

Stresstest voor het Deltaprogramma Zoetwater fase II

Het effect van nieuwe inzichten en onzekerheden op knelpunten in de
zoetwatervoorziening



Stresstest voor het Deltaprogramma Zoetwater fase II

Het effect van nieuwe inzichten en onzekerheden op knelpunten in de zoetwatervoorziening

Auteur(s)

Janneke Pouwels

Ilja America

Joost Delsman

Marjolein Mens

Stresstest voor het Deltaprogramma Zoetwater fase II

Het effect van nieuwe inzichten en onzekerheden op knelpunten in de zoetwatervoorziening

Opdrachtgever	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
Contactpersoon	mevrouw N. Kielen
Trefwoorden	Deltaprogramma Zoetwater, stresstest, hydrologie, Voorkeurspakket, riviererosie, onderwaterdrainage, doorspoeling Afsluitdijk, peilopzet IJsselmeer

Documentgegevens

Versie	0.1
Datum	13-04-2021
Projectnummer	11206829-002
Document ID	11206829-002-ZWS-0001
Pagina's	52
Classificatie	
Status	definitief

Auteur(s)

Janneke Pouwels		
Ilja America		
Joost Delsman		
Marjolein Mens		

Doc. Versie	Auteur	Controle	Akkoord	Publicatie
0.1	 Janneke Pouwels	 Joachim Hunink	 Gerard Blom	

Samenvatting

Dit rapport beschrijft de resultaten van de stresstest die is uitgevoerd ten behoeve van het Deltaprogramma Zoetwater fase II.

In 2020 is een maatschappelijke kosten-batenanalyse (MKBA) uitgevoerd van het bestuurlijke Voorkeurspakket Zoetwater om bijdrage uit het Deltafonds te onderbouwen. In deze MKBA zijn een aantal recente inzichten en onzekere ontwikkelingen in de watervraag en wateraanbod niet meegenomen. Deze ontwikkelingen kunnen een negatieve invloed hebben op de waterbeschikbaarheid in Nederland en daardoor de watervoorziening onder extra druk zetten. Het gaat om de volgende onzekere ontwikkelingen, die nog niet eerder in samenhang en met modellen zijn gekwantificeerd:

- Minder aanvoer over de IJssel als gevolg van autonome bodemerrosie van de Rijntakken. Dit is het gevolg van autonome veranderingen in het fysische systeem. In de afgelopen jaren is een prognose van de rivierbodemplugging gemaakt voor 2050.
- Extra regionale watervraag voor peilbeheer, indien wordt gekozen voor het grootschalig nathouden van veenweidegebieden door onderwaterdrainage en passieve peilstijging.
- Een grotere doorspoelvraag om zoutindringing vanuit de Waddenzee naar het IJsselmeer te beperken. Recent onderzoek van Rijkswaterstaat naar de droogte van 2018 heeft uitgewezen dat deze vraag in de praktijk groter is dan in de modellen tot nu toe werd aangenomen.
- De voorspelhorizon van rivierafvoeren is in de praktijk kleiner dan in de modellen wordt aangenomen. Daardoor kan het zomerpeil van de grote meren niet altijd tijdig worden opgezet naar -0,10 m NAP als de droogtesituatie daarom vraagt. Dit is vooral relevant voor de toekomstscenario's.

Deze stresstest heeft als doel om inzicht te geven in de zoetwaterknelpunten die overblijven na uitvoering van het Voorkeurspakket, inclusief bovenstaande onzekerheden en ontwikkelingen. Om het effect van de vier ontwikkelingen te analyseren zijn berekeningen gedaan met het Nationaal Water Model (NWM). Dit is gedaan voor een scenario met beperkte verandering in klimaat, economie en bevolkingsomvang (scenario Ref2017), en voor een scenario met sterke klimaatverandering en sociaal-economische groei voor het zichtjaar 2050 (scenario Stoom2050).

De vier ontwikkelingen zorgen voor een verminderde aanvoer naar het IJsselmeer/Markermeer, in combinatie met een verhoogde watervraag in het voorzieningsgebied van IJsselmeer/Markermeer. Daardoor ontstaat er een extra druk op de zoetwaterbuffer van het IJsselmeer/Markermeer. Dat leidt tot de volgende knelpunten:

- In Stoom2050 wordt eens in de 5 jaar de volledige IJsselmeerbuffer gebruikt en zakt het IJsselmeerpeil onder de -0,30 m NAP. In Ref2017 is dat eens in de 20 jaar.
- Eens in de 15-20 jaar zakt het peil in het IJsselmeer onder de -0,40 m NAP in Stoom2050 en ontstaan tekorten in het regionale peilbeheer in Voorzieningsgebied IJsselmeer/Markermeer. In scenario Ref2017 is dat eens in de 50 jaar.

In de voorzieningsgebieden Benedenrivieren en Bovenrivieren neemt de watervraag toe door onderwaterdrainage. Eens in de 10-20 jaar kan de toegenomen watervraag niet geheel geleverd worden en nemen de tekorten toe.

Inhoud

	Samenvatting	4
1	Inleiding	7
1.1	Aanleiding en doel	7
1.2	Toelichting stressfactoren	7
1.2.1	Riviererosie	7
1.2.2	Onderwaterdrainage en passieve peilstijging	8
1.2.3	Grotere doorspoelvraag afsluitdijk	9
1.2.4	Zomerpeil IJsselmeer kan niet tijdig worden opgezet	9
2	Modelinstrument en modelschematisatie	10
2.1	Nationaal Water Model	10
2.2	Nulalternatief, Voorkeurspakket en uitgevoerde berekeningen	10
2.3	Regio-indeling	11
2.4	Schematisatie stressfactoren	13
2.4.1	Riviererosie	13
2.4.2	Onderwaterdrainage en passieve peilstijging	17
2.4.3	Doorspoelvraag Afsluitdijk	18
2.4.4	Peilopzet IJsselmeer	18
3	Resultaten	20
3.1	Voorzieningsgebied IJsselmeer/Markermeer	20
3.1.1	Buffergebruik en peilverloop IJsselmeer	22
3.1.2	Watervragen en watertekorten	24
3.1.3	Zoutindringing IJsselmeer	26
3.1.4	Grondwaterstanden	27
3.1.5	Waterverdeling IJsselwater	28
3.2	Voorzieningsgebied Benedenrivieren en Bovenrivieren	30
3.2.1	Watervragen en watertekorten	31
3.2.2	Inzet KWA	33
3.2.3	Tekorten waterinlaat Zeesluis Muiden	34
4	Conclusies	36
5	Referenties	38
	Bijlagen	39
A	Modelfout MODFLOW rivierpeilen	40
B	Watervragen en tekorten per deelregio	42
C	Watervragen en tekorten Voorzieningsgebied IJsselmeer/Markermeer	44
D	Watervragen en tekorten Voorzieningsgebied Benedenrivieren	46

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en doel

In 2020 is een maatschappelijke kosten-batenanalyse (MKBA) uitgevoerd van het bestuurlijke Voorkeurspakket Zoetwater om bijdrage uit het Deltafonds te onderbouwen. Dit Voorkeurspakket Zoetwater is door de zoetwaterregio's en Rijkswaterstaat gezamenlijk voorgesteld voor fase II van het Deltaprogramma. In de MKBA zijn een aantal recente inzichten en onzekere ontwikkelingen (hierna: ontwikkelingen) niet meegenomen, die een negatieve invloed kunnen hebben op de waterbeschikbaarheid in Nederland. Recent is meer bekend geworden over deze ontwikkelingen waardoor het mogelijk werd om ze gecombineerd met modellen door te rekenen. Het gaat om de volgende ontwikkelingen:

- Minder aanvoer over de IJssel als gevolg van autonome riviererosie van de Rijntakken;
- Extra regionale watervraag voor peilbeheer, als ervoor wordt gekozen om veenweidegebieden nat te houden door middel van onderwaterdrainage en passieve peilstijging (ook wel peilfixatie genoemd);
- De doorspoelvraag om zoutindringing vanuit de Waddenzee naar het IJsselmeer te beperken is groter dan gedacht, dit blijkt uit onderzoek van RWS naar de droogte in 2018 (Friocourt, 2020);
- Er is in de praktijk een kortere voorspelhorizon van rivierafvoeren dan in de modellen standaard wordt aangenomen. In de praktijk kan het zomerpeil van de grote meren niet altijd tijdig worden opgezet naar -0,10 m NAP, als de droogtesituatie daarom vraagt.

Om het effect van de vier ontwikkelingen op de zoetwaterknelpunten in beeld te brengen is een stresstest uitgevoerd op het Voorkeurspakket. In deze stresstest zijn met het Nationaal Watermodel (NWM) hydrologische berekeningen uitgevoerd van het Voorkeurspakket inclusief de vier ontwikkelingen. De stresstest heeft als doel om inzicht te geven in de zoetwaterknelpunten die overblijven na uitvoering van het Voorkeurspakket 'als alles tegenzit'. Daarbij zijn de hydrologische effecten van de nieuwe inzichten en onzekere ontwikkelingen in kaart gebracht. De vier ontwikkelingen worden in dit rapport samen beschreven als 'de stressfactoren'.

De stressfactoren beïnvloeden voornamelijk de zoetwaterknelpunten in het Voorzieningsgebied IJsselmeer/Markermeer, vandaar dat de focus in de analyse ligt op dat voorzieningsgebied. Ook de hydrologische effecten in voorzieningsgebieden Benedenrivieren en Bovenrivieren zijn geanalyseerd, omdat ook daar onderwaterdrainage is aangelegd in de berekeningen. Er is in dit rapport geen vertaling gemaakt naar de economische effecten van droogte en zoetwatertekort.

1.2 Toelichting stressfactoren

1.2.1 Riviererosie

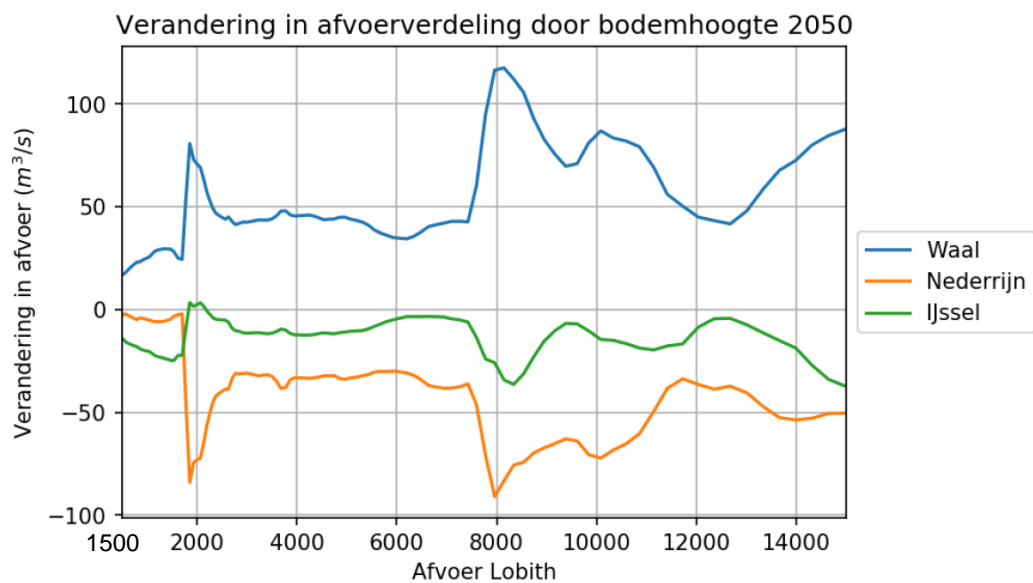
De bodem in het zomerbed van de rivier is continu in beweging. Deze grootschalige morfologische veranderingen worden veroorzaakt door verandering in de sedimentaanvoer vanuit Duitsland, maar ook door reacties op rivierkundige maatregelen van de afgelopen eeuwen. Gebaseerd op trends in historische bodemverandering is een prognose gedaan van de verwachte ontwikkelingen in de rivierbodem van de Rijntakken tot 2050 (Sloff, 2019). De grootste erosie wordt verwacht in de bovenloop van de Waal (1,6 cm per jaar).

Doordat de riviertakken in verschillende mate bodemverandering ondervinden, resulteert dit in een verandering in de afvoerverdeling over de Rijntakken. Op basis van modelsimulaties is

een inschatting gemaakt van de waterverdeling in 2050, zie Figuur 1.1 (De Jong, 2020). In deze inschatting is ook meegenomen hoe het operationele waterbeheer inspeelt op de bodemerrosie.

Door de grote erosie op de Boven-Waal wordt het debiet over de Waal hoger, ten koste van het debiet op de Nederrijn-Lek en de IJssel. Bij lage afvoeren (tot 1500 m³/s) wordt aangenomen dat met stuw Driel een constante afvoer kan worden gereguleerd naar de Nederrijn-Lek en is de afvoerdaling vrijwel volledig ter rekening van de IJssel. Bij hogere afvoeren (tot 2600 m³/s) wordt juist de afvoer naar de IJssel gereguleerd waardoor de grootste afvoerreductie op de Nederrijn-Lek ontstaat. Bij nog hogere afvoeren (hoger dan 2600 m³/s) is de afvoerverdeling niet langer gestuurd en wordt dit beïnvloed door de geometrie van het zomer- en winterbed.

Als gevolg van de veranderingen in bodemhoogte en de veranderingen in afvoer wijzigt de waterstand in de rivier. Dit resulteert in een waterstandsval op alle rivieren behalve de benedenloop van de Waal.



Figuur 1.1 Verandering in afvoerverdeling bij door verandering in rivierbodemhoogte, ingeschat op basis van modelsimulaties (De Jong, 2020).

1.2.2 Onderwaterdrainage en passieve peilstijging

Het Parijs-akkoord bevat het doel om de opwarming van de aarde tot 2100 binnen de 1,5°C tot 2°C te houden. Om deze doelstelling te behalen zijn maatregelen nodig om de emissie van broeikasgassen te reduceren. Het verhogen van de grondwaterstand in veenweidegebieden kan zorgen voor een verlaging van de emissie van broeikasgassen. Een van de maatregelen om in de veenweidegebieden de grondwaterstand te verhogen is de aanleg van onderwaterdrainage. Onderwaterdrainage is een systeem dat door middel van drainagebuizen onder maaiveld water kan infiltreren naar het grondwatersysteem.

De grondwaterstand kan ook verhoogd worden door passieve peilstijging, in de praktijk ook wel peilfixatie genoemd. Bij passieve peilstijging daalt het peil van het oppervlaktewater niet meer mee met de bodemdaling, waardoor de drooglegging vermindert. Deze maatregel draagt dus ook bij aan het verhogen van de grondwaterstanden maar is in veel gevallen minder effectief. Het effect van passieve peilstijging bereikt namelijk niet altijd het midden van het

perceel, terwijl onderwaterdrainage in het perceel zelf wordt aangelegd en daarmee een groter bereik heeft. De combinatie van deze twee maatregelen heeft een versterkend effect omdat dan zowel de drooglegging als de mogelijkheden tot infiltratie worden aangepakt. Aanleg van onderwaterdrainage en passieve peilstijging in een groot gebied zal de oppervlaktewatervraag vergroten, waardoor deze maatregelen de zoetwaterknelpunten kunnen vergroten. De effecten van onderwaterdrainage en passieve peilstijging op de knelpunten in de zoetwatervoorziening zijn eerder doorgerekend en gerapporteerd in Hunink et al. (2021).

1.2.3 Grotere doorspoelvraag afsluitdijk

Door de droogte van 2018 is bekend geworden dat er meer water nodig is om zoutindringing via de Afsluitdijk tegen te gaan. Door voldoende te spuien bij de spuisluizen bij Den Oever en Kornwerderzand kan het zoute water dat binnenkomt via de schutsluizen en via lekkage bij de spuisluizen zelf weer tijdig worden afgevoerd. Uit een studie van RWS (Friocourt, 2020) is gebleken dat zonder extra technische maatregelen (zoals zouthevens) een doorspoeldebiet nodig is van 70 m³/s.

In het Voorkeurspakket worden maatregelen voorgesteld aan de sluisen Kornwerderzand en Den Oever om de doorspoelvraag terug te brengen naar 10 m³/s, het minimale doorspoeldebiet dat nodig is voor vispassage. Echter is enkel voor de helft van deze maatregelen een reservering gemaakt uit het Deltafonds. Daarom is op korte termijn een doorspoelvraag te verwachten van 40 m³/s. In de eerdere NWM berekeningen ten behoeve van het Deltaprogramma Zoetwater (de zogenaamde Basisprognoses en de doorrekening van twee maatregelpakketten) is een doorspoelvraag van 10 m³/s aangenomen. Met de recente inzichten blijkt dit te laag te zijn ingeschat.

1.2.4 Zomerpeil IJsselmeer kan niet tijdig worden opgezet

Het model kan niet vooruitkijken en is daarom niet in staat het IJsselmeerpeil bij een verwacht watertekort tijdelijk extra op te zetten naar -0,10 m NAP. In de modelschematisatie van NWM is daarom een vast zomerstreefpeil ingesteld van -0,10 m NAP. In de praktijk is het zomerstreefpeil -0,20 m NAP, waarbij het IJsselmeerpeil opgezet wordt naar -0,10 m NAP indien lage IJsselafvoeren en een groot neerslagtekort worden voorspeld. Het is echter niet mogelijk om Rijnafvoeren met voldoende nauwkeurigheid en voldoende ver vooruit te voorspellen, waardoor het niet altijd mogelijk is om het meerpeil volledig op te zetten naar -0,10 m NAP. Bovendien mag dit hogere peil maximaal twee weken aan worden gehouden volgens het nieuwe peilbesluit van 2018. De beschikbare buffer is in het model groter dan in de praktijk mag worden verwacht. Daarom wordt in deze stresstest met een vast zomerpeil van -0,15 m NAP gerekend, dat als realistische opzet wordt beschouwd (mondelinge communicatie adviseur LCW).

2 Modelinstrument en modelschematisatie

2.1 Nationaal Water Model

Voor de berekeningen is gebruik gemaakt van het Nationaal Water Model (NWM). Het Nationaal Water Model is geschikt voor het doorrekenen van scenario's en maatregelen op het gebied van waterverdeling en waterbeschikbaarheid ter ondersteuning van lange-termijn beleidsvorming op landelijk niveau. Het model berekent onder andere de hydrologische processen in de bodem, grondwater, en oppervlaktewater, en afvoeren, waterstanden en watertemperatuur in het hoofdwatersysteem. Het modelinstrumentarium bestaat uit een modellentrein van meerdere gekoppelde modellen.

Het Nationaal Water Model versie 2.2.4.1 bestaat uit de volgende deelmodellen: het Landelijk Hydrologisch Model (LHM3.4) voor grondwater, onverzadigde zone en oppervlaktewater, het SOBEK-model van het Noordelijk Deltabekken (SOBEK-NDB) voor externe verzilting in de Rijn-Maasmonding, het Landelijk SOBEK-model (LSM-*light*) voor hydrodynamica van het hoofdwatersysteem en het Landelijk Temperatuurmodel (LTM). De eerste stappen tot en met SOBEK-NDB leveren de benodigde randvoorwaarden voor de LHM-berekening, die op zijn beurt de randvoorwaarden levert voor LSM-*light*. Tot slot levert LSM-*light* de invoer voor het Landelijk temperatuurmodel (LTM) en voor SOBEK-NDB.

Het Landelijk Hydrologisch Model (LHM) bestaat uit de volgende, gekoppelde, deelmodellen:

- 1 DM (DistributieModel), oppervlaktewatermodel die de landelijke waterverdeling berekent op basis van beschikbaarheid en vraag;
- 2 MOZART, oppervlaktewatermodel van het regionale watersysteem;
- 3 MODFLOW, grondwatermodel;
- 4 MetaSWAP, model van de onverzadigde zone.

Voor een beschrijving van de verschillende modellen verwijzen we naar de website van de Helpdesk water (<https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/applicaties-modellen/applicaties-per/watermanagement/watermanagement/nationaal-water-model/>).

2.2 Nulalternatief, Voorkeurspakket en uitgevoerde berekeningen

Voor Fase II van het Deltaprogramma hebben de zoetwaterregio's gezamenlijk een Voorkeurspakket samengesteld. De hydrologische en economische effecten van dit Voorkeurspakket staan beschreven in Mens et al. (2020) en in Stratelligence (2021). Daarbij is het Voorkeurspakket vergeleken met de Basisprognoses (Mens et al., 2019), dat zijn de berekeningen van het nulalternatief zonder aanvullende zoetwatermaatregelen (voortzetting van huidig beleid).

In deze stresstest zijn een tweetal extra berekeningen uitgevoerd om inzicht te krijgen in de zoetwaterknelpunten die overblijven na uitvoering van het Voorkeurspakket mét de vier stressfactoren. Deze berekeningen zijn uitgevoerd op de rekenomgeving bij Deltares. In deze NWM berekeningen is alleen gebruik gemaakt van het deelmodel LHM met de randvoorwaarden van de externe verzilting uit de berekeningen van het nulalternatief (de zogenaamde Basisprognoses 2018). De stressfactoren hebben zodoende in de simulatie geen invloed op de externe verzilting in de Rijn-Maasmonding. Om toch het effect van de stressfactoren op de externe verzilting in beeld te brengen, is een snelle analyse uitgevoerd met behulp van een eenvoudige relatie voor zoutindringing (Mens et al., 2018).

De analyses zijn uitgevoerd voor een onderbandbreedte en bovenbandbreedte in de klimaatprognose van zichtjaar 2050. Daarvoor zijn de Deltascenario's Ref2017 en Stoom2050 gebruikt, zie Tabel 2.1. Uit de knelpuntenanalyse (Mens et al., 2019) is gebleken dat scenario's Rust en Druk in 2050 wat betreft zoetwaterknelpunten grofweg overeenkomen met de huidige situatie. Daarom is in deze stresstest Ref2017 als representatief verondersteld voor het scenario met weinig socio-economische groei en beperkte klimaatverandering volgens KNMI'14 scenario G_L. Deltascenario Stoom2050 is gebruikt voor de bovenbandbreedte van het watertekort.

Tabel 2.1 De twee verhaallijnen die in deze stresstest geanalyseerd worden.

Stresstest	Vergelijking met	Verhaallijn
REF2017VPstress	REF2017VP	Onderbandbreedte watertekort zichtjaar 2050 Met uitgevoerd Voorkeurspakket En stressfactoren
S2050VPstress	S2050VP	Bovenbandbreedte watertekort zichtjaar 2050 Met uitgevoerd Voorkeurspakket En stressfactoren

Drie van de vier stressfactoren vinden al op korte termijn plaats, alleen de geïmplementeerde riviererosie gaat over zichtjaar 2050. Daarom geeft de stresstest van scenario Ref2017 ook een indicatie van het huidige effect van de stressfactoren.

De effecten van onderwaterdrainage en passieve peilstijging ten opzichte van het Voorkeurspakket zijn al eerder onderzocht en gerapporteerd in Hunink et al. (2021). De resultaten uit deze studie worden ook in deze studie meegenomen en beschreven als VPowd. Alle modelberekeningen uit Tabel 2.2 zijn uitgevoerd voor de tijdreeks 1911-2010. Omdat het scenario-berekeningen betreft, zijn de modeluitkomsten niet representatief voor de historische periode 1911-2010.

Tabel 2.2 Beschikbare en in deze stresstest uitgevoerde berekeningen.

	Nulalternatief	Voorkeurspakket	VP-owd	VP-stress
Ref2017	Mens et al. (2019)	Mens et al. (2020)	Hunink et al. (2021)	Deze studie
Stoom2050	Mens et al. (2019)	Mens et al. (2020)	Hunink et al. (2021)	Deze studie

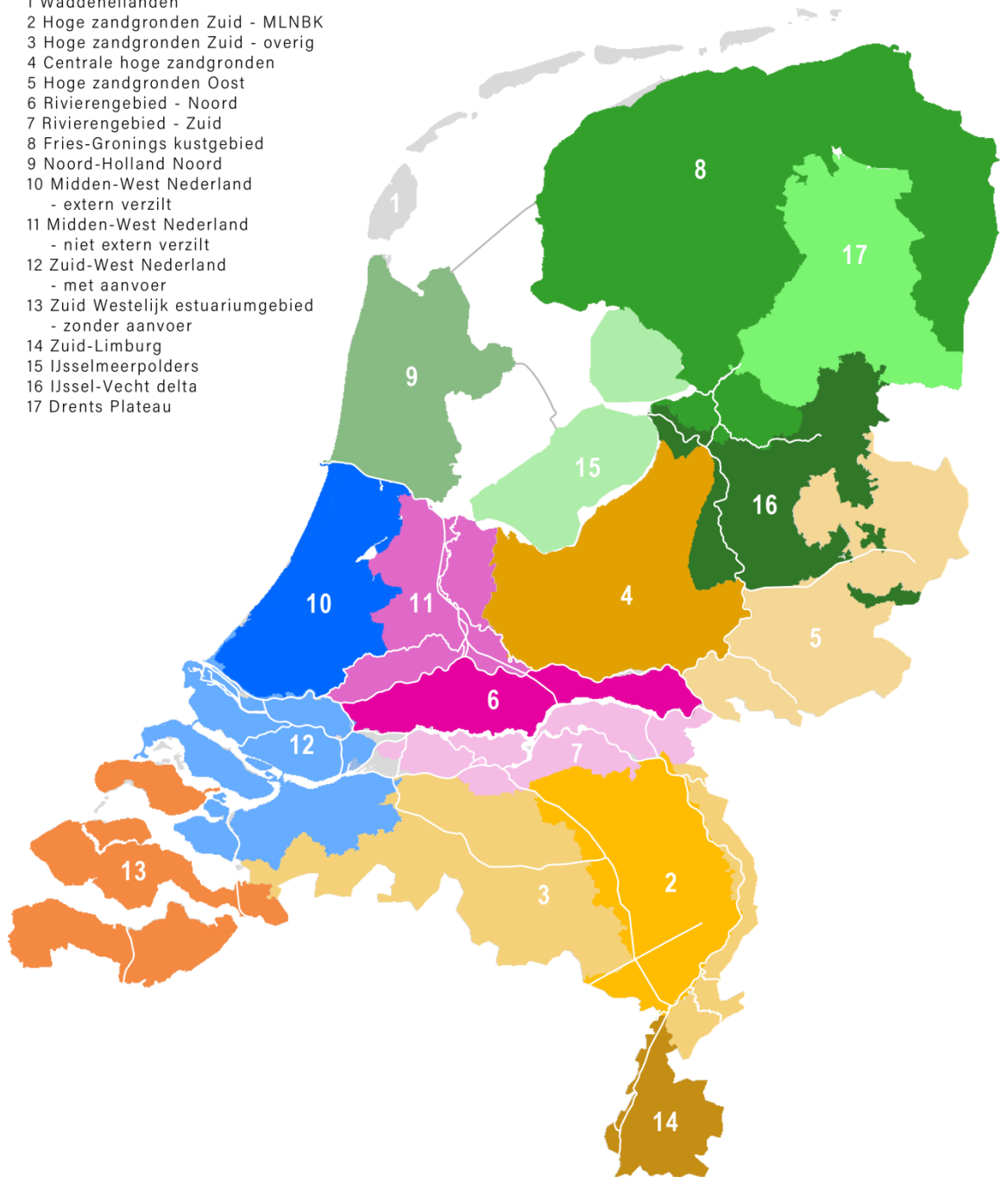
2.3 Regio-indeling

In deze rapportage wordt gebruik gemaakt van een regio-indeling in 5 hoofdregio's en 17 deelregio's die in alle analyses voor Deltaprogramma Zoetwater fase II is gebruikt. De hoofdregio's delen Nederland in naar voorzieningsgebied (Figuur 2.1):

- I. **Voorzieningsgebied IJsselmeer/Markermeer** (Noord-Holland Noord, Flevoland, Friesland, Groningen, Drenthe, en delen van Gelderland en Overijssel die voorzien worden vanuit de IJssel en Twentekanalen),
- II. **Voorzieningsgebied Benedenrivieren** (onder meer: Rijnland, Delfland, Schieland, West-Brabant, Tholen),
- III. **Voorzieningsgebied Bovenrivieren** (onder meer: Rivierengebied, Stichtse Rijnlanden en Amstelland),
- IV. **Zuidwestelijke Delta zonder aanvoer** (grootste deel van Zeeland),
- V. **Hoge Zandgronden** (grote delen van Utrecht, Gelderland, Twente, Brabant, Limburg).

Merk op dat deze indeling in voorzieningsgebieden niet precies overeenkomt met de bestuurlijke indeling in zoetwaterregio's.

- 1 Waddeneilanden
- 2 Hoge zandgronden Zuid - MLNBK
- 3 Hoge zandgronden Zuid - overig
- 4 Centrale hoge zandgronden
- 5 Hoge zandgronden Oost
- 6 Rivierengebied - Noord
- 7 Rivierengebied - Zuid
- 8 Fries-Gronings kustgebied
- 9 Noord-Holland Noord
- 10 Midden-West Nederland
- extern verzilt
- 11 Midden-West Nederland
- niet extern verzilt
- 12 Zuid-West Nederland
- met aanvoer
- 13 Zuid Westelijk estuariumgebied
- zonder aanvoer
- 14 Zuid-Limburg
- 15 IJsselmeerpolders
- 16 IJssel-Vecht delta
- 17 Drents Plateau



Figuur 2.1 Indeling in hoofd- en deelregio's op basis van watersysteemkenmerken

2.4 Schematisatie stressfactoren

In het model zijn 4 stressfactoren (i.e., rivierbodemdaling, onderwaterdrainage, doorspoelvraag afsluitdijk, en peilopzet IJsselmeer) geïmplementeerd. Hieronder wordt de schematisatie van de afzonderlijke factoren beschreven.

2.4.1 Riviererosie

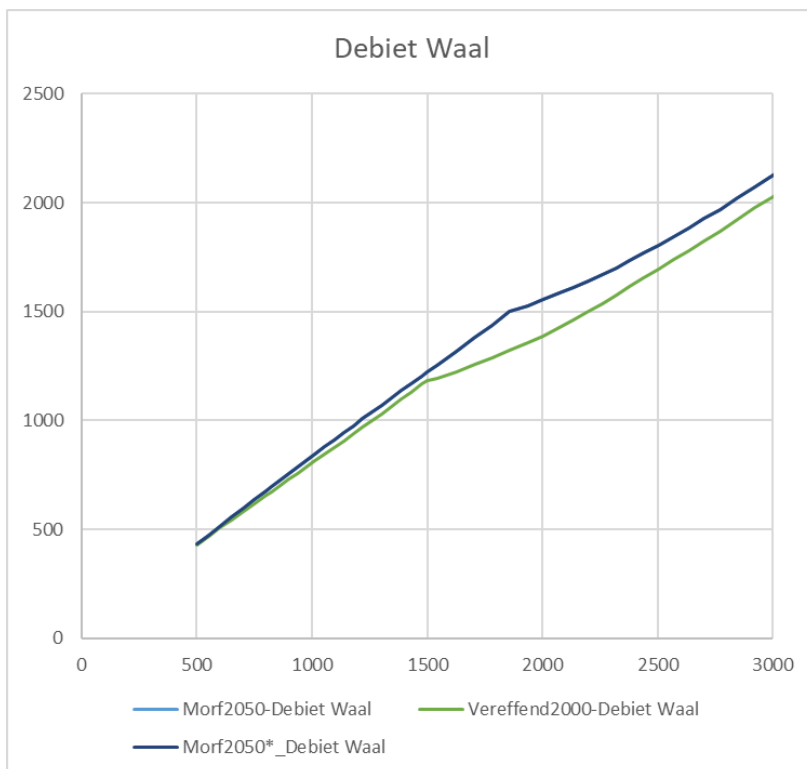
Als gevolg van de veranderingen in bodemhoogte wijzigt ook de afvoerverdeling en de waterstand in de rivier. De bodemerosie op de Rijntakken zorgt voor een verandering van de rivierpeilen, waardoor ook de waterverdeling over de Rijntakken verandert. Door de grote erosie op de Boven-Waal wordt het debiet over de Waal hoger, ten koste van het debiet op de Nederrijn-Lek en de IJssel. Bij lage afvoeren (tot 1500 m³/s) wordt aangenomen dat met stuw Driel een constante afvoer kan worden gereguleerd naar de Nederrijn-Lek en is de afvoerdaling vrijwel volledig ter rekening van de IJssel. Bij hogere afvoeren (tot 2600 m³/s) wordt juist de afvoer naar de IJssel gereguleerd waardoor de grootste afvoerreductie op de Nederrijn-Lek ontstaat. Bij nog hogere afvoeren (hoger dan 2600 m³/s) is de afvoerverdeling niet langer gestuurd en wordt dit beïnvloed door de geometrie van het zomer- en winterbed.

De verandering in waterverdeling wordt in het model geïmplementeerd door een aangepaste afvoerverdeling bij de splitsingspunten (Pannerdensch Kop en IJsselkop) binnen het DM. Daarnaast zijn de veranderingen in bodemhoogte en gemiddelde rivierwaterstand doorgevoerd in de rivierbodemhoogtes en rivierpeilen in MODFLOW. Beide modelaanpassingen staan in onderstaande paragrafen verder uitgewerkt.

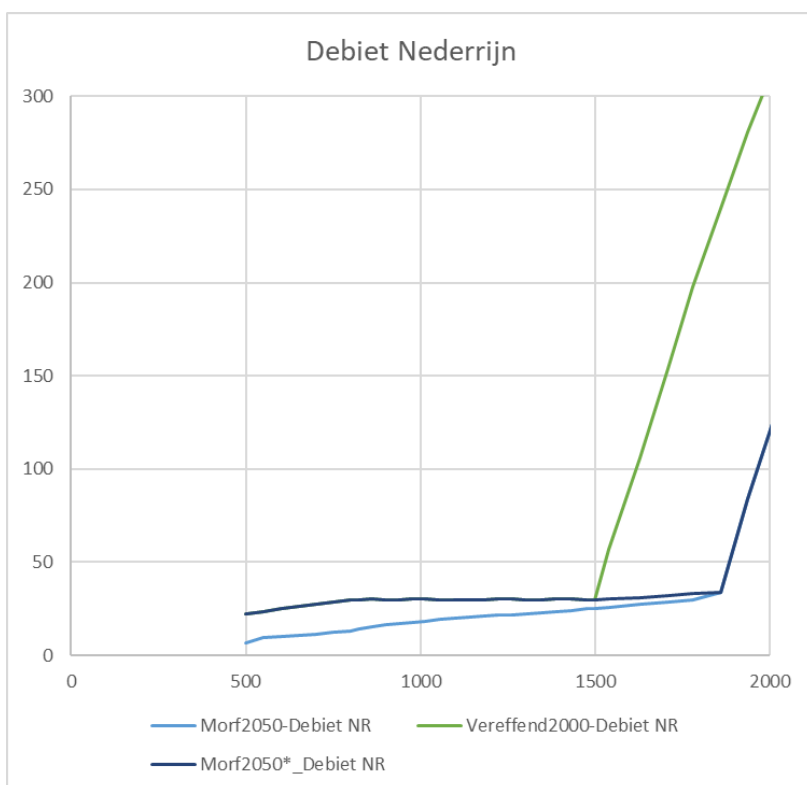
In 2020 is met het NWM een morfologische gevoeligheidsanalyse uitgevoerd om de impact van de riviererosie op de zoetwatervoorziening te verkennen (Van Walsem, 2020). Daarbij is bovengenoemde schematisatie van de rivierbodemerosie al doorgerekend met het NWM. Uit deze verkenning bleek dat de gewijzigde afvoerverdeling op de IJsselkop bij extreem lage afvoeren geen realistische waterverdeling geeft in het model. Bij extreem lage afvoeren stroomt er in het model dan te weinig water over het Betuwepand, waardoor de afvoeren van de Lek onrealistisch laag zijn. Daarom is in deze stresstest de afvoerverdeling bij Lobith-afvoeren lager dan 1800 m³/s ongewijzigd ten opzichte van de afvoerverdeling in het Voorkeurspakket.

DM aanpassingen waterverdeling

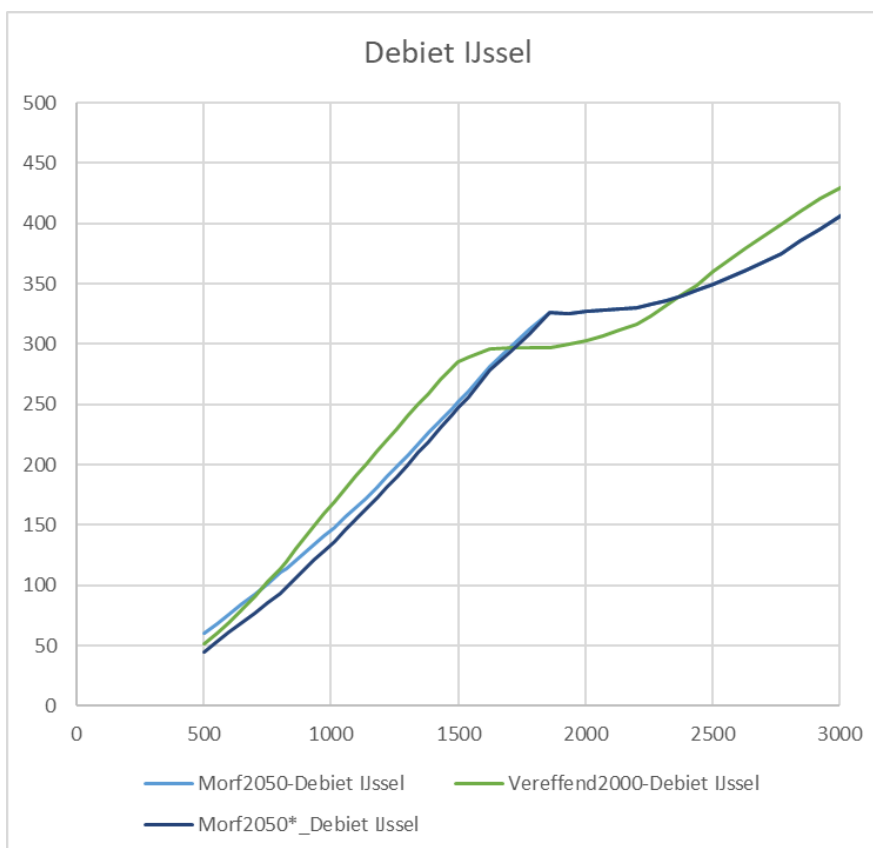
De afvoerverdeling is aangepast zoals beschreven in De Jong (2020). De afvoeren op de Nederrijn bij lage Rijnafvoeren (< 1500 m³/s bij Lobith) zijn onveranderd, om te voorkomen dat de Nederrijn-afvoer onrealistisch laag wordt. Figuur 2.2, Figuur 2.3 en Figuur 2.4 tonen de afvoerverdelingen in deze stresstest (donkerblauw), in de verkennende berekeningen uit 2020 (lichtblauw) en de afvoerverdeling in de basisprognoses (groen). In het specifieke bereik tussen een Rijnafvoer van 1700 m³/s en 2400 m³/s neemt het IJsseldebiet toe. Dit is een gevolg van de keuze in de stuwsturing bij Driel, in werkelijkheid kan een andere keuze gemaakt worden.



Figuur 2.2 Debiet (m^3/s) op de Waal (y-as), ten opzichte van het debiet (m^3/s) bij Lobith (x-as). Groen: debiet in basisprognoses. Donkerblauw: debiet deze stresstest. Lichtblauw (gelijk aan donkerblauw): debiet in de verkennende riviermorphologie-berekeningen.



Figuur 2.3 Debiet (m^3/s) op de Nederrijn (y-as), ten opzichte van het debiet (m^3/s) bij Lobith (x-as). Groen: debiet basisprognoses. Donkerblauw: debiet stresstest. Lichtblauw: debiet in de verkennende riviermorphologie-berekeningen.



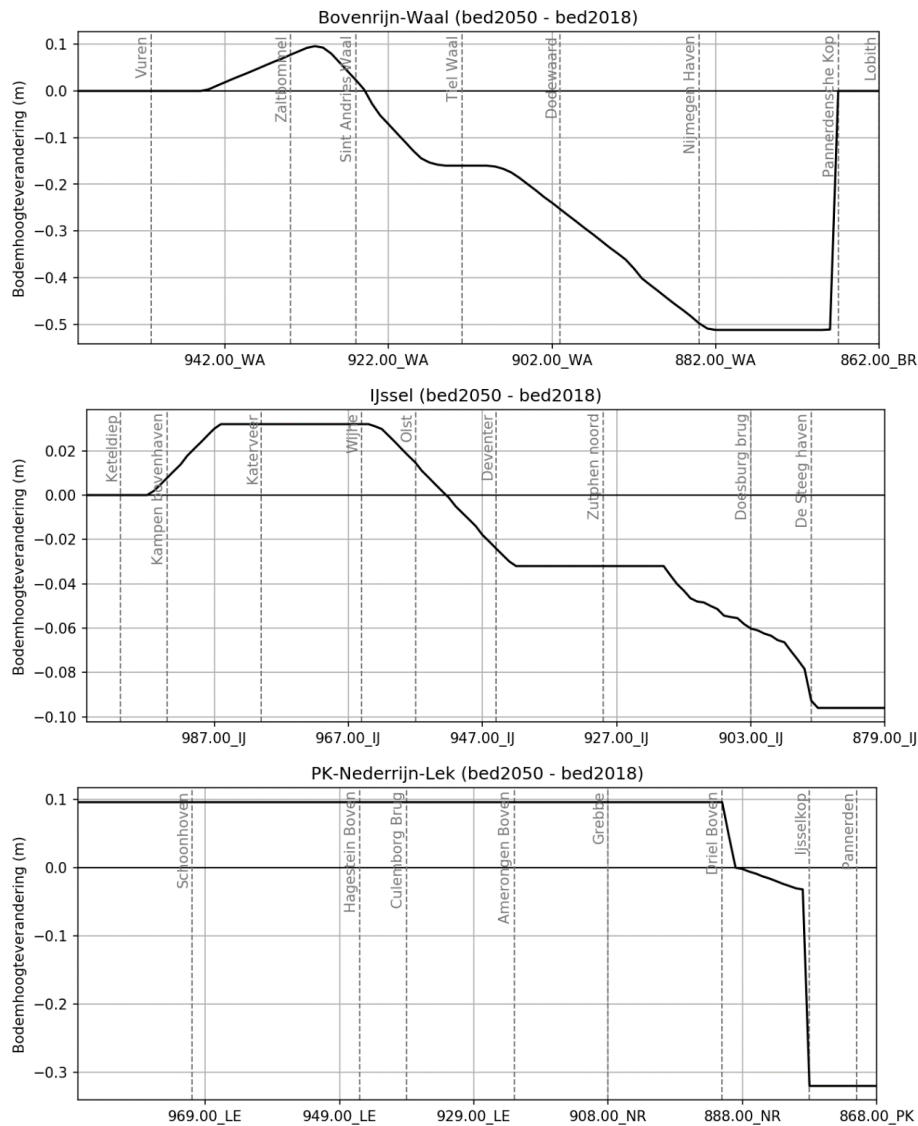
Figuur 2.4 Debiet (m^3/s) op de IJssel (y-as), ten opzichte van het debiet (m^3/s) bij Lobith (x-as). Groen: debiet basisprognoses. Donkerblauw: debiet stresstests. Lichtblauw: debiet in de verkennende riviermorphologie-berekeningen.

MODFLOW aanpassingen waterverdeling

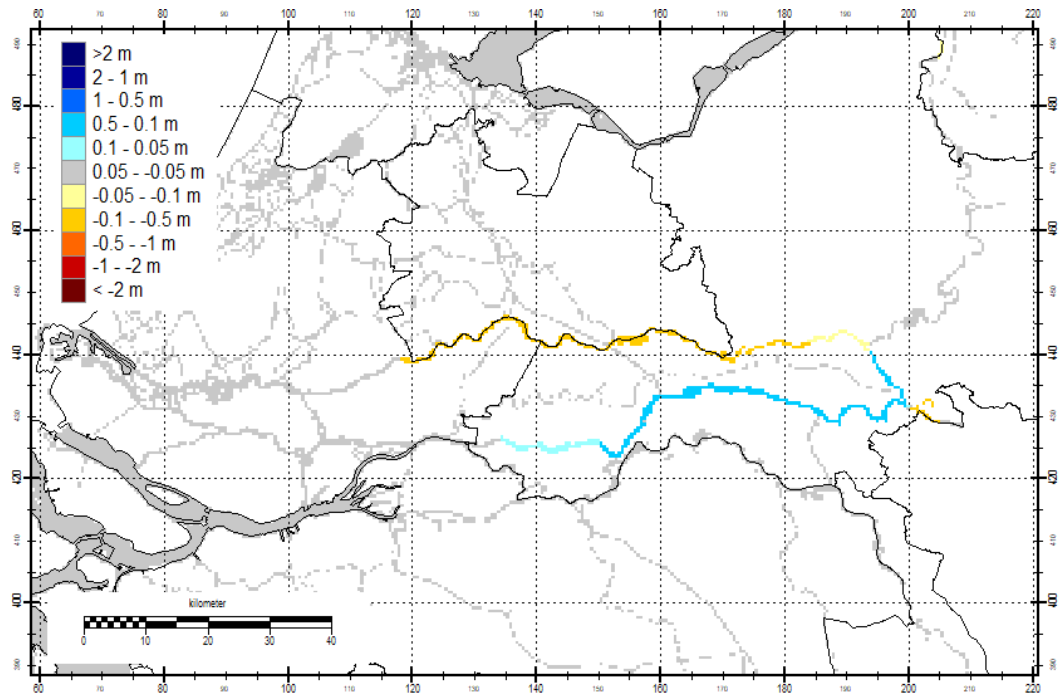
De verandering van de rivierbodemoogte als gevolg van bodemerrosie werkt door op de peilen in het hoofdwatersysteem. Hierdoor zijn in MODFLOW de bodemoogte en de peilen van de Waal, Nederrijn-Lek en IJssel aangepast. De rivierbodemerrosie beïnvloedt de doorlatendheid van de rivierbodem. De conductance is in deze studie en in de morfologische gevoeligheidsanalyse (Van Walssem, 2020) echter niet aangepast, omdat het de wijziging van de conductance onbekend is.

De bodemoogteverandering is doorgevoerd op basis van het verschil in bodemoogte tussen 2018 en 2050, zie Figuur 2.5. De peilverandering bij een afvoer Lobith van $1800 m^3/s$ (een gemiddelde afvoer), zoals berekend met SOBEK (De Jong, 2020, zie Figuur 2.6) is doorgevoerd als een peilverandering in MODFLOW¹.

¹ In de modelinvoer is de waterdiepteverandering van de Rijntakken doorgevoerd. Eigenlijk had hier de waterstandsverandering geïmplementeerd moeten worden, zie de beschrijving in bijlage A. De consequentie van deze implementatiefout betreft alleen de grondwaterdynamiek langs de Bovenrijn en Waal (vanaf Duitsland tot Tiel). De grondwaterstanden in dit invloedsgebied hebben geen consequenties voor de zoetwaterknelpunten en worden daarom verder niet beschouwd in dit rapport.



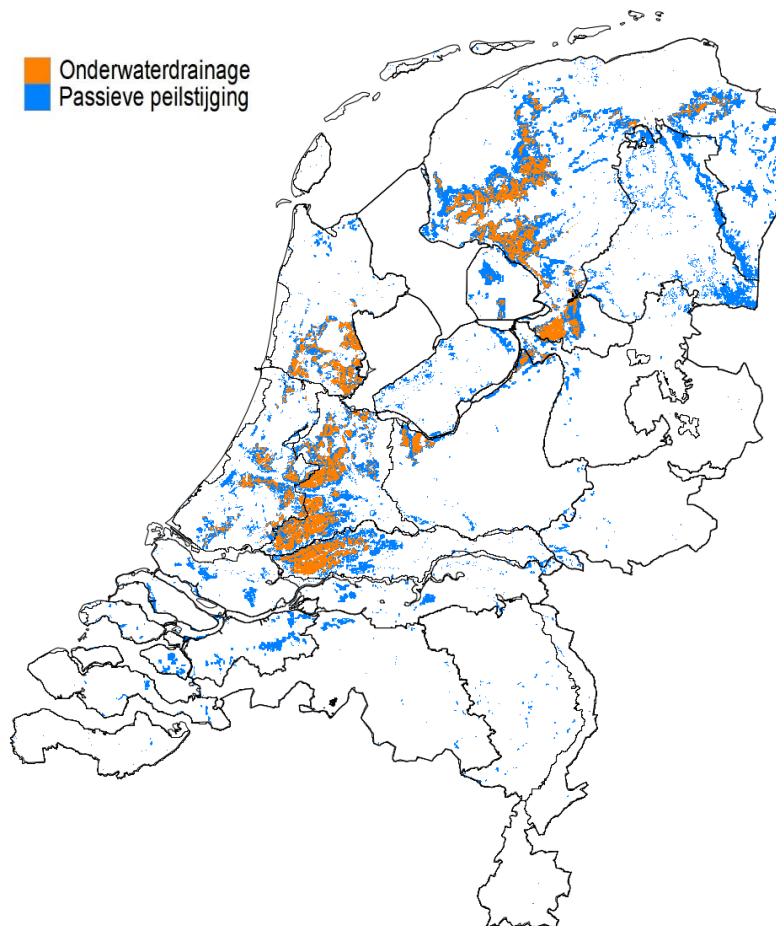
Figuur 2.5 Bodemhoogteveranderingen tussen 2018 en 2050 in de Bovenrijn-Waal, IJssel en de PannerdenschKanaal-Nederrijn-Lek (Bron: De Jong, 2020).



Figuur 2.6 Verandering MODFLOW rivierpeilen, in meter. Blauwe kleuren tonen een verhoging van de waterdiepten, gele/oranje kleuren tonen een verlaging.

2.4.2 Onderwaterdrainage en passieve peilstijging

In het model zijn twee maatregelen geïmplementeerd, namelijk onderwaterdrainage en passieve peilstijging. De onderwaterdrainage wordt in het model toegepast als extra waterloopsysteem in het MODFLOW model, in alle agrarische gebieden met een veenbodem en een maximale drooglegging van 60 cm. Bij passieve peilstijging daalt het peil van het oppervlaktewater niet mee met de bodemdaling waardoor de drooglegging verminderd. De passieve peilstijging is toegepast in veengronden met agrarisch landgebruik waar bodemdaling plaatsvindt. In Friesland zijn nog een aantal extra locaties meegenomen met actieve peilverhoging die door Wetterskip Fryslan zijn vastgesteld. Voor meer informatie zie Hunink et al. (2021). Figuur 2.7 toont de locaties waarop onderwaterdrainage en passieve peilstijging is toegepast.



Figuur 2.7 Locaties waar onderwaterdrainage is toegepast (oranje) en waar passieve peilverhoging in het model is toegepast (blauw).

2.4.3 Doorspoelvraag Afsluitdijk

De doorspoelvraag van de Afsluitdijk is in het Voorkeurspakket $10 \text{ m}^3/\text{s}$ en is in de stresstesten vergroot naar $40 \text{ m}^3/\text{s}$, zoals beschreven in paragraaf 1.2. In de stresstesten is een prioriteit 4 aangenomen, in overleg met Rijkswaterstaat-WVL. De keuze voor deze prioritering staat beschreven in Mens et al., 2020.

Tabel 2.3 toont de aanpassingen die zijn doorgevoerd in het model.

Tabel 2.3 Doorspoeldebieten in de verschillende modelsommen

Modelvariant	Doorspoeldebiet	Prioriteit in DM
Basisprognoses	$10 \text{ m}^3/\text{s}$	8
Voorkeurspakket	$10 \text{ m}^3/\text{s}$	8
Voorkeurspakket - stress	$40 \text{ m}^3/\text{s}$	4

2.4.4 Peilopzet IJsselmeer

In het model is de peilopzet van het IJsselmeer als een vast opgehoogd peil van $-0,10 \text{ m}$ NAP geïmplementeerd. Door de kortere voorspelhorizon is peilopzet van het IJsselmeer niet volledig mogelijk, zoals beschreven in paragraaf 1.2. Dit is in het model geïmplementeerd als een vast zomerpeil van $-0,15 \text{ m}$ NAP. De voorjaarspeilopzet naar $-0,10 \text{ m}$ NAP wordt behouden. Tabel 2.4 toont de geïmplementeerde streefpeilen van het IJsselmeer in DM.

Tabel 2.4 Streefpeilen in DM

Periode	Streefpeil Basisprognoses [m +NAP]	Streefpeil Stresstesten [m +NAP]
1 jan – 1 mrt	-0,40	-0,40
1 mrt – 11 mrt	-0,20	-0,20
11 mrt – 1 apr	-0,10	-0,10
1 apr – 11 aug	-0,10	-0,15
11 aug-21 aug	-0,13	-0,15
21 aug-31 aug	-0,20	-0,20
31aug-11sep	-0,25	-0,25
11sep-15sep	-0,28	-0,28
15sep-21sep	-0,30	-0,30
21sep-1okt	-0,32	-0,32
1okt-11okt	-0,35	-0,35
11okt-31dec	-0,40	-0,40

3 Resultaten

Dit hoofdstuk beschrijft de effecten van de vier stressfactoren op de knelpunten in de volgende drie voorzieningsgebieden:

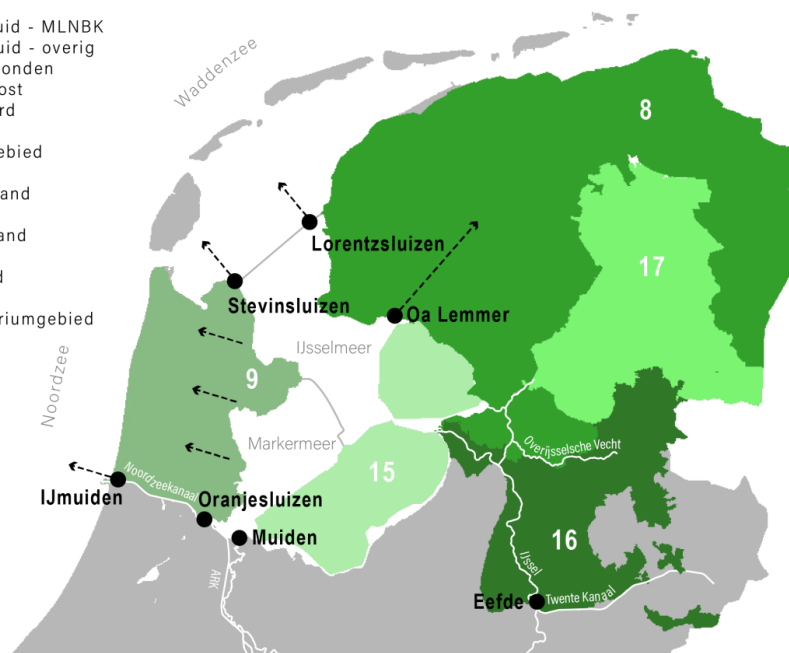
- Voorzieningsgebied IJsselmeer/Markermeer
- Voorzieningsgebied Benedenrivieren
- Voorzieningsgebied Bovenrivieren

De vier stressfactoren hebben het grootste effect op de zoetwaterknelpunten in het voorzieningsgebied IJsselmeer/Markermeer. In de voorzieningsgebieden Benedenrivieren en Bovenrivieren speelt onderwaterdrainage de grootste rol. Het effect van onderwaterdrainage is uitgebreid beschreven in Hunink et al. (2021) en wordt in dit hoofdstuk daarom in minder detail beschreven. In bijlage B staat een tabel met de berekende watervragen en watertekorten van alle deelregio's voor de verschillende modelberekeningen.

3.1 Voorzieningsgebied IJsselmeer/Markermeer

IJsselmeergebied

- 1 Waddeneilanden
- 2 Hoge zandgronden Zuid - MLNBK
- 3 Hoge zandgronden Zuid - overig
- 4 Centrale hoge zandgronden
- 5 Hoge zandgronden Oost
- 6 Rivierengebied - Noord
- 7 Rivierengebied - Zuid
- 8 Fries-Gronings kustgebied
- 9 Noord-Holland Noord
- 10 Midden-West Nederland - extern verzilt
- 11 Midden-West Nederland - niet extern verzilt
- 12 Zuid-West Nederland - met aanvoer
- 13 Zuid Westelijk estuariumgebied - zonder aanvoer
- 14 Zuid-Limburg
- 15 IJsselmeerpolders
- 16 IJssel-Vecht delta
- 17 Drents Plateau

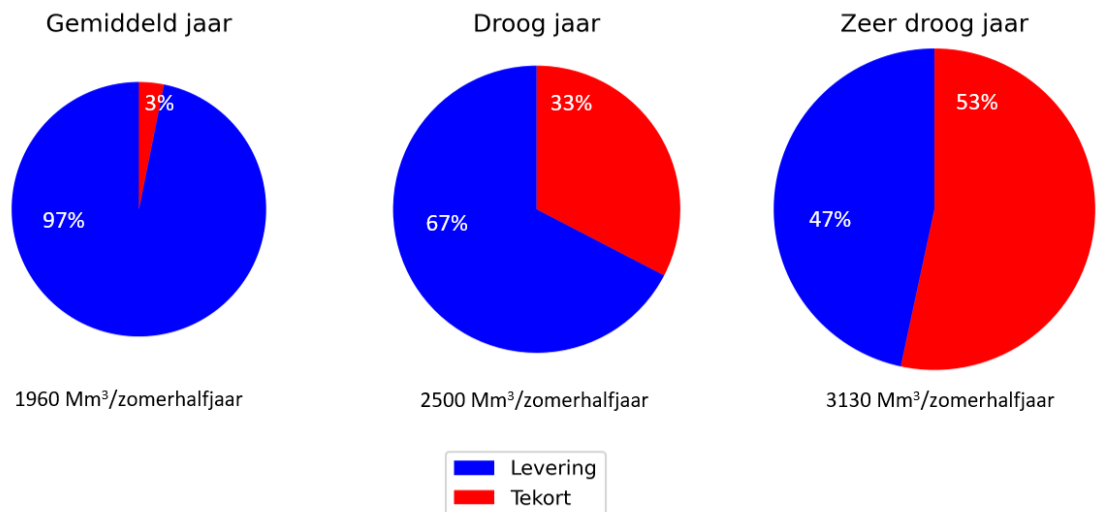


Figuur 3.1 Gebiedsschematisatie voorzieningsgebied IJsselmeer/Markermeer met belangrijkste aanvoerroutes

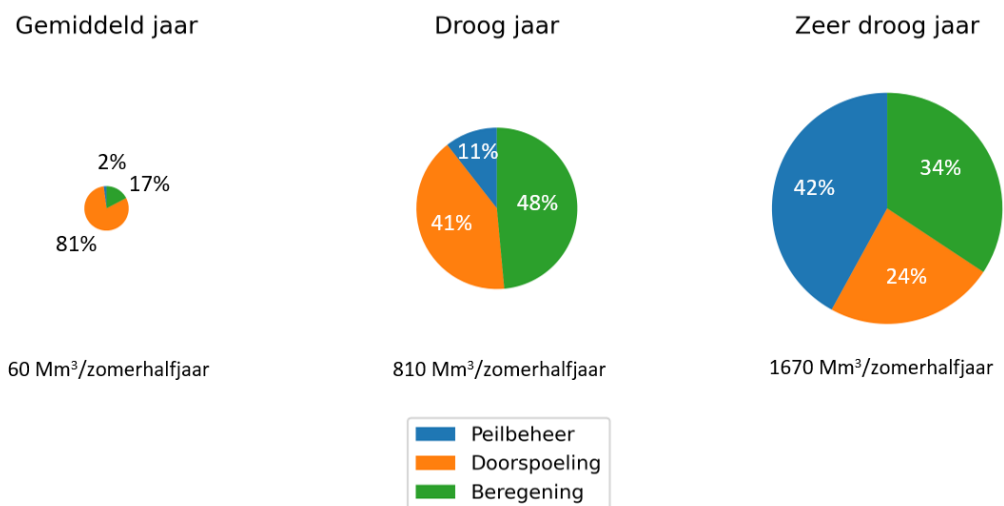
Het voorzieningsgebied IJsselmeer/Markermeer is voor de watervoorziening afhankelijk van twee grote zoetwaterbuffers: het IJsselmeer en het Markermeer. Water uit deze twee meren wordt op verschillende locaties ingelaten om de deelregio's van zoetwater te voorzien, zie Figuur 3.1. De vier stressfactoren beïnvloeden alle vier de zoetwatervoorziening in het voorzieningsgebied IJsselmeer/Markermeer. Als gevolg van rivierbodemerrosie verandert het debiet over de IJssel en stroomt er minder water naar het IJsselmeer. Dit is met name het geval in extreem droge jaren wanneer het debiet over de Rijn laag is. Hierdoor zal de IJsselmeerbuffer minder snel aangevuld worden en sneller uitzakken. Ook de hogere doorspoelvraag over de Afsluitdijk vergroot het buffergebruik van het IJsselmeer, omdat in droge perioden meer IJsselmeerwater gebruikt zal worden om verzilting tegen te gaan.

Vanwege de kortere voorspelhorizon van rivierafvoeren kan het IJsselmeerpeil niet volledig opgezet worden tot -0,10 m NAP en is de beschikbare IJsselmeerbuffer kleiner.

De drie bovengenoemde stressfactoren zorgen voor frequentere uitzakking van het IJsselmeerpeil, en daarmee voor een kleinere waterbeschikbaarheid in het voorzieningsgebied IJsselmeer/Markermeer. Daarnaast zal de watervraag in de regio stijgen als gevolg van de aanleg van onderwaterdrainage en passieve peilstijging. De combinatie van stressfactoren veroorzaakt grote watertekorten in droge jaren in scenario Stoom2050. In een zeer droog jaar kan zelfs meer dan de helft van de watervraag in het zomerhalfjaar niet geleverd worden (zie Figuur 3.2). In een gemiddeld en droog jaar wordt vooral gekort op doorspoeling en beregening, in een zeer droog jaar wordt ook op peilbeheer flink gekort (Figuur 3.3).



Figuur 3.2 De totale watervraag in het zomerhalfjaar in een gemiddeld (herhalingsstijd = 2 jaar), droog (herhalingsstijd = 20 jaar) en zeer droog jaar (herhalingsstijd = 50 tot 100 jaar) in de stresstest, scenario Stoom2050. De watervraag is uitgesplitst in water dat geleverd wordt en tekorten.



Figuur 3.3 De tekorten in een gemiddeld (herhalingsstijd = 2 jaar), droog (herhalingsstijd = 20 jaar) en zeer droog jaar (herhalingsstijd = 50 tot 100 jaar) zomerhalfjaar in de stresstest, scenario Stoom2050. De tekorten zijn uitgesplitst naar de verschillende gebruikers.

In Tabel 3.1 is de bijdrage van de stressfactoren op de benodigde waterschijf van het IJsselmeer ingeschat voor het zeer droge jaar 1976. De watervraag in het voorzieningsgebied neemt toe als gevolg van onderwaterdrainage en passieve peilstijging. In Stoom2050 is het effect van onderwaterdrainage en passieve peilstijging groter dan het effect van de riviererosie. In Ref2017 is het effect van riviererosie groter. De bijdrage van de verhoogde doorspoelvraag over de Afsluitdijk is niet afzonderlijk te kwantificeren, omdat het debiet over de Afsluitdijk ook wordt beïnvloed door het IJsselmeerpeil; bij een hoog peil is het debiet veel groter dan de doorspoelvraag.

Tabel 3.1 Inschatting van de benodigde waterschijf IJsselmeer (cm) in het zomerhalfjaar 1976 bij drie van de vier stressfactoren. Ook is in de tabel beschreven hoe de inschatting is gemaakt.

Stressfactor	Methode van inschatting benodigde waterschijf	Benodigde bufferschijf [cm]	
		Ref2017	Stoom2050
Riviererosie Rijntakken, waardoor minder aanvoer over de IJssel	Gewijzigd debiet van de IJssel	45	35
Nathouden veenweidegebieden, waardoor watervraag peilbeheer toeneemt	De gewijzigde watervraag in voorzieningsgebied IJsselmeer/Markermeer	25	45
Peil IJsselmeer, door kortere voorspelhorizon	Peilopzet gewijzigd van -0,10 m NAP naar -0,15 m NAP	5	5

3.1.1 Buffergebruik en peilverloop IJsselmeer

Tabel 3.2 toont de herhalingsstijd van het uitzakken van het IJsselmeerpeil onder de -0,3 m NAP. Bij een peil onder de -0,3 m NAP zal niet alle vraag meer geleverd kunnen worden die aan het IJsselmeer wordt gesteld. Als gevolg van de stressfactoren wordt vaker aanspraak gemaakt op de beschikbare IJsselmeerbuffer, die in de stresstest ook nog kleiner is (15 cm in plaats van 20 cm). In scenario Stoom2050 is de frequentie van uitzakken onder de -0,3 m NAP toegenomen van eens in de 15 jaar naar eens in de 5 jaar. Ook in de huidige situatie zorgen de stressfactoren voor een frequenter gebruik van de volledige IJsselmeerbuffer, van eens in de 50-100 jaar naar eens in de 20 jaar.

De LCW heeft in 2018 onderzocht dat ook bij het uitzakken van het IJsselmeer onder de -0,3 m NAP niet direct tot problemen leidt en dat het peil langzaam en tijdelijk kan uitzakken tot -0,5 m NAP, zonder dat de stabiliteit van de primaire keringen rondom het IJsselmeer in gevaar komt (Joint Fact Finding, 2020). Als het peil in het model verder uitzakt dan -0,4 m NAP worden alle watervragers gekort. Het is zodoende een indicatie dat grote regionale watertekorten optreden en dat er zoutindringing via de Afsluitdijk plaatsvindt. De stressfactoren zorgen voor een frequentere uitzakking van het IJsselmeerpeil onder de -0,4 m NAP. In Ref2017 zakt het IJsselmeerpeil in de basisprognoses en het Voorkeurspakket niet uit onder de -0,4 m NAP, zie Tabel 3.2. In de stresstest zakt het peil in Ref2017 eens in de 50 jaar uit beneden de -0,4 m NAP. In Stoom2050 zakt het peil in de basisprognoses en het Voorkeurspakket eens in de 50-100 jaar uit onder de -0,4 m NAP, in de stresstest neemt de frequentie toe naar eens in de 20 jaar.

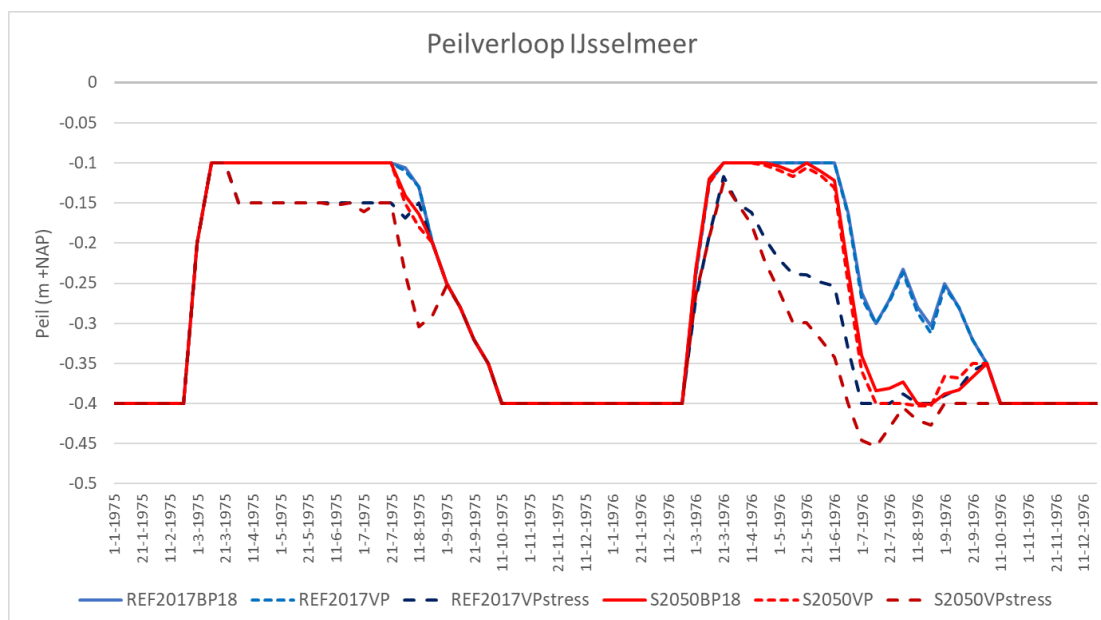
Tabel 3.2 Herhalingstijden van uitzakken IJsselmeerpeil onder de 30 cm en 40 cm beneden NAP. REF2017BP18 en REF2017VP zakken in de berekeningen nooit uit onder de 40 cm beneden NAP.

Scenario	Herhalingstijd IJsselmeerpeil onder -0,3 m NAP [jaren]	Herhalingstijd IJsselmeerpeil onder -0,4 m NAP [jaren]
REF2017BP18	50 - 100	nvt
REF2017VP	50 - 100	nvt
REF2017VPstress	20	50
S2050BP18	20	50 - 100
S2050VP	15	50 - 100
S2050VPstress	5	20

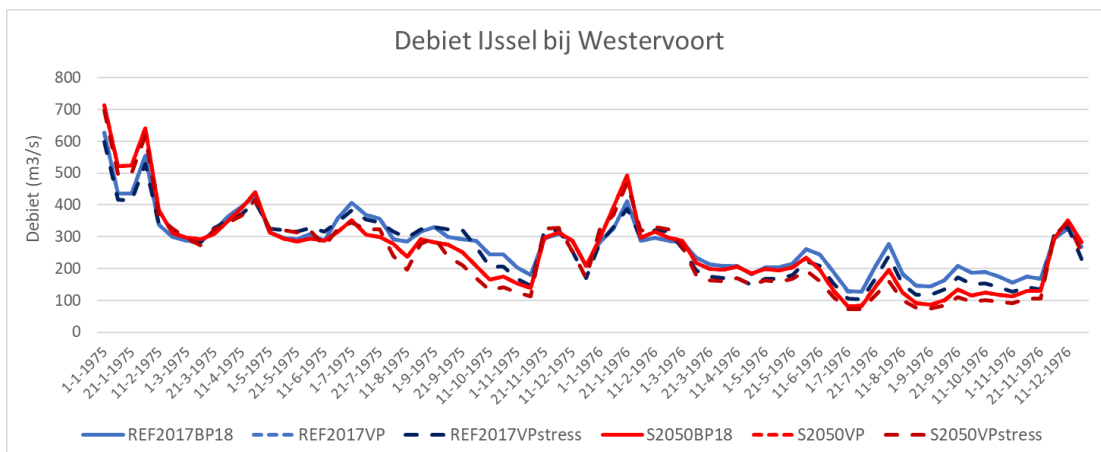
Figuur 3.4 toont het peilverloop van het IJsselmeer voor twee specifieke jaren; het gemiddelde jaar 1975 en het zeer droge jaar 1976. In 1975 is het effect van de veranderde peilopzet in de stresstesten goed zichtbaar. Het IJsselmeerpeil in S2050VPstress daalt begin augustus doordat de IJsselafoer op dat moment in de stresstest nog verder afneemt dan in het Voorkeurspakket, zie Figuur 3.5. Het veranderde debiet op de IJssel is een gevolg van de aanpassingen in riviermorfologie (zie paragraaf 1.2).

In 1976 wordt de voorjaarsopzet van het IJsselmeerpeil niet geheel behaald in de stresstesten. In de maanden daarna zakt het peil verder uit. In de stresstest Stoom2050 vindt zelfs een uitzakking plaats tot -0,45 m NAP van 21 juni tot en met 1 september. Bij een peiluitzakking onder de -0,40 m NAP wordt in het model volledig gekort op alle watervragers. Het IJsselmeerpeil zakt in 1976 uit onder -0,40 m NAP vanwege de hoge verdamping in het IJsselmeer in combinatie met een zeer lage IJsselafoer (zie ook Figuur 3.5).

In deze paragraaf is specifiek naar het IJsselmeer gekeken. De analyses geven echter ook een indicatie voor het Markermeer, omdat beide meerpeilen elkaar beïnvloeden.



Figuur 3.4 Peilverloop IJsselmeer (m +NAP) voor de jaren 1975 – 1976.



Figuur 3.5 Verloop IJsselafvoer bij Westervoort voor de jaren 1975 - 1976. De gestippelde lijnen van REF2017VP en S2050VP liggen achter de doorgetrokken lijnen van REF2017BP18 en S2050BP18.

3.1.2 Watervragen en watertekorten

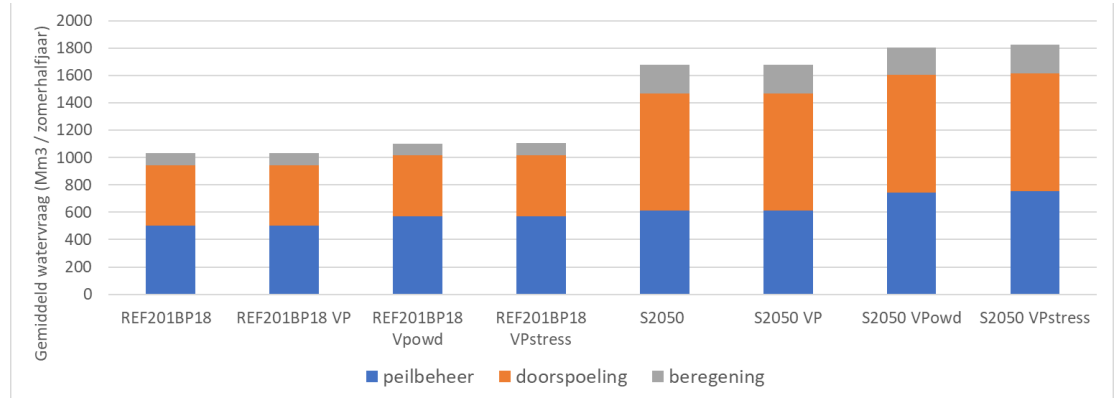
Binnen het voorzieningsgebied IJsselmeer/Markermeer wordt voornamelijk in het Fries Gronings kustgebied en Noord Holland onderwaterdrainage toegepast. In alle deelgebieden is sprake van een passieve peilstijging. De watervraag voor peilbeheer neemt hierdoor in alle jaren toe voor beide scenario's Ref2017 en Stoom2050 (Figuur 3.6 en bijlage C). De toename van de totale watervraag is in beide scenario's gemiddeld 7% ten opzichte van het Voorkeurspakket. In een extreem droog jaar is de toename van de totale watervraag 16% in Ref2017 en 21% in Stoom2050. Onderwaterdrainage heeft als bijkomend effect een afname van de beregeningsvraag door de verhoogde grondwaterstanden en daarmee het verhoogde bodemvochtgehalte in de wortelzone. Dit treedt voornamelijk op in het scenario Stoom2050; door enkel onderwaterdrainage en passieve peilstijging neemt de beregeningsvraag met 8% af (Hunink et al., 2021). In de stresstest is geen duidelijke afname van de beregeningsvraag zichtbaar, in zeer droge jaren neemt de beregeningsvraag zelfs flink toe. Dit komt door het gecombineerde effect van een afname in de beregeningsvraag in regio's met onderwaterdrainage en een toename in droge jaren in gebieden zonder onderwaterdrainage. Deze toename in gebieden zonder onderwaterdrainage is het gevolg van een daling van de grondwaterstanden in droge jaren. In droge jaren is daalt de grondwaterstand met enkele centimeters, in zeer droge jaren is de daling plaatselijk meer dan 1 decimeter (zie Figuur 3.12). De daling van de grondwaterstand wordt veroorzaakt door tekorten in peilbeheer en beregening als gevolg van het uitzakken van het IJsselmeerpeil. Daardoor neemt de hoeveelheid beschikbaar bodemvocht af en neemt de beregeningsvraag toe.

Figuur 3.7 toont het gemiddelde watertekort in de verschillende modelberekeningen voor voorzieningsgebied IJsselmeer/Markermeer. Het Voorkeurspakket zorgt voor een afname van het totale watertekort in gemiddelde en droge jaren, voornamelijk vanwege de grotere aanvoercapaciteit van IJsselmeerwater naar Friesland en Groningen. De stresstest veroorzaakt daarentegen een flinke toename van de watertekorten. Deze toename wordt hoofdzakelijk veroorzaakt doordat het IJsselmeerpeil eerder en verder uitzakt in combinatie met de grotere watervraag (Figuur 3.6) (zie ook paragraaf 3.1.1).

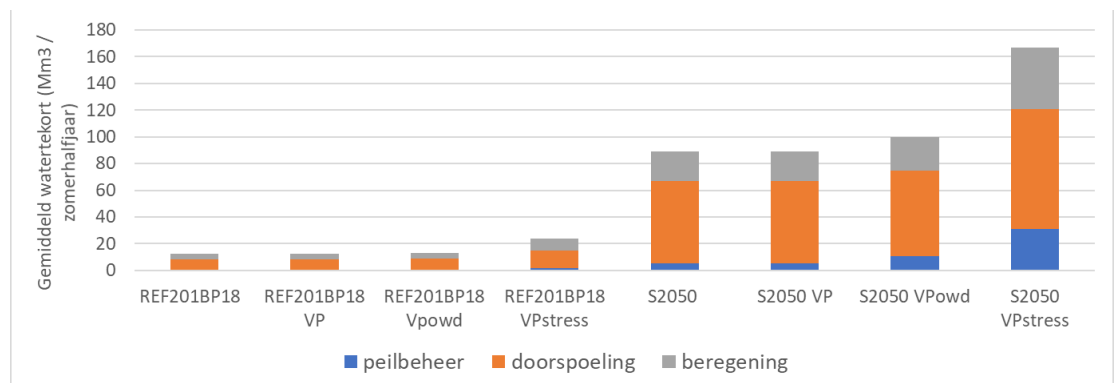
Figuur 3.8 toont herhalingstijden van het totale percentage watertekort ten opzichte van de watervraag. In het Voorkeurspakket scenario Ref2017 zijn de watertekorten altijd kleiner dan 10% van de watervraag. In de stresstest Ref2017 treden tekorten groter dan 10% van de watervraag eens in de 50 jaar op, er wordt dan gekort op beregening en doorspoeling. In Stoom2050 neemt de kans op grote watertekorten (>10%) toe van eens in de 15 jaar naar eens in de 5 jaar. De omvang van de watertekorten neemt ook toe. In zeer droge jaren treden in de stresstest Stoom2050 zelfs tekorten op van meer dan 50% van de watervraag per

zomerhalfjaar. In deze jaren zijn korte perioden waarin het IJsselmeerpeil uitzakt onder de -0,40 m NAP, waarbij in die perioden 100% van de watervraag niet geleverd kan worden.

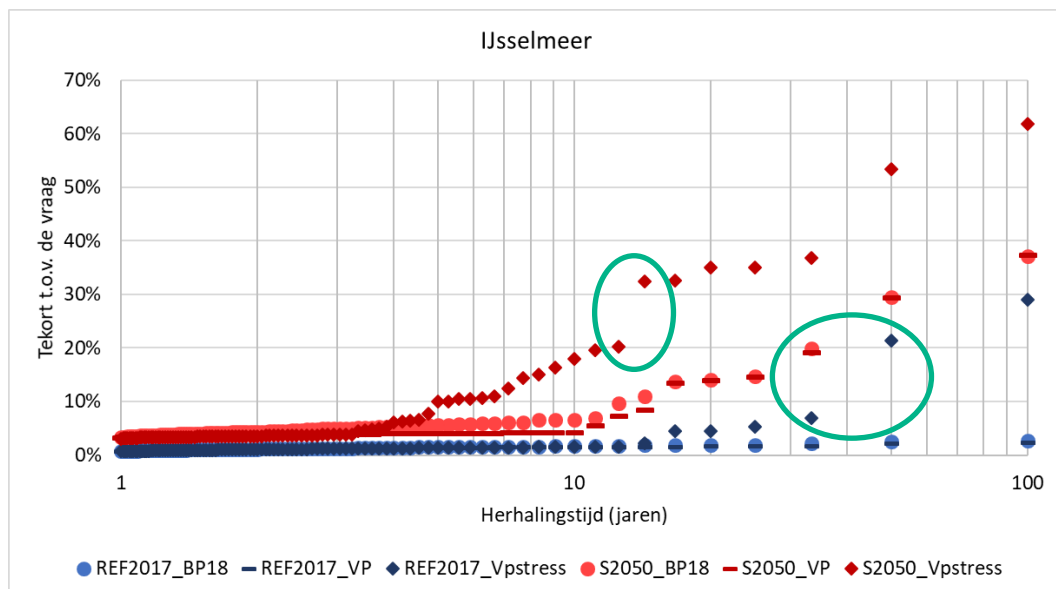
In beide stresstesten is een knikpunt te zien waarbij de watertekorten flink toenemen, aangegeven met groene cirkels in Figuur 3.8. Er treden dan tekorten op voor beregening, doorspoeling én regionaal peilbeheer. In de Ref2017 zit dit knikpunt bij een herhalingstijd van eens in de 50 jaar, in Stoom2050 bij een herhalingstijd van eens in de 15 jaar.



Figuur 3.6 Gemiddelde watervraag in miljoen m³/zomerhalfjaar peilbeheer, doorspoeling en beregening voor het voorzieningsgebied IJsselmeer/Markermeer voor de scenario's Ref2017 en Stoom2050 voor de situatie met en zonder Voorkeurspakket (VP), gecombineerd met onderwaterdrainage (VPowd) en gecombineerde stressfactoren (VPstress).



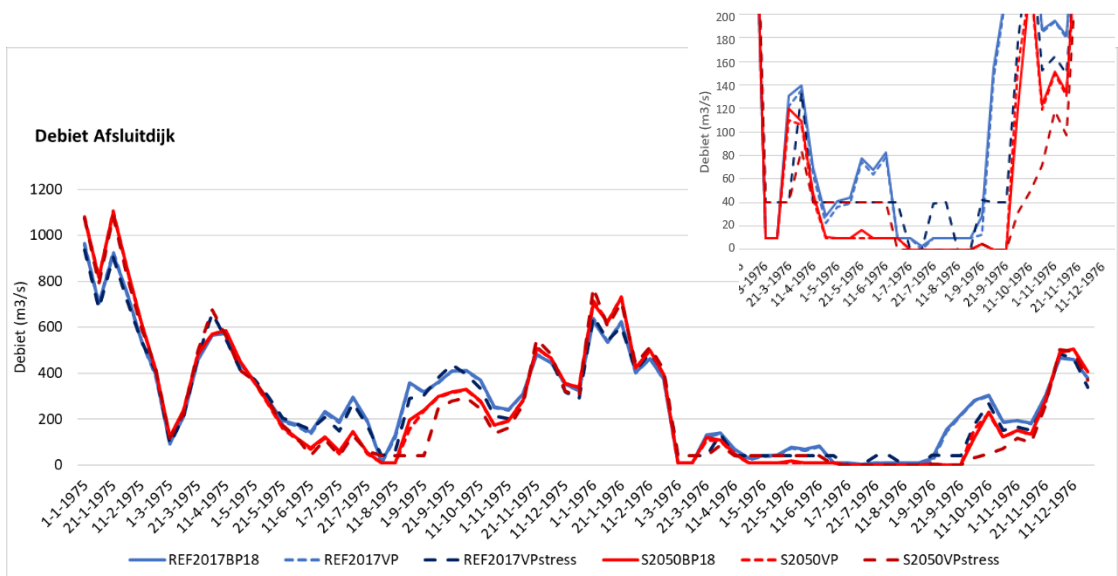
Figuur 3.7 Gemiddeld watertekort in miljoen m³/zomerhalfjaar peilbeheer, doorspoeling en beregening voor het voorzieningsgebied IJsselmeer/Markermeer voor de scenario's Ref2017 en Stoom2050 voor de situatie met en zonder Voorkeurspakket (VP), gecombineerd met onderwaterdrainage (VPowd) en gecombineerde stressfactoren (VPstress).



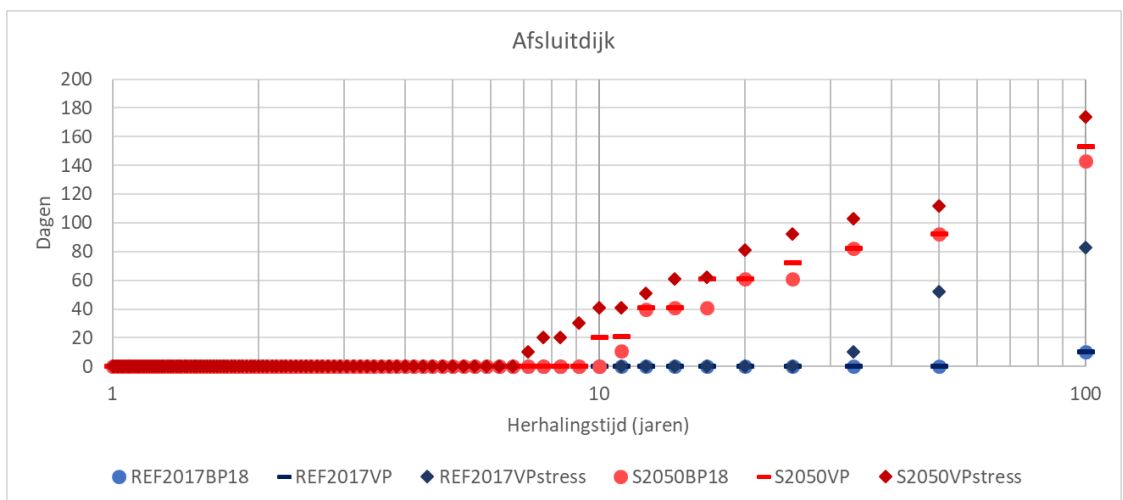
Figuur 3.8 Herhalingstijd % watertekort ten opzichte van watervraag in het zomerhalfjaar, voorzieningsgebied IJsselmeer/Markermeer. De groene cirkels tonen de 'knikpunten' in de tekorten van de stresstest.

3.1.3 Zoutindringing IJsselmeer

Doordat het IJsselmeerpeil in droge jaren uitzakt, kan er niet altijd voldaan worden aan de gewenste doorspoeling van de Afsluitdijk. In de stresspakketten is de gewenste doorspoeling verhoogd van 10 m³/s naar 40 m³/s, waardoor de gewenste doorspoeling vaker niet geleverd worden. Dit is goed te zien in de maanden juli t/m augustus in 1976, zie Figuur 3.9. In Ref2017 kan de gewenste doorspoeling in de stresstest eens in de 50 jaar niet altijd geheel geleverd worden, in Stoom2050 is dat eens in de 8 jaar. Wanneer de gewenste doorspoeling niet geleverd kan worden vindt zoutindringing plaats, waardoor risico ontstaat op de verzilting van het drinkwaterwinningspunt in Andijk. In droge en zeer droge jaren zorgen de stressfactoren in Stoom2050 voor een toename van de periode waarin gekort wordt op de doorspoeling met 20 dagen, zie Figuur 3.10. In het Voorkeurspakket Ref2017 treden geen tekorten op in de doorspoeling. De stressfactoren veroorzaken in Ref2017 alleen tekorten in zeer droge jaren.



Figuur 3.9 Spuidebiet Afsluitdijk gesommeerd over de takken Den Oever en Kornwerderzand voor de jaren 1975 – 1976.

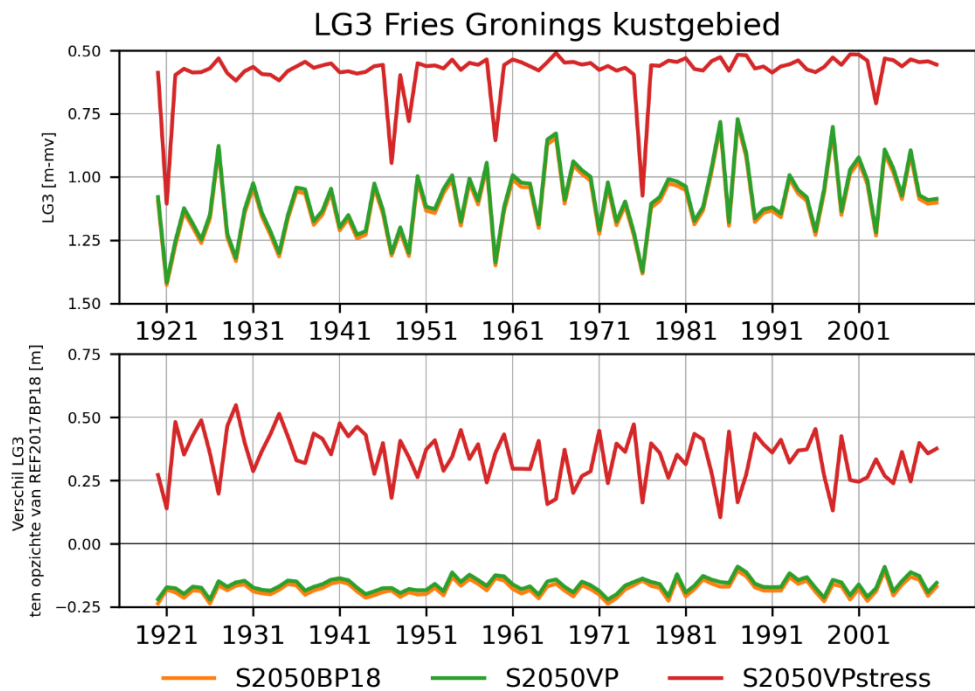


Figuur 3.10 Herhalingstijd van aantal dagen dat er gekort wordt op doorspoeling bij de Afsluitdijk.

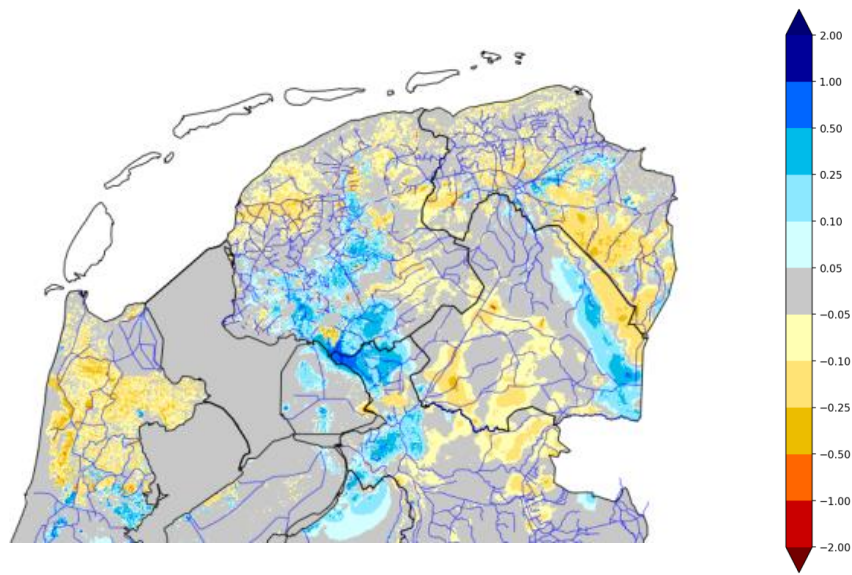
3.1.4 Grondwaterstanden

Van de vier stressfactoren heeft onderwaterdrainage de meeste invloed op de grondwaterstanden. In gebieden waar onderwaterdrainage wordt aangelegd, kan de GLG plaatselijk meer dan 25 cm hoger komen te liggen (zie Figuur 3.11 en Hunink et al., 2021). Het effect van onderwaterdrainage is veel groter dan het klimaateffect op de grondwaterstanden.

Ook in zeer droge jaren is het netto effect van klimaatverandering en onderwaterdrainage op de zomergrondwaterstanden positief. In deze jaren zakt de zomergrondwaterstand wel flink uit, waardoor bodemdaling niet geheel voorkomen kan worden door onderwaterdrainage. In gebieden waar geen onderwaterdrainage en passieve peilstijging wordt aangelegd daalt de zomergrondwaterstand in de stresstest in zeer droge jaren, als gevolg van de toename in regionale watertekorten, zie Figuur 3.12.



Figuur 3.11 De gemiddelde LG3 in Fries Gronings kustgebied voor scenario Stoom2050, in percelen waar onderwaterdrainage is toegepast. Boven de LG3 t.o.v. maaiveld, onder de verandering van de LG3 ten opzichte van huidig klimaat (REF2017BP18).



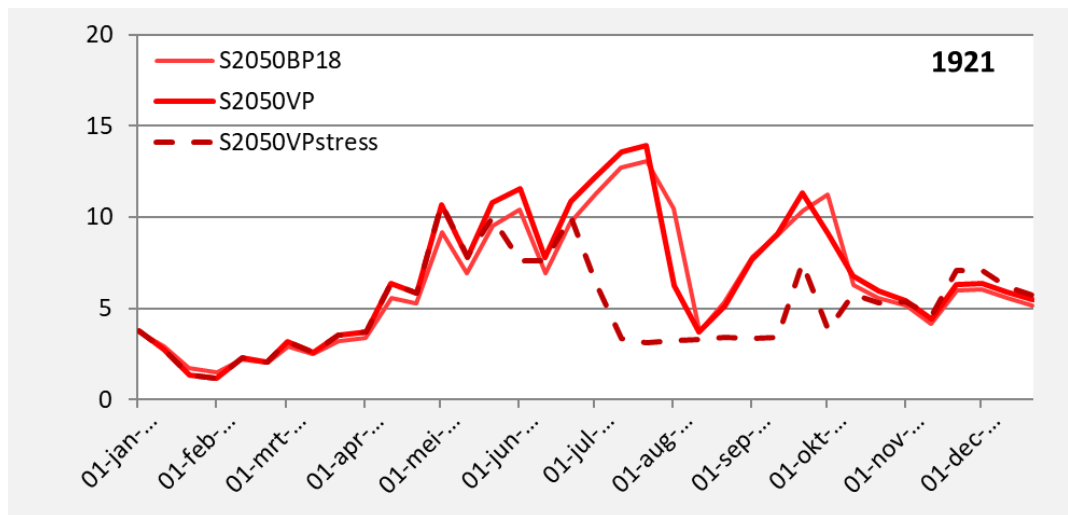
Figuur 3.12 Verandering LG3 (in meter) in 1976 als gevolg van het stresspakket in scenario Stoom2050.

3.1.5 Watervdeling IJsselwater

Als gevolg van de stressfactoren wordt in het model in zeer droge jaren bij scenario Stoom2050 gekort op de inlaat van de Twentekanalen. Door deze tekorten dalen de zomergrondwaterstanden in de Achterhoek en Twente lokaal met zo'n 10 cm. Dit is bijvoorbeeld het geval in het jaar 1921, zie Figuur 3.13 en Figuur 3.14.

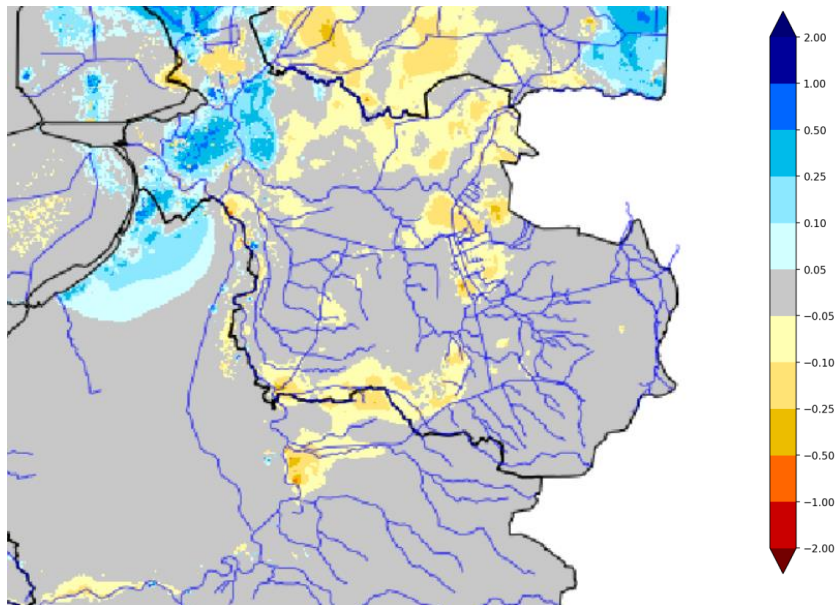
Deze tekorten treden in het model eens in de 15 jaar op vanwege het uitzakken van het IJsselmeerpeil, waarbij een keuze gemaakt moet worden om het IJsselwater te gebruiken voor peilhandhaving van het IJsselmeer, of als inlaatwater voor de Twentekanalen. Een deel van het ingelaten water in de Twentekanalen wordt gebruikt voor beregening en doorspoeling, en deze gebruikers hebben een lagere prioriteit dan het op peil houden van het IJsselmeer. Hierdoor treden er tekorten op in de gebieden die afhankelijk zijn van de inlaat van de het Twentekanaal.

Hoewel het optreden van de tekorten bij de inlaat Twentekanalen een gevolg is van de modelschematisatie, geeft het wel aan dat als gevolg van de stressfactoren eens in de 15 jaar een waterverdelingsvraagstuk optreedt. Als in de praktijk in deze situatie zou worden gekozen om wateraanvoer naar de Twentekanalen voorrang te geven, zou het IJsselmeerpeil nog verder uitzakken en zouden watertekorten in het Voorzieningsgebied IJsselmeer/Markermeer nog groter worden dan de huidige modelberekeningen in paragraaf 3.1.2 laten zien.



Figuur 3.13 Debiet (m³/s) inlaat Twente in 1921

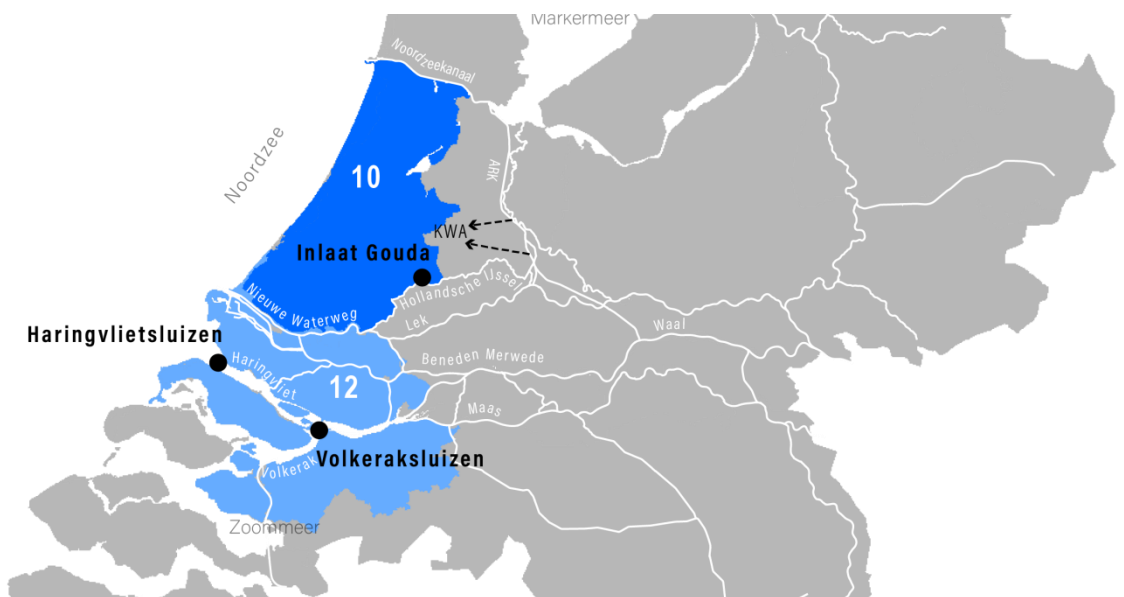
Deze tekorten vertalen vertaalt zich naar lagere grondwaterstanden in de Achterhoek/Twente.



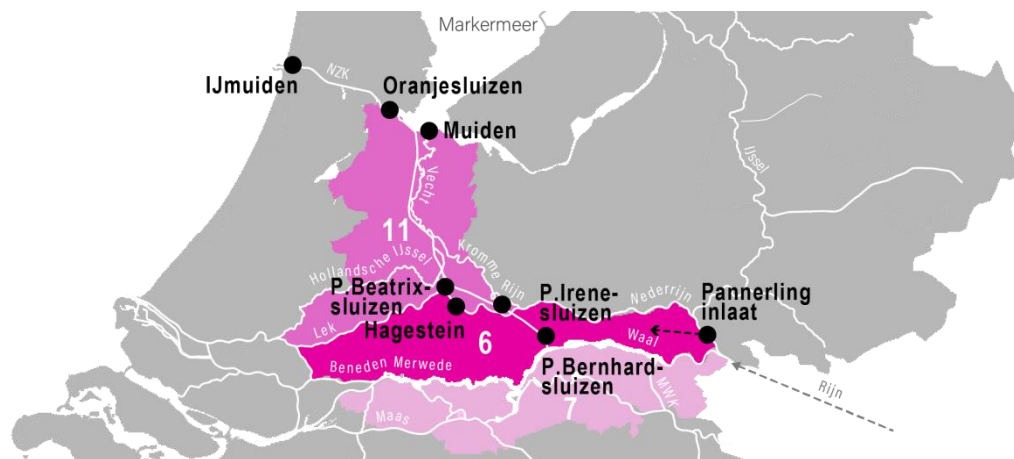
Figuur 3.14 Verschil LG3 (in meter) tussen S2050VP en S2050VPstress voor het jaar 1921.

3.2 Voorzieningsgebied Benedenrivieren en Bovenrivieren

Het voorzieningsgebied Benedenrivieren (Figuur 3.15) is afhankelijk van aanvoer van zoet water vanuit de Rijntakken en de Maas, en kan te maken krijgen met externe verzilting. Het voorzieningsgebied Bovenrivieren (Figuur 3.16) is het peilgestuurde gebied rond de Maas en de Nederrijn-Lek, en het deel van West Nederland waar wateraanvoer vanuit de Hollandse IJssel en Lek plaatsvindt.



Figuur 3.15 De twee deelgebieden van het voorzieningsgebied Benedenrivieren: Midden-West Nederland - extern verzilt (10), Zuid-West Nederland – met aanvoer (12)



Figuur 3.16 Voorzieningsgebied Bovenrivieren met onderscheid in de drie deelregio's: Midden-West Nederland – niet extern verzilt (11), Rivierengebied Noord (6) en Rivierengebied Zuid (7).

In de stresstest zorgen de aanleg van onderwaterdrainage en passieve peilstijging voor een verhoogde watervraag in de twee voorzieningsgebieden. De riviererosie en de daarmee veranderde waterverdeling hebben weinig effect op de zoetwaterknelpunten in dit gebied. Water vanuit de Waal kan namelijk via het Betuwepand naar de Lek worden geleid, waardoor de veranderde waterverdeling wordt gecompenseerd.

3.2.1 Watervragen en watertekorten

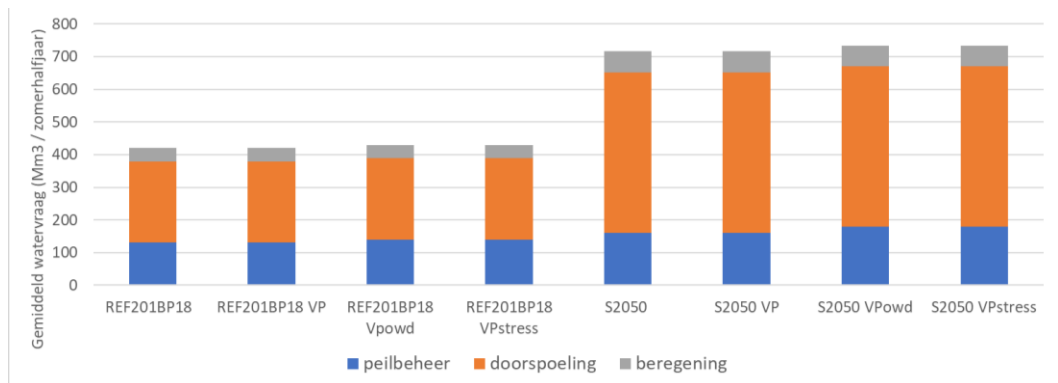
In het voorzieningsgebied Benedenrivieren neemt de watervraag voor peilbeheer toe als gevolg van de aanleg van onderwaterdrainage en passieve peilstijging. Hierdoor stijgt de totale watervraag in de stresstest met een paar procent in de scenario's Ref2017 en Stoom2050 (Figuur 3.17). De extra watervraag zorgt in droge jaren in het Stoom2050 scenario voor grotere tekorten (Figuur 3.18). De extra tekorten treden vooral op voor peilbeheer, daarnaast treden er in de extreem droge jaren ook berekeningstekorten op. Het Voorkeurspakket zorgt in deze regio voor een afname van de watertekorten met een paar procent van de watervraag. De stressfactoren doen dit effect min of meer teniet, wanneer naar het gemiddeld optredende watertekorten wordt gekeken.

In het voorzieningsgebied Bovenrivieren neemt de totale watervraag gemiddeld toe met 5% in het scenario Ref2017 en 10% in het scenario Stoom2050 als gevolg van de toegenomen watervraag voor peilbeheer door onderwaterdrainage (zie Figuur 3.19). Onderwaterdrainage en passieve peilstijging zorgen voor hogere grondwaterstanden, waardoor de watervraag voor berekening in Stoom2050 met 6% afneemt.

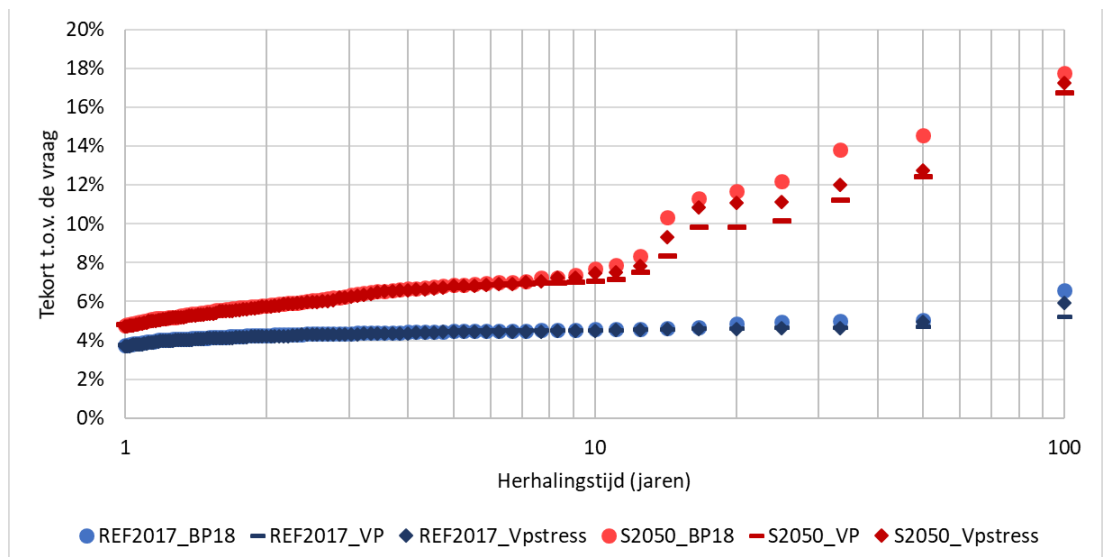
De extra watervraag kan in droge jaren niet geheel geleverd worden waardoor tekorten ontstaan in het Bovenrivierengebied (Figuur 3.20). De extra tekorten treden vooral op bij peilbeheer, daarnaast treden er in de extreem droge jaren ook berekeningstekorten op (zie bijlage E). De watertekorten van het Voorkeurspakket zijn in de stresstest ongeveer tweemaal zo groot. De frequentie van grote watertekorten (groter dan 10% van de watervraag) stijgt als gevolg van de stressfactoren van eens in de 30 jaar naar eens in de 15 jaar in scenario Stoom2050 (Figuur 3.20). In scenario Ref2017 zijn de watertekorten in het Voorkeurspakket en de stresstest altijd kleiner dan 10% van de watervraag.

De toename in tekorten in beide voorzieningsgebieden wordt deels veroorzaakt doordat er minder water wordt aangevoerd vanuit de Nederrijn-Lek. Echter, in werkelijkheid zal dit water worden aangevoerd vanuit de Waal via het Betuwepand. Door modelbeperkingen is deze aanvoermogelijkheid niet correct in de modelschematisatie opgenomen, waardoor een deel van de berekende tekorten in werkelijkheid wel geleverd kan worden. De tekorten in Voorzieningsgebied Bovenrivieren nemen daarnaast toe omdat er vaker gekort wordt op de

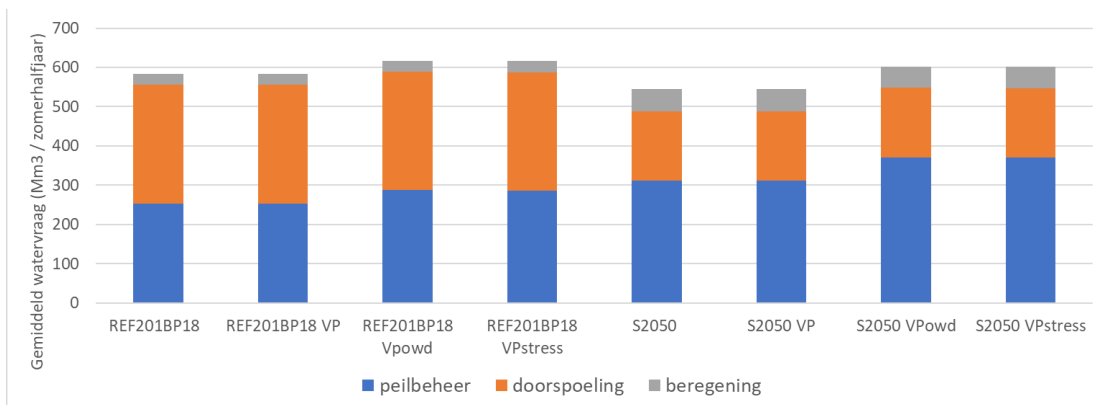
waterinlaat bij Zeesluis Muiden, zie paragraaf 3.2.3. Die tekorten zijn geen beperking van modelschematisatie.



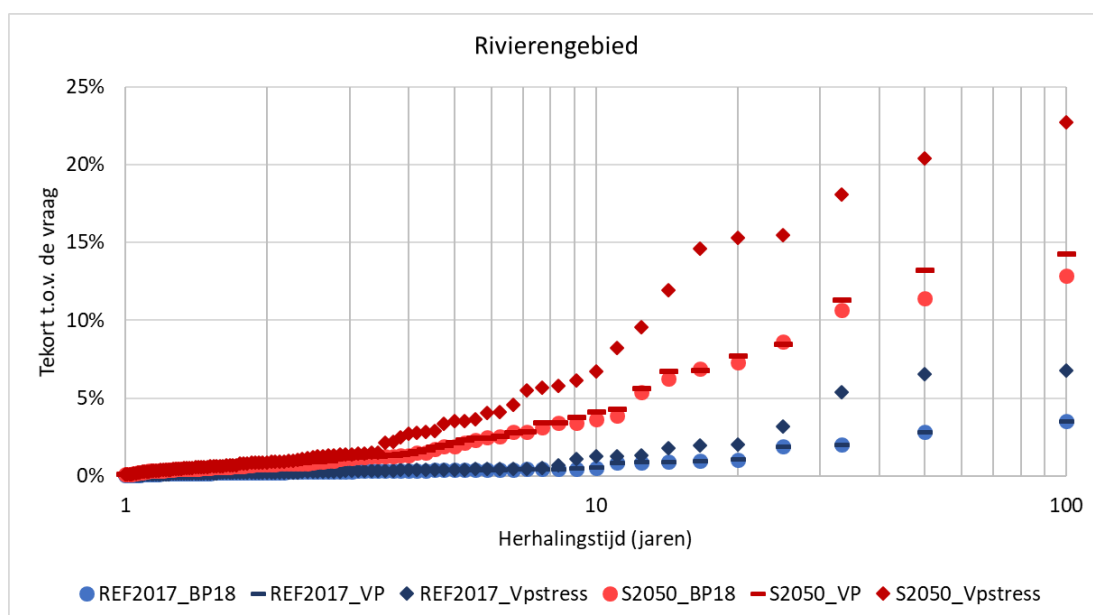
Figuur 3.17 Gemiddelde watervraag in miljoen m³/zomerhalfjaar peilbeheer, doorspoeling en beregening voor het voorzieningsgebied Benedenrivieren (WestNL) voor de scenario's Ref2017 en Stoom2050 voor de situatie met en zonder Voorkeurspakket (VP), gecombineerd met onderwaterdrainage (VPowd) en gecombineerde stresspunten (VPstress).



Figuur 3.18 Herhalingstijd % watertekort per zomerhalfjaar ten opzichte van watervraag, voorzieningsgebied Benedenrivieren (WestNL).



Figuur 3.19 Gemiddelde watervraag in miljoen m³/zomerhalfjaar peilbeheer, doorspoeling en beregening voor het voorzieningsgebied Bovenrivieren voor de scenario's Ref2017 en Stoom2050 voor de situatie met en zonder Voorkeurspakket (VP), gecombineerd met onderwaterdrainage (VPowd) en gecombineerde stresspunten (VPstress).



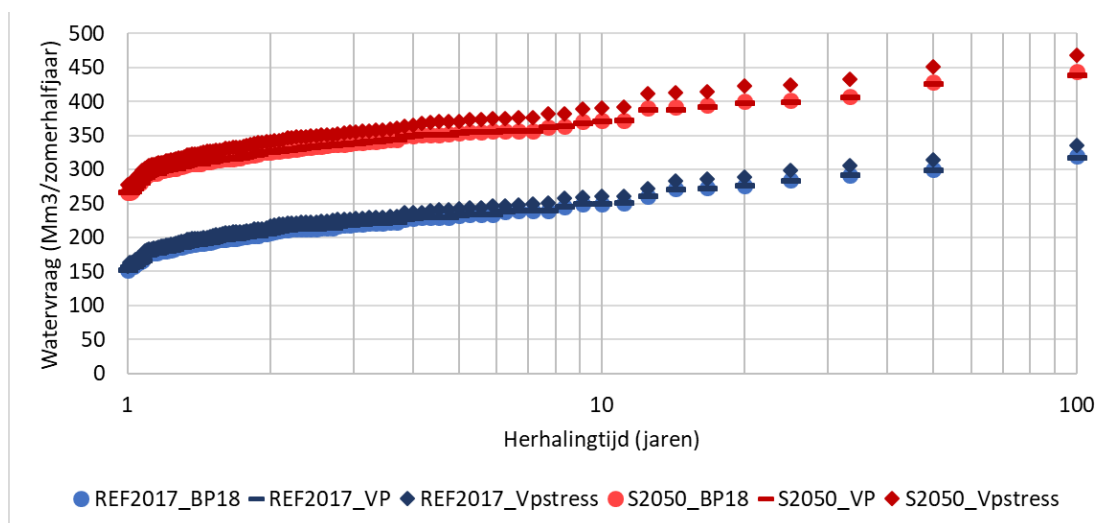
Figuur 3.20 Herhalingsstijd % watertekort per zomerhalfjaar ten opzichte van watervraag, voorzieningsgebied Bovenrivieren.

3.2.2 Inzet KWA

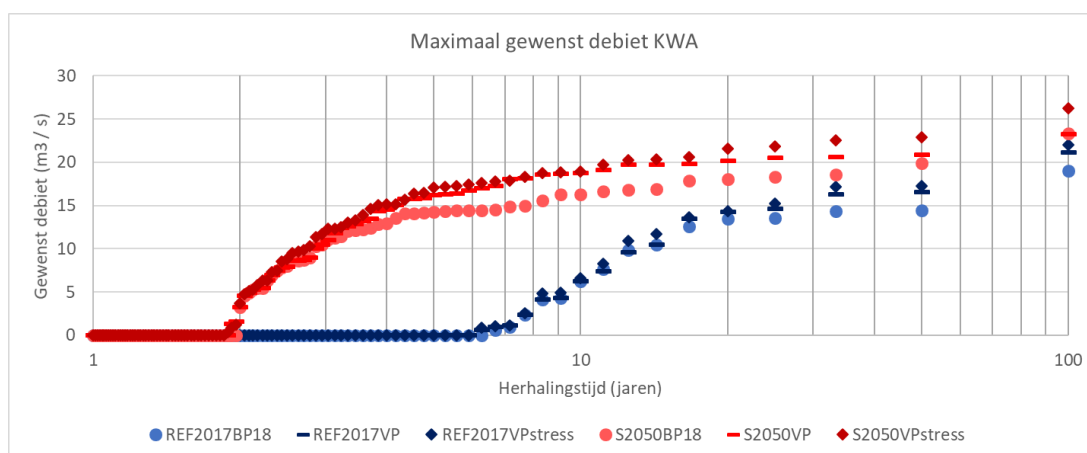
Met behulp van een eenvoudige relatie voor zoutindringing (Mens et al., 2019) is een inschatting gemaakt van de frequentie waarop de KWA in werking treedt. De afvoer over de Nederrijn-Lek en de Waal samen neemt toe door de riviererosie, waardoor er minder snel zoutindringing optreedt via de Nieuwe Waterweg. Dit kan ervoor zorgen de monding van de Hollandse IJssel bij korte periodes van lage afvoer nog niet verzilt raakt, waardoor de KWA niet hoeft worden ingezet. Lange periodes van lage afvoer, waarbij de monding van de Hollandsche IJssel maandenlang verzilt raakt, worden amper beïnvloed; ze beginnen hooguit een decade later.

Door het toepassen van onderwaterdrainage en passieve peilstijging in de veengebieden neemt de zomerse watervraag voor peilbeheer toe. Figuur 3.21 geeft de watervraag van regio West Nederland – extern verzilt, de regio die door de KWA gevoed wordt. De watervraag neemt daar met zo'n 3% toe, in een extreem droog jaar kan dit oplopen tot 7%. Deze toename is regio-specifiek en met name afhankelijk van het areaal waar onderwaterdrainage wordt

aangelegd (Hunink et al., 2021). Door de hogere watervraag neemt het gewenste debiet over de KWA toe, zie Figuur 3.22. Watervragen groter dan 15 m³/s kunnen niet geheel geleverd worden omdat de maximale KWA-capaciteit dan overschreden wordt. Bij watervragen groter dan 15 m³/s treden tekorten op. In het Ref2017 scenario komt het gewenste debiet één jaar vaker boven de maximale KWA-capaciteit van 15 m³/s, in het Stoom2050 scenario is dat twee jaar vaker.



Figuur 3.21 Totale watervraag regio West Nederland – extern verzilt (Mm³/zomerhalfjaar) voor het nulalternatief (BP18), Voorkeurspakket (VP) en het Voorkeurspakket – stresstest (VPstress), voor de scenario's Ref2017 en Stoom2050.

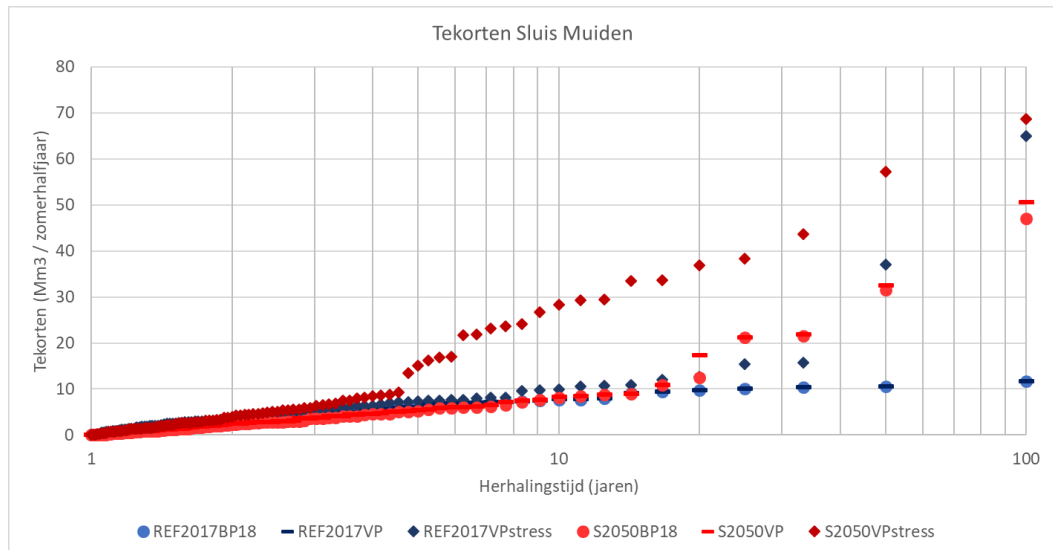


Figuur 3.22 Herhalingsperiode van het maximaal gewenste debiet over de KWA-route wanneer de KWA actief is, voor Ref2017 en Stoom2050, voor de basisprognoses, het Voorkeurspakket, en de stresstesten.

3.2.3 Tekorten waterinlaat Zeesluis Muiden

De stressfactoren zorgen voor een frequenter uitzakken van het Markermeerpeil. Door het lagere Markermeerpeil kan niet altijd voldoende water ingelaten worden bij Zeesluis Muiden. Hierdoor treden regionale watertekorten op. De inlaat bij Zeesluis Muiden is wel nog voldoende om verzilting van de Vechtplassen te voorkomen. In de praktijk zullen bij een te laag meerpeil pompen worden bijgeplaatst om verzilting van de Vechtplassen te voorkomen. In het model is een minimum debiet van 1 m³/s met hoge prioriteit ingesteld om dit te representeren.

De inlaatvraag bij Zeesluis Muiden is in het model ingesteld op 7 m³/s in de zomerperiode. Figuur 3.23 toont de herhalingsjijd van de tekorten op deze inlaatvraag. Het is goed te zien dat de als gevolg van de stressfactoren tekorten in het Stoom2050 scenario vaker zullen voorkomen, in zeer droge jaren lopen de tekorten zelfs op boven de 50 Mm³ per zomerhalfjaar. Ook in 'normale jaren' met een herhalingsjijd vanaf 5 jaar nemen de tekorten toe. In het Ref2017 scenario nemen de tekorten als gevolg van de stressfactoren alleen toe bij zeer droge jaren. De tekorten in de waterinlaat van Zeesluis Muiden zijn in alle jaren kleiner dan 10% van de watervraag in Voorzieningsgebied Bovenrivieren.



Figuur 3.23 Herhalingsjijd van de tekorten per zomerhalfjaar op de inlaatvraag bij Zeesluis Muiden. Deze tekorten betreffen zowel doorspoeltekorten van de Vechtplassen als regionale districtstekorten.

4 Conclusies

Dit rapport geeft inzicht in het effect van de vier recente inzichten en onzekerheden op zoetwaterknelpunten. Het gaat om de volgende ontwikkelingen:

- Rivierbodemosie, waardoor de afvoerverdeling over de Rijntakken verandert (met minder afvoer via de IJssel tot gevolg);
- Maatregelen om bodemdaling tegen te gaan (onderwaterdrainage en passieve peilstijging die resulteren in een extra watervraag);
- Grotere doorspoelvraag Afsluitdijk in de praktijk (op basis van ervaringen in de praktijk tijdens droge zomer in 2018);
- Kleinere buffer IJsselmeer omdat het zomerpeil van het IJsselmeer niet altijd tijdig kan worden opgezet, als de droogtesituatie daarom vraagt.

De belangrijkste conclusies op basis van de modelstudie zijn:

De vier ontwikkelingen zorgen voor grote druk op het IJsselmeer/Markermeer.

- De watervraag aan het IJsselmeer neemt toe als gevolg van de aanleg van onderwaterdrainage en passieve peilstijging, en de grotere doorspoelvraag over de Afsluitdijk.
- De twee andere ontwikkelingen verminderen de watervoorraad van het IJsselmeer, vanwege kleinere wateraanvoer in combinatie met een lager verwacht zomerpeil.

Als gevolg hiervan nemen de knelpunten in het Voorzieningsgebied IJsselmeer/Markermeer flink toe in scenario Stoom2050.

- Eens in de 5 jaar wordt de volledige IJsselmeerbuffer gebruikt en zakt het IJsselmeerpeil onder de -0,30 m NAP. Dit was eens in de 15 jaar.
- Eens in de 5 jaar kan meer dan 10% van de watervraag in het zomerhalfjaar niet geleverd worden.
- Eens in de 15-20 jaar zakt het peil onder de -0,40 m NAP en ontstaan ook tekorten in het regionale peilbeheer. In die jaren is onvoldoende water beschikbaar voor onderwaterdrainage. Verwacht wordt dat hierdoor de bodemdaling wel zal vertragen maar niet voorkomen kan worden.
- Door de lagere debieten over de IJssel ontstaat eens in de 15 jaar een waterverdelingsvraagstuk: er is niet voldoende water om het IJsselmeer én de Twentekanalen voldoende te voeden.

In het scenario Ref2017 nemen de knelpunten in Voorzieningsgebied IJsselmeer/Markermeer alleen toe in zeer droge jaren.

- Eens in de 20 jaar wordt de volledige IJsselmeerbuffer gebruikt. Dit was eens in de 50-100 jaar.
- Eens in de 50 jaar treden watertekorten van meer dan 10% van de watervraag per zomerhalfjaar op, waarbij ook tekorten ontstaan in het regionale peilbeheer.

In de voorzieningsgebieden Benedenrivieren en Bovenrivieren neemt de watervraag toe door onderwaterdrainage en passieve peilstijging, waardoor het risico op watertekorten toeneemt. De verandering van de waterverdeling als gevolg van de rivierbodemosie heeft geen significant effect op de waterbeschikbaarheid in deze gebieden. Water vanuit de Waal kan namelijk via het Betuwepand naar de Lek worden geleid.

- De watervraag in het zomerhalfjaar aan het oppervlaktewatersysteem neemt in alle jaren toe met enkele procenten.
- Eens in de 10-20 jaar kan de toegenomen watervraag niet volledig geleverd worden en nemen de tekorten toe.

- Ook in het voorzieningsgebied van de Klimaatbestendige Water Aanvoer (KWA) neemt de watervraag toe. De frequentie waarop de watervraag de maximale KWA-capaciteit overschrijdt neemt nauwelijks toe.
- Door een groter debiet op de Nieuwe Waterweg zal de externe verzilting van de Hollandse IJssel worden beperkt. Dit zal echter voornamelijk effect hebben op de kort durende KWA events en mogelijk een latere inzet van de KWA van slechts enkele dagen.

5 Referenties

- De Jong, 2020. *Effect van een nieuwe bodemhoogte 2050 op de waterstanden en afvoeren op de Rijntakken*. Deltares Memo 11203738-005-BGS-0011
- Friocourt, Y.F. 2020. *Nieuwe inzichten naar aanleiding van de verzilting van het IJsselmeer in 2018 en actualisatie van de posten van de water- en zoutbalans van het meer*. RWS informatie rapport (ongereviewd, v0.1)
- Hunink, J. C, Schasfoort, F., Pouwels, J., Mens, M., 2021 *Het effect van onderwaterdrainage en passieve peilstijging in veenweidegebieden op knelpunten in de zoetwatervoorziening*. Deltares rapport 11205271-007.
- Sloff, K. 2019. *Prognose bodemligging Rijntakken 2020-2050. Trends voor scheepvaart en waterbeschikbaarheid*. Deltares rapport.
- Stratelligence, 2021. *Economische analyse Zoetwater, Eindrapportage*
- Mens, M., F. Schasfoort, Hunink, J.C., Pouwels, J.R., Delsman, J.R, de Jong, J., 2020, *Hydrologische en economische effecten van twee maatregelenpakketten voor Deltaprogramma Zoetwater fase II*. Deltares rapport 11205271-005.
- Mens, M., Hunink, J.C., Delsman, J.R., Pouwels, J.R., & Schasfoort, F. 2019. *Geactualiseerde knelpuntenanalyse voor het Deltaprogramma Zoetwater fase II*. Deltares rapport 11203734-003. Delft.
- Mens, M., Van den Boogaard, H., Buschman, F., & Nolte, A., 2018. *Eenvoudige zoutrelaties voor snelle zoetwateranalyses*. Rapport 11200589, Deltares, Delft.
- Van Walsem, T. 2020. *Gevoeligheidsanalyse: Impact van Bodemverandering Rijntakken op Zoetwatervoorziening 2050*. RWS memo 2020.
- Joint Fact Finding, 2020. *Studie robuustheid IJsselmeergebied bij droogte*

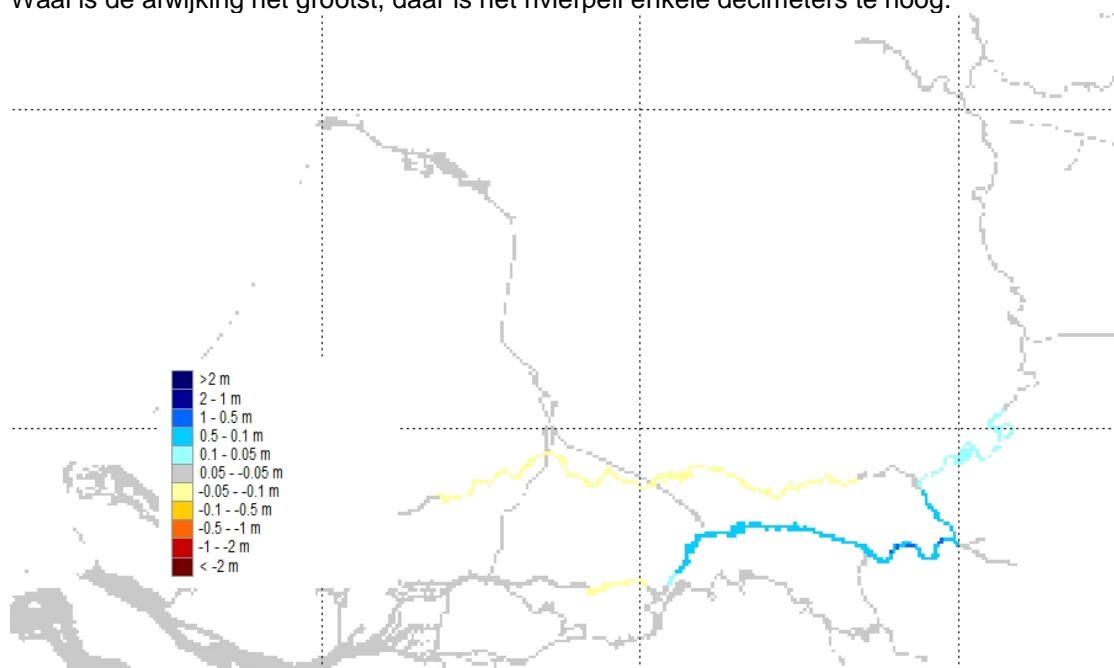
Bijlagen

A Modelfout MODFLOW rivierpeilen

In MODFLOW worden rivieren gespecificeerd met een bodemhoogte (in m+NAP), rivierpeilen (in m+NAP) en een conductance. In MODFLOW is de rivierbodemosie doorgevoerd als een verandering in de rivierpeilen en de rivierbodemhoogte. De verandering in rivierbodemhoogte tussen 2018 en 2050 uit De Jong (2018) is doorgevoerd in de MODFLOW rivierbodemhoogtes (in m+NAP). Voor de doorgevoerde verandering in de rivierpeilen is de wijziging in waterdiepte gebruikt. Aangezien de MODFLOW rivierpeilen de eenheid m+NAP hebben, had de waterstandverandering doorgevoerd moeten worden.

De waterdiepte is het verschil tussen het rivierpeil en rivierbodem, en de waterstand is de stand ten opzichte van NAP. Doordat zowel de bodem als de waterstand dalen is het effect op de waterdiepte kleiner dan het effect op de waterstand.

In onderstaand figuur is de afwijking te zien door deze fout in de MODFLOW rivierpeilen. In de Waal is de afwijking het grootst, daar is het rivierpeil enkele decimeters te hoog.

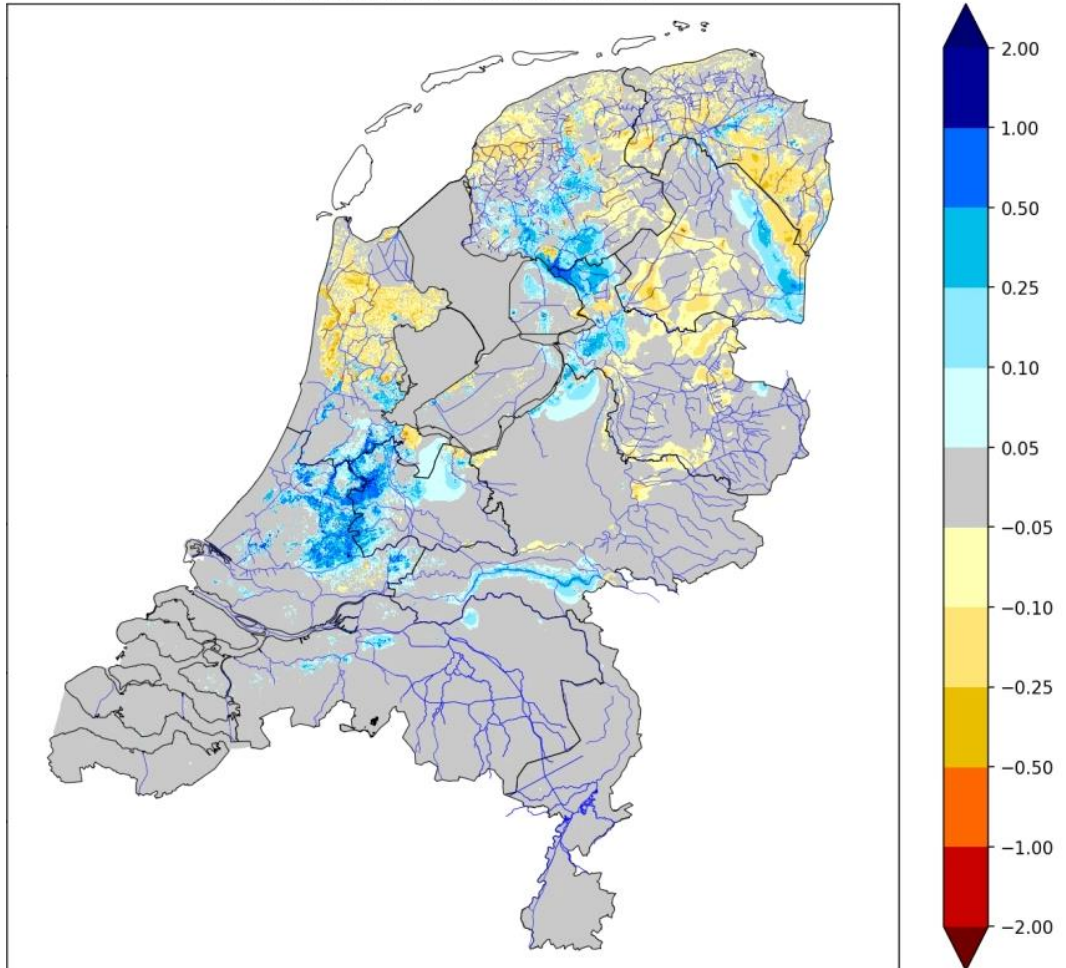


Figuur A.1 Afwijking in de MODFLOW rivierpeilen door gebruik waterdiepteverandering in plaats van waterstandsverandering.

De MODFLOW waterlopen hebben interactie met grondwater. Bij een hoger verschil tussen rivierpeil en grondwaterstand is de infiltratie groter. Daarom hadden de peilen gewijzigd moeten worden aan de hand van waterstanden, en niet waterdieptes. Deze fout heeft invloed op de grondwaterstanden. MODFLOW heeft geen interactie met DM, deze fout heeft daarom geen invloed op de waterverdeling.

Het effect van de (foutieve) rivierpeilwijziging op de grondwaterstanden geeft een indruk in het invloedsgebied van de rivierpeilen. Zie hieronder een kaart met het verschil in grondwaterstanden in 1976 als gevolg van de stressfactoren. Het effect van de gewijzigde peilen in de Waal is tot ongeveer 2 km van de rivier zichtbaar. In de Rijn en IJssel is het invloedsgebied minder groot.

DGLG_S2050VPstress_S2050VP_1976



Figuur A.2 Verandering LG3 (in meter) in 1976 als gevolg van het stresspakket in scenario Stoom2050

B Watervragen en tekorten per deelregio

Tabel B.1 Gemiddeld watertekort in Mm³/zomerhalfjaar voor Ref2017 en Stoom2050 zonder en met maatregelen van het Voorkeurspakket (VP) en stressfactoren (VPstress). Ook is het verschil in watertekort als gevolg van het Voorkeurspakket en de stressfactoren weergegeven. Door afronding van de getallen kan dit verschil een geringe afwijking hebben ten opzichte van de absolute getallen.

	REF2017 BP18	REF2017 VP	Verandering t.o.v. REF2017 BP18	REF2017 VPstress	Verandering t.o.v. REF2017 VP		S2050 BP18	S2050 VP	Verandering t.o.v. S2050 BP18	S2050 VPstress	Verandering t.o.v. S2050 VP
Hoge Zandgronden											
Centrale Hoge Zandgronden	3	3	1	4	1		3	4	1	5	2
Hoge Zandgronden Zuid	2	2	0	2	0		6	6	0	6	0
Hoge Zandgronden Zuid - overig	8	9	1	9	0		14	15	1	15	0
Midden Limburg en Brabantse kanalen	16	20	4	20	0		25	30	5	30	0
Zuid-Limburg	12	14	2	14	0		33	35	3	35	0
Voorzieningsgebied IJsselmeer/Markermeer											
Drents plateau	2	2	0	3	0		7	8	0	11	4
Fries Gronings Kustgebied	10	10	-1	15	6		85	69	-16	117	47
IJsselmeerpolders	0	0	0	2	2		2	2	0	7	5
Noord Holland	0	0	0	4	4		7	7	1	27	19
IJssel-Vecht delta	0	0	0	1	0		2	2	0	5	2
Voorzieningsgebied Bovenrivieren											
Rivierengebied-Noord	1	1	0	2	1		5	6	0	13	7
Rivierengebied-Zuid	1	1	0	1	0		3	3	0	3	0
Midden West Nederland - niet extern verzilt	0	0	0	0	0		2	2	0	4	2
Voorzieningsgebied Benedenrivieren											
Midden West Nederland - extern verzilt	1	0	0	0	0		5	3	-2	4	1
Zuid Westelijk estuariumgebied - met aanvoer	17	18	0	18	0		42	42	0	43	0
Zuid Westelijke Delta zonder aanvoer											
Zuid Westelijk estuariumgebied - zonder aanvoer	38	44	5	44	0		83	90	7	90	0

Tabel B.2 Gemiddelde watervraag in Mm³/zomerhalfjaar voor Ref2017 en Stoom2050 zonder en met maatregelen van het Voorkeurspakket (VP) en stressfactoren (VPstress). Ook is het verschil in watervraag als gevolg van het Voorkeurspakket en de stressfactoren weergegeven. Door afronding van de getallen kan dit verschil een geringe afwijking hebben ten opzichte van de absolute getallen.

	REF2017 BP18	REF2017 VP	Verandering t.o.v. REF2017 BP18	REF2017 VPstress	Verandering t.o.v. REF2017 VP		S2050 BP18	S2050 VP	Verandering t.o.v. S2050 BP18	S2050 VPstress	Verandering t.o.v. S2050 VP
Hoge Zandgronden											
Centrale Hoge Zandgronden	20	24	4	28	4		25	28	3	33	5
Hoge Zandgronden Zuid	4	5	0	5	0		10	10	0	10	0
Hoge Zandgronden Zuid - overig	33	35	2	35	0		41	43	3	44	0
Midden Limburg en Brabantse kanalen	132	140	8	140	0		145	154	9	154	0
Zuid-Limburg	18	20	2	20	0		37	39	2	39	0
Voorzieningsgebied IJsselmeer/Markermeer											
Drents plateau	63	72	9	72	1		83	92	9	96	4
Fries Gronings Kustgebied	465	458	-6	508	50		795	775	-20	872	97
IJsselmeerpolders	34	34	0	34	1		51	51	0	53	2
Noord Holland	253	253	0	264	11		442	442	0	461	19
IJssel-Vecht delta	71	75	4	76	1		87	91	4	93	2
Voorzieningsgebied Bovenrivieren											
Rivierengebied-Noord	84	83	0	91	8		110	110	0	126	16
Rivierengebied-Zuid	48	47	0	47	-1		61	61	0	61	0
Midden West Nederland - niet extern verzilt	374	373	0	394	21		300	300	0	332	32
Voorzieningsgebied Benedenrivieren											
Midden West Nederland - extern verzilt	181	181	0	188	8		284	283	0	297	14
Zuid Westelijk estuariumgebied - met aanvoer	180	183	3	183	0		333	337	3	338	1
Zuid Westelijke Delta zonder aanvoer											
Zuid Westelijk estuariumgebied - zonder aanvoer	52	57	4	57	0		93	98	5	98	0

C Watervragen en tekorten Voorzieningsgebied IJsselmeer/Markermeer

Tabel C.1 Verandering van het gemiddelde watervraag in het zomerhalfjaar ten opzichte van het Voorkeurspakket (VP) voor het voorzieningsgebied IJsselmeer/Markermeer. Boven: gemiddeld over 100 jaar, onder: extreem droog jaar 1976.

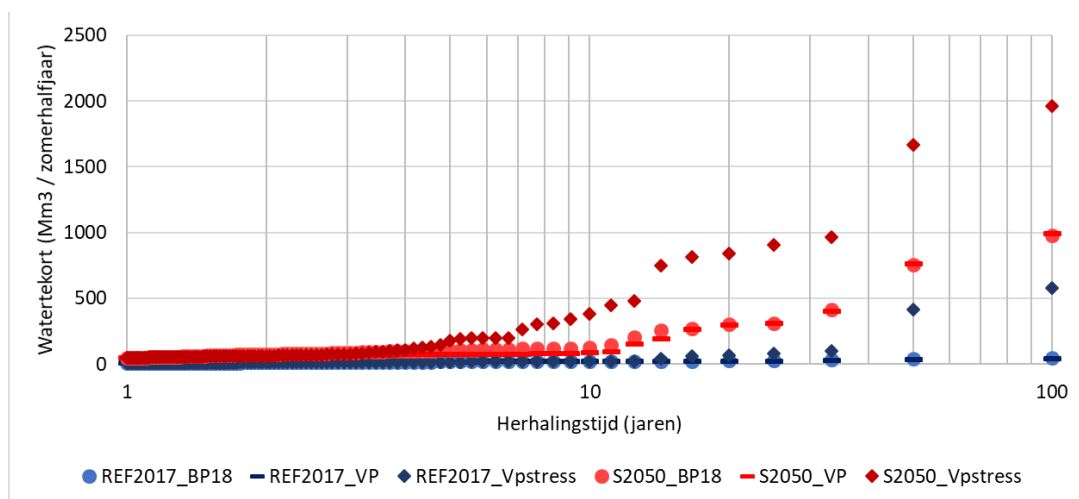
Watervraag		Verandering gemiddelde watervraag ten opzichte van het Voorkeurspakket (VP)								
		totaal	totaal			peilbeheer		doorspoeling		berekening
Gemiddeld		Mm3/jaar	Mm3/jaar	%	Mm3/jaar	%	Mm3/jaar	%	Mm3/jaar	%
REF2017	VPowd	1102	70	7%	71	14%	0	0%	-2	-2%
REF2017	VPstress	1105	73	7%	73	15%	0	0%	1	1%
S2050	VPowd	1805	125	7%	134	22%	0	0%	-10	-5%
S2050	VPstress	1823	143	9%	143	23%	0	0%	0	0%

Extreem droog jaar		totaal	totaal			peilbeheer		doorspoeling		berekening	
		Mm3/jaar	Mm3/jaar	%	Mm3/jaar	%	Mm3/jaar	%	Mm3/jaar	%	
REF2017	VPowd	1832	150	9%	148	15%	0	0%	2	1%	
REF2017	VPstress	1954	273	16%	184	18%	0	0%	89	37%	
S2050	VPowd	2906	319	12%	325	29%	0	0%	-6	-1%	
S2050	VPstress	3128	541	21%	476	42%	0	0%	65	11%	

Tabel C.2 Verandering van het gemiddelde watertekort in het zomerhalfjaar ten opzichte van het Voorkeurspakket (VP) voor het voorzieningsgebied IJsselmeer/Markermeer. Boven: gemiddeld over 100 jaar, onder: extreem droog jaar 1976.

Watertekort		Verandering gemiddeld watertekort ten opzichte van het Voorkeurspakket (VP)								
Gemiddeld		totaal	totaal		peilbeheer		doorspoeling		berekening	
		Mm3/jaar	Mm3/jaar	%	Mm3/jaar	%	Mm3/jaar	%	Mm3/jaar	%
REF2017	VPowd	13	1	5%	0	1%	0	6%	0	4%
REF2017	VPstress	24	11	92%	1	245%	5	61%	5	129%
S2050	VPowd	100	11	12%	6	104%	3	4%	3	14%
S2050	VPstress	167	78	87%	26	488%	28	45%	24	107%

Extreem droog jaar		totaal	totaal		peilbeheer		doorspoeling		berekening	
		Mm3/jaar	Mm3/jaar	%	Mm3/jaar	%	Mm3/jaar	%	Mm3/jaar	%
		REF2017	VPowd	66	29	80%	0	0%	15	70%
REF2017	VPstress	416	379	1031%	58	2658%	111	509%	211	1649%
S2050	VPowd	973	212	28%	153	132%	10	4%	49	14%
S2050	VPstress	1669	909	119%	585	501%	114	40%	211	58%



Figuur C.1 Herhalingstijd watertekort voor voorzieningsgebied IJsselmeer/Markermeer, in Mm3 per zomerhalfjaar.

D Watervragen en tekorten Voorzieningsgebied Benedenrivieren

Tabel D.1 Verandering van het gemiddelde watervraag in het zomerhalfjaar ten opzichte van het Voorkeurspakket (VP) voor het voorzieningsgebied Benedenrivieren. Boven: gemiddeld over 100 jaar, onder: extreem droog jaar 1976.

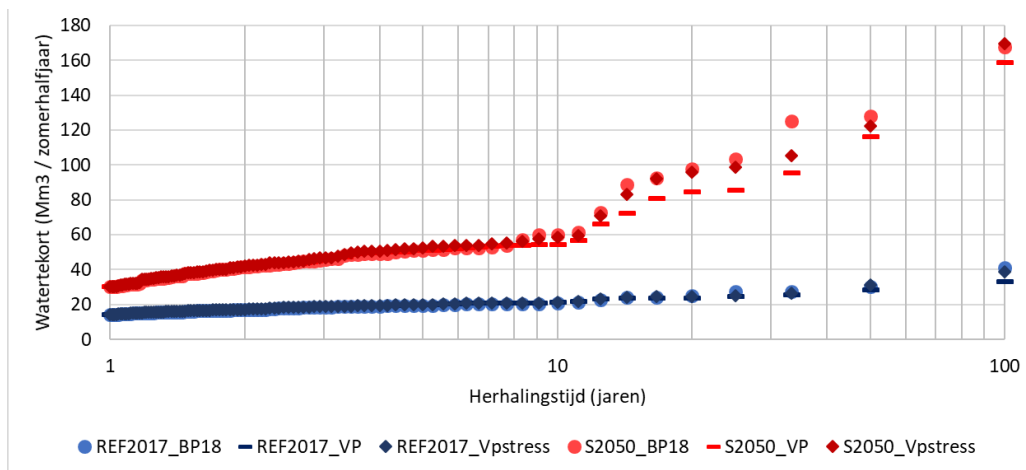
Watervraag		Verandering gemiddeld watervraag ten opzichte van het Voorkeurspakket (VP)								
Gemiddeld		totaal	totaal		peilbeheer		doorspoeling		berekening	
		Mm3/jaar	Mm3/jaar	%	Mm3/jaar	%	Mm3/jaar	%	Mm3/jaar	%
REF2017	VPowd	430	9	2%	9	7%	0	0%	0	0%
REF2017	VPstress	430	9	2%	9	7%	0	0%	0	0%
S2050	VPowd	734	17	2%	18	11%	0	0%	-1	-1%
S2050	VPstress	734	17	2%	18	11%	0	0%	-1	-1%

Extreem droog jaar		totaal	totaal		peilbeheer		doorspoeling		berekening	
		Mm3/jaar	Mm3/jaar	%	Mm3/jaar	%	Mm3/jaar	%	Mm3/jaar	%
REF2017	VPowd	651	18	3%	17	6%	0	0%	1	1%
REF2017	VPstress	652	19	3%	18	7%	0	0%	1	1%
S2050	VPowd	981	31	3%	34	11%	0	0%	-3	-2%
S2050	VPstress	981	32	3%	35	12%	0	0%	-3	-2%

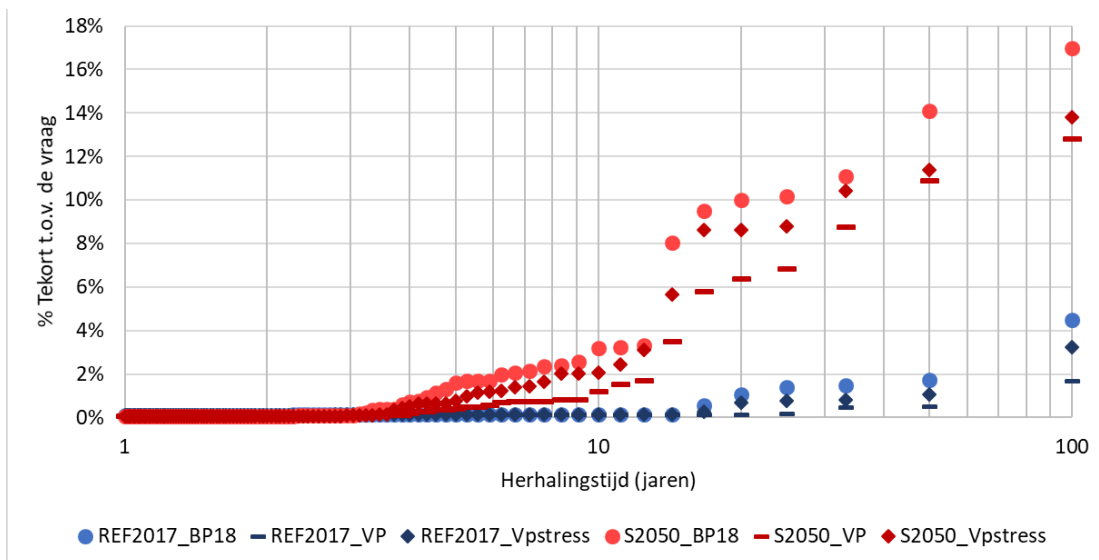
Tabel D.2 Verandering van het gemiddelde watertekort in het zomerhalfjaar ten opzichte van het Voorkeurspakket (VP) voor het voorzieningsgebied Benedenrivieren. Boven: gemiddeld over 100 jaar, onder: extreem droog jaar 1976.

Watertekort		Verandering gemiddeld watertekort ten opzichte van het Voorkeurspakket (VP)								
Gemiddeld		totaal	totaal		peilbeheer		doorspoeling		berekening	
		Mm3/jaar	Mm3/jaar	%	Mm3/jaar	%	Mm3/jaar	%	Mm3/jaar	%
REF2017	VPowd	18	0	0%	0	0%	0	0%	0	2%
REF2017	VPstress	18	0	1%	0	1%	0	0%	0	2%
S2050	VPowd	46	1	2%	0	20%	1	2%	0	1%
S2050	VPstress	47	1	3%	0	24%	1	3%	0	2%

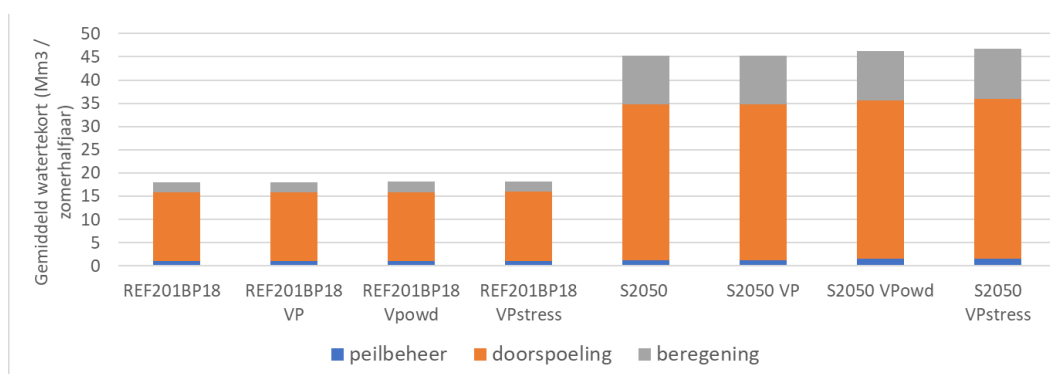
Extreem droog jaar		totaal	totaal		peilbeheer		doorspoeling		berekening	
		Mm3/jaar	Mm3/jaar	%	Mm3/jaar	%	Mm3/jaar	%	Mm3/jaar	%
		REF2017	VPowd	37	4	11%	0	0%	1	6%
REF2017	VPstress	39	6	17%	1	28%	1	8%	3	27%
S2050	VPowd	168	9	5%	5	68%	3	3%	0	0%
S2050	VPstress	169	10	7%	6	77%	4	4%	0	0%



Figuur D.1 Herhalingstijd watertekort voor voorzieningsgebied Benedenrivieren (WestNL), in Mm3 per zomerhalfjaar.



Figuur D.2 Watertekort regio West Nederland – extern verzilt als percentage van de watervraag voor het nulalternatief (BP18), Voorkeurspakket (VP) en het Voorkeurspakket – stressstest (VPstress), voor de scenario's Ref2017 en Stoom2050. De tekorten zijn berekend per zomerhalfjaar.



Figuur D.3 Gemiddeld watertekort in miljoen m³/zomerhalfjaar peilbeheer, doorspoeling en beregening voor het voorzieningsgebied Benedenrivieren (WestNL) voor de scenario's Ref2017 en Stoom2050 voor de situatie met en zonder Voorkeurspakket (VP), gecombineerd met onderwaterdrainage (VPowd) en gecombineerde stresspunten (VPstress).

E Watervragen en tekorten Voorzieningsgebied Bovenrivieren

Tabel E.1 Verandering van het gemiddelde watervraag in het zomerhalfjaar ten opzichte van het Voorkeurspakket (VP) voor het voorzieningsgebied Bovenrivieren. Boven: gemiddeld over 100 jaar, onder: extreem droog jaar 1976.

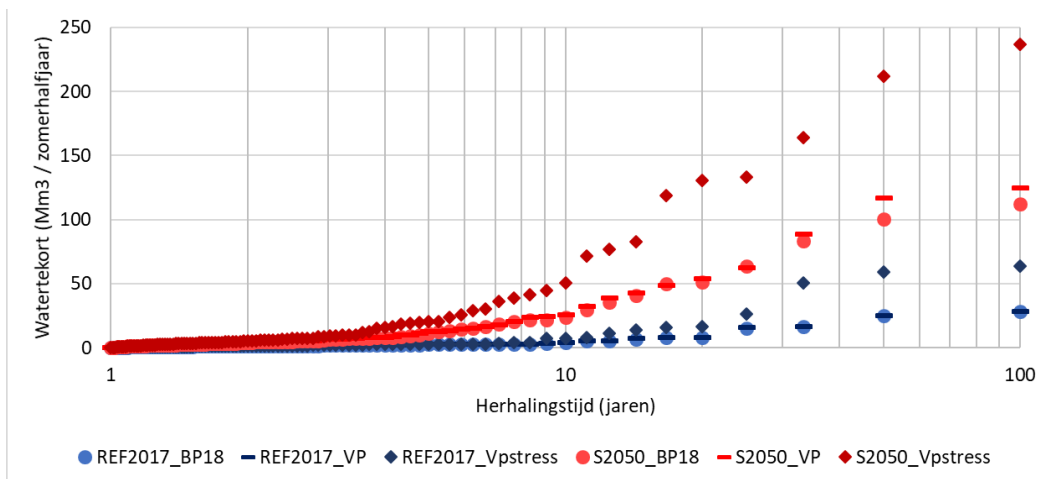
Watervraag		Verandering gemiddeld watervraag ten opzichte van het Voorkeurspakket (VP)								
Gemiddeld		totaal	totaal		peilbeheer		doorspoeling		berekening	
		Mm3/jaar	Mm3/jaar	%	Mm3/jaar	%	Mm3/jaar	%	Mm3/jaar	%
REF2017	VPowd	617	33	6%	33	13%	0	0%	0	0%
REF2017	VPstress	616	32	6%	32	13%	0	0%	0	-1%
S2050	VPowd	601	56	10%	60	19%	0	0%	-4	-7%
S2050	VPstress	601	56	10%	59	19%	0	0%	-3	-6%

Extreem droog jaar		totaal	totaal		peilbeheer		doorspoeling		berekening	
		Mm3/jaar	Mm3/jaar	%	Mm3/jaar	%	Mm3/jaar	%	Mm3/jaar	%
REF2017	VPowd	968	90	10%	90	18%	0	0%	0	0%
REF2017	VPstress	970	92	10%	90	18%	0	0%	2	2%
S2050	VPowd	1031	149	17%	153	28%	0	0%	-3	-2%
S2050	VPstress	1040	159	18%	156	28%	0	0%	2	1%

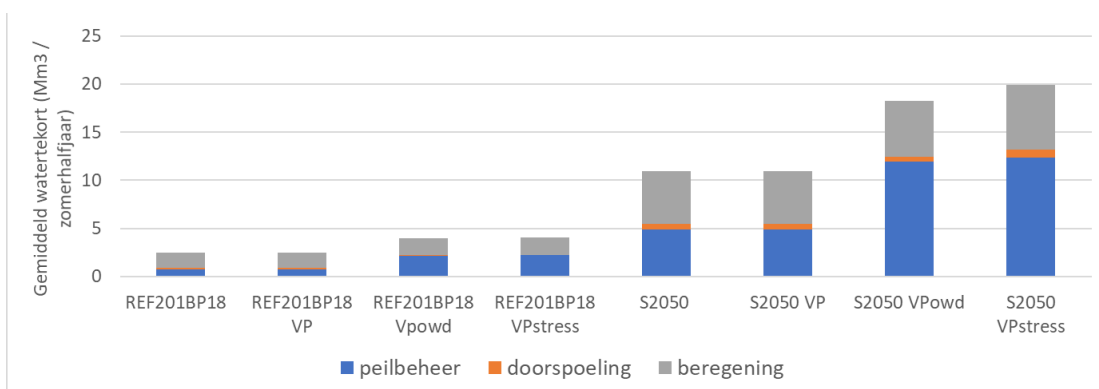
Tabel E.2 Verandering van het gemiddelde watertekort in het zomerhalfjaar ten opzichte van het Voorkeurspakket (VP) voor het voorzieningsgebied Bovenrivieren. Boven: gemiddeld over 100 jaar, onder: extreem droog jaar 1976.

Watertekort		Verandering gemiddeld watertekort ten opzichte van het Voorkeurspakket (VP)								
Gemiddeld		totaal	totaal		peilbeheer		doorspoeling		berekening	
		Mm3/jaar	Mm3/jaar	%	Mm3/jaar	%	Mm3/jaar	%	Mm3/jaar	%
REF2017	VPowd	4	1	60%	1	180%	0	7%	0	6%
REF2017	VPstress	4	2	62%	1	185%	0	-28%	0	10%
S2050	VPowd	18	7	66%	7	146%	0	-21%	0	5%
S2050	VPstress	20	9	82%	8	154%	0	44%	1	21%

Extreem droog jaar		totaal	totaal		peilbeheer		doorspoeling		berekening	
		Mm3/jaar	Mm3/jaar	%	Mm3/jaar	%	Mm3/jaar	%	Mm3/jaar	%
		REF2017	VPowd	58	33	134%	32	198%	0	0%
REF2017	VPstress	63	39	157%	34	208%	0	0%	4	52%
S2050	VPowd	189	73	63%	70	141%	-2	-26%	5	9%
S2050	VPstress	212	96	82%	76	153%	3	32%	16	28%



Figuur E.1 Herhalingstijd watertekort voor voorzieningsgebied Bovenrivieren, in Mm3 per zomerhalfjaar.



Figuur E.2 Gemiddeld watertekort in miljoen m^3 /zomerhalfjaar peilbeheer, doorspoeling en beregening voor het voorzieningsgebied Bovenrivieren voor de scenario's Ref2017 en Stoom2050 voor de situatie met en zonder Voorkeurspakket (VP), gecombineerd met onderwaterdrainage (VPowd) en gecombineerde stresspunten (VPstress).

Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor mens, milieu en maatschappij.

Deltares

www.deltares.nl