgens de nieuwe berekeningen van Svašek in de referentiesituatie pas voor Rijnafoeren lager dan $950 \text{ m}^3/\text{s}$ plaats vindt. Uit de eerdere analyse van Svašek Hydraulics (2014a) vond een overschrijding plaats vanaf $1000 \text{ m}^3/\text{s}$. Uit ervaring blijkt dat in praktijk rivierafvoeren kleiner dan $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ knelpunten in de zoetwatervoorziening veroorzaken.

Vanwege de relatieve subjectiviteit van de te hanteren afvoerverschuiving is in overleg Rijkswaterstaat gekozen om berekeningen uit te voeren met afvoerverschuivingen van zowel 50 als $100 \text{ m}^3/\text{s}$. Bovendien gaat hier echt om orde grootte berekeningen om een eerste schatting van de effecten van een verdieping in de Nieuwe Waterweg op de frequentie van normoverschrijding bij Gouda te verkrijgen.

Uitgangspunten situatie na combinatie van ingrepen

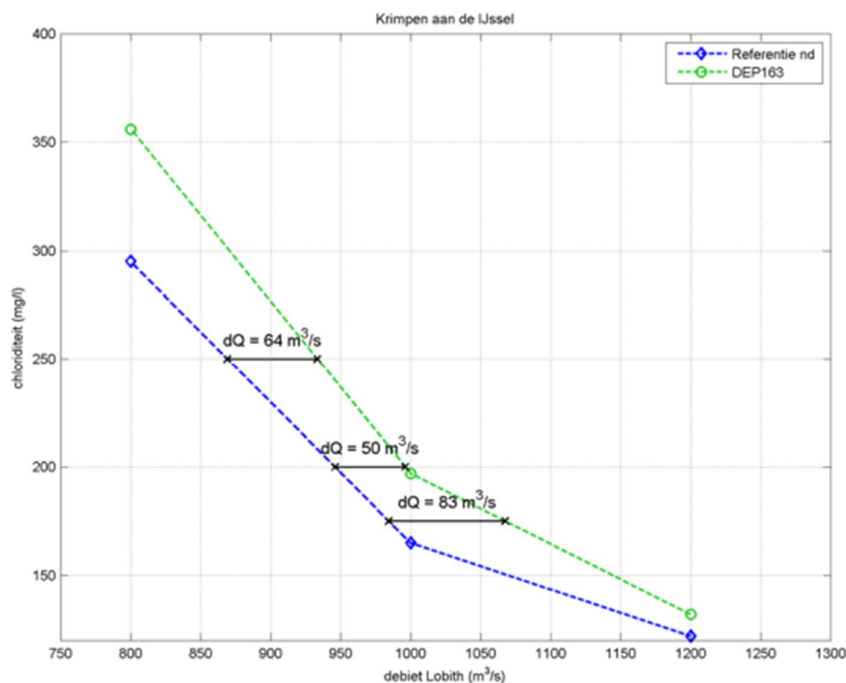
Om de cumulatieve effecten in deze kwantitatieve verkenning te bepalen gaan we op basis van bovenstaande uit van de volgende gekozen randvoorwaarden:

- Inlaat Gouda sluit bij een chlorideconcentratie van 200 mg Cl/l bij locatie Krimpen aan de IJssel. Op dat moment wordt de KWA of KWA+ actief.⁶
- Het effect van een verdieping van de Nieuwe Waterweg op de chlorideconcentratie bij Krimpen aan den IJssel is equivalent aan een verschuiving in de Rijn afvoer bij Lobith.
- Er is gekozen om een verschuiving van $-100 \text{ m}^3/\text{s}$ of $-50 \text{ m}^3/\text{s}$ te verkennen om meer inzicht te krijgen in de effecten van de verdieping.



Figuur 2.5 Door Svašek Hydraulics berekende chlorideconcentraties bij Krimpen aan den IJssel voor de huidige situatie (referentie, blauwe lijn) en met een tot NAP-17 m verdiepte Nieuwe Waterweg (groene lijn). In praktijk zijn berekeningen uitgevoerd voor drie afvoercondities en de lijnen zijn tussen die drie afvoeren lineair geïnterpoleerd (Overgenomen uit Svašek Hydraulics, 2014a). De interpolaties worden gebruikt om de afvoeren waarbij de chlorideconcentratie bij Krimpen a/d IJssel 200 mg/l bedraagt met en zonder verdieping (rode lijnen).

⁶ In de praktijk is de inzet van de KWA ook afhankelijk van de omvang van de watervraag en de voorspelling van de verwachte duur van de lage afvoer. Dit is in beperkte vorm meegenomen in de modellen.



Figuur 2.6 Door Svašek Hydraulics berekende chlorideconcentraties bij Krimpen aan den IJssel voor de huidige situatie (referentie, blauwe lijn) en met een tot NAP-16,3 m verdiepte Nieuwe Waterweg (groene lijn). In praktijk zijn berekeningen uitgevoerd voor drie afvoercondities en de lijnen zijn tussen die drie afvoeren lineair geïnterpoleerd (Communicatie Svašek Hydraulics, 2014b).

2.3.2 Verdieping Nieuwe Waterweg en robuustheid Brielse Meer- Bernisse systeem

Huidige situatie

De huidige situatie is uitgebreid geanalyseerd door De Vries (2014a) en De Vries en Sprengers (2014). Hun belangrijkste conclusies worden hier overgenomen.

Het Brielse Meer voorziet Voorne-Putten, de industrie in het Rijnmondgebied en in droge situaties een deel van het hoogheemraadschap Delfland van zoetwater. Het inlaatpunt voor dit meer ligt bij Bernisse (langs het Spui) en het gehanteerde chlorideniveau is 150 mg/l⁷. De condities waarbij verzilting van inlaat Bernisse plaats vindt zijn geïdentificeerd door De Vries (2014a). Het gaat bijvoorbeeld om zogenaamde “achterwaartse verzilting”, waarbij een forse getijopzet de vloedstroom richting de Haringvliet langer dan één getijperiode op drukt (zgn. verziltingstype 1), en om het na-ijleffect van zulke omstandigheden (verziltingstype 2) waarbij teruglevering plaatsvindt. Als de achtergrondconcentratie van de Rijn ook boven 150 mg Cl/l stijgt als gevolg van lage rivierafoer (verziltingstype 3) kan inlaat Bernisse ook verzilten.

Verzilting van de Bernisse-inlaat gedurende 5 of meer dagen is in de laatste 14 jaren alleen in de winter voorgekomen, niet in de zomer (beheerincidenten zoals die zich in 2011 voordeden daargelaten). Nagenoeg alle inlaatstops van de Bernisse-inlaat die in de laatste 14 jaren zijn geregistreerd hadden kunnen worden gemitigeerd door waterinlaat via de inlaatsluis

⁷ In dit geval geen wettelijke norm, want er vindt geen drinkwaterproductie vanuit het Brielse Meer plaats. De strenge norm staat in verband met hoogwaardig industrieel watergebruik, zoals demiwaterproductie

Spijkenisse. Deze inlaat vanuit de Oude Maas is veel minder gevoelig voor verzilting vanuit het Haringvliet en Spui door de verdunning van dit water met rivierwater in de Oude Maas.

Situatie na de mogelijke ingreep

3D modelonderzoek heeft aangetoond dat de verdieping van de Nieuwe Waterweg bijna geen effect heeft op de chlorideconcentraties in het Spui bij de Bernisse-inlaat in het huidige klimaat (Svašek Hydraulics, 2014). Volgens de modelberekeningen leidt de verdieping nauwelijks tot een hogere overschrijdingsduur, noch tot hogere gemiddelde concentraties. Omstandigheden waarbij inlaat Bernisse met de verdieping zou verzilten verschillen dus niet ten opzichte van de huidige situatie.

Omdat de inlaat Spijkenisse echter verder zeewaarts ligt, is deze inlaat in tegenstelling tot inlaat Bernisse mogelijk wel kwetsbaar voor een eventuele verdieping van de Nieuwe Waterweg. Bij lage Rijnafvoer worden de inlaatvensters van de Inlaatsluis Spijkenisse korter (de zoutindringing, type 0 verzilting, dringt verder landinwaarts door ten gevolge van de geringe tegendruk van de rivier) en bijgevolg is de inlaatcapaciteit dan veel kleiner. Een verdieping in de Nieuwe Waterweg kan dit effect versterken. Uit aanvullend onderzoek van De Vries (2014b) blijkt dat een verdieping slechts een gering effect heeft op het zoutgehalte bij de inlaatsluis Spijkenisse. Dit geringe effect treedt alleen op in situaties met een extreem lage Rijnafvoer (800-900 m³/s), namelijk een afname van de duur van de inlaatvensters met 15 à 30%. Onder die omstandigheden is de inlaatsluis Spijkenisse echter toch al niet of slechts beperkt bruikbaar door de korte duur van de inlaatvensters (ongeveer een halfuur per dag). In praktijk is de bruikbaarheid van de inlaat Spijkenisse vooral beïnvloed door dagelijkse variaties in weersomstandigheden (windopzet en afwaaiing), waardoor er op sommige dagen helemaal geen inlaatvensters te definiëren zijn. Volgens de analyse van De Vries (2014b) blijft de invloed van de verdieping op de bruikbaarheid van de inlaatvensters vele malen kleiner dan de invloed van weervariaties. Het effect van de verdieping zal in de praktijk daardoor niet meetbaar zijn ten opzichte van het effect van variaties in weeromstandigheden. Bij een Rijnafvoer van 1200 m³/s bij Lobith en hoger (dus in meer dan 95% van de tijd in de huidige situatie) veroorzaakt verdieping volgens De Vries (2014b) vrijwel geen verandering van de duur van inlaatvensters (1% afname).

Het potentieel van de inlaatsluis Spijkenisse om inlaatstops bij Bernisse te mitigeren bij lage rivierafvoeren (1000-1200 m³/s) is dus groot, en hierop heeft de verdieping van de Nieuwe Waterweg in de huidige situatie vrijwel geen effect. Alleen bij extreem lage rivierafvoeren (800 m³/s) leidt de verdieping van de Nieuwe Waterweg tot een reductie van de duur van de inlaatvensters, maar op dat moment is het potentieel van de inlaatsluis Spijkenisse toch al beperkt.

Bij Deltascenario's Druk en Rust wijzigen de frequenties van de (zeer) lage Rijnafvoeren niet of nauwelijks ten opzichte van de huidige situatie. Onder Warm en Stoom zullen deze wel vaker voorkomen (zie paragraaf 2.1).

2.4 Zout Volkerak-Zoommeer

Het kabinet heeft in juli 2014 een besluit genomen over de toekomst van het Grevelingenmeer en het Volkerak-Zoommeer (VZM), in samenhang met de Deltabeslissingen Rijnmond-Drechtsteden en Zoetwater. In het voorkeursalternatief, met breed bestuurlijk draagvlak in de regio, wordt het Volkerak-Zoommeer zout door middel van beperkte getijwerking.

2.4.1 Zout Volkerak-Zoommeer en robuustheid Brielse Meer systeem

Een toekomstig zout VZM zal als gevolg van een zoutlast door de Volkeraksluizen onder maatgevende omstandigheden (langdurig lage rivierafvoer (kleiner dan 1100 m³/s) en gesloten Haringvlietsluizen) een verhoging van de chlorideconcentratie bij de Bernisse-inlaat kunnen veroorzaken.

Zoutlast 20 kg/s

Zonder maatregelen bij de Volkeraksluizen zal de zoutlast ongeveer 480 kg zout/s bedragen. Om de zoutlast te beperken tot ca. 10% daarvan moet een combinatie van nieuwe technieken toegepast worden, en daarbij is 25 m³/s aan zoet water nodig (Villars et al, 2011; Van der Kaaij en Uittenbogaard, 2011). Om, bij hetzelfde debiet aan zoetwater, tot een verdere verlaging, nl. tot 20 kg zout/s, te komen zijn aanvullende maatregelen nodig. Er is een concept voorgesteld waarmee dit in principe haalbaar zou moeten zijn (Weiler et al, 2012). Een nog verdere beperking van de zoutlekkage lijkt vooralsnog onhaalbaar zolang er geen beperkingen mogen worden opgelegd aan de schutcapaciteit.

Een zoutlast van 20 kg zout/s (gehanteerd als randvoorwaarde voor de ingreep) leidt tot een verhoging van de chlorideconcentratie bij Bernisse als de Haringvlietsluizen gesloten zijn en bij een Rijnafvoer van 800 m³/s met maximaal 55 mg Cl/l.

Gevolgen voor de inlaat Bernisse en neveninlaat Spijkenisse

Zoutlekkage vanuit een zout VZM veroorzaakt bij (extreem) lage rivierafvoeren meer periodes en aanzienlijk langere periodes met overschrijding van het chlorideniveau van 150 mg/l bij Bernisse. Niet alleen in de winter, maar ook in droge zomers als in 2003. Er is ook 'subnormatieve' verhoging van de chlorideconcentratie bij Bernisse door een zout VZM. De chlorideconcentratie blijft dan lager dan het niveau van 150 mg/l, maar is wel verhoogd ten opzichte van de huidige concentratie van ongeveer 100 mg/l.

Omdat de extra overschrijding van het chlorideniveau van 150 mg/l gering is bij een zoutlekkage van 20 kg/s (de concentratie bij Bernisse neemt door een zout VZM met maximaal 55 mg Cl/l toe), worden inlaatstops veroorzaakt door kleine niveauoverschrijdingen. Met een hoger criterium (bijv. 200 mg Cl/l) zou dezelfde toename van de concentratie met 55 mg Cl/l tot vrijwel geen extra niveauoverschrijdingen leiden.

Daarom is een (tijdelijke) normversoepeling van 150 naar 200 mgCl/l voor de Bernisse inlaat een andere mogelijke maatregel. Een maatregel die reeds voorzien is in het adaptatiepad van de voorkeursstrategie Zoetwater, maar dan mogelijk eerder in beeld komt. Daarmee blijft naar verwachting het huidige niveau van regionale watervoorziening vanuit het Brielse Meer (kwantiteit en leveringszekerheid) nagenoeg volledig intact. Alleen voor de (hoogwaardige) industriewatervoorziening vanuit het Brielse Meer zijn dan extra maatregelen nodig conform het adaptatiepad van de Voorkeursbeslissing Zoetwater (check: acceptatie/compensatie extra kosten, en/of drinkwateraanvoer vanaf Beerenplaat en/of extra ontzilting op innamepunten).

Waterinlaat vanuit de Oude Maas via de inlaatsluis Spijkenisse en het Voedingskanaal is een kansrijk alternatief voor de Bernisse-inlaat tijdens verzilting van het Spui door teruglevering vanuit het Haringvliet na achterwaartse verzilting. Het naijleffect van extreme achterwaartse verzilting zou door sterke klimaatverandering kunnen toenemen. Deze beheermaatregel kan ook soelaas bieden voor andere vormen van verzilting die vanuit het Haringvliet komen zoals zoutlekkage vanuit een toekomstig zout Volkerak-Zoommeer.

Toch moet er rekening mee worden gehouden dat bij lage rivierafvoeren een effect van zoutlekkage vanuit het VZM ook merkbaar kan zijn in de Oude Maas bij Spijkenisse. Bepalend daarvoor is de debietverdeling tussen Spui en Oude Maas. Bij lage rivierafvoeren en (bijna) dichte Haringvlietsluizen is 30% van het rivierwater bij Spijkenisse afkomstig uit het

Spui. Onder die maatgevende omstandigheden zal de verhoging van het zoutgehalte bij Spijkenisse door zoutlekkage 30% van de verhoging bij Bernisse kunnen zijn. De maximale verhoging bij Spijkenisse ten gevolge van een zout VZM is dan 15-20 mg Cl/l (De Vries en Sprengers, 2014). Deelprogramma Zoetwater ziet gebruik van de inlaatsluis Spijkenisse als kansrijke maatregel om de robuustheid van het Brielse Meer – Bernisse systeem te vergroten. De effectiviteit van deze maatregel betreft vooral het mitigeren van inlaatstops van de Bernisse-inlaat ten gevolge van een zout VZM, maar eventueel ook van inlaatstops veroorzaakt door andere types verzilting (achterwaartse verzilting, na-ijleffect, of lage rivierafvoer).

De meeste inlaatstops van de Bernisse-inlaat (zonder effect van een zout VZM) hadden in de 14 jaren 2000-2013 gemitigeerd kunnen worden door waterinlaat via de Inlaatsluis Spijkenisse. Slechts enkele jaren is er in de winter gedurende 5 of meer dagen een ‘dubbele inlaatstop’ van Bernisse en Spijkenisse. Het potentiële inlaatdebiet via Spijkenisse is bij extreem lage rivierafvoeren (dus 800-900 m³/s bij Lobith) door de korte inlaatvensters beperkt (De Vries en Sprengers, 2014).

Ook de extra inlaatstops van de Bernisse-inlaat door zoutlekkage vanuit een zout VZM kunnen, onder de hydrologische omstandigheden die voorkwamen in de periode 2000 t/m 2013, effectief gemitigeerd worden door waterinlaat vanuit de Oude Maas via de inlaatsluis Spijkenisse. De inlaatsluis Spijkenisse is daarmee kwantitatief (de hoeveelheid inlaatwater) en kwalitatief (chloride < 150 mg Cl/l) een goed alternatief als de Bernisse-inlaat door externe verzilting vanuit het Haringvliet moet worden gesloten (De Vries, 2014a; De Vries en Sprengers, 2014).

Gebruik van de inlaatsluis Spijkenisse vereist wel real-time metingen en instantane (of geautomatiseerde) reacties om de korte inlaatvensters van maximaal enkele uren per getijperiode effectief te benutten. Naast dit beheren van het effect van de “waterkwaliteit aan de buitenzijde” is mogelijk ook het beheren van de waterkwaliteit “aan de binnenzijde” gewenst met oog op risico van ‘activeren’ van het zoute water dat binnen is gekomen via de schutsluis.

Gevoeligheid zoutlast

Een grotere zoutlast dan voorzien zou kunnen optreden als de maatregelen bij de Volkeraksluizen niet de verwachte effectiviteit hebben. Dit heeft direct effect op de chlorideconcentraties bij de inlaatsluizen Bernisse en Spijkenisse. Uit onderzoek is gebleken dat de verhouding tussen zoutlast en chlorideverhoging lineair is: een verdubbeling van de zoutlast zal de concentratieverhoging ook doen verdubbelen (Van der Kaaij en Uittenbogaard, 2011). Voor Bernisse zal een verdubbeling van de zoutlast leiden tot een verhoging van de chlorideconcentratie met maximaal 110 mg Cl/l (bij gesloten Haringvlietluis en Rijnafvoer van 800 m³/s). Dit zal voor inlaat Bernisse leiden tot een zeer forse toename van het aantal sluitingsdagen bij een sluitcriterium 150 mgCl/l.

Als een hogere zoutlast bestreden zou worden met een verdubbeling van het zoetdebiet naar het Volkerak, 50 m³/s i.p.v. 25 m³/s, gaat dit ten koste van de uitstroom via de Nieuwe Waterweg en neemt de zoutindringing via de Nieuwe Waterweg naar verwachting beperkt toe (Het effect voor Krimpen aan de IJssel is voorlopig op basis van deskundigen oordeel geschat op zo'n 5 à 10 dagen extra overschrijding van het chlorideniveau 200 mg/l, maar is afhankelijk van het scenario). Daarnaast zal de concentratie bij Bernisse toenemen evenredig met de afname van het debiet door het Spui. Een extra doorspoeldebiet in het Volkerak-Zoommeer heeft ook gevolgen voor de chlorideconcentratie op het Volkerak-Zoommeer en

de daarmee samenhangende waterkwaliteit en ecologie, maar dit valt buiten de scope van voorliggende studie.

2.4.2 Uitgangspunten voor de situatie na combinatie van de ingrepen

Om de cumulatieve effecten in deze kwantitatieve verkenning te bepalen maken we gebruik van de resultaten uit de studies van De Vries waarin de huidige situatie beschreven is (De Vries, 2014a; De Vries en Sprengers, 2014), en nader ingezoomd wordt op het effect van verdieping van de Nieuwe Waterweg (De Vries, 2014b):

- Algemeen kan gesteld worden dat de huidige chlorideoverschrijdingsgrens (150 mg Cl/l) bij de inlaat Bernisse in de situatie van een zout VZM (uitgaande van een zoutlast van 20 kg/s) al overschreden wordt bij een Rijnafoer bij Lobith die langdurig lager is dan 1200 m³/s. Bij de inlaat bij Spijkenisse (overschrijdingsgrens 150 mg/l) kan langer water worden ingenomen, namelijk tot een minimum afvoer van 900 m³/s.
- Vrijwel alle niveauoverschrijdingen zijn gering, waarbij de huidige overschrijdingsgrens (150 mg Cl/l) licht wordt overschreden. Een tijdelijke versoepeling (verhoging) van de overschrijdingsgrens bij Bernisse tot 200 mg Cl/l (afgezien van de technische en/of financiële haalbaarheid van een dergelijke versoepeling voor de gebruikers) zou ervoor zorgen dat water langer ingelaten kan worden, zelfs nog in de situatie waarin de minimum afvoer bij Lobith 800 m³/s is.
- Omdat de eerdere studies echter zijn uitgevoerd op basis van meetgegevens voor de periode 2000-2013, maken we nu ten behoeve van de frequentieanalyse van de niveauoverschrijding in het kader van voorliggende studie een doorvertaling naar een karakteristiek gemiddeld, droog en extreem droog jaar. Op deze manier kunnen we de effecten, inclusief klimaat effecten en effecten van ingrepen, uniform beschrijven gelijk aan die voor de noordrand van het Noordelijk deltabekken (d.w.z. betekenis voor ARK en KWA). In afwezigheid van benodigde 3D modeluitkomsten van berekeningen over de chlorideconcentraties bij Spijkenisse, doen we dit alleen voor de inlaat Bernisse.

2.4.3 Zout Volkerak-Zoommeer en compenserende zoetwatermaatregelen

Situatie bij een blijvend zoet VZM

In de factsheets van de joint fact finding zoetwater van de Rijkstructuurvisie Grevelingen – Volkerak-Zoommeer (JFF-RGV) staat vermeld hoeveel water er nodig is in de regio in geval van een zoet dan wel een zout VZM bij het huidige klimaat.

In de huidige situatie is ca. 63.5 m³/s piekinlaat nodig voor een zoet VZM, en extra inlaten en doorvoeren voor kwaliteitsbeheer Mark-Vlietboezem en verbetering van de zoetwatersituatie:

- Ca. 40 m³/s voor zoetwaterdebiet Krammersluizen en doorspoeling (zoutbestrijding);
- Ca. 10 m³/s voor peilbeheer VZM en regionale waterinlaat vanuit het VZM;
- Maximaal 10 m³/s inlaat Oosterhout voor kwaliteitsbeheer Markvlietboezem;
- 3,5 m³/s regionale aanvoer via Roode Vaart, ook geïmplementeerd bij een zoet VZM als no-regret maatregel.

Bij implementatie van innovatieve zoet-zoutscheiding bij de Krammersluizen blijft de zoetwaterbehoefte gelijk aan de huidige piekinlaat. De totale zoetwaterbehoefte bij een blijvend zoet VZM, inclusief de no-regret maatregel Roode Vaart, is 63,5 m³/s.

Situatie met een zout VZM en compenserende zoetwatermaatregelen

In geval van een zout VZM met innovatieve zoutlekbestrijding is in totaal 51 m³/s piekinlaat nodig:

- 25 m³/s voor innovatieve zoutlekbestrijding Volkeraksluizen
- 10 m³/s voor tegengaan zoutindringing Dintel en Vliet
- 16 m³/s compenserende maatregelen zoetwatervoorziening⁸

De gevraagde hoeveelheid is bij een zout VZM 12,5 m³/s kleiner dan bij een blijvend zoet VZM. Het debiet dat aan de zuidrand van het noordelijk deltabekken onttrokken wordt, is bij een toekomstig zout VZM dus kleiner dan bij een blijvend zoet VZM.

Er is nog wel één ander verschil: omdat zoutlekbestrijding bij de Volkeraksluizen ernstige verzilting van de drinkwaterinlaatpunten aan het Haringvliet voorkomt (huidige inlaat bij Ouddorp, verplaatst naar Koert in verband met de Kier), krijgt het gevraagde zoetwaterdebiet voor zoutlekbestrijding Volkeraksluizen (25 m³/s) bij een zout VZM een hogere prioriteit in de verdringingsreeks tijdens de waterverdeling in extreme droge omstandigheden, in vergelijking tot een zoet VZM (zie ook volgende paragraaf).

2.4.4 Zout Volkerak-Zoommeer en effect op de noordrand

Op basis van het onderzoek van Van der Kaaij & Uittenbogaard (2011) kan worden geconcludeerd dat een extra zoutlast als gevolg van een zout Volkerak-Zoommeer in de huidige situatie niet of nauwelijks effect heeft op de noordrand van het Noordelijk Deltabekken (waaronder de Hollandsche IJssel en inlaat Gouda). Dit houdt in dat de frequentie m.b.t. het sluiten van de inlaat Gouda c.q. de inzet van de KWA om West-Nederland van water te voorzien onder die omstandigheden niet of nauwelijks wijzigt.

De resultaten van de SOBEK-RE NDB berekeningen die eerder uitgevoerd zijn voor DP Zoetwater in fase 4 van het Deltaprogramma (Ter Maat, 2014) laten zien dat een zout Volkerak-Zoommeer geen significant effect heeft op het aantal sluitingsdagen voor Gouda. De geringe veranderingen die berekend zijn, zijn hoogstwaarschijnlijk het gevolg van modelbeperkingen, bijvoorbeeld vanwege het gebrek aan volledige Landelijke Coördinatiecommissie Waterverdeling (LCW) condities in de modellen en/of vanwege de verschillende dispersiecoëfficiënten in de riviertakken. Verder laten de uitkomsten zien dat een zout VZM geen negatief effect heeft op de locatie Bergambacht en de inlaatpunten nabij de Krimpenerwaard, eerder een gunstig effect. Deze zaken zou in de systeemanalyse Rijn-Maasmonding (3 jarig onderzoek dat in 2015 van start gaat) nader kunnen worden onderzocht. In het Joint Factfinding spoor (Ministerie Infrastructuur en Milieu, 2014) is gewerkt aan betrouwbare getallen voor een zoete dan wel een zoute variant van het VZM en deze zijn intussen geïmplementeerd in het SOBEK-RE NDB model.

2.4.5 Uitgangspunten voor de situatie na combinatie van ingrepen

Naar aanleiding van bovenstaande luidt de conclusie dat een zout VZM geen significant effect heeft op de noordrand van het noordelijk deltabekken. Geadviseerd wordt deze conclusie te zijner tijd te toetsen in vervolg op de Systeemanalyse Rijn-Maasmond door de 3D berekeningen (T. van der Kaaij; R.E. Uittenbogaard, 2011) te updaten door o.m. de

⁸ Dit is de optelsom van 0,9 m³/s voor de PAN polders, 1,8 m³/s voor Oostflakkee vanuit het Haringvliet, 2,9 m³/s voor Tholen en St. Philipsland, en 10 m³/s voor het Mark-Dintel-Vliet systeem. Alleen de Reigersbergse Polder ontbreekt in dit rijtje; in de waterbehoefte van deze polder (0,35 m³/s) wordt in de toekomst voorzien met water uit de Brabantse Wal.

afvoercondities van de deltasenario's door te rekenen en de uitgangspunten volgens de Joint Fact Finding studie.

2.4.6 Zout Volkerak-Zoommeer en effect in Haringvliet

Voor het Haringvliet geldt dezelfde maximale verhoging van de chlorideconcentratie door een zout VZM als bij Bernisse: 55 mg Cl/l (aannee zoutlast 20 zout kg/s). Dit is namelijk een maximale evenwichtsconcentratie onder maatgevende omstandigheden (lage rivierafvoer, dichte Haringvlietstuizen), waarbij de aangevoerde zoutvracht door zoutlekage gelijk is aan de afgevoerde vracht door het Spui. De hele tijdreeks (en overschrijdingen) chlorideconcentratie bij Bernisse inclusief het effect van een zout VZM (De Vries en Sprengers, 2014) kan daarom ook 'geldig' worden verklaard voor de drinkwaterinnamepunten aan het Haringvliet (Scheelhoeke en, na verplaatsing voor de Kier, Koert).

De rol van de Kier blijft nog onvoldoende bekend: bij (extreem) lage afvoeren ($<1100 \text{ m}^3/\text{s}$) wordt er niet gespuid, en blijft dus ook de Kier echt helemaal dicht. Alleen kan wel zout in diepe delen van het Haringvliet achterblijven. Na inwerking treden van het Kierbesluit zal door middel van monitoren nagegaan worden of het bedienregime zo uitwerkt dat het zogenaamde zoetspoelen van het Haringvliet inderdaad het gewenste effect heeft.

Uit de Vries en Sprengers (2014) blijkt dat een zout VZM in de huidige situatie in een 10% droog jaar (2003) in de zomer 66 dagen (daggemiddeld) extra overschrijding van het chlorideniveau van 150 mg/l kan veroorzaken, en 68 dagen extra in de winter, oftewel samen 134 dagen (daggemiddeld) extra per jaar. Met een nog zoet VZM was dat in 2003 25 gemeten dagen (op één dag na allemaal in de winter).

Voor drinkwaterinname vanuit het Haringvliet moet dus in de huidige situatie in een 10% droog jaar rekening worden gehouden met 4-5 maanden extra niveauoverschrijding ten gevolge van een zout VZM. In minder droge jaren blijft de extra niveauoverschrijding beperkt tot enkele dagen tot enkele weken.

3 Aanpak, randvoorwaarden en uitgangspunten van de berekeningen

Dit hoofdstuk geeft een korte beschrijving van de aanpak die in de kwantitatieve effectbepaling gevolgd is. Achtereenvolgens wordt ingegaan op de ingrepen die doorgerekend zijn met modellen (paragraaf 3.1), de modelgerelateerde zaken (paragraaf 3.2 en 3.3) en de manier waarop de uitkomsten geanalyseerd en gepresenteerd zullen worden (paragraaf 3.4 t/m 3.6) in de volgende hoofdstukken. In de volgende hoofdstukken (4 t/m 8) zijn de uitkomsten zelf per adaptatiegebied opgenomen.

3.1 Overzicht van de externe ingrepen en maatregelen en hun invloedssfeer

We maken in onze verkenning onderscheid tussen externe ingrepen en maatregelen. Bij ingrepen gaat het in dit rapport om externe factoren voor de zoetwatervoorziening die de zoetwatervoorziening extra onder druk kunnen zetten tijdens periodes van droogte. Specifiek gaat het om:

1. Verdieping Nieuwe Waterweg. Het Havenbedrijf Rotterdam heeft de wens om de Nieuwe Waterweg tot aan de Botlek te verdiepen om de bereikbaarheid van de Rotterdamse haven te vergroten. Het risico van externe verzilting in West-Nederland als gevolg van landinwaarts verplaatsen van het zout neemt hierdoor echter toe en de kans bestaat dat o.m. de inlaat bij Gouda vaker gesloten zal moeten worden. Medio 2014 was nog sprake van een verdieping tot NAP-17 m, maar inmiddels zijn de plannen veranderd en gaat men in de lopende MER studie voor de verdieping uit van een verdieping tot NAP-16,3 m (Svašek Hydraulics, 2014).
2. Nieuwe zeesluis bij IJmuiden. De kans bestaat dat als gevolg van een grotere zoutlast door de grotere sluis zout water vanuit het Noordzeekanaal het Amsterdam-Rijnkanaal instroomt wanneer het langdurig extreem droog is en er weinig debiet is op het Amsterdam-Rijnkanaal in noordelijke richting dat de zoutindringing kan tegengaan. Het drinkwaterinnamepunt bij Nieuwersluis kan dan te maken krijgen met een overschrijding van de chloridenorm. (Arcadis, 2014)
3. Zoute variant Volkerak-Zoommeer. In de Rijksstructuurvisie Grevelingen en Volkerak-Zoommeer is sprake van een zoute variant voor het Volkerak-Zoommeer (VZM) (in plaats van het huidige zoete meer). Het Haringvliet, Hollandsch Diep en Spui krijgen dan te maken met een resterende zoutlekage door de Volkeraksluizen, waarmee ook Bernisse vaker te maken kan krijgen met inlaatstops. Deze ingreep is ook in fase 4 van het deltaprogramma onderzocht. (o.a. Ter Maat et al, 2014b: zie 'maatregel 13'; Ministerie I&M, 2014)
4. Verdubbeling van het potentieel beregeningsareaal en verkorten periode beregeningsgift. De verdubbeling is ten opzichte van het potentieel beregeningsareaal volgens het scenario Warm. Deze ingreep is m.n. bedoeld als (gevoeligheids)analysevariant om de mogelijke extra watervraag en -levering vast te stellen. De toename van het potentieel beregend areaal (maatregel RH3b, zie Ter Maat et al, 2014b) van 10% volgens de deltasenario's wordt door enkele experts als een te lage waarde gezien. Het potentieel beregend areaal bepaalt in grote mate de uitkomsten voor de beregeningsvraag aan het hoofdwatersysteem en de droogteschades van de landbouw. Naast het vergroten van het potentieel beregeningsareaal is ook de periode voor een nieuwe beregeningsgift verkort van 7 naar 5 dagen. Hierdoor kan op het huidige en het nieuwe beregeningsareaal vaker, en vaak dus meer, worden beregend.

De maatregelen die in deze fase onderzocht zijn, kunnen gericht zijn op het verbeteren van de zoetwatervoorziening in een regionaal gebied, maar ook op compensatie of mitigatie van de ingrepen. In de uitgevoerde berekeningen gaat het om:

- 1 Extra debiet door de Roode Vaart, onttrokken aan het Hollandsche Diep voor het verbeteren van de regionale zoetwatervoorziening (autonome ontwikkeling, dus onafhankelijk van een zoete of zoute variant van het Volkerak-Zoommeer) (Deelprogramma Zuid-Westelijke Delta, 2014).
- 2 Aanvoer extra debiet van Waal naar Amsterdam-Rijnkanaal-noordpand om voldoende doorspoeldebiet te bereiken waarmee zoutindringing op het Amsterdam-Rijnkanaal en Noordzeekanaal tegengegaan wordt die het gevolg is van de nieuwe zeesluis. (Arcadis, 2014).
- 3 Aanvoer extra debiet door het Maas-Waalkanaal, onttrokken aan de Waal richting de Maas, om de regionale watersystemen rondom de Maas tijdens laagwaterperiodes op de Maas van water te voorzien (Ter Maat et al, 2014a).
- 4 Aanvoer extra debiet van de Waal naar de (evt. vergrote) Kleinschalige Wateraanvoer (KWA) routes om de regionale zoetwatervoorziening op niveau te houden of te verbeteren (Ter Maat et al, 2014b). De KWA zal naar verwachting vaker ingezet moeten worden bij een verdieping van de Nieuwe Waterweg (ingreep 1) en/of door meer onttrekkingen bovenstrooms (maatregelen 2 en 3) (inzicht in verandering van de duur en gewenste grootte behoren tot de uitkomsten van voorliggende studie).
- 5 Peilbeheervariant voor het IJsselmeer en Markermeer waarbij het peil vanaf zomerstreefpeil -0,1 m NAP onbeperkt mag uitzakken om alle watervragen in het IJsselmeergebied zo veel mogelijk te voorzien. Deze maatregel is m.n. bedoeld als analysevariant om de extra waterbehoefte die een verdubbeling van het beregeningsareaal met zich meebrengt in voorliggende studie te analyseren. (Ter Maat et al, 2014a).

3.2 Toegepast modelinstrumentarium

In deze studie is gebruik gemaakt van het modelinstrumentarium van het Deltamodel. Via modelberekeningen zijn de cumulatieve effecten van de ingrepen zoveel mogelijk kwantitatief verkend. Kern van het Deltamodel is het nationaal hydrologisch instrumentarium (NHI). Met dit model kan de toestand in de waterbeschikbaarheid (grondwater, oppervlaktewater), watervraag (peilbeheer, doorspoeling, berekening en drinkwater- en industriewater) en waterdistributie voor zowel het regionale als het hoofdwatersysteem berekend worden. Dit kan voor allerlei situaties: met of zonder maatregelen, verschillende klimaatscenario's etc. Het NHI berekent geen chlorideconcentratie, maar gebruikt deze als randvoorwaarden (om bijv. vast te stellen of er wel of geen water ingelaten kan worden afhankelijk van de chlorideconcentratie). De effectmodule AGRICOM is verbonden met het NHI. Met deze module kan de landbouwoptbrengstderving als gevolg van watertekorten worden berekend.

Om de chlorideconcentratie in de Rijn-Maasmond te berekenen maken we gebruik van het 1D SOBEK-RE Noordelijk deltabekken model (kortweg: NDB). Het modelinstrumentarium van het Deltamodel omvat geen 3D-model dat stroming en menging van water met verschillende dichtheden kan beschrijven op basis van fysische processen. Dat is wel noodzakelijk om de invloed van de ingrepen op de verzilting van de Rijn-Maasmond betrouwbaar te kwantificeren. Het 1D SOBEK-RE Noordelijk Deltabekken-model (kortweg: NDB) is – op basis van 3D-berekeningen en monitoring data - afgeregeld op de huidige situatie in het hoofdwatersysteem met betrekking tot externe verzilting en waterverdeling. Het model

voldoet redelijk voor de beschrijving van (toekomstige) situaties, waarbij de geometrie van de Rijn-Maasmond niet verandert. Belangrijk voordeel van dit model is dat in relatief korte tijd allerlei scenario's en maatregelen kunnen worden verkend (in tegenstelling tot een 3D model dat lange rekentijden kent) en zo meer inzicht kan worden verkregen in de mogelijke verziltingsituaties. Regionale onttrekkingen en drinkwater- en industriewaterinnamepunten, die de verziltingssituatie in het hoofdwatersysteem kunnen beïnvloeden, worden vooraf berekend met NHI (zgn. lateralen) en als randvoorwaarden ingevoerd.

3.3 Gesimuleerde maatregelpakketen en scenario's

In SOBEK-RE NDB model

Om de veranderingen in inlaatbeperkingen voor de inlaten Gouda en Bernisse (twee belangrijkste inlaten voor de regionale gebieden), drinkwaterpunten en industriewaterpunten door verhoogde chlorideconcentraties te kunnen bestuderen, zijn berekeningen gemaakt met het SOBEK-RE model voor het Noordelijk Deltabekken (kortweg: NDB-model). Het model genereert ook de noodzakelijke zoutinvoer-files voor het NHI (randvoorwaarden chlorideconcentraties). De volgende berekeningen zijn met het SOBEK-RE Noordelijk Deltabekken model uitgevoerd en geanalyseerd:

- I. *Afvoer benedenrivierengebied $dQ = -20 \text{ m}^3/\text{s}$ voor extra afvoer naar ARK en via KWA (voor het gemak ook de hele periode). Aanpassing bovenrand Hagestein en Tiel zodat de bovenstroomse afvoer $20 \text{ m}^3/\text{s}$ minder wordt (bij dezelfde chlorideconcentraties). De correctie is eerst op Hagestein (voor extra afvoer naar ARK noordpand logisch), en indien die afvoer niet toereikend is ook op Tiel geïmplementeerd.*
- II. *Afvoer benedenrivierengebied $dQ = -20 \text{ m}^3/\text{s}$ voor totale extra afvoer naar ARK en via KWA (voor het gemak ook de hele periode) & $dQ = -100 \text{ m}^3/\text{s}$ voor verdieping Nieuwe Waterweg (extra zoutindringing vergelijkbaar met $100 \text{ m}^3/\text{s}$ Rijnaivoer). De afvoer $dQ = -20 \text{ m}^3/\text{s}$ is op dezelfde wijze geïmplementeerd als in som I. De afvoer $dQ = -100 \text{ m}^3/\text{s}$ is als volgt geïmplementeerd: omdat ruwweg $1/6^{\text{e}}$ deel van de afvoer bij Lobith over de IJssel gaat en $5/6^{\text{e}}$ over Waal en Neder-Rijn/Lek is, is de bovenrand Hagestein en Tiel aangepast zodat de bovenstroomse afvoer via die randen $85 \text{ m}^3/\text{s}$ minder wordt (bij dezelfde chlorideconcentraties). 20% van die correctie (dus $17 \text{ m}^3/\text{s}$) is eerst op Hagestein geïmplementeerd, en indien die afvoer niet toereikend is het restant ook op Tiel geïmplementeerd. Max. verschuiving in de afvoer bij Hagestein is dus $20 + 17 = 35 \text{ m}^3/\text{s}$. Overige 80% (dus $68 \text{ m}^3/\text{s}$) is direct op Tiel geïmplementeerd.*
- III. *Afvoer benedenrivierengebied $dQ = -20 \text{ m}^3/\text{s}$ voor extra afvoer naar ARK en via KWA (voor het gemak ook de hele periode) & $dQ = -50 \text{ m}^3/\text{s}$ voor verdieping Nieuwe Waterweg (extra zoutindringing vergelijkbaar met $50 \text{ m}^3/\text{s}$ Rijnaivoer). De afvoer $dQ = -20 \text{ m}^3/\text{s}$ is hetzelfde geïmplementeerd als in som I. De afvoer $dQ = -50 \text{ m}^3/\text{s}$ is als volgt geïmplementeerd: omdat ruwweg $1/6^{\text{e}}$ deel van de afvoer bij Lobith over de IJssel gaat en $5/6^{\text{e}}$ over Waal en Neder-Rijn/Lek is, is de bovenrand Hagestein en Tiel aangepast zodat de bovenstroomse afvoer via die randen $42,5 \text{ m}^3/\text{s}$ minder wordt (bij dezelfde chlorideconcentraties). 20% van die correctie (dus $8,5 \text{ m}^3/\text{s}$) is eerst op Hagestein geïmplementeerd, en indien die afvoer niet toereikend is het restant ook op Tiel geïmplementeerd. Max. verschuiving in de afvoer bij Hagestein is dus $20 + 8,5 = 28,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Overige 80% (dus $34 \text{ m}^3/\text{s}$) is direct op Tiel geïmplementeerd.*
- IV. *Afvoer benedenrivierengebied $dQ = -20 \text{ m}^3/\text{s}$ voor extra afvoer naar ARK en via KWA (voor het gemak ook de hele periode) & Variant zout Volkerak-Zoommeer. Aanpassing*

volgens som I & lateral Getijmaas4 aangepast, zodat in de periode 11 juni - 11 september 6 m³/s extra onttrokken wordt.

Uitkomsten chlorideconcentraties: SOBEK-RE NDB modeluitvoer is NHI modelinvoer

Voor beschrijving van de chlorideconcentraties op de zuidrand van het noordelijk deltabekken (Getijmaas, Amer, Biesbosch, Hollandsch Diep, Haringvliet, Spui, Dordsche Kil, Oude Maas) in NHI berekening 1 (=VZM zoete variant) is gebruik gemaakt van de uitkomsten van NDB berekening I, terwijl voor NHI berekening 2 (=VZM zoute variant) gebruik is gemaakt van NDB berekening IV.

De resultaten van NDB berekening II of III leveren input voor de beschrijving van de chlorideconcentraties op de noordrand (Noord, Lek, Hollandsche IJssel, Nieuwe Maas) zowel in NHI berekening 1 (=VZM zoete variant) als in NHI berekening 2 (=VZM zoute variant).

Dit is gedaan op basis van expert judgement kijkend naar het invloedsgebied van een VZM zout en uitkomsten van eerdere studies (De Vries, 2014; Ter Maat et al, 2014). Daarnaast is de wijze van modellering van het effect verdieping NWW (dQ methode) niet geschikt om uitspraken te doen over chlorideconcentraties in het Spui en op de zuidrand.

In NHI

De ingrepen en maatregelen uit paragraaf 3.1 zijn gegroepeerd tot een tweetal ingreep- en maatregelpakketten waarvan de effecten met het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium (versie 3.0.1)⁹ en de landbouweffectmodule AGRICOM (allebei onderdeel van het Deltamodel) voor de zoetwatervoorziening zijn doorgerekend:

- 1 *cumulatieve effecten incl. VZM zoet:* berekening cumulatieve effecten van alle bovenstaande ingrepen en maatregelen, maar inclusief een verdieping in de Nieuwe Waterweg (dQ=-100 m³/s) en een zoete variant van het Volkerak-Zoommeer (aangeduid als mp42 in het DPZW rekenschema)
- 2 *cumulatieve effecten incl. VZM zout:* berekening cumulatieve effecten van alle bovenstaande ingrepen en maatregelen, maar inclusief een verdieping in de Nieuwe Waterweg (dQ=-100 m³/s) en een zoute variant van het Volkerak-Zoommeer (aangeduid als mp43 in het DPZW rekenschema)

Daarnaast is nog het volgende maatregelpakket doorgerekend:

- 3 *Aanpassen capaciteiten van belangrijke inlaten en doorvoeren, passend bij een droog jaar situatie.* Dit is een update van de oorspronkelijke berekening voor maatregel 1 uit fase 4. In maatregel 1 is als uitgangspunt gehanteerd dat alle inlaat- en doorvoercapaciteiten minimaal de watervraag in een droog jaar situatie moeten kunnen faciliteren. Waar dat niet het geval is, zijn de capaciteiten aangepast. In een extreem droog jaar situatie zijn de capaciteiten afgestemd op een droog-jaar-situatie gehandhaafd (en kunnen dan dus wel beperkend werken door de verder toegenomen watervraag!). De nieuwe berekening is uitgevoerd met een nieuwe versie van het Distributiemodel (zie bijlage A) en nu incl. uitbreiding doorvoer Roode Vaart, omdat die als autonome ontwikkeling wordt gezien. (De oorspronkelijke berekening werd aangeduid als mp31 in het rekenschema; de nieuwe berekening wordt als mp41 aangeduid).

⁹ In de nieuwe versie van het NHI zijn een aantal wijzigingen in het Distributiemodel doorgevoerd; zie de beschrijving in bijlage B.

In onderstaande tabel is een overzicht weergegeven van de in deze rapportage gebruikte sommen. Hierbij gaat het om een berekeningen die afkomstig zijn uit verschillende projecten.

Tabel 3.1 Overzicht van oude en nieuwe berekeningen waarvan de resultaten zijn gebruikt in deze rapportage

	Gemiddeld 1967	Droog 1989	Droog 2003	Extreem droog 1976
Huidig klimaat	3	3	3	3
W+ 2050, zonder maatregelen	3	3	3	3
W+ 2050: VZM zout (20 kg/s)	1	1		1
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20 m ³ /s)		1		1
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20 m ³ /s) & VZM zout & extra berekening		1	1	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20 m ³ /s) & verdieping (dQ=-50 m ³ /s) & extra berekening		3	3	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20 m ³ /s) & verdieping (dQ=-100 m ³ /s) & extra berekening	3	3	3	3
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20 m ³ /s) & verdieping (dQ=-100 m ³ /s) & VZM zout & extra berekening	2	2	2	2
WH 2050 (G+ afvoer): zonder maatregelen			3	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20 m ³ /s) & VZM zout (40 kg/s) & extra berekening		1		

1 = NDB

2 = NHI

3 = NDB & NHI

3.4 Vergelijking situaties en indicatoren

De analyse van de berekeningen lijkt sterk op de analyse in Fase 4 van het Deltaprogramma, maar in beknoptere vorm en we veronderstellen dat de lezer bekend is met de inhoud van de vorige Deltares rapporten voor DPZW. We kijken nu naar een gemiddeld jaar (1967), droog jaar (1989 en 2003) en/of extreem droog jaar (1976) situaties in deltascenario Warm. Ten aanzien van gebruiksfuncties kijken we alleen naar landbouwopbrengst en overschrijding chlorideconcentraties. We kijken naar bovengenoemde ingreep- en maatregelpakketten uit paragraaf 3.2 (nieuwe sommen mp41, mp42 en mp43) en vergelijken deze ook met referentiesituatie 2015, Deltascenario Warm 2050 en/of Deltascenario Warm 2100 zonder (oude sommen basecases, d.w.z. situatie zonder maatregelen of ingrepen). Andere maatregelpakketten worden niet (opnieuw) gepresenteerd.

We bespreken de resultaten voor de referentiesituatie 2015 (d.w.z. de situatie volgens het watersysteem en landgebruik in 2015) en de resultaten voor de situaties zonder maatregelen of na implementatie van de maatregelpakketten door ze met elkaar te vergelijken.

We doen dit voor een gemiddeld jaar (volgens hydrologisch karakteristieken overeenkomstig 1967, met kans op voorkomen van het cumulatief neerslagtekort van ca. eens in de twee jaar), voor een droog jaar en/of een extreem droog jaar (volgens hydrologisch karakteristieken overeenkomstig 1976, met kans op voorkomen van ca. eens in 100 jaar).

De effecten van de maatregelen zijn alleen doorgerekend voor het deltasценario Warm (d.w.z. snelle klimaatverandering en sociaaleconomische krimp) in zichtjaar 2050 en in sommige gevallen ook voor zichtjaar 2100. Van de vier Deltascenario's die binnen het Deltaprogramma gebruikt zijn voor toekomstanalyse kent Deltascenario Warm de grootste totaal watervraag, o.a. doordat dit scenario voor de landbouwsector de grootste watervraag oplevert en het uitgaat van snelle klimaatverandering¹⁰ (W+ scenario in de KNMI'06 scenario's). N.B. Het Deltascenario Stoom geeft voor de drinkwatervoorziening de grootste waterbehoefte. Qua hoeveelheid is dat echter ordes lager dan de landbouwwaterbehoefte en daarom is gekozen om de effecten voor Deltascenario Warm te verkennen.

De referentiesituatie 2015 en basisberekeningen Warm 2050 en Warm 2100 (situatie zonder maatregelen) waren in de vorige fase al doorgerekend en zijn niet opnieuw doorgerekend. Ze worden wel gebruikt in de analyse in dit rapport om uitkomsten met elkaar te vergelijken.

We gebruiken de volgende indicatoren voor onze analyse:

- Voor wat betreft het hoofdwatersysteem zelf:
 - verandering in de waterdistributie in het hoofdwatersysteem, in het bijzonder onttrekkingen aan de Waal afvoer ten behoeve van verbeterde aanvoer richting de Maas en richting Amsterdam-Rijnkanaal voor Kleinschalige Wateraanvoer en doorspoeling ARK-noord/Noordzeekanaal [in m³ afname Waalafvoer],
 - verloop IJsselmeerpeil in het zomerhalfjaar [in m + NAP] en de maximaal gebruikte bufferschijf [in m],
 - situatie externe verzilting, door te kijken naar het [aantal sluitingsdagen] van de belangrijke innamepunten bij Gouda en Bernisse als gevolg van verhoogde chlorideconcentraties,
- De gebruiksfuncties die verbonden zijn met het hoofdwatersysteem:
 - inlaatbeperkingen voor drinkwater- en industriewatersector door verhoogde chlorideconcentraties bij vijf innamepunten in het westen van Nederland [in aantal sluitingsdagen] en/of [in gemiddelde chlorideconcentraties],
- Voor wat betreft het regionale watersysteem:
 - regionale oppervlakte-watervraag, -aanvoer en -tekorten voor peilbeheer, doorspoeling en beregening [in Mm³/zomerhalfjaar],
 - veranderingen in het freatisch grondwater. In het NHI wordt geen onttrekkingsplafond voor beregening uit het grondwater toepast. Hierom wordt gekeken naar de effecten op de grondwaterstanden. De verandering in de gemiddeld laagste grondwaterstand (LG3), wordt gepresenteerd. HG3 verandering was er nauwelijks, en is ook niet gepresenteerd omdat de maatregelpakketten voor 1 kalenderjaar actief waren in het model, en de maatregelen in die tijd een beperkte invloed kunnen hebben op GHG.
 - verandering in gewenste doorvoercapaciteit KWA gebaseerd op de piekwatervraag [in m³/s],
- De gebruiksfuncties die verbonden zijn met het regionale watersysteem:
 - effecten op de droogteschade voor de landbouw in de regionale gebieden [in M euro/jaar]. Natschade en zoutschade worden niet berekend. De zoutschade als gevolg van externe verzilting in West-Nederland zit indirect verwerkt in de

¹⁰ Deltascenario Warm is gebaseerd op het klimaatscenario W+ van het KNMI uit 2006 met een nadere uitwerking uit 2009 (in dit rapport verder aangeduid als KNMI'06). Via een gevoeligheidsanalyse is ook het effect van de nieuwe KNMI'14 scenario's beschreven.

droogteschade omdat door het sluiten van de inlaat bij Gouda extra droogteschade voor de landbouw ontstaat.

3.5 Definitie watervraag/-aanvoer

Bij de analyse van de watervraag en waterbehoefte zijn enkele aandachtspunten belangrijk.

- De watervraag is samengesteld uit het aanbod en resterend watertekort.
- De definitie van de watervraag in deze studie is gedefinieerd als vraag die een gebruiker (zoals peilbeheer of beregening) stelt aan het gehele watersysteem. Hierbij wordt dus niet het onderscheid gemaakt tussen een watervraag aan het hoofdwatersysteem of aan het regionale watersysteem. De levering van water (aanbod) kan dus ook plaatsvinden vanuit het hoofdwatersysteem of uit het regionale systeem. De watervraag is de som van het wateraanbod en het watertekort. Het is mogelijk dat een lokaal watersysteem dat een hoge interne waterbeschikbaarheid heeft wel een vraag stelt voor een gebruiker maar de levering (aanbod) volledig intern wordt voorzien door bijvoorbeeld een overschot aan kwelwater. Er zal in deze gebieden wel een vraag en aanbod gedefinieerd zijn, maar er zal geen vraag worden gesteld aan het hoofdwatersysteem.
- Doordat er wordt gekeken naar het wateraanbod en –tekort in het zomerhalfjaar kan het voorkomen dat het totaal van aanbod en tekort (de watervraag dus) verschilt per maatregel binnen eenzelfde scenario. Dit komt omdat een watervraag waaraan niet voldaan kan worden in de volgende tijdstep nog een keer gevraagd wordt. De berekende tekorten moeten daarom als indicatie worden gezien.
- Wateraanbod en –tekort wordt alleen berekend in de peilbeheerste gebieden en dus niet in de vrij-afwaterende gebieden, omdat hier geen wateraanvoer is.
- In deze studie wordt gesproken over een watervraag voor beregening. Dit is de watervraag die gesteld wordt aan het watersysteem voor de gebieden waar beregening mogelijk is. Dit zijn de gebieden waar een beregeningsinstallatie aanwezig is. Deze kaart is modelinvoer van het NHI en is gebaseerd op inventarisaties van het LEI en evt. aangepast op basis van de beschreven ingreep (verdubbeling beregeningsareaal). De watervraag voor beregening is niet gelijk aan de waterbehoefte van de landbouwgewassen. De waterbehoefte van de landbouwgewassen is het water wat alle landbouwgewassen nodig hebben voor een optimale opbrengst. Wanneer er geen tekort voor beregeningswater optreedt, kan er wel een tekort optreden van de waterbehoefte.
- Drinkwater- en industriewater staan alleen in de tekst als ze een significante bijdrage leveren aan de watervraag.

3.6 Ruimtelijke schaal

We onderscheiden in onze verkenning twee type gebieden: knelpunt-/adaptatiegebieden en waterhuishoudkundige deelgebieden.

Kijkend naar het niveau waarop de Deltabeslissing genomen zal worden en het niveau en diepgang waarop de landelijke beleidsanalyse is uitgevoerd, worden de uitkomsten van de verkenning gepresenteerd volgens de knelpunt-/adaptatiegebiedsindeling (zie Figuur 3.1 rechts):

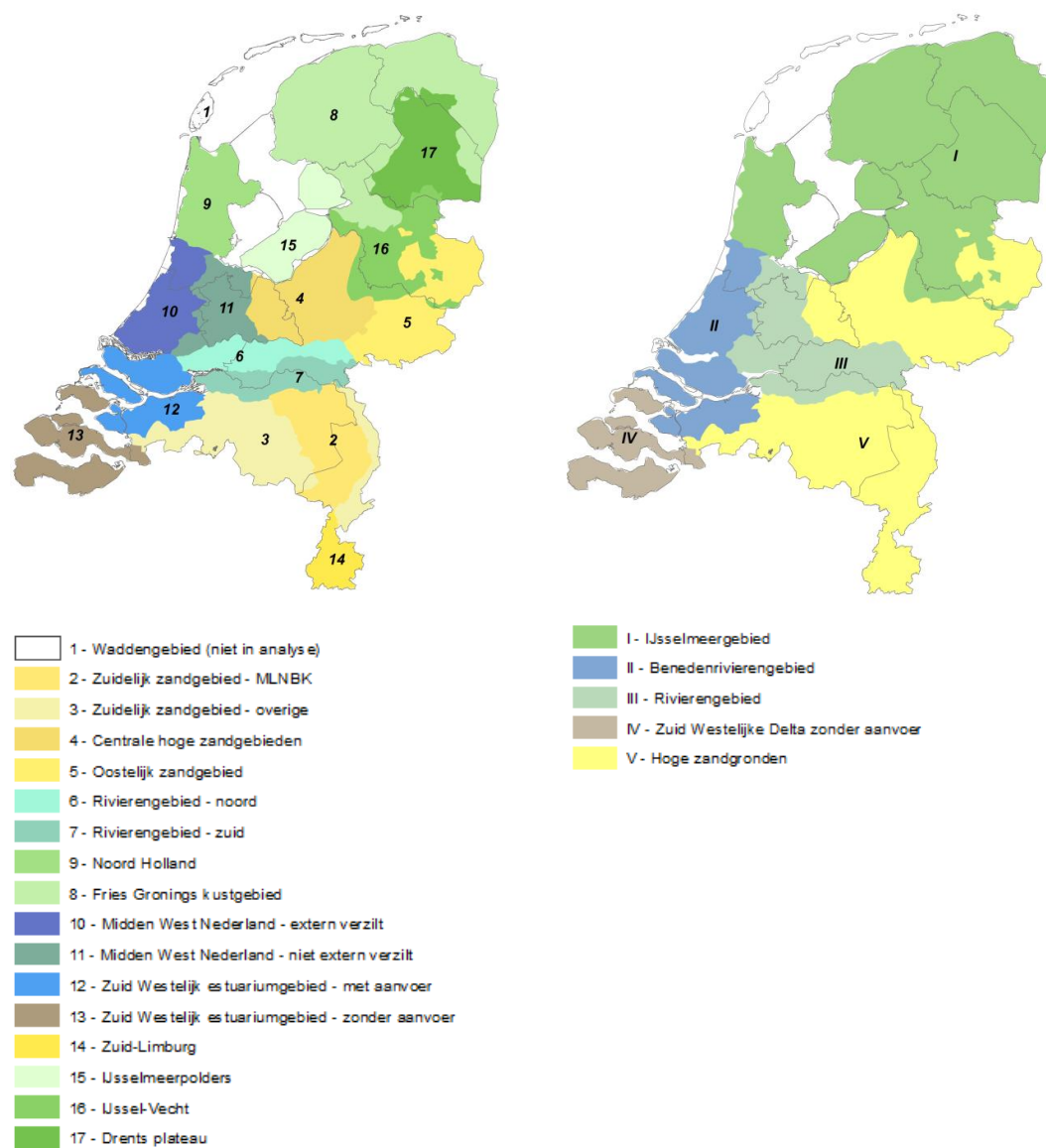
- Hoge zandgronden – niet of nauwelijks aanvoer vanuit HWS mogelijk.
- IJsselmeergebied – afhankelijk van IJsselmeerpeil en/of afvoer IJssel.
- Rivierengebied – afhankelijk van afvoeren Waal, Pannerdensch Kanaal, Neder-Rijn, Amsterdam-Rijnkanaal en/of noordelijk deel van de Maas.

- Benedenrivierengebied – risico externe verzilting.
- Zuidwestelijke delta zonder aanvoer: risico externe verzilting én geen aanvoer vanuit HWS.

In de vorige fasen is gebleken dat, doordat de meeste maatregelen gericht zijn op het terugdringen van een knelpunt c.q. adaptatie aan veranderingen in een specifiek knelpunt-/adaptatiegebied, de knelpunt-/adaptatiegebieden onafhankelijk van elkaar bestudeerd kunnen worden. Waar een maatregel of ingreep een significant neveneffect in een ander knelpunt-/adaptatiegebied veroorzaakt, wordt dit in de tekst benoemd.

Hoewel de uitkomsten in deze rapportage op het niveau van de 5 knelpunt-/adaptatiegebieden (zie Figuur 3.1, rechts) worden gepresenteerd, zijn de modelresultaten in eerste instantie gesommeerd voor 17 waterhuishoudkundige deelgebieden (zie Figuur 3.1, links). De analyse heeft echter vooral plaatsgevonden op het niveau van de knelpunt-/adaptatiegebieden. Daarom kunnen de resultaten per waterhuishoudkundig deelgebied nog vragen oproepen en niet direct gebruikt worden zonder aanvullende analyse. De deelgebieden vormen samen de knelpunt-/adaptatiegebieden:

- IJsselmeergebied: deelgebieden 8, 9, 15, 16 en 17
- Benedenrivierengebied: deelgebieden 10 en 12
- Rivierengebied: deelgebieden 6, 7 en 11
- Zuidwestelijke delta zonder aanvoer: deelgebied 13
- Hoge zandgronden: deelgebieden 2, 3, 4, 5 en 14



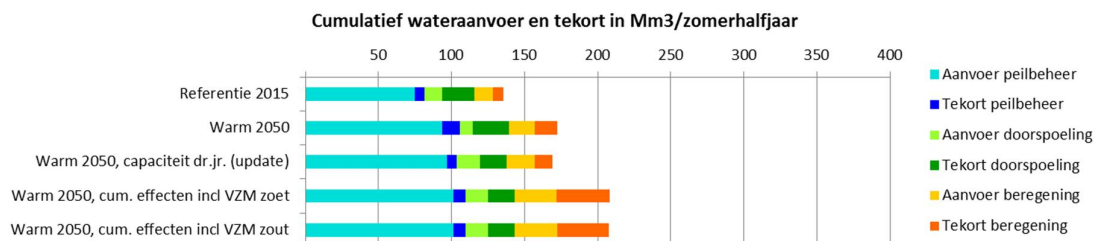
Figuur 3.1 De 17 waterhuishoudkundige deelgebieden (links) en de 5 knelpunt-/adaptatiegebieden (rechts)

4 Hoge zandgronden

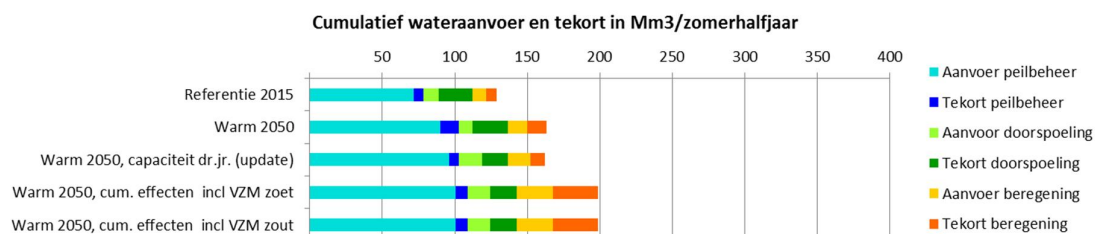
4.1 Effecten op de regionale watertekorten

Op de hoge zandgronden is niet of nauwelijks wateraanvoer vanuit het hoofdwatersysteem mogelijk.

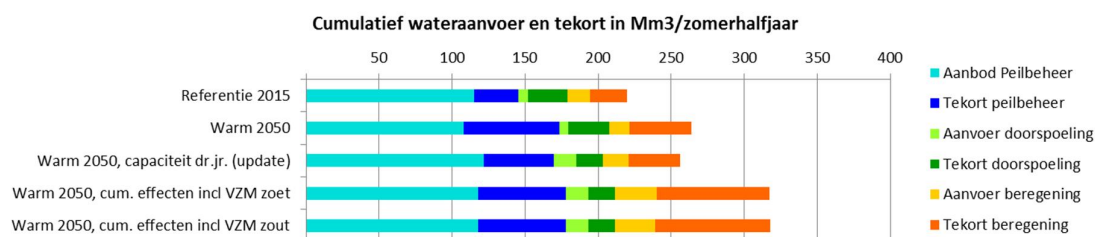
- Scenario Warm levert hogere watervragen op dan Referentie 2015. Dit effect is het sterkst voor zichtjaar 2100.
- Scenario Druk geeft geen verhoogde watervragen en tekorten (Ter Maat et al., 2014a).
- De berekende watervraag en tekorten voor de droge jaren 1989 en 2003 zijn ongeveer gelijk. In een gelijk blijvend socio-economisch scenario wordt de watervraag voornamelijk bepaald door het neerslagtekort, welke voor deze twee jaren bijna gelijk is. De som met aangepaste inlaat- en doorvoercapaciteiten (afgestemd op een 1/10 jaar) laat weinig effect op de hoge zandgronden zien, omdat dit aanpassingen in het hoofdwatersysteem zijn.
- De sommen met alle ingrepen en maatregelen laten in dit knelpuntgebied voornamelijk effecten zien via de verdubbelde beregeningsarealen. Zoals te zien in Figuur 4.1 t/m Figuur 4.5, vertaalt zich dit ook in een verdubbelde watervraag voor beregening, terwijl de andere gebruiksfuncties relatief constant blijven. Binnen dit gebied komt meer dan 90% van het beregeningswater uit grondwater. Op deze grondwateronttrekkingen wordt in de simulatie niet gekort. De beregening in de aanvoer en tekort figuren heeft echter alleen betrekking op het oppervlaktewater. Hiervoor bestond al een tekort, dus met de extra vraag zoals die gedefinieerd is in de sommen van de cumulatieve effecten voegt dit extra beregeningstekorten toe.
- De watervragen en tekorten reageren vergelijkbaar op de maatregelen voor de verschillende deltasenario's en droogtejaren, los van het verwachte beeld van hogere vragen en tekorten in de extreem droge jaren, alsmede de extremere deltasenario's.
- In Figuur 4.6 is de verandering van de LG3, de laagste grondwaterstanden, ten gevolge van de sommen met alle ingrepen en maatregelen te zien. Dit is ten opzichte van de nieuwe berekening met aangepaste capaciteiten. De verdubbeling van het beregend areaal veroorzaakt verlagingen van de grondwaterstand in de gebieden waar uit grondwater beregend wordt. Voor een extreem droog jaar is die verlaging in grote gebieden 10 tot 50 centimeter, voor een droog jaar is het effect minder sterk. In de gebieden waar uit oppervlaktewater beregend wordt zijn echter verhogingen van de grondwaterstand te zien.



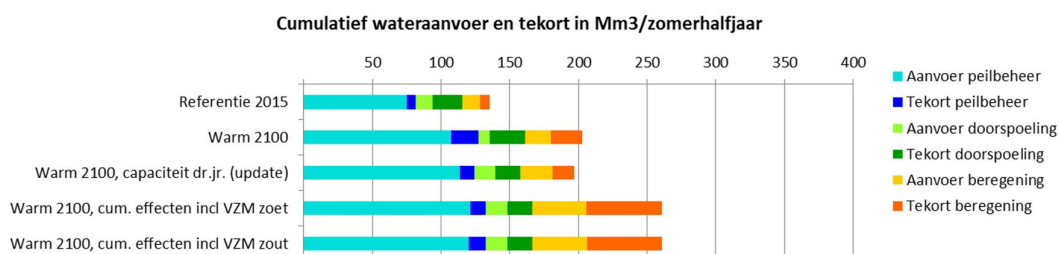
Figuur 4.1 Wateraanvoer en -tekort voor peilbeheer, doorspoeling en beregening (Mm^3) op de hoge zandgronden (deelgebieden 2, 3, 4, 5 en 14) voor de referentie, en het deltasenario Warm met en zonder ingrepen en maatregelen in een droog jaar (1989) voor het zichtjaar 2050



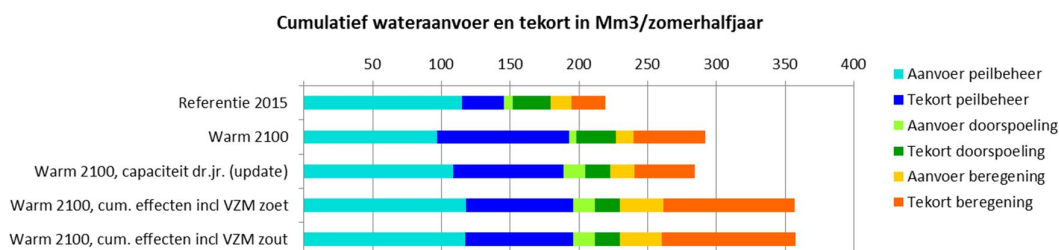
Figuur 4.2 Wateraanvoer en -tekort voor peilbeheer, doorspoeling en beregning (Mm³) op de hoge zandgronden (deelgebieden 2, 3, 4, 5 en 14) voor de referentie, en het deltasenario Warm met en zonder ingrepen en maatregelen in een droog jaar (2003) voor het zichtjaar 2050



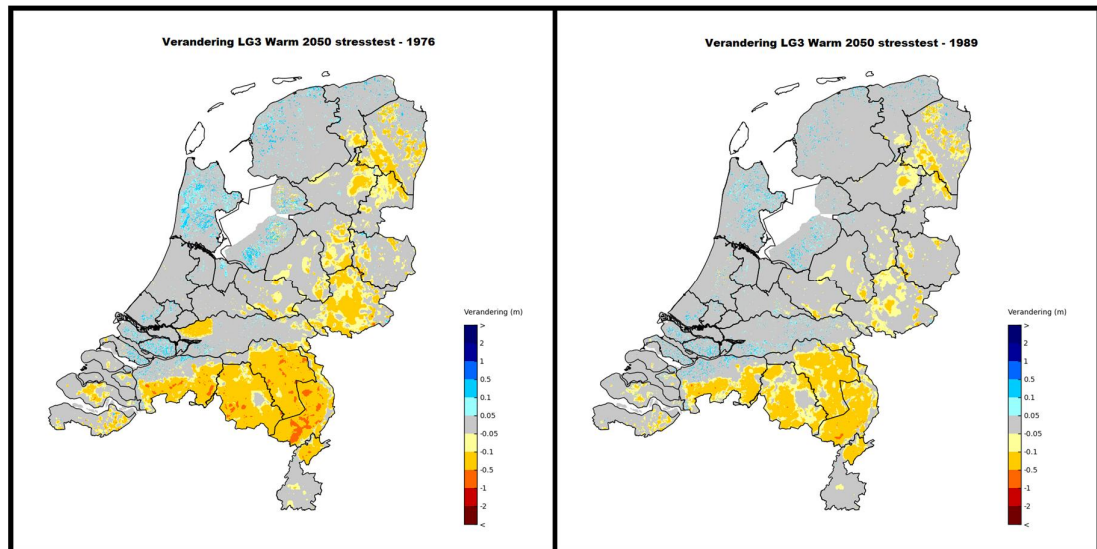
Figuur 4.3 Wateraanvoer en -tekort voor peilbeheer, doorspoeling en beregning (Mm³) op de hoge zandgronden (deelgebieden 2, 3, 4, 5 en 14) voor de referentie, en het deltasenario Warm met en zonder ingrepen en maatregelen in een extreem droog jaar (1976) voor het zichtjaar 2050



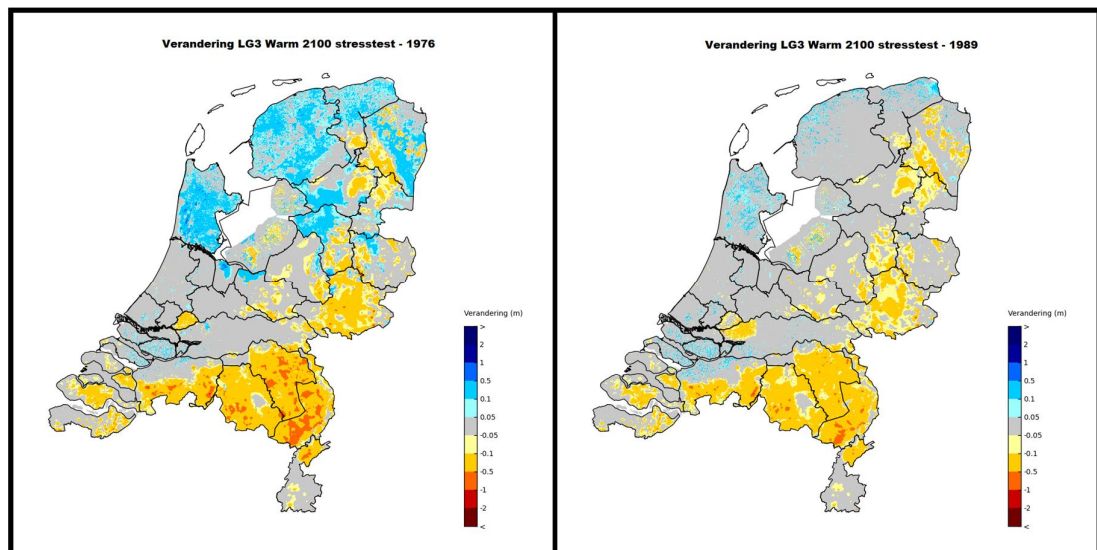
Figuur 4.4 Wateraanvoer en -tekort voor peilbeheer, doorspoeling en beregning (Mm³) op de hoge zandgronden (deelgebieden 2, 3, 4, 5 en 14) voor de referentie, en het deltasenario Warm met en zonder ingrepen en maatregelen in een droog jaar (1989) voor het zichtjaar 2100



Figuur 4.5 Wateraanvoer en -tekort voor peilbeheer, doorspoeling en beregning (Mm³) op de hoge zandgronden (deelgebieden 2, 3, 4, 5 en 14) voor de referentie, en het deltasenario Warm met en zonder ingrepen en maatregelen in een extreem droog jaar (1976) voor het zichtjaar 2100



Figuur 4.6 Verandering LG3 sommen Warm 2050 met ingrepen en maatregelen¹¹, voor een extreem droog jaar (links) en een droog jaar (rechts). Dit is de verandering ten opzichte van de nieuwe berekening met aangepaste capaciteiten, geel/rood zijn verlaagde grondwaterstanden.



Figuur 4.7 Verandering LG3 Warm 2100 met ingrepen en maatregelen voor een extreem droog jaar (links) en een droog jaar (rechts). Dit is de verandering ten opzichte van de nieuwe berekening met aangepaste capaciteiten, geel/rood zijn verlaagde grondwaterstanden.

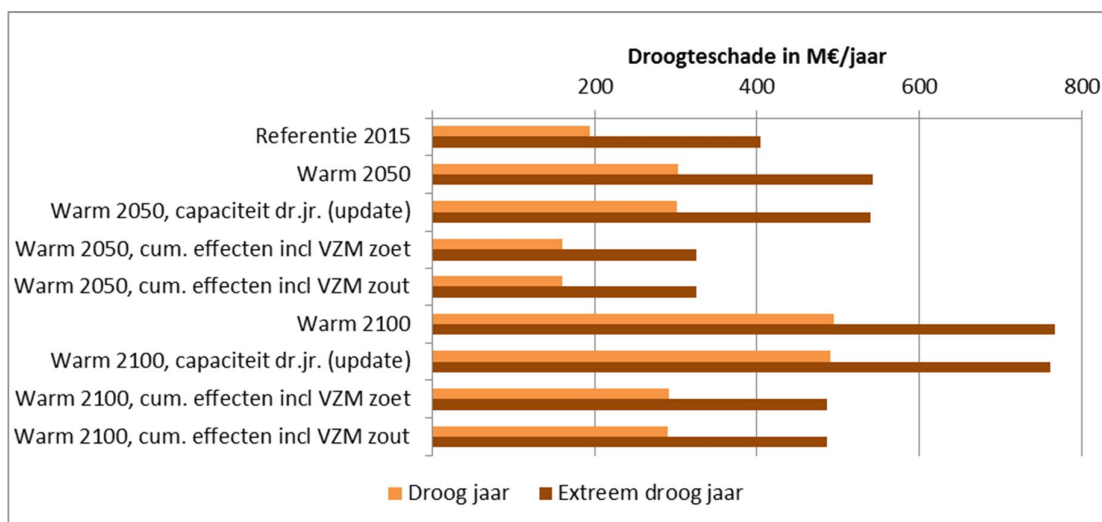
4.2 Effecten op de landbouw

De verdubbeling van de beregeningsarealen zou een duidelijke vermindering van de droogteschades voor landbouw moeten kunnen realiseren. De impact voor de verschillende berekeningen is gevisualiseerd in Figuur 4.8 (zie paragraaf 3.1 voor de beschrijving van de

¹¹ Deze berekeningen zijn uitgevoerd met maar 1 inspeeljaar. Voor de gebieden met diepe grondwaterstanden zijn de effecten nog niet volledig doorgewerkt. De resultaten kunnen in deze gebieden een onderschatting geven van de effecten.

maatregelen). Voor een droog jaar (1989) kan deze maatregel de droogteschade halveren, en voor een extreem droog jaar met een derde verminderen.

De verdubbelde beregening uit grondwater (niet zichtbaar in Figuur 4.1 t/m Figuur 4.5) die volledig wordt geleverd, is waarschijnlijk grotendeels verantwoordelijk voor de schadereductie.

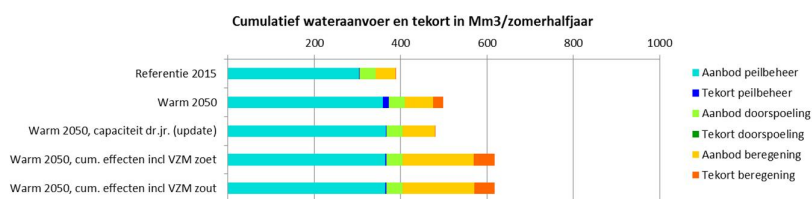


Figuur 4.8 Schade voor de landbouw in de hoge zandgronden (deelgebieden 2, 3, 4, 5 en 14) voor de referentie situatie, deltasenario Warm met en zonder ingrepen en maatregelen in een droog (1989) en extreem droog jaar voor zichtjaren 2050 en 2100

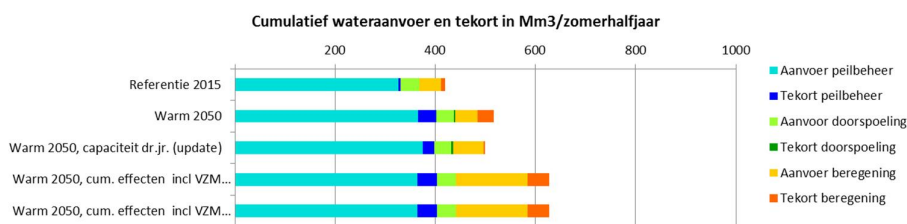
5 Rivierengebied

5.1 Effecten op de regionale watertekorten

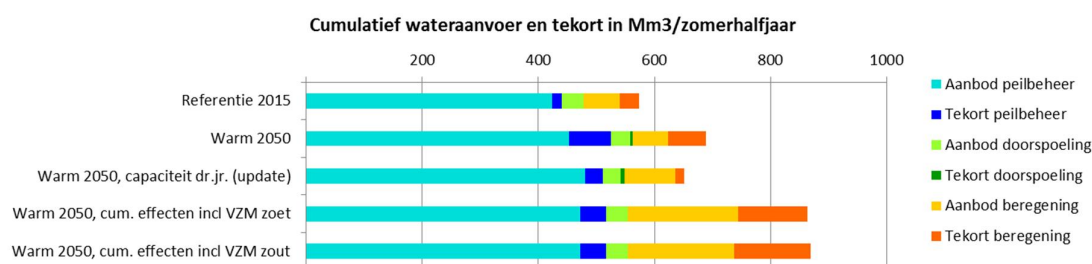
- Scenario Druk geeft geen verhoogde watervragen en tekorten (Ter Maat et al., 2014a).
- De berekende watervraag en tekorten voor de droge jaren 1989 en 2003 zijn ongeveer gelijk. In een gelijk blijvend socio-economisch scenario wordt de watervraag voornamelijk bepaald door het neerslagtekort, welke voor deze twee jaren bijna gelijk is.
- De tekorten voor peilbeheer en beregning nemen af in de capaciteit (update) berekening (zie paragraaf 3.2 punt 3) ten opzichte van de basiscase (d.w.z. de situatie zonder maatregelen). Door de grotere capaciteiten neemt overal waar de capaciteit beperkend was het tekort af.
- De berekeningen met 'cumulatieve effecten van alle ingrepen en maatregelen' laten binnen het rivierengebied ook het meeste effect op de regionale watertekorten zien via de verdubbeling van het beregeningsareaal. De beregning komt vooral uit het oppervlaktewater. Het is duidelijk te zien in
-
-
- Figuur 5.1 t/m Figuur 5.5 dat met deze vergrote beregeningsvraag een groter aanbod kan worden gedaan. In extreem droge jaren komt een groot deel hiervan echter als tekort in de boeken als gevolg van beperkingen in de aanvoercapaciteit.
- Als het gevolg van de beschreven ingrepen blijkt dat de inlaat van de Alblasserwaard verzilt raakt. Dit leidt in de Alblasserwaard tot aanvoerproblemen.
- In Figuur 4.6 en Figuur 4.7 zijn de effecten van de ingrepen en maatregelen op de grondwaterstanden te zien. In beide figuren valt op dat er een grondwaterstandsverlaging optreedt in de Alblasserwaard en/of de Krimpenerwaard. Dit heeft te maken met een beperking van de inlaat in verband met de chlorideconcentratie. Het zout dringt als gevolg van de ingrepen in het watersysteem verder door, wat leidt tot verzilting van de inlaatpunten met als gevolg tekorten en verlaagde grondwaterstanden.



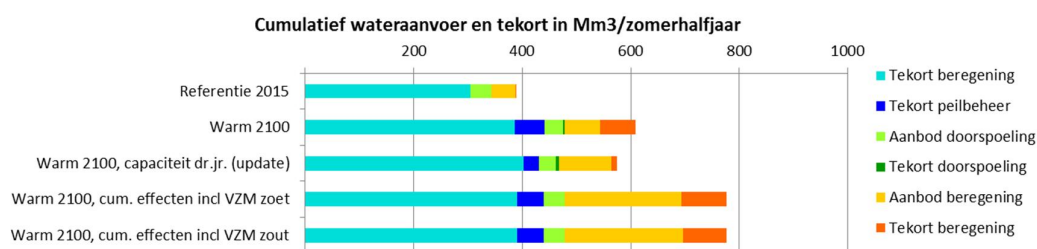
Figuur 5.1 Wateraanvoer en -tekort voor peilbeheer, doorspoeling en beregning (Mm^3) naar het voorzieningsgebied vanuit het rivierengebied (deelgebieden 6, 7 en 11) voor de referentie, en het deltas scenario Warm met en zonder ingrepen en maatregelen in een droog jaar (1989) voor het zichtjaar 2050



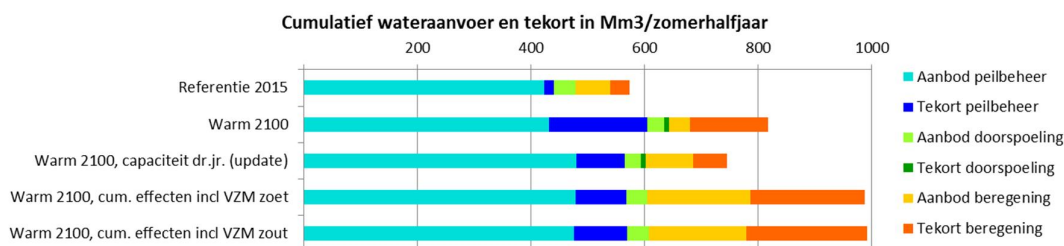
Figuur 5.2 Wateraanvoer en -tekort voor peilbeheer, doorspoeling en beregning (Mm^3) naar het voorzieningsgebied vanuit het rivierengebied (deelgebieden 6, 7 en 11) voor de referentie, en het deltasenario Warm met en zonder ingrepen en maatregelen in een droog jaar (2003) voor het zichtjaar 2050



Figuur 5.3 Wateraanvoer en -tekort voor peilbeheer, doorspoeling en beregning (Mm^3) naar het voorzieningsgebied vanuit het rivierengebied (deelgebieden 6, 7 en 11) voor de referentie, en het deltasenario Warm met en zonder ingrepen en maatregelen in een extreem droog jaar (1976) voor het zichtjaar 2050



Figuur 5.4 Wateraanvoer en -tekort voor peilbeheer, doorspoeling en beregning (Mm^3) naar het voorzieningsgebied vanuit het rivierengebied (deelgebieden 6, 7 en 11) voor de referentie, en het deltasenario Warm met en zonder ingrepen en maatregelen in een droog jaar (1989) voor het zichtjaar 2100

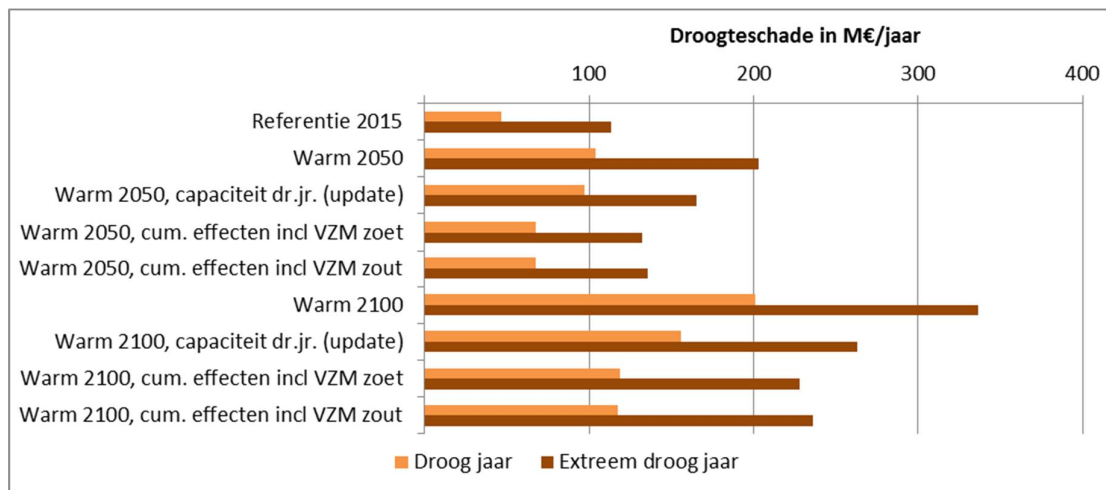


Figuur 5.5 Wateraanvoer en -tekort voor peilbeheer, doorspoeling en beregning (Mm^3) naar het voorzieningsgebied vanuit het rivierengebied (deelgebieden 6, 7 en 11) voor de referentie, en het deltasenario Warm met en zonder ingrepen en maatregelen in een extreem droog jaar (1976) voor het zichtjaar 2100

5.2 Effecten op de landbouw

De grofweg $100 Mm^3$ die extra wordt beregend, levert een droogteschadereductie op als in Figuur 5.6. Voor een droog jaar (1989) binnen Warm zichtjaar 2050 scheelt het ongeveer 30 M€ ten opzichte van de update van de capaciteitsberekening.

De capaciteitsaanpassingen konden al een deel van het berekeningstekort opheffen, en daarmee ook de droogteschade. In een extreem droog jaar is dit extra duidelijk.



Figuur 5.6 Schade voor de landbouw in het voorzieningsgebied van het rivierengebied (deelgebieden 6, 7 en 11) voor de referentie situatie, deltasceario Warm met en zonder ingrepen en maatregelen in een droog en extreem droog jaar voor zichtjaren 2050 en 2100

6 IJsselmeergebied

6.1 Benodigde bufferschijf voor maximale levering aan de regio

Tabel 5.1 laat zien welke bufferschijf (verschil tussen zomerstreefpeil -0,1 m NAP en minimum zomerpeil) nodig zou zijn in verschillende situaties om in alle watervragen aan het IJsselmeer (zoveel mogelijk) te voorzien (zie paragraaf 5.2 voor de bijbehorende leveringspercentages). Voor de situatie in een extreem droog jaar zonder ingrepen of maatregelen (basiscase) kunnen er toch nog tekorten in het regionale watersysteem optreden, omdat de doorvoercapaciteit afgestemd is op de maximale doorvoer in een droog jaar, terwijl de watervraag in een extreem droog jaar groter is. Hetzelfde geldt voor de situaties met alle ingrepen en maatregelen (berekeningen cumulatieve effecten); ook dan kan er toch nog een tekort in het regionale watersysteem optreden, omdat de doorvoercapaciteit afgestemd is op de maximale doorvoer in een droog jaar zonder verdubbeling van het potentieel beregend areaal.

Omdat er in het model een prioriteitsvolgorde in de afhandeling van de watervragen aan het IJsselmeer zit, is het zo dat de aanvoer vanuit het IJsselmeer naar het Markermeer afneemt naarmate de uitzakking van het meer groter wordt. Gevolg is dat het Markermeer verder kan uitzakken dan het IJsselmeer (zie linker en middelste kolom van Tabel 5.1).¹²

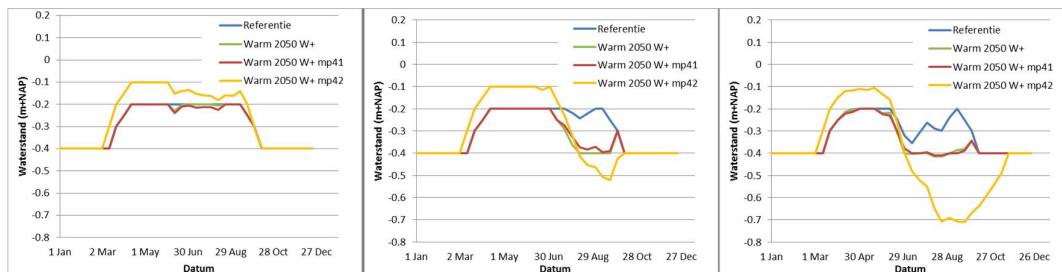
Op basis van de modeluitkomsten is ook berekend wat de benodigde bufferschijf zou zijn als het peilverloop op het IJsselmeer en op het Markermeer hetzelfde zouden zijn (rechter kolom in Tabel 5.1). Uit de tabel volgt dat in scenario Warm in 2050 een schijfdikte van 0,5 m nodig is op het IJsselmeer en Markermeer samen en in 2100 ruim 0,9 m in een extreem droog jaar. Als het potentieel areaal berekening verdubbeld wordt (berekening 'cumulatieve effecten van ingrepen en maatregelen'), is de verwachting dat een extra schijf van 0,15 tot 0,3 m nodig is op het IJsselmeer en Markermeer samen.

Opvallend is dat hoewel alle gepresenteerde hydrologische jaren 1989 en 2003 beide bekend staan als een droog jaar (herhalingstijd ca. 10 jaar voor het neerslagtekort), er toch duidelijke verschillen zijn in de uitzakking van het IJsselmeerpeil. Dit wordt veroorzaakt door de timing van de piekwatervraag van het IJsselmeer zelf en het omliggende gebied enerzijds en het afvoerterloop en afvoerdeficiet van de IJssel binnen het jaar anderzijds. Het neerslagtekort voor deze jaren is vrijwel gelijk, maar door lagere aanvoer richting het IJsselmeer als gevolg van lagere rivierafvoeren in 2003 is het gebruik van de IJsselmeerbuffer in 2003 duidelijk groter. In beide jaren is echter de bufferschijf van 20 cm die voorzien is in de voorzoetwaterstrategie Zoetwater voldoende, mits het potentieel beregeningsareaal niet verdubbelt.

¹² In paragraaf 2.2.1 werd genoemd dat de simulatie van het peilbeheer voor IJsselmeer en Markermeer in de modellen verbeterd is. De wijzigingen hebben geen significant effect op de berekende bufferschijf. De uitkomsten uit fase 4 en nu kunnen daarom met elkaar vergeleken worden.

Tabel 6.1 Equivalent benodigde bufferschijf [in m], uit IJsselmeer en Markermeer, als in droog jaar (1989) 100% van de watervraag in het IJsselmeergebied geleverd wordt en in extreem droog jaar zo veel mogelijk geleverd wordt (aangezien inlaat- en doorvoercapaciteiten afgestemd zijn op piekwatervraag in droog jaar) bij een zomerstreefpeil - 0,1 m NAP

Scenario, i.c.m. met of zonder ingrepen en maatregelen	Uitzakking IJsselmeer [m]			Uitzakking Markermeer [m]			Gelijke uitzakking IJsselmeer/Markermeer [m]		
	Droog 1989	Droog 2003	Extr. droog 1976	Droog 1989	Droog 2003	Extr. droog 1976	Droog 1989	Droog 1989	Extr. droog 1976
Referentie 2015	0,00	0,04	0,15	0,00	0,04	0,15	0,00	0,04	0,15
Warm 2050	0,03	0,18	0,43	0,03	0,18	0,57	0,03	0,18	0,49
Warm 2050, Cumulatieve effecten ingrepen en maatregelen	0,08	0,42	0,59	0,09	0,47	0,72	0,08	0,44	0,64
Warm 2100	0,41	n.b.	0,83	0,53	n.b.	1,06	0,46	n.b.	0,92
Warm 2100, Cumulatieve effecten ingrepen en maatregelen	0,55	n.b.	1,02	0,66	n.b.	1,19	0,59	n.b.	1,09



Figuur 6.1 Peilverloop IJsselmeer voor de jaren 1989, 2003 en 1976 voor de referentie situatie, Warm 2050, Warm 2050 met aangepaste capaciteiten (mp41) en Warm 2050 met cumulatieve effecten ingrepen en maatregelen (mp42).

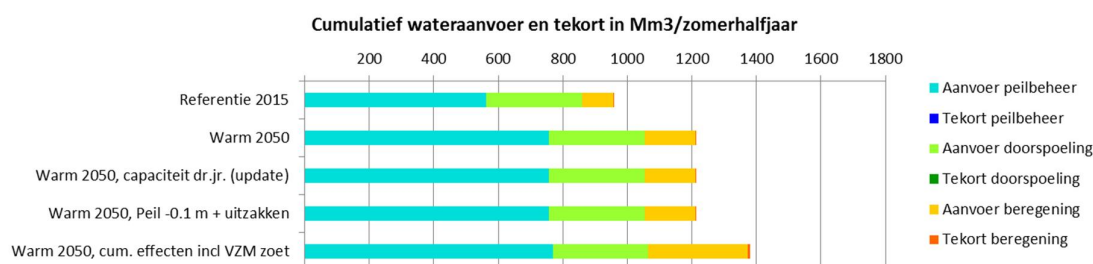
6.2 Effecten op de regionale watertekorten

Voor het IJsselmeergebied zijn voor een droog jaar in het Warm 2050 scenario nauwelijks tekorten. Voor extreem droge jaren of Warm 2100 ontstaan deze echter wel. Het aanpassen van de capaciteiten heeft echter al zichtbaar effect in het reduceren van tekorten.

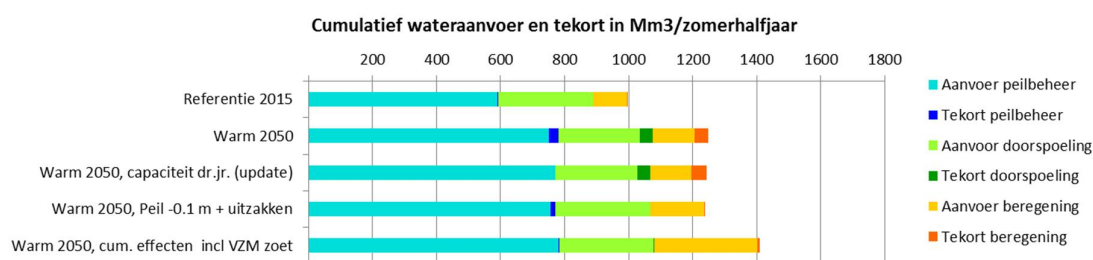
Net als bij de andere knelpuntgebieden verdubbelt de beregeningsvraag uit het oppervlaktewater in de berekeningen van de 'cumulatieve effecten van ingrepen en maatregelen'. Dit water kan voor het grootste deel geleverd worden uit het IJsselmeer/Markermeer, dat daarvoor onbeperkt mag uitzakken. De tekorten op de peilbeheersvraag worden dan ook opgelost. Dat de tekorten met onbeperkt uitzakken worden opgelost is ook te zien aan de Peil -0.1 m + uitzakken berekening uit fase 4, die in Figuur 6.2 t/m Figuur 6.6 ook is gereproduceerd.

In Figuur 4.6 en Figuur 4.7 zijn de effecten van de ingrepen en maatregelen op de grondwaterstanden te zien. De beregeningsmaatregel is gecombineerd met het onbeperkt uitzakken van het IJsselmeerpeil. Dit betekent dat er ook in een extreem droog jaar beregeningswater kan blijven worden geleverd in het voorzieningsgebied vanuit het IJsselmeergebied. Dit leidt tot de verhoogde grondwaterstanden. Voor Warm 2100 1976

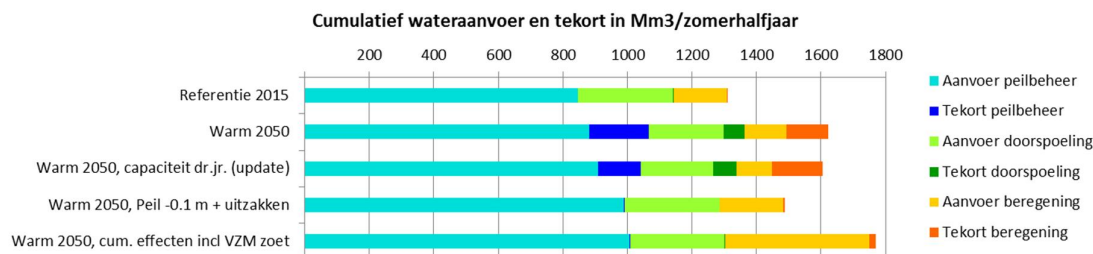
(Figuur 4.7) is de verhoging van de grondwaterstanden het sterkst, dit is niet alleen het effect van de berekening die we in de andere berekeningen zien, maar voornamelijk vanwege een veel groter aanbod voor peilbeheer uit het IJsselmeer. In Figuur 6.6 is te zien dat in het IJsselmeergebied in een extreem droog jaar een groot tekort is voor peilbeheer. Voor een droog jaar is dit tekort niet groot (Figuur 6.5). Doordat het IJsselmeer nu onbeperkt mag uitzakken, kan dit tekort worden opgelost, en zien we duidelijke verhogingen in de grondwaterstand, hoewel de peilbeheerwatervraag niet is veranderd.



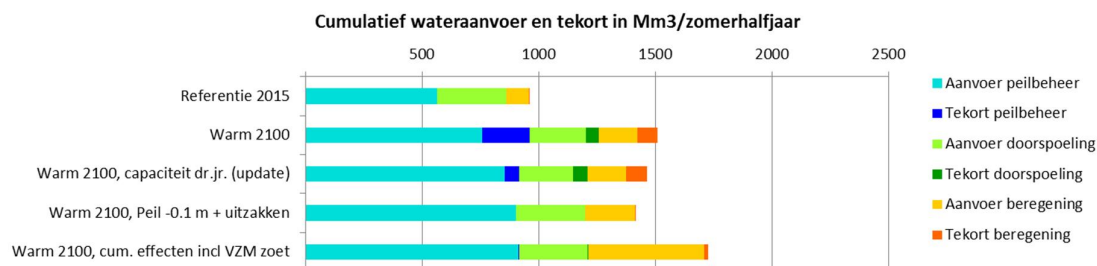
Figuur 6.2 Wateraanvoer en -tekort voor peilbeheer, doorspoeling en beregning (Mm^3) naar het voorzieningsgebied vanuit het IJsselmeergebied (deelgebieden 8, 9, 15, 16, 17) voor de referentie, en het deltasceario Warm met en zonder ingrepen en maatregelen in een droog jaar (1989) voor het zichtjaar 2050



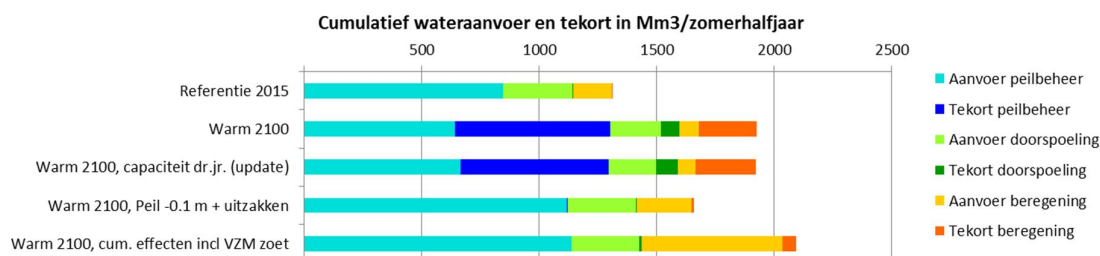
Figuur 6.3 Wateraanvoer en -tekort voor peilbeheer, doorspoeling en beregning (Mm^3) naar het voorzieningsgebied vanuit het IJsselmeergebied (deelgebieden 8, 9, 15, 16, 17) voor de referentie, en het deltasceario Warm met en zonder ingrepen en maatregelen in een droog jaar (2003) voor het zichtjaar 2050



Figuur 6.4 Wateraanvoer en -tekort voor peilbeheer, doorspoeling en beregning (Mm^3) naar het voorzieningsgebied vanuit het IJsselmeergebied (deelgebieden 8, 9, 15, 16, 17) voor de referentie, en het deltasceario Warm met en zonder ingrepen en maatregelen in een extreem droog jaar voor het zichtjaar 2050



Figuur 6.5 Wateraanvoer en -tekort voor peilbeheer, doorspoeling en beregning (Mm^3) naar het voorzieningsgebied vanuit het IJsselmeergebied (deelgebieden 8, 9, 15, 16, 17) voor de referentie, en het deltasenario Warm met en zonder ingrepen en maatregelen in een droog jaar voor het zichtjaar 2100

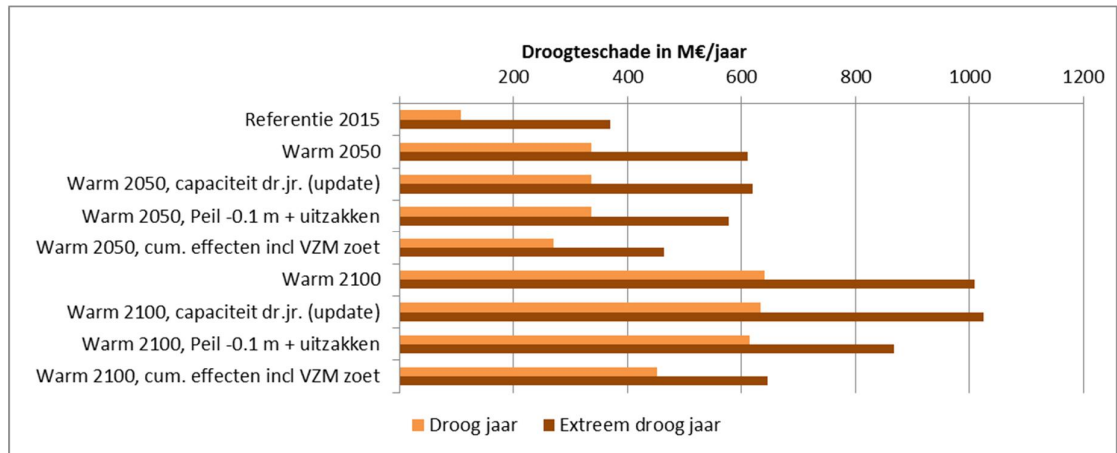


Figuur 6.6 Wateraanvoer en -tekort voor peilbeheer, doorspoeling en beregning (Mm^3) naar het voorzieningsgebied vanuit het IJsselmeergebied (deelgebieden 8, 9, 15, 16, 17) voor de referentie, en het deltasenario Warm met en zonder ingrepen en maatregelen in een extreem droog jaar voor het zichtjaar 2100

6.3 Effecten op de landbouw

De droogteschade voor de landbouw in het IJsselmeergebied wordt kleiner als er onbeperkt beregeningswater uit het IJsselmeer kan worden ingelaten. Voor een droog jaar onder scenario Warm 2050 was er al geen beregeningstekort (Figuur 6.2), daardoor is in Figuur 6.7 ook geen reductie in droogteschade te zien. Voor een extreem droog jaar onder scenario Warm 2100, een jaar met grote tekorten, wordt de schade met 160 M€ het meest omlaag gebracht.

Ten opzichte van de 'Peil -0.1 m + uitzakken' berekening bevat de berekening van de 'cumulatieve effecten van ingrepen en maatregelen' nog de verdubbeling van het potentiaal beregend areaal en het verkorten van de beregingsperiode. Dit lijkt relatief een groter effect te hebben op de droogteschades dan het onbeperkt uitzakken. Echter zonder de nodige extra water aanvoer uit het IJsselmeer zal de intensievere beregening weinig droogteschade helpen voorkomen, zeker in gevallen waar er al beregeningstekorten optreden.



Figuur 6.7 Schade voor de landbouw in het voorzieningsgebied van het IJsselmeer en Markermeer (regio 8, 9, 15 en 17) voor de referentie situatie, deltasceario Warm met en zonder ingrepen en maatregelen in een droog en extreem droog jaar voor zichtjaren 2050 en 2100

7 Benedenrivierengebied

7.1 Verhoging van de chlorideconcentraties in de Rijn-Maasmond

7.1.1 Effecten op de noordrand van de Rijn-Maasmond: locaties Gouda en Krimpen

Huidige situatie en deltasce­nario's

In fase 4 van het Deltaprogramma was voor locatie Gouda berekend dat het aantal keer dat de chlorideconcentratie 24 uur of langer achtereen hoger is dan het chlorideniveau (250 mg/l in de zomerperiode) ongeveer zou verdubbelen in een extreem droog jaar bij het klimaatscenario W⁺ (scenario Warm) in 2050 ten opzichte van de huidige situatie (zie Tabel 7.1). Ook in een gemiddeld en in een droog jaar (1989) komt de chlorideconcentratie boven het niveau uit in scenario Warm in 2050. Omdat in een 2003 jaar situatie de afvoer beduidend lager is dan in 1989, treedt in dit droge jaar niet alleen in 2050, maar ook al in de huidige situatie overschrijdingen van het niveau op.

Ook voor locatie Krimpen a/d IJssel wordt in dezelfde situatie het niveau overschreden en in een extreem droog jaar is het aantal dagen in scenario Warm in 2050 zelfs verdrievoudigd t.o.v. de huidige situatie (zie Tabel 7.2). In dit scenario in het zichtjaar 2050 zit in een gemiddeld jaar de concentratie ongeveer 15 dagen/jaar boven de overschrijdingsgrens.

Effecten ingrepen en maatregelen

Voor de doorspoeling van het Amsterdam-Rijnkanaal met oog op het zoutlek van de grote zeesluis in het Noordzeekanaal (gemodelleerd als 20 m³/s continue aanvoer) en voor de aanvoer KWA wordt extra water onttrokken aan de Lek en evt. Waal (aanvullend als Lek niet voldoende afvoer heeft). Dit leidt onder het Warm scenario volgens de SOBEK-RE NDB berekeningen tot ca. 5 a 10 dagen extra overschrijding van de grenswaarde op de locatie Gouda.

Een verdieping in de Nieuwe Waterweg tot NAP -17 m heeft een significant effect onder scenario Warm in 2050: ook een gemiddeld jaar is de overschrijding meer dan 40 dagen. In de cumulatieve som d.w.z. met doorspoeling ARK, extra berekening en verdieping NWW komt de verhoging van het aantal dagen overschrijding m.n. door de verdieping.

Verder laten de resultaten van het NDB model zien dat onder scenario Warm in 2050 een dQ van – 50 m³/s leidt tot ongeveer 20 dagen extra overschrijding van het chlorideniveau bij Gouda en een dQ van -100 m³/s tot ongeveer 30 dagen extra overschrijding. Dit geldt voor een droog jaar situatie met karakteristieken van het jaar 1989. In een droog jaar situatie met karakteristieken van het jaar 2003 is het verschil beduidend kleiner, namelijk maximaal 10 dagen extra overschrijding, dit komt naar verwachting door het type verzilting dat zich voordoet als gevolg van de afvoer die in 2003 die beduidend (langer) lager is dan 1989.

Op de noordrand van het Noordelijk Deltabekken (waaronder de Hollandsche IJssel en inlaat Gouda) laten de NDB modeluitkomsten zien dat een extra zoutlast als gevolg van een zout Volkerak-Zoommeer een gunstig effect heeft op de aantal dagen overschrijding van de grenswaarde bij Gouda en Krimpen. Op basis van eerder onderzoek met 3D modellen (Uittenbogaard, 2012) wordt deze uitkomst niet plausibel geacht (in de tabel 7.1 en 7.2 zijn de uitkomsten daarom vervangen door een *). We denken dat we hier tegen de beperkingen van het NDB model aanlopen.

Tabel 7.1 Duur dat 'chlorideinlaatcriterium' langer wordt overschreden dan 24 uur (in het zomerhalfjaar) bij Gouda voor vier droogtejaren in huidig klimaat en in 2050 in het klimaatscenario W+ en in het klimaatscenario WH (met G+ afvoer) in de situatie met of zonder ingreep.

Locatie	Gemiddeld 1967	Droog 1989	Droog 2003	Extreem droog 1976
Gouda (norm 250 mg/l) (alleen zomerhalfjaar)				
Huidig klimaat	0	0	12	46
W+ 2050: Zonder maatregelen	16	31	71	90
W+ 2050: VZM zout (20 kg/s)	*	*		*
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20)		35	76	98
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20) & VZM zout (20 kg/s) & extra berekening	*	*	*	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20) & verdieping NWW (dQ=50) & extra berekening		57	80	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20) & verdieping NWW (dQ=100) & extra berekening	48	75	84	126
WH 2050 (G+ afvoer): Zonder maatregelen			54	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20) & VZM zout (40 kg/s) & extra berekening		*		

Tabel 7.2 Duur dat 'chlorideinlaatcriterium' langer wordt overschreden dan 24 uur (in het zomerhalfjaar) bij Krimpen aan de IJssel voor vier droogtejaren in huidig klimaat en in 2050 in het klimaatscenario W+ en in het klimaatscenario WH (met G+ afvoer) in de situatie met of zonder ingreep.

Locatie	Gemiddeld 1967	Droog 1989	Droog 2003	Extreem droog 1976
Krimpen aan de IJssel (norm 200 mg/l) (alleen zomerhalfjaar)				
Huidig klimaat	0	0	17	38
W+ 2050: Zonder maatregelen	21	29	72	96
W+ 2050: VZM zout (20 kg/s)	*	*		*
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20)		33	81	104
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20) & VZM zout (20 kg/s) & extra berekening	*	*	*	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20) & verdieping NWW (dQ=50) & extra berekening		55	85	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20) & verdieping NWW (dQ=100) & extra berekening	41	69	86	128
WH 2050 (G+ afvoer): Zonder maatregelen			55	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20) & VZM zout (40 kg/s) & extra berekening		*		

Conclusie is dat de chlorideconcentratie op de Hollandse IJssel duidelijk gevoeliger is voor de ingreep in de Nieuwe Waterweg dan voor de ingreep op de zuidrand. Het effect voor de locatie Krimpen aan de IJssel is vergelijkbaar met dat voor de locatie Gouda.

Geadviseerd wordt de conclusie dat een zout Volkerak-Zoommeer niet of nauwelijks effect heeft op de Noordrand te laten bevestigen door de 3D berekeningen te updaten, o.m. door de afvoercondities van de deltasenario's en de uitgangspunten volgens de Joint Fact Finding studie door te rekenen (T. van der Kaaij; R.E. Uittenbogaard).

7.1.2 Effecten op de zuidrand van de Rijn-Maasmond: locaties Bernisse en Spijkenisse

Huidige situatie en deltasenario's

In fase 4 van het Deltaprogramma was voor locatie Bernisse berekend dat in het scenario Warm het aantal dagen dat de chlorideconcentratie boven de overschrijdingsgrens zit toeneemt tot ongeveer 30 dagen in een extreem droog jaar in 2050 en in 2100 tot 15 dagen in een gemiddeld jaar (vergelijkbaar met extreem droog jaar in huidige situatie) en ongeveer 110 dagen in een extreem droog jaar.

Effecten ingrepen en maatregelen

Bij locatie Bernisse zorgt een extra onttrekking aan de Waal ten behoeve van extra doorspoeling van het Amsterdam-Rijnkanaal (gemodelleerd als 20 m³/s continue aanvoer) ervoor dat de concentratie ca. 0 tot 6 dagen extra overschreden wordt ten opzichte van de situatie zonder deze maatregel.

De verwachting is dat het effect van een verdieping te verwaarlozen is door de gegarandeerde reststroom Hollandsch Diep-Haringvliet-Spui, nl. ongeveer 150 tot 200 m³/s bij een Lobith afvoer van 800 m³/s) zoals dat afgesproken is binnen het Besluit Beheer Haringvlietsluizen (zgn. Kierbesluit). Dit kon door de NDB berekeningen niet bevestigd worden, omdat het effect van een verdieping van de Nieuwe Waterweg voor de locatie Bernisse via de uitgevoerde berekeningen niet representatief in beeld worden gebracht. Daar is de gebruikte methode (namelijk via modellering verschuiving in de Rijnafvoer op basis van locatie Krimpen aan de IJssel) niet geschikt voor.

3D modelonderzoek heeft eerder echter laten zien dat de verdieping van de Nieuwe Waterweg in het huidige klimaat bijna geen effect heeft op de chlorideconcentraties in het Spui bij de Bernisse-inlaat (Svašek Hydraulics, 2014) overeenkomstig verziltingstype 1. Volgens de modelberekeningen leidt de verdieping nauwelijks tot een hogere overschrijdingsduur, noch tot hogere gemiddelde concentraties. Omstandigheden waarbij inlaat Bernisse met de verdieping zou verziltten verschillen dus niet ten opzichte van de huidige situatie.

Het effect van een zoute variant van het Volkerak-Zoommeer daarentegen is dominant voor Bernisse en zorgt voor een aanzienlijk aantal extra dagen overschrijding van de overschrijdingsgrens. Een zoutlast vanuit een zout VZM (20 kg/s) veroorzaakt bij (extreem) lage rivierafvoeren meer periodes en aanzienlijk langere periodes met overschrijding 150 mg/l niveau bij Bernisse (significant vaker een geringe verslechtering). In een droog jaar situatie van 0 naar 105 dagen, waarbij het merendeel van de dagen de stijging <+50 mg/l bedraagt. Zie tabel 7.3. Klimaatverandering versterkt het effect van een zout VZM, maar tot 2050 is het effect van een zout VZM dominant.

In de huidige situatie kan zelfs bij een zout Volkerak-Zoommeer de overschrijding van het chlorideniveau bij de inlaat Bernisse in bijna alle gevallen opgevangen worden door gebruik van de inlaat Spijkenisse (De Vries, 2014). De inlaatsluis Spijkenisse is kwantitatief (de hoeveelheid inlaatwater) en kwalitatief (chloride < 150 mg/l) een goed alternatief als de Bernisse-inlaat door externe verzilting vanuit het Haringvliet moet worden gesloten. De effectiviteit van de inlaatsluis Spijkenisse zal door klimaatverandering kunnen afnemen, maar dit zal naar verwachting alleen bij extreme klimaatverandering (W+) na 2050 het geval zijn. Gebruik van de inlaatsluis Spijkenisse vereist 'slim watermanagement' om de korte inlaatensters van maximaal enkele uren per getijperiode effectief te benutten. Slim watermanagement gaat uit van adequate monitoring, voorspellingen en gegevensuitwisseling tussen waterbeheerders.

De ingrepen hebben alleen bij zeer lage Rijnafvoeren effect op de chlorideconcentratie Spijkenisse. Bij deze lage afvoeren is de inlaat Spijkenisse echter toch al niet meer inzetbaar, omdat de inlaatvensters onder vrij verval dan te kortdurend worden. Overigens zullen deze lage Rijnafvoeren onder een snelle klimaatverandering als Deltascenario Warm vaker voorkomen, waardoor de inzetbaarheid van inlaat Spijkenisse (verder) af zal kunnen nemen.

Een hogere zoutlast dan voorzien (uitgangspunt is 20 kg zout/s) zou kunnen optreden als de maatregelen bij de Volkeraksluizen niet de verwachte effectiviteit hebben. Dit heeft direct effect op de chlorideconcentraties bij de inlaatsluizen Bernisse en Spijkenisse. Voor Bernisse zal een verdubbeling van de zoutlast (40 kg zout/s i.p.v. 20 kg zout/s) leiden tot een verhoging van de chlorideconcentratie met maximaal 110 mg/l i.p.v. maximaal 55 mg/l (bij gesloten Haringvlietssluis en Rijnafvoer van 800 m³/s). Dit zal voor de inlaat Bernisse leiden tot een zeer forse toename van het aantal sluitingsdagen en ook een significante afname van de effectiviteit van de neveninlaat Spijkenisse. (zie ook paragraaf 2.4).

Tabel 7.3 Duur dat 'chlorideinlaatcriterium' langer wordt overschreden dan 24 uur (in het gehele jaar) bij Bernisse voor vier droogtejaren in huidig klimaat en in 2050 in het klimaatscenario W+ en in het klimaatscenario WH (met G+ afvoer) in de situatie met of zonder ingreep.

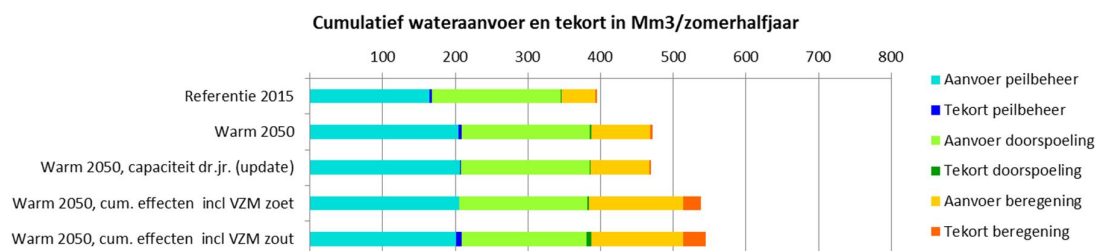
Locatie	Gemiddeld 1967	Droog 1989	Droog 2003	Extreem droog 1976
Bernisse				
Huidig klimaat	0	0	1	15
W+ 2050: Zonder maatregelen	0	0	49	33
W+ 2050: VZM zout (20 kg/s)	38	105		187
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=20)		0	52	39
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=20) & VZM zout (20 kg/s) & extra berekening	2	124	137	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=20) & verdieping NWW (dQ=50) & extra berekening		*	*	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=20) & verdieping NWW (dQ=100) & extra berekening	*	*	*	*
WH 2050 (G+ afvoer): Zonder maatregelen			8	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=20) & VZM zout (40 kg/s) & extra berekening		176		

7.2 Effecten op de regionale watertekorten

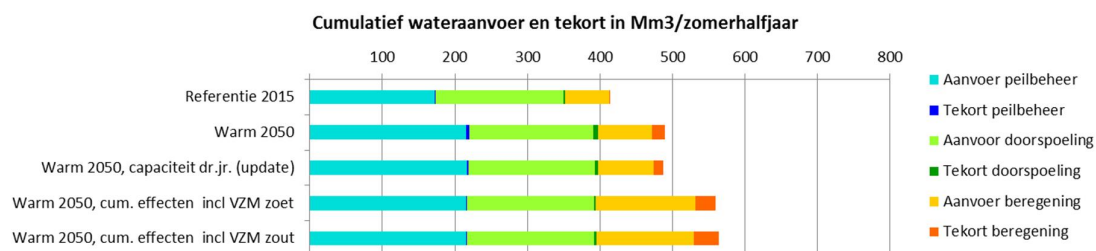
Het cumulatieve effect van de ingrepen en maatregelen op de regionale watertekorten in het benedenrivierengebied is doorgerekend met het NHI. Het regionale tekort, zie Figuur 7.1 t/m Figuur 7.5, bestaat uit een combinatie van verschillende elementen. Het verdubbelde potentiële beregend areaal verhoogt de beregeningsvraag. Hiervoor bestonden al tekorten, dus het zijn voornamelijk de tekorten die toenemen. Het extra debiet door de Roode Vaart vanuit het Hollandsche Diep, toegevoegd als autonome ontwikkeling, verbetert de aanvoer in een deel van het benedenrivierengebied.

De tekorten in de berekening 'cumulatieve effecten van ingrepen en maatregelen' van de Volkerak-Zoommeer zout variant zijn groter dan die van de Volkerak-Zoommeer zoet variant. Het zout laten worden van het Volkerak-Zoommeer betekent dat voor sommige districten de aanvoer nu via alternatieve routes via Brabant moet worden geleverd, wanneer mogelijk. Verder zorgt het voor een verhoogd aantal sluitingsdagen Bernisse, wat de aanvoer verder

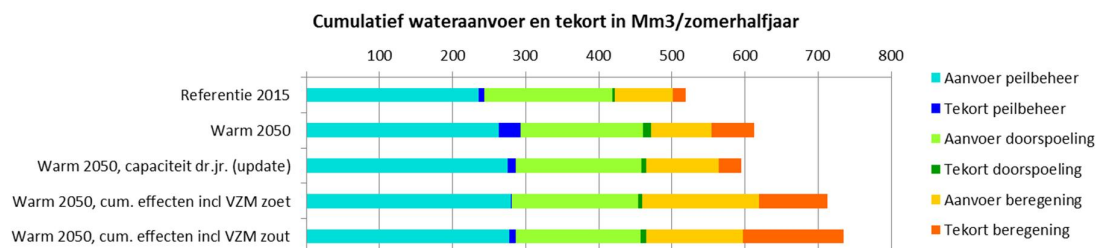
bepikt. In Figuur 4.7 was uit de grondwaterstanden al op te maken dat ook de inlaat van de Krimpenerwaard verzilt raakt, en dus aanvoerproblemen krijgt.



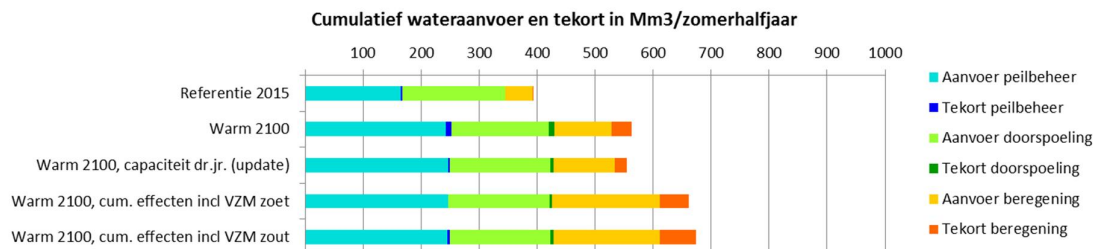
Figuur 7.1 Wateraanvoer en -tekort voor peilbeheer, doorspoeling en beregning (Mm³) naar het voorzieningsgebied vanuit het benedenrivierengebied (deelgebieden 10 en 12) voor de referentie, en het deltasenario Warm met en zonder ingrepen en maatregelen in een droog jaar (1989) voor het zichtjaar 2050



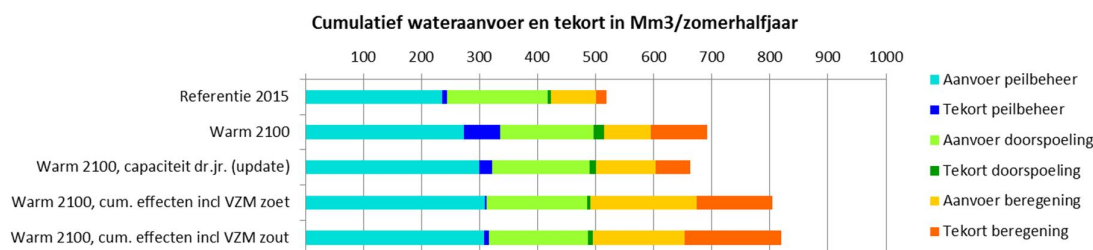
Figuur 7.2 Wateraanvoer en -tekort voor peilbeheer, doorspoeling en beregning (Mm³) naar het voorzieningsgebied vanuit het benedenrivierengebied (deelgebieden 10 en 12) voor de referentie, en het deltasenario Warm met en zonder ingrepen en maatregelen in een droog jaar (2003) voor het zichtjaar 2050



Figuur 7.3 Wateraanvoer en -tekort voor peilbeheer, doorspoeling en beregning (Mm³) naar het voorzieningsgebied vanuit het benedenrivierengebied (deelgebieden 10 en 12) voor de referentie, en het deltasenario Warm met en zonder ingrepen en maatregelen in een extreem droog jaar (1976) voor het zichtjaar 2050



Figuur 7.4 Wateraanvoer en -tekort voor peilbeheer, doorspoeling en beregening (Mm^3) naar het voorzieningsgebied vanuit het benedenrivierengebied (deelgebieden 10 en 12) voor de referentie, en het deltasceario Warm met en zonder ingrepen en maatregelen in een droog jaar (1989) voor het zichtjaar 2100

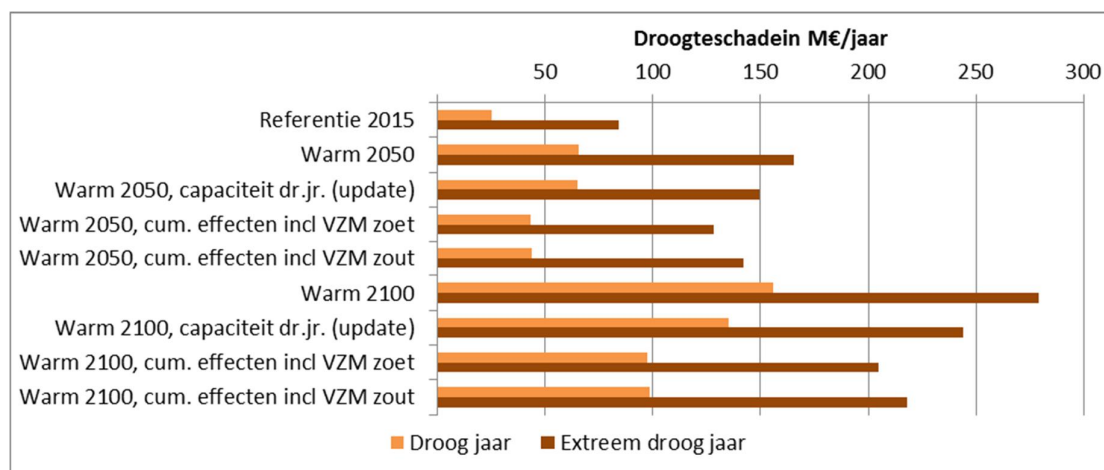


Figuur 7.5 Wateraanvoer en -tekort voor peilbeheer, doorspoeling en beregening (Mm^3) naar het voorzieningsgebied vanuit het benedenrivierengebied (deelgebieden 10 en 12) voor de referentie, en het deltasceario Warm met en zonder ingrepen en maatregelen in een extreem droog jaar (1976) voor het zichtjaar 2100

Bij de berekeningen 'cumulatieve effecten van ingrepen en maatregelen' is er naar verwachting een hogere watervraag (dubbele beregening), frequentere inzet van de KWA (verdieping in de NWW), verbeterde aanvoer vanuit Waal (20 m³/s continu) en onbeperkte KWA (debiet max. 50 m³/s geïmplementeerd). Door de piekdebieten op de twee Distributiemodel KWA takken op te tellen, kan een inschatting worden gemaakt van de werking van de KWA; meer hierover in paragraaf 7.5.

7.3 Effecten op de landbouw

Kijkend naar de droogteschade in het benedenrivierengebied (Figuur 7.6), valt het op dat in vergelijking met andere knelpuntgebieden de verschillen tussen droogteschades in een droog jaar en een extreem droog jaar hier groter zijn. Wanneer Gouda en Bernisse sluiten komt er extra stress op het systeem. In Figuur 7.6 komen de laagste droogteschades voor bij de berekening met Volkerak-Zoommeer zoet. De extra beregening uit de berekening van de 'cumulatieve effecten van ingrepen en maatregelen, incl. VZM zoet' reduceert de landbouwschade, en als de variant met een zout Volkerak-Zoommeer wordt doorgerekend, stijgen de schades licht in extreme droge jaren.



Figuur 7.6 Schade voor de landbouw in het voorzieningsgebied van het benedenrivierengebied (regio 10 en 12) voor de referentie situatie, en het deltasceario Warm met en zonder ingrepen en maatregelen in een droog en extreem droog jaar voor zichtjaren 2050 en 2100

7.4 Verhoging van de chlorideconcentraties: effecten op de inlaatpunten voor drink- en industriewater

Voor water voor drinkwaterwinning worden eisen gesteld aan het onder meer het zoutgehalte van het oppervlaktewater. In deze paragraaf wordt alleen aandacht besteed aan het zoutgehalte. Voor een beschouwing met betrekking tot temperatuur en waterkwaliteitsparameters wordt verwezen naar Wuijts (2013). Voor drinkwater is de maximale chlorideconcentratie 150 mg Cl/l (in deze paragraaf verder aangeduid als "norm"). Hoewel er geen wettelijke normen zijn voor industriewater, zijn er vaak wel afspraken gemaakt tussen bedrijf en leverancier. Meestal wordt een maximale chlorideconcentratie afgesproken van 150 mg Cl/l

In hoofdstuk 7.2 is de analyse beschreven van de verzilting van de inlaatpunten Gouda en Bernisse. Voor de analyse van inlaatpunten voor drink- en industriewater is hetzelfde instrumentarium gebruikt (met dezelfde kanttekeningen) en zijn dezelfde maatregelen doorgerekend. De uitkomsten van de modelberekeningen voor verschillende drinkwater- en/of industriewaterinnamepunten staan vermeld in de tabellen in Bijlage B. In deze paragraaf worden alleen de conclusies beschreven. Van belang is verder dat voor inlaat van water voor bereiding van drink- en industriewater in de tabellen het aantal sluitingsdagen per jaar is opgenomen (dus het aantal dagen dat de norm (24 uur of langer) wordt overschreden). Voor drinkwaterwinning via oeverinfiltratie is niet de acute normoverschrijding van belang, maar de gemiddelde concentratie per jaar, die dan ook voor deze punten in Bijlage B opgenomen zijn. Op verzoek van RWS-WVL hebben we voor alle punten in deze rapportage zowel de gemiddelde concentratie per jaar als het aantal dagen dat de norm overschreden wordt per punt gepresenteerd. Figuur 7.3 presenteert een kaart met de ligging van de inlaatpunten waarvoor modelresultaten gepresenteerd worden.

Voor een analyse van de aanvoer van industriewater naar het Rijnmondgebied via de inlaat Bernisse en het Brielse Meer wordt verwezen naar hoofdstuk 7.2. Verder speelt verzilting ook bij inlaatpunten aan het IJsselmeer (zoals Andijk), of het Amsterdam-Rijnkanaal (zoals Nieuwersluis). In de analyse is hier geen aandacht aan geschonken, omdat deze punten niet met het modelinstrumentarium berekend konden worden, en dit wordt daarom verder ook niet beschreven in dit rapport.

Situatie zonder ingrepen

De resultaten van het NDB-model laten zien dat in de huidige situatie de drinkwaternorm voor zout niet of slechts gedurende een beperkt aantal dagen overschreden wordt in een gemiddeld en in een droog jaar. In een extreem droog jaar loopt dit voor een aantal punten op tot 10 à 25 dagen/jaar en voor Ridderkerk (Nieuwe Maas) zelfs tot ca. 35 dagen/jaar.

Voor de oeverinfiltratielocaties loopt alleen voor Ridderkerk (Noord) de jaargemiddelde concentratie in een extreem droog jaar op tot boven norm. Het uitvoerpunt in het model ligt echter op de Noord, terwijl de werkelijke oeverinfiltratie bij Ridderkerk zich op de Nieuwe Maas bevindt. De uitkomsten voor deze locatie dienen dus slechts ter indicatie.

Modelresultaten voor de scenario's Druk en Rust voor de zichtjaren 2050 en 2100 laten zien dat er onder deze scenario's weinig veranderingen te verwachten zijn ten opzichte van de huidige situatie (Ter Maat, 2014). In het Warm en Stoom scenario (gebaseerd op het W+ klimaatscenario) neemt het aantal sluitingsdagen en de jaargemiddelde concentratie aanzienlijk toe. Onder deze scenario's krijgen dan alle locaties op de Lek in droge en extreem droge jaren in zichtjaar 2050 met sluitingsdagen te maken. De berekende jaargemiddelde chlorideconcentratie bij Lekkerkerk overschrijdt dan ruim de norm.

Voor de resultaten voor de locaties op de Lek geldt dat ze sterk afhankelijk zijn van de restafvoer over de Lek. Bij (langdurige) droogte wordt er (volgens het NDB model) geen zoetwater doorgelaten over stuw Hagestein zodat er ook geen verversing optreedt op de Lek benedenstrooms van de stuw en het brakke water heen en weer pendelt op de Lek onder invloed van het getij.

Situatie na ingrepen

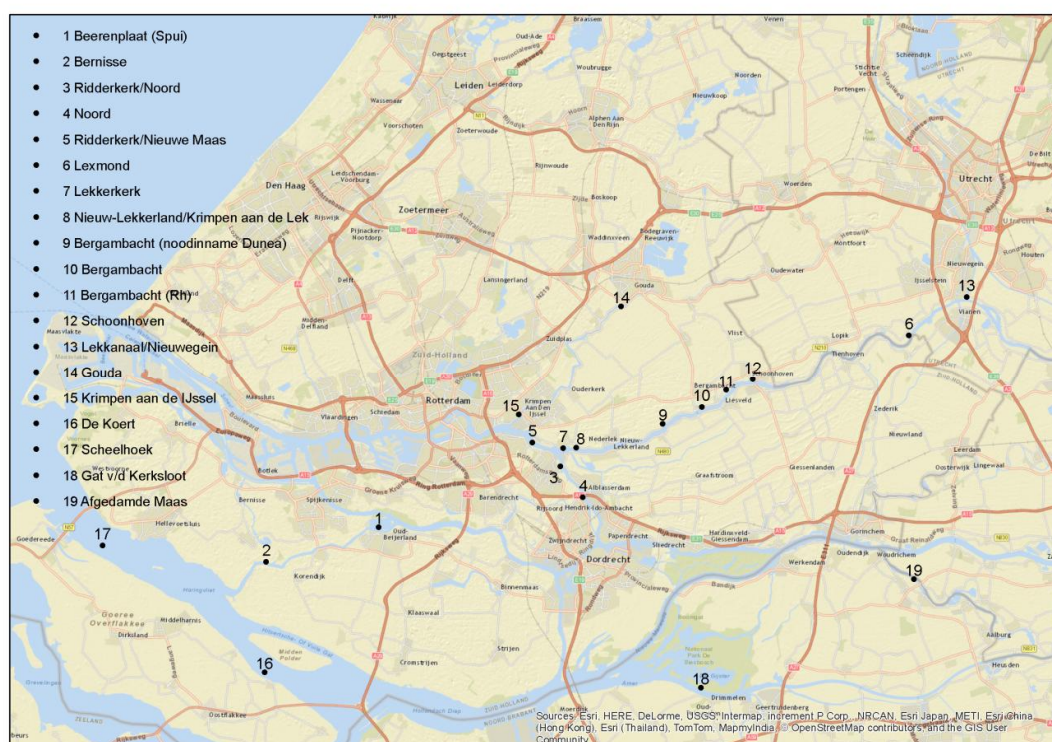
Een zout Volkerak-Zoommeer (met alle zoutbeperkende maatregelen bij de Volkeraksluizen) leidt tot een resterende zoutlekage van 20 kg/s (zie hoofdstuk 2). Als de Haringvlietssluisen bij lage afvoeren langdurig gesloten zijn, zal dit leiden tot extra verzilting van Hollandsch Diep, Haringvliet en Spui. De resultaten van het NDB model laten zien dat dit leidt tot aanzienlijke extra verzilting van de locaties langs deze wateren. Het heeft echter geen significant effect op sluitingsdagen en jaargemiddeldeconcentraties van locaties aan de Lek of Hollandsche IJssel. De effecten op de belangrijke aanvoer via het Brielse Meer naar het Botlek gebied zijn in paragraaf 7.1.2 reeds beschreven.

Mogelijke extra onttrekkingen aan de Waal stroomopwaarts richting het Amsterdam-Rijnkanaal zorgen voor een afname van de afvoer van de Waal en Lek en daarmee voor een toename in het aantal sluitingsdagen. Dit effect is meestal beperkt tot minder dan 10 dagen. Alleen voor locatie Scheelhoek onder het Warm en Stoom scenario in 2050 geeft in een extreem droog jaar een aanzienlijke toename van het aantal sluitingsdagen. Dit komt doordat in de modelresultaten zonder maatregelen de concentratie gedurende lange tijd net onder de norm zit. Beperking van de afvoer zorgt ervoor dat de concentratie als berekend door het model gedurende langere tijd net boven de norm uitkomt.

Een verdieping van de Nieuwe Waterweg kan het risico op externe verzilting voor de noordrand van de Rijn-Maasmond (Nieuwe Waterweg, Hollandsche IJssel, Lek, Nieuwe Maas, Noord) vergroten. Een verdieping in de Nieuwe Waterweg tot NAP -16,3m leidt tot ca. halve maand extra overschrijding (bovenop de extra overschrijding als gevolg van doorspoelen ARK).

Kanttekening bij de interpretatie van de resultaten voor de locaties op de Lek is dat ze sterk afhankelijk zijn van de restafvoer over de Lek. Bij (langdurige) droogte wordt deze nagenoeg (helemaal) 0 en stijgen hierdoor de chlorideconcentraties. Dit wordt nog eens versterkt door twee beperkingen in de modelbenadering. Ten eerste is dit de wijze van modellering van de verdieping van de Nieuwe Waterweg. De dQ methode is gevalideerd op locatie Krimpen aan de IJssel en is in het model geïmplementeerd via vermindering van de bovenstroomse afvoer, waardoor de afvoer 'fictief' nog verder terugloopt. Ten tweede gaat het 1-NDB model uit van doorlopende onttrekkingen aan het hoofdwatersysteem, wordt het water met verhoogde chlorideconcentratie bij gebrek aan voldoende bovenstroomse afvoer verder de Lek opgetrokken. Deze zaken zijn terug te zien in de modelresultaten; gemiddelde jaarconcentraties en dagen overschrijding lopen verder op in de situatie van een verdieping in de NWW. Voorzichtigheid bij de interpretatie van de uitkomsten is dus gewenst.

De chloride concentratie op het bovenstroomse deel van de Lek is te beïnvloeden door het handhaven van een minimum afvoer over stuw Hagestein (extra maatregel in het kader van slim watermanagement of extra doorspoeling). Aanbevolen wordt dit nader te onderzoeken. Voor het benedenstroomse deel is nog steeds de verwachting dat er enige invloed zal zijn als gevolg van verdere zoutindringing bij een verdieping van de Nieuwe Waterweg.



Figuur 7.7 Ligging locaties waarover in deze studie over de gemiddelde chlorideconcentratie en/of overschrijding van het chloridecriterium gerapporteerd wordt

7.5 Kleinschalige Water Aanvoerroute (KWA)

De Hoogheemraadschappen van Rijnland, Delftland, Schieland en Krimpenerwaard en De Stichtse Rijnlanden worden vanuit het hoofdwatersysteem van water voorzien door voornamelijk twee aanvoerroutes. Ten eerste wordt er water aangevoerd uit de Hollandsche IJssel naar West Nederland via de inlaat bij Gouda. Ten tweede wordt op punten aan het

Amsterdam Rijnkanaal en de Lek water ingelaten en getransporteerd naar West Nederland. Deze twee aanvoerroutes maken samen onderdeel uitmaken van de Kleinschalige Wateraanvoerroute (KWA). Voor Delfland kan ook water worden aangevoerd via de Brielse Meer leiding. Bij hoge chlorideconcentraties wordt de inlaat van zoet water uit de Hollandsche IJssel bij inlaat Gouda gestopt. Dit gebeurt vanaf een chlorideconcentratie van ca. 250 mg/l bij Gouda (in de praktijk wordt vaak op basis van naar de chlorideconcentratie bij Krimpen aan de IJssel geanticipeerd om te voorkomen dat het zout verder de Hollandsche IJssel in komt). Bij het sluiten van inlaat Gouda is het mogelijk om extra water via de KWA aan te voeren als alternatieve aanvoerroute.

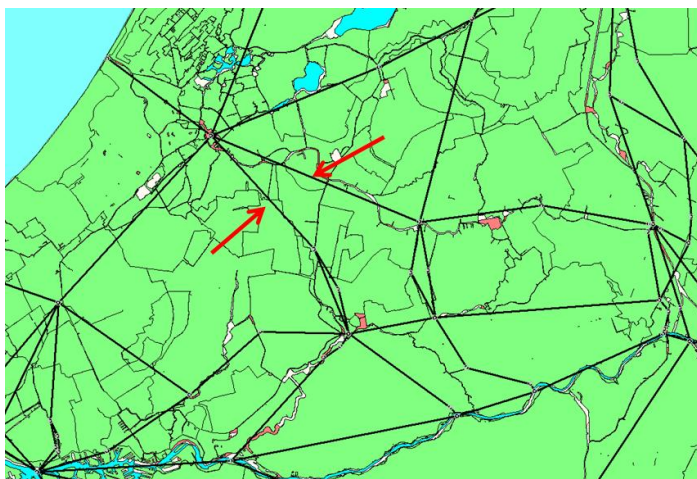
In de praktijk is de inzet van de KWA niet alleen gebaseerd op de chlorideconcentraties bij Gouda en/of Krimpen, maar wordt ook rekening gehouden met bijvoorbeeld de weersverwachting, de regionale watervraag op dat moment en het risico dat de zouttong het Hollandsche IJssel op wordt getrokken als gevolg van waterinname en het gevaar dat die vervolgens niet of nauwelijks weggespoeld kan worden. Verder kan er aanleiding zijn bij waarden die iets hoger of lager dan de chloridegrens van 250 mg/l bij Gouda liggen in te nemen of juist al te sluiten en/of de KWA niet stop te zetten, maar in werking te laten, omdat de verwachting is dat de laagwaterperiode zal aanhouden. Dit handelen in de praktijk wordt slechts beperkt meegenomen in het NDB model, dat het aantal dagen (indicator 24 uur overschrijding of langer van het chlorideniveau) berekent. Daarom kunnen de uitkomsten van het model niet zonder meer vergeleken worden met het aantal sluitingsdagen voor Gouda of het aantal dagen waarop de inzet van de KWA nodig is. Om inzicht te krijgen in de effecten van de ingrepen kijken we vooral naar de verschillen tussen de cases onderling.

7.5.1 Capaciteit KWA

NHI modelberekeningen laten zien dat de huidige capaciteit van de KWA (geschat op ca. 7 - 10 m³/s (Ter Maat, 2014a) niet voldoende is om bij een sluiting van de inlaat van Gouda in een extreem droog jaar de volledige (piek)watervraag te voorzien (zie tekorten in paragraaf 7.2). Ook in een droog jaar 2003 treden er tekorten op als gevolg van een te lage aanvoer via de KWA. Als gevolg van klimaatverandering en socio-economische ontwikkelingen - volgens scenario Warm - zal de watervraag in de toekomst verder toenemen.

Een uitbreiding van de KWA wordt als mogelijke oplossing gezien. Een belangrijke vraag is: "Wat moet de capaciteit van de KWA zijn om de watervraag bij droogte volledig te kunnen voorzien?"

In het NHI wordt de inlaat bij Gouda gestuurd door de chlorideconcentratie bij Krimpen aan de IJssel. Bij een overschrijding van de grenswaarde 200 mg/l wordt er geen water meer ingelaten. Met de huidige KWA zal extra aanvoer over de KWA gaan plaatsvinden maar door beperkte capaciteiten zullen er afhankelijk van de watervraag op dat moment mogelijk tekorten optreden. In de berekeningen van de cumulatieve effecten wordt gerekend met een KWA met een capaciteit van 50 m³/s (In het NHI geschematiseerd via takken Gouda en Bodegraven (zie Figuur 7.8)). De verwachting is dat dit ruim boven het maximum van de watervraag is, waardoor de KWA niet beperkend is in de waterlevering en er ook in een extreem droog jaar geen tekorten meer op zullen treden. Uit de som van de debieten bij Gouda en Bodegraven kan uit de berekeningen dan de gewenste capaciteit van de KWA worden afgeleid die de piekwatervraag kan voldoen.



Figuur 7.8 Schematische weergave van de takken bij Gouda en Bodegraven zoals in het NHI geschematiseerd.

De uitkomsten van de berekeningen voor de jaren 1989, 2003 en 1976 voor het scenario Warm in het zichtjaar 2050 zijn weergegeven in Figuur 7.9. De lijnen geven de som van de debieten bij Gouda en Bodegraven voor het scenario Warm 2050 weer. De blauwe lijn geeft het verloop weer bij de huidige capaciteit van de KWA (som mp41), terwijl de rode lijn het verloop geeft bij een KWA met een capaciteit van 50 m³/s.

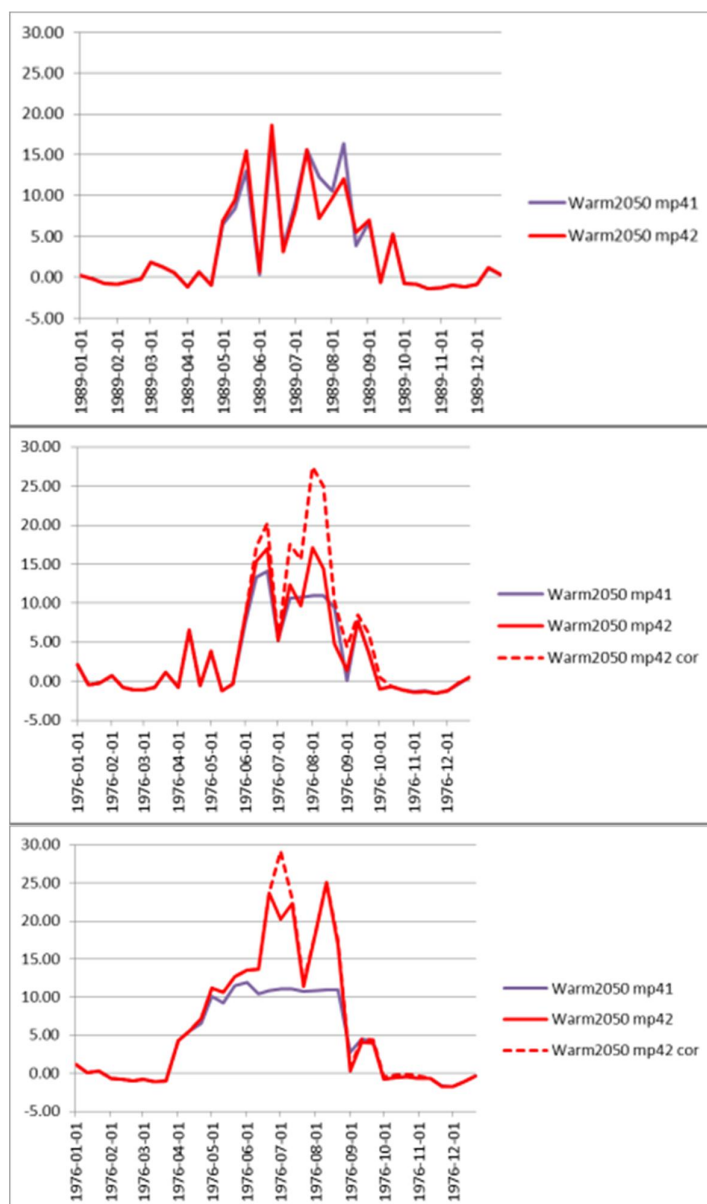
In de figuur is te zien dat voor een droog jaar 1989 de uitbreiding van de KWA niet zorgt voor extra water naar het gebied (de rode lijn is niet hoger dan de blauwe lijn). Dit komt omdat er in een droog jaar 1989 geen tekorten optreden, doordat op het moment van de maximale watervraag de inlaat van Gouda open blijft. Voor een droog jaar 2003 en een extreem droog jaar 1976 heeft het uitbreiden van de KWA wel duidelijk effect op de hoeveelheid geleverd water. Het wateraanbod in een extreem droog jaar 1976 stijgt van 12 m³/s (blauwe lijn) naar ruim 25 m³/s (rode, doorgetrokken lijn). Echter in een extreem droog jaar treden er nog steeds tekorten op in het voorzieningsgebied van de KWA (zie paragraaf 6.2), terwijl de maximale capaciteit van 50 m³/s nog niet wordt gehaald (zie Figuur 7.9).

Nadere analyse van de modeluitkomsten leert ons dat volgens de modelberekeningen deze tekorten worden veroorzaakt door een beperkte beschikbaarheid van water vanuit het Amsterdam-Rijnkanaal voor de KWA.

Ten tijde van het tekort wordt namelijk het maximale debiet van 60 m³/s over het Betuwepand gehaald. Hierna wordt het water verdeeld en enkele andere watervragen (o.a. het minimaal streefdebiet over de Lek en het Amsterdam Rijnkanaal) hebben een hogere prioriteit waardoor niet voldoende water beschikbaar is voor de KWA.

Om toch een schatting te kunnen doen m.b.t. de maximale watervraag die gesteld kan worden aan de KWA, is een gecorrigeerde watervraag berekend door het resterende tekort van de districten die water geleverd krijgen van de KWA bij de watervraag op te tellen (zie de gestippelde lijn in onderstaande figuur).

Op basis van onderstaande grafieken kan de piekwatervraag aan de KWA worden afgeleid. In het scenario Warm 2050 wordt voor een droog jaar 1989 een piekwatervraag van circa 19 m³/s berekend, voor een droog jaar 2003 circa 27 m³/s en voor een extreem droog jaar 29 m³/s.



Figuur 7.9 Som van de debieten bij Gouda en Bodegraven in Warm 2050 voor de jaren 1989, 2003 en 1976.

Bovenstaande analyse is uitgevoerd met de aanname dat de KWA alleen wordt gebruikt voor aanvoer van water naar het achterland van Rijnland. Verwacht kan worden dat bij een klimaatverandering en verhoogde watervraag voor de landbouw door extra beregening, dat het gebied van HDSR ook extra water uit de KWA wil gebruiken. Wanneer een vergelijkbare analyse wordt uitgevoerd op aanvoertakken van de KWA op de Lek en het Amsterdam Rijnkanaal worden hogere maximale debieten berekend. In het scenario Warm 2050 wordt voor een droog jaar 1989 een piekwatervraag van circa 26 m³/s berekend, voor een droog jaar 2003 circa 34 m³/s en voor een extreem droog jaar 39 m³/s.

7.5.2 Verandering in frequentie en duur inzet KWA

De KWA treedt in werking bij lage Rijnafvoeren en (dreigende) verzilting in de Hollandsche IJssel en er in de beheersgebieden van Delfland, Rijnland en Schieland een tekort aan zoet water kan ontstaan. In 2003 en 2011 is de route ingezet nadat de inlaat bij Gouda in de Hollandsche IJssel gesloten is. Door hogere chlorideconcentraties als gevolg van lagere afvoeren bij sterke klimaatverandering of door een verdieping van de Nieuwe Waterweg zal het aantal sluitingsdagen toenemen. Hierdoor neemt het potentiële tekort ook toe.

Om vast te stellen of de verandering in frequentie en duur van de inzet van de KWA+ significant wijzigt als gevolg van klimaatverandering of ingrepen, zal een uitgebreide statistische analyse van historische afvoeren nodig zijn (zowel tussen jaren onderling als binnen het zomerhalfjaar). Dit valt buiten de scope van deze studie. Op basis van de nu beschikbare NDB- en NHI-berekeningen is echter gekeken welke (voorlopige) conclusies zijn te trekken.

Om mogelijke veranderingen in de frequentie en duur van de inzet van de KWA als gevolg van de ingrepen te verkennen is gekeken naar het aantal dagen dat de chlorideconcentratie op de locatie Krimpen aan de IJssel (monding Hollandsche IJssel) en locatie Gouda 24 uur of langer het niveau van 200 mg/l resp. 250 mg/l in het zomerhalfjaar overschrijdt. De modelresultaten laten zien dat dat onder het Deltascenario Warm in 2050 de frequentie en duur van de inzet ten opzichte van de huidige situatie toeneemt (zie Tabel 7.1 en 7.2). Voor een gemiddeld jaar als 1967 worden voor scenario Warm 2050 10 tot 20 dagen overschrijding in het zomerhalfjaar van het chlorideniveau bij Gouda berekend, wat duidt op geen of een beperkte inzet van de KWA. In droge jaren lijkt inzet van de KWA+ noodzakelijk gedurende 1 tot 2 maanden (niet perse aaneengesloten) en in extreem droge jaren gedurende 3 maanden.

De verdieping van de Nieuwe Waterweg en (in mindere mate) de andere ingrepen zorgen ervoor dat frequentie en duur van de inzet van de KWA+ onder scenario Warm 2050 toeneemt: voor een gemiddeld jaar tot 1 à 2 maanden, voor een droog jaar tot 2 à 3 maanden en voor een extreem droog jaar tot 3 à 4 maanden. Het effect van de verdieping van de Nieuwe Waterweg is hierin overheersend.

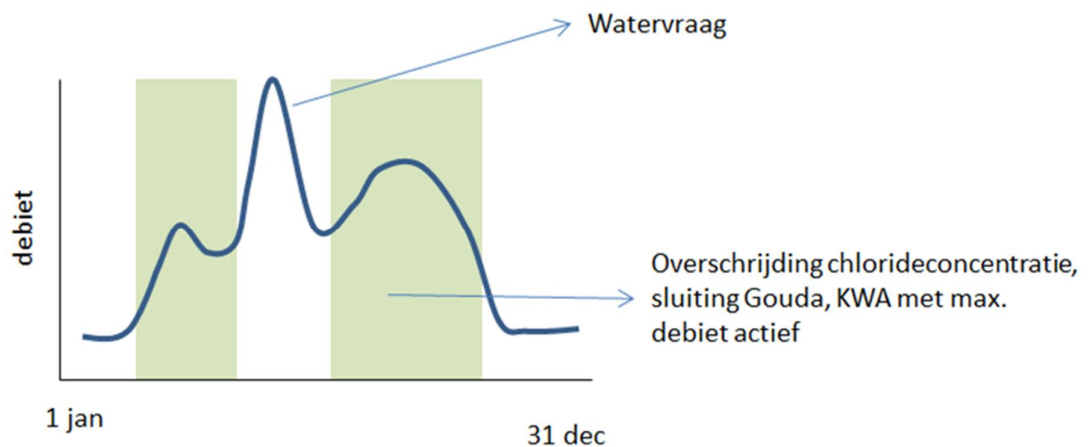
7.5.3 Opmerkingen

Voor het bepalen van de maximale capaciteit van de KWA hebben we gekeken naar de maximale watervraag, onafhankelijk van het wel of niet gesloten zijn van de inlaat van Gouda. De watervraag is sterk gerelateerd aan het cumulatief neerslagtekort en daarmee de *potentieel gewenste capaciteit* van de KWA dus ook. Uit droogtestatistiek op basis van NHI blijkt dat voor een droog jaar zoals zich dat in 1989 heeft voorgedaan de herhalingstijd van het neerslagtekort ongeveer 10 jaar is, echter de herhalingstijd van het afvoerdeficit is 5 jaar, gecombineerd levert dit een herhalingstijd van 8,3 jaar op (neerslagtekort weegt iets zwaarder). De verziltingsstatistiek die de *sluiting van inlaat Gouda c.q. de inzet van de KWA* bepaalt, is echter sterk gekoppeld aan het afvoerdeficit of beter nog: het afvoerverloop. Voor 1989 wordt in het huidige klimaat geen overschrijding van het chlorideniveau berekend; inzet van de KWA is onder die omstandigheden niet nodig.

In 2003 was het zo dat het neerslagtekort nagenoeg gelijk was aan dat van 1989, maar was het afvoerverloop dusdanig laag dat de inzet van de KWA wel nodig was, terwijl dit in 1989 niet het geval was (SOBEK NDB berekent voor het huidige klimaat 12 dagen sluiten in het zomerhalfjaar voor 2003, terwijl dit voor 1989 0 dagen is). (Friocourt et al, in voorbereiding).

De effecten van de klimaatverandering heeft een verschillende uitwerking op de statistiek. Hierom hebben we in de analyse van het maximaal debiet (vooral nog) gekeken naar het maximale debiet over de gehele droge periode en niet alleen in de periode bij sluiting van Gouda. Dit wordt in Figuur 7.10 schematisch weergegeven. In dit fictieve voorbeeld valt de piek van de watervraag (blauwe lijn) buiten de periode dat de chlorideconcentratie wordt overschreden (de groene blokken).

Tot slot nog de opmerking dat in bovenstaande geen rekening is gehouden met aanvoer via de KWA als alternatief voor het sluiten van de inlaat Bernisse (ca. 4 m³/s extra richting Delfland). Inlaat Spijkenisse of evt. verhoging van de zoutinlaatniveau worden eerder als alternatief gezien voor inlaat Bernisse (De Vries, 2014).

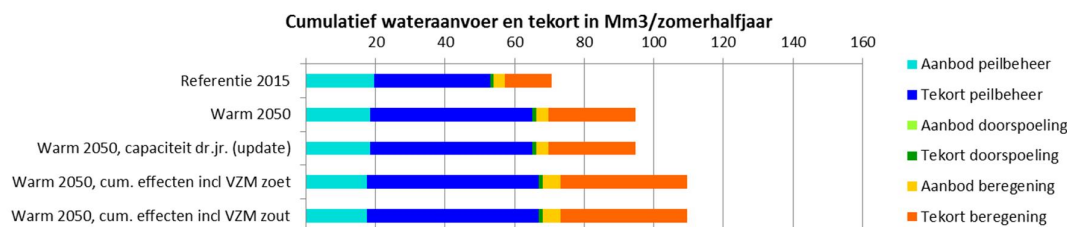


Figuur 7.10 Schematische weergave van watervraag aan het voorzieningsgebied van de KWA met sluiting van Gouda door overschrijding chlorideconcentratie.

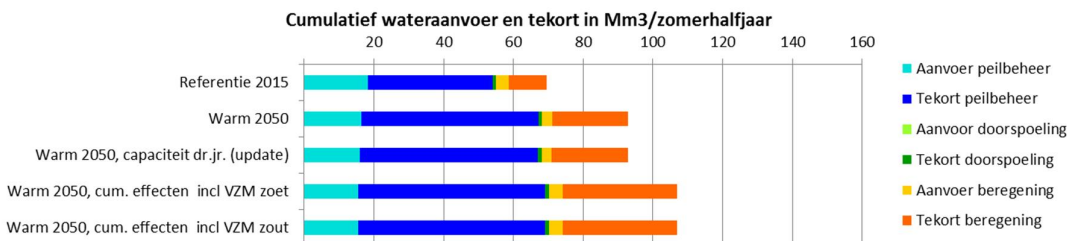
8 Zuidwestelijke Delta zonder aanvoer

8.1 Effecten op de regionale watertekorten

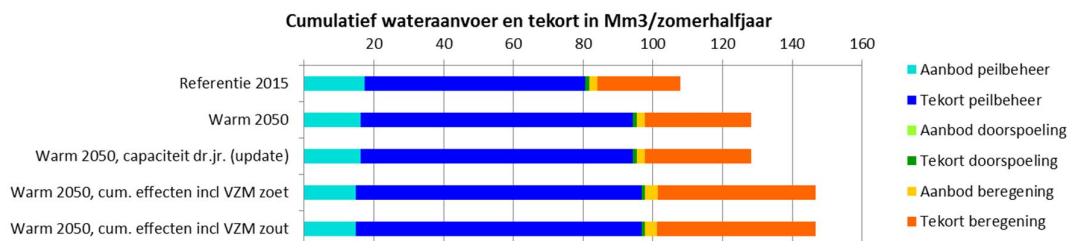
Knelpuntgebied 'Zuidwestelijke Delta zonder aanvoer' heeft vanwege het gebrek aan aanvoermogelijkheden grote tekorten. In de berekening van de 'cumulatieve effecten van ingrepen en maatregelen' wordt de vraag om beregning uit oppervlaktewater groter, maar er kan slechts een minimale hoeveelheid extra geleverd worden. De beregning uit grondwater wordt niet gekort in het model, dit kan weer als gevolg hebben dat de peilen zakken. Dit verklaart de lichte verhoging van de watervraag en -tekort voor peilbeheer.



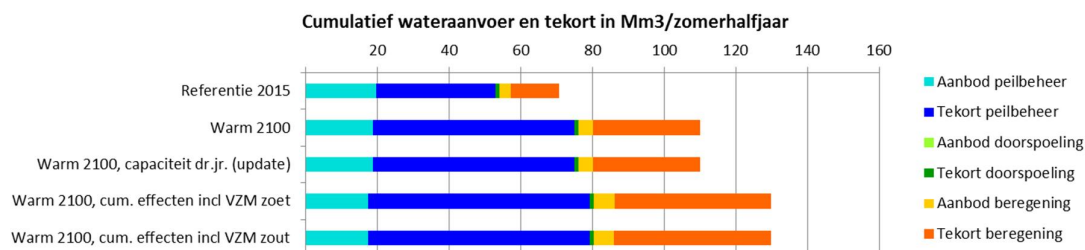
Figuur 8.1 Wateraanvoer en -tekort voor peilbeheer, doorspoeling en beregning (Mm^3) naar het voorzieningsgebied vanuit het deelgebied Zuidwestelijke Delta zonder aanvoer voor de referentie, en het deltasceario Warm met en zonder ingrepen en maatregelen in een droog jaar (1989) voor het zichtjaar 2050



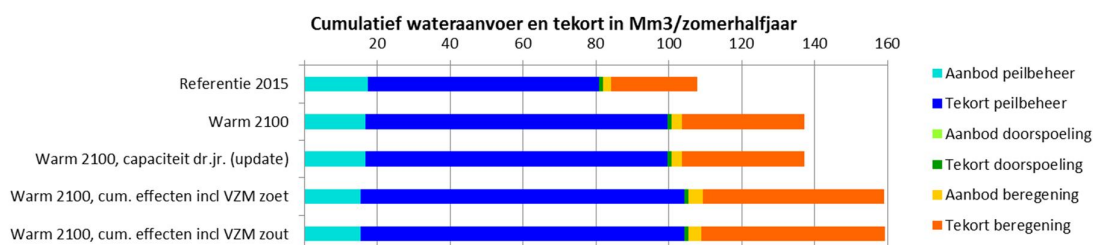
Figuur 8.2 Wateraanvoer en -tekort voor peilbeheer, doorspoeling en beregning (Mm^3) naar het voorzieningsgebied vanuit het deelgebied Zuidwestelijke Delta zonder aanvoer voor de referentie, en het deltasceario Warm met en zonder ingrepen en maatregelen in een droog jaar (2003) voor het zichtjaar 2050



Figuur 8.3 Wateraanvoer en -tekort voor peilbeheer, doorspoeling en beregning (Mm^3) naar het voorzieningsgebied vanuit het deelgebied Zuidwestelijke Delta zonder aanvoer voor de referentie, en het deltasceario Warm met en zonder ingrepen en maatregelen in een extreem droog jaar (1976) voor het zichtjaar 2050



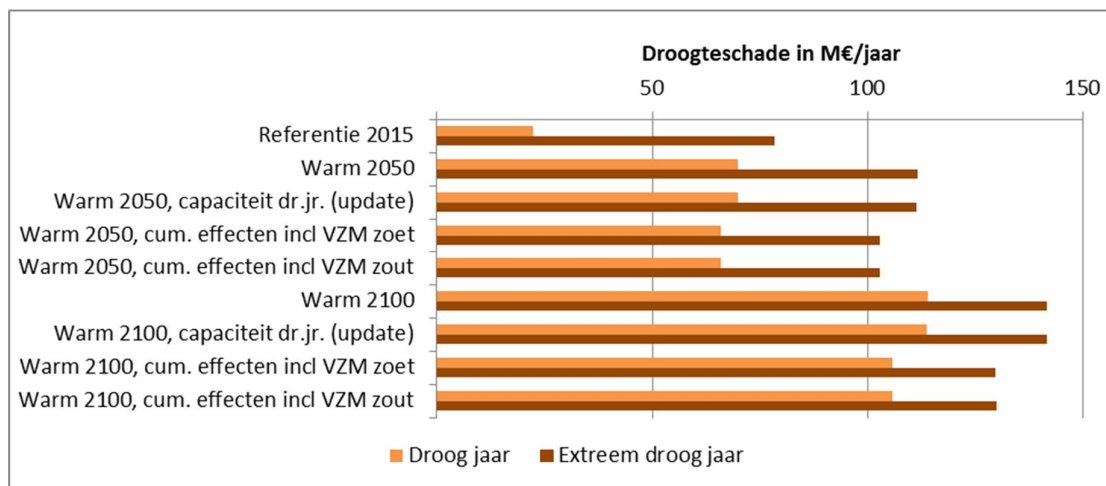
Figuur 8.4 Wateraanvoer en -tekort voor peilbeheer, doorspoeling en beregening (Mm³) naar het voorzieningsgebied vanuit het deelgebied Zuidwestelijke Delta zonder aanvoer voor de referentie, en het deltasceario Warm met en zonder ingrepen en maatregelen in een droog jaar (1989) voor het zichtjaar 2100



Figuur 8.5 Wateraanvoer en -tekort voor peilbeheer, doorspoeling en beregening (Mm³) naar het voorzieningsgebied vanuit het deelgebied Zuidwestelijke Delta zonder aanvoer voor de referentie, en het deltasceario Warm met en zonder ingrepen en maatregelen in een extreem droog jaar (1976) voor het zichtjaar 2100

8.2 Effecten op de landbouw

De droogteschade reduceert met ongeveer 10% als gevolg van de extra beregening uit vooral grondwater. Dit is een kleiner effect in vergelijking met de andere knelpuntgebieden, omdat er niet voldoende oppervlaktewater is om meer te beregenen en omdat grondwater beregening een relatief klein deel van het oppervlak beslaat vanwege het chloridegehalte van het grondwater.



Figuur 8.6 Schade voor de landbouw in het voorzieningsgebied van het gebied Zuidwestelijke Delta zonder aanvoer (deelgebied 13) voor de referentie situatie, deltasenario Warm met en zonder ingrepen en maatregelen in een droog en extreem droog jaar voor zichtjaren 2050 en 2100

9 Conclusies en aanbevelingen

9.1 Inleiding

Dit rapport geeft de resultaten weer van de kwantitatieve verkenningen die in het najaar van 2014 en het voorjaar van 2015 gedaan zijn in het kader van de zogenaamde stresstest: een nader onderzoek naar de robuustheid van het Deltaplan Zoetwater. Het Ministerie van Infrastructuur en Milieu wil op verzoek van de Tweede Kamer (laten) toetsen of (en hoelang) de Voorkeurstrategie Zoetwater, zoals vastgelegd in het Deltaprogrammaboek Zoetwater, voldoet, ook als de negatieve gevolgen van klimaatontwikkeling, vergroting van de zoetwatervraag en wijzigingen in de infrastructuur zich opstapelen.

Deze Voorkeurstrategie Zoetwater omvat onder andere de volgende maatregelen:

- Extra wateraanvoer naar West-Brabant vanuit het Hollandsch Diep door de Roode Vaart;
- Extra wateraanvoer naar de Maas vanuit de Waal door het Maas-Waalkanaal (nader onderzoek naar deze optie);
- Vergroten van de capaciteit van de Kleinschalige Wateraanvoer (KWA), waarvoor extra water onttrokken wordt aan de Lek en de Waal (via het Betuwepand van het Amsterdam-Rijnkanaal (ARK));
- Alternatieve inlaatsluis Spijkenisse om de robuustheid van het Bernisse-Brielse meersysteem te vergroten; en
- Flexibel peilbeheer op IJsselmeer en Markermeer om een buffer van 20cm beschikbaar te maken voor de watervoorziening van Noord-Nederland.

In het onderzoek zijn de cumulatieve effecten op het watersysteem en op de landbouw verkend van vier externe ingrepen en ontwikkelingen die de zoetwatervoorziening (extra) onder druk zetten bij droogte. Dit is gedaan voor 4 karakteristieke jaren onder Deltascenario Warm in 2050, met een doorkijk naar 2100. Van de vier Deltascenario's die binnen het Deltaprogramma gebruikt zijn voor de toekomstverkenning combineert Deltascenario Warm de grootste totale watervraag, o.a. doordat dit scenario de grootste watervraag van de landbouw oplevert, met de meest ingrijpende klimaatverandering¹³ (W+ scenario in de KNMI'06 scenario's). N.B. Het Deltascenario Stoom betekent de grootste waterbehoefte voor de drinkwatervoorziening. Qua hoeveelheid gaat dat echter om ordes minder dan de landbouwwaterbehoefte en daarom is er voor gekozen om de effecten in Deltascenario Warm te verkennen.

Hieronder worden de vier ingrepen en ontwikkelingen gespecificeerd evenals hun verwachte individuele effect.

1. *Verdieping van de Nieuwe Waterweg tot -16,30 m NAP wat leidt tot toename van het risico op externe verzilting van West-Nederland als gevolg van het verder binnendringen van de zouttong.* Op basis van 3D zoutberekeningen met continue afvoeren (800 m³/s, 1000 m³/s of 1200 m³/s Rijnafvoer bij Lobith) is het effect van een verdieping op de chlorideconcentraties in het benedenrivieren gebied berekend als equivalent van een verminderde afvoer van de Rijn bij Lobith. Het effect van

¹³ Deltascenario Warm is gebaseerd op het klimaatscenario W+ van het KNMI uit 2006 met een nadere uitwerking uit 2009 (in dit rapport verder aangeduid als KNMI'06). Via een gevoeligheidsanalyse is ook het effect van de nieuwe KNMI'14 scenario's beschreven.

verdieping tot -16,30 m NAP komt ongeveer overeen met 50 tot 85 m³/s minder Rijnaafvoer. Een mogelijke (optionele) compenserende maatregel voor het frequenter overschrijden van het gewenste chlorideniveau bij de inlaat van Gouda is een frequentere inzet van de KWA voor de wateraanvoer naar West-Nederland;

2. *Aanleg van een nieuwe zeesluis bij IJmuiden wat mogelijk leidt tot een grotere zoutlast op het Noordzeekanaal en daardoor tot een verder doordringen van de zouttong in het Noordzeekanaal (NZK) en het Amsterdam-Rijnkanaal (ARK). Als mitigerende maatregel om verzilting van de drinkwaterwinning bij Nieuwersluis te voorkomen is aangenomen dat ca. 20 m³/s extra aanvoer vanuit Lek en Waal vereist is voor doorspoeling van ARK en NZK;*
3. *Een zout Volkerak-Zoommeer wat leidt tot een extra zoutlast voor het Hollandsch Diep en het Haringvliet via de Volkeraksluizen. We gaan er in deze verkenning van uit dat het met inzet van nieuwe methodes mogelijk is om deze zoutlast te beperken tot 20 kg/s. Dit leidt tot verhoging van de chlorideconcentratie bij inlaat Bernisse. Als alternatief voor de inzet van inlaat Bernisse wordt een (frequentere) inzet van de inlaatsluis Spijkenisse overwogen;*
4. *Toename van beregening in de landbouw (mede als gevolg van vaker voorkomen van droge periodes). Dit is binnen het onderzoek verkend als een verdubbeling van het potentieel beregend areaal (ten opzichte van het beregeningsareaal zoals dat beschreven is in Deltascenario Warm) en het intensiveren van de beregening uit grondwater en oppervlaktewater door de minimale periode tussen opeenvolgende giften te verkorten van 7 naar 5 dagen. Dat staat dus los van een eventuele verwachte ontwikkeling vanuit de sector en is een aanname voor dit onderzoek.*

De ingrepen 1 t/m 3 zorgen ervoor dat het risico op verzilting toeneemt, terwijl de laatste (mogelijke) ontwikkeling een grotere watervraag tot gevolg heeft. Deze vier ingrepen en ontwikkelingen en de bijbehorende compenserende maatregelen worden verder gezamenlijk aangeduid als “de ingrepen”.

9.2 Antwoorden op de gestelde vragen

In het kader van de “stresstest” heeft RWS-WVL aan Deltares gevraagd om elf navolgende vragen te beantwoorden. Om deze vragen te beantwoorden zijn er nieuwe berekeningen uitgevoerd met het Deltamodel (o.m. situatie grondwater, oppervlaktewater en landelijke waterverdeling in Nederland, effecten voor landbouw) en het 1D Noordelijk Deltabekken model (externe verziltingssituatie in de Rijn-Maasmond). De complexiteit van de zoetwatervoorziening vereist dat er met dynamische modellen en integraal gerekend wordt. Het systeem is immers niet stationair en niet alle effecten mogen bij elkaar opgeteld worden.

In deze samenvatting beantwoorden we de gestelde vragen en presenteren we de belangrijkste inzichten die zijn verworven met de nieuwe modelberekeningen. We beantwoorden eerst vragen die betrekking hebben op de robuustheid van de watervoorziening, en daarna vragen die betrekking hebben op onzekerheden en gevoeligheden voor aannames.

De vragen ten aanzien van de robuustheid en de antwoorden daarop zijn:

- *Vraag: Onder welke droogtejaren is er een probleem en onder welke niet?*

In voorgaande analyses voor Deelprogramma Zoetwater zijn historische gegevens van 1976 gebruikt als karakteristiek voor een extreem droog jaar met een kans van voorkomen van 1/100 jaar en gegevens van 1989 als karakteristiek voor een droog jaar met een kans van 1/10 jaar. Nadeel van karakteristieke jaren is dat er geen enkel jaar is

waarvoor de kans voor alle delen van Nederland en voor alle aspecten van droogte (neerslagtekort, Rijn afvoer, Maasafvoer en externe verzilting) hetzelfde is. Zo is voor 1989 de Rijn- en Maasafvoer hoger en de externe verzilting geringer dan bij een 1/10 jaar past.

Resultaten van de eerdere verkenningen voor Deelprogramma Zoetwater lieten zien dat er nu al knelpunten optreden met betrekking tot de zoetwatervoorziening in extreem droge jaren. In de gebieden waar geen wateraanvoer mogelijk is, zijn er in de huidige situatie bovendien ook in een gemiddeld of droog jaar op sommige plekken al knelpunten. Verder lieten de resultaten zien dat die problemen ongeveer gelijk blijven bij een gematigde klimaatverandering (klimaatscenario G in de Deltascenario's Rust en Druk) voor 2050 en 2100, maar dat die problemen bij een snelle klimaatverandering in 2050 en 2100 toenemen en dan ook zullen voorkomen in (niet-extreem) droge jaren.

Er zijn binnen de verkenning die de afgelopen maanden is uitgevoerd aanvullende berekeningen uitgevoerd gebaseerd op o.m. het historische jaar 1967, een gemiddeld jaar, en op het historische jaar 2003, dat wat betreft neerslagtekort vergelijkbaar is met 1989 (allebei kans van 1/10 jaar), maar dat een lagere Rijnaafvoer heeft waardoor er een sterkere externe verzilting optreedt. In 2003 heeft externe verzilting geleid tot sluiting van de inlaat Gouda en het in gebruik stellen van de KWA.

De resultaten van de aanvullende berekeningen laten zien dat onder het Deltascenario Warm de knelpunten in de watervoorziening in ernst toenemen en dat het aantal dagen¹⁴ waarop bij Gouda de chlorideconcentratie van 250 mg/l overschreden wordt voor 'een 2003 jaar' zal liggen tussen dat wat eerder berekend is voor een droog jaar als 1989 en voor een extreem droog jaar als 1976. De huidige capaciteit van de KWA zal in 'een 2003 jaar' onder Deltascenario Warm 2050 niet meer voldoen.

Voor de inlaat Bernisse laten de resultaten zien dat er in de huidige situatie in een gemiddeld jaar geen problemen te verwachten zijn. Zonder maatregelen en ingrepen leidt een droog jaar als 1989 onder Deltascenario Warm 2050 niet tot problemen, maar een droog jaar als 2003 en een extreem droog jaar als 1976 wel. Voor de komende decennia kan inzet van de inlaatsluis Spijkenisse hiervoor een oplossing bieden. De effectiviteit van de inlaatsluis Spijkenisse kan door klimaatverandering geleidelijk afnemen, maar deze zal naar verwachting alleen bij extreme klimaatverandering (W+) en pas na 2050 het geval zijn.

- *Vraag: Hoe verandert de inzet van de KWA(+) in aanwezigheid van de ingrepen?*

De KWA wordt in werking gesteld bij lage Rijnafoeren en (dreigende) verzilting in de Hollandsche IJssel waardoor er in de beheersgebieden van Hoogheemraadschappen Delfland, Rijnland en Schieland een tekort aan zoet water kan ontstaan. In 2003 en 2011 is de KWA ingezet nadat de inlaat bij Gouda in de Hollandsche IJssel gesloten was. Om mogelijke veranderingen in de frequentie en duur van de inzet van de KWA als gevolg van de ingrepen vast te stellen is daarom gekeken naar het aantal dagen dat de chlorideconcentratie op de locaties Krimpen aan de IJssel (monding Hollandsche IJssel) en Gouda 24 uur of langer het niveau van 200 mg/l resp. 250 mg/l in het zomerhalfjaar

¹⁴ Dit aantal dagen (indicator 24 uur overschrijding of langer van het chlorideniveau) kan niet zonder meer vergeleken worden met het aantal sluitingsdagen voor Gouda of het aantal dagen waarop de inzet van de KWA nodig is. Belangrijkste reden is dat bij inzet van de KWA ook rekening wordt gehouden met bijvoorbeeld de weersverwachting, de regionale watervraag op dat moment en risico dat de zouttong het Hollandsch IJssel op wordt getrokken als gevolg van waterinname en vervolgens niet of nauwelijks weggespoeld kan worden. Dit wordt slechts beperkt meegenomen in het model. In de praktijk kan er echter aanleiding zijn de bij waarden die iets hoger of lager dan 250 mg/l liggen in te nemen of juist al te sluiten en/of de KWA niet stop te zetten als deze al aanstond, maar in werking te laten, omdat de verwachting is dat de laagwaterperiode zal aanhouden.

overschrijdt. De modelresultaten laten zien dat dat onder het Deltascenario Warm in 2050 de frequentie en duur van de inzet ten opzichte van de huidige situatie toeneemt. Voor een gemiddeld jaar als 1967 worden voor Deltascenario Warm in 2050 10 tot 20 dagen overschrijding in het zomerhalfjaar van het chlorideniveau bij Gouda berekend, wat duidt op geen of een beperkte inzet van de KWA. In droge jaren lijkt inzet van de KWA+ noodzakelijk gedurende 1 tot 2 maanden (niet *per se* aaneengesloten) en in extreem droge jaren gedurende 3 maanden.

De verdieping van de Nieuwe Waterweg en (in mindere mate) de extra doorspoeling voor bestrijding van extra verzilting door de nieuwe zeesluis bij IJmuiden zorgen ervoor dat frequentie en duur van de inzet van de KWA+ onder Deltascenario Warm in 2050 verder toenemen: voor een gemiddeld jaar tot 1 à 2 maanden, voor een droog jaar tot 2 à 3 maanden en voor een extreem droog jaar tot 3 à 4 maanden.

- *Vraag: Is voor het Brielse-Meersysteem de neveninlaat Spijkenisse nog steeds een alternatief voor de inlaat Bernisse als alle ingrepen worden geïmplementeerd?*

Voor de zuidrand van de Rijn-Maasmond (m.n. Spui, Haringvliet en Hollandsch Diep) is het effect van het zoutlek vanuit een zout Volkerak-Zoommeer dominant. Het effect van een verdieping van de Nieuwe Waterweg of bestrijding van extra verzilting door de nieuwe Zeesluis bij IJmuiden is naar verwachting beperkt.

De toename van de overschrijding van het chlorideniveau bij de inlaat Bernisse bij een zout Volkerak-Zoommeer kan in de huidige situatie in bijna alle gevallen opgevangen worden door gebruik van de inlaat Spijkenisse. De ingrepen hebben alleen bij zeer lage Rijnafvoeren effect op de chlorideconcentratie bij Spijkenisse. Bij deze lage afvoeren is de inlaat Spijkenisse echter toch al niet meer inzetbaar, omdat de inlaatvensters onder vrij verval dan te kortdurend worden. Overigens zullen deze lage Rijnafvoeren bij de snelle klimaatverandering in Deltascenario Warm vaker voorkomen, waardoor de inzetbaarheid van inlaat Spijkenisse af zal nemen. Naar verwachting zal in het Deltascenario Druk (matige klimaatscenario) de situatie niet anders zijn dan in de huidige situatie; de invloed van de verdieping van de Nieuwe Waterweg op de bruikbaarheid van de inlaatvensters zal vele malen kleiner zijn dan de invloed van weervariaties. Gebruik van de inlaatsluis Spijkenisse vereist 'slim watermanagement' om de korte inlaatvensters van maximaal enkele uren per getijperiode effectief te benutten. Slim watermanagement vereist adequate monitoring, voorspellingen en gegevensuitwisseling tussen waterbeheerders.

Een andere mogelijkheid is tijdelijke normversoepeling van 150 naar 200 mgCl/l voor de Bernisse-inlaat. Een maatregel die reeds voorzien is in het adaptatiepad van de Voorkeursstrategie Zoetwater, maar bij een zoute variant van het Volkerak-Zoommeer mogelijk eerder in beeld komt. Daarmee blijft naar verwachting het huidige niveau van regionale watervoorziening vanuit het Brielse Meer (kwantiteit en leveringszekerheid) nagenoeg volledig intact. Alleen voor de (hoogwaardige) industriewatervoorziening vanuit het Brielse Meer zijn dan extra maatregelen nodig conform het adaptatiepad van de Voorkeursbeslissing Zoetwater.

- *Vraag: Wat zijn de effecten van de ingrepen op de drinkwater- en industriewaterinlaatpunten?*

Resultaten van eerdere modelberekeningen laten voor de drinkwaterinlaten zien dat er voor de Deltascenario's Druk en Rust voor de zichtjaren 2050 en 2100 weinig veranderingen te verwachten zijn ten opzichte van de huidige situatie: de norm voor het zoutgehalte van het inlaatwater wordt niet of slechts een beperkt aantal dagen overschreden in een gemiddeld en in een droog jaar. De ingrepen hebben hier slechts beperkt effect op.

In de Deltascenario's Warm en Stoom nemen het aantal sluitingsdagen (voor oppervlaktewaterwinning) en de jaargemiddelde zoutconcentraties (voor oeverinfiltratie) in alle typen droogtejaren aanzienlijk toe. In dat geval zullen de ingrepen leiden tot een verdere toename van de verzilting.

De extra onttrekking aan de Waal voor het doorspoelen van het Amsterdam-Rijnkanaal voor de nieuwe zeesluis bij IJmuiden leidt in de modelresultaten tot een beperkte toename van minder dan 10 dagen van het aantal sluitingsdagen van innamepunten in het benedenrivierengebied. Verdieping in de Nieuwe Waterweg tot ca. -16,3 m NAP voegt hieraan voor de noordrand (Nieuwe Waterweg, Nieuwe Maas, Noord en Lek) nog een halve maand extra sluiting toe. Mogelijk is de verzilting van de Lek te beperken door een minimum afvoer over de stuw Hagestein te handhaven. Aanbevolen wordt dit nader te onderzoeken.

Als de Haringvlietsluizen bij lage afvoeren langdurig gesloten zijn, zal de zoutlekkage bij een zout Volkerak-Zoommeer leiden tot extra verzilting van Hollandsch Diep, Haringvliet en Spui. De modelresultaten laten zien dat dit leidt tot aanzienlijke extra verzilting van de locaties langs deze wateren. Het heeft echter geen significant effect op sluitingsdagen en jaargemiddeldeconcentraties van locaties aan de Lek of Hollandsche IJssel.

De effecten van de ingrepen op industriewaterinlaatpunten zijn hetzelfde als die voor drinkwaterinlaatpunten. De effecten op de belangrijke aanvoer via het Brielse Meer naar het Botlek gebied zijn bij de vorige vraag beschreven.

- *Vraag: Wat zijn de gevolgen van meer beregening voor de (benodigde) peilen of capaciteiten indien sprake is van verdubbeling van het potentieel beregend areaal en vaker beregenen in de toekomst?*

Intensiever beregenen heeft als doel het verminderen van de landbouwschade. Dat is in de berekeningen bereikt door verdubbeling van het potentieel beregeningsareaal en het verkorten van de periode tussen twee beregeningen in. Hierdoor kan vaker en meer worden beregend. In de extra watervraag kan worden voorzien door middel van o.a. inzet van de uitgebreide KWA en aanspreken van de extra bufferschijf van het IJsselmeer.

Een verdubbeling van het potentieel beregend areaal en vaker beregenen kan in droge en extreem droge jaren op de Hoge Zandgronden leiden tot het verder dalen van de grondwaterstand met enkele decimeters (een daling tot 50 cm is mogelijk). Dit is een extra daling ten opzichte van het klimaatteffect, dat in deze gebieden al circa 30-40 cm is (GLG).

De verwachting is dat een extra schijf van enkele decimeters op zowel het IJsselmeer als het Markermeer nodig is om de aanvoer naar de beregende arealen te vergroten in Deltascenario Warm in 2050. In extreem droge jaren ontstaan er dan nog wel tekorten in de beregening; deze tekorten worden veroorzaakt door de beperkte aanvoercapaciteit die gedimensioneerd is op een droog-jaarsituatie (uitgangspunt).

De maximaal benodigde capaciteit voor de KWA wordt op basis van de piekwatervraag van de Hoogheemraadschappen Rijnland en De Stichtse Rijnlanden voor een droog jaar in 2050 onder Deltascenario Warm op ca. 25-35 m³/s geschat. Voor een extreem droog jaar is naar schatting ca. 40 m³/s nodig als het potentieel beregeningsareaal wordt verdubbeld.

- *Vraag: Wat levert een doorkijk naar 2100 voor Deltascenario Warm op?*

Bij een doorkijk naar 2100 worden de onzekerheden in het scenario en in de resultaten van berekeningen groter. Toch kan wel geconcludeerd worden dat er onder Deltascenario Warm voor 2100 aanvullende maatregelen noodzakelijk zijn. De uitbreiding van de capaciteit van de KWA de huidige 7 – 10 m³/s naar 15 m³/s zal dan niet meer voldoende

zijn voor handhaving van het huidige niveau van leveringszekerheid in het zomerhalfjaar. Indicatieve berekeningen geven aan dat uitbreiding tot 24 m³/s gewenst is vanuit de waterbehoefte in West-Nederland in een (extreem) droog jaar onder Deltascenario Warm. De modelresultaten laten een verhoging van de chlorideconcentraties zien, waardoor we verwachten dat de frequentie en duur van de inzet van de KWA+ onder Deltascenario Warm in 2100 verder zal toenemen. Ook in een gemiddeld jaar wordt dan het inzetten van de KWA sowieso noodzakelijk. De inzet van KWA+ wordt ook nog eens frequenter en langduriger door de verdieping van de Nieuwe Waterweg en extra doorspoeling van het ARK, terwijl extra capaciteit nodig is als het beregeningsareaal wordt vergroot. Ook de bufferschijf van 20 cm op IJsselmeer en Markermeer voldoet in Deltascenario Warm 2100 niet meer om het watertekort niet toe te laten nemen in een droog jaar (1989). Daarvoor zou een bufferschijf van ca. 40 cm noodzakelijk zijn. Voor een extreem droog jaar (1976) zou in Deltascenario Warm in 2100 de bufferschijf van 40-50 cm onder Deltascenario Warm in 2050 moeten worden vergroot naar ruim 80-90 cm in het IJsselmeer plus 40 cm in het Markermeer. Grotere bufferschijven zullen nodig zijn als er meer vraag naar oppervlaktewater voor beregening ontstaat. Zo was al berekend dat een verdubbeling van het potentieel beregend areaal kan leiden tot een toename van de vereiste bufferschijf met enkele decimeters in 2050 bij sterke klimaatverandering; onder Deltascenario Warm in 2100 zal dit nog groter zijn. Uiteraard zeggen deze rekenuitkomsten niets over de wenselijkheid van een dergelijke bufferschijf, noch over de vraag of het fysisch mogelijk is dergelijke bufferschijven op te bouwen. Ook zijn in het Deltaprogramma Zoetwater maatregelen benoemd om de watervraag te verminderen.

Antwoorden op de vragen ten aanzien van onzekerheden en de gevoeligheid voor aannames zijn:

- *Vraag: Blijft de conclusie staan dat een zoute variant van het Volkerak-Zoommeer geen effect heeft op de noordrand?*

Op basis van het onderzoek van Van der Kaaij & Uittenbogaard (2011) wordt geconcludeerd dat een extra zoutlast van 20 kg zout/s als gevolg van een zout Volkerak-Zoommeer niet of nauwelijks effect heeft op de noordrand van de Rijn-Maasmond (waaronder de Hollandsche IJssel en inlaat Gouda). De verwachting is dat dit in het Deltascenario Warm ook in 2050 het geval is voor de locaties Krimpen en Gouda; dit houdt in dat de frequentie van het sluiten van de inlaat Gouda c.q. de inzet van de KWA om West-Nederland van water te voorzien als gevolg van die ingreep niet of nauwelijks verandert.

- *Vraag: Wat is de gevoeligheid van de modeluitkomsten voor de manier waarop de verdieping in de Nieuwe Waterweg in het model beschreven is?*

Het modelinstrumentarium waarmee de nieuwe berekeningen zijn uitgevoerd omvat geen 3D model dat stroming en menging van water met verschillende dichtheden kan beschrijven op basis van de fysische processen. Dat is wel noodzakelijk om de invloed van de ingrepen op de verzilting van de Rijn-Maasmond betrouwbaar te kwantificeren.

Het 1D NDB (Noordelijk Delta Bekken) model is afgeregeld op de huidige situatie en voldoet daarmee voor de beschrijving van situaties waarbij de geometrie van de Rijn-Maasmond niet verandert.

Om toch ook een uitspraak te kunnen doen over het effect van verdieping van de Nieuwe Waterweg is het gevolg van deze ingreep voor 1D modeltoepassing vertaald in een equivalente afname van de Rijnafvoer bij Lobith (dQ) op basis van de resultaten van eerdere 3D berekeningen (met continue afvoer en harmonische getijden) uitgevoerd door bureau Svašek Hydraulics in opdracht van het Havenbedrijf Rotterdam. Er is hierbij

gekeken naar het verschil in chlorideconcentratie berekend voor locatie Krimpen aan de IJssel en naar het verschil in Rijnafoer waarmee dit zelfde concentratieverschil wordt bereikt. Deze aanpak houdt in dat de modelresultaten gebruikt kunnen worden om een inschatting te krijgen van het effect op locatie Krimpen aan de IJssel en Hollandsche IJssel en voor bijvoorbeeld de Lek alleen met grote voorzichtigheid. Voor de zuidrand van de Rijn-Maasmond zijn deze resultaten niet bruikbaar.

Het Havenbedrijf Rotterdam is voornemens vergunning te vragen voor een verdieping tot NAP-16,3 m. Omdat eerder werd gedacht aan een verdieping tot -17m NAP zijn voor beide situaties berekeningen uitgevoerd.

Voor een verdieping tot -17m NAP kan uit de resultaten van de 3D berekeningen bij verschillende afvoeren een dQ van $-100 \text{ m}^3/\text{s}$ (Rijnafoer bij Lobith) afgeleid worden; dit houdt in dat een chlorideconcentratie van 200 mg/l die zich bij Krimpen aan de IJssel in de huidige situatie zonder verdieping van de Nieuwe Waterweg voordoet bij een Rijnafoer van ca. $1000 \text{ m}^3/\text{s}$, in de situatie met aanwezigheid van een verdieping zich al bij ca. $1100 \text{ m}^3/\text{s}$ voordoet (een verschuiving in de afvoer dus van $100 \text{ m}^3/\text{s}$ (d.w.z. $dQ = -100 \text{ m}^3/\text{s}$)). Voor een verdieping tot -16,3 m NAP varieert de dQ afhankelijk van de afvoer tussen -50 en $-85 \text{ m}^3/\text{s}$. Uitgaande van een gevoeligheidsanalyse is in dit onderzoek het effect van een mogelijke verdieping met een equivalent dQ van $-50 \text{ m}^3/\text{s}$ en dQ van $-100 \text{ m}^3/\text{s}$ verkend. Gezien de onvolkomenheden van de gevolgde methode zijn de berekeningen wel geschikt om een inschatting van het effect te krijgen, maar wordt aanbevolen in de lopende systeemanalyse (apart onderzoek) voor de Rijn-Maasmond de methode te verbeteren.

Er is gevonden dat onder Deltascenario Warm in 2050 een dQ van $-50 \text{ m}^3/\text{s}$ leidt tot ongeveer 20 extra dagen overschrijding van het chlorideconcentratieniveau bij Gouda en een dQ van $-100 \text{ m}^3/\text{s}$ tot ongeveer 30 extra dagen.

- *Vraag: Wat is de gevoeligheid voor een grotere/kleinere zoutlast uit een zout Volkerak-Zoommeer?*

Eerder Deltares onderzoek stelt dat een zoutlast van 20 kg zout/s leidt tot een verhoging van de chlorideconcentratie bij Bernisse, als de Haringvlietsluizen gesloten zijn en met een Rijnafoer van $800 \text{ m}^3/\text{s}$, met maximaal 55 mg Cl/l . Deze verhouding is lineair, dus bij een verdubbeling van de zoutlast zal de maximale concentratieverhoging ook twee keer zo groot zijn.

Zonder zoutlekbeperkende maatregelen bij de Volkeraksluizen zou de zoutlast ongeveer 480 kg zout/s bedragen. Om de zoutlast te beperken tot ca. 10% daarvan moet een combinatie van bestaande en nieuwe technieken toegepast worden, en daarbij is $25 \text{ m}^3/\text{s}$ aan zoet water nodig. Verdere verlaging van de zoutlast tot 20 kg/s , bij hetzelfde debiet aan zoetwater, lijkt haalbaar bij inzet van aanvullende maatregelen op basis van nieuwe technieken. Een nog verdere verlaging van de zoutlekkage lijkt vooralsnog niet mogelijk zolang er geen beperkingen mogen worden opgelegd aan de schutcapaciteit.

Een grotere zoutlast dan voorzien zou kunnen optreden als de maatregelen bij de Volkeraksluizen niet de verwachte effectiviteit hebben. Dit heeft direct effect op de chlorideconcentraties bij de inlaatsluizen Bernisse en Spijkenisse. Voor Bernisse zal een verdubbeling van de zoutlast leiden tot een verhoging van de chlorideconcentratie met maximaal 110 mg Cl/l (bij gesloten Haringvlietsluis en Rijnafoer van $800 \text{ m}^3/\text{s}$). Dit zal voor inlaat Bernisse leiden tot een forse toename van het aantal sluitingsdagen bij een sluitcriterium van 150 mg Cl/l , maar ook bij de inlaat Spijkenisse zal de concentratie dan vrijwel altijd boven 150 mg/l liggen.

Als een grotere zoutlast bestreden zou worden met een verdubbeling van het zoetwaterdebiet naar het Volkerak, $50 \text{ m}^3/\text{s}$ i.p.v. $25 \text{ m}^3/\text{s}$, zou dit ten koste gaan van de uitstroom via de Nieuwe Waterweg. Daarmee neemt de zoutindringing via de Nieuwe

Waterweg naar verwachting enigszins toe (voorlopig geschat op ca. 5 à 10 dagen, maar dit is afhankelijk van het scenario). Een extra doorspoeldebiet in het Volkerak-Zoommeer heeft verder nog gevolgen voor de chlorideconcentratie op het meer en de daarmee samenhangende waterkwaliteit en ecologie, maar dit valt buiten de scope van voorliggende studie.

- *Vraag: Wat zijn de gevolgen van de nieuwe KNMI'14 scenario's voor de conclusies?*

Ook in de KNMI'14 scenario's is een onderscheid te maken tussen scenario's met een gematigde (G en Gh) en met een snelle klimaatverandering (W en Wh), net als in de KNMI'06 scenario's. Wat betreft het neerslagtekort in Nederland is het gematigde KNMI'14 scenario G vergelijkbaar met het KNMI'06 scenario G dat gebruikt is in de Deltascenario's Rust en Druk. Het neerslagtekort in de scenario's met snelle klimaatverandering is in de KNMI'14 scenario's echter aanzienlijk kleiner dan in de oude scenario's. Het meest extreme Wh scenario leidt nu in 2100 tot een neerslagtekort dat vergelijkbaar is met dat in 2050 onder het KNMI'06 W+ scenario dat gebruikt is in de Deltascenario's Warm en Stoom.

Het effect van de nieuwe scenario's op de Rijnafvoer is nog niet berekend. Het is echter te verwachten dat het verschil tussen de gematigde scenario's ook hierbij beperkt zal zijn en dat de nieuwe scenario's met snelle klimaatverandering een geringere afname van de afvoer in de zomer zullen laten zien dan in het KNMI'06 W+ scenario.

De richting van de klimaatscenario's blijft dus hetzelfde, maar het tempo van de snelle klimaatverandering wordt in de KNMI'14 scenario's lager ingeschat dan in de KNMI'06 scenario's. Het belangrijkste gevolg voor de conclusies van het Deltaprogramma Zoetwater is dat maatregelen voorzien voor scenario's met snelle klimaatverandering pas later genomen zullen hoeven te worden. De adaptiepaden blijven dus hetzelfde, alleen zal de inzet van de maatregelen verder naar de toekomst verschuiven. Adaptief Deltamanagement biedt een uitstekend raamwerk voor het omgaan met deze veranderingen in de scenario's.

- *Vraag: Welke kennislücken bestaan er nog?*

Bij de uitvoering van de werkzaamheden voor dit rapport is een aantal knelpunten geconstateerd met betrekking tot de huidige methodes en het modelinstrumentarium. Daarnaast zijn nieuwe inzichten ontstaan hoe beslissingen over de zoetwatervoorziening in Nederland in de toekomst onderbouwd kunnen worden. Dit heeft geleid tot de volgende aanbevelingen met betrekking tot de beleidsanalyse, het modelinstrumentarium en de onzekerheden in het systeem:

- o Met het oog op de beheer- en beleidsopgaven voor de Rijn-Maasmond in de komende decennia wordt aanbevolen meer kennis en inzichten op te bouwen over de verziltingsprocessen en –statistiek in (delen) van hoofdwatersysteem en de factoren die hierop van invloed zijn, om zodoende in staat te zijn de onderlinge samenhang en de invloed van ingrepen en maatregelen op de verziltingsprocessen beter in beeld te brengen. Deze kennis kan onder meer verankerd worden in een goede beschrijving van het systeem en een verbeterd modelinstrumentarium (zie volgend punt).
- o Voor een aantal gedefinieerde cases zijn de 1D NDB-modeluitkomsten om de effecten van de ingreep in de gehele Rijn-Maasmond kwantitatief te bepalen niet plausibel. Zo zijn, door de manier waarop het effect van een verdieping in de Nieuwe Waterweg kon worden gemodelleerd, de resultaten voor de zuidrand (Haringvliet, Hollandsch Diep en Spui) niet bruikbaar. Ook het effect van een zout Volkerak-Zoommeer op de noordrand (Nieuwe Waterweg en Hollandsche IJssel)

kon niet met het model in beeld worden gebracht. In plaats daarvan is gebruik gemaakt van deskundigenoordeel op basis van systeemkennis en van inzichten op basis van monitoringgegevens en/of door derden uitgevoerde 3D modelberekeningen uit eerdere studies. Aanbevolen wordt in een vervolgstudie de verschillende verziltingstypen die zich in de Rijn-Maasmond voordoen, met en zonder ingrepen, met een 3D model door te rekenen met een specifieke focus op de extreem lage chloriderange (100-500 mg/l). De uitkomsten van de 3D berekeningen kunnen ook gebruikt worden voor het verbeteren van de 1D NDB modellering van een verdieping in de Nieuwe Waterweg. Hierbij moet gedacht worden aan aanpassingen in het systeemmodel zelf (bodempligging, dispersie, afregelen verziltingsprocessen, e.d.) in plaats van modellering door een aanpassing van de randvoorwaarden. Idem voor verbetering van de effecten van een zout Volkerak-Zoommeer (verbeteren dispersiecoëfficiënten). Om goed de relatie met de zoetwatervoorziening te kunnen bestuderen raden wij aan om in ieder geval het NDB model (of de opvolger van dit model) te integreren in het deltamodel, of op zijn minst eenvoudige data uitwisseling te gaan faciliteren.

Onderdeel van bovengenoemd onderzoek zou ook de vraag kunnen betreffen of de inzetbaarheid van Inlaatsluis Spijkenisse kan worden vergroot door water in te pompen in plaats van alleen onder vrij verval in te laten.

- o Aangezien een verdieping in de Nieuwe Waterweg een aanzienlijk effect heeft op de chlorideconcentraties op de noordrand, wordt aanbevolen het effect van een eventuele verdieping in de Nieuwe Waterweg op de frequentie van de inzet van de Kleinschalige Wateraanvoer in meer detail uit te werken. Denk aan het effect van een verdieping NWW op veranderingen in de verziltingssituatie (verschuiving verziltingsconcentraties en typen verzilting die zich voordoen) en de beslisboom voor de inzet KWA (welke locaties en drempelwaarden in bijvoorbeeld chlorideniveaus zijn maatgevend voor de inzet van de KWA, etc.)
- o Met oog op de resterende kennisvragen betreffende de gevoeligheid ten aanzien van klimaatverandering en –variabiliteit wordt aanbevolen kennis en tools te ontwikkelen voor een meer risico-gebaseerde aanpak voor de zoetwatervoorziening, o.a. door het rekenen met langjarige tijdseries die de klimaatvariabiliteit en kansen en gevolgen (directe en indirecte) ten aanzien van bijvoorbeeld verschillende verziltingssituaties beter beschrijven. Ook wordt aanbevolen de nieuwe klimaatscenario's (KNMI'14) door te rekenen, zodra ook de Rijn- en Maasafvoeren die bij de verschillende scenario's horen bekend zijn en de conclusies uit dit onderzoek te updaten.
- o Dit onderzoek heeft laten zien dat de Voorkeursstrategie Zoetwater zoals vastgelegd in de Deltabeslissing Zoetwater (maatregelen en bijbehorende adaptatiepaden) nog steeds in staat is de nadelige gevolgen van een aantal ingrepen op te vangen, als er toe besloten zou worden die negatieve effecten op te vangen door gebruik te maken van de maatregelen uit de voorkeursstrategie. Als de cumulatie van effecten van mogelijke ingrepen zich inderdaad zou voordoen, ligt de keuze voor om maatregelen eerder uit te voeren. Ook kunnen reeds getroffen maatregelen/voorzieningen vaker ingezet worden. De nieuwe klimaatscenario's (KNMI'14) laten daarentegen zien dat maatregelen voorzien voor scenario's met snelle klimaatverandering later in de tijd genomen zullen hoeven te worden. Dit past goed bij de Adaptief Deltamanagement benadering die gericht is op het omgaan met deze veranderingen in de scenario's. Omdat monitoring van ontwikkelingen en veranderingen ten behoeve van het uitoefenen van Adaptief Deltamanagement relatief nieuw is (denk aan het definiëren en

bepalen van signposts en trigger waarden), wordt aanbevolen hier de komende jaren kennis voor te ontwikkelen.

A Literatuur

Arcadis, 31 juli 2013. *Verfijning Onderzoek Zoutindringing Noordzeekanaal (ZTIJ). Tussenrapportage*, rapport 077064747:0.6 – C03041.003026.0100.

Bruggeman, W., E. Dammers, G.J. van den Born, B. Rijken, B. van Bommel, A. Bouwman, K. Nabielek, J. Beersma, B. van den Hurk, N. Polman, V. Linderhof, C. Folmer, F. Huizinga, S. Hommes, A. te Linde, 2013. *Deltascenario's voor 2050 en 2100, Nadere uitwerking 2012-2013*. CPB, Deltares, KNMI, LEI, PBL.

De Vries, I., februari 2014a. *Toetsing robuustheid Brielse Meer voor zoetwatervoorziening. Fase 2: definitieve toetsing*, Deltares rapport 1209018-000.

De Vries, I., mei 2014b. *Effect verdieping Waterweg op inlaatsluis Spijkenisse*, Deltares memo 1209302-003-VEB-0002.

De Vries, I., C. Sprengers, april 2014c. *Inlaatsluis Spijkenisse: waterinlaat naar Brielse Meer vanuit Oude Maas*, Deltares rapport 1209393-000.

Hydrologic, oktober 2013. *Studie Toename Debiet Amsterdam-Rijnkanaal*, notitie P576.

Hoogewoud, J.C., J.C. Hunink, J. Verkaik, G. Prinsen, *Veranderingsrapportage NHI 3.01*. Deltares rapport 1207757-000

Hoogewoud, J., G. Prinsen, J. Hunink, F. van de Bolt, T. Kroon, P. van Walsum, A. Veldhuizen, in voorbereiding. *Veranderingsrapportage NHI 3.02*. Deltares rapport 1209264-002.

Beersma, J.J., T. A. Buishand, H. Buiteveld, 2004. *Droog, droger, droogst*. KNMI-publicatie 199-II.

Ministerie I&M, 2014. Joint Fact Finding zoet water. *Eindrapportage voor de Rijksstructuurvisie Grevelingen en Volkerak-Zoommeer*. Den Haag, oktober 2014

Prinsen, G., 2013. *Analyse sturing inlaat Gouda op chloride gehalte*, Deltares memo 1207773-003-VEB-0012.

Prinsen, G. R. Uittenbogaard, 2014. *Eindrapport beperking zoutindringing Zijkanaal C – Spaarndam*, Deltares rapport 1209873-000.

Svašek Hydraulics, 2014a. *Effectbepaling verdieping Nieuwe Waterweg. Op basis van Triwaq simulaties OSR model*. Eindrapport en bijlagen. Svašek Hydraulics rapport 1712/U14001/H/BvL.

Svašek Hydraulics, 2014b. *Effectbepaling verdieping Nieuwe Waterweg. Op basis van Triwaq simulaties OSR model*. Concept rapport en bijlagen. Svašek Hydraulics rapport 1712/U14253/C/BvL.

Ter Maat, J., M. van der Vat, J. Hunink, M. Haasnoot, G. Prinsen, M. Visser, P. Boderie, R. van Ek, M. Maarse, R. van der Sligte, H. Verheij, C. Wesselius, 2014a. *Effecten van maatregelen voor de zoetwatervoorziening in de 21e eeuw, Deltaprogramma – Deelprogramma Zoetwater – fase 4*, Deltares rapport 1209141-001.

Ter Maat, J., Y. Friocourt, I. de Vries, G. Prinsen, J. Hunink, 2014b. *Verkenning van integrale effecten van ingrepen en maatregelen op de verzilting in West-Nederland*, Deltares rapport 1209914-000-ZKS-0003 (versie 2).

Ter Maat, J., J. Hunink, M. Visser, G. Prinsen, M. van der Vat, 2015. *Cumulatieve effecten van externe ingrepen en maatregelen voor de zoetwatervoorziening in de 21e eeuw*, Deltares rapport 1209141-012-VEB-0003, januari 2015.

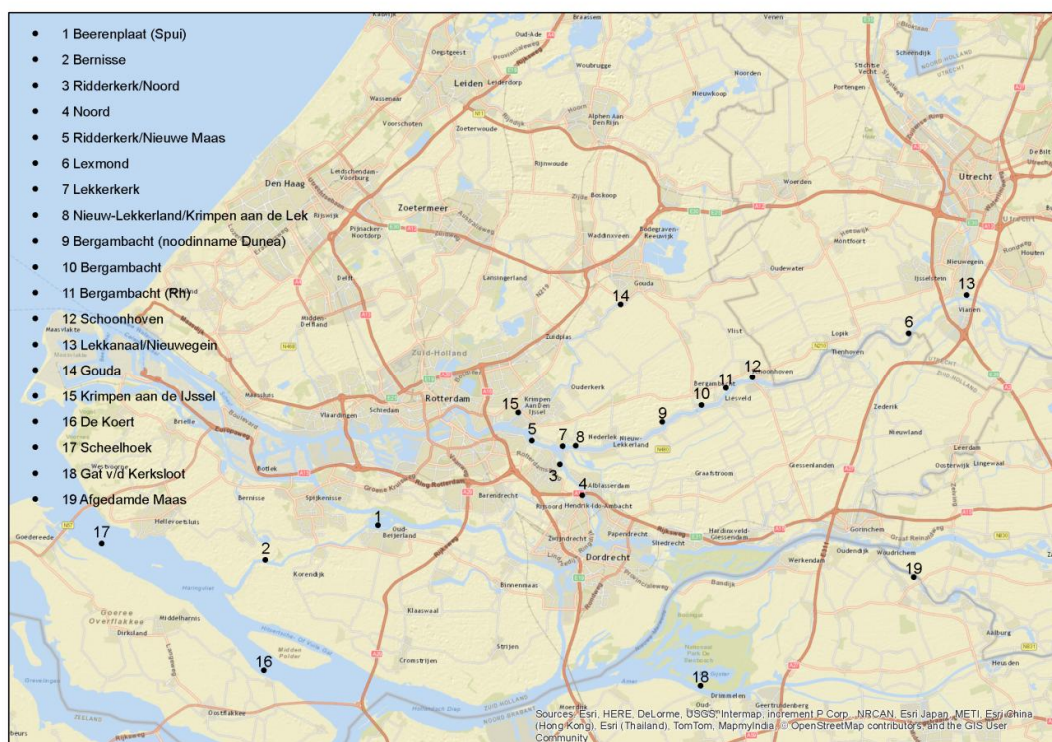
Villars, M.T.; R.E. Uittenbogaard; J.M. Cornelisse; A.J. Nolte, april 2011. *Ontwerpstudie en praktijkproef zoutlekbepierking Volkeraksluizen : eindrapport van het onderzoek naar mogelijkheden voor de zoutlekbepierking door de Volkeraksluizen na verzilting van het Volkerak-Zoommeer*, Deltares rapport 1201226-015.

Van der Kaaij, T.; R.E. Uittenbogaard, april 2011. *Ontwerpstudie en praktijkproef zoutlekbepierking Volkeraksluizen: scenarioberekeningen verspreiding zoutlek Volkeraksluizen in het benedenrivierengebied*, Deltares rapport 1201226-009.

Weiler, O.M.; R.E. Uittenbogaard; G.H. Keetels; A.C. Bijlsma; J.M. Cornelisse, maart 2012. *Zoutlekbepierking Volkeraksluizen: verdere reductie van de zoutlek middels een zoutvang*, Deltares rapport 1204948.

Wuijts, S. et al., 2013. *Impact klimaat op oppervlaktewater als bron voor drinkwater, Van knelpunten naar maatregelen*, RIVM rapport 609716007/2013.

B Overzicht uitkomsten drink- en industriewaterpunten



Figuur B1. Ligging locaties waarover in deze studie over de gemiddelde chlorideconcentratie en/of overschrijding van het chloridecriterium gerapporteerd wordt.

Tabel B1. Overschrijding chloridecriterium (aantal dagen boven de 150 mg/l) bij verschillende drink- en industriewaterinnamepunten voor karakteristiek droogtejaren in het huidige klimaat en in de klimaatscenario's W+ en WH in 2050 in de situatie met of zonder ingreep of maatregel

N.B. Sommen die wel gedraaid zijn, maar geen plausible uitkomsten geven zijn aangegeven middels een *

Locatie	Gemiddeld 1967	Droog 1989	Droog 2003	Extreem droog 1976
Afgedamde Maas				
Huidig klimaat	0	0	0	0
W+ 2050: Zonder maatregelen	0	9	47	68
W+ 2050: VZM zout (20 kg/s)	0	9		68
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20)		9	47	67
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20) & VZM zout (20 kg/s) & extra berekening	0	9	47	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20) & verdieping NWW (dQ=50) & extra berekening		*	*	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20) & verdieping NWW (dQ=100) & extra berekening	*	*	*	*
WH 2050 (G+ afvoer): Zonder maatregelen			7	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20) & VZM zout (40 kg/s) & extra berekening		9		

Locatie	Gemiddeld 1967	Droog 1989	Droog 2003	Extreem droog 1976
Gat v/d Kerssloot				
Huidig klimaat	0	0	0	0
W+ 2050: Zonder maatregelen	0	0	0	0
W+ 2050: VZM zout (20 kg/s)	0	0		0
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20)		0	0	0
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20) & VZM zout (20 kg/s) & extra berekening	0	0	0	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20) & verdieping NWW (dQ=50) & extra berekening		*	*	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20) & verdieping NWW (dQ=100) & extra berekening	*	*	*	*
WH 2050 (G+ afvoer): Zonder maatregelen			0	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20) & VZM zout (40 kg/s) & extra berekening		0		

Locatie	Gemiddeld 1967	Droog 1989	Droog 2003	Extreem droog 1976
Scheelhoek				
Huidig klimaat	0	0	0	16
W+ 2050: Zonder maatregelen	0	0	81	23
W+ 2050: VZM zout (20 kg/s)	70	143		239
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20)		0	82	49
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20) & VZM zout (20 kg/s) & extra berekening	0	159	133	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20) & verdieping NWW (dQ=50) & extra berekening		*	*	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20) & verdieping NWW (dQ=100) & extra berekening	*	*	*	*
WH 2050 (G+ afvoer): Zonder maatregelen			23	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20) & VZM zout (40 kg/s) & extra berekening		194		

Locatie	Gemiddeld 1967	Droog 1989	Droog 2003	Extreem droog 1976
Bergambacht (noodinname Dunea)				
Huidig klimaat	0	0	17	13
W+ 2050: Zonder maatregelen	4	79	94	147
W+ 2050: VZM zout (20 kg/s)	*	*		*
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=20)		81	107	153
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=20) & VZM zout (20 kg/s) & extra berekening	*	*	*	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=20) & verdieping NWW (dQ=50) & extra berekening		95	121	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=20) & verdieping NWW (dQ=100) & extra berekening	36	108	135	164
WH 2050 (G+ afvoer): Zonder maatregelen			66	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=20) & VZM zout (40 kg/s) & extra berekening		*		

Locatie	Gemiddeld 1967	Droog 1989	Droog 2003	Extreem droog 1976
Nieuw-Lekkerland / Krimpen aan de Lek				
Huidig klimaat	0	5	16	25
W+ 2050: Zonder maatregelen	10	72	85	140
W+ 2050: VZM zout (20 kg/s)	*	*		*
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=20)		79	95	145
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=20) & VZM zout (20 kg/s) & extra berekening	*	*	*	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=20) & verdieping NWW (dQ=50) & extra berekening		96	102	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=20) & verdieping NWW (dQ=100) & extra berekening	26	104	119	164
WH 2050 (G+ afvoer): Zonder maatregelen			61	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=20) & VZM zout (40 kg/s) & extra berekening		*		

Locatie	Gemiddeld 1967	Droog 1989	Droog 2003	Extreem droog 1976
Lekkerkerk				
Huidig klimaat	1	5	15	25
W+ 2050: Zonder maatregelen	9	73	83	139
W+ 2050: VZM zout (20 kg/s)	*	*		*
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=20)		78	94	145
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=20) & VZM zout (20 kg/s) & extra berekening	*	*	*	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=20) & verdieping NWW (dQ=50) & extra berekening		95	103	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=20) & verdieping NWW (dQ=100) & extra berekening	28	104	117	160
WH 2050 (G+ afvoer): Zonder maatregelen			56	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=20) & VZM zout (40 kg/s) & extra berekening		*		

Locatie	Gemiddeld 1967	Droog 1989	Droog 2003	Extreem droog 1976
Lekkanaal/Nieuwegein				
Huidig klimaat	0	0	0	0
W+ 2050: Zonder maatregelen	0	38	60	114
W+ 2050: VZM zout (20 kg/s)	*	*		*
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20)		42	81	120
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20) & VZM zout (20 kg/s) & extra berekening	*	*	*	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20) & verdieping NWW (dQ=50) & extra berekening		52	84	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20) & verdieping NWW (dQ=100) & extra berekening	0	60	88	138
WH 2050 (G+ afvoer): Zonder maatregelen			17	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20) & VZM zout (40 kg/s) & extra berekening		*		

Locatie	Gemiddeld 1967	Droog 1989	Droog 2003	Extreem droog 1976
Bergambacht (Rh)				
Huidig klimaat	0	0	6	5
W+ 2050: Zonder maatregelen	3	81	91	152
W+ 2050: VZM zout (20 kg/s)	*	*		*
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20)		83	118	153
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20) & VZM zout (20 kg/s) & extra berekening	*	*	*	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20) & verdieping NWW (dQ=50) & extra berekening		103	126	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20) & verdieping NWW (dQ=100) & extra berekening	44	119	137	159
WH 2050 (G+ afvoer): Zonder maatregelen			64	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20) & VZM zout (40 kg/s) & extra berekening		*		

Locatie	Gemiddeld 1967	Droog 1989	Droog 2003	Extreem droog 1976
Bergambacht				
Huidig klimaat	0	0	14	5
W+ 2050: Zonder maatregelen	4	80	93	153
W+ 2050: VZM zout (20 kg/s)	*	*		*
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20)		83	115	155
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20) & VZM zout (20 kg/s) & extra berekening	*	*	*	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20) & verdieping NWW (dQ=50) & extra berekening		101	126	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20) & verdieping NWW (dQ=100) & extra berekening	44	119	135	161
WH 2050 (G+ afvoer): Zonder maatregelen			64	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20) & VZM zout (40 kg/s) & extra berekening		*		

Locatie	Gemiddeld 1967	Droog 1989	Droog 2003	Extreem droog 1976
Schoonhoven				
Huidig klimaat	0	0	6	3
W+ 2050: Zonder maatregelen	0	79	91	151
W+ 2050: VZM zout (20 kg/s)	*	*		*
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=20)		85	119	152
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=20) & VZM zout (20 kg/s) & extra berekening	*	*	*	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=20) & verdieping NWW (dQ=50) & extra berekening		98	126	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=20) & verdieping NWW (dQ=100) & extra berekening	45	117	136	158
WH 2050 (G+ afvoer): Zonder maatregelen			61	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=20) & VZM zout (40 kg/s) & extra berekening		*		

Locatie	Gemiddeld 1967	Droog 1989	Droog 2003	Extreem droog 1976
Noord				
Huidig klimaat	0	1	8	12
W+ 2050: Zonder maatregelen	5	57	73	115
W+ 2050: VZM zout (20 kg/s)	*	*		*
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=20)		58	77	122
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=20) & VZM zout (20 kg/s) & extra berekening	*	*	*	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=20) & verdieping NWW (dQ=50) & extra berekening		71	88	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=20) & verdieping NWW (dQ=100) & extra berekening	9	85	97	148
WH 2050 (G+ afvoer): Zonder maatregelen			38	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=20) & VZM zout (40 kg/s) & extra berekening		*		

Locatie	Gemiddeld 1967	Droog 1989	Droog 2003	Extreem droog 1976
Ridderkerk Noord				
Huidig klimaat	0	4	12	16
W+ 2050: Zonder maatregelen	7	66	78	127
W+ 2050: VZM zout (20 kg/s)	*	*		*
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=20)		68	87	135
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=20) & VZM zout (20 kg/s) & extra berekening	*	*	*	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=20) & verdieping NWW (dQ=50) & extra berekening		86	98	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=20) & verdieping NWW (dQ=100) & extra berekening	14	94	107	151
WH 2050 (G+ afvoer): Zonder maatregelen			48	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=20) & VZM zout (40 kg/s) & extra berekening		*		

Locatie	Gemiddeld 1967	Droog 1989	Droog 2003	Extreem droog 1976
De Koert				
Huidig klimaat	0	0	0	14
W+ 2050: Zonder maatregelen	0	0	38	37
W+ 2050: VZM zout (20 kg/s)	32	119		210
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20)		0	45	37
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20) & VZM zout (20 kg/s) & extra berekening	0	139	150	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20) & verdieping NWW (dQ=50) & extra berekening		*	*	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20) & verdieping NWW (dQ=100) & extra berekening	*	*	*	*
WH 2050 (G+ afvoer): Zonder maatregelen			12	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20) & VZM zout (40 kg/s) & extra berekening		188		

Locatie	Gemiddeld 1967	Droog 1989	Droog 2003	Extreem droog 1976
Lexmond				
Huidig klimaat	0	0	0	0
W+ 2050: Zonder maatregelen	0	54	82	137
W+ 2050: VZM zout (20 kg/s)	*	*		*
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20)		65	96	145
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20) & VZM zout (20 kg/s) & extra berekening	*	*	*	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20) & verdieping NWW (dQ=50) & extra berekening		84	108	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20) & verdieping NWW (dQ=100) & extra berekening	0	90	118	153
WH 2050 (G+ afvoer): Zonder maatregelen			46	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20) & VZM zout (40 kg/s) & extra berekening		*		

Locatie	Gemiddeld 1967	Droog 1989	Droog 2003	Extreem droog 1976
Ridderkerk Nieuwe Maas				
Huidig klimaat	1	9	21	36
W+ 2050: Zonder maatregelen	13	84	94	148
W+ 2050: VZM zout (20 kg/s)	*	*		*
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20)		95	101	150
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20) & VZM zout (20 kg/s) & extra berekening	*	*	*	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20) & verdieping NWW (dQ=50) & extra berekening		108	117	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20) & verdieping NWW (dQ=100) & extra berekening	39	115	132	178
WH 2050 (G+ afvoer): Zonder maatregelen			70	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20) & VZM zout (40 kg/s) & extra berekening		*		

Locatie	Gemiddeld 1967	Droog 1989	Droog 2003	Extreem droog 1976
Beerenplaat (Spui)				
Huidig klimaat	5	1	9	12
W+ 2050: Zonder maatregelen	11	12	33	37
W+ 2050: VZM zout (20 kg/s)	14	51		127
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=20)		17	50	48
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=20) & VZM zout (20 kg/s) & extra berekening	15	80	98	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=20) & verdieping NWW (dQ=50) & extra berekening		*	*	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=20) & verdieping NWW (dQ=100) & extra berekening	*	*	*	*
WH 2050 (G+ afvoer): Zonder maatregelen			18	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=20) & VZM zout (40 kg/s) & extra berekening		104		

Tabel B2. Jaargemiddelde chlorideconcentratie (mg Cl/l) bij verschillende drink- en industriewaterinnamepunten voor karakteristieke droogtejaren in het huidige klimaat en in de klimaatscenario's W+ en WH in 2050 in de situatie met of zonder ingreep of maatregel

N.B. Sommen die wel gedraaid zijn, maar geen plausible uitkomsten geven zijn aangegeven middels een *

Locatie	Gemiddeld 1967	Droog 1989	Droog 2003	Extreem droog 1976
Afgedamde Maas				
Huidig klimaat	80	94	98	109
W+ 2050: Zonder maatregelen	87	102	103	120
W+ 2050: VZM zout (20 kg/s)	87	102		120
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20)		102	103	120
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20) & VZM zout (20 kg/s) & extra berekening	87	102	103	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20) & verdieping NWW (dQ=50) & extra berekening		*	*	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20) & verdieping NWW (dQ=100) & extra berekening	*	*	*	*
WH 2050 (G+ afvoer): Zonder maatregelen			98	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20) & VZM zout (40 kg/s) & extra berekening		102		

Locatie	Gemiddeld 1967	Droog 1989	Droog 2003	Extreem droog 1976
Gat v/d Kerkloot				
Huidig klimaat	52	53	51	76
W+ 2050: Zonder maatregelen	59	64	60	86
W+ 2050: VZM zout (20 kg/s)	59	65		90
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20)		64	60	86
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20) & VZM zout (20 kg/s) & extra berekening	60	65	60	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20) & verdieping NWW (dQ=50) & extra berekening		*	*	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20) & verdieping NWW (dQ=100) & extra berekening	*	*	*	*
WH 2050 (G+ afvoer): Zonder maatregelen			56	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20) & VZM zout (40 kg/s) & extra berekening		65		

Locatie	Gemiddeld 1967	Droog 1989	Droog 2003	Extreem droog 1976
Scheelhoek				
Huidig klimaat	81	97	101	121
W+ 2050: Zonder maatregelen	91	100	109	124
W+ 2050: VZM zout (20 kg/s)	107	124		155
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20)		100	110	123
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20) & VZM zout (20 kg/s) & extra berekening	92	129	142	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20) & verdieping NWW (dQ=50) & extra berekening		*	*	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20) & verdieping NWW (dQ=100) & extra berekening	*	*	*	*
WH 2050 (G+ afvoer): Zonder maatregelen			105	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20) & VZM zout (40 kg/s) & extra berekening		157		

Locatie	Gemiddeld 1967	Droog 1989	Droog 2003	Extreem droog 1976
Bergambacht (noodinname Dunea)				
Huidig klimaat	80	94	102	113
W+ 2050: Zonder maatregelen	93	131	175	172
W+ 2050: VZM zout (20 kg/s)	*	*		*
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=20)		138	204	184
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=20) & VZM zout (20 kg/s) & extra berekening	*	*	*	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=20) & verdieping NWW (dQ=50) & extra berekening		164	241	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=20) & verdieping NWW (dQ=100) & extra berekening	103	192	295	267
WH 2050 (G+ afvoer): Zonder maatregelen			128	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=20) & VZM zout (40 kg/s) & extra berekening		*		

Locatie	Gemiddeld 1967	Droog 1989	Droog 2003	Extreem droog 1976
Nieuw-Lekkerland / Krimpen aan de Lek				
Huidig klimaat	81	97	112	126
W+ 2050: Zonder maatregelen	102	160	225	221
W+ 2050: VZM zout (20 kg/s)	*	*		*
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=20)		172	265	239
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=20) & VZM zout (20 kg/s) & extra berekening	*	*	*	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=20) & verdieping NWW (dQ=50) & extra berekening		215	317	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=20) & verdieping NWW (dQ=100) & extra berekening	121	259	390	365
WH 2050 (G+ afvoer): Zonder maatregelen			155	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=20) & VZM zout (40 kg/s) & extra berekening		*		

Locatie	Gemiddeld 1967	Droog 1989	Droog 2003	Extreem droog 1976
Lekkerkerk				
Huidig klimaat	82	98	116	132
W+ 2050: Zonder maatregelen	107	176	251	249
W+ 2050: VZM zout (20 kg/s)	*	*		*
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=20)		191	299	271
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=20) & VZM zout (20 kg/s) & extra berekening	*	*	*	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=20) & verdieping NWW (dQ=50) & extra berekening		245	361	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=20) & verdieping NWW (dQ=100) & extra berekening	131	297	446	424
WH 2050 (G+ afvoer): Zonder maatregelen			169	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=20) & VZM zout (40 kg/s) & extra berekening		*		

Locatie	Gemiddeld 1967	Droog 1989	Droog 2003	Extreem droog 1976
Lekkanaal/Nieuwegein				
Huidig klimaat	80	94	98	109
W+ 2050: Zonder maatregelen	88	106	110	125
W+ 2050: VZM zout (20 kg/s)	*	*		*
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20)		106	114	125
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20) & VZM zout (20 kg/s) & extra berekening	*	*	*	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20) & verdieping NWW (dQ=50) & extra berekening		109	118	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20) & verdieping NWW (dQ=100) & extra berekening	89	111	123	133
WH 2050 (G+ afvoer): Zonder maatregelen			101	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20) & VZM zout (40 kg/s) & extra berekening		*		

Locatie	Gemiddeld 1967	Droog 1989	Droog 2003	Extreem droog 1976
Bergambacht (Rh)				
Huidig klimaat	80	93	99	110
W+ 2050: Zonder maatregelen	90	124	161	163
W+ 2050: VZM zout (20 kg/s)	*	*		*
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20)		130	188	172
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20) & VZM zout (20 kg/s) & extra berekening	*	*	*	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20) & verdieping NWW (dQ=50) & extra berekening		151	220	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20) & verdieping NWW (dQ=100) & extra berekening	99	174	267	244
WH 2050 (G+ afvoer): Zonder maatregelen			119	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20) & VZM zout (40 kg/s) & extra berekening		*		

Locatie	Gemiddeld 1967	Droog 1989	Droog 2003	Extreem droog 1976
Bergambacht				
Huidig klimaat	80	93	100	111
W+ 2050: Zonder maatregelen	91	127	167	166
W+ 2050: VZM zout (20 kg/s)	*	*		*
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20)		133	194	177
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20) & VZM zout (20 kg/s) & extra berekening	*	*	*	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20) & verdieping NWW (dQ=50) & extra berekening		156	229	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20) & verdieping NWW (dQ=100) & extra berekening	100	181	279	253
WH 2050 (G+ afvoer): Zonder maatregelen			122	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20) & VZM zout (40 kg/s) & extra berekening		*		

Locatie	Gemiddeld 1967	Droog 1989	Droog 2003	Extreem droog 1976
Schoonhoven				
Huidig klimaat	80	92	98	109
W+ 2050: Zonder maatregelen	89	122	156	159
W+ 2050: VZM zout (20 kg/s)	*	*		*
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=20)		127	182	168
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=20) & VZM zout (20 kg/s) & extra berekening	*	*	*	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=20) & verdieping NWW (dQ=50) & extra berekening		146	212	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=20) & verdieping NWW (dQ=100) & extra berekening	98	167	255	234
WH 2050 (G+ afvoer): Zonder maatregelen			116	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=20) & VZM zout (40 kg/s) & extra berekening		*		

Locatie	Gemiddeld 1967	Droog 1989	Droog 2003	Extreem droog 1976
Noord				
Huidig klimaat	83	101	119	139
W+ 2050: Zonder maatregelen	111	186	251	263
W+ 2050: VZM zout (20 kg/s)	*	*		*
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=20)		200	292	284
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=20) & VZM zout (20 kg/s) & extra berekening	*	*	*	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=20) & verdieping NWW (dQ=50) & extra berekening		250	345	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=20) & verdieping NWW (dQ=100) & extra berekening	135	296	416	418
WH 2050 (G+ afvoer): Zonder maatregelen			175	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=20) & VZM zout (40 kg/s) & extra berekening		*		

Locatie	Gemiddeld 1967	Droog 1989	Droog 2003	Extreem droog 1976
Ridderkerk Noord				
Huidig klimaat	84	108	132	160
W+ 2050: Zonder maatregelen	127	235	320	344
W+ 2050: VZM zout (20 kg/s)	*	*		*
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=20)		255	376	375
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=20) & VZM zout (20 kg/s) & extra berekening	*	*	*	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=20) & verdieping NWW (dQ=50) & extra berekening		326	445	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=20) & verdieping NWW (dQ=100) & extra berekening	166	389	536	559
WH 2050 (G+ afvoer): Zonder maatregelen			215	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=20) & VZM zout (40 kg/s) & extra berekening		*		

Locatie	Gemiddeld 1967	Droog 1989	Droog 2003	Extreem droog 1976
De Koert				
Huidig klimaat	74	85	89	107
W+ 2050: Zonder maatregelen	83	94	101	117
W+ 2050: VZM zout (20 kg/s)	100	119		152
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20)		94	101	117
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20) & VZM zout (20 kg/s) & extra berekening	84	125	136	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20) & verdieping NWW (dQ=50) & extra berekening		*	*	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20) & verdieping NWW (dQ=100) & extra berekening	*	*	*	*
WH 2050 (G+ afvoer): Zonder maatregelen			94	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20) & VZM zout (40 kg/s) & extra berekening		156		

Locatie	Gemiddeld 1967	Droog 1989	Droog 2003	Extreem droog 1976
Lexmond				
Huidig klimaat	80	93	98	108
W+ 2050: Zonder maatregelen	88	110	123	136
W+ 2050: VZM zout (20 kg/s)	*	*		*
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20)		112	136	139
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20) & VZM zout (20 kg/s) & extra berekening	*	*	*	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20) & verdieping NWW (dQ=50) & extra berekening		120	149	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20) & verdieping NWW (dQ=100) & extra berekening	91	128	167	166
WH 2050 (G+ afvoer): Zonder maatregelen			104	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20) & VZM zout (40 kg/s) & extra berekening		*		

Locatie	Gemiddeld 1967	Droog 1989	Droog 2003	Extreem droog 1976
Ridderkerk Nieuwe Maas				
Huidig klimaat	87	121	156	199
W+ 2050: Zonder maatregelen	158	309	415	462
W+ 2050: VZM zout (20 kg/s)	*	*		*
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20)		337	489	504
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20) & VZM zout (20 kg/s) & extra berekening	*	*	*	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20) & verdieping NWW (dQ=50) & extra berekening		435	576	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20) & verdieping NWW (dQ=100) & extra berekening	218	517	688	745
WH 2050 (G+ afvoer): Zonder maatregelen			275	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=-20) & VZM zout (40 kg/s) & extra berekening		*		

Locatie	Gemiddeld 1967	Droog 1989	Droog 2003	Extreem droog 1976
Beerenplaat (Spui)				
Huidig klimaat	216	191	273	335
W+ 2050: Zonder maatregelen	346	387	489	536
W+ 2050: VZM zout (20 kg/s)	331	363		507
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=20)		409	547	565
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=20) & VZM zout (20 kg/s) & extra berekening	395	474	578	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=20) & verdieping NWW (dQ=50) & extra berekening		*	*	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=20) & verdieping NWW (dQ=100) & extra berekening	*	*	*	*
WH 2050 (G+ afvoer): Zonder maatregelen			391	
W+ 2050: Aanvoer vanuit Waal richting ARK/KWA (dQ=20) & VZM zout (40 kg/s) & extra berekening		490		

