Deltares

Een verkenning van de effecten van kansrijke maatregelen op waterverdeling, scheepvaart en landbouw

Deelrapport Deltaprogramma Zoetwater 2019

Een verkenning van de effecten van kansrijke maatregelen op waterverdeling, scheepvaart en landbouw

Deelrapport Deltaprogramma Zoetwater 2019

Auteur(s)

Joost Delsman

Klaudia Horváth

Tess op den Kelder

Simon Buijs

Eveline van der Deijl

Jurjen de Jong

Martijn Visser

Een verkenning van de effecten van kansrijke maatregelen op waterverdeling, scheepvaart en landbouw
Deelrapport Deltaprogramma Zoetwater 2019

Opdrachtgever	RWS-WVL
Trefwoorden	Deltaprogramma Zoetwater, maatregelen, verkenning, hydrologie, landbouw, scheepvaart, risicobenadering

Documentgegevens	
Versie	1.0
Datum	18-02-2020
Projectnummer	11203734-005
Document ID	11203734-004-ZWS-0007
Pagina's	172
Status	definitief

Auteur(s)		
	Joost Delsman	

Doc. Versie	**Auteur**	**Controle**	**Akkoord**	**Publicatie**
1.0	Joost Delsman	Judith ter Maat	Harm Duel	
	Klaudia Horváth			
	Tess op den Kelder			
	Simon Buijs			
	Eveline van der Deijl			
	Jurjen de Jong			
	Martijn Visser			

Samenvatting

Als bouwsteen voor het komen tot voorkeurspakketten van maatregelen, zijn in dit rapport de effecten van 25 door de zoetwaterregio's aangemerkte kansrijke maatregelen verkend. De effecten op de waterverdeling, scheepvaartschade op de corridor Rotterdam – Lobith en droogteschade landbouw als gevolg van beregeningstekorten zijn hierbij beschouwd. Door de zoetwaterregio's van het Deltaprogramma Zoetwater zijn 86 kansrijke maatregelen aangeleverd. Hiervan zijn 47 maatregelen geselecteerd. Van deze maatregelen waren gegevens beschikbaar om het effect te kunnen bepalen, en kon deze verkenning additionele informatie op leveren bovenop de door de regio's aangeleverde informatie. Deze 47 maatregelen zijn op basis van inhoudelijke overlap geclusterd tot 25 maatregelen.

De maatregelen zijn verkend met de instrumenten QWAST, Regioscan Zoetwatermaatregelen, ontwikkelde schaderelaties voor scheepvaart (corridor Nijmegen – Lobith) en landbouw (droogteschade als gevolg van beregeningstekorten), en maatwerk. De maatregelen zijn geanalyseerd voor de huidige situatie (REF2017) en het Deltascenario Stoom in 2050 (STOOM2050), het scenario dat leidt tot de grootste watertekorten. In de analyse is de periode 1974 – 2003 beschouwd, en is gebruik gemaakt van de risicobenadering.

De beschouwde maatregelen kennen geen of positieve welvaartseffecten op droogteschade landbouw. Het welvaartseffect scheepvaart is juist veelal negatief. Voor een belangrijk deel van de maatregelen traden deze welvaartseffecten alleen op in droge tot extreem droge jaren. Het berekende welvaartseffect scheepvaart is kleiner dan het berekende welvaartseffect landbouw. Dit komt met name doordat het grootste knelpunt voor de scheepvaart bij Nijmegen ligt, en dit knelpunt door de beschouwde maatregelen in de berekeningen niet wordt beïnvloed. Andere maatschappelijke baten zijn kwalitatief beschouwd.

Deze maatregelverkenning is uitgevoerd met instrumenten om relatief snel een eerste orde grootte van het effect op de waterverdeling en de (op landelijke schaal) belangrijkste welvaartseffecten te bepalen. De onzekerheid om de berekende getallen is niet onderzocht. De resultaten van deze maatregelverkenning zijn dan ook vooral geschikt als eerste inschatting van de welvaartseffecten van de beschouwde maatregelen. Maatregelen zijn alleen losstaand beschouwd. Niet alle maatregeleffecten zijn echter optelbaar, noch is het cumulatieve effect van maatregelen op optredende watertekorten onderzocht. Het verdient aanbeveling resultaten van de verkenning te toetsen aan resultaten van het Nationaal Water Model, en effecten van maatregelen ook in combinatie te verkennen.

Inhoud

	Samenvatting	**4**
1	**Inleiding**	**8**
1.1	Maatregelverkenning in Deltaprogramma Zoetwater	8
1.2	Doelstelling en uitgangspunten Maatregelverkenning Hydrologie, scheepvaart en Landbouw	9
1.3	Opzet rapportage	10
2	**Selectie maatregelen**	**11**
2.1	Inleiding	11
2.2	Gevolgde procedure	11
2.3	Overzicht geselecteerde maatregelen	11
2.4	Geclusterde maatregelen in Maatregelverkenning	13
3	**Methode**	**14**
3.1	Inleiding	14
3.2	QWAST	15
3.3	Regioscan Zoetwatermaatregelen	15
3.4	Maatwerk	16
3.5	Schaderelatie scheepvaart	17
3.6	Schaderelatie droogteschade landbouw	17
4	**Resultaten**	**19**
4.1	Inleiding	19
4.2	Hydrologische effecten	19
4.3	Welvaartseffect scheepvaart	24
4.4	Welvaartseffect droogteschade landbouw	25
4.5	Resultaten Regioscan Zoetwatermaatregelen	26
4.6	Totaal welvaartseffect	27
4.7	Kwalitatieve baten	30
5	**Discussie en conclusies**	**32**
5.1	Discussie	32
5.2	Combinaties van maatregelen	33
5.3	Conclusies	33
5.4	Aanbevelingen	34
6	**Referenties**	**35**
A	**Analyse per verkende maatregel**	**36**
A.1	Q1 – Capaciteitsvergroting inlaat Hoogland	37
A.2	Q2 – Aanvoercapaciteit oostelijke kanalen en gemalen	40
A.3	Q3 – Zoutlekbestrijding sluizen Delfzijl en Harlingen	46
A.4	Q5 – Optimaliseren inlaten en waterverdeling Rivierenland	52
A.5	Q6 – Onderwaterdrainage in veengebieden Rivierenland	57
A.6	Q7 – Afvoer Hagestein	61
A.7	Q8 – Internationale samenwerking met Duitsland	65
A.8	Q9 – Slimmer gebruik van water in de keten	69

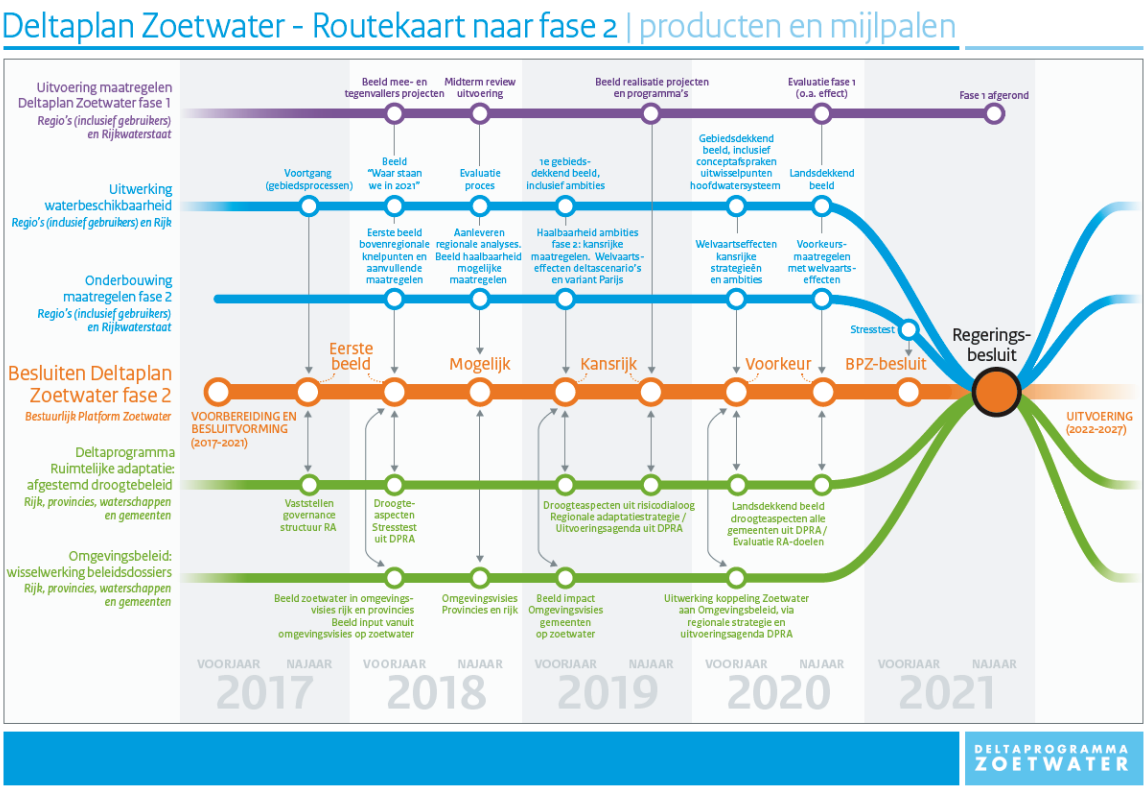
A.9	Q10 – Inlaatwerk Kromme Rijn	73
A.10	Q11 – Temmen van brakke kwel	76
A.11	Q12 – Hergebruik effluent RWZI's	82
A.12	Q13 – Robuuste doorvoer Krimpenerwaard	88
A.13	Q14 – Uitbreiden KWA (KWA++)	94
A.14	Q15 – Slimmer doorspoelen zoute polders	99
A.15	M1 – Optimaliseren inlaten Noorderzijlvest	104
A.16	M3 – Schutmaatregelen Maas	106
A.16.1	Methodiek	106
A.16.2	Conclusies algemeen	107
A.16.3	Conclusies 14a: Hevelend schutten bij Born (14a)	108
A.16.4	Conclusies 14b: Spaarbekkens bij Born en Maasbracht	110
A.16.5	Conclusies 14c: Circulair pompen	112
A.17	M4 – Flexibel en dynamisch peilbeheer regio West	113
A.18	M5 – Vergroten inlaatvenster Brielse Meer	113
A.19	M6 – Alternatieve aanvoer Oostflakkee	117
A.20	M7 – Slim Regionaal Waterbeheer	119
A.21	M8 – Gebruik externe waterbronnen	121
A.22	R1 – Regionale maatregelen Hoge Zandgronden	124
A.23	R2 – Verziltingsbestrijding Noordelijk Zeekleigebied	128
A.24	R3 – Stimuleringsregeling waterbesparende maatregelen agrariërs en actieve voorraadvorming – Rivierenland	131
A.25	R4 – Spaarwatermaatregelen Noord-Holland	134
A.26	R5 – Uitrollen proeftuin zoetwater	137
B	**Eenvoudige scheepvaartrelatie voor vaarkosten op de Waal**	**141**
B.1	Analyse vaarbewegingen Nijmegen	141
B.2	Bepaling toename vaarbewegingen door ladingreductie	142
B.3	Eenvoudige scheepvaartrelaties voor St. Andries	144
B.4	Eenvoudige scheepvaartrelaties S2050	145
B.5	Samenvatting, conclusies en aanbevelingen	146
C	**Eenvoudige schaderelatie droogteschade landbouw**	**148**
C.1	Inleiding	148
C.2	Relaties	148
C.3	Gebruik	150
C.3.1	Relaties afleiden – schaderelatie_derive.py	150
C.3.2	Relaties toepassen – schaderelatie_apply.py	150
D	**Toename van pomp en vaarkosten door droogte bij Maasbracht en Born**	**152**
D.1	Methodiek	152
D.1.1	Afbakening	152
D.1.2	Bepaling optimale schutdebiet	153
D.1.3	Bepaling afvoertekort	153
D.1.4	Laagwaterbeleid	154
D.1.5	Pompkosten	155
D.1.6	Kosten door toename wachttijden	155
D.2	Resultaten klimaatscenario's	156
D.2.1	Waterbeschikbaarheid Eijsden	156
D.2.2	Laagwaterbeleid	157
D.2.3	Resultaten Referentie	157
D.2.3.1.	Afvoertekort	158
D.2.3.2.	Toename wachttijden	160
D.2.3.3.	Toename kosten	161

D.2.4	Resultaten Stoom	162
D.2.4.1.	Afvoertekort	162
D.2.4.2.	Toename kosten	163
D.2.5	Vergelijking scenario’s en terugkeertijden	163
D.2.6	Verschillen tussen laagwaterbeleid	164
D.3	Onderzoek naar maatregelen	166
D.3.1	Hevelend schutten (14a)	166
D.3.1.1.	Introductie en aannames	166
D.3.1.2.	Resultaten	166
D.3.2	Spaarbekkens (14b)	168
D.3.2.1.	Introductie en aannames	168
D.3.2.2.	Resultaten	168
D.3.3	Circulair pompen (14c)	170
D.3.3.1.	Introductie en aannames	170
D.3.3.2.	Resultaten	170
D.4	Conclusies en aanbevelingen	171
D.5	Referenties	171

1 Inleiding

1.1 Maatregelverkenning in Deltaprogramma Zoetwater

In het Deltaprogramma Zoetwater fase II (DPZW) wordt toegewerkt naar een regeringsbesluit in 2021. Dit loopt via een iteratief proces van het maken van een eerste beeld (2017/2018), naar het selecteren van mogelijke (2018) en kansrijke (2019) maatregelen en adaptatiepaden, en een voorkeursbesluit in 2020. Tegelijkertijd vindt een herijking van de Deltabeslissingen en de voorkeurstrategieën uit Deltaprogramma fase I plaats. In 2021 neemt de regering een besluit over de herijkte Deltabeslissingen, voorkeursstrategieën en het uitvoeringsprogramma voor de periode 2022-2028.



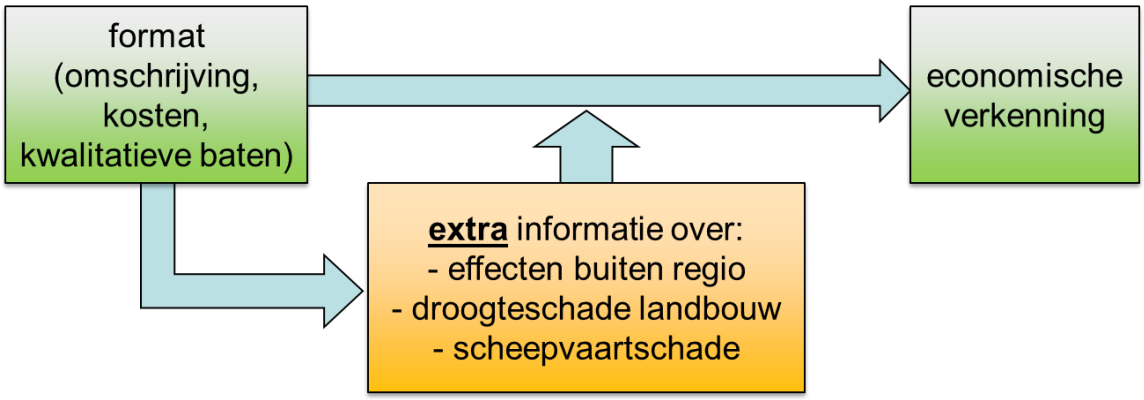
Figuur 1.1 De routekaart van het Deltaprogramma Zoetwater fase 2.

Het Deltaprogramma Zoetwater zit nu in de fase om van kansrijke maatregelen te komen tot voorkeursstrategieën (zie routekaart in Figuur 1.1). Onderdeel van dit proces is een economische verkenning, waarin puur op basis van door de regio aangedragen maatschappelijke kosten en baten van kansrijke maatregelen een maatregelpakket wordt opgesteld. Dit 'economisch maatregelpakket' is een van de maatregelpakketten die worden doorgerekend binnen de uit te voeren MKBA.

1.2 Doelstelling en uitgangspunten Maatregelverkenning Hydrologie, scheepvaart en Landbouw

De zoetwaterregio's leveren als basis voor deze economische verkenning informatie aan over kansrijke maatregelen, in de zogeheten (eckb) formats. Deze formats bevatten informatie over de reikwijdte van de maatregel, de kosten voor implementatie van de maatregel, en veelal kwalitatieve (plussen en minnen) informatie over de baten van de maatregel.

De doelstelling van de 'Maatregelverkenning Hydrologie, Scheepvaart en Landbouw' (verder in deze rapportage: Maatregelverkenning Hydrologie) is het verkennen van de eerste orde effecten van zoetwatermaatregelen die door de zoetwaterregio's zijn voorgesteld voor het uitvoergingsprogramma 2022-2028 van het Deltaprogramma Zoetwater. De analyse richt zich op de hydrologische effecten, welvaartseffect scheepvaart en welvaartseffect landbouw. De resultaten van deze verkenning zijn aanvullend op de door de zoetwaterregio's aangeleverde informatie over de maatregelen. De resultaten van de Maatregelverkenning Hydrologie zijn toeleverend aan de economische verkenning binnen het DPZW.



Figuur 1.2 Schematische weergave bijdrage Maatregelverkenning Hydrologie (oranje blok) aan de economische verkenning.

De Maatregelverkenning Hydrologie betreft daadwerkelijk een verkenning. Voor het evalueren van de aangedragen maatregelen worden dan ook instrumenten gebruikt die snel en grofstoffelijk inzicht geven in de te verwachten belangrijkste effecten. De maatregelen worden dan ook niet met het uitgebreide modelinstrumentarium (Nationaal Water Model (NWM)) en effectmodules (AGRICOM voor landbouw, BIVAS voor scheepvaart, etc.) doorgerekend.

Voor deze verkennende berekeningen gelden de volgende uitgangspunten:

- De maatregelen worden alleen afzonderlijk beschouwd; er wordt niet gekeken naar combinaties van maatregelen,
- Effecten van maatregelen worden berekend voor REF2017 (Referentie, huidige situatie na implementatie maatregelen DPZW fase 1) en STOOM2050 (Deltascenario Stoom, zichtjaar 2050), als hoekpunten van mogelijke toekomstige omstandigheden in zichtjaar 2050 (klimaat en socio-economisch),
- REF2017 geeft daarbij niet alleen het effect bij de huidige omstandigheden, maar geldt ook als indicatief voor de Deltascenario's Druk en Rust voor zichtjaar 2050,
- STOOM2050 is gekozen als Deltascenario met de grootste optredende knelpunten. STOOM2050 komt sinds de herziening van de Deltascenario's naar voren als scenario met de grootste knelpunten, met name doordat in de herziening rekening is gehouden met

autonome adaptatie wat betreft beregeningsareaal en doorspoelhoeveelheden (Mens et al., 2019). Voor de herziening van de Deltascenario's traden de grootste knelpunten op in Deltascenario Warm, dit scenario is in meerdere studies dan ook gebruikt om de grootste knelpunten in beeld te brengen (bijvoorbeeld Mens et al., 2018),

- Als rekenperiode wordt 1974 – 2003 gehanteerd, een periode waarover gemiddelde watertekorten, gemiddelde scheepvaartkosten en gemiddeld landbouwopbrengstderving vrij goed overeenkomen met die op basis van een honderdjarige reeks,
- Er wordt alleen gekeken naar zichtjaar 2050,
- Implementatie van maatregelen wordt niet gedifferentieerd binnen deze periode, alle maatregelen worden aangenomen volledig of met maximaal areaal te zijn geïmplementeerd,
- Qua waterverdeling vindt er geen terugkoppeling plaats met de opgegeven watervraag. Dat wil zeggen: de watervraag in een bepaalde tijdstap wordt niet beïnvloed door het watertekort in de voorgaande tijdstap.
- Waterverdeling, watervraag en tekorten worden op een grovere ruimtelijke schaal (belangrijkste trajecten in het hoofdwatersysteem en 17 zoetwaterregio's) beschouwd,
- Inlaatbeperkingen in het regionale systeem (districts-inlaatcapaciteiten) zijn aangenomen te zijn opgelost, om zoveel mogelijk het maximale effect van een maatregel te beschouwen,
- Door zoetwaterregio's aangegeven effecten van maatregelen zijn zoveel mogelijk direct geïmplementeerd als maatregel, er heeft geen beschouwing plaatsgevonden of het aangegeven effect inderdaad plausibel is en/of voldoende onderbouwd,
- Voor scheepvaartschade wordt alleen de corridor Rotterdam – Lobith beschouwd, beschreven met een eenvoudige scheepvaartrelatie,
- Voor landbouwschade wordt alleen droogteschade beschouwd als gevolg van wel of niet optredende beregeningstekorten uit oppervlaktewater in gebieden waar wateraanvoer mogelijk is, beschreven met een eenvoudige relatie.

1.3 Opzet rapportage

De beoogde lezers van deze rapportage zijn direct (inhoudelijk) betrokkenen bij het DPZW. Deze rapportage veronderstelt veel achtergrondinformatie, en terminologie gehanteerd binnen het DPZW als bekend bij de lezer.

In de Maatregelverkenning Hydrologie is veel informatie verzameld over de effecten van de verschillende maatregelen. Deze worden voor elke maatregel afzonderlijk beschreven in een beknopte factsheet (bijlage A). De rapportage zelf is beknopt gehouden en beschrijft achtereenvolgens het gevolgde proces om tot de geselecteerde maatregelen te komen (hoofdstuk 2), de methode om de maatregelen door te rekenen en de daarbij gebruikte instrumenten (hoofdstuk 3), de resultaten van de verkenning in met name samenvattende tabellen (hoofdstuk 4), en een discussie over de resultaten (hoofdstuk 5). Onderdeel van de discussie is ook een beschouwing over in hoeverre effecten van de maatregelen 'optelbaar' zijn.

2 Selectie maatregelen

2.1 Inleiding

Door de zoetwaterregio's is een groslijst aan kansrijke maatregelen opgesteld. Niet al deze maatregelen konden in deze verkenning worden doorgerekend. Van maatregelen moest een concreet effect bekend zijn, en doorrekening met de in de verkenning beschikbare instrumenten moest een meerwaarde opleveren (informatie bovenop de aangeleverde informatie). Vervolgens heeft voor de berekening een clustering plaatsgevonden van maatregelen, waarbij soortgelijke maatregelen waar mogelijk in één berekening zijn samengevoegd.

2.2 Gevolgde procedure

De zoetwaterregio's hadden tot 1 april de tijd om een eerste versie maatregelinformatie aan te leveren. De door de zoetwaterregio's aangeleverde maatregelen zijn als leidend genomen in deze verkenning. Door de zoetwaterregio's zijn 86 maatregelen in eckb-format aangeleverd. Niet al deze maatregelen konden worden meegenomen in de maatregelverkenning.

De volgende selectiecriteria zijn gehanteerd:
- Maatregelverkenning leidt tot additionele informatie bovenop aangeleverd format
- Effecten van de maatregel zijn concreet gemaakt (het betreft geen onderzoek of pilot)

Na toepassing van deze selectiecriteria zijn 47 maatregelen geselecteerd om meegenomen te worden in de maatregelverkenning. De selectie is op 17 mei 2019 teruggekoppeld naar de zoetwaterregio's.

De 47 maatregelen zijn vervolgens geclusterd tot 26 berekeningen in de maatregelverkenning. Clustering heeft daarbij plaatsgevonden wanneer eenzelfde type maatregel door meerdere regio's werd aangedragen.

2.3 Overzicht geselecteerde maatregelen

Tabel 2.1 geeft een overzicht van de geselecteerde maatregelen voor doorrekening in de hydrologische maatregelverkenning.

Tabel 2.1 Geselecteerde maatregelen.

Zoetwaterregio	Code	Naam maatregel zoetwaterregio
Hoge Zandgronden	HZS01	S01: klimaatrobuust inrichten regionaal oppervlaktewatersysteem
Hoge Zandgronden	HZS02	S02: sloten en greppels dempen of drainage verwijderen
Hoge Zandgronden	HZS03	S03: sloten en greppels verondiepen of afdammen
Hoge Zandgronden	HZS04	S04: drainage omzetten in peilgestuurde drainage
Hoge Zandgronden	HZS05	S05: tijdelijk peil opzetten
Hoge Zandgronden	HZS13	S13: verbeteren bodemgezondheid, -structuur, organische stof
IJsselmeer	IJM8	(onderzoek) anti-verziltingsmaatregelen sluis Harlingen
IJsselmeer	IJM3	Anti-verziltingsmaatregelen in het noordelijk zeekleigebied
IJsselmeer	IJM4	Optimaliseren doorspoelen polders

IJsselmeer	IJM5	Uitbreiding inlaatvoorziening IJsselmeer (Hoogland)
IJsselmeer	IJM6	Uitbreiding aanvoercapaciteit naar oostelijke regio's
IJsselmeer	IJM10	Optimaliseren beheer (doorspoelen) NZK/ARK
IJsselmeer	IJM7	Verminderen zoutlek scheepvaartsluis Delfzijl
IJsselmeer	IJM20	Optimalisering inlaten Noorderzijlvest
WS Rivierenland	RL1	Stimuleringsregeling waterbesparende maatregelen agrariërs
WS Rivierenland	RL2	Optimaliseren inlaten en waterverdeling
WS Rivierenland	RL3	Onderwaterdrainage in veengebieden
WS Rivierenland	RL4	Stimuleringsregeling: onderzoek actieve voorraadvorming
RWS	RWS1	Afvoer Hagestein
RWS	RWS2	Slim watermanagement in het Hoofdwatersysteem
RWS-Maas	RWS14a	Hevelend schutten
RWS-Maas	RWS14b	Schutten met spaarbekkens
RWS-Maas	RWS14c	Circulair pompen
RWS-Maas	RWS20a	Internationale samenwerking met Duitsland omtrent afvoer Roer
RWS-Maas	RWS27	Slimmer gebruik van water in de keten (vermindering drinkwatergebruik)
West	W1	Inlaatwerk Kromme Rijn
West	W2	Slimmer doorspoelen
West	W3	Flexibel en dynamisch peilbeheer
West	W8	Temmen van brakke kwel
West	W9	Spaarwater[2]
West	W10	Hergebruik effluent algemeen
West	W11	Hergebruik effluent – WSHD
West	W12	Hergebruik effluent – Delfland
West	W15	Robuuste doorvoer Krimpenerwaard
West	W16	Stimuleren zuiniger omgaan met drinkwater huishoudens
West	W18	Uitbreiden KWA tot KWA++
West	W19	Vervolgmaatregel Brielse Meer (vergroten inlaatvenster)[1]
West	W20	Optimalisatie watersysteem Oost-Flakkee[1]
West	W21	Slim Waterbeheer (onder meer automatisatie kunstwerken)
ZWD	ZWD1	Slim regionaal water (onder meer automatisatie kunstwerken)
ZWD	ZWD2	Hergebruik effluent van verschillende RWZIs
ZWD	ZWD3	Slimmer doorspoelen zoute polders
ZWD	ZWD4	Uitrollen van proeftuin (POP)
ZWD	ZWD5	Optimalisatie van watersysteem
ZWD	ZWD6	Gebruik van externe waterbronnen
ZWD	ZWD12	Alternatieve aanvoer Oost-Flakkee (maatregel D4)[1]
ZWD	ZWD13	Brielse Meer (vervolgmaatregel) (vergroten inlaatvenster)[1]

[1] Deze maatregel is door Waterschap Hollandse Delta in beide regio's waar zij onderdeel van uitmaakt opgegeven.

[2] Deze maatregel was onderdeel van de aangeleverde factsheets van zoetwaterregio West. Qua gebied hoort deze maatregel bij zoetwaterregio IJsselmeer.

2.4 Geclusterde maatregelen in Maatregelverkenning

Tabel 2.2 geeft de maatregelen die zijn doorgerekend in de maatregelverkenning. Hierbij heeft een clustering plaatsgevonden van gelijksoortige maatregelen, deze clustering is aangegeven in Tabel 2.2. Hierbij zijn bijvoorbeeld alle verschillende 'slimmer doorspoelen' maatregelen in één doorgerekende maatregel uitgewerkt. Aanname hierbij is dat de effecten elkaar niet overlappen, omdat de onderliggende maatregel in verschillende regio's geldt. Er is daarnaast sprake van maatregelen afkomstig van een waterschap dat deel uitmaakt van meerdere regio's, waardoor dezelfde maatregel door verschillende zoetwaterregio's als kansrijk is aangemerkt.

Tabel 2.2 Geclusterde maatregelen.

Code	Maatregel	(combinatie van) maatregelen
M01	Optimalisering inlaten Noorderzijlvest	IJM20
M02	Slim Watermanagement Hoofdwatersysteem	RWS2
M03	Schutmaatregelen Maas	RWS14a, RWS14b, RWS14c
M04	Flexibel en dynamisch peilbeheer	W3
M05	Vergroten inlaatvenster Brielse Meer	W19, ZWD13
M06	Alternatieve aanvoer Oost Flakkee	W20, ZWD12
M07	Optimalisatie van regionaal watersysteem	ZWD1, W21
M08	Gebruik van externe waterbronnen	ZWD6
Q01	Capaciteitsvergroting gemaal Hoogland	IJM5
Q02	Uitbreiding aanvoercapaciteit naar oostelijke regio's	IJM6
Q03	Zoutlekbestrijding sluizen Delfzijl, Harlingen	IJM7, IJM8
Q04	Optimaliseren beheer (doorspoelen) NZK/ARK	IJM10
Q05	Optimaliseren inlaten en waterverdeling	RL2
Q06	Onderwaterdrainage in veengebieden	RL3
Q07	Afvoer Hagestein	RWS1
Q08	Internationale samenwerking met Duitsland (afvoer Roer)	RWS20a
Q09	Vermindering drinkwatergebruik	RWS27, W16
Q10	Inlaatwerk Kromme Rijn	W1
Q11	Temmen van brakke kwel	W8
Q12	Hergebruik Effluent RWZI's	W10, W11, W12, ZWD2
Q13	Robuuste Doorvoer Krimpenerwaard	W15
Q14	Uitbreiden KWA (KWA++)	W18
Q15	Slimmer doorspoelen zoute polders	ZWD3, W2, IJM4
R01	Klimaatrobuust inrichten regionaal systeem	HZS01, HZS02, HZS03, HZS04, HZS05, HZS13
R02	Anti-verziltingsmaatregelen in het noordelijk zeekleigebied	IJM3
R03	Stimuleringsregeling waterbesparende maatregelen agrariërs en voorraadvorming Rivierenland	RL1, RL4
R04	Spaarwater Noord-Holland	W9
R05	Uitrollen van proeftuin (POP)	ZWD4, ZWD5

3 Methode

3.1 Inleiding

In de hydrologische maatregelverkenning zijn verschillende instrumenten ingezet om effecten op hydrologie, scheepvaart en landbouw te kunnen bepalen. Niet alle maatregelen konden namelijk met hetzelfde instrument worden doorgerekend. Tabel 3.1 geeft per geselecteerde maatregel het toegepaste type berekening. Om de onderlinge vergelijkbaarheid tussen de verschillende rekenwijzen zo groot mogelijk te maken, zijn uitgangspunten (rekenperiode, doorgerekende scenario's) zoveel mogelijk gelijk gehouden.

In de hydrologische maatregelverkenning wordt gebruik gemaakt van de risicobenadering: door het doorrekenen van een langere tijdsperiode kan gekeken worden naar kans en effect van droogtesituaties. Bij het bepalen van de welvaartseffecten wordt deze kans beschouwd: de gepresenteerde effecten zijn gemiddeld over de gehele tijdsperiode. De gemiddelde effecten zijn daarmee veelal een orde kleiner dan in eerdere studies gepresenteerd voor alleen droge en extreem droge jaren (bijvoorbeeld Ter Maat et al., 2014).

Tabel 3.1 Type berekening voor geselecteerde maatregelen.

Code	Maatregel	Type berekening
M01	Optimalisering inlaten Noorderzijlvest	Maatwerk, schaderelatie landbouw
M02[1]	Slim Watermanagement Hoofdwatersysteem	Maatwerk[1]
M03	Verschillende maatregelen om langer te kunnen schutten	Maatwerk
M04	Flexibel en dynamisch peilbeheer	Afgevallen[2]
M05	Vergroten inlaatvenster Brielse Meer	Maatwerk
M06	Alternatieve aanvoer Oost Flakkee	Maatwerk, schaderelatie landbouw
M07	Optimalisatie van regionaal watersysteem	Maatwerk, schaderelatie landbouw
M08	Gebruik van externe waterbronnen	Maatwerk, schaderelatie landbouw
Q01	Capaciteitsvergroting gemaal Hoogland	Distributiemodel en schaderelaties
Q02	Uitbreiding aanvoercapaciteit naar oostelijke regio's	QWAST en schaderelaties
Q03	Zoutlekbestrijding sluizen Delfzijl, Harlingen	QWAST en schaderelaties
Q04[2]	Optimaliseren beheer (doorspoelen) NZK/ARK	Afgevallen[3]
Q05	Optimaliseren inlaten en waterverdeling	QWAST en schaderelaties
Q06	Onderwaterdrainage in veengebieden	QWAST en schaderelaties
Q07	Afvoer Hagestein	QWAST en schaderelaties
Q08	Internationale samenwerking met Duitsland (afvoer Roer)	QWAST en schaderelaties
Q09	Vermindering drinkwatergebruik	QWAST en schaderelaties
Q10	Inlaatwerk Kromme Rijn	QWAST en schaderelaties
Q11	Temmen van brakke kwel	QWAST en schaderelaties

Q12	Hergebruik Effluent RWZI's	QWAST en schaderelaties
Q13	Robuuste Doorvoer Krimpenerwaard	QWAST en schaderelaties
Q14	Uitbreiden KWA (KWA++)	QWAST en schaderelaties
Q15	Slimmer doorspoelen zoute polders	QWAST en schaderelaties
R01	Klimaatrobuust inrichten regionaal systeem	Regioscan
R02	Anti-verziltingsmaatregelen in het noordelijk zeekleigebied	Regioscan
R03	Stimuleringsregeling waterbesparende maatregelen agrariërs en voorraadvorming	Regioscan
R04	Spaarwater Noord-Holland	Regioscan
R05	Uitrollen van proeftuin (POP)	Regioscan

[1] De resultaten van de maatwerkanalyse voor Slim Watermanagement Hoofdwatersysteem worden apart gerapporteerd.
[2] Voor deze maatregel kon bij nadere analyse geen additionele informatie worden bepaald.
[3] Voor deze maatregel is uiteindelijk geen factsheet aangeleverd; de maatregel is daarom verder niet beschouwd.

3.2 QWAST

QWAST (Quick Water Allocation Scan Tool) is een waterverdelingsmodel dat specifiek is ontwikkeld om snelle analyses naar de waterverdeling in Nederland mogelijk te maken. QWAST beschrijft de waterverdeling in het hoofdwatersysteem in Nederland op basis van verdeelregels en prioriteiten voor watervragen. De in QWAST opgenomen watervragen zijn overgenomen uit de NWM berekeningen voor de Basisprognose 2018 (Mens et al., 2019). Anders dan het in NWM toegepaste Distributiemodel, optimaliseert QWAST de waterverdeling over het seizoen, op basis van de voorspelde watervraag en het aanbod. Dit komt met name tot uitdrukking in het IJsselmeerpeil, dat in QWAST bijvoorbeeld hoger gehouden kan worden in een tijdstap, omdat enkele tijdstappen later een grote vraag uit de regio verwacht wordt.

Een eerste prototype van QWAST is beschreven in Hendriks & Gijsbers (2016), de doorontwikkelde versie die is toegepast in de maatregelverkenning voor DPZW in 2018 (Mens, Delsman, et al., 2018) is beschreven in Gijsbers & Ten Velden (2017). Dit jaar is voor toepassing binnen de hier beschreven maatregelverkenning een aparte validatie uitgevoerd (Becker & Gijsbers, 2019).

In QWAST worden geen beperkingen in inlaatcapaciteiten van districten verondersteld, omdat is verondersteld dat dergelijke beperkingen, vaak in kleine kunstwerken, in lopend beheer worden opgelost wanneer ze tot tekorten leiden. Verder is er in QWAST geen terugkoppeling mogelijk van wel of niet optredende watertekorten naar de latere watervraag (optredend in daaropvolgende tijdstappen), bijvoorbeeld doordat peiluitzakkingen leiden tot veranderende grondwaterstanden en daarmee tot een veranderde watervraag. De rekenperiode voor QWAST is 1974 – 2003.

3.3 Regioscan Zoetwatermaatregelen

De Regioscan Zoetwatermaatregelen (verder: Regioscan) is een instrument om een inschatting te geven van effect, kosten en baten van zoetwatermaatregelen op landbouwbedrijven. Het instrument berekent het effect van verschillende drainagemaatregelen (onder meer regelbare drainage, anti-verziltingsdrainage), slootmaatregelen (perceelstuwen, slootbodemverhoging), opslagmaatregelen (Aquifer Storage and Recovery, freshmaker, kreekruginfiltratie), bodemverbetering, en toedieningsmaatregelen (beregening, druppelirrigatie) op de

gewasopbrengst op landbouwpercelen en zet deze af tegen de kosten voor deze maatregelen (Delsman, Boekel, et al., 2018; Delsman, Reinhard, et al., 2018).

In 2019 is een landsdekkende versie van de Regioscan beschikbaar gekomen. Deze versie is gebaseerd op de hydrologische informatie uit de berekeningen van de Basisprognose 2018 (Mens et al., 2019). Deze hydrologische invoer is beschikbaar voor de scenario's REF2017 en STOOM2050, voor de periode 1974 – 2003. In de berekeningen voor de hydrologische maatregelverkenning is, anders dan gebruikelijk in Regioscan berekeningen, geen discontovoet gehanteerd in de Regioscan. Dit is gedaan om alle hydrologische jaren een gelijk gewicht te geven.

Voor de maatregelen waar de Regioscan voor wordt ingezet is veelal sprake van een pakket aan verschillende maatregelen. In de Regioscan is de netto baten-kosten ratio (baten minus kosten, gedeeld door kosten) voor de agrariër als leidend verondersteld voor de keuze van een specifieke maatregel. Als op een bepaalde locatie meerdere maatregelen kunnen worden genomen, is aangenomen dat de maatregel met de hoogste netto baten-kosten ratio door een agrariër wordt geïmplementeerd. Verder is aangenomen dat het areaal waarop bepaalde maatregelen worden genomen, afhangt van een positieve netto baten-kosten ratio voor de agrariër. Kort gezegd: maatregelen worden alleen genomen als het 'uit kan' voor de agrariër. Het areaal waarop bepaalde maatregelen worden genomen is daarmee een berekeningsresultaat.

Om implementatie van de maatregelen voor de agrariër interessanter te maken, is een subsidieregeling aangenomen die 40% van de investeringskosten dekt (aangeven door regio's Zuidwestelijke Delta en Rivierenland). Deze subsidieregeling beïnvloedt de baten/kosten ratio voor de agrariër door de kosten te verminderen. Voor het bepaalde economisch effect is uitgegaan van de volledige kosten van de maatregel, de subsidieregeling komt immers ook ten koste van de maatschappij.

Van de met de Regioscan berekende maatregelen is aangenomen dat er geen regio-overstijgende effecten zijn. Dat wil zeggen: de afname van de watervraag aan het oppervlaktewater is niet zo groot dat deze leidt tot significant meer waterbeschikbaarheid elders in het land.

3.4 Maatwerk

Verschillende maatregelen passen niet in een QWAST-berekening of een Regioscan berekening. Voor deze maatregelen is met maatwerk de effecten ingeschat.

Dit maatwerk betreft voor enkele maatregelen (M1, M6, M7, M8) een vrij directe vertaling van door de regio's aangeleverde effectschattingen (bijvoorbeeld '10% meer water beschikbaar') naar beschikbaar water voor beregening en vervolgens naar het welvaartseffect landbouw via de schaderelatie.

Voor maatregel M2 – Slim Watermanagement Hoofdwatersysteem zijn in een apart traject analyses gedaan met QWAST, deze worden apart gerapporteerd.

Voor maatregel M3 – Schutmaatregelen Maas is een methode ontwikkeld om op basis van NWM-resultaten het afvoertekort en de kosten voor het pompen en wachttijden van de scheepvaart te kwantificeren. De methode wordt toegelicht in Bijlage D.

Voor maatregel M5 – Vergroten inlaatvenster Brielse Meer is op basis van gedetailleerde modelresultaten gekeken in hoeverre inlaattekorten bij het Brielse Meer worden opgeheven door meer peilfluctuatie toe te staan.

Voor maatregel M4 – Flexibel peilbeheer kon bij nadere analyse geen additionele informatie – bovenop de factsheet van de zoetwaterregio – worden geleverd. Voor deze maatregel verwacht de regio voornamelijk een waterkwaliteitsverbetering, terwijl in droge perioden geen extra water wordt verwacht. De maatregel is daarom niet verder beschouwd.

3.5 Schaderelatie scheepvaart

Er is een eenvoudige scheepvaart schaderelatie afgeleid voor scheepvaart over de corridor Rotterdam – Lobith. Op deze corridor wordt het grootste deel van de vaarkosten in Nederland gemaakt. Op deze corridor is naar twee punten gekeken: Nijmegen en St. Andries.

Voor de eenvoudige scheepvaart-schaderelatie is uit het scheepvaartmodel BIVAS gehaald hoeveel transport er van welke schepen over de knelpunten in deze corridor gaat. Vervolgens is gekeken hoe waterdiepte de laadcapaciteit van deze schepen beïnvloedt, tot het punt dat lading helemaal niet meer vervoerd wordt omdat er maar een te klein deel van de lading per keer kan worden vervoerd. Relaties hiervoor zijn gekoppeld aan een afgeleide Q-VD (Afvoer-vaardiepte) relatie voor de Waal. Een uitgebreide beschrijving van de schaderelatie scheepvaart is opgenomen als bijlage B.

Belangrijk in de interpretatie van de berekende vaarkosten is dat het grootste diepgangs-knelpunt in Nederland zich bij Nijmegen bevindt (in Duitsland bevindt zich overigens een nog groter knelpunt, dit wordt niet beschouwd). Dit knelpunt is daarmee leidend voor alle transport over de beschouwde corridor naar Duitsland. De vaardiepte bij Sint Andries is altijd groter dan die bij Nijmegen, en daarmee voor de schepen die Sint Andries passeren richting Nijmegen niet van belang. De vaardiepte bij Sint Andries is alleen relevant voor dat deel van de scheepvaart dat Sint Andries passeert, maar Nijmegen niet (bijvoorbeeld richting Amsterdam).

De schaderelatie scheepvaart gaat uit van de huidige toestand van de rivier. Mogelijke veranderingen in de bodemligging, waardoor nieuwe drempels kunnen ontstaan bij vaste lagen en andere harde constructies in de rivier, zijn niet meegenomen in de eenvoudige relatie. Verder is het goed om op te merken dat in QWAST geen stuwkromme-effect wordt meegenomen, waardoor een onttrekking bij het Amsterdam-Rijnkanaal bij Tiel nooit de afvoerverdeling bij de Pannerdensche Kop zal beïnvloeden. Uit eerdere studies (bijvoorbeeld Arcadis (2017)) weten we echter dat dit effect zeer klein is, dit is daardoor een acceptabele aanname. Binnen de programma's Integraal Riviermanagement en Klimaatbestendige netwerken scheepvaart zal dit stuwkromme effect verder worden onderzocht.

3.6 Schaderelatie droogteschade landbouw

Voor droogteschade landbouw is alleen gekeken naar met oppervlaktewater beregende percelen, omdat alleen deze droogteschade direct beïnvloed kan worden door veranderingen in het wateraanbod. Verder is de relatie alleen afgeleid voor districten waarvan voor het merendeel van het inliggende oppervlaktewater wateraanvoer mogelijk is. Zoutschade wordt dus niet beschouwd, noch worden effecten van maatregelen via grondwater op de droogteschade beschouwd.

Voor de schaderelatie droogteschade landbouw is per district, per scenario een relatie afgeleid tussen de actuele verdamping in m^3's water en de gewasopbrengst in euro's. Deze relatie laat voor bijna alle districten een zeer goede fit zien. Vervolgens is gesteld dat van elke extra m^3 extra beschikbaar water (door minder tekorten voor beregening uit oppervlaktewater), er uiteindelijk 40% ten goede komt aan een verhoging van de gewasverdamping (Van Bakel, 2019). Met de

afgeleide relaties tussen actuele verdamping en gewasopbrengst in euro's kan daarmee een vermindering in beregeningstekorten worden vertaald in een toename van de gewasopbrengst.

Daarnaast nemen bij meer beregening ook de kosten voor beregening toe. De volgende variabele beregeningskosten zijn opgenomen (Reinhard, 2019):

- arbeidskosten: 0.5 (euro mm^{-1} ha^{-1})
- energiekosten: 1.56 (euro mm^{-1} ha^{-1})

Tussen de Regioscan-maatregelen en de maatregelen die met de schaderelatie landbouw zijn berekend, verschilt wat wordt verstaan onder kosten en baten. Voor de schaderelatie droogteschade landbouw zijn kosten alleen toegenomen beregeningskosten. Voor de Regioscan omvatten de kosten de investeringskosten en jaarlijkse kosten van de maatregel. De baten zijn voor de schaderelatie droogteschade landbouw de toegenomen gewasopbrengst als gevolg van verminderde droogteschade op beregende percelen. Voor de Regioscan omvatten de baten het verschil in gewasopbrengst met de uitgangssituatie (als gevolg van zowel droogte- als zoutschade), op zowel beregende als niet-beregende percelen, en eventuele vermeden beregening ten opzichte van de uitgangssituatie.

Een uitgebreide beschrijving van de schaderelatie droogteschade landbouw is opgenomen als bijlage C.

4 Resultaten

4.1 Inleiding

Voor de verschillende doorgerekende maatregelen worden in dit hoofdstuk de resultaten voor wat betreft de hydrologie (waterverdeling, vraag en optredende tekorten) en welvaartseffecten scheepvaart en landbouw samengevat. Ook zijn de kwalitatief ingeschatte overige effecten van de maatregelen opgenomen. Uitgebreidere resultaten zijn per maatregel te vinden in Bijlage A.

4.2 Hydrologische effecten

De effecten op waterverdeling, wateraanbod en optredende watertekorten van de verschillende maatregelen worden samengevat in Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Samenvatting hydrologisch effect voor de verschillende maatregelen.

Maatregel		**Effect hydrologie**
Q1	Capaciteitsvergroting gemaal Hoogland	Het IJsselmeerpeil zakt met de maatregel in STOOM2050 in droge jaren uit onder -0,4 m NAP, waardoor meer waterinlaat voor Friesland mogelijk is en beregeningstekorten afnemen. De maatregel heeft in REF2017 geen effect op de waterbeschikbaarheid voor beregening.
Q2	Uitbreiding aanvoercapaciteit oostelijke regio's	Optredende tekorten in Drenthe worden in REF2017 altijd, en in STOOM2050 tot een herhalingstijd van 1/10 vermeden. Bij extremere droogte is het wateraanbod in het IJsselmeer limiterend, en komen de tekorten min of meer overeen met de uitgangssituatie.
Q3	Zoutlekbestrijding sluizen Delfzijl, Harlingen	Door de zoutlekbestrijding is de doorspoelvraag verkleind. Optredende doorspoeltekorten worden in STOOM2050 verkleind, en uitgesteld van eens per 2 tot eens per 3 jaar. In REF2017 treden in de uitgangssituatie geen doorspoeltekorten op. Er treden geen verschillen op voor andere watervragers, omdat de gestopte doorspoeling in de uitgangssituatie de laagste prioriteit is toegekend. Voor watervragen met een hogere prioriteit betekent dit geen extra water (zie nadere uitleg onder tabel).
Q5	Optimaliseren inlaten en waterverdeling	Tekorten in Rivierenland - Noord treden alleen op in een extreem droog jaar in STOOM2050. Deze tekorten worden door de maatregel verkleind. Kanttekening bij dit resultaat is dat in het Nationaal Watermodel optredende piekvragen voor nachtvorstbestrijding en daarmee samenhangende tekorten niet worden beschouwd.
Q6	Onderwaterdrainage in veengebieden	De totale watervraag van de regio Rivierenland - Noord neemt met zo'n 25% toe. De maatregel veroorzaakt geen tekorten in de regio. NB: de inlaten van deze additionele watervraag bevinden zich op een andere locatie als waar de onder Q5 genoemde tekorten optreden.

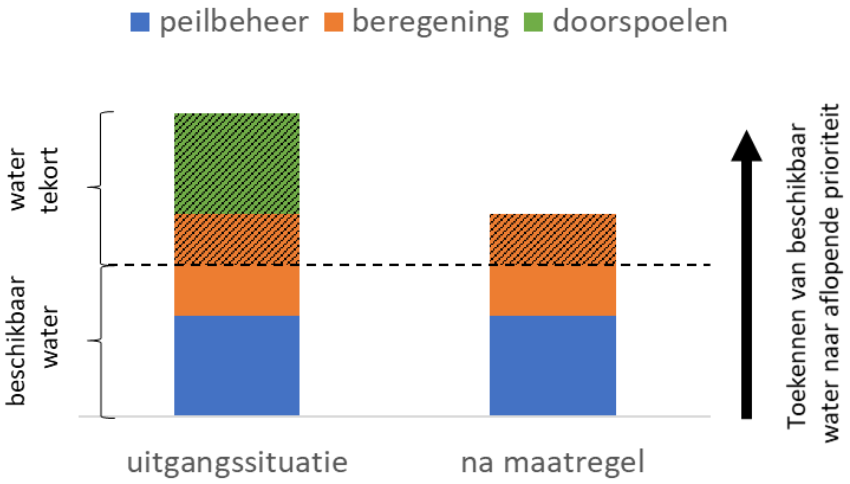
Q7	Afvoer Hagestein	De afvoer over Hagestein neemt toe om in de monding van de Lek minimaal 20 m^3/s te handhaven, opdat zoutindringing bij laagwatersituaties wordt voorkomen. Dit water wordt aangevoerd via het Betuwepand van het Amsterdam - Rijnkanaal. Er treden door de maatregel geen extra tekorten op. Wel heeft de maatregel een effect op de vaardieptes op de Waal. Maximum debieten door het Betuwepand overschrijden het eerder gehanteerde maximum debiet, ervaringen tijdens de droogte van 2018 wijzen er op dat ook bij hogere debieten door het Betuwepand geen scheepvaartbeperkingen nodig zijn.
Q8	Internationale samenwerking met Duitsland	Door internationale samenwerking wordt de Roer-afvoer in STOOM2050 aangenomen gelijk te blijven aan de huidige afvoer. Door de hogere afvoer van de Roer in STOOM2050 ten opzichte van de uitgangssituatie neemt de Maasafvoer benedenstrooms van Roermond in droge periode tot zo'n 20% toe. Dit leidt tot een afname in tekorten in de benedenstroomse regio's. In REF2017 geen veranderingen.
Q9	Slimmer gebruik van water in de keten	Door sterk verminderde drinkwateronttrekkingen langs de Maas is er extra water beschikbaar voor de regio en nemen tekorten af. Het gaat slechts om een beperkte hoeveelheid water, de afname van tekorten is dan ook beperkt.
Q10	Inlaatwerk Kromme Rijn	Doordat de capaciteit van de KWA-route beperkend is, wordt er geen effect berekend van het structureel kunnen inzetten van de volledige capaciteit van het Noordergemaal voor de KWA route. Er wordt geen effect op beregeningstekorten in het Kromme Rijngebied berekend, omdat in de uitgangssituatie reeds de aanname is gedaan dat noodpompen worden ingezet en watervragen zo ook bij lage rivierstanden van de Nederrijn voldaan kunnen worden.
Q11	Temmen van brakke kwel	Door de gestopte doorspoelvraag bij Muiden verdwijnen de in de uitgangssituatie aanwezige tekorten op de doorspoelvraag bij Muiden (in de uitgangssituatie eens in de drie jaar in STOOM2050, geen tekorten in REF2017). In de extreem droge jaren verdwijnt in beide scenario's een kortdurend optredend tekort voor doorspoelen van het IJsselmeer zelf. Voor tekorten voor peilbeheer en beregening verandert door de maatregel niets, omdat de gestopte doorspoeling in de uitgangssituatie de laagste prioriteit is toegekend. Voor watervragen met een hogere prioriteit betekent dit geen extra water (zie nadere uitleg onder tabel).
Q12	Hergebruik effluent RWZI's	De tekorten voor doorspoeling in de regio’s Midden West Nederland – extern verzilt en Zuid-Westelijk estuariumgebied – met aanvoer zijn verminderd. Voor Midden West Nederland – extern verzilt is dit alleen het geval in de droogste jaren, voor Zuid Westelijk estuariumgebied – met aanvoer wordt het optredende tekort in alle jaren gelijk verminderd. Voor Midden West

		Nederland – extern verzilt neemt het in de droogste jaren optredende tekort voor districtsonttrekkingen sterk af.
Q13	Robuuste doorvoer Krimpenerwaard	Door de extra aanvoerroute nemen optredende tekorten in de regio Midden West Nederland – extern verzilt af in de droge jaren dat de KWA actief is. Er wordt maximaal 6 m^3/s extra aangevoerd via het Betuwepand ARK.
Q14	Uitbreiden KWA (KWA++)	Door de extra aanvoerroute nemen optredende tekorten in de regio Midden West Nederland – extern verzilt af in de droge jaren dat de KWA actief is. Deze afname is groter dan voor de maatregel Q13. Er wordt maximaal 9 m^3/s extra aangevoerd via het Betuwepand ARK.
Q15	Slimmer doorspoelen zoute polders	Optredende doorspoeltekorten worden in STOOM2050 verkleind, met name in Zuidwestelijke Delta met aanvoer en - in KWA jaren - in Midden West Nederland - extern verzilt. Er treden geen verschillen op voor andere watervragers, omdat de gestopte doorspoeling in de uitgangssituatie de laagste prioriteit is toegekend. Voor watervragen met een hogere prioriteit betekent dit geen extra water (zie nadere uitleg onder tabel).
M1	Optimalisering regionale inlaten Noorderzijlvest	Met de aangenomen toename van waterbeschikbaarheid (15% beregeningsallocatie 1/10 droog jaar) komt er in beide scenario's ongeveer 1 Mm3 extra water beschikbaar voor beregening. Dit gaat niet ten koste van andere watervragers (aanname maatregel).
M3	Schutmaatregelen Maas	Niet van toepassing, alleen gekeken naar welvaartseffecten scheepvaart.
M4	Flexibel en dynamisch peilbeheer	Vermindering van waterinlaat, maar er wordt geen effect verwacht in droge perioden (factsheet zoetwaterregio West). De maatregel is niet verder beschouwd.
M5	Vergroten inlaatvenster Brielse Meer	Een verlaging van het inname peil in het Brielse Meer zorgt voor een afname van het aantal dagen per jaar dat er een inname tekort plaatsvindt (van max 17d tot max 4d in REF2017 bij 20cm peilverlaging). Wanneer geen rekening wordt gehouden met toename van achterwaartse verzilting, zorgt zeespiegelstijging in de klimaatscenario’s voor een afname van het aantal periodes met een innametekort.
M6	Optimalisatie watersysteem Oost Flakkee	Met de aangenomen toename van waterbeschikbaarheid (25% watervraag in 1/10 droog jaar) komt er in REF2017 ongeveer 0,5 Mm3 en in STOOM2050 ongeveer 0,9 Mm3 extra water beschikbaar voor beregening. Dit gaat niet ten koste van andere watervragers.
M7	Optimalisatie van watersysteem	Met de aangenomen toename van waterbeschikbaarheid (15% beregeningsallocatie 1/10 droog jaar) komt er voor Hollandse Delta in beide scenario's ongeveer 4 Mm3 extra water beschikbaar voor beregening, en voor Scheldestromen ongeveer 0,6 Mm3. Dit gaat niet ten koste van andere watervragers.
M8	Gebruik externe waterbronnen	Met de aangenomen toename van waterbeschikbaarheid komt er in beide scenario's voor Zeeuws-Vlaanderen ongeveer 0,2 Mm3 extra water beschikbaar voor beregening, en voor de Reigersbergse polder ongeveer 0,01 Mm3. Dit gaat niet ten koste van andere

		watervragers.
R1	Klimaatrobuust inrichten regionaal systeem	Door de geïmplementeerde maatregelen neemt de watervraag voor beregening uit oppervlaktewater in REF2017 af met gemiddeld 2 Mm3/jaar, in STOOM2050 met gemiddeld 8 Mm3/jr.[1] De watervraag voor beregening uit grondwater neemt in REF2017 af met gemiddeld 3 Mm3/jaar, in STOOM2050 met gemiddeld 18 Mm3/jr.
R2	Anti-verziltingsmaatregelen noordelijk zeekleigebied	Door de geïmplementeerde maatregelen neemt de watervraag voor beregening uit oppervlaktewater in REF2017 af met gemiddeld 2 Mm3/jaar, in STOOM2050 met gemiddeld 8 Mm3/jr[1].
R3	Waterbesparende maatregelen agrariërs en voorraadvorming	Door de geïmplementeerde maatregelen neemt de watervraag voor beregening uit oppervlaktewater in REF2017 af met gemiddeld 1 Mm3/jaar, in STOOM2050 met gemiddeld 2 Mm3/jr[1]. De watervraag voor beregening uit grondwater neemt in REF2017 af met gemiddeld 0,1 Mm3/jaar, in STOOM2050 met gemiddeld 0,4 Mm3/jr.
R4	Spaarwater Noord-Holland	Door de geïmplementeerde maatregelen neemt de watervraag voor beregening uit oppervlaktewater in REF2017 af met gemiddeld 12 Mm3/jaar, in STOOM2050 met gemiddeld 15 Mm3/jr[1].
R5	Uitrollen van proeftuin (POP)	Door de geïmplementeerde maatregelen neemt de watervraag voor beregening uit oppervlaktewater in REF2017 met gemiddeld 1 Mm3/jr, in STOOM2050 met gemiddeld 2 Mm3/jr[1]. De watervraag voor beregening uit grondwater neemt in REF2017 af met gemiddeld 2 Mm3/jaar, in STOOM2050 met gemiddeld 5 Mm3/jr.

[1] Het is voor deze maatregel niet onderzocht wat de afname van de watervraag voor beregening uit oppervlaktewater betekent voor het optreden van tekorten.

De geanalyseerde maatregelen die zijn gericht op het beperken van de doorspoelvraag (Q3, Q11, Q15), laten allen wel een vermindering van de tekorten voor doorspoeling zien, maar hebben geen effect op andere watervragers. Aan de watervraag voor doorspoeling is in QWAST veelal de laagste prioriteit toegekend. Dit betekent dat deze watervraag bij onvoldoende aanbod van water als eerste wordt gekort. Voor de watervragen met een hogere prioriteit (alle overige), betekent dit dat een vermindering van de doorspoelvraag geen effect heeft op de berekende waterbeschikbaarheid voor de overige vragen, zolang er voor de doorspoelvraag nog steeds onvoldoende water beschikbaar is. Stel dat er in de uitgangssituatie 60 Mm^3 water beschikbaar is, voor vragen van peilbeheer, beregening, doorspoeling (elk 40 Mm^3, met afnemende prioriteit) (Figuur 4.1). Het beschikbare water wordt dan verdeeld over peilbeheer (geen tekort), beregening (20 Mm^3 tekort), en doorspoeling (volledige 40 Mm^3 tekort). Vermindering – door een maatregel – van de doorspoelvraag heeft in deze situatie geen effect op de andere watervragers, omdat al het beschikbare water al in de uitgangssituatie naar de watervragen met een hogere prioriteit is gegaan (Figuur 4.1).



Figuur 4.1 Fictief voorbeeld van de verdeling van beschikbaar water over watervragen met een verschillende prioriteit, voor (links), en na (rechts) een maatregel om doorspoelen te beperken.

4.3 Welvaartseffect scheepvaart

Het welvaartseffect voor scheepvaart is voor alle beschouwde maatregelen beperkt. Dit komt doordat geen van de maatregelen volgens de modelberekeningen effect heeft op de afvoer bij Nijmegen. Bij Nijmegen bevindt zich het grootste Nederlandse vaardiepte-knelpunt op het traject Rotterdam – Lobith. Veranderingen in de afvoer van Sint-Andries hebben daarmee geen effect op schepen die ook langs Nijmegen moeten: zij moeten immers hun diepgang aanpassen op het knelpunt bij Nijmegen. Verschillen in vaarkosten bij Sint-Andries worden dan ook alleen gemaakt door een beperkt deel van de scheepvaart: schepen die langs Sint-Andries varen, maar vervolgens niet langs Nijmegen.

Van de maatregelen heeft maatregel Q7 (Afvoer Hagestein, zoet houden Lek) het grootste negatieve welvaartseffect op de scheepvaart, dit is maximaal 60 kE/jaar (STOOM2050).

Tabel 4.2 Welvaartseffecten scheepvaart voor de verschillende maatregelen

Maatregel		REF2017			STOOM2050		
		Vaarkosten Nijmegen (kE/jr)	Vaarkosten St. Andries (kE/jr)	Vaarkosten totaal (kE/jr)	Vaarkosten Nijmegen (kE/jr)	Vaarkosten St. Andries (kE/jr)	Vaarkosten totaal (kE/jr)
Q1	Capaciteitsvergroting gemaal Hoogland	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt
Q2	Uitbreiding aanvoercapaciteit oostelijke regio's	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Q3	Zoutlekbestrijding sluizen Delfzijl, Harlingen	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	-0.1
Q5	Optimaliseren inlaten en waterverdeling	0.0	0.2	0.2	0.0	1.3	1.3
Q6	Onderwaterdrainage in veengebieden	0.0	0.5	0.5	0.0	1.7	1.7
Q7	Afvoer Hagestein	0.0	20.3	20.3	0.0	60.3	60.3
Q8	Internationale samenwerking met Duitsland	nvt	nvt	nvt	0.0	-0.6	-0.6
Q9	Slimmer gebruik van water in de keten	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	-0.1
Q10	Inlaatwerk Kromme Rijn	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Q11	Temmen van brakke kwel[1]	0.0	1.9	1.9	0.0	4.0	4.0
Q12	Hergebruik Effluent RWZI's	0.0	-0.6	-0.6	0.0	-2.8	-2.8
Q13	Robuuste Doorvoer Krimpenerwaard	0.0	0.5	0.5	0.0	3.7	3.7
Q14	Uitbreiden KWA (KWA++)	0.0	0.5	0.5	0.0	4.4	4.4
Q15	Slimmer doorspoelen zoute polders	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.5	-0.5
M1	Optimalisering inlaten Noorderzijlvest	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt
M6	Optimalisatie watersysteem Oost Flakkee	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt
M7	Optimalisatie van watersysteem	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt
M8	Gebruik externe waterbronnen	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt

[1] Het berekende negatief scheepvaarteffect van maatregel Q11 ontstaat doordat is aangenomen dat de ‘route Muiden’ bij deze maatregel niet langer wordt aangewend om water naar het Amsterdam – Rijnkanaal te transporteren, wat moet worden gecompenseerd door water aan de Waal te onttrekken. Het niet aanwenden van Markermeer-water voor het doorspoelen van het ARK is een aparte beleidskeuze en sec geen onderdeel van de maatregel ‘Temmen brakke kwel’.

4.4 Welvaartseffect droogteschade landbouw

Het welvaartseffect droogteschade landbouw is opgebouwd uit een verschil in gewasopbrengst en een verschil in beregeningskosten. Wanneer er meer kan worden beregend neemt niet alleen de gewasopbrengst toe, maar nemen ook de beregeningskosten toe.

Tabel 4.3 Welvaartseffecten droogteschade landbouw voor de verschillende maatregelen.

Maatregel		REF2017			STOOM2050		
		gewasopbrengst (k€/jr)	beregenings-kosten (k€/jr)	welvaartseffect netto (k€/jr)	gewasopbrengst (k€/jr)	beregenings-kosten (k€/jr)	welvaartseffect netto (k€/jr)
Q1	Capaciteitsvergroting gemaal Hoogland	0.0	0.0	0.0	139.6	-81.2	58.3
Q2	Uitbreiding aanvoercapaciteit oostelijke regio's	404.3	-102.4	301.9	1896.8	-549.6	1347.2
Q3	Zoutlekbestrijding sluizen Delfzijl, Harlingen	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Q5	Optimaliseren inlaten en waterverdeling	0.0	0.0	0.0	120.8	-43.1	77.7
Q6	Onderwaterdrainage in veengebieden	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Q7	Afvoer Hagestein	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Q8	Internationale samenwerking met Duitsland	nvt	nvt	nvt	998.0	358.6	639.4
Q9	Slimmer gebruik van water in de keten	54.3	-18.3	36.0	146.5	-53.7	92.8
Q10	Inlaatwerk Kromme Rijn[1]	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Q11	Temmen van brakke kwel	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Q12	Hergebruik Effluent RWZI's	167.8	-21.1	146.7	425.2	-59.5	365.7
Q13	Robuuste Doorvoer Krimpenerwaard	167.8	-21.1	146.7	429.6	-60.1	369.5
Q14	Uitbreiden KWA (KWA++)	167.8	-21.1	146.7	491.1	-69.2	421.8
Q15	Slimmer doorspoelen zoute polders	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
M1	Optimalisering inlaten Noorderzijlvest	24.9	-9.1	15.7	207.1	-85.9	121.3
M6	Optimalisatie watersysteem Oost Flakkee	52.7	-11.1	41.6	74.3	-18.5	55.8
M7	Optimalisatie van watersysteem	604.7	-107.0	497.7	1004.2	-274.5	729.6
M8	Gebruik externe waterbronnen	153.2	-26.5	126.7	75.8	-20.9	54.9

[1] Geen effect berekend, omdat in de uitgangssituatie wordt uitgegaan van inzet van noodpompen. Het niet langer nodig hebben van deze noodpompen is dan de baat, in plaats van afname gewasschade.

Het welvaartseffect wordt in deze rapportage gegeven als het gemiddelde over de rekenperiode. Voor veel van de ‘Q-maatregelen’ geldt dat de effecten met name optreden in de (extreem) droge jaren. Het effect op de gewasopbrengst voor deze jaren afzonderlijk is dan ook flink hoger dan gegeven in Tabel 4.3. In eerdere studies (bijvoorbeeld Ter Maat et al., 2014) zijn effecten per

droogtejaar gepresenteerd. Ter vergelijking wordt daarom in Tabel 4.4 het welvaartseffect van de maatregelen specifiek voor het extreem droge jaar 1976 gepresenteerd (let op: in ME in plaats van kE/jr).

Tabel 4.4 Welvaartseffecten droogteschade landbouw voor de verschillende maatregelen voor extreem droog jaar 1976. Effecten zijn uitgedrukt in miljoenen euro's.

Maatregel		REF2017			STOOM2050		
		gewasopbrengst (ME)	beregenings-kosten (ME)	welvaartseffect netto (ME)	gewasopbrengst (ME)	beregenings-kosten (ME)	welvaartseffect netto (ME)
Q1	Capaciteitsvergroting gemaal Hoogland	0.00	0.00	0.00	1.25	-0.41	0.84
Q2	Uitbreiding aanvoercapaciteit oostelijke regio's	4.21	-1.08	3.13	7.65	-2.03	5.62
Q3	Zoutlekbestrijding sluizen Delfzijl, Harlingen	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Q5	Optimaliseren inlaten en waterverdeling	0.00	0.00	0.00	3.62	-1.29	2.33
Q6	Onderwaterdrainage in veengebieden	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Q7	Afvoer Hagestein	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Q8	Internationale samenwerking met Duitsland	nvt	nvt	nvt	2.08	-0.76	1.32
Q9	Slimmer gebruik van water in de keten	0.57	-0.17	0.40	0.51	-0.18	0.33
Q10	Inlaatwerk Kromme Rijn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Q11	Temmen van brakke kwel	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Q12	Hergebruik Effluent RWZI's	5.03	-0.63	4.40	11.20	-1.56	9.64
Q13	Robuuste Doorvoer Krimpenerwaard	5.03	-0.63	4.40	11.33	-1.58	9.76
Q14	Uitbreiden KWA (KWA++)	5.03	-0.63	4.40	13.18	-1.85	11.33
Q15	Slimmer doorspoelen zoute polders	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
M1	Optimalisering inlaten Noorderzijlvest	0.33	-0.10	0.23	0.49	-0.20	0.29
M6	Optimalisatie watersysteem Oost Flakkee	0.72	-0.15	0.57	0.88	-0.22	0.66
M7	Optimalisatie van watersysteem	0.97	-0.20	0.77	1.90	-0.53	1.37
M8	Gebruik externe waterbronnen	0.29	-0.05	0.24	0.18	-0.05	0.13

4.5 Resultaten Regioscan Zoetwatermaatregelen

De resultaten voor de maatregelen die zijn berekend met de Regioscan Zoetwatermaatregelen zijn gegeven in Tabel 4.5. Ondanks de gehanteerde subsidieregeling kennen de maatregelen allemaal een positief welvaartseffect. Maatregelen worden op wisselende percentages van het landbouwareaal geïmplementeerd, afhankelijk van de baten/kosten ratio voor de agrariër (onder de aanname dat maatregelen worden geïmplementeerd waar de netto baten/kosten ratio voor de agrariër positief is, zie hoofdstuk 3.3). Het areaal neemt sterk toe in scenario STOOM2050 ten opzichte van REF2017. Baten zijn voor R2, R4 en R5 met name het gevolg van reductie van verziltingsschade, voor R1 en R3 liggen baten meer in reductie van droogteschade. Voor maatregelen R4 en R5 zijn zeer hoge baten berekend. Deze hoge baten komen respectievelijk door hoge gewasopbrengsten in het bollengebied in de kop van Noord-Holland en het fruitteeltgebied in de zak van Zuid-Beveland. Berekeningen van het Nationaal Watermodel (die ten

grondslag liggen aan de Regioscan Zoetwatermaatregelen) laten in deze gebieden een hoge verziltingsschade zien, die in werkelijkheid door een uitgekiend aan- en afvoersysteem of de landbouwwaterleiding voor een belangrijk deel wordt vermeden. De berekende baten betreffen hier waarschijnlijk een overschatting van de werkelijkheid. Er is daarom voor gekozen de resultaten van betreffende maatregelen niet in het hoofdrapport op te nemen. De resultaten zijn in te zien in de betreffende factsheets (bijlagen A26 en A27).

Tabel 4.5 Resultaten Regioscan Zoetwatermaatregelen voor maatregelen R1, R2 en R3 voor scenario's REF2017 en STOOM2050. R1: Klimaatrobuust inrichten regionaal systeem, R2: Anti-verziltingsmaatregelen in het noordelijk zeekleigebied, R3: Stimuleringsregeling waterbesparende maatregelen agrariërs en voorraadvorming Rivierenland. Resultaten voor R4 en R5 worden hier niet gepresenteerd.

Maatregel	R1		R2		R3	
Scenario	REF2017	STOOM2050	REF2017	STOOM2050	REF2017	STOOM2050
Baten (E/ha/jr)	430	404	336	267	484	494
Baten gewasschade (E/ha/jr)[1]	313	257	268	169	373	265
Baten beregening (E/ha/jr)[2]	116	147	67	98	111	229
Kosten (E/ha/jr)[3]	323	308	167	185	280	348
Afname gw beregening (Mm3/jr)	3	18	0	1	0	0
Afname ow beregening (Mm3/jr)	2	8	2	8	1	2
Areaal (km^2)	177	689	59	193	26	60
Areaal (% van landbouwareaal)	2%	9%	2%	8%	2%	6%
Totaal Kosten (ME/jr)	5.7	21.2	1.0	3.6	0.7	2.1
Totaal Baten (ME/jr)	7.6	27.8	2.0	5.1	1.3	3.0
Netto welvaartseffect (ME/jr)	1.9	6.6	1.0	1.6	0.5	0.9

[1] Baten gewasschade is het verschil tussen de gewasopbrengst na implementatie van de maatregel, en de gewasopbrengst in de uitgangssituatie. Wanneer in de uitgangssituatie wordt beregend, en na de maatregel niet, kunnen deze baten ook negatief zijn.

[2] Baten beregening betreft de vermeden kosten voor de eventueel in de uitgangssituatie aanwezige beregening.

[3] Kosten betreffen uitsluitend de kosten voor de genomen maatregel.

Alle maatregelen kennen een positief welvaartseffect. Door de aangenomen subsidieregeling van 40% van de investeringskosten worden ook op niet-rendabele percelen maatregelen geïmplementeerd (de maatregel is dan wel rendabel voor de agrariër, maar niet voor de maatschappij). Dit wordt echter (ruimschoots) goedgemaakt door de wel-rendabele maatregelen.

4.6 Totaal welvaartseffect

Het totale – in deze studie beschouwde – welvaartseffect is de optelling van de welvaartseffecten voor scheepvaart (op de corridor Rotterdam – Lobith) en droogteschade landbouw (als gevolg van beregeningstekorten oppervlaktewater), inclusief de met de Regioscan berekende welvaartseffecten. Voor scenario REF2017 is het totale welvaartseffect weergegeven in Tabel 4.6, voor scenario STOOM2050 in Tabel 4.7. Voor de beschouwde maatregelen is het welvaartseffect in scenario STOOM2050 flink groter dan het welvaartseffect in REF2017.

Tabel 4.6 Welvaartseffecten scheepvaart, droogteschade landbouw en totaal voor scenario REF2017.

Maatregel		Welvaartseffect scheepvaart (kE/jr)	Welvaartseffect landbouw (kE/jr)	Welvaartseffect totaal (kE/jr)
Q1	Capaciteitsvergroting gemaal Hoogland	nvt	0	0
Q2	Uitbreiding aanvoercapaciteit oostelijke regio's	0	302	302
Q3	Zoutlekbestrijding sluizen Delfzijl, Harlingen	0	0	0
Q5	Optimaliseren inlaten en waterverdeling	0	0	0
Q6	Onderwaterdrainage in veengebieden	0	0	0
Q7	Afvoer Hagestein	-20	0	-20
Q8	Internationale samenwerking met Duitsland	nvt	0	0
Q9	Slimmer gebruik van water in de keten	0	43	43
Q10	Inlaatwerk Kromme Rijn	0	0	0
Q11	Temmen van brakke kwel	-2[1]	0	-2[1]
Q12	Hergebruik Effluent RWZI's	1	147	147
Q13	Robuuste Doorvoer Krimpenerwaard	0	147	146
Q14	Uitbreiden KWA (KWA++)	-1	147	146
Q15	Slimmer doorspoelen zoute polders	0	0	0
M1	Optimalisering inlaten Noorderzijlvest	nvt	16	16
M3a	Schutmaatregelen - hevelend schutten	0	nvt	0
M3b	Schutmaatregelen - spaarbekkens	43	nvt	43
M3c	Schutmaatregelen - circulair pompen	9	nvt	9
M6	Optimalisatie watersysteem Oost Flakkee	nvt	42	42
M7	Optimalisatie van watersysteem	nvt	498	498
M8	Gebruik externe waterbronnen	nvt	127	127
R1	Klimaatrobuust inrichten regionaal systeem	nvt	1894	1894
R2	Anti-verziltingsmaatregelen noordelijk zeekleigebied	nvt	989	989
R3	Waterbesparende maatregelen agrariërs en voorraadvorming	nvt	540	540
R4	Spaarwater Noord-Holland[2]	nvt	-[2]	-[2]
R5	Uitrollen van proeftuin (POP)[2]	nvt	-[2]	-[2]

[1] Het berekende negatief scheepvaarteffect van maatregel Q11 ontstaat doordat is aangenomen dat de 'route Muiden' bij deze maatregel niet langer wordt aangewend om water naar het Amsterdam – Rijnkanaal te transporteren, wat moet worden gecompenseerd door water aan de Waal te onttrekken. Het niet aanwenden van Markermeer-water voor het doorspoelen van het ARK is een aparte beleidskeuze en sec geen onderdeel van de maatregel 'Temmen brakke kwel'.

[2] Niet opgenomen wegens onrealistische uitkomsten. Zie kanttekening in paragraaf 4.5 en in bijlagen A26 en A27.

Tabel 4.7 Welvaartseffecten scheepvaart, droogteschade landbouw en totaal voor scenario STOOM2050.

Maatregel		Welvaartseffect scheepvaart (kE/jr)	Welvaartseffect landbouw (kE/jr)	Welvaartseffect totaal (kE/jr)
Q1	Capaciteitsvergroting gemaal Hoogland	nvt	58	58
Q2	Uitbreiding aanvoercapaciteit oostelijke regio's	0	1347	1347
Q3	Zoutlekbestrijding sluizen Delfzijl, Harlingen	0	0	0
Q5	Optimaliseren inlaten en waterverdeling	-1	78	76
Q6	Onderwaterdrainage in veengebieden	-2	0	-2
Q7	Afvoer Hagestein	-60	0	-60
Q8	Internationale samenwerking met Duitsland	1	991	991
Q9	Slimmer gebruik van water in de keten	0	174	174
Q10	Inlaatwerk Kromme Rijn	0	0	0
Q11	Temmen van brakke kwel	-4[1]	0	-4[1]
Q12	Hergebruik Effluent RWZI's	3	366	369
Q13	Robuuste Doorvoer Krimpenerwaard	-4	370	366
Q14	Uitbreiden KWA (KWA++)	-4	422	417
Q15	Slimmer doorspoelen zoute polders	0	0	0
M1	Optimalisering inlaten Noorderzijlvest	nvt	121	121
M3a	Schutmaatregelen - hevelend schutten	5	nvt	5
M3b	Schutmaatregelen - spaarbekkens	130	nvt	130
M3c	Schutmaatregelen - circulair pompen	75	nvt	75
M6	Optimalisatie watersysteem Oost Flakkee	nvt	56	56
M7	Optimalisatie van watersysteem	nvt	730	730
M8	Gebruik externe waterbronnen	nvt	55	55
R1	Klimaatrobuust inrichten regionaal systeem	nvt	6632	6632
R2	Anti-verziltingsmaatregelen noordelijk zeekleigebied	nvt	1581	1581
R3	Waterbesparende maatregelen agrariërs en voorraadvorming	nvt	883	883
R4	Spaarwater Noord-Holland[2]	nvt	-[2]	-[2]
R5	Uitrollen van proeftuin (POP)[2]	nvt	-[2]	-[2]

[1] Het berekende negatief scheepvaarteffect van maatregel Q11 ontstaat doordat is aangenomen dat de 'route Muiden' bij deze maatregel niet langer wordt aangewend om water naar het Amsterdam – Rijnkanaal te transporteren, wat moet worden gecompenseerd door water aan de Waal te onttrekken. Het niet aanwenden van Markermeer-water voor het doorspoelen van het ARK is een aparte beleidskeuze en sec geen onderdeel van de maatregel 'Temmen brakke kwel'.

[2] Niet opgenomen wegen onrealistische uitkomsten. Zie kanttekening in paragraaf 4.5 en in bijlagen A26 en A27.

De maatregelen kennen zonder uitzondering geen of positieve welvaartseffecten op droogteschade landbouw. De maatregelen zijn er immers veelal op gericht om tekorten in de waterbeschikbaarheid tegen te gaan. Voor de maatregelen zonder welvaartseffect op landbouw geldt veelal dat watertekorten voor doorspoeling (met een lagere prioriteit) worden verminderd (Q3, Q7, Q15, Q11), dat het op te heffen tekort niet in de uitgangssituatie is berekend (Q10), of dat de op te heffen droogteschade niet via beregening maar via het grondwater verloopt (Q6).

Het welvaartseffect scheepvaart is juist veelal negatief, meerdere maatregelen gebruiken water uit de Waal om dit water elders in te zetten. Dit heeft een negatief effect op de scheepvaart. Het berekende welvaartseffect scheepvaart is een orde-grootte kleiner dan het berekende welvaartseffect landbouw. Dit komt met name doordat het grootste Nederlandse knelpunt voor de scheepvaart op de beschouwde route bij Nijmegen ligt, en dit knelpunt door de beschouwde maatregelen in de berekeningen niet wordt beïnvloed.

Het berekende (gemiddelde) welvaartseffect van de maatregelen die ook in minder droge jaren een effect hebben (bijvoorbeeld Q2, of R1) lijkt groter dan maatregelen die alleen een tekort in (extreem) droge jaren opheffen (bijvoorbeeld Q14). Dit vergt nadere analyse, doordat de maatregelen in opzet en schaal sterk verschillen.

4.7 Kwalitatieve baten

Van de kansrijke maatregelen worden meer baten voorzien dan alleen de in deze studie berekende kwantitatieve effecten op scheepvaart (op de corridor Rotterdam – Lobith) en droogteschade landbouw (als gevolg van beregeningstekorten in oppervlaktewater). Deze baten zijn door de regionale partijen kwalitatief aangegeven in de door de zoetwaterregio's opgestelde factsheets. In Tabel 4.8 zijn deze kwalitatieve baten samengevat weergegeven. De plussen en minnen betreffen hierbij een respectievelijk positief danwel negatief maatschappelijk effect. Bijvoorbeeld een plus op 'Drinkwater – inzet buffer nodig' betekent daarmee een afname van hoe vaak de drinkwaterbuffers worden aangesproken, terwijl een min bij operationele kosten waterbeheer juist betekent dat de kosten toenemen.

Tabel 4.8 Kwalitatieve baten voor de verschillende maatregelen.

		Landbouw	Natuur		Scheepvaart		Drinkwater		Industrie		Overige maatschappelijke / economische effecten				Overige effecten	
Maatregel		Gewasopbrengst	Aquatische biodiversiteit	Terrestrische biodiversiteit	Wachttijden	Vaardieptebeperkingen	Inzet buffer nodig	Structurele Investeringen nodig	Productie toe- of afname	Structurele Investeringen nodig	Waterkwaliteit	Recreatieve waarde	Landschappelijk/Cultuurhistorisch	overig (specificeren)	Operationele kosten waterbeheer	CO2 vastlegging
Q1	Capaciteitsvergroting gemaal Hoogland	+		+	+	+					+					+
Q2	Uitbreiding aanvoercapaciteit oostelijke regio's	++	++	+		+	+		+	++	+	+	+	KRW, NNN, wb21	-	-
Q3	Zoutlekbestrijding sluizen Delfzijl, Harlingen	+			?				+	+	+					
Q5	Optimaliseren inlaten en waterverdeling	(+)	+								+	+	+		?	
Q6	Onderwaterdrainage in veengebieden	+												+		(+)
Q7	Afvoer Hagestein	+		+		-	+	+	+	+	+				+	+
Q8	Internationale samenwerking met Duitsland (afvoer Roer)		+				+		+		+				+	
Q9	Vermindering drinkwatergebruik		+		+		+		+		+	?			+	
Q10	Inlaatwerk Kromme Rijn	(+)													(++)	
Q11	Temmen van brakke kwel		+				+	+			+				+	
Q12	Hergebruik Effluent RWZI's	+	+	+			+				+			+	+	
Q13	Robuuste Doorvoer Krimpenerwaard	+	?				+	+			+	+	?		+	
Q14	Uitbreiden KWA (KWA++)	(+)	(?)				(+)	(+)			(+)	(+)	(?)		(+)	
Q15	Slimmer doorspoelen zoute polders	0/+									+				+	
M1	Optimalisering inlaten Noorderzijlvest	+	+								+				+	+
M6	Optimalisatie watersysteem Oost Flakkee	+									+	+		+	+	
M7	Optimalisatie van watersysteem	+							+		+				+	
M8	Gebruik externe waterbronnen	+									+?					
R1	Klimaatrobuust inrichten regionaal systeem	+	+	+							+	+	+	KRW, wb21, DAW		
R2	Anti-verziltingsmaatregelen noordelijk zeekleigebied	++	+								+				+/-	
R3	Waterbesparende maatregelen agrariërs en voorraadvorming	+	+	?							+				?	
R4	Spaarwater Noord-Holland	+	?	?							+				+	
R5	Uitrollen van proeftuin (POP)	+					+							leveringszeker-heid		

NB. Tussen haakjes weergegeven kwalitatieve baten zijn niet door de regionale partijen aangegeven, maar in aanvulling in deze rapportage toegevoegd.

5 Discussie en conclusies

5.1 Discussie

Deze maatregelverkenning hydrologie is uitgevoerd met instrumenten om relatief snel een eerste ordegrootte van het hydrologisch effect en welvaartseffect te bepalen. Zo is QWAST een vereenvoudiging van de waterverdeling in Nederland, en is er geen terugkoppeling van de waterverdeling met de hydrologie. Een aantal maatwerk-berekeningen gaan uit van (niet altijd onderbouwde) inschattingen van de regio, en leiden hier op basis van vuistregels een welvaartseffect van af. De Regioscan Zoetwatermaatregelen berekent kosten en baten van zoetwatermaatregelen, maar de werkelijke implementatie van dergelijke maatregelen in gebiedsprocessen is veel complexer. En ook de eenvoudige schaderelaties scheepvaart en landbouw zijn een sterke vereenvoudiging van de relatie tussen veranderde waterbeschikbaarheid en het optredende welvaartseffect. De onzekerheid om de berekende getallen is niet onderzocht. De resultaten van deze maatregelverkenning hydrologie zijn dan ook vooral geschikt als eerste inschatting van de welvaartseffecten van de beschouwde maatregelen.

In de maatregelverkenning hydrologie zijn slechts de op landelijke schaal grootste baten gekwantificeerd: scheepvaart over de corridor Rotterdam – Lobith, en droogteschade voor landbouw op uit oppervlaktewater beregende percelen in gebieden waar wateraanvoer mogelijk is. Voor de Regioscan maatregelen is daarnaast ook gekeken naar landbouwschade op niet-beregende percelen en naar zoutschade landbouw. Dit zijn uiteraard lang niet alle effecten van de maatregelen, en ook niet voor alle maatregelen de belangrijkste baten. Denk bijvoorbeeld aan de waterkwaliteitsverbetering door de berekende vermindering van tekorten voor doorspoelen (Q3, Q15), of het positieve effect op de drinkwatervoorziening van het zoet houden van de Lek (Q7). Dergelijke te verwachten effecten zijn zoveel mogelijk benoemd in de maatregel factsheets (Bijlage A). Ook komen ze terug in de tabel met kwalitatief aangegeven effecten (Tabel 4.8). Wanneer de maatregelen worden doorgerekend met het NWM kunnen meer (maar zeker ook niet alle) effecten worden gekwantificeerd.

Er zijn een aantal verschillende methoden toegepast om welvaartseffecten van de maatregelen te berekenen. Om de onderlinge vergelijkbaarheid zo groot mogelijk te maken, zijn zoveel mogelijk uitgangspunten gelijk gehouden. Zo is voor bijna alle maatregelen de rekenperiode gelijk, de beschouwde scenario's gelijk, en wordt gekeken naar het gemiddelde welvaartseffect over deze periode. Tussen de Regioscan-maatregelen en de maatregelen die met de schaderelatie landbouw zijn berekend, verschilt echter wat wordt verstaan onder kosten en baten. Voor de schaderelatie landbouw zijn kosten alleen toegenomen beregeningskosten, voor de Regioscan omvatten de kosten de investeringskosten en jaarlijkse kosten van de maatregel. De baten zijn voor de schaderelatie landbouw de toegenomen gewasopbrengst als gevolg van verminderde droogteschade op beregende percelen. Voor de Regioscan omvatten de baten het verschil in gewasopbrengst met de uitgangssituatie (als gevolg van zowel droogte- als zoutschade), en eventuele vermeden beregening ten opzichte van de uitgangssituatie. Voor de maatregelen R4 en R5 zijn erg hoge baten berekend, als gevolg van berekende verziltingsschade in zeer hoogwaardige landbouwgewassen. Bestaande maatregelen om zoetwater in deze gebieden te garanderen (aan- afvoersysteem, landbouwwaterleiding) worden in de berekeningen van het Nationaal Watermodel niet beschouwd. De berekende resultaten betreffen voor deze maatregelen waarschijnlijk een overschatting en zijn verder niet beschouwd.

In deze rapportage is de risicobenadering toegepast, zodat voor het bepalen van het welvaartseffect de kans op een droogtesituatie wordt meegenomen. Berekende welvaartseffecten voor maatregelen worden daarmee uitgemiddeld over alle jaren; ook jaren waarin geen tekorten

optreden. De berekende effecten lijken hierdoor kleiner dan in eerdere studies, waarin met name werd gekeken naar effecten van maatregelen in (extreem) droge jaren. Uit vergelijking van Tabel 4.3 met Tabel 4.4 blijkt dat het langjarig gemiddelde welvaartseffect gemiddeld een factor 10 kleiner is dan het welvaartseffect in het extreem droge jaar 1976.

5.2 Combinaties van maatregelen

In deze studie zijn de maatregelen elk apart beschouwd. Voor een aantal van deze maatregelen geldt dat ze niet los van elkaar gezien mogen worden. De welvaartseffecten van de afzonderlijke maatregelen mogen bij het opstellen van een maatregelpakket dan ook zeker niet worden gesommeerd. Daarnaast geldt dat het effect van een losse maatregel wellicht hoger is in combinatie met een andere maatregel.

Het gaat dan om:

- Q1 – Inlaat Hoogland, en Q2 – Aanvoercapaciteit oostelijke regio's. Bij de berekening van Q2 is de capaciteitsvergroting van Inlaat Hoogland inbegrepen. De capaciteitsvergroting van Inlaat Hoogland is namelijk voorwaardelijk om genoeg water aan te kunnen voeren om de optredende watertekorten in de oostelijke regio's op te kunnen heffen.
- Q10 – Inlaatwerk Kromme Rijn, Q13 – Robuuste doorvoer Krimpenerwaard, en Q14 – Uitbreiden KWA (KWA++). Het realiseren van een inlaatwerk voor de Kromme Rijn (Q10) is voorwaardelijk voor het uitbreiden van de KWA route (Q14). Er is na realisatie namelijk additionele aanvoer naar de KWA route mogelijk. Ook de Krimpenerwaard route (Q13) is een onderdeel van en daarmee voorwaardelijk voor het uitbreiden van de KWA route.
- De verschillende M3 maatregelen dienen hetzelfde doel, vermindering van de wachttijd door zuiniger schutten, en zijn daarmee niet optelbaar.

Wanneer ze worden gecombineerd kunnen effecten van maatregelen sowieso anders uitpakken, omdat ze veelal 'gebruik maken' van hetzelfde water. Om hier beter zicht op te krijgen is het aan te bevelen de maatregelen ook in combinatie door te rekenen, bij wijze van stresstest voor het systeem.

5.3 Conclusies

Van de 86 door de zoetwaterregio's aangedragen kansrijke maatregelen zijn 47 maatregelen geselecteerd om in deze maatregelverkenning te worden meegenomen. Deze 47 maatregelen zijn geclusterd in 25 maatregelen. De hydrologische effecten en welvaartseffecten landbouw en scheepvaart zijn berekend met de instrumenten QWAST, maatwerk, Regioscan Zoetwatermaatregelen, en eenvoudige schaderelaties voor scheepvaart en landbouw.

De maatregelen zijn verkend voor scenario's REF2017 en STOOM2050, om daarmee de hoekpunten van de Deltascenario's te bepalen. Het scenario REF2017 wordt representatief verondersteld voor Deltascenario's Druk en Rust in 2050, STOOM2050 wordt ook representatief verondersteld voor Warm in 2050. Voor scenario REF2017 zijn de berekende welvaartseffecten weergegeven in Tabel 4.6, voor scenario STOOM2050 in Tabel 4.7. Voor de beschouwde maatregelen is het welvaartseffect in scenario STOOM2050 flink groter dan het welvaartseffect in REF2017. In de beschouwde maatregelen is het welvaartseffect landbouw een orde groter dan het welvaartseffect scheepvaart. Verder is het berekende welvaartseffect van de maatregelen die ook in minder droge jaren een effect hebben groter dan maatregelen die een tekort in extreem droge jaren opheffen.

De maatregelen kennen zonder uitzondering geen of positieve welvaartseffecten op de berekende droogteschade landbouw. De maatregelen zijn er immers veelal op gericht om tekorten in de

waterbeschikbaarheid tegen te gaan. Het welvaartseffect scheepvaart is juist veelal negatief; meerdere maatregelen gebruiken water uit de Waal om elders in te zetten. Het welvaartseffect scheepvaart is een orde-grootte kleiner dan het berekende welvaartseffect landbouw. Dit komt met name doordat het grootste knelpunt voor de scheepvaart bij Nijmegen ligt, en dit knelpunt door de beschouwde maatregelen in de berekeningen niet wordt beïnvloed.

Door het toepassen van de risicobenadering wordt ook de kans op droogteproblemen meegenomen in het bepalen van het welvaartseffect. Dit betekent dat maatregelen die tekorten ook in minder extreem droge jaren verminderen beter kunnen scoren dan maatregelen die alleen in extreem droge jaren tekorten verminderen. Het betekent ook dat de gepresenteerde welvaartseffecten (gemiddelde over alle jaren, gewogen naar de kans van optreden, in euro's per jaar) beduidend lager liggen dan wanneer welvaartseffecten worden gepresenteerd voor (extreem) droge jaren (niet gewogen naar de kans van optreden, in euro's voor 1 jaar).

Van maatregelen die doorspoeling beperken wordt in deze studie geen welvaartseffect berekend. Dit komt doordat doorspoeling in de berekening een lage prioriteit is toegekend; water dat door beperken van doorspoeling beschikbaar komt, komt niet ten gunste van watervragen met een hogere prioriteit, zoals beregening (zie ook paragraaf 4.2). Het kwaliteitseffect dat met deze maatregelen wordt bereikt is echter niet gekwantificeerd.

Landbouwmaatregelen kennen in deze studie relatief grote baten in vergelijking met de andere maatregelen. Hierbij speelt – naast de kanttekening dat verzilting van hoogrenderende gewassen niet goed in de modellen wordt berekend – dat het om grote arealen gaat, die ook in minder extreem droge jaren positieve welvaartseffecten hebben.

5.4 Aanbevelingen

In deze studie zijn de effecten van kansrijke maatregelen op de waterverdeling en het optreden van watertekorten, op scheepvaart op de corridor Rotterdam – Lobith, en op droogteschade als gevolg van beregeningstekorten. Het wordt aanbevolen:

- De kosten en baten van de verkende maatregelen breder te beschouwen dan alleen de hier gekwantificeerde effecten. Voor individuele maatregelen kunnen andere maatschappelijke kosten en baten belangrijker wegen dan de hier beschouwde;
- De in deze studie verkende maatregelen ook in combinaties te verkennen. Maatregelen hebben in een aantal gevallen direct met elkaar te maken, in andere gevallen wordt gebruik gemaakt van dezelfde waterbron, en kunnen cumulatieve effecten optreden;
- De onzekerheden in de toegepaste rekenmethoden te kwantificeren. QWAST is specifiek voor deze studie gevalideerd (Becker & Gijsbers, 2019), de Regioscan is kwalitatief gevalideerd (Delsman, Boekel, et al., 2018), terwijl uit een recente gevoeligheidsanalyse bleek dat de resultaten robuust zijn (nog niet gepubliceerd). De onzekerheid in de eenvoudige relaties die zijn ontwikkeld voor scheepvaart en landbouw is evenwel niet gekwantificeerd. Idealiter wordt het gehele toegepast instrumentarium hierbij vergeleken met resultaten van het Nationaal Water Model inclusief betreffende effectmodules;
- De desbetreffende maatregelen ook in gradaties te verkennen. Een aantal maatregelen kunnen in gradaties worden geïmplementeerd, terwijl in deze studie alleen de maximale implementatie is verkend. Het doorrekenen van verschillende gradaties van implementatie kan inzicht geven in het verloop van de kosteneffectiviteit van een maatregel bij toenemende implementatie;
- De berekening van verziltingsschade in het Nationaal Watermodel aan een validatie te onderwerpen. Uit de berekening van maatregelen R4 en R5 bleken in het Nationaal Watermodel onrealistisch hoog geachte verziltingsschades te worden berekend voor hoogrenderende teelten in Zeeland en de kop van Noord-Holland.

6 Referenties

Arcadis. (2017). Verkenning vergrote aanvoer water via Betuwepand onder droge omstandigheden.

Baarse, G. (2012). *Quick Scan Regionale Rekentool voor evaluatie zoetwaterstrategieën - Beschrijving van opzet, werking en gebruik*. Delft.

van Bakel, J., & Mulder, H. M. (2019). Efficiëntie van beregening, presentatie. Retrieved from https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/AGENDA/Agenda 2019/20190509 Beregeningsmiddag/20190509 Presentatie Efficientie van beregening%2C Jan van Bakel.pdf

Becker, B., & Gijsbers, P. (2019). *Validatie QWAST versie 2019*. *Deltares rapport 11203734-004*. Delft.

Delsman, J. R., Reinhard, S., te Winkel, T., Van Loon, A. H., Boekel, E. M. P. M. van, Bartholomeus, R. P., et al. (2018). Regioscan Zoetwatermaatregelen - Beperken watervraag landbouw door kleinschalige maatregelen. *LANDSCHAP*, *35*(1), 67–73.

Delsman, J. R., Boekel, E. Van, Reinhard, S., te Winkel, T., Loon, A. Van, Bartholomeus, R. P., et al. (2018). *Regioscan Zoetwatermaatregelen - Verkennen van het perspectief van kleinschalige zoetwatermaatregelen voor de regionale zoetwateropgave*. *STOWA rapport 2018-13*.

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

Hendriks, A., & Gijsbers, P. (2016). *LCW Quick Scan Tool - Documentatie Prototype*. *Deltares rapport 1230078-001*. Delft.

Jong, J. de. (2019a). *Eenvoudige scheepvaartrelatie voor vaarkosten Waal door afname vaardiepte*. *Deltares memo 11203734-012-ZWS-0007*. Delft.

Jong, J. de. (2019b). *Toename van pomp- en vaarkosten door droogte bij Maasbracht en Born in het huidige en toekomstige klimaat en het effect van maatregelen 14a, 14b en 14c hierop. Deltares memo 11203734-012-ZWS-0005*. Delft.

Ter Maat, J., Haasnoot, M., Hunink, J. C., & Van der Vat, M. (2014). *Effecten van maatregelen voor de zoetwatervoorziening in Nederland in de 21e eeuw. Deltaprogramma - Deelprogramma Zoetwater - Fase 4*. *Deltares rapport 1209141-001-VEB-0004*. Delft, Netherlands.

Mens, M., Wijk, R. van der, Kramer, N., Hunink, J. C., Jong, J. de, Becker, B., et al. (2018). *Hotspotanalyses voor het Deltaprogramma Zoetwater*. *Deltares rapport 11202240-004*. Delft.

Mens, M., Delsman, J. R., Kramer, N., Pouwels, J., Loos, S., Gijsbers, P., et al. (2018). *Maatregelverkenning voor het Deltaprogramma Zoetwater*. *Deltares rapport 11202240-017*.

Mens, M., Hunink, J. C., Delsman, J. R., Pouwels, J., & Schasfoort, F. (2019). *Geactualiseerde knelpuntenanalyse voor het Deltaprogramma Zoetwater fase II*. *Deltares rapport 112003734-003*. Delft.

Mulder, H. M., & Veldhuizen, A. A. (2016). *Agricom 2.04; Theorie en gebruikershandleiding*. *Alterra-rapport 2576c Alterra,*.

Reinhard, S. (2019). *Concept advies voor gebruik kosten beregening in Agricom*. Den Haag.

Rozemeijer, J., Boomsma, H., Veldhuizen, A., Pouwels, J., Akker, J. van den, & Kroon, T. (2019). *Effecten van onderwaterdrainage op de regionale watervraag*. *Deltares rapport 11202752-002*.

A Analyse per verkende maatregel

A.1 Q1 – Capaciteitsvergroting inlaat Hoogland

Omschrijving maatregel

Doel van deze maatregel is het behouden van voldoende inlaatdebiet bij dalende IJsselmeerwaterstanden. Hierbij wordt de aanvoercapaciteit naar Friesland via gemaal Hoogland vergroot. In 2018 is de aanvoercapaciteit als noodoplossing met een tijdelijke pomp vergroot, maar het idee is om een permanente pomp te installeren. Deze maatregel is niet waterbesparend, omdat nog bij een lager IJsselmeerpeil water richting de regio gepompt kan worden.

Rekenwijze quickscan hydrologie

De maatregel richt zich op het vergroten van de inlaatcapaciteit van Friesland bij lagere IJsselmeerpeilen. In QWAST is het vooralsnog niet mogelijk om met peilafhankelijke inlaatcapaciteiten te werken. Er is voor deze maatregel daarom teruggevallen op DM-standalone. Hierbij wordt het Distributiemodel (DM) gevoed door de districtsvragen uit de Basisprognose-berekeningen, maar vindt er (net zoals in QWAST) geen terugkoppeling plaats van veranderde waterbeschikbaarheid naar de hydrologie. De invloed van een verandering in waterbeschikbaarheid op de watervraag in volgende tijdstappen, via bijvoorbeeld een peilverandering en daardoor veranderende grondwaterstanden, wordt daarmee niet meegenomen.

In DM is voor een viertal jaren binnen de 30-jarige reeks gerekend (1976, 1990, 1992, 2003). Dit zijn zowel de bekende droge jaren, als twee nattere jaren (1990, 1992). De berekeningen zijn voor scenario's REF2017 en STOOM2050 uitgevoerd.

Om de aannames in de berekeningen zoveel mogelijk gelijk te houden aan de maatregelberekeningen met QWAST zijn de district-inlaatcapaciteiten in het Fries-Groningse voorzieningsgebied in de uitgangssituatie onbeperkt verondersteld. Daarnaast is er vanuit gegaan dat in de uitgangssituatie de verdere beperkingen in het achterland zijn opgeheven. De doorvoercapaciteiten van Gaarkeuken, en gemalen Veendam en Vennix zijn verhoogd, zodat deze niet beperkend zijn. In de uitgangssituatie voor deze maatregel is hiermee maatregel Q2 als geïmplementeerd verondersteld.

In de maatregelberekening is vervolgens:

- De inlaatcapaciteit van Hoogland met 20 m^3/s verhoogd, en deze inlaatcapaciteit is aanwezig vanaf een IJsselmeerpeil vanaf -0,2 m NAP;
- Watervragers worden vanaf een 10cm lager IJsselmeerpeil gekort.

Deze laatste aanpassing heeft door de werking van het Distributiemodel effect voor het gehele IJsselmeergebied, het is niet mogelijk deze aanpassing alleen voor het voorzieningsgebied van Hoogland te laten gelden. Ook watervragers in Noord-Holland en Flevoland worden door deze aanpassing beïnvloed, terwijl dit niet de bedoeling is van de maatregel. Voor veranderingen in de resultaten wordt daarom alleen gekeken naar het voorzieningsgebied van inlaat Hoogland, dat wil zeggen Friesland, Groningen en het veenkoloniale gebied van Drenthe.

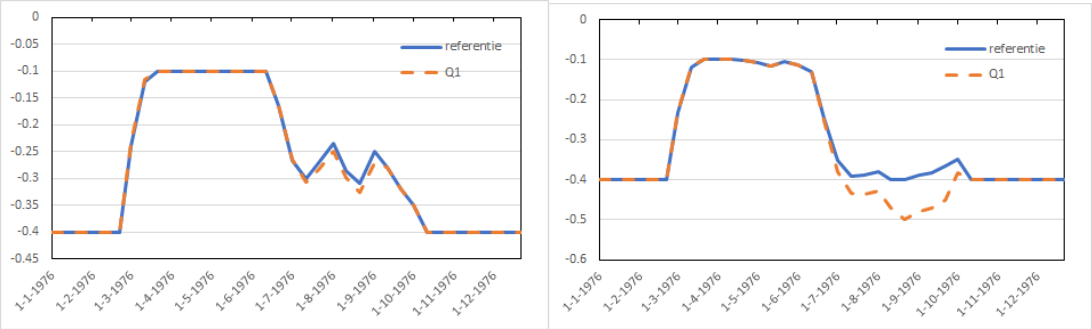
De maatregel Q1 onderzoekt hiermee specifiek het effect van vergroting van de inlaatcapaciteit en verlaging van het minimale inlaatpeil bij Hoogland.

Hydrologie

De aanpassing van de capaciteit en peilafhankelijkheid van inlaat Hoogland leidt tot een kleine toename van de inlaat Friesland in 1976 in scenario REF2017 (Figuur Q1-1, links). In STOOM2050 is het verschil groter. Eind augustus 1976 wordt in de uitgangssituatie de inlaat Friesland volledig gekort, omdat het IJsselmeerpeil daalt tot de ondergrens. In de maatregel kan ook onder het minimumpeil nog worden ingenomen, zodat de inlaat gehandhaafd blijft (Figuur Q1-1, rechts).

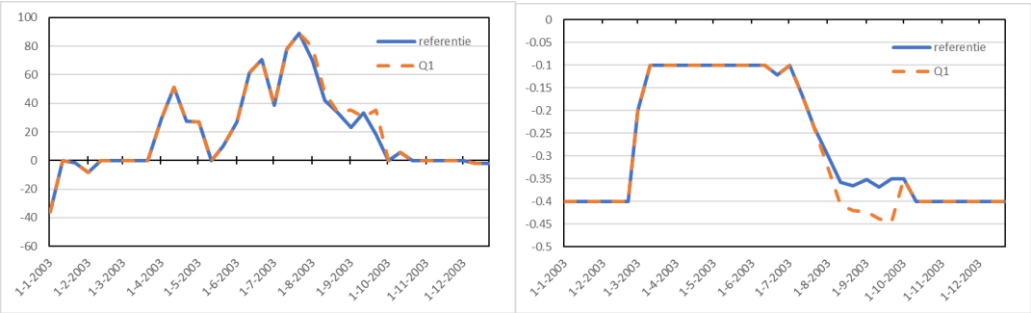
In het IJsselmeerpeil zijn in scenario REF2017 in 1976 beperkte verschillen te zien. In STOOM2050 kan met de maatregel tot onder het minimumpeil worden ingenomen. Het IJsselmeerpeil daalt daardoor tot onder het minimumpeil van -0,4 m NAP (Figuur Q1-2).

Figuur Q1-1 Berekende inlaat Friesland in 1976 met (oranje)- en zonder maatregel (blauw) voor scenario's REF2017 (links) en STOOM2050 (rechts). Let op dat de verticale as verschilt.



Figuur Q1-2 Berekend peil IJsselmeer in 1976 met (oranje)- en zonder maatregel (blauw) voor scenario's REF2017 (links) en STOOM2050 (rechts).

Eenzelfde beeld, hoewel in mindere mate, geldt voor het droge jaar 2003 in STOOM2050 (Figuur Q1-3).



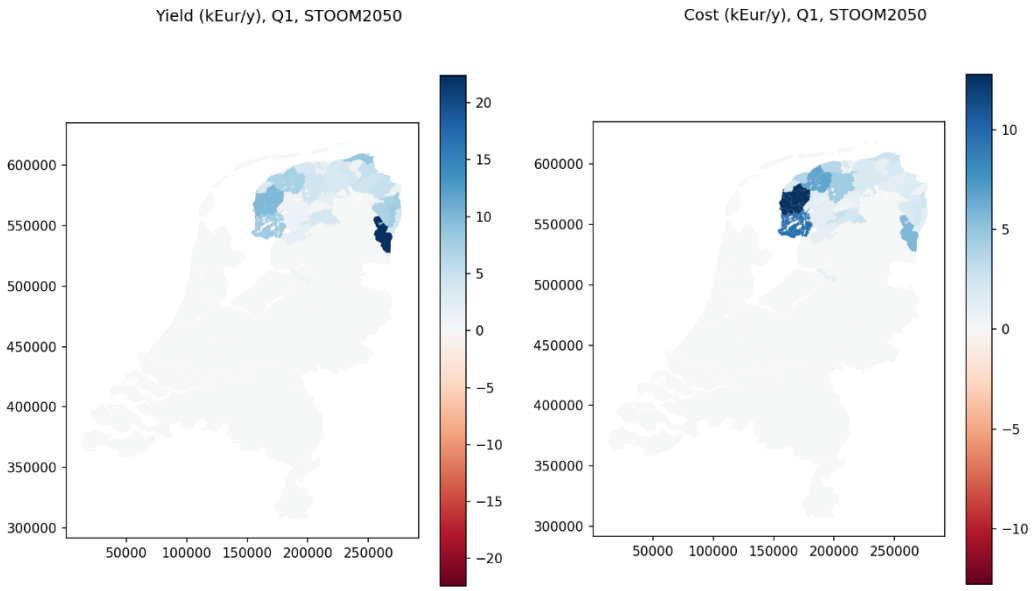
Figuur Q1-3 Berekende inlaat Friesland (links) en peil IJsselmeer (rechts) in 2003 met (oranje)- en zonder maatregel (blauw) voor scenario STOOM2050.

Scheepvaart

Effecten op scheepvaart konden met de gevolgde aanpak niet worden berekend. Verwacht wordt dat er geen effecten op de scheepvaart zijn, conform de resultaten van berekening Q2.

Droogteschade Landbouw

Door de capaciteitsvergroting van inlaat Hoogland is er meer water beschikbaar voor beregening uit oppervlaktewater. Door de toegenomen beregening neemt de gemiddelde opbrengst toe, maar ook de gemaakte kosten voor beregening (Figuur Q1-4). In REF2017 is de verandering in netto opbrengst (opbrengst minus beregeningskosten) 0.30 ME/jaar, in STOOM2050 loopt dit op tot 1.35 ME/jaar (Tabel Q1-1).



Figuur Q1-4 Berekende verandering in gemiddeld jaarlijkse gewasopbrengst (links) en beregeningskosten (rechts), voor scenario STOOM2050.

Tabel Q1-1 Berekende verandering in jaarlijkse gewasopbrengst, beregeningskosten, en netto opbrengst.

	REF2017			STOOM2050		
verandering in:	opbrengst (kE/jr)	kosten (kE/jr)	netto (kE/jr)	opbrengst (kE/jr)	kosten (kE/jr)	netto (kE/jr)
	0.00	0.00	0.00	139.57	-81.23	58.35

A.2 Q2 – Aanvoercapaciteit oostelijke kanalen en gemalen

Omschrijving maatregel

Het doel van deze maatregel is het vergroten van de aanvoergemalen; Uitbreiding aanvoercapaciteit van kanalen en gemalen naar de oostelijke hoger gelegen regio's Hunze en Aa's, Vechtstromen en Drents-Overijsselse Delta.

Door klimaatverandering neemt de watervraag in de regio's toe. Om in 2050 meer water beschikbaar te hebben voor de regio's is een buffer in het IJsselmeer ingesteld. Om dit extra water ook in de oostelijke regio's te kunnen krijgen moet plaatselijk de aanvoercapaciteit van kanalen en gemalen worden vergroot. Eerst zal een analyse worden uitgevoerd om de knelpunten in de aanvoerroutes in beeld te brengen. Het gaat om de aanvoerroute Friesland-Hunze en Aa's en om de aanvoerroute Hoogeveensche Vaart. Vervolgens zullen de kosten en baten van de benodigde oplossingsmaatregelen in beeld worden gebracht.

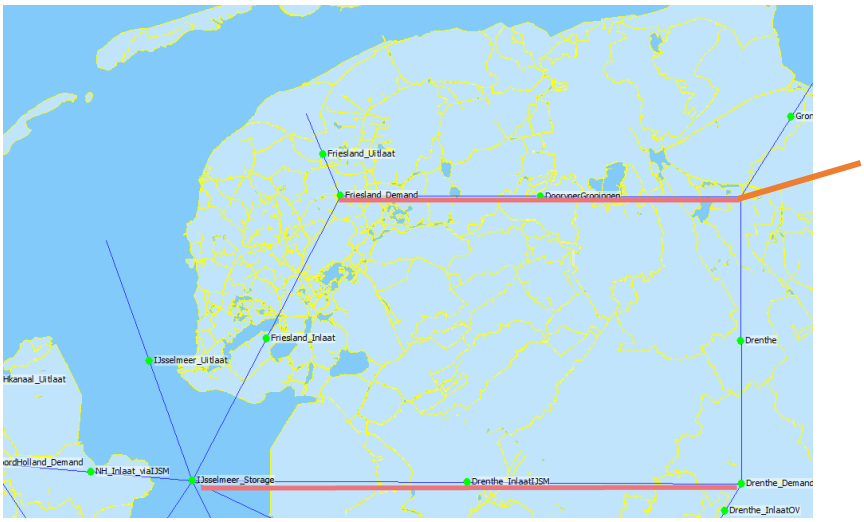
Rekenwijze quickscan hydrologie

In overleg met Jan den Besten (Hunze en Aa's) is geen aanname gedaan voor een capaciteit van de betreffende takken, maar zijn de betreffende takken op onbeperkte capaciteit gezet.

Bij een testberekening bleek met name de capaciteit van de tak Veenkolonie_Uitlaat (gemalen Veendam en Vennix) beperkend, en voor tekorten te zorgen in het Veenkoloniale gebied. De capaciteit van deze tak is daarom ook op onbeperkt gezet.

Het betreft de takken:

- Doorvoer_Groningen (van 24 m^3/s naar 1000 m^3/s),
- QST_Drenthe_InlaatIJSM (van 13.53 m^3/s naar 1000 m^3/s),
- VeenkolonieUitlaat (7.5 m^3/s naar 1000 m^3/s).

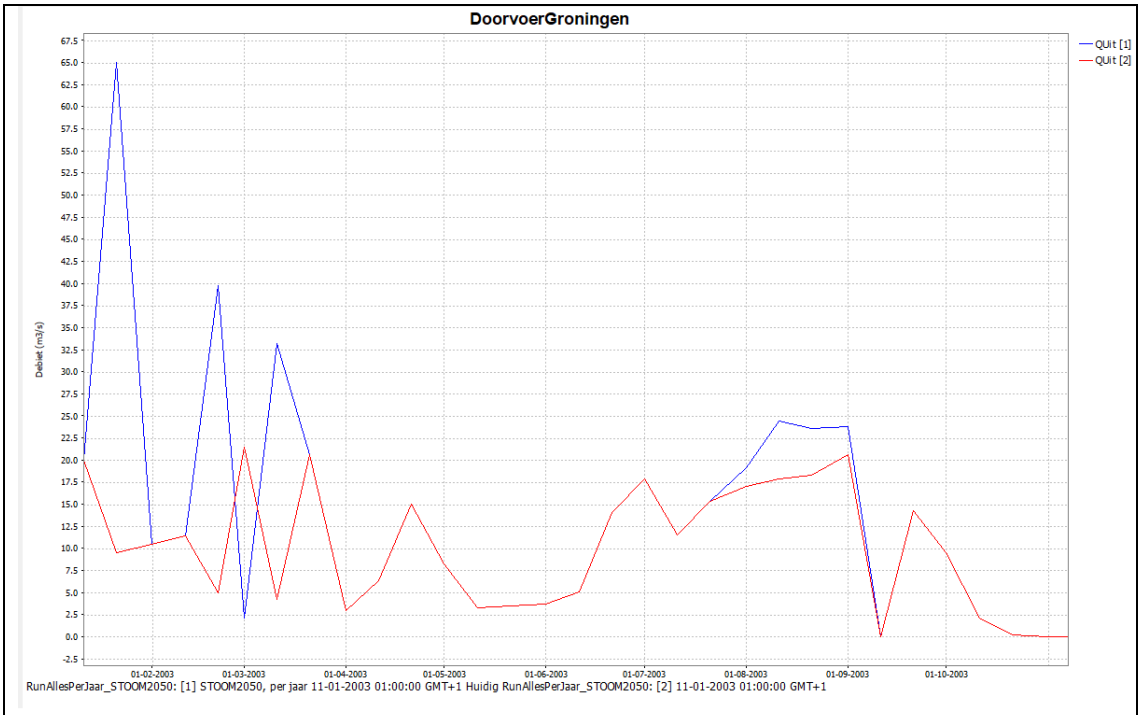


Figuur Q2-1 De takken met verhoogde capaciteit: DoorvoerGroningen, Drenthe_InlaatIJSM en VeenkolonieUitlaat

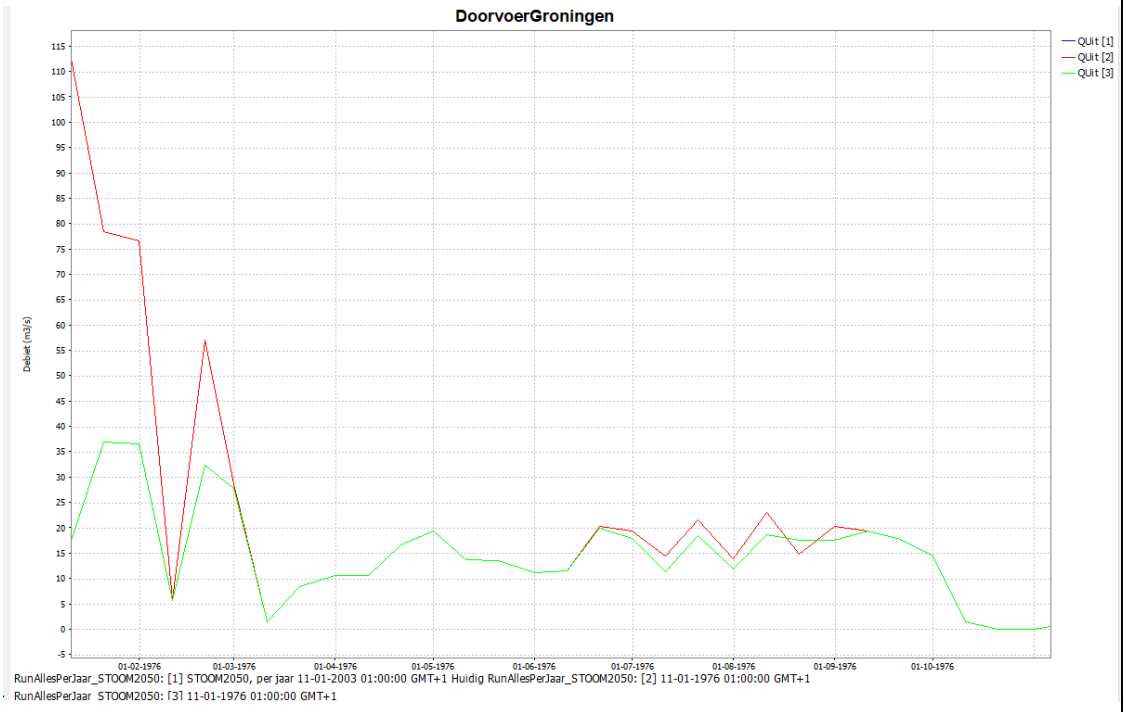
Hydrologie

De verhoogde capaciteiten van de takken Drenthe Inlaat en Groningen Doorvoer leiden allereerst tot een soort van modelartefact in de berekening van QWAST. Met de onbeperkte capaciteit van deze route, gebruikt QWAST de route over Gaarkeuken nu ook om de afvoer van Friesland af te voeren. Dit is een modelartefact, speelt alleen in de wintermaanden, en heeft geen gevolgen voor de waterverdeling tijdens droogte-perioden.

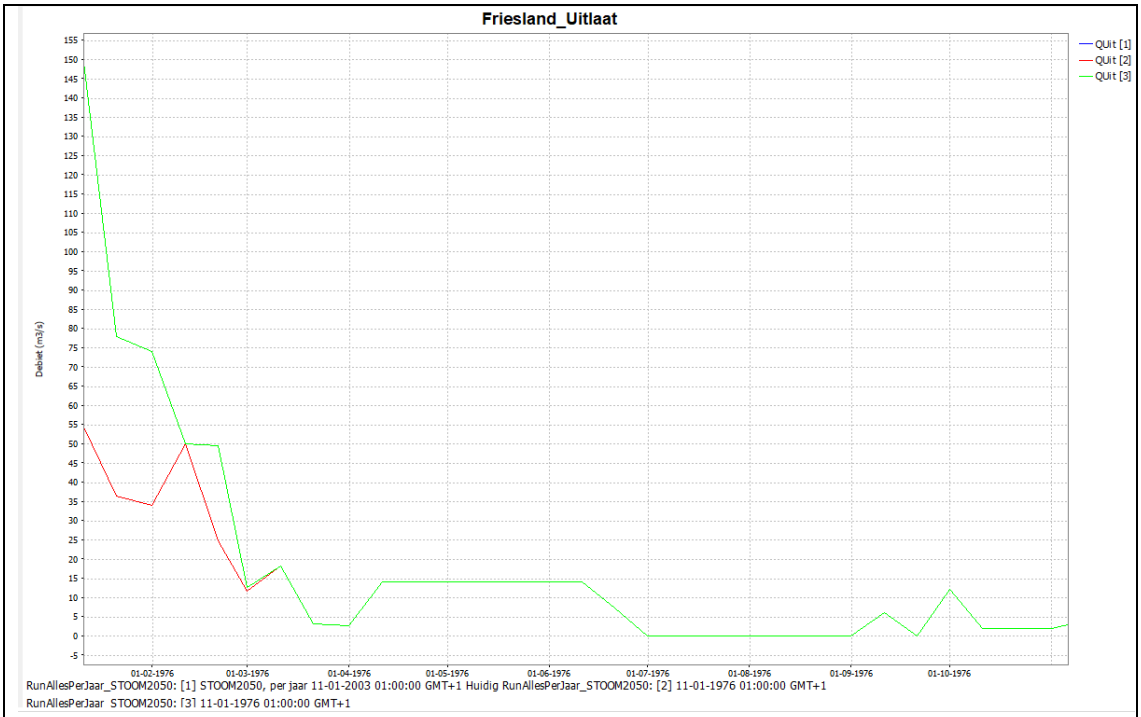
Het debiet van de tak Doorvoer Groningen met en zonder maatregel voor scenario STOOM2050 wordt getoond in Figuur Q2-2 (2003) en Q2-3 (1976). Zoals eerder opgemerkt worden afvoerpieken nu (foutief) over de route Gaarkeuken gestuurd. Belangrijker is het (veel kleinere) toegenomen debiet in de zomermaanden. Figuur Q2-4 toont de afvoer van Friesland in 1976, scenario STOOM2050. Doordat afvoerpieken in QWAST preferent over Gaarkeuken worden gestuurd neemt de winter-afvoer hier af. Op de zomerafvoer heeft de maatregel geen effect.



Figuur Q2-2 Uitstromend debiet met (blauw)- en zonder maatregel (rood) in de tak DoorvoerGroningen bij scenario STOOM2050 in 2003

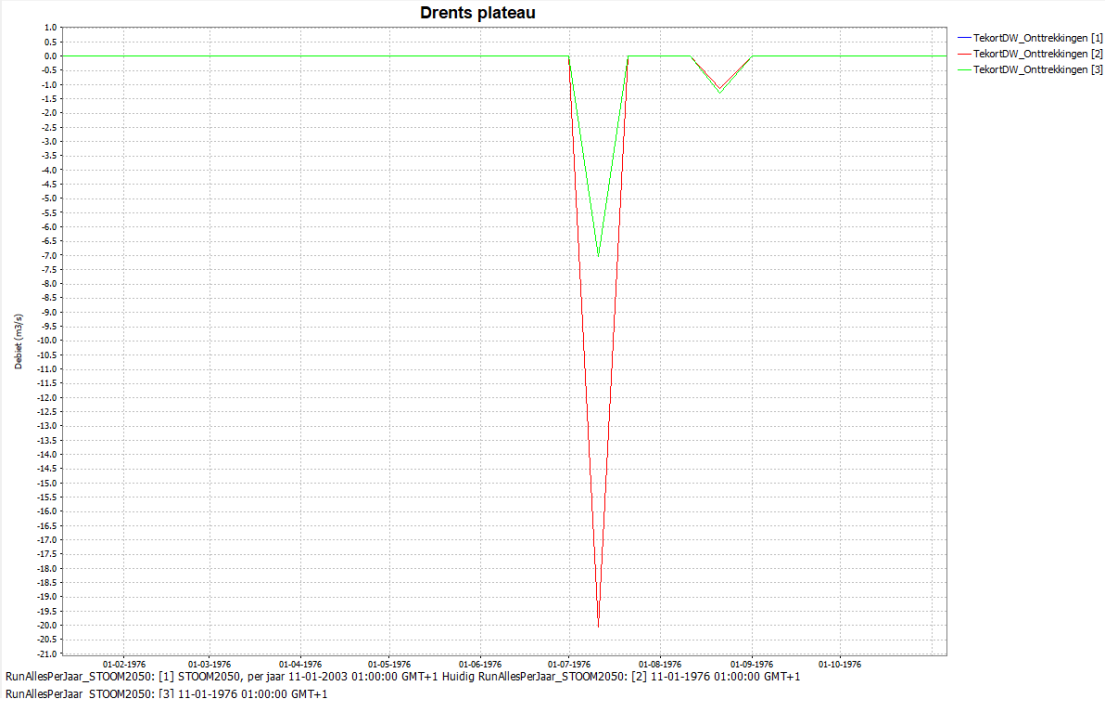


Figuur Q2-3 Uitstromend debiet met (rood)- en zonder maatregel (groen) in de tak DoorvoerGroningen bij scenario STOOM2050 in 1976

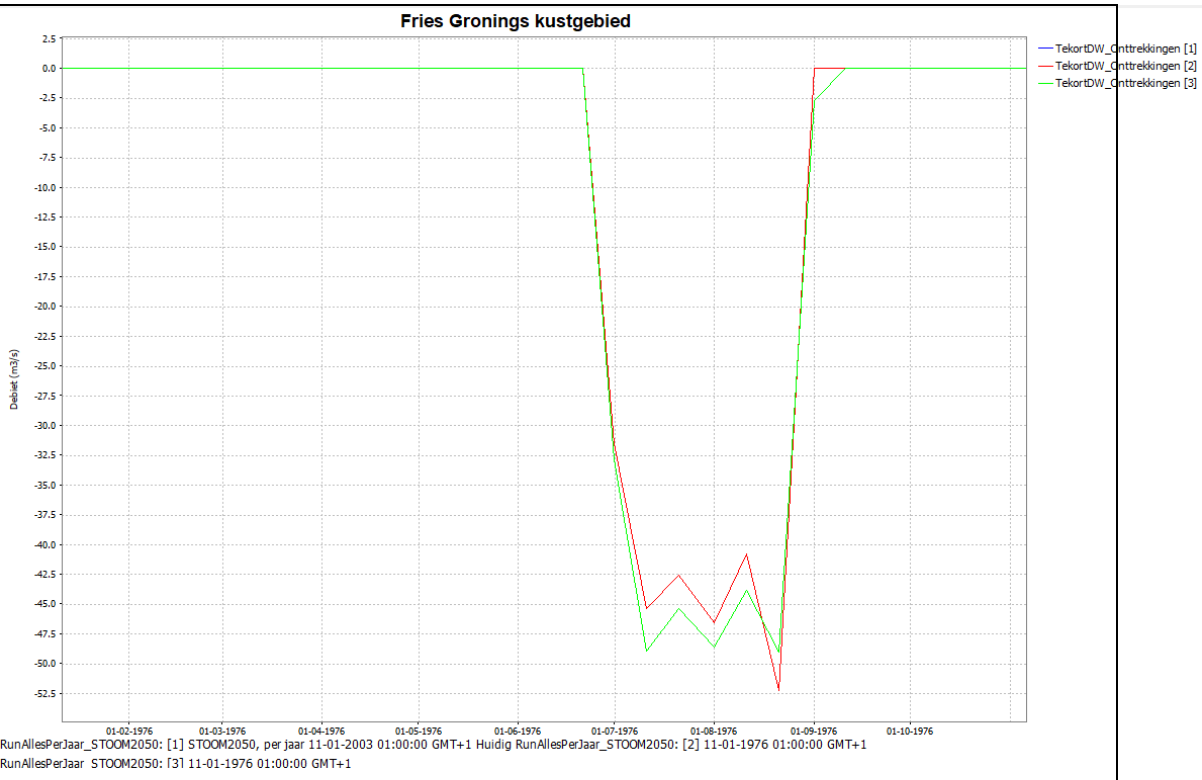


Figuur Q2-4 Uitstromend debiet met (rood)- en zonder maatregel (groen) in de tak Friesland_Uitlaat bij scenario STOOM2050 in 1976

De maatregel heeft een beperkte vermindering van de berekende tekorten op het Drents plateau tot gevolg (Figuur Q2-5). Ook voor het Fries Gronings kustgebied zijn de totaal tekorten in district onttrekkingen verminderd (Figuur Q2-6).

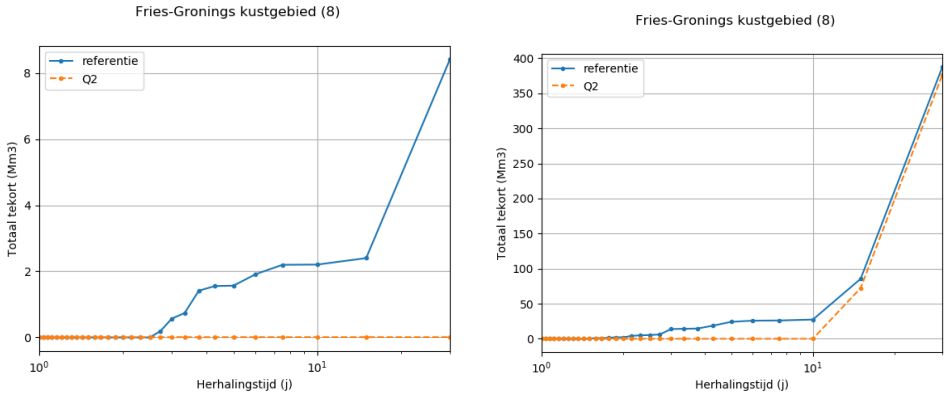


Figuur Q2-5 Tekort district onttrekkingen in het gebied Drents plateau met (rood)- en zonder (groen) maatregel bij scenario STOOM2050 in 1976



Figuur Q2-6 Tekort in district onttrekkingen in het Fries Gronings kustgebied met (rood)- en zonder (groen) maatregel bij scenario STOOM2050 in 1976

De maatregel lost het tekort in de regio op dat wordt veroorzaakt door een capaciteitsprobleem. In scenario REF2017 worden alle tekorten hierdoor opgelost. In STOOM2050 is er vanaf een herhalingstijd van 1/10 jaar niet genoeg aanbod in het IJsselmeer. Tekorten met en zonder maatregel lopen dan nagenoeg gelijk op.

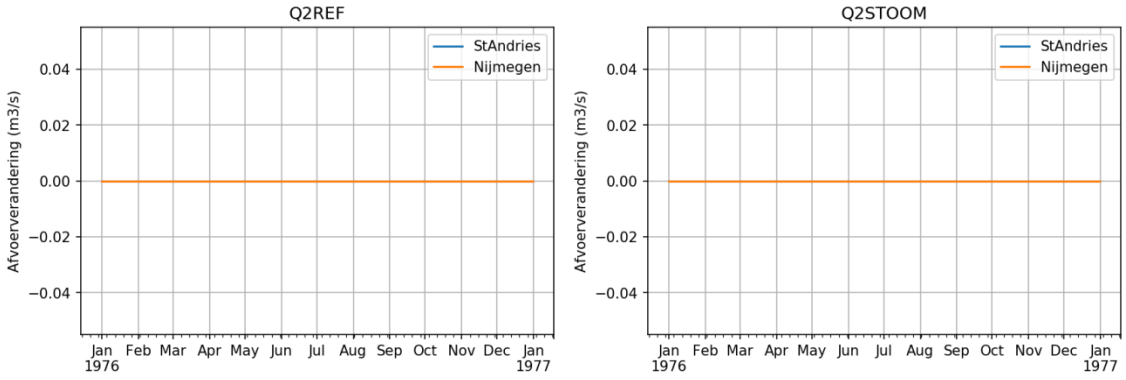


Figuur Q2-6 Overschrijdingskans van het Totaal tekort in regio Fries Gronings kustgebied met (oranje)- en zonder (blauw) maatregel bij scenario's REF2017 (links) en STOOM2050 (rechts). Let op de verschillende schaal.

Scheepvaart

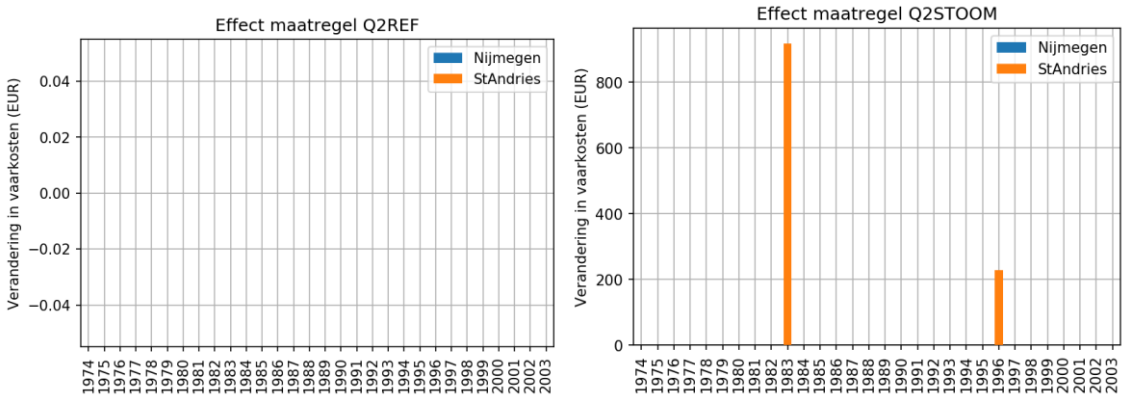
Het grootste deel van de vaarkosten in Nederland wordt gemaakt door de scheepvaart op de Waal. Er is daarom enkel gekeken naar het effect van deze maatregel op de afvoer op de Waal en het resultaat hiervan op de vaarkosten.

Uit de analyse met de eenvoudige scheepvaartrelatie is gebleken dat de deze maatregel geen effect heeft op de afvoer op de Waal bij Nijmegen, noch bij St. Andries (Figuur Q2-7). In een tweetal jaren is er in scenario STOOM2050 een verwaarloosbaar effect op St. Andries (Figuur Q2-8).



Figuur Q2-7 Afvoerverandering op de Waal bij Nijmegen en St. Andries in 1976, voor scenario's REF2017 (links) en STOOM2050 (rechts).

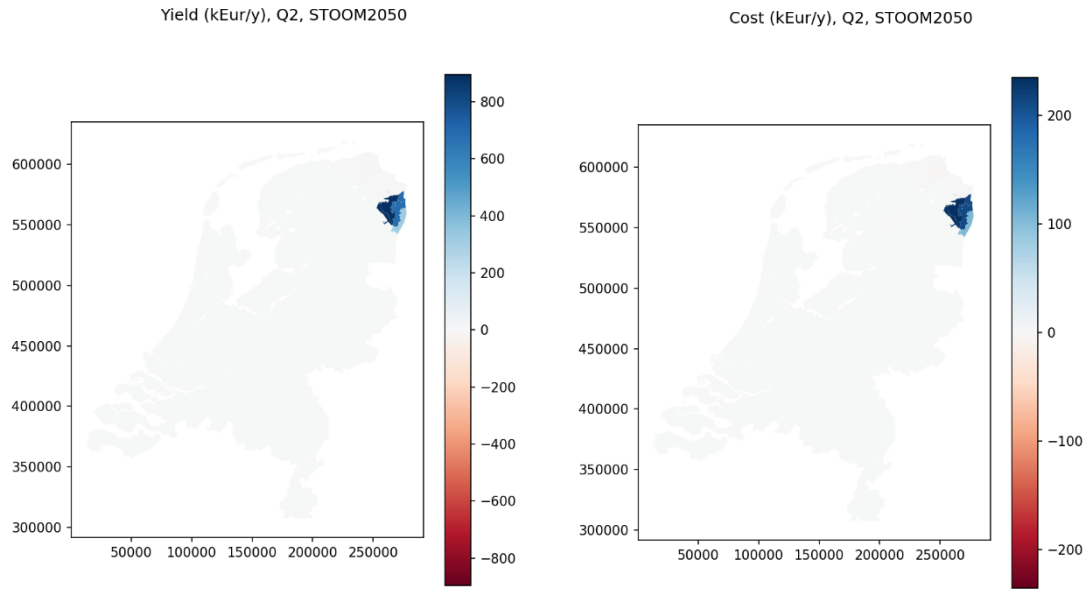
De gemiddelde verhoging van de jaarlijkse kosten in REF2017 in STOOM2050 is verwaarloosbaar klein (minder dan €100, Figuur Q2-8).



Figuur Q2-8 Berekende verandering in vaarkosten op de Waal bij Nijmegen en St. Andries, voor scenario's REF2017 (links) en STOOM2050 (rechts).

Droogteschade Landbouw

Door het opheffen van de capaciteitsbeperking in de doorvoer naar de oostelijke regio's is er meer water beschikbaar voor beregening uit oppervlaktewater. Door de toegenomen beregening neemt de gemiddelde opbrengst toe, maar ook de gemaakte kosten voor beregening (Figuur Q2-8). In REF2017 is de verandering in netto opbrengst (opbrengst minus beregeningskosten) 0.30 ME/jaar, in STOOM2050 loopt dit op tot 1.35 ME/jaar (Tabel Q2-1).



Figuur Q2-7 Berekende verandering in gemiddeld jaarlijkse gewasopbrengst (links) en beregeningskosten (rechts), voor scenario STOOM2050.

Tabel Q2-1 Berekende verandering in jaarlijkse gewasopbrengst, beregeningskosten, en netto opbrengst.

	REF2017			STOOM2050		
verandering in:	opbrengst (ME/jr)	kosten (ME/jr)	netto (ME/jr)	opbrengst (ME/jr)	kosten (ME/jr)	netto (ME/jr)
	0.40	0.10	0.30	1.90	0.55	1.35

Let op dat de eenvoudige relatie alleen geschikt is voor peilbeheerste gebieden. De afname van tekorten op het Drents Plateau wordt daarom niet meegenomen in de berekende verschillen in landbouw-opbrengst. Naar verwachting zijn de positieve effecten op de landbouw-opbrengst daarmee hoger dan hier berekend.

A.3 Q3 – Zoutlekbestrijding sluizen Delfzijl en Harlingen

Omschrijving maatregel

Aanpassen sluis Delfzijl

Delfzijl heeft veel water nodig als tegendruk om verzilting te voorkomen. De vraag is wat er zal gebeuren als het zoutlek bij sluis Delfzijl wordt verminderd en er daarom minder doorspoeling nodig is. Nu wordt ca. 2 m³/s IJsselmeerwater gebruikt om het Eemskanaal voldoende zoet te houden. Dit is ongeveer 10% van de aanvoercapaciteit van gemaal Dorkwerd.

Aanpassen sluis Harlingen

De huidige beroepsvaartsluis in Harlingen zal naar verwachting binnen enkele decennia vervangen worden door een nieuwe sluis. Vanuit het oogpunt van zoetwaterbeschikbaarheid en de nog verwachte zeespiegelstijging is het gewenst, de nieuwe sluis zo te ontwerpen dat bij het gebruik van deze sluis zo min mogelijk zout water binnenkomt. Een vermindering van de noodzakelijke doorspoeling in Harlingen tegen zoutindrining leidt tot een geringere waterbehoefte uit het IJsselmeer en naar verwachting ook tot een verminderd slibbezwaar in de haven van Harlingen. De vernieuwing van de sluis Harlingen biedt daarnaast ruimtelijk ook kansen voor de realisatie van gemaalcapaciteit, om de daarmee de extra belasting van het Friese watersysteem als gevolg van klimaatverandering op te vangen.

Rekenwijze quickscan hydrologie

Delfzijl

De doorspoelvraag van het Eemkanaal wordt gehalveerd. In QWAST wordt dit gesimuleerd door de doorspoelvraag van de tak Groninger Uitlaat te veranderen. Deze tak representeert drie takken van LHM: Eemskanaal, Westerwoldsche Aa en Gemaal Rozema. Bijgevolg wordt de doorspoelvraag met de maatregel op de volgende manier berekend:

$Q_{GroningerUitlaatMaatregel} = Q_{GroningerUitlaat} - Q_{Eemskanaal} / 2$

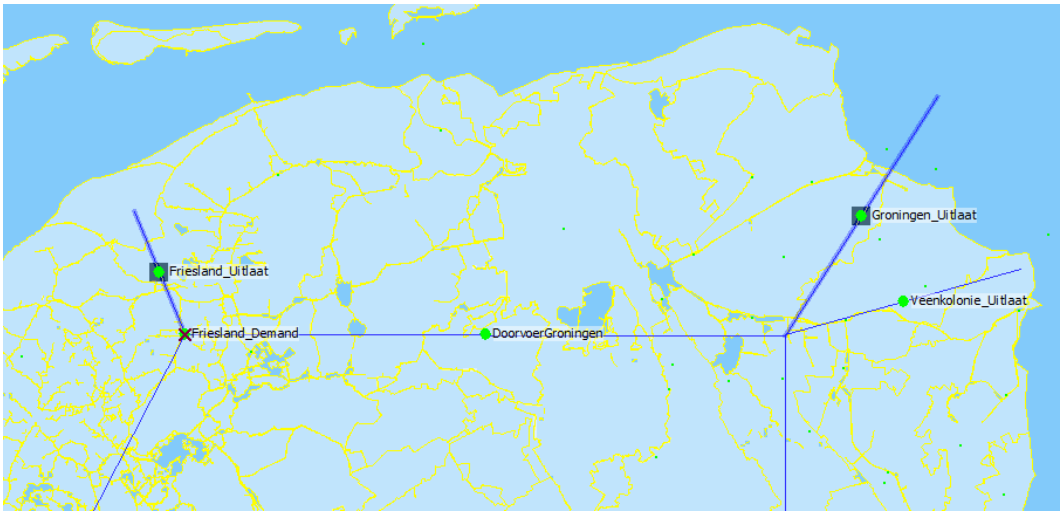
Q Eemskanaal	Zonder maatregel (m^3/s)	Met maatregel (m^3/s)
REF2017	1.7	0.85
STOOM2050	3.4	1.7

Harlingen, Tsjerk Hiddesluizen

De doorspoelvraag van de sluis wordt gehalveerd. In QWAST wordt dit gesimuleerd door de doorspoelvraag van de tak Friesland Uitlaat te veranderen. Deze tak representeert drie takken van LHM: Electraboezem de Waterwolf & HD, Spuisluizen Dokkum en Tsjerk Hiddesluizen. Bijgevolg wordt de doorspoelvraag met de maatregel berekend op de volgende manier:

$Q_{FrieslandUitlaatMaatregel} = Q_{FrieslandUitlaat} - Q_{Tsjerk\ Hiddesluizen} / 2$

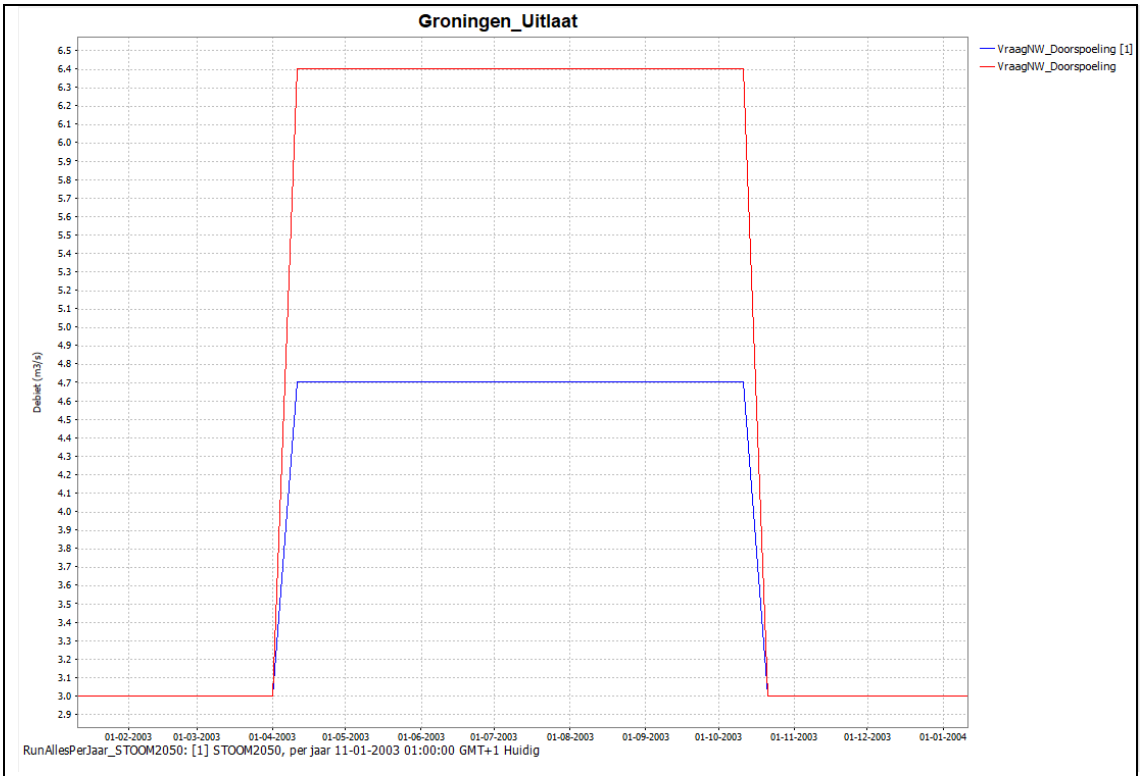
Q Tsjerk Hiddesluizen	Zonder maatregel (m^3/s)	Met maatregel (m^3/s)
REF2017	5	2.5
STOOM2050	10	5



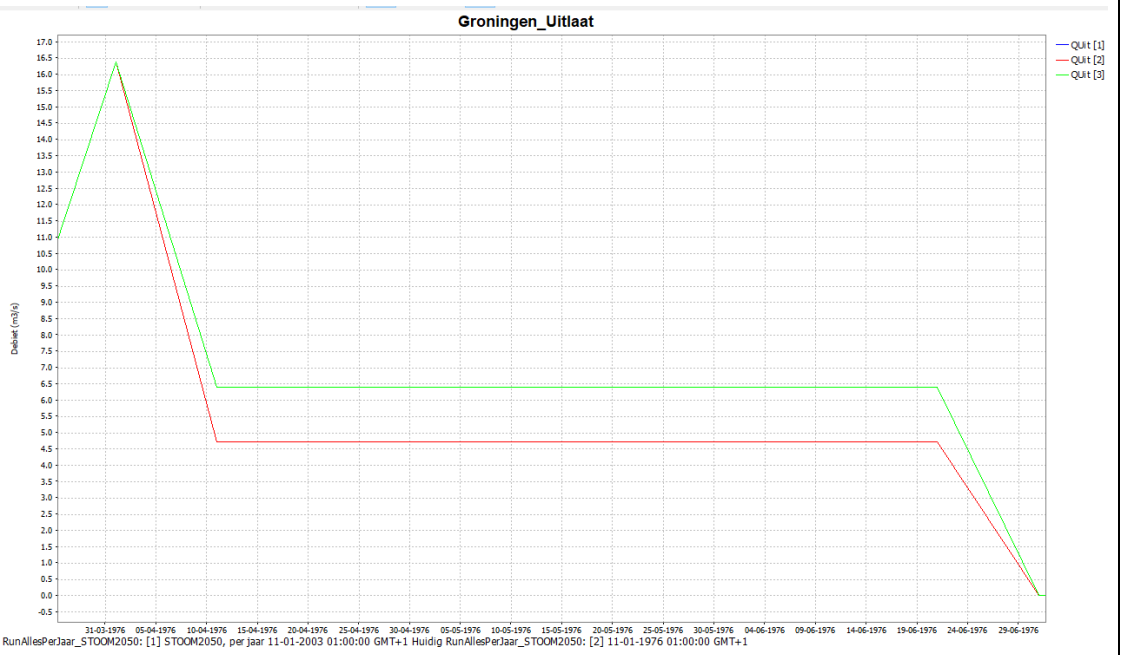
Figuur Q3-1 De locatie van Friesland Uitlaat en Groninger Uitlaat in het QWAST netwerk.

Resultaten hydrologie

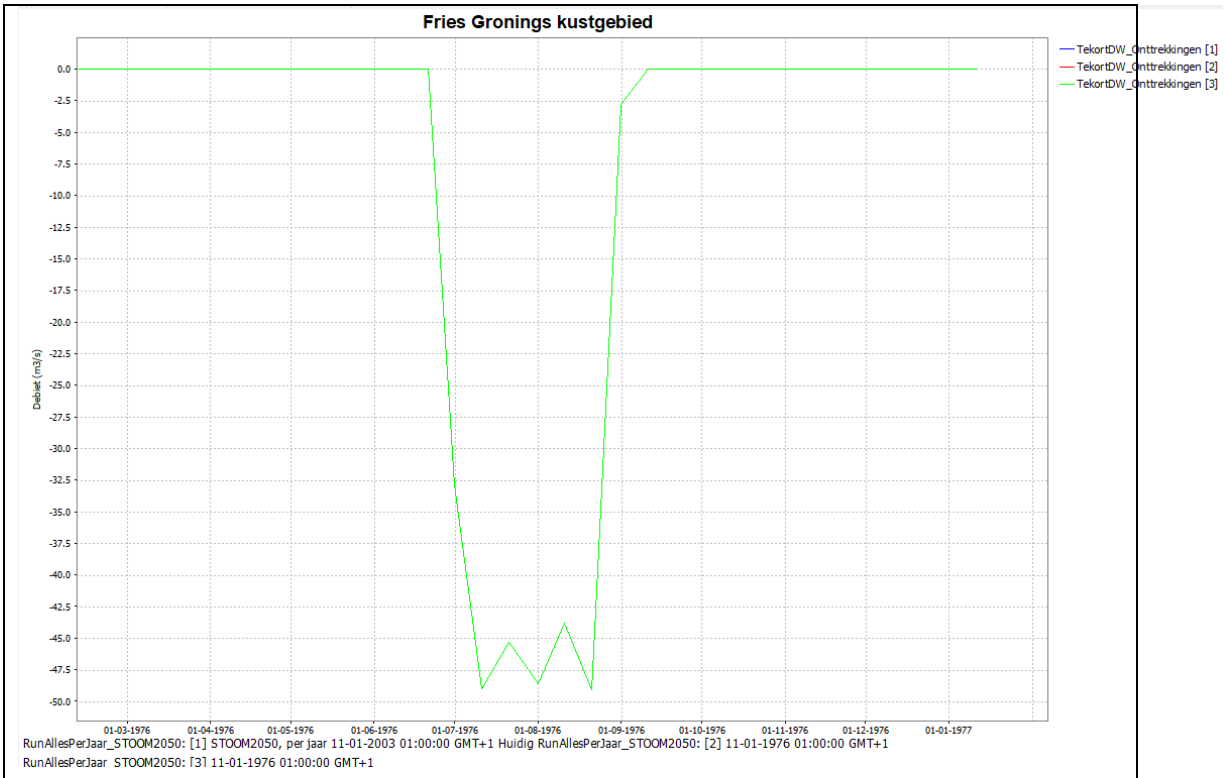
Figuur Q3-2 toont dat er minder debiet wordt gevraagd voor doorspoeling op de tak Groningen_Uitlaat, overeenkomend met de opgelegde vermindering. Er is daardoor minder debiet over deze tak (zie Figuur Q3-3). Voor Friesland_Uitlaat is hetzelfde patroon zichtbaar.



Figuur Q3 -2 Doorspoelvraag op de tak Groningen_Uitlaat met (blauw) en zonder maatregel (rood) in 2003, scenario Stoom 2050.



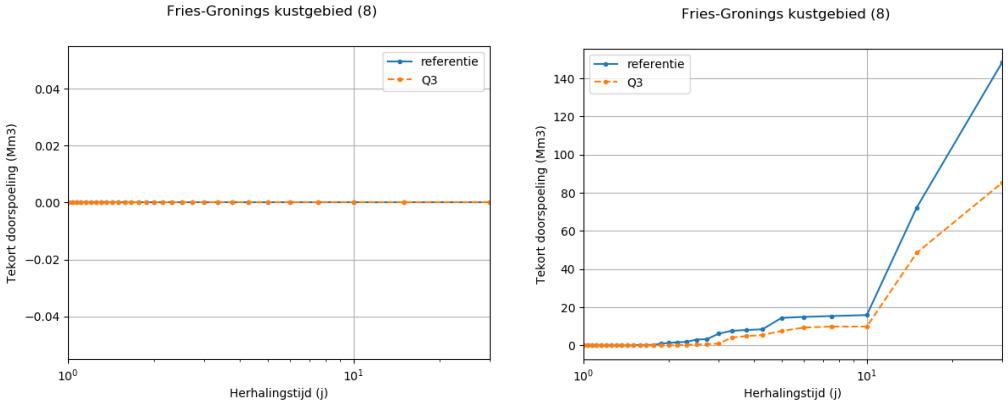
Figuur Q3 -3 Debiet op de tak Groningen_Uitlaat met (rood) en zonder maatregel (groen) in 1976, scenario Stoom 2050.



Figuur Q3-4 Totaal district tekorten in het Fries Gronings kustgebied met (rood)- en zonder (groen) maatregel bij scenario STOOM2050 in 1976.

Deze maatregel blijkt geen effect te hebben op tekorten van de andere functies in het gebied (Figuur Q3-4). Dit komt doordat de vraag voor doorspoeling van het netwerk in QWAST de allerlaagste prioriteit toebedeeld heeft gekregen. In de situatie dat er een tekort optreedt voor doorspoeling van het netwerk, is al het beschikbaar water daarmee al verdeeld over de overige functies. Er komt daarmee geen water ‘beschikbaar’ voor andere functies (die hebben dit immers al gekregen), alleen het tekort voor doorspoeling zelf neemt af.

Figuur Q3-5 geeft de overschrijdingskans van het tekort voor doorspoelen. In scenario REF2017 zijn er geen tekorten, deze worden dan ook niet beïnvloed door de maatregel. In STOOM2050 treden in de uitgangssituatie ongeveer om het jaar tekorten op in doorspoeling, dit wordt met de maatregel uitgesteld tot eens elke drie jaar. Daarnaast zijn de tekorten voor doorspoeling afgenomen, zeker in de extremere droogtejaren (meer dan 1/10 jaar).

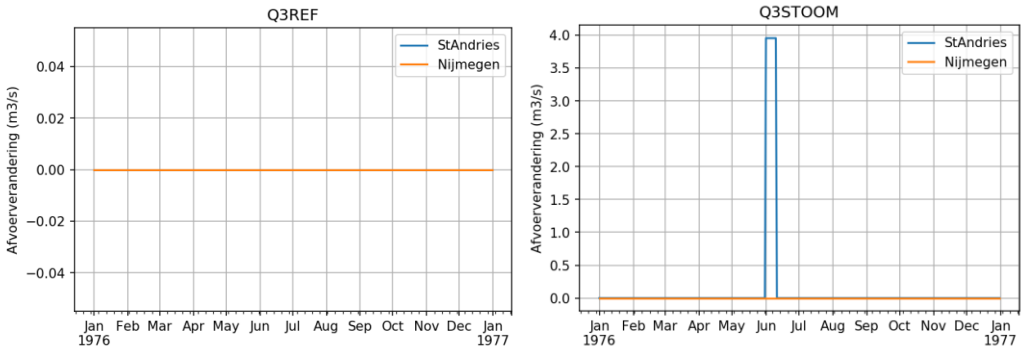


Figuur Q3-5 Overschrijdingskans van het Tekort Doorspoeling in regio Fries Gronings kustgebied met (oranje)- en zonder (blauw) maatregel bij scenario's REF2017 (links) en STOOM2050 (rechts).

Scheepvaart

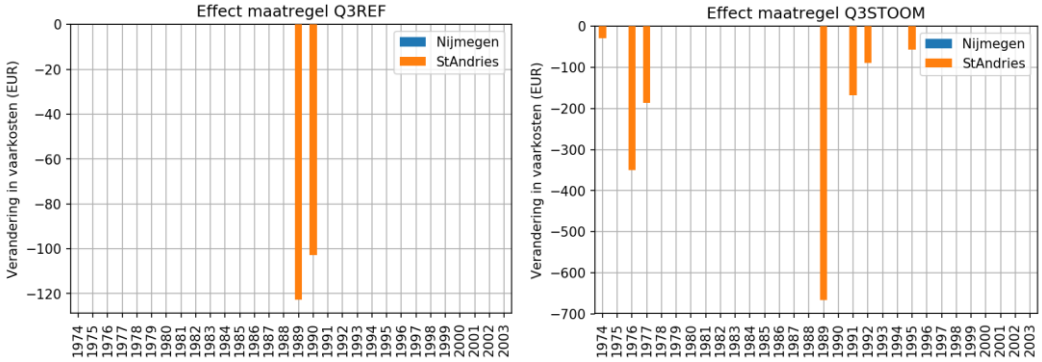
Het grootste deel van de vaarkosten in Nederland worden gemaakt door de scheepvaart op de Waal. Er is daarom enkel gekeken naar het effect van deze maatregel op de afvoer op de Waal en het resultaat hiervan op de vaarkosten.

Uit de analyse met de eenvoudige scheepvaartrelatie is gebleken dat de deze maatregel geen effect heeft op de afvoer op de Waal bij Nijmegen, bij St. Andries treedt er bij droge perioden wel een positief effect op (Figuur Q3-6).



Figuur Q3-6 Afvoerverandering op de Waal bij Nijmegen en St. Andries in 1976, voor scenario's REF2017 (links) en STOOM2050 (rechts).

De gemiddelde verlaging van de jaarlijkse kosten is zowel in REF2017 als in STOOM2050 verwaarloosbaar (minder dan €100, Figuur Q3-7).



Figuur Q3-7 Berekende verandering in vaarkosten op de Waal bij Nijmegen en St. Andries, voor scenario's REF2017 (links) en STOOM2050 (rechts).

Landbouw

Door de maatregelen veranderen tekorten voor beregening niet, er zijn door de eenvoudige schaderelatie landbouw dan ook geen verschillen berekend (Tabel Q3-1).

Tabel Q3-1 Berekende verandering in jaarlijkse gewasopbrengst, beregeningskosten, en netto opbrengst.

	REF2017			STOOM2050		
verandering in:	opbrengst (ME/jr)	kosten (ME/jr)	netto (ME/jr)	opbrengst (ME/jr)	kosten (ME/jr)	netto (ME/jr)
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

De schaderelatie houdt geen rekening met eventuele verandering van zoutschade van landbouwgewassen bij afnemende zoutconcentraties in het oppervlaktewater. Doordat er minder doorspoeling nodig is, en daardoor minder doorspoeltekorten optreden, zullen zoutconcentraties bij de maatregel gemiddeld wat afnemen.

A.4 Q5 – Optimaliseren inlaten en waterverdeling Rivierenland

Omschrijving maatregel

De inlaten uit het hoofdwatersysteem groeien mee met de waterbehoefte in 2050. Waterschap Rivierenland verbetert de waterdoorvoer op basis van aanvoerstudies én opgetreden knelpunten tijdens de Droogte van 2018.

De inlaten uit het hoofdwatersysteem worden van pompen voorzien indien deze droogvallen, blijkend uit RVZR en Droogte2018. Het waterschap ziet dit als een anticiperende maatregel los van andere waterverdeling. Door middel van aanvoerstudies met behulp van SOBEK-modellering en de ervaringen uit de droogte 2018 wil het waterschap de knelpunten aanpakken om de interne waterverdeling te optimaliseren. Voor de inlaten uit het hoofdwatersysteem gaat het om een gemaalcapaciteit van 21 m^3/s voor het hele beheersgebied. Voor de interne waterverdeling ten eerste Tielerwaard en Bommelerwaard, maar kan in de toekomst voor het gehele gebied.

Rekenwijze quickscan hydrologie

Er zijn twee inlaten met een maximale capaciteit voor Rivierenland in QWAST:
- Kuijkgemaal, max 4.6 m3/s
- Gemaal Pannerling (Inlaat Doornenburg), max 8 m3/s

De capaciteit van districtsinlaten wordt in de maatregelverkenning aangenomen niet beperkend te zijn, zowel niet in de uitgangssituatie als in de situatie met maatregel. Een deel van de tekorten die deze maatregel beoogt op te heffen, treden in QWAST daarom in de uitgangssituatie al niet op.

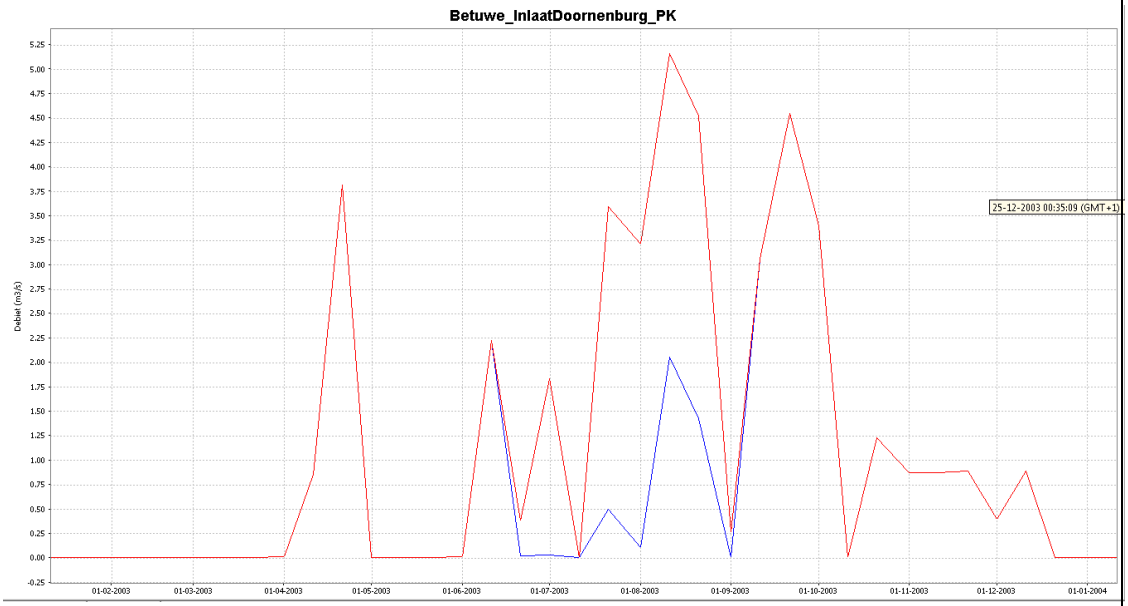
De totale capaciteit in het referentie scenario is 12.6 m3/s. De totale inlaatcapaciteit wordt in 2050 verhoogd tot 21 m^3/s, dit is een groei van 67%. Deze toename wordt toegepast op beide inlaten:
- Kuijkgemaal, max 7.7 m3/s (Betuwe_InlaatKuijgemaal_NR)
- Gemaal Pannerling (Inlaat Doornenburg), max 13.3 m3/s (Betuwe_InlaatDoornenburg_PK)

Resultaten van de zo uitgevoerde QWAST berekening lijken met name het gevolg van een modelartefact (zie beschrijving hydrologie). Om een inschatting te kunnen maken van de maximale effecten in de Tielerwaard en de Bommelerwaard is er daarom naast de berekening met QWAST ook gekeken naar de optredende tekorten voor beregening in de oorspronkelijke NWM berekeningen. Het opheffen van deze tekorten is vertaald in effecten op gewasopbrengst en beregeningskosten (zie beschrijving droogteschade landbouw).

Hydrologie

Dankzij de maatregel verschuift een deel van de inlaat van het Noordelijke Rivierengebied in QWAST van Inlaat Doornenburg naar het Kuijkgemaal (Figuur Q5-1 versus Q5-2). Dit is een QWAST modelartefact, voor QWAST is er geen onderscheid tussen beide routes om water naar het gebied aan te voeren.

Figuur Q5-1 Debiet van Kuijkgemaal, met (blauwe lijn) en zonder (rode lijn) maatregel.



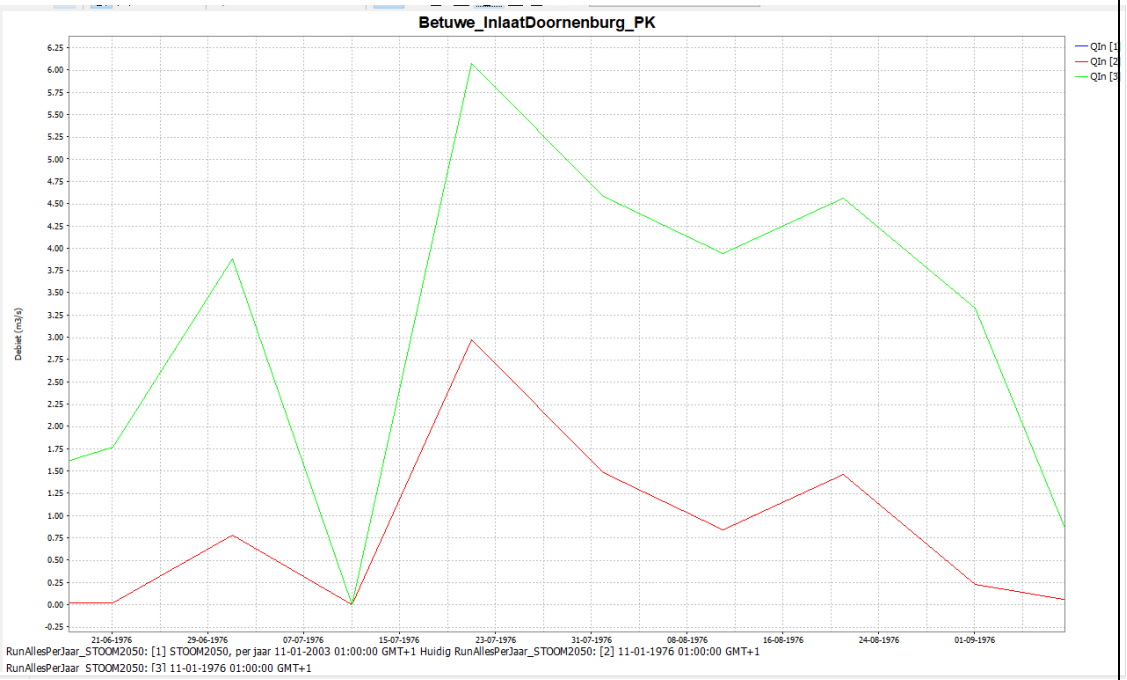
Figuur Q5-2 Debiet van Inlaat Doornenburg, met (blauwe lijn) en zonder (rode lijn) maatregel.

In 2003 treden er in de QWAST berekeningen geen tekorten op, noch in het REF2017, noch in het STOOM2050 scenario. Er is dan ook geen verandering in tekorten berekend. Eenzelfde verschuiving is zichtbaar in 1976. Er wordt meer water ingelaten bij het Kuijkgemaal (niet getoond), en minder water ingelaten bij Inlaat Doornenburg (Figuur Q5-3).

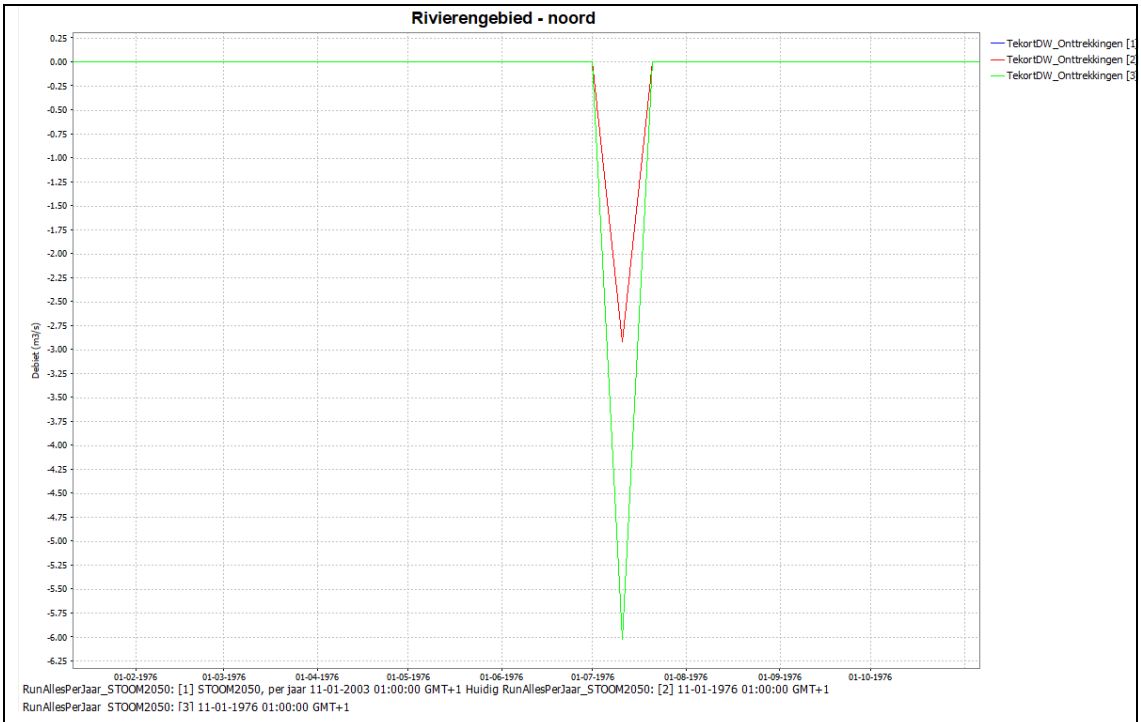
Op 11 juli 1976 treedt bij Inlaat Doornenburg in scenario STOOM2050 een tekort op, zowel in de situatie met als zonder maatregel. In de QWAST berekening treedt dit tekort op, omdat het water

over de IJssel nodig is om verdamping van het IJsselmeer te compenseren. Doordat door de kleinere inname bij Inlaat Doornenburg (verschuiving naar Kuijkgemaal) extra water beschikbaar komt over de IJssel, nemen daarnaast tekorten af in het IJsselmeergebied. Het is zeer de vraag in hoeverre in een werkelijke situatie de inname bij Doornenburg zal worden gestopt om verdamping op het IJsselmeer te compenseren; dit lijkt voornamelijk een modelartefact.

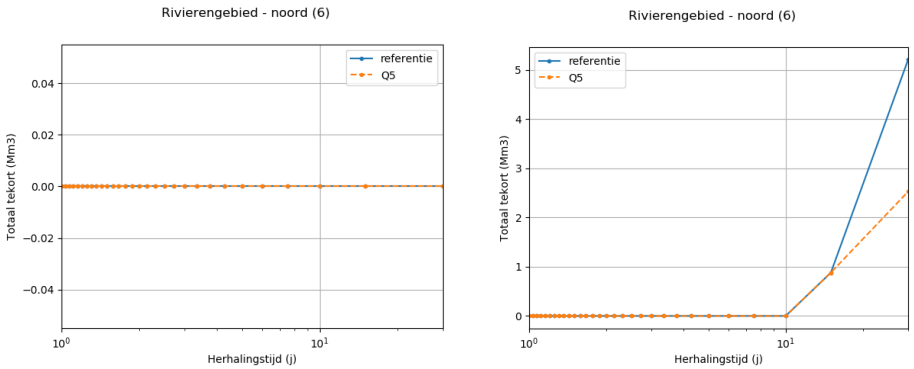
De vergroting van de capaciteit bij het Kuijkgemaal zorgt wel voor een vermindering van de optredende tekorten in Rivierenland (Figuur Q5-4, Figuur Q5-5). De inlaat Kuijkgemaal ligt benedenstrooms van een vast in QWAST opgelegde verdeling tussen IJssel en Nederrijn en wordt niet beïnvloed door watervragen op het IJsselmeer.



Figuur Q5-3 Debiet van Inlaat Doornenburg, met (rood)- en zonder (groen) maatregel bij scenario STOOM2050 in 1976



Figuur Q5-4 Tekort in district onttrekkingen in Rivierengebied - noord met (rood)- en zonder (groen) maatregel bij scenario STOOM2050 in 1976



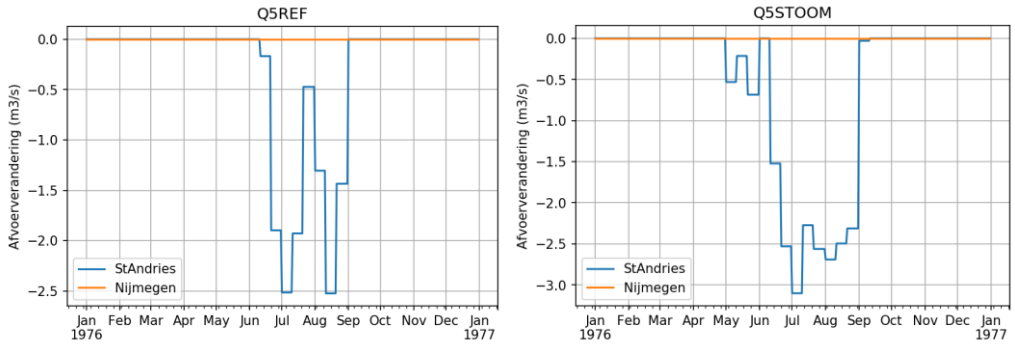
Figuur Q5-5 Overschrijdingskans van het Totaal tekort in regio Rivierengebied - noord met (oranje)- en zonder (blauw) maatregel bij scenario's REF2017 (links) en STOOM2050 (rechts).

De maatregel zoals deze is berekend heeft geen invloed op Rivierengebied zuid, omdat de vergroting van de inlaten zich beperkt tot inlaten van het noordelijke deel van Rivierenland.

Scheepvaart

Het grootste deel van de vaarkosten in Nederland wordt gemaakt door de scheepvaart op de Waal. Er is daarom enkel gekeken naar het effect van deze maatregel op de afvoer op de Waal en het resultaat hiervan op de vaarkosten.

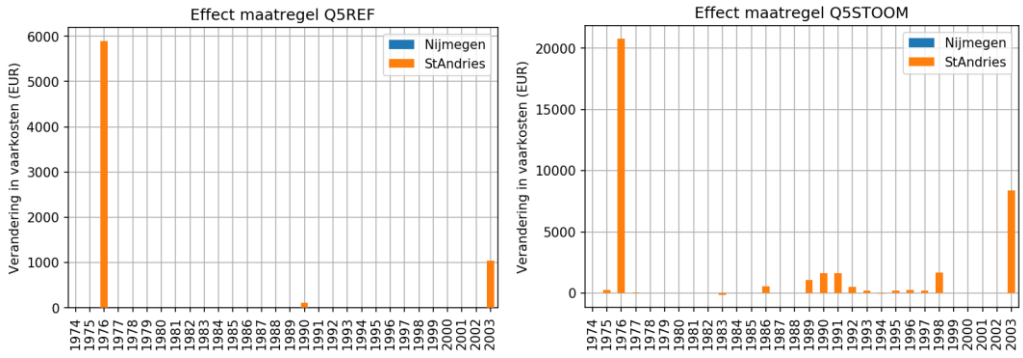
Uit de analyse met de eenvoudige scheepvaartrelatie is gebleken dat de deze maatregel geen effect heeft op de afvoer op de Waal bij Nijmegen, maar dat de afvoer bij St. Andries gedurende droge perioden zeer beperkt afneemt (Figuur Q5-5). Dit komt doordat er meer van het water over de Nederrijn wordt ingenomen in Rivierenland; dit leidt benedenstrooms tot een grotere watervraag aan het Betuwepand van het Amsterdam-Rijnkanaal en uiteindelijk aan de Waal.



Figuur Q5-5 Afvoerverandering op de Waal bij Nijmegen en St. Andries, voor scenario's REF2017 (links) en STOOM2050 (rechts).

Omdat het grootste knelpunt van de corridor naar Duitsland (knelpunt Nijmegen) niet beïnvloed wordt door de maatregel, is er enkel een extra vaardieptebeperking voor scheepvaart die wel langs St. Andries gaat, maar niet langs Nijmegen (bijvoorbeeld richting Amsterdam). Enkel in zeer droge jaren (1976, 2003) wordt de maatregel meetbaar beperkend voor de scheepvaart. In klimaatscenario STOOM is de kostentoename groter.

De gemiddelde verhoging van de jaarlijkse kosten wordt ingeschat op €200 in REF en €1300 in STOOM.



Figuur Q5-6 Berekende verandering in vaarkosten op de Waal bij Nijmegen en St. Andries, voor scenario's REF2017 (links) en STOOM2050 (rechts).

Het verschil in vaarkosten wordt veroorzaakt doordat in de QWAST berekening meer water wordt ingenomen via het Kuijkgemaal dan via Pannerling. Dit zorgt voor een aanbod verschil benedenstrooms op de Nederrijn / ARK / Lek, dat via het Betuwepand uit de Waal zal worden aangevuld.

Droogteschade Landbouw

In de QWAST berekening wordt voor Rivierenland alleen het knelpunt op 11 juli 1976 in scenario STOOM2050 deels opgeheven. Deze berekening leidt hiermee tot geen verschillen in scenario REF2017. In STOOM2050 leidt de maatregel voor Rivierenland tot een toename van 18.5 k€ van de gewasopbrengst, en een toename van de beregeningskosten van 2.8 k€, netto 15.8 k€.

Er is daarnaast gekeken naar het effect van het volledig opheffen van de beregeningstekorten in de gebieden Bommelerwaard en Tielerwaard (samen NWM district 55). Effecten hiervan in scenario REF2017 zijn te verwaarlozen, in STOOM2050 leidt dit tot een toename van 106 k€ van de gewasopbrengst, en een toename van de beregeningskosten van 30 k€, netto 76 k€ (Tabel Q5-1).

Tabel Q5-1 Berekende verandering in jaarlijkse gewasopbrengst, beregeningskosten, en netto opbrengst.

	REF2017			STOOM2050		
verandering in:	opbrengst (ME/jr)	kosten (ME/jr)	netto (ME/jr)	opbrengst (ME/jr)	kosten (ME/jr)	netto (ME/jr)
	0.00	0.00	0.00	0.11	0.03	0.08

A.5 Q6 – Onderwaterdrainage in veengebieden Rivierenland

Omschrijving maatregel

Aanleg van onderwaterdrainage in de veengronden van Alblasserwaard en Vijfheerenlanden. Het gaat om 43.000 ha veengronden. Om de bodemdaling te remmen met onderwaterdrainage / drukdrainage is een extra hoeveelheid water nodig van 0,1 l/sec/ha. De waterbehoefte neemt toe van 7,1 m3/s tot 11,2 m3/s.

De maatregel is gericht op het remmen van bodemdaling (kental € 3.000 per ha), en zelfs het stoppen van bodemdaling wanneer grondwaterstand tot in het bovenliggende kleidek kan worden gebracht. Er is wel extra water voor nodig (sub-infiltratie), bovenop de waterbehoefte voor peilhandhaving, doorspoeling, scheepvaart en beregening in de Alblasserwaard en Vijfheerenlanden.

In 2022-2028 gaat het om 2000ha veengronden.
De aanpak van bodemdaling leidt tot een waterbehoefte van 11,2 m3/s vanuit het hoofdwatersysteem. Deze waterbehoefte wordt voorzien vanuit locatie Kinderdijk, en in toekomst tevens vanuit locaties Groot Ammers en Hardinxveld.

Rekenwijze quickscan hydrologie

In QWAST wordt de watervraag voor peilbeheer van de Alblasserwaard en Vijfheerenlanden vergroot met een factor van 11.2 / 7.1 = 1.58. Andere vragen en lozingen worden niet aangepast. Een toename van 60% watervraag is hoog wanneer wordt vergeleken met een recente studie naar de effecten van onderwaterdrainage op de watervraag (Rozemeijer et al., 2019). Rozemeijer et al. (2019) geven toenames in de watervraag in de orde van 10% voor ‘normale’ onderwaterdrainage, en rond de 40% voor drukdrainage.

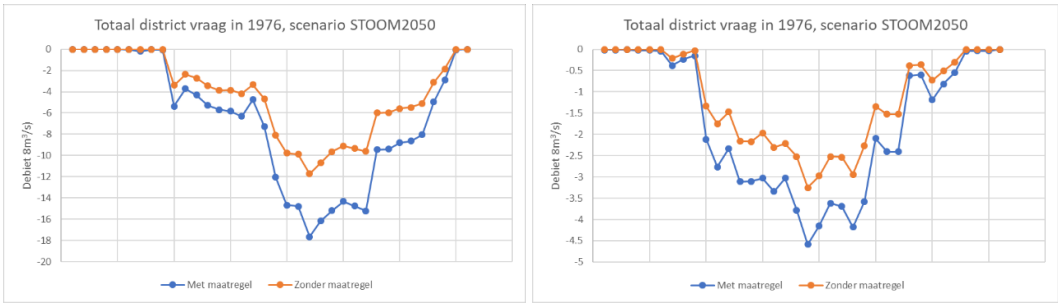
Let op dat in QWAST geen rekening wordt gehouden met mogelijke inlaatstops door verzilting van het innamepunt. Dit kan voor district Alblasserwaard een rol spelen.

Hydrologie

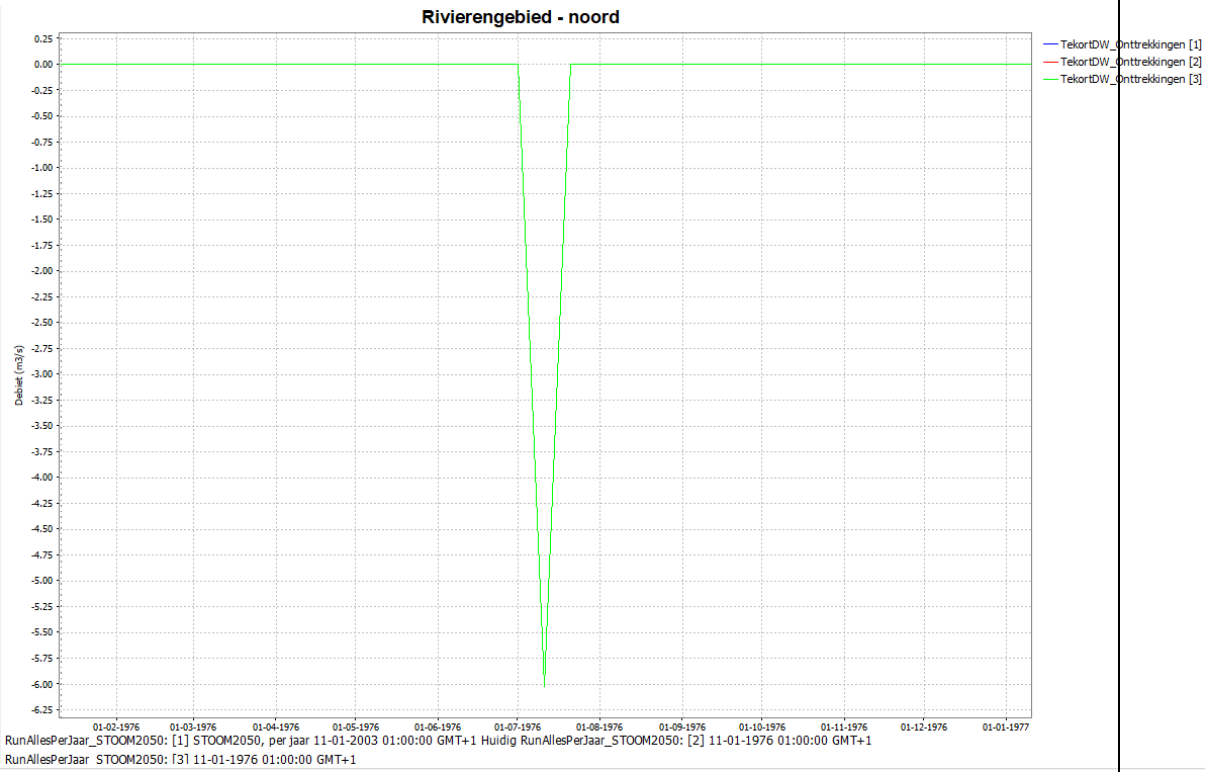
Door deze maatregel neemt de watervraag voor peilbeheer in twee districten toe. De totale watervraag in de Alblasserwaard en Vijfheerenlanden wordt getoond in Figuur Q6-1, de overschrijdingskans van deze watervraag in Figuur Q6-3.

De toegenomen vraag aan het netwerk leidt niet tot toegenomen tekorten in de betreffende gebieden. Voor de Alblasserwaard en Vijfheerenlanden zelf is zowel in de uitgangssituatie als in de situatie met maatregel geen sprake van tekorten. Het district Alblasserwaard is gekoppeld aan de tak Noord in QWAST, Vijfheerenlanden is gekoppeld aan de tak Lek_Hagestein. In beide takken treden geen districtstekorten op, noch zonder, noch met maatregel (niet getoond). De tekorten in Rivierengebied Noord, waar de Alblasserwaard en Vijfheerenlanden binnen vallen, zijn gelijk in de situatie zonder en met maatregel (Figuur Q6-2, Figuur Q6-4) (het zichtbare tekort treedt elders in Rivierengebied Noord op).

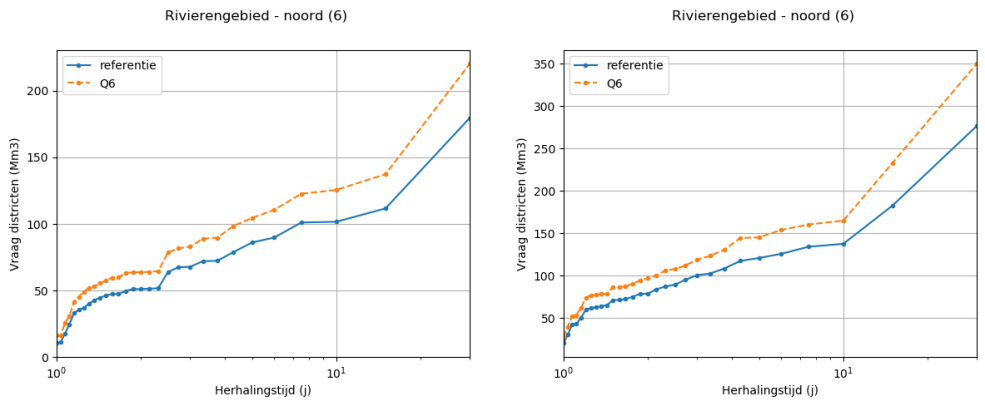
Door de maatregel worden geen tekorten elders in het netwerk veroorzaakt.



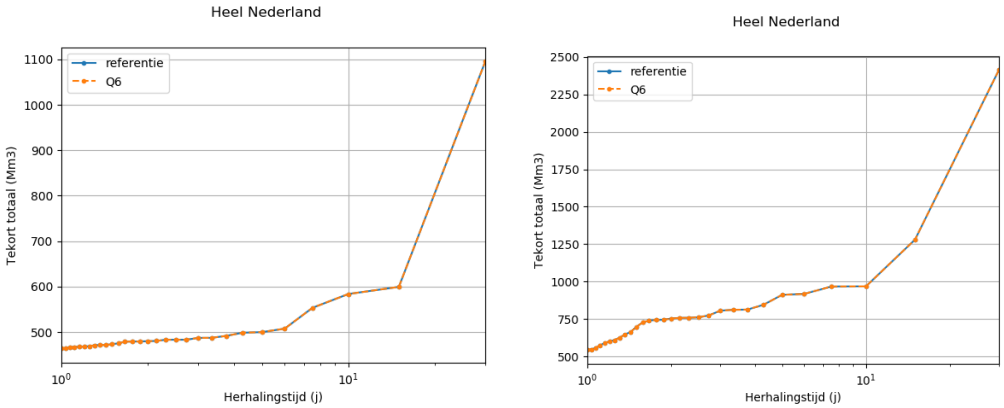
Figuur Q6-1 Totaal watervraag in het district Alblasserwaard (links) en Vijfheerenlanden (rechts) in 1976, scenario STOOM2050.



Figuur Q6-2 Tekort in district onttrekkingen in Rivierengebied - noord met (rood)- en zonder (groen) maatregel bij scenario STOOM2050 in 1976.



Figuur Q6-3 Overschrijdingskans van de watervraag van de districten in regio Rivierenland – Noord met (oranje) en zonder (blauw) maatregel bij scenario's REF2017 (links) en STOOM2050 (rechts). Let op de verschillende schaal.

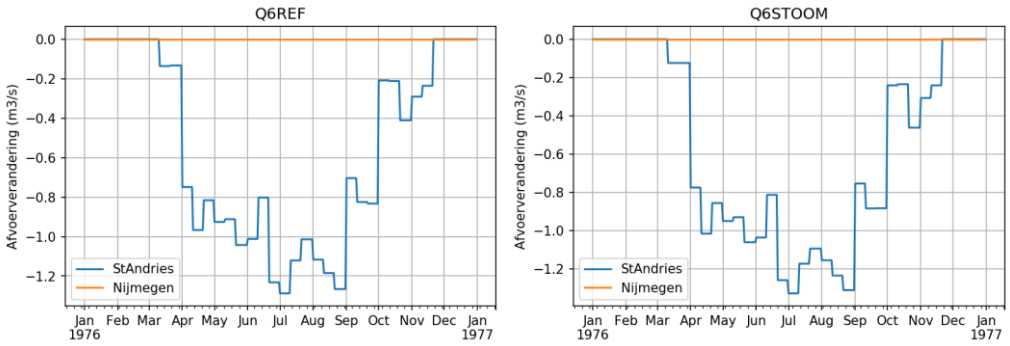


Figuur Q6-4 Overschrijdingskans van het totaal tekort in heel Nederland met (oranje) en zonder (blauw) maatregel bij scenario's REF2017 (links) en STOOM2050 (rechts).

Scheepvaart

Het grootste deel van de vaarkosten in Nederland wordt gemaakt door de scheepvaart op de Waal. Er is daarom enkel gekeken naar het effect van deze maatregel op de afvoer op de Waal en het resultaat hiervan op de vaarkosten.

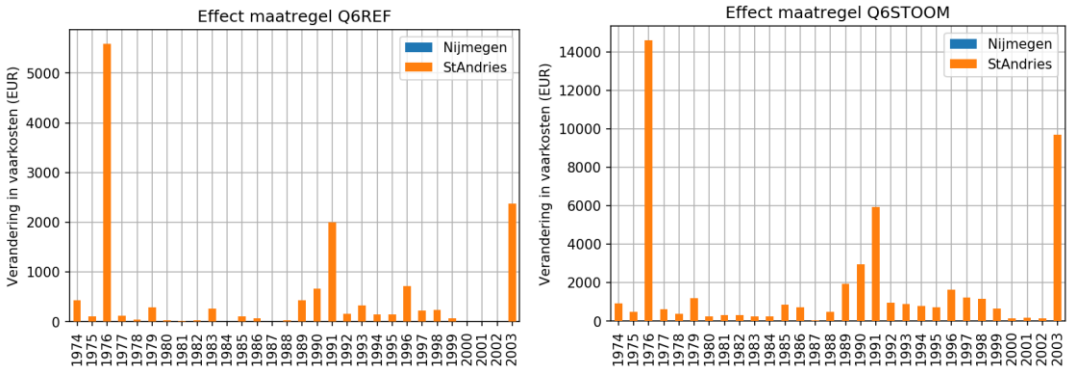
Uit de analyse met de eenvoudige scheepvaartrelatie is gebleken dat de deze maatregel geen effect heeft op de afvoer op de Waal bij Nijmegen, maar dat de afvoer bij St. Andries gedurende droge perioden zeer beperkt afneemt (zie Figuur Q6-3).



Figuur Q6-3 Afvoerverandering op de Waal bij Nijmegen en St. Andries, voor scenario's REF2017 (links) en STOOM2050 (rechts).

Omdat het grootste knelpunt van de corridor naar Duitsland (knelpunt Nijmegen) niet beïnvloed wordt door de maatregel, is er enkel een extra vaardieptebeperking voor scheepvaart die wel langs St. Andries gaat, maar niet langs Nijmegen (bijvoorbeeld richting Amsterdam).

De gemiddelde verhoging van de jaarlijkse kosten wordt ingeschat op €500 in REF en €1700 in STOOM.



Figuur Q2-4 Berekende verandering in vaarkosten op de Waal bij Nijmegen en St. Andries, voor scenario's REF2017 (links) en STOOM2050 (rechts).

Droogteschade Landbouw

Er is geen effect berekend op tekorten voor beregening. De effecten op de droogteschade landbouw zijn daarmee dan ook nul.

Tabel Q6-1 Berekende verandering in jaarlijkse gewasopbrengst, beregeningskosten, en netto opbrengst.

	REF2017			STOOM2050		
verandering in:	opbrengst (ME/jr)	kosten (ME/jr)	netto (ME/jr)	opbrengst (ME/jr)	kosten (ME/jr)	netto (ME/jr)
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Naast een eventueel effect op tekorten voor beregening, leidt onderwaterdrainage ook direct tot vermindering van droogteschade op de betreffende percelen. Immers, oppervlaktewater komt via de onderwaterdrainage in het perceel en uiteindelijk tot in de wortelzone. De effecten op de droogteschade landbouw worden dan ook onderschat.

A.6 Q7 – Afvoer Hagestein

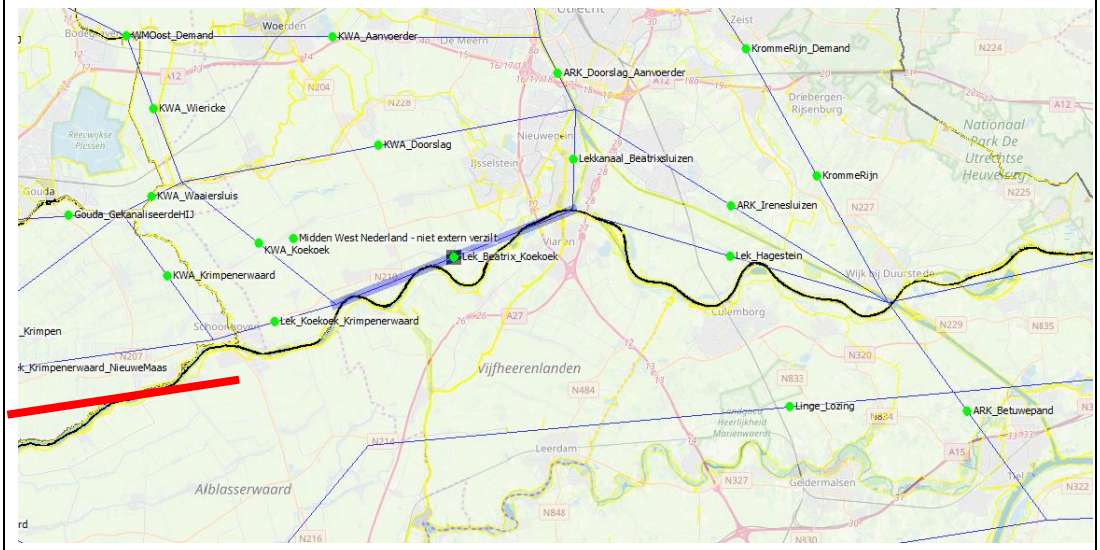
Omschrijving maatregel

Door een actieve inzet van de stuw in de Lek bij Hagestein blijkt het mogelijk de verwachtte toekomstige verzilting van het oostelijk deel van de ongestuwde Lek te voorkomen. De Lek is belangrijk voor de zoetwatervoorziening van verschillende gebruiksfuncties in de regio. Bij Bergambacht, Streefkerk en Krimpen aan de Lek bevinden zich innamepunten voor drinkwater. Ook zijn er verschillende innamepunten naar de aanliggende regionale watersystemen. Het instellen van een zoetwaterbuffer op de Lek helpt dus om dat deel van de ongestuwde Lek waar verzilting door dispersieve fluxen wordt gedomineerd langer en vaker beschikbaar te houden voor zoetwaterinname tegen de achtergrond van frequentere extreem lage afvoeren en versnelde trendmatige zeespiegelstijging. De zoetwaterbuffer op de Lek is onderdeel van een bredere strategie van zoetwaterbuffers onder andere op de Hollandse IJssel (via KWA uit Lek en ARK en Krimpenerwaard uit Lek) en het instellen van een minimaal noordwaarts debiet op het ARK.

De buffer kan dynamisch beheerd worden in combinatie met de ander buffers; dit maakt aanvoerroutes robuust en de verdeling van het schaarse Rijnwater wordt verder situationeel geoptimaliseerd. De buffer vraagt om extra debiet via Hagestein dat situationeel wordt ingezet maar in de ordegrootte 10 tot 40 m3/s ligt. Dit debiet gaat hoofdzakelijk ten koste van debiet (dus waterstand) op de Waal en concurreert in schaarse tijden met debiet voor de IJssel, ARK-NZK (t.b.v. ARK NZK zelf en KWA). Gelet op aanvoer via Betuwepand is als potentiele beperking benoemd het risico op verhoogde stroomsnelheden in de Bernhardsluizen. In zomer 2018 bleken de stroomsnelheden echter niet zodanig verhoogd dat scheepvaartstremming nodig was. Een 1e analyse van de totale waterbalans van het gekoppelde Hagesteinpand/Betuwepand is voorzien in DPZW n.a.v. de beleidstafel droogte. De hier gestelde maatregel betreft verdere finetuning en operationaliseren van de maatregel via lerend implementeren, waarbij de waterbalans en overwegingen t.a.v. doorvoer-capaciteit gebiedsbreed in ogenschouw genomen moeten worden (dus inclusief Irenesluizen, Kromme Rijn etc.)

Rekenwijze quickscan hydrologie

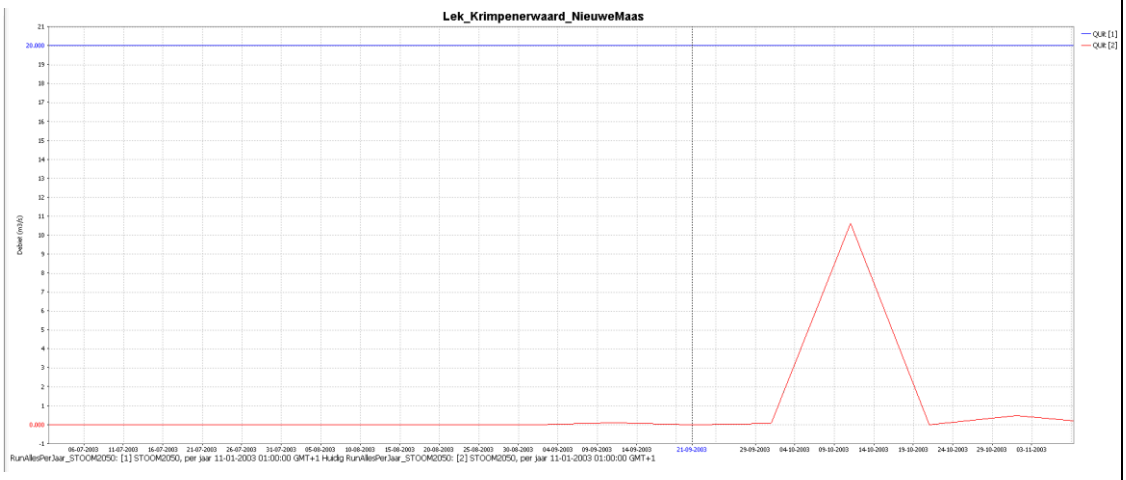
In de uitgangssituatie is er geen minimum debiet opgelegd op de tak Lek-Krimpenerwaard-NieuweMaas. De beoogde maatregel wordt in QWAST gesimuleerd door een gewenst doorspoeldebiet op te leggen op de tak Lek-Krimpenerwaard-NieuweMaas. Dit de meest benedenstroomse tak van de Lek, benedenstrooms van alle regionale inlaatpunten. De afvoerverdeling over Hagestein wordt dan door QWAST gestuurd om dit debiet over de Lek te sturen. Er is voor gekozen om een continu gewenst doorspoeldebiet van 20 m^3/s op te leggen op de tak Lek-Krimpenerwaard-NieuweMaas. Dit gewenste doorspoeldebiet geldt altijd, ook in perioden waarin er geen verzilting van de Lek dreigt. Voor droge perioden waarbij er geen verziltingsrisico van de Lek optreedt kan het effect van deze maatregelen daarom overschat worden.



Figuur Q7-1: Schematisering van het Rivierengebied in QWAST. De tak Lek-Krimpenerwaard-NieuweMaas is in rood aangegeven.

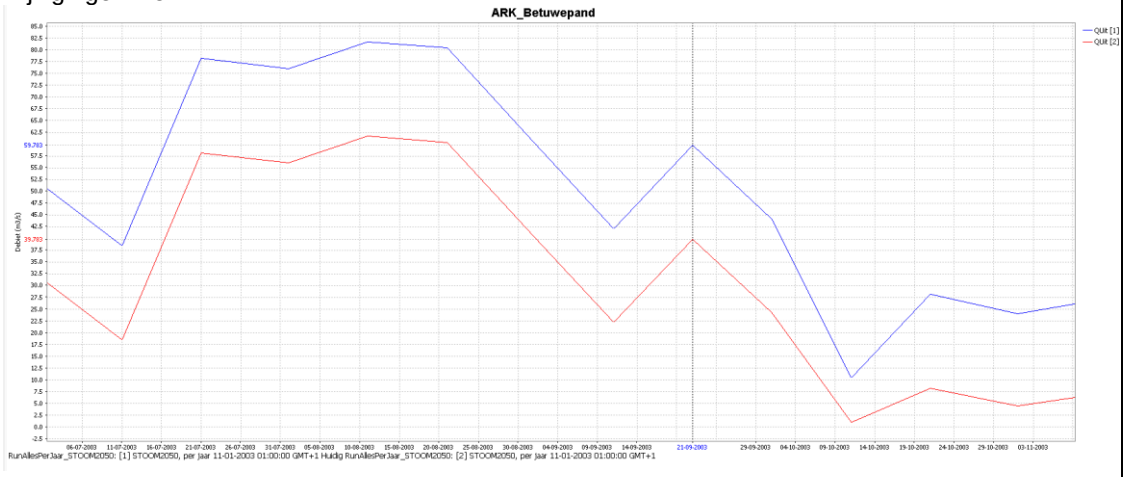
Hydrologie

Figuur Q7-2 geeft het berekende afvoerverloop in 2003 voor het Stoom 2050 scenario. Door de maatregel wordt het gewenste debiet van 20 m^3/s zo altijd gehandhaafd. Dit in tegenstelling tot de uitgangssituatie, waar in grote delen van het jaar de Lek bij de monding in de Nieuwe Maas geen afvoer meer kent.



Figuur Q7-2 Het debiet op de tak Lek-Krimpenerwaard-NieuweMaas met (blauw) en zonder maatregel (rood) in 2003, Stoom 2050.

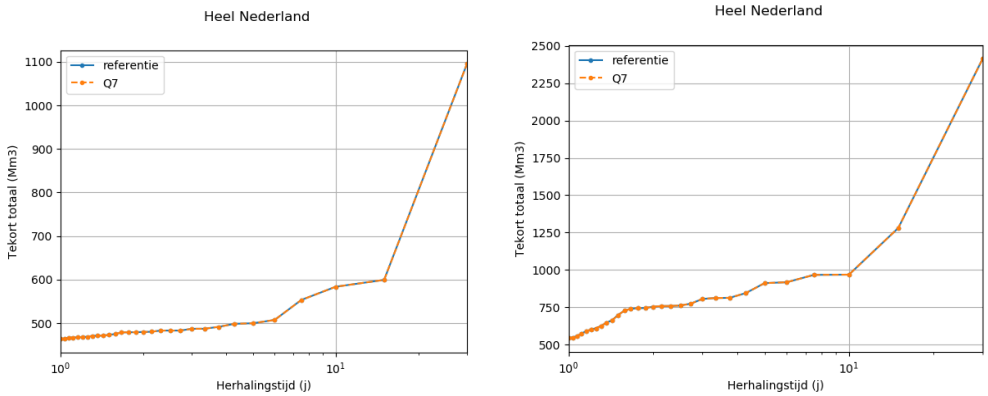
Figuur Q7-2 geeft het berekende afvoerverloop over het Betuwepand van het Amsterdam-Rijnkanaal, voor het jaar 2003 in Stoom 2050. De optredende verschillen corresponderen met de verschillen voor de tak Lek-Krimpenerwaard-NieuweMaas. Het voor het zoet houden van de Lek benodigde water wordt aangevoerd vanuit de Waal. Het debiet over de IJssel laat dan ook geen wijzigingen zien.



Figuur Q7-3 Het debiet op de tak ARK_Betuwepand met (blauw) en zonder maatregel (rood) in 2003.

Door de maatregel is een groter maximaal debiet door het Betuwepand nodig. Dit debiet overschrijdt wat werd aangehouden als maximaal debiet voor er scheepvaartbeperkingen optreden (ca. 60 m3/s). Ervaringen tijdens de droogte van 2018 hebben echter laten zien dat hogere debieten door het Betuwepand goed mogelijk zijn zonder scheepvaartbeperkingen.

De maatregel heeft geen effect op de in Nederland optredende watertekorten (Figuur Q7-4).

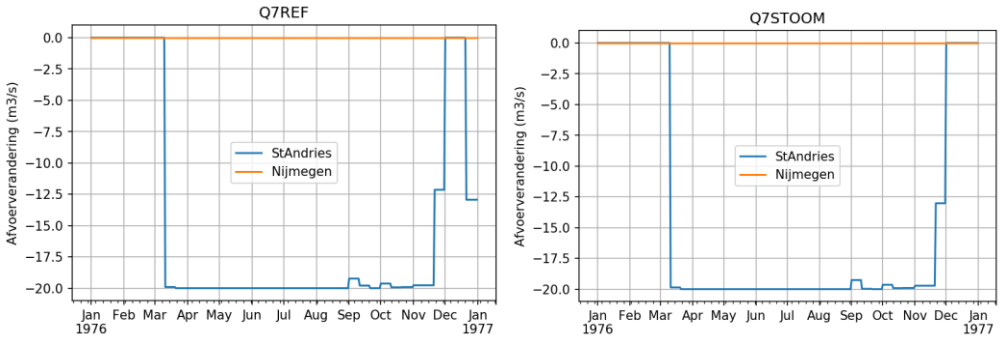


Figuur Q7-4 Overschrijdingskans van het totaal tekort in heel Nederland met (oranje) en zonder (blauw) maatregel bij scenario's REF2017 (links) en STOOM2050 (rechts).

Scheepvaart

Het grootste deel van de vaarkosten in Nederland wordt gemaakt door de scheepvaart op de Waal. Er is daarom enkel gekeken naar het effect van deze maatregel op de afvoer op de Waal en het resultaat hiervan op de vaarkosten.

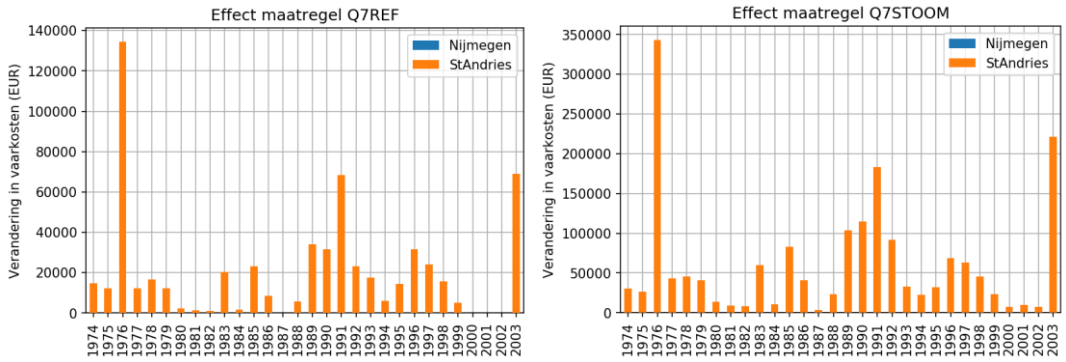
Uit de analyse met de eenvoudige scheepvaartrelatie is gebleken dat de deze maatregel geen effect heeft op de afvoer op de Waal bij Nijmegen, maar dat de afvoer bij St. Andries gedurende een groot deel van het jaar in zowel scenario REF2017 als STOOM2050 afneemt (zie Figuur Q7-5). Dit levert een kleinere diepgang en daardoor een toename in de vaarkosten.



Figuur Q7-5 Afvoerverandering op de Waal bij Nijmegen en St. Andries, voor scenario's REF2017 (links) en STOOM2050 (rechts).

Omdat het grootste knelpunt van de corridor naar Duitsland (knelpunt Nijmegen) niet beïnvloed wordt door de maatregel, is er enkel een extra vaardieptebeperking voor scheepvaart die wel langs St. Andries gaat, maar niet langs Nijmegen (bijvoorbeeld richting Amsterdam).

De gemiddelde verhoging van de jaarlijkse kosten wordt ingeschat op €20.000 in REF en €60.000 in STOOM2050 (Figuur Q7-6).



Figuur Q7-6 Berekende verandering in vaarkosten op de Waal bij Nijmegen en St. Andries, voor scenario's REF2017 (links) en STOOM2050 (rechts).

Door de continue implementatie van het gewenste debiet op de Lek kunnen de effecten op de scheepvaart in droge perioden, waarbij er geen verziltingsrisico op de Lek bestaat, worden overschat. Naar verwachting vallen perioden met lage afvoeren (en dus optredende scheepvaarteffecten) grofweg samen met perioden van dreigende verzilting van de Lek.

Droogteschade Landbouw

Er is geen effect berekend op tekorten voor beregening. De effecten op de droogteschade landbouw zijn daarmee dan ook nul.

Tabel Q7-1 Berekende verandering in jaarlijkse gewasopbrengst, beregeningskosten, en netto opbrengst.

	REF2017			STOOM2050		
verandering in:	opbrengst (ME/jr)	kosten (ME/jr)	netto (ME/jr)	opbrengst (ME/jr)	kosten (ME/jr)	netto (ME/jr)
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

A.7 Q8 – Internationale samenwerking met Duitsland

Omschrijving maatregel

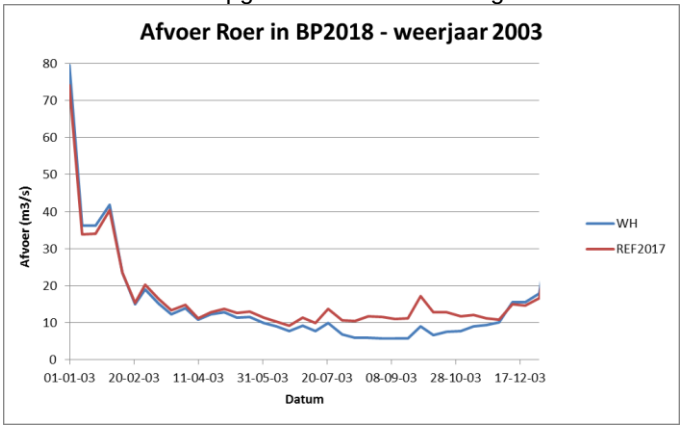
Het opzetten van internationale samenwerking met Duitsland om tot afspraken te komen op het gebied van afvoer van de Roer. Afspraken maken over samenwerking en het (minder) met Roerwater aanvullen van dagbouw-bruinkoolmijnen in Duitsland (inzet om geen aanvulling bij laagwater op de Maas te realiseren). Ook het in de gaten houden van trends in Duitsland is van belang (minder koelwatergebruik door sluiten industrie of meer water nodig voor het vullen van bruinkoolmijnen).

De maatregel draagt bij aan de zoetwaterdoelen door meer water aan te voeren en daarmee een hogere waterbeschikbaarheid te creëren. De maatregel heeft effect op meer wateraanvoer via de Roer naar de Maas.

Rekenwijze quickscan hydrologie

In QWAST wordt de afvoer van de Roer gesimuleerd met de tak 'Roer'. In de referentiesituatie is de afvoer van de Roer tijdens droge zomers ongeveer 11 m^3/s. In klimaatscenario WH (STOOM2050) neemt dit af tot zo'n 6 m^3/s (zie Figuur Q8-1). Om deze maatregel te verkennen, wordt het STOOM2050 scenario berekend, waarbij voor het debiet van de Roer het scenario REF2017 wordt gebruikt.

Afvoer Roer zoals opgenomen in berekeningen BP2018:

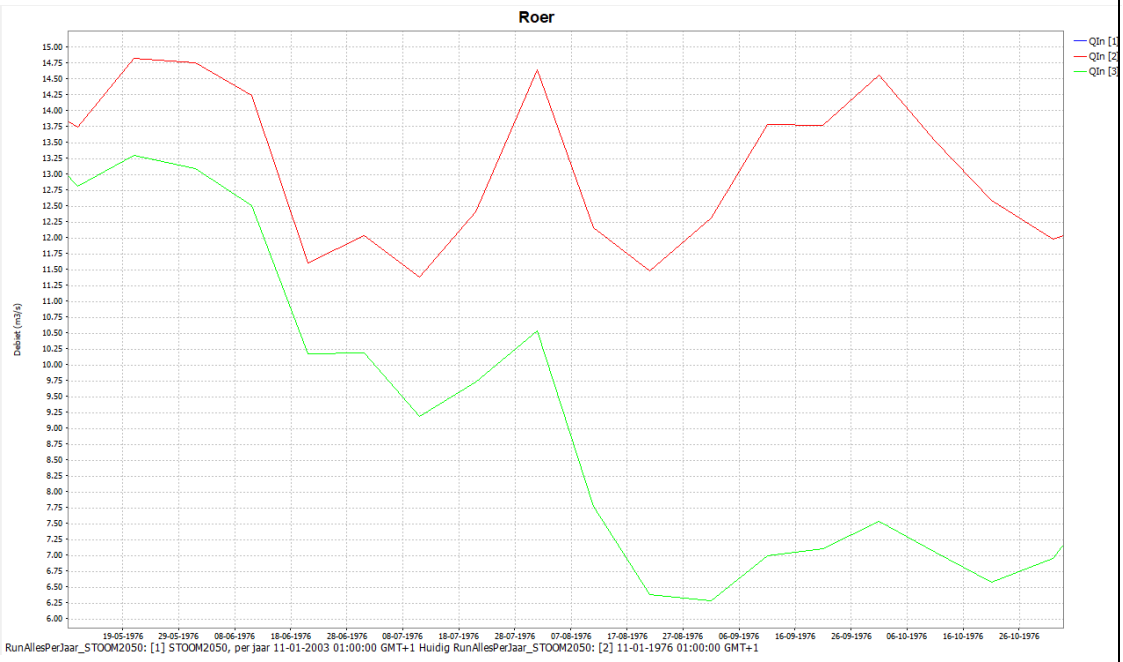


Figuur Q8-1 Het debiet van de Roer in het scenario REF2017 (rood) en STOOM2050 (blauw).

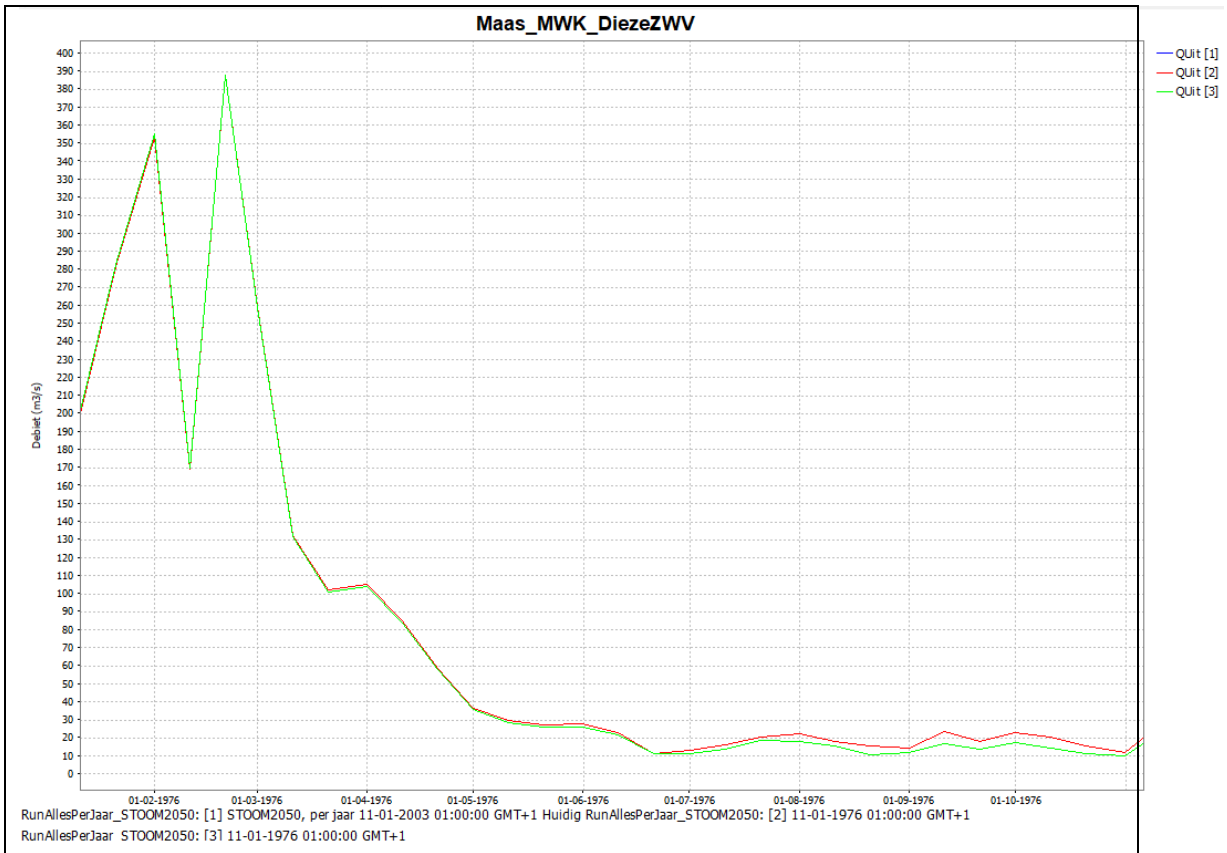
In de berekening wordt in het klimaatscenario de afvoer van de referentie voor de Roer toegepast, als verkenning van hoe het gelijk houden van de afvoer doorwerkt op de zoetwatervoorziening in Nederland.

Hydrologie

Deze maatregel vergroot het binnenkomende debiet in de Roer. Figuur Q8-2 toont het debiet van de Roer met (rood) en zonder maatregel (groen). Het debiet is inderdaad verhoogd. Dit hogere debiet is ook zichtbaar verder benedenstrooms in de Maas (Figuur Q8-3). In droge perioden wordt de afvoer van de Maas door deze maatregel significant (tientallen procenten) verhoogd. Ook wordt er op enkele tijdstappen met de maatregel meer over het Maas-Waalkanaal richting de Waal gestuurd (maximaal 2 m^3/s).

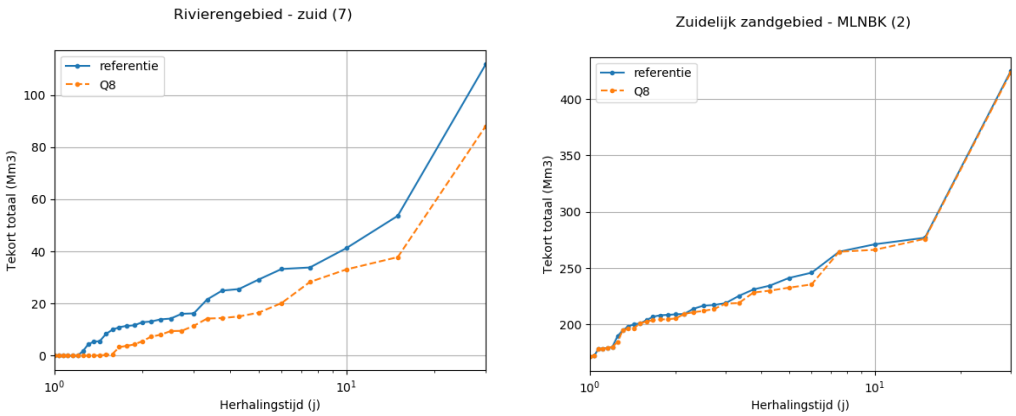


Figuur Q8-2 Het debiet van de tak Roer met (rood) en zonder (groen) maatregel, 1976 STOOM2050.



Figuur Q8-3 Het debiet van de Maas tussen het Maas-Waalkanaal en Den Bosch met (rood) en zonder (groen) maatregel, in 1976 STOOM2050.

Het toegenomen debiet in de Maas zorgt voor een afname van tekorten in de regio's benedenstrooms van Roermond (Figuur Q8-4). Tekorten zijn kleiner en treden minder vaak (om de drie in plaats van om de twee jaar) op.



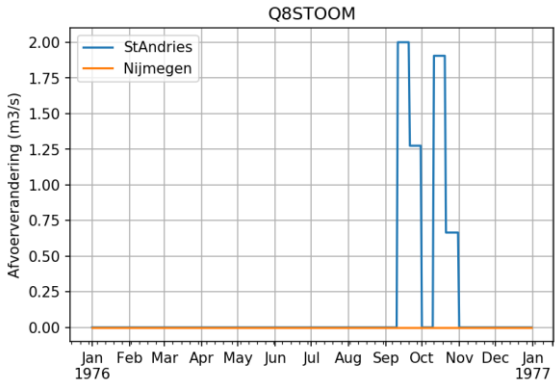
Figuur Q8-4 Overschrijdingskans van het totaal tekort in Rivierengebied – Zuid (links) en Zuidelijk zandgebied - MLNBK (rechts) met (oranje) en zonder (blauw) maatregel bij scenario STOOM2050.

De implementatie van wateraanvoermogelijkheden naar Brabantse Delta in QWAST leidde tot foutieve resultaten. Berekeningsresultaten voor regio 12 (Zuidwestelijke Delta met wateraanvoer) worden daarom niet gepresenteerd.

Scheepvaart

Het grootste deel van de vaarkosten in Nederland wordt gemaakt door de scheepvaart op de Waal. Er is daarom enkel gekeken naar het effect van deze maatregel op de afvoer op de Waal en het resultaat hiervan op de vaarkosten.

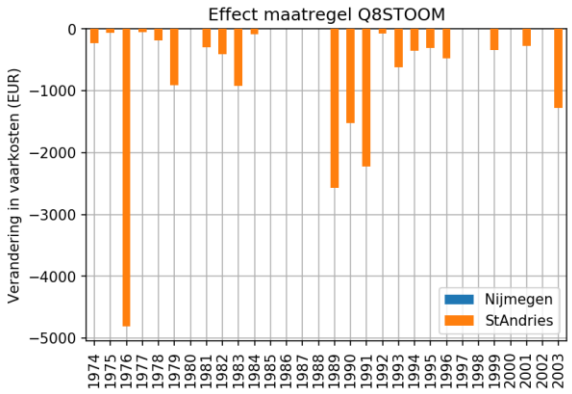
Uit de analyse met de eenvoudige scheepvaartrelatie is gebleken dat de deze maatregel geen effect heeft op de afvoer op de Waal bij Nijmegen, maar dat afvoer benedenstrooms van het Maas-Waalkanaal toeneemt tot maximaal 2 m^3/s .



Figuur Q8-5 Afvoerverandering op de Waal bij Nijmegen en St. Andries, voor 1976, scenario STOOM2050.

Omdat het grootste knelpunt van de corridor naar Duitsland (knelpunt Nijmegen) niet beïnvloed wordt door de maatregel, is er enkel een vermindering van de vaardieptebeperking voor scheepvaart die wel langs St. Andries gaat, maar niet langs Nijmegen (bijvoorbeeld richting Amsterdam).

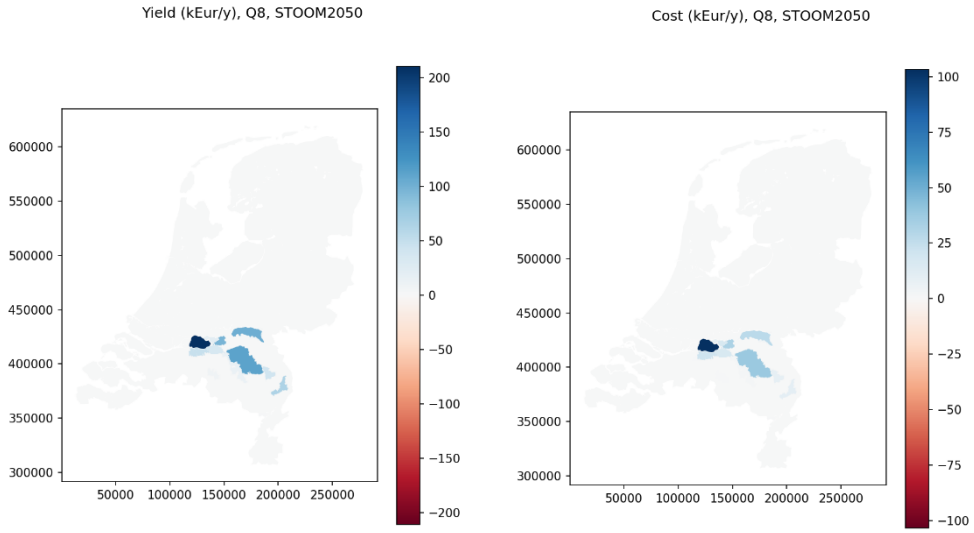
De gemiddelde verlaging van de jaarlijkse kosten wordt ingeschat op €600 in STOOM. De maatregel is niet doorgerekend met REF.



Figuur Q8-6 Berekende verandering in vaarkosten op de Waal bij Nijmegen en St. Andries, voor scenario STOOM2050.

Droogteschade Landbouw

Door de met de maatregel toegenomen afvoer van de Roer is er bij de innamepunten langs de Maas meer water beschikbaar voor beregening uit oppervlaktewater. Door de toegenomen beregening neemt de gemiddelde opbrengst toe, maar ook de gemaakte kosten voor beregening (Figuur Q8-7). In STOOM2050 is de verandering in netto opbrengst (opbrengst minus beregeningskosten) 0.64 ME/jaar (Tabel Q8-1).



Figuur Q8-7 Berekende verandering in gemiddeld jaarlijkse gewasopbrengst (links) en beregeningskosten (rechts), voor scenario STOOM2050.

Tabel Q8-1 Berekende verandering in jaarlijkse gewasopbrengst, beregeningskosten, en netto opbrengst.

	STOOM2050		
verandering in:	opbrengst (ME/jr)	kosten (ME/jr)	netto (ME/jr)
	1.00	0.36	0.64

A.8 Q9 – Slimmer gebruik van water in de keten

Omschrijving maatregel

Waterbesparing bij huishoudens kan leiden tot minder benodigde productiecapaciteit bij drinkwaterbedrijven, of een betere inzet van beschikbare capaciteit teneinde piekvragen het hoofd te kunnen bieden. Op deze manier kan strategischer omgegaan worden met de ruimte die er is, en hoeft er minder beroep gedaan te worden op de zoetwateraanvoer op het moment dat iedereen het nodig heeft. De maatregel omvat het stimuleren van zuiniger omgaan met drinkwater (met name in piektijden, zoals warme droge zomers) voor niet-primaire levensbehoefte als autowassen, tuintjes sproeien, ramen zemen etc..

Voor het Maasgebied geldt dat naar verwachting neemt de behoefte aan drinkwater per persoon maximaal af van gemiddeld 160 liter per dag naar gemiddeld 35 liter per dag (op basis van indicatieve berekeningen). De inname aan het hoofdwatersysteem kan daarmee met maximaal 80% reduceren. Deze maatregel kan de drinkwaterinname met enkele tientallen miljoenen m^3 per jaar reduceren voor de gehele Maas.

Rekenwijze quickscan hydrologie

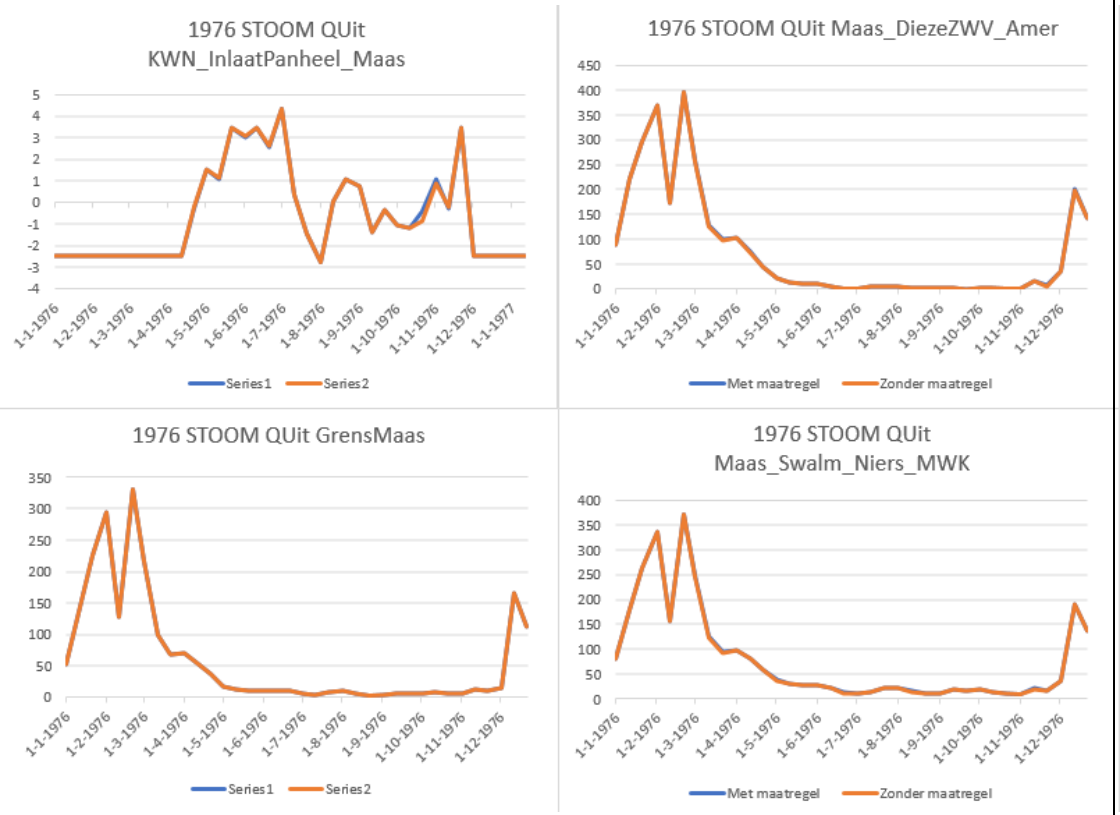
Veranderingen in drinkwateronttrekkingen worden in QWAST opgelegd via een multiplier per zoetwaterregio op de (in QWAST gecombineerd opgenomen) drinkwater- en industrieonttrekkingen.

Drinkwatergebruik voor het Maasgebied wordt met 80% verminderd, om dit te kunnen berekenen in QWAST zal voor de zoetwaterregio's Zuid-Limburg, Zuidelijk zandgebied – MLNBK en Zuidelijk zandgebied – overig de multiplier %DrinkIndustrie(NW) worden aangepast van 100% naar 92%. De verhouding drinkwater en industrie onttrekking is in de QWAST-schematisatie namelijk ongeveer 90% industrie en 10% drinkwater. Een vermindering van 80% in drinkwater leidt daarmee tot een nieuwe multiplier van 92%.

In totaal neemt de watervraag voor drinkwater uit het hoofdwatersysteem hiermee met een kleine 0.8 m^3/s af.

Hydrologie

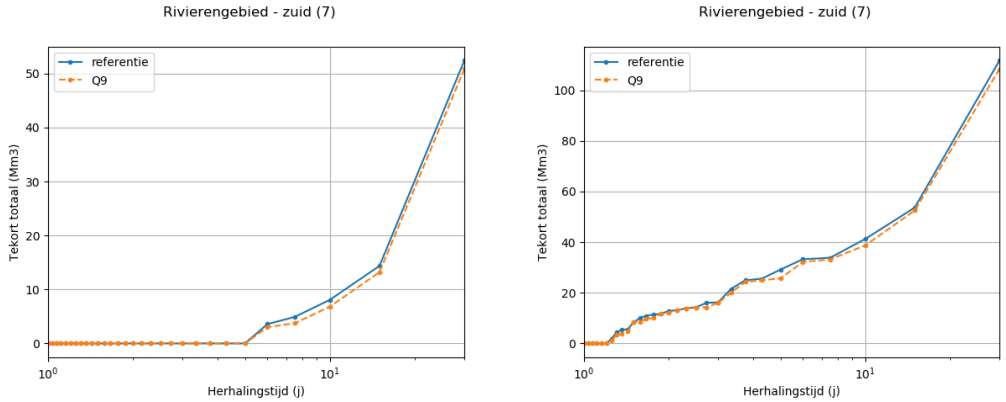
Figuur Q9-1 geeft afvoeren op verschillende locaties in en langs de Maas. Berekende verschillen zijn over het algemeen erg klein. Het gaat immers, zelfs bij een afname van 80%, maar om een beperkte hoeveelheid water. De grootste verschillen zijn zichtbaar in de tak KWN_InlaatPanheel_Maas (Figuur Q9-1). Deze verschillen treden wel op buiten het groeiseizoen.



Figuur Q9-1 Afvoer in m^3/s op verschillende locaties gedurende 1976 voor het scenario STOOM2050.

Door de verminderde onttrekkingen voor drinkwater is er meer water beschikbaar voor de regio's. Tekorten in de regio's langs de Maas nemen dan ook af. De afname van de tekorten is beperkt tot

procenten van het optredende tekort (Figuur Q9-2).



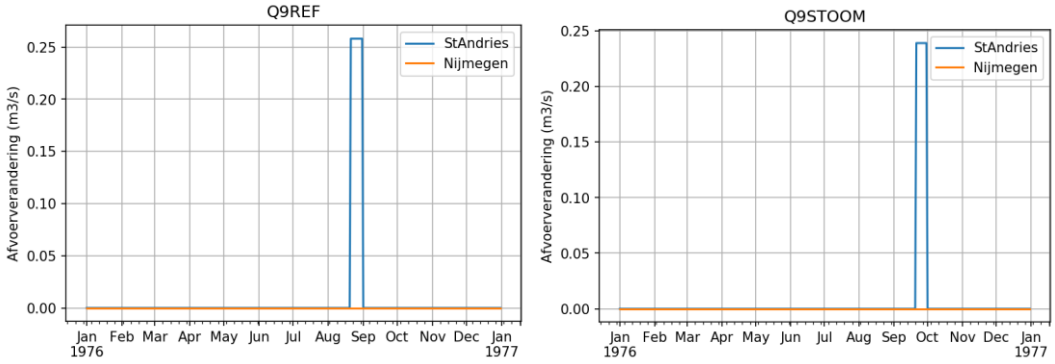
Figuur Q9-2 Overschrijdingskans van het Totaal tekort in regio Rivierengebied - Zuid met (oranje)- en zonder (blauw) maatregel bij scenario's REF2017 (links) en STOOM2050 (rechts).

De implementatie van wateraanvoermogelijkheden naar Brabantse Delta in QWAST leidde tot foutieve resultaten. Berekeningsresultaten voor regio 12 (Zuidwestelijke Delta met wateraanvoer) worden daarom niet gepresenteerd.

Scheepvaart

Het grootste deel van de vaarkosten in Nederland wordt gemaakt door de scheepvaart op de Waal. Er is daarom enkel gekeken naar het effect van deze maatregel op de afvoer op de Waal en het resultaat hiervan op de vaarkosten.

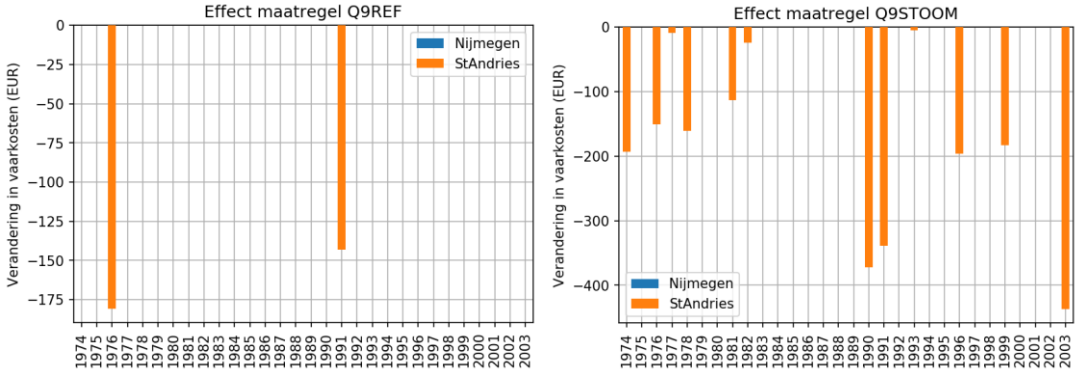
Uit de analyse met de eenvoudige scheepvaartrelatie is gebleken dat de deze maatregel geen effect heeft op de afvoer op de Waal bij Nijmegen, maar dat de afvoer benedenstrooms van het Maas-Waalkanaal zeer beperkt toeneemt.



Figuur Q9-3 Afvoerverandering op de Waal bij Nijmegen en St. Andries, voor scenario's REF2017 (links) en STOOM2050 (rechts).

Omdat het grootste knelpunt van de corridor naar Duitsland (knelpunt Nijmegen) niet beïnvloed wordt door de maatregel, is er enkel een vermindering van de vaardieptebeperking voor scheepvaart die wel langs St. Andries gaat, maar niet langs Nijmegen (bijvoorbeeld richting Amsterdam).

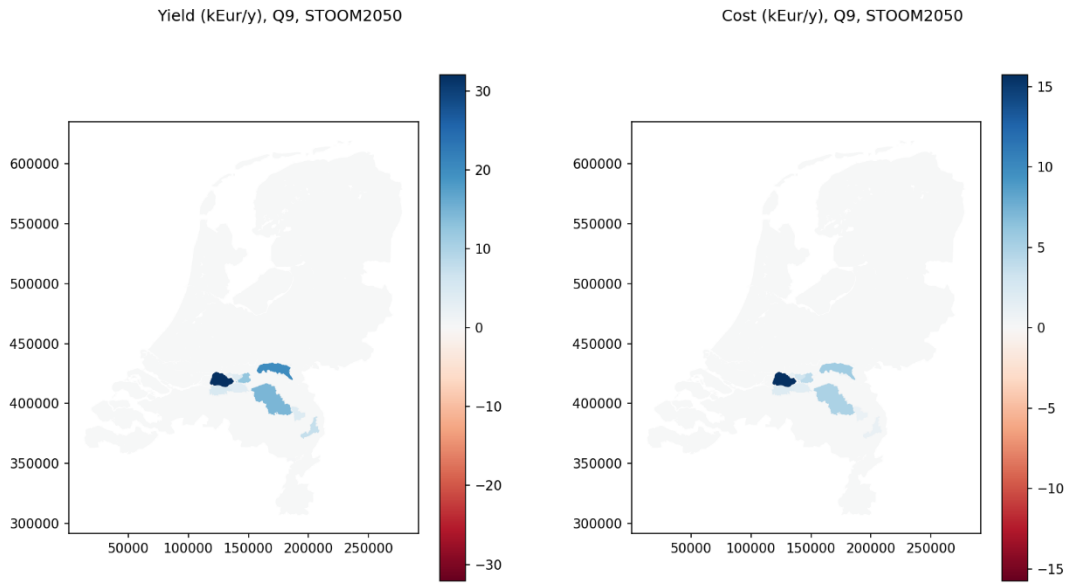
De gemiddelde verlaging van de jaarlijkse kosten is zowel in REF2017 als in STOOM2050 verwaarloosbaar klein (minder dan 100€).



Figuur Q9-4 Berekende verandering in vaarkosten op de Waal bij Nijmegen en St. Andries, voor scenario's REF2017 (links) en STOOM2050 (rechts).

Droogteschade Landbouw

Door de verminderde onttrekking voor drinkwaterbereiding is er meer water beschikbaar voor beregening uit oppervlaktewater. Door de toegenomen beregening neemt de gemiddelde opbrengst toe, maar ook de gemaakte kosten voor beregening (Figuur Q9-5). In REF2017 is de verandering in netto opbrengst (opbrengst minus beregeningskosten) 0.04 ME/jaar, in STOOM2050 loopt dit op tot 0.09 ME/jaar (Tabel Q9-1).



Figuur Q2-7 Berekende verandering in gemiddeld jaarlijkse gewasopbrengst (links) en beregeningskosten (rechts), voor scenario STOOM2050.

Tabel Q9-1 Berekende verandering in jaarlijkse gewasopbrengst, beregeningskosten, en netto opbrengst.

	REF2017			STOOM2050		
verandering in:	opbrengst (ME/jr)	kosten (ME/jr)	netto (ME/jr)	opbrengst (ME/jr)	kosten (ME/jr)	netto (ME/jr)
	0.05	0.02	0.04	0.15	0.05	0.09

A.9 Q10 – Inlaatwerk Kromme Rijn

Omschrijving maatregel

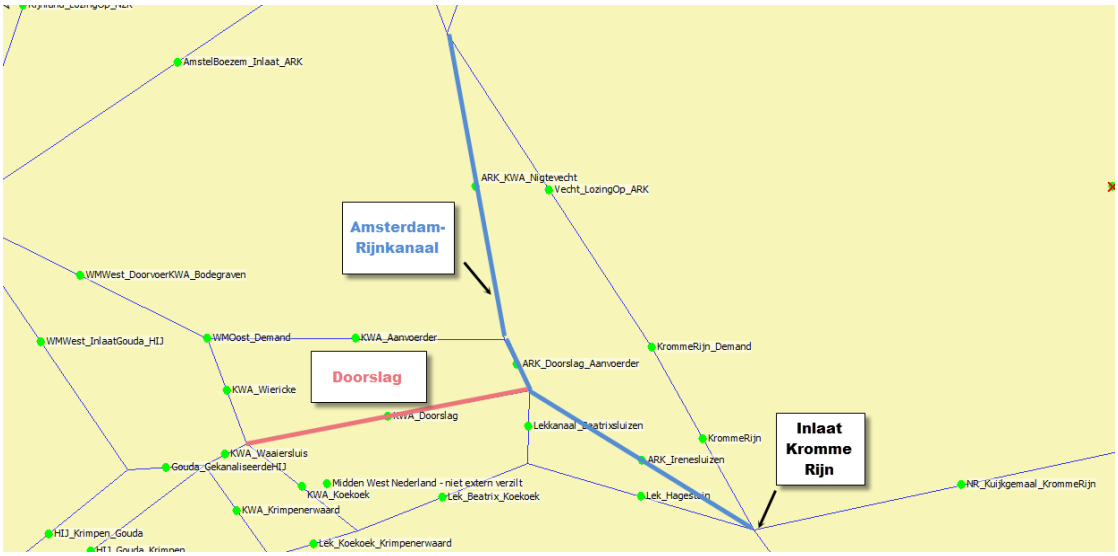
De maatregel betreft het aanleggen van een nieuw inlaatwerk voor de Kromme Rijn bij Wijk bij Duurstede, om ook bij lagere rivierstanden voldoende water in te kunnen nemen. Na realisatie van de maatregel kan tevens de volledige capaciteit van het Noordergemaal worden gebruikt voor de KWA (12 m^3/s). Er is dan geen benedenstroomse capaciteitsbeperking richting de KWA. De 6 extra m^3/s volgt de route GHIJ - Waaijersluis - Gouda.

Rekenwijze quickscan hydrologie

Als de KWA+ aangaat, wordt er bij het Noordergemaal 12 m^3/s opgepompt, daarvan moet er 6 m^3/s naar het oosten (en is 6 m^3/s beschikbaar voor KWA). Dit water gaat door de Doorslag. Die 6 m^3/s naar het oosten is nodig als de Kromme Rijn niet kan innemen vanuit de Nederrijn bij inlaat Kromme Rijn. Dit laatste gebeurt wanneer het niveau van de Nederrijn te laag is.

In QWAST is deze peilafhankelijkheid van de inlaatcapaciteit niet opgenomen. Wel heeft de inlaat een maximum capaciteit van 13.3 m^3/s. Deze maximumcapaciteit wordt in de berekeningen ook in de referentiesituatie niet aangesproken. Peilafhankelijke inlaatbeperkingen worden in QWAST, en ook in het NWM, niet berekend. Er wordt in de modellering verondersteld dat bij problemen met te lage waterstanden, deze worden ondervangen door het installeren van noodpompen. Baten van de maatregel zijn dan het niet langer nodig hebben van deze noodvoorzieningen.

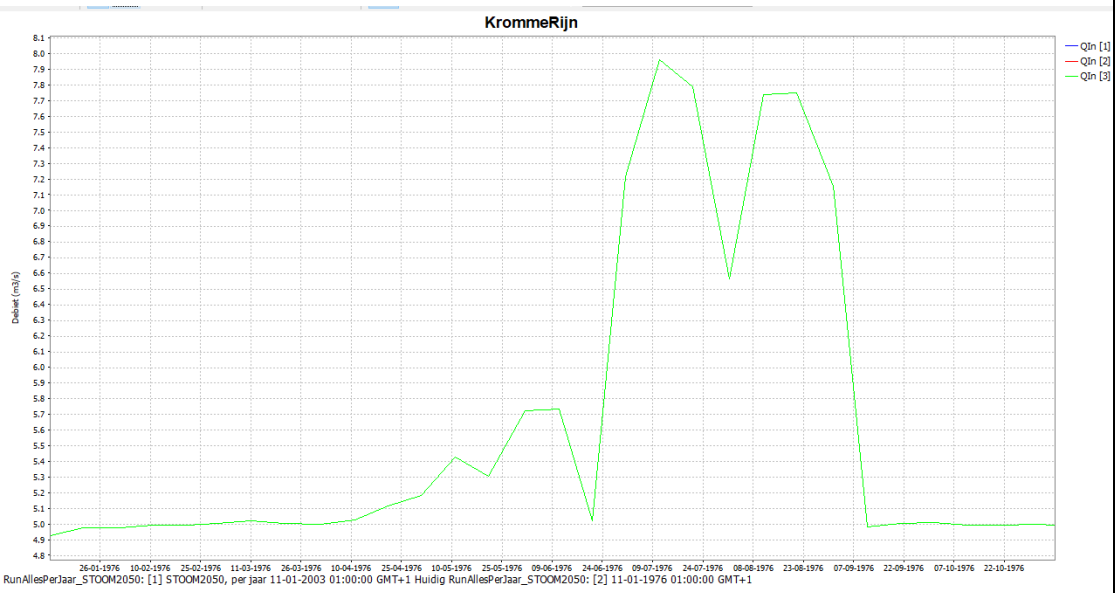
Om het effect van de maatregel op het Noordergemaal te simuleren, wordt de capaciteit van de tak **Doorslag met 6 m^3/s verhoogd**, van 9.8 m^3/s naar 15.8 m^3/s. Andere opgenomen capaciteiten van de KWA route worden in overleg met de regio (Mark Kramer) niet aangepast.



Figuur Q10-1 De takken van de maatregel.

Hydrologie

Figuur Q10-2 toont het debiet op de tak KrommeRijn met en zonder maatregel, voor het jaar 1976 in scenario STOOM. Het debiet verandert niet met de maatregel. Dat werd ook verwacht, omdat de maximale inlaatcapaciteit in zowel de referentie als in de situatie met maatregel niet wordt aangesproken.



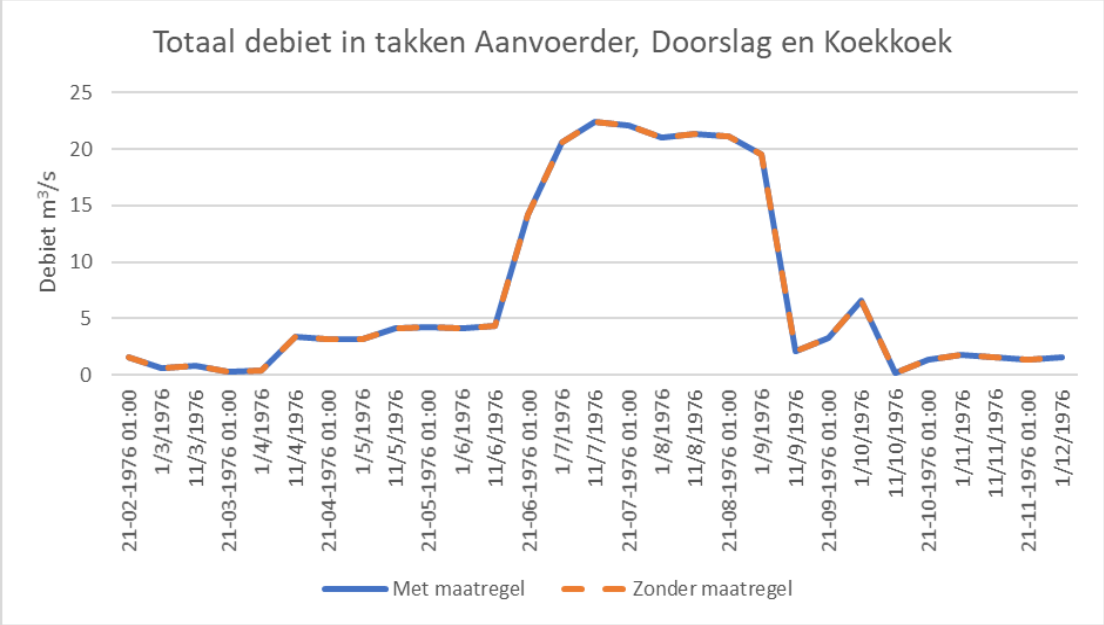
Figuur Q10-2 Het debiet van de tak KrommeRijn, met (rood – valt samen met de andere lijn) en zonder (groen) maatregel in 1976, scenario STOOM 2050.

Figuur Q10-3 toont het debiet in de takken KWA_Doorslag en KWA_Aanvoerder. Met de maatregel (rood) is het debiet in KWA_Doorslag hoger in juni en lager in mei dan zonder maatregel (groen). Deze verhouding is precies andersom in de tak KWA_Aanvoerder. Met deze maatregel stroomt er gemiddeld genomen meer water door de tak Doorslag in plaats van de tak Aanvoerder.

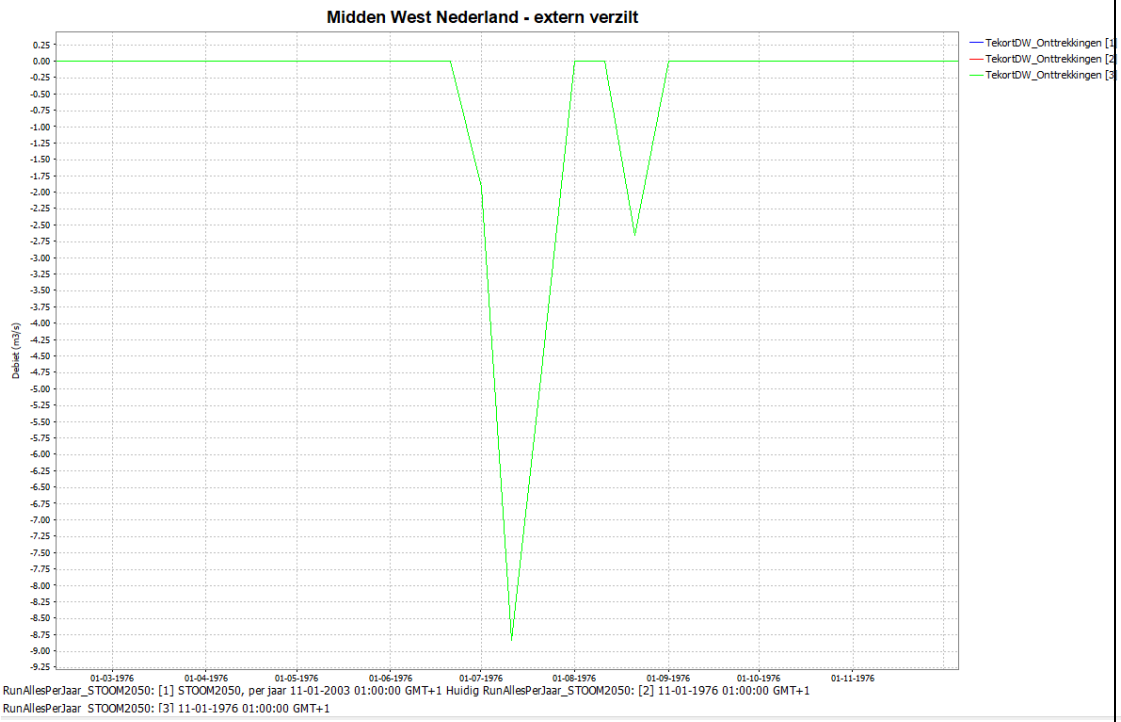
Figuur Q10-3 Het debiet van de tak KWA Doorslag (links) en KWA_Aanvoerder (rechts) met (rood) en zonder (groen) maatregel in 1976, STOOM2050.

De totaal aangevoerde hoeveelheden door de KWA veranderen echter niet door de maatregel (Figuur Q10-4). Immers, benedenstroomse capaciteitsbeperkingen (verhang over gekanaliseerde Hollandse IJssel en Oude Rijn) beperken de totale capaciteit richting Rijnland tot 15 m^3/s. De zonder de maatregel beschikbare inlaatcapaciteit is voldoende om dit aan te voeren, inclusief de watervraag van west HDSR. Extra beschikbaar water bij het Noordergemaal heeft daarmee geen invloed op de hoeveelheid beschikbaar KWA water, en daarmee ook niet op de optredende tekorten in Midden West Nederland – extern verzilt (Figuur Q10-5) of elders in Nederland (Figuur Q10-6). Wel geldt deze maatregel als voorwaarde voor eventuele capaciteitsverruiming op de KWA route. Wanneer de capaciteit niet langer beperkend is, zal er wel een vermindering van

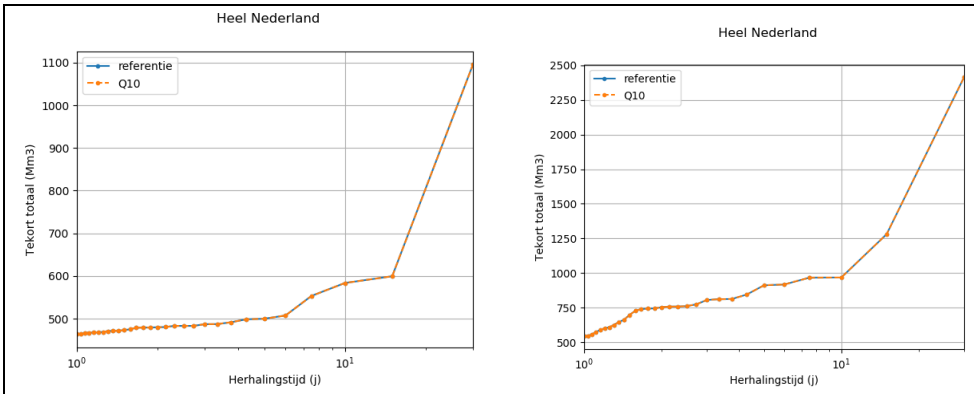
tekorten optreden.



Figuur Q10-4 De som van de debieten in de KWA takken in 1976, scenario STOOM2050.



Figuur Q10-5 Tekort in district onttrekkingen in het gebied Midden West Nederland - extern verzilt, met (rood)- en zonder (groen) maatregel bij scenario STOOM2050 in 1976.



Figuur Q10-6 Overschrijdingskans van het totaal tekort in heel Nederland met (oranje) en zonder (blauw) maatregel bij scenario's REF2017 (links) en STOOM2050 (rechts).

Scheepvaart

Het grootste deel van de vaarkosten in Nederland wordt gemaakt door de scheepvaart op de Waal. Er is daarom enkel gekeken naar het effect van deze maatregel op de afvoer op de Waal en het resultaat hiervan op de vaarkosten.

Uit de analyse met de eenvoudige scheepvaartrelatie is gebleken dat de deze maatregel geen effect heeft op de afvoer op de Waal bij zowel St. Andries als Nijmegen. De vaarkosten veranderen niet.

Droogteschade Landbouw

Er wordt geen effect berekend op tekorten voor beregening. De effecten op de droogteschade landbouw zijn daarmee dan ook nul.

Tabel Q7-1 Berekende verandering in jaarlijkse gewasopbrengst, beregeningskosten, en netto opbrengst.

	REF2017			STOOM2050		
verandering in:	opbrengst (ME/jr)	kosten (ME/jr)	netto (ME/jr)	opbrengst (ME/jr)	kosten (ME/jr)	netto (ME/jr)
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Dit resultaat wordt mede veroorzaakt doordat in QWAST, net als in NWM, geen peilafhankelijke beperkingen zijn opgenomen bij de inlaat Kromme Rijn. Hierbij is de aanname gedaan dat er in het geval van lage waterstanden noodpompen worden ingezet om aan de beregeningsvraag te voldoen. De baten van de maatregel liggen dan in het niet langer nodig hebben van deze noodvoorziening.

A.10 Q11 – Temmen van brakke kwel

Omschrijving maatregel

Brak opwellend grondwater uit de Horstermeerpolder zal worden opgepompt en worden gescheiden in zuiver water en een brak restproduct. In de toekomst, na opschaling, zal al het brakke kwelwater worden opgepompt en ingezet worden voor de drinkwaterproductie voor Amsterdam.

De inlaatbehoefte vanuit het Markermeer neemt door deze maatregel met 100 Mm3 per jaar af (jaarrond getal en betekent niet dat de inlaat in Muiden naar 0 gaat). In pieksituaties zal een watervraag van enkele (+/- 3 m3/s) overblijven, deze is wel significant gereduceerd (met +/- 50%) t.o.v. de huidige situatie.

Bij opschaling na de pilot:
- 100 miljoen m3/jaar minder inname van water uit het Markermeer voor het doorspoelen van de huidige vracht aan brak water uit de Horstermeer
- 6 miljoen m3/jaar zeer zuiver water beschikbaar voor de drinkwaterproductie voor Amsterdam, later mogelijk meer
- De polders en plassengebieden rondom de Hostermeerpolder worden vanaf dan voor het Grootste gedeelte gesuppleerd met gebiedseigen zoet kwelwater i.p.v. met gebiedsvreemd Markermeerwater"

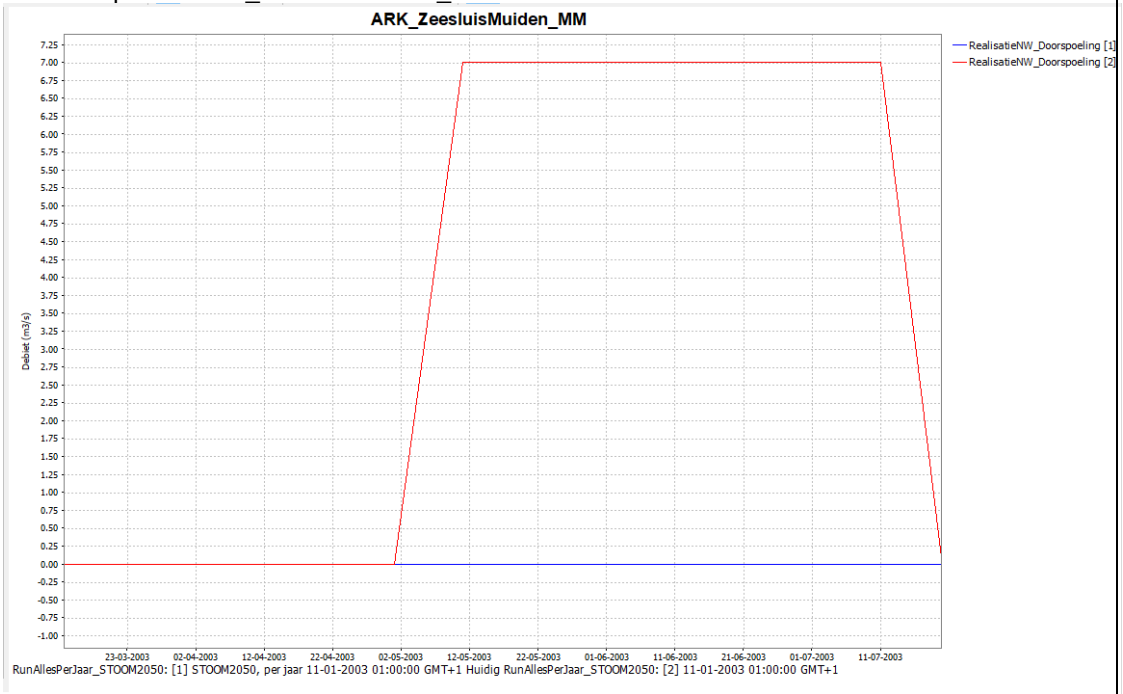
Rekenwijze quickscan hydrologie

Om de maximale impact van de verminderde watervraag voor doorspoeling op netwerkniveau te berekenen zal in QWAST de Doorspoeling netwerk (vraag, m3/s) op de tak ARK_ZeesluisMuiden_MM worden aangepast van 7.0 m3/s naar 0.0 m3/s. De watervraag voor peilbeheer achter de Zeesluis Muiden wordt niet aangepast.

Extra beschikbaar drinkwater voor Amsterdam door de beoogde brakwaterwinning, betekent een (zeer kleine) afname van de watervraag voor drinkwater aan het Amsterdam-Rijnkanaal. Het effect hiervan wordt berekend door de drinkwatervraag multiplier (%DrinkIndustrie(NW)) voor de zoetwaterregio Midden West Nederland – niet extern verzilt (Figuur Q11.1) aan te passen van 100% (REF: 7.09 m^3/s, STOOM: 9.572 m^3/s) naar 99% (REF: 7.0191 m^3/s, STOOM: 9.476 m^3/s).

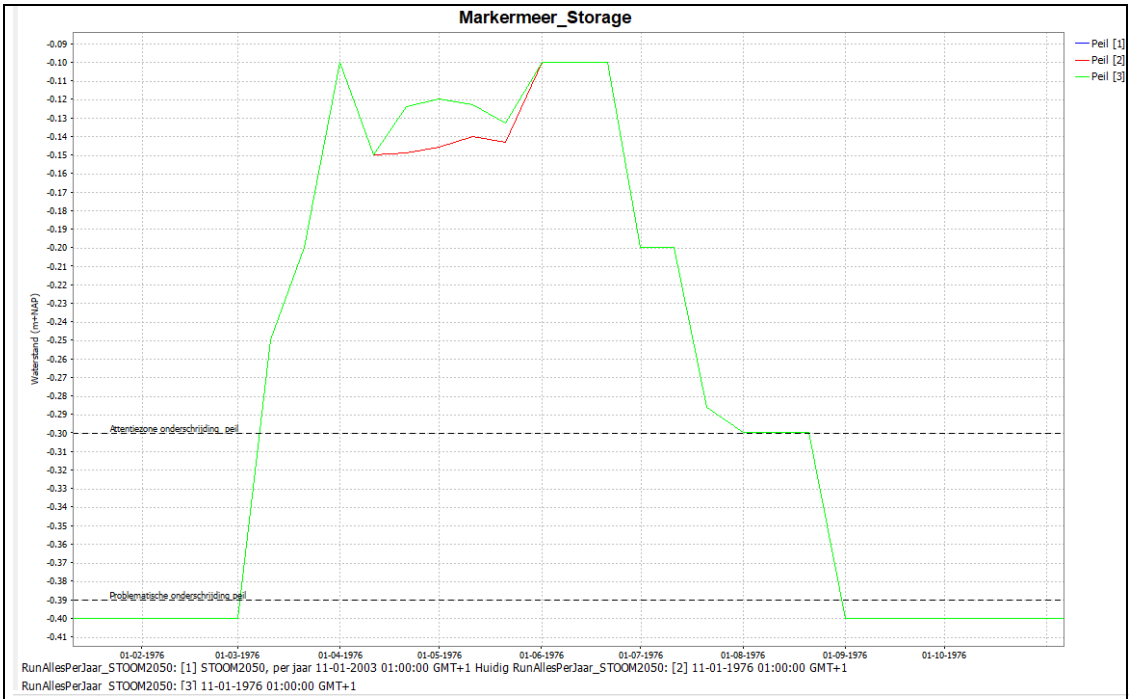
Hydrologie

Figuur Q11-1 laat zien dat de maatregel succesvol is geimplementeerd. De doorspoelvraag op het netwerk op de tak RK_ZeesluisMuiden_MM is succesvol verminderd van 7 naar 0 m^3/s.



Figuur Q11-1 Doorspoeling netwerk (vraag, m3/s) op de tak ARK_ZeesluisMuiden_MM gedurende 2003 STOOM2017. In rood zonder maatregel en in blauw na implementatie van de maatregel.

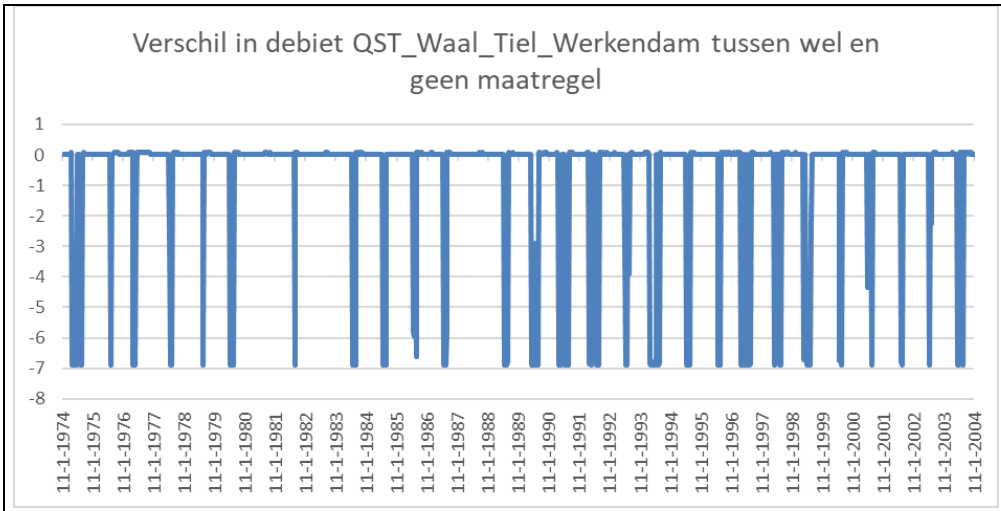
Figuren Q11-2 en Q11-3 laten het berekende peil in het Markermeer zien gedurende de jaren 1976 en 2003 voor het scenario STOOM2050. Het implementeren van de maatregel heeft impact op het peil van het Markermeer gedurende droge zomers. Door de afname van de doorspoelvraag van Muiden is er meer water beschikbaar op het Markermeer. Toch is het berekende peil in het Markermeer ook geregeld hoger in de uitgangssituatie dan wanneer de maatregel is geïmplementeerd. Dit komt doordat, door de implementatie van flexibel peil op het IJsselmeer / Markermeer, het peil zich binnen een bepaalde bandbreedte kan instellen, zonder dat er een effect hoeft op te treden op kortingen van watervragen aan het Markermeer. Beide berekende peilen bevinden zich binnen deze bandbreedte, er treden dan ook geen verschillen op in berekende watervragen aan het IJsselmeer.



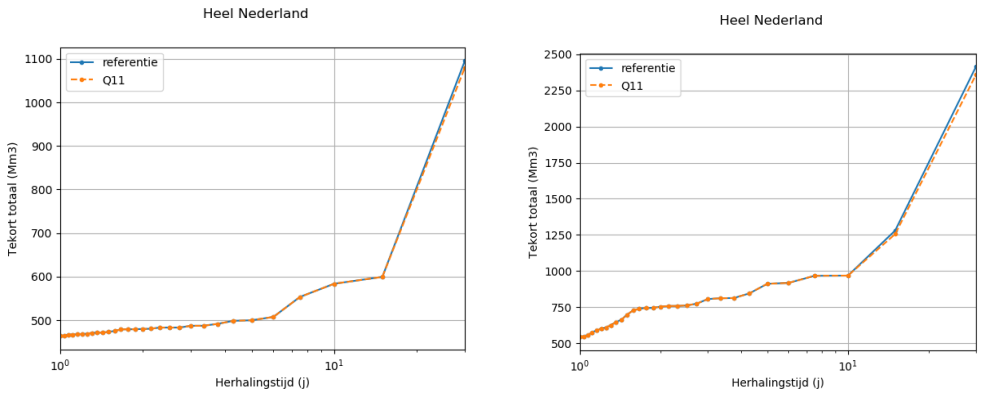
Figuur Q11-2 Peil Markermeer in 1976 voor scenario STOOM. In rood met de maatregel geimplementeerd, in groen zonder de maatregel.

Benedenstrooms van waar het doorspoelwater uit Muiden op het Amsterdam-Rijnkanaal wordt gezet, geldt bij Weesp een gewenst doorspoeldebiet op het Amsterdam-Rijnkanaal van 25 m^3/s. Om bij minder debiet vanuit Muiden toch aan deze doorspoelvraag te kunnen voldoen, wordt er via het Betuwepand van het Amsterdam-Rijnkanaal extra water aangevoerd vanuit de Waal. Figuur Q11-3 laat het verschil zien in debiet van de tak QST_Waal_Tiel_Werkendam. In Figuur Q11-3 is een zomers verschil in debiet van 7.0 m^3/s zichtbaar, dat wordt gebruikt om de verminderde doorspoelvraag van Muiden te compenseren. Dit patroon is zichtbaar voor zowel REF als STOOM.

Ondanks dat dit in de berekening zo is aangenomen, is het niet aanwenden van Markermeer-water voor het doorspoelen van het ARK een aparte beleidskeuze en sec geen onderdeel van de maatregel ‘Temmen brakke kwel’.



Figuur Q11-3 Verschil in debiet (m^3/s) in de tak QST_Waal_Tiel_Werkendam tussen de berekening met maatregel en de uitgangssituatie.



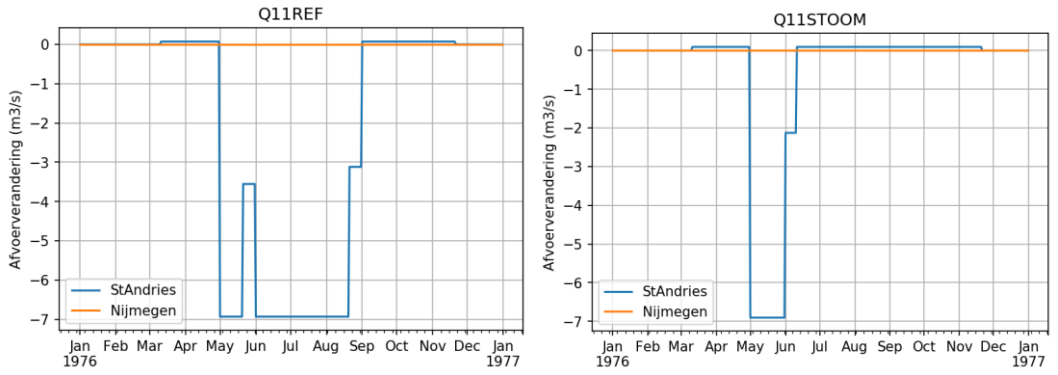
Figuur Q11-4 Overschrijdingskans van het totaal tekort in heel Nederland met (oranje) en zonder (blauw) maatregel bij scenario's REF2017 (links) en STOOM2050 (rechts).

Figuur Q11-4 geeft het totaal tekort voor heel Nederland. In de droogste jaren neemt het totaal tekort door de maatregel af. Deze afname wordt veroorzaakt door een afname van het tekort voor doorspoelen in Midden-West Nederland in STOOM2050 (door het wegvallen van de doorspoelvraag bij Muiden), en, in beide scenario's in een extreem droog jaar, in het IJsselmeer zelf.

Scheepvaart

Het grootste deel van de vaarkosten in Nederland wordt gemaakt door de scheepvaart op de Waal. Er is daarom enkel gekeken naar het effect van deze maatregel op de afvoer op de Waal en het resultaat hiervan op de vaarkosten.

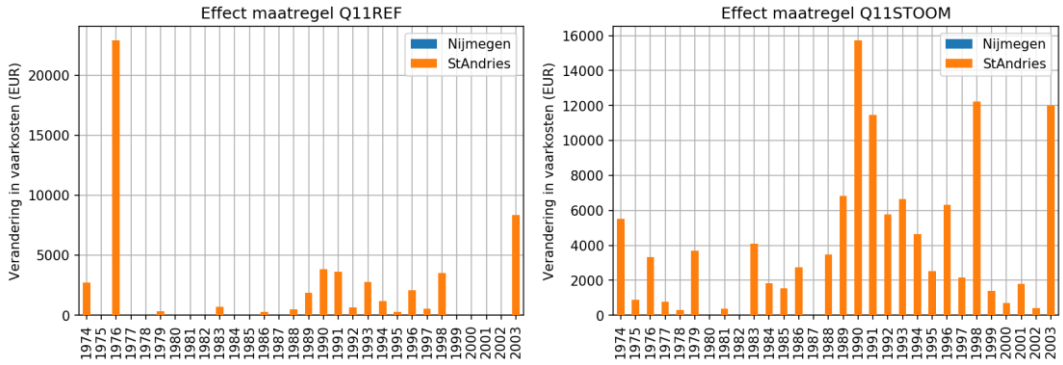
Uit de analyse met de eenvoudige scheepvaartrelatie is gebleken dat de deze maatregel geen effect heeft op de afvoer op de Waal bij Nijmegen, maar dat de afvoer bij St. Andries gedurende droge perioden afneemt (zie Figuur Q11-5).



Figuur Q11-5 Afvoerverandering op de Waal bij Nijmegen en St. Andries, voor scenario's REF2017 (links) en STOOM2050 (rechts).

Omdat het grootste knelpunt van de corridor naar Duitsland (knelpunt Nijmegen) niet beïnvloed wordt door de maatregel, is er enkel een extra vaardieptebeperking voor scheepvaart die wel langs St. Andries gaat, maar niet langs Nijmegen (bijvoorbeeld richting Amsterdam).

De gemiddelde verhoging van de jaarlijkse kosten wordt ingeschat op €2000 in REF2017 en €4000 in STOOM2050.



Figuur Q11-6 Berekende verandering in vaarkosten op de Waal bij Nijmegen en St. Andries, voor scenario's REF2017 (links) en STOOM2050 (rechts).

Het berekende negatief scheepvaarteffect ontstaat doordat in de modelberekening is aangenomen dat de 'route Muiden' bij deze maatregel niet langer wordt aangewend om water naar het Amsterdam – Rijnkanaal te transporteren, wat moet worden gecompenseerd door water aan de Waal te onttrekken. Het niet aanwenden van Markermeer-water voor het doorspoelen van het ARK is een aparte beleidskeuze en sec geen onderdeel van de maatregel 'Temmen brakke kwel'.

Droogteschade Landbouw

Er is geen effect berekend op tekorten voor beregening. De effecten op de droogteschade landbouw zijn daarmee dan ook nul.

Tabel Q7-1 Berekende verandering in jaarlijkse gewasopbrengst, beregeningskosten, en netto opbrengst.

	REF2017			STOOM2050		
verandering in:	opbrengst (ME/jr)	kosten (ME/jr)	netto (ME/jr)	opbrengst (ME/jr)	kosten (ME/jr)	netto (ME/jr)
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

A.11 Q12 – Hergebruik effluent RWZI's

Omschrijving maatregel

Het effluent van RWZI's wordt nu deels geloosd op buitenwater, waardoor het niet bijdraagt aan de waterbalans van het regionale systeem. Bij hergebruik van effluent wordt gekeken onder welke voorwaarden/maatregelen effluent gebruikt kan worden in het regionale systeem. Effluent kan onder voorwaarden namelijk breder toegepast worden als aanvullende bron van zoetwater, voor bijvoorbeeld irrigatie van landbouwpercelen, proceswater voor industrie en het aanvullen van grondwater (afgezien van andere stoffen in effluent, het bevat in ieder geval weinig zout). Deze maatregel zet zich in op het breder toepassen van effluent voor andere watergebruikers.

Effluent is een vrij constante kwantitatieve en kwalitatieve bron (al kunnen calamiteiten invloed hebben op de kwaliteit). Hergebruik van effluent draagt bij aan een circulaire waterketen en kan bijdragen aan de waterkwaliteit van het oppervlaktewater. Hiervoor zijn extra zuiveringsstappen nodig omdat anders KRW-doelen bijvoorbeeld niet gehaald worden). Er is wel een risico op bodemverontreiniging, er is op dit moment nog weinig bekend over het gedrag van stoffen uit effluent in de bodem. Daarnaast is er extra zuivering nodig voor medicijnresten.

Gebied: RWZI's in het beheergebied van Amstel, Gooi en Vecht, Stichtse Rijnlanden, Delfland, Schieland en Krimpenerwaard en Hollandse Delta.

Opwerken van effluent naar bruikbaar water voor hergebruik, in samenwerking met gemeenten, onderwijsinstellingen, ondernemers en agrariërs. Hiermee wordt direct de zoetwaterkwaliteit en beschikbaarheid positief beïnvloedt en invulling gegeven aan het herbruik van schaarse primaire grondstoffen en verwijderen van (schadelijke) stoffen uit effluent.

Gebied: Gebied van de Zuid Hollandse Eilanden en breder naar de directe regio (dit betreft een verdeling van het beheersgebied in 10% ZWD en 90% ZWW)

Creëren zoetwaterbron voor doorspoeling gebied en beschikbaarheid (hergebruik) zoet water. WSHD heeft 130 miljoen kuub effluent per jaar. Doelstelling t/m 2028 is 50% effluent beschikbaar te hebben voor hergebruik en na 2050 tot '100%' effluent beschikbaar te hebben voor hergebruik.

Gietwater maken vanuit effluent waterzuivering Nieuwe Waterweg

Minder gebruik van oppervlakte water, minder grondwateronttrekking. Minder gebruik van oppervlaktewater kan ervoor zorgen dat Delfland minder water hoeft aan te voeren in de zomer. Mogelijke waterkwaliteitsimpuls.

Gebied: Het gebied rondom en binnen het verzorgingsgebied de zuivering Nieuwe Waterweg. In potentie zo'n 1500 ha glas.

Hoogheemraadschap Delfland: 4 RWZI's die totaal 136 Mm3 water loosden in 2017. Daarvan wordt alles op Rijkswater geloosd. Recent besloten om een deel van RWZI de Groote Lucht te gaan hergebruiken. Er wordt geen water benedenstrooms meer ingelaten.	Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden: 17 RWZI's die circa 73 Mm3 water loosden in 2018. Daarvan is **23,9** Mm3 in eigen beheer. Er wordt wel water benedenstrooms ingelaten. 11Mm3/jaar	Hoogheemraadschap van Rijnland: Alle AWZI's lozen totaal circa 100Mm3 water jaarlijks. Dit water wordt volledig geloosd op de boezem van Rijnland en gebruikt voor o.a. doorspoeling. Het toepassen van deze maatregel is voor Rijnland niet doelmatig.
Hoogheemraadschap Schieland en Krimpenerwaard: 9 RWZI's die circa 50 Mm3 water loosden in 2018. Daarvan wordt 48 Mm3 op Rijkswater geloosd, 1,72 Mm3 op eigen water en 0,3 Mm3 op water van HDSR. Er wordt ook nog benedenstrooms water ingelaten.	Waternet: 12 (vanaf april/mei 11) RWZI's die totaal 130 Mm3 water loosden in 2017. Er wordt wel water benedenstrooms ingelaten.	Waterschap Hollandse Delta: 20 RWZI's die circa 130 Mm3 water loosden in 2018. Daarvan wordt circa 90% op Rijkswater geloosd en circa 10% op regionaal water. Er wordt wel benedenstrooms water ingelaten.

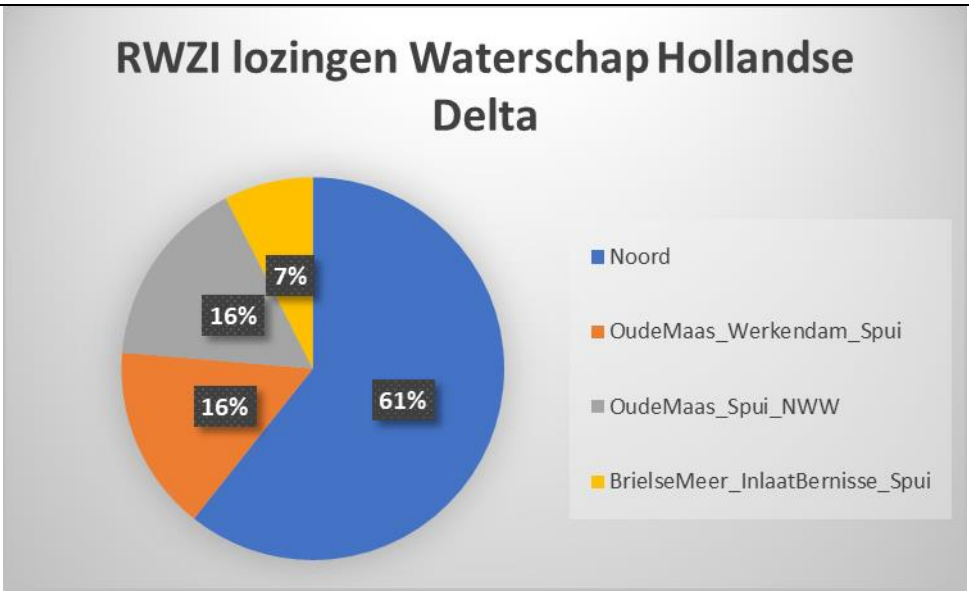
Rekenwijze quickscan hydrologie

Er zijn zes waterschappen betrokken bij deze maatregel. Bij Waternet en Hoogheemraadschap van Rijnland verandert niets. Voor de andere drie waterschappen worden de volgende hoeveelheden bij toepassing van de maatregel op binnenwater geloosd in plaats van op 'buitenwater'. Met binnen- en buitenwater wordt hier bedoeld: op een dusdanige locatie dat het water respectievelijke wel en niet kan worden gebruikt voor andere functies in het gebied.

	Per jaar (Mm^3)	Debiet (m^3/s)
Delfland	136	4.31
Hoogheemraadschap Schieland en Krimpenerwaard	48	1.52
Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden	11	0.35
Waterschap Hollandse Delta	117	3.71

Voor Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden (11 Mm^3) is de hoeveelheid water genomen van Lopik en Nieuwegein (in overleg met Ciska Blom). Bij Waterschap Hollandse Delta (117 Mm^3) is 90% genomen van de lozingshoeveelheid in 2018 (130 Mm^3).

Dit extra debiet wordt als volgt verdeeld over de takken: eerst is bekeken waar de RWZIs volgens de huidige schematisatie binnen het waterschap hun water lozen. Het extra water wordt verdeeld volgens dezelfde verhouding. Voor waterschappen Delfland, Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden en Hoogheemraadschap Schieland en Krimpenerwaard wordt alle water op een plek geloosd. Voor Waterschap Hollandse Delta wordt het extra water verdeeld in dezelfde verhouding als de huidige lozingen. De opgenomen lozingen zijn berekend op basis van de jaargemiddelde lozingen tussen 1990-1997.

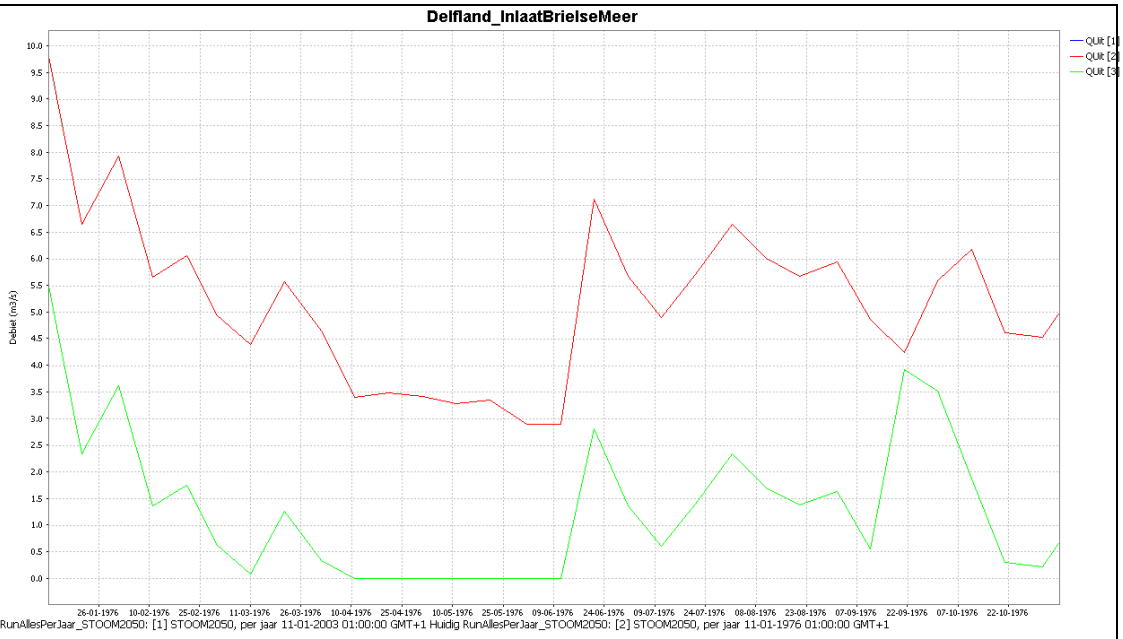


Waterschap	Locatie	Debiet (m^3/s)
Delfland	Delfland_InlaatBrielseMeer	4.31
Schieland en Krimpenerwaard	WMWest knoop	1.52
Stichtse Rijnlanden	KWA_Doorslag	0.35
Hollandse Delta	Noord	2.25
	OudeMaas_Werkendam_Spui	0.58
	OudeMaas_Spui_NWW	0.60
	BrielseMeer_InlaatBernisse_Spui	0.28

Hydrologie

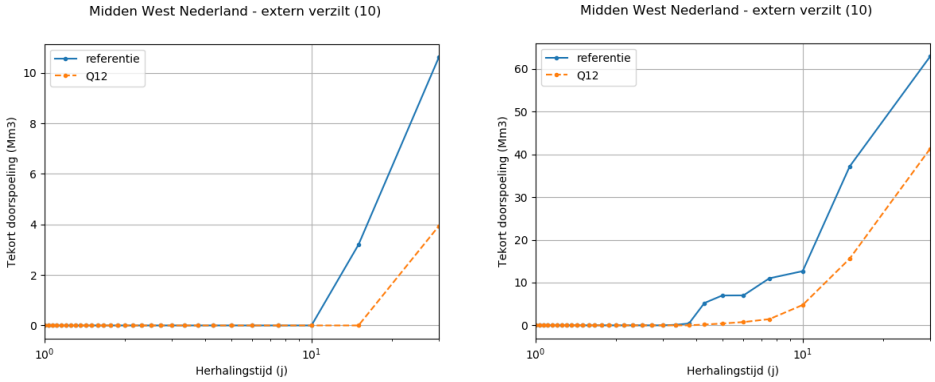
De hydrologische resultaten van deze maatregel zijn geanalyseerd voor het scenario STOOM2050.

Het debiet van de tak Delfland_InlaatBrielseMeer is verhoogd door de extra lozingen. Er is meer debiet over deze tak, omdat de inname van water als gevolg van de additionele lozing van effluent is verminderd.

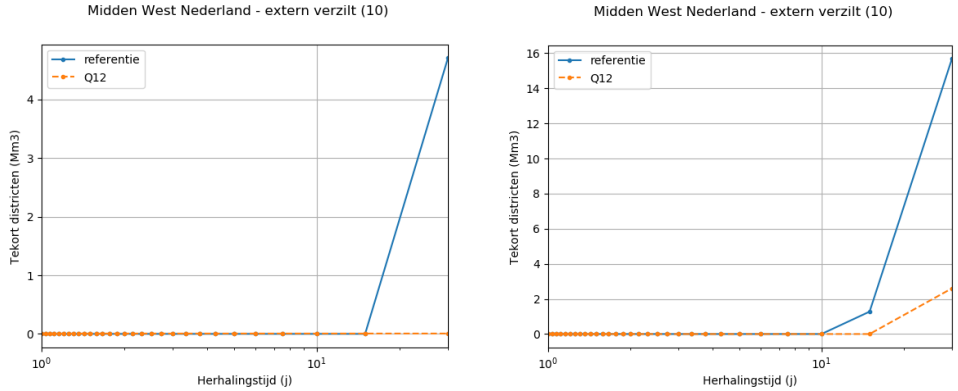


Figuur Q12-1: Debieten op de tak Delfland_InlaatBrielseMeer met (rood) en zonder maatregel (groen)

Het verschil is ook zichtbaar op regio niveau: zo zijn de tekorten voor doorspoeling in de regio's Midden West Nederland – extern verzilt verminderd (Figuur Q12-2). In Midden West Nederland – extern verzilt is dit alleen het geval in de droogste jaren. Ook is het tekort voor districtsonttrekkingen sterk afgenomen voor Midden West Nederland – extern verzilt (Figuur Q12-3). Het tekort voor districtsonttrekkingen in Zuid Westelijk estuariumgebied – met aanvoer is met de maatregel niet veranderd. Berekende tekorten voor doorspoeling zijn voor Zuid Westelijk estuariumgebied – met aanvoer niet correct door een conceptueel probleem in de QWAST-schematisatie van de zuidelijke Rijn-Maasmonding.



Figuur Q12-2: Overschrijdingskans tekorten in doorspoeling in het gebied Midden West Nederland – extern verzilt, met (oranje)- en zonder (blauw) maatregel bij scenario's REF2017 (links) en STOOM2050 (rechts).

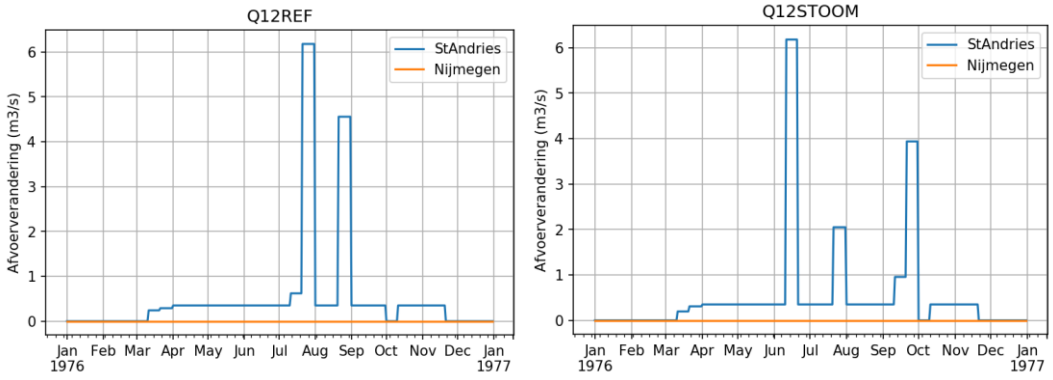


Figuur Q12-3 Overschrijdingskans tekorten in districtsvraag in het gebied Midden West Nederland – extern verzilt, met (oranje)- en zonder (blauw) maatregel bij scenario's REF2017 (links) en STOOM2050 (rechts).

Scheepvaart

Het grootste deel van de vaarkosten in Nederland wordt gemaakt door de scheepvaart op de Waal. Er is daarom enkel gekeken naar het effect van deze maatregel op de afvoer op de Waal en het resultaat hiervan op de vaarkosten.

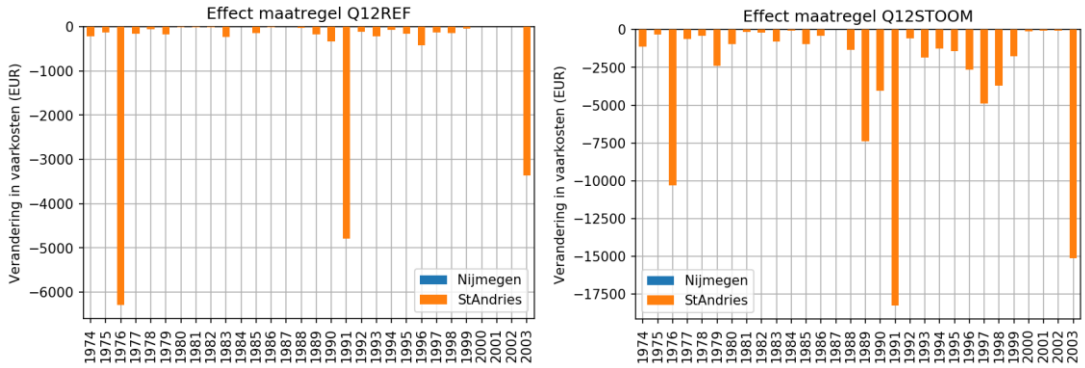
Uit de analyse met de eenvoudige scheepvaartrelatie is gebleken dat de deze maatregel geen effect heeft op de afvoer op de Waal bij Nijmegen, maar dat de afvoer bij St. Andries gedurende droge perioden toeneemt (zie Figuur Q12-4).



Figuur Q12-4 Afvoerverandering op de Waal bij Nijmegen en St. Andries, voor scenario's REF2017 (links) en STOOM2050 (rechts).

Omdat het grootste knelpunt van de corridor naar Duitsland (knelpunt Nijmegen) niet beïnvloed wordt door de maatregel, is er enkel een extra vaardieptebeperking voor scheepvaart die wel langs St. Andries gaat, maar niet langs Nijmegen (bijvoorbeeld richting Amsterdam).

De gemiddelde verlaging van de jaarlijkse kosten wordt ingeschat op €600 in REF2017 en €2800 in STOOM2050 (Figuur Q12-6).

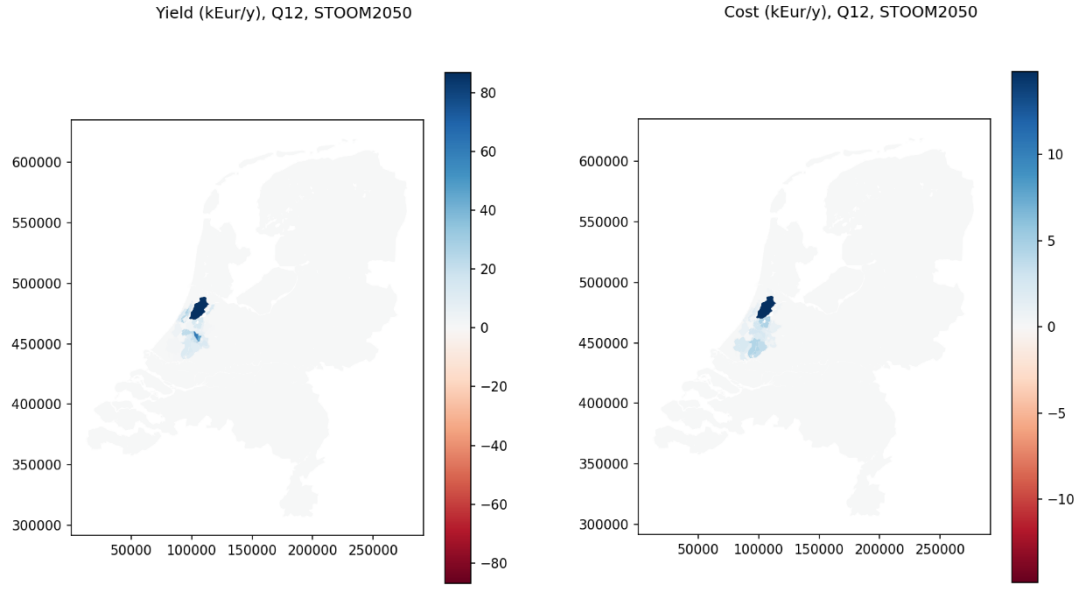


Figuur Q12-6 Berekende verandering in vaarkosten op de Waal bij Nijmegen en St. Andries, voor scenario's REF2017 (links) en STOOM2050 (rechts).

Droogteschade Landbouw

Door het opwerken en lozen van effluent is er in droge perioden meer water beschikbaar voor beregening uit oppervlaktewater. Door de toegenomen beregening neemt de gemiddelde opbrengst toe, maar ook de gemaakte kosten voor beregening (Figuur Q12-7). In REF2017 is de verandering in netto opbrengst (opbrengst minus beregeningskosten) 0.15 ME/jaar, in STOOM2050 loopt dit op tot 0.37 ME/jaar (Tabel Q12-1).

Let op dat door de schematisering van QWAST het effluent ten goede kan komen aan het gehele gebied Midden-West Nederland. Ook in bijvoorbeeld Rijnland, waar deze maatregel niet wordt toegepast, is er daarom een vermindering van het tekort te zien.



Figuur Q12-7 Berekende verandering in gemiddeld jaarlijkse gewasopbrengst (links) en beregeningskosten (rechts), voor scenario STOOM2050.

Tabel Q12-1 Berekende verandering in jaarlijkse gewasopbrengst, beregeningskosten, en netto opbrengst.

	REF2017			STOOM2050		
verandering in:	opbrengst (ME/jr)	kosten (ME/jr)	netto (ME/jr)	opbrengst (ME/jr)	kosten (ME/jr)	netto (ME/jr)
	0.17	0.02	0.15	0.43	0.06	0.37

A.12 Q13 – Robuuste doorvoer Krimpenerwaard

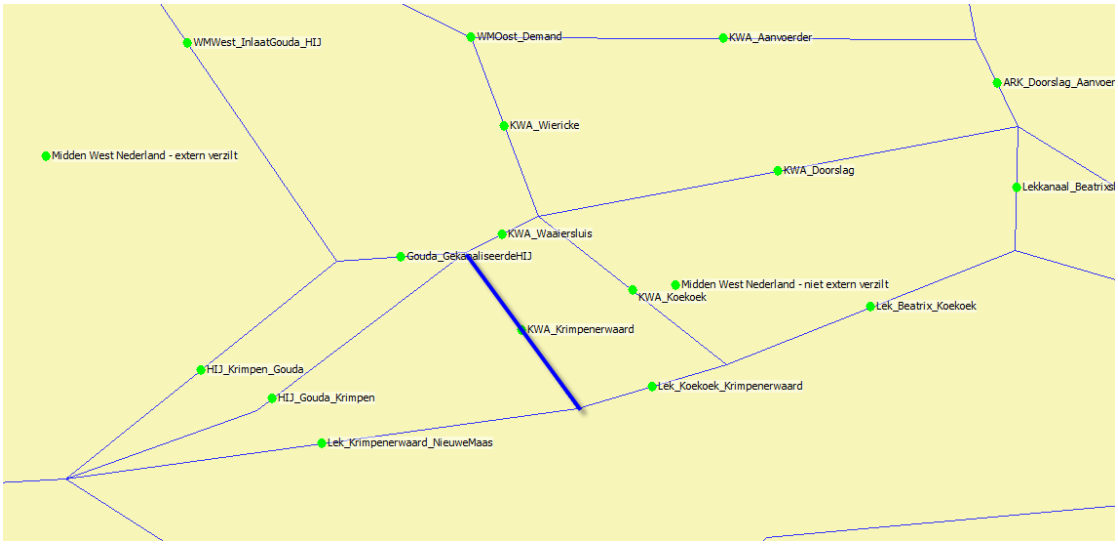
Omschrijving maatregel

Na implementatie van deze maatregel kan water worden aangevoerd vanuit de Lek, door de Krimpenerwaard, naar de Hollandsche IJssel. In overleg met de regio is besloten om de variant van 12 m^3/s door te rekenen. Aan de KWA verandert verder niets. Bij deze maatregel wordt 12 m^3/s ingelaten in de Krimpenerwaard, waarbij er 6 m^3/s gebruikt door de Krimpenerwaard. Via de Snelle Sluis gaat er 3 m^3/s richting Schieland. Daarnaast gebruikt Gouda ook wat water. 2 m^3/s is diffuus en heb je waarschijnlijk nodig als buffervoorraad.

Rekenwijze quickscan hydrologie

Voor deze maatregel wordt de afvoercapaciteit van de tak “KWA_Krimpenerwaard” verhoogd van 0 tot 12 m^3/s. Hiervan is 6 m^3/s bestemd voor de Krimpenerwaard, zodat 6 m^3/s kan worden doorgevoerd naar de Hollandse IJssel. Het maximum inlaatdebiet van de Krimpenerwaard uit deze tak wordt op 6 m^3/s gezet. De tak is alleen actief in KWA-omstandigheden. De capaciteit van de andere takken wordt niet veranderd. De capaciteit van de KWA takken is getoond in de tabel beneden. Er gelden in de districten geen capaciteitsbeperkingen.

Verder is de capaciteit van de tak Gouda_GekanaliseerdeHIJ vergroot tot 10 m^3/s. In de QWAST schematisatie komt de tak KWA-Krimpenerwaard om modelredenen namelijk op deze tak uit (deze tak representeert de ‘zoetwaterbel’ in de Hollandse IJssel, en kent in de uitgangssituatie een maximale capaciteit van 4.5 m^3/s), in plaats van op de Hollandse IJssel. De aangepaste capaciteiten van de verschillende KWA takken zijn weergegeven in Tabel Q13-1.



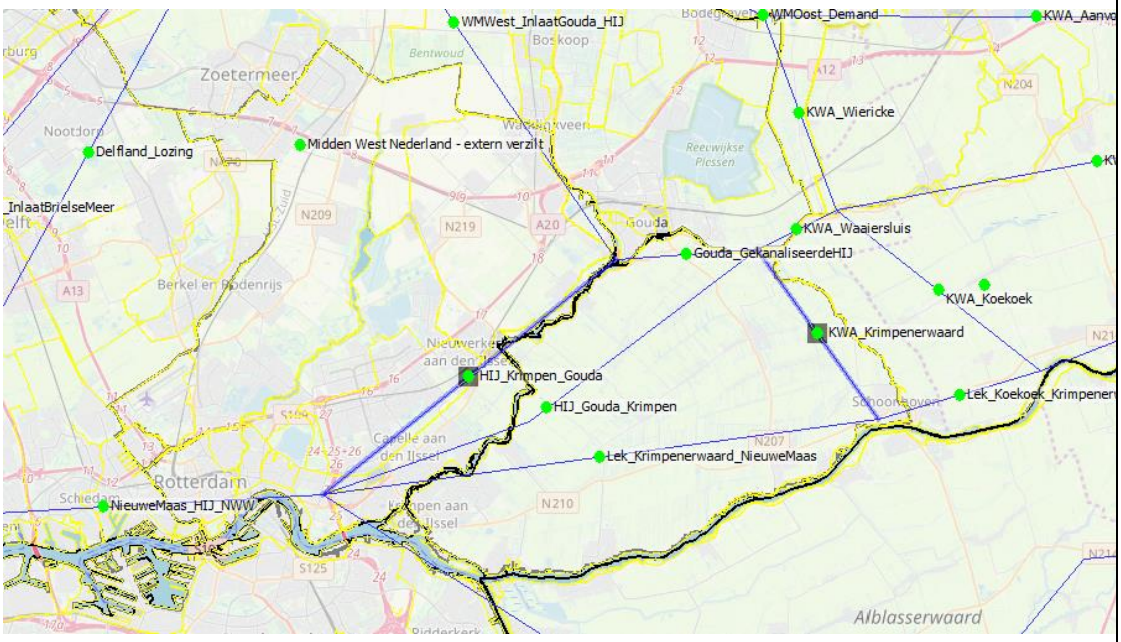
Figuur Q13-1 De ligging van de tak KWA_Krimpenerwaard.

Tabel Q13-1 Capaciteiten van de verschillende KWA takken in de uitgangssituatie en na implementatie van de maatregel Robuuste doorvoer Krimpenerwaard.

KWA takken		**Referentie**	**Robuuste doorvoer Krimpenerwaard**
KWA_Waaiersluis	Qmax	14	14
WMWest_DoorvoerKWA_Bodegraven	Qmax	10.5	10.5
KWA_Koekkoek	Qmax	10.3	10.3
WMWest_InlaatGouda	Qmax	35	35
KWA_Aanvoerder_ARK	Qmax	7.9	7.9
KWA_Doorslag_Lek	Qmax	9.8	9.8
KWA_Wiericke	Qmax	10.9	10.9
KWA_Krimpenerwaard	Qmax	0	**6**
Gouda gekanaliseerdeHIJ	Qmax	4.5	**10**

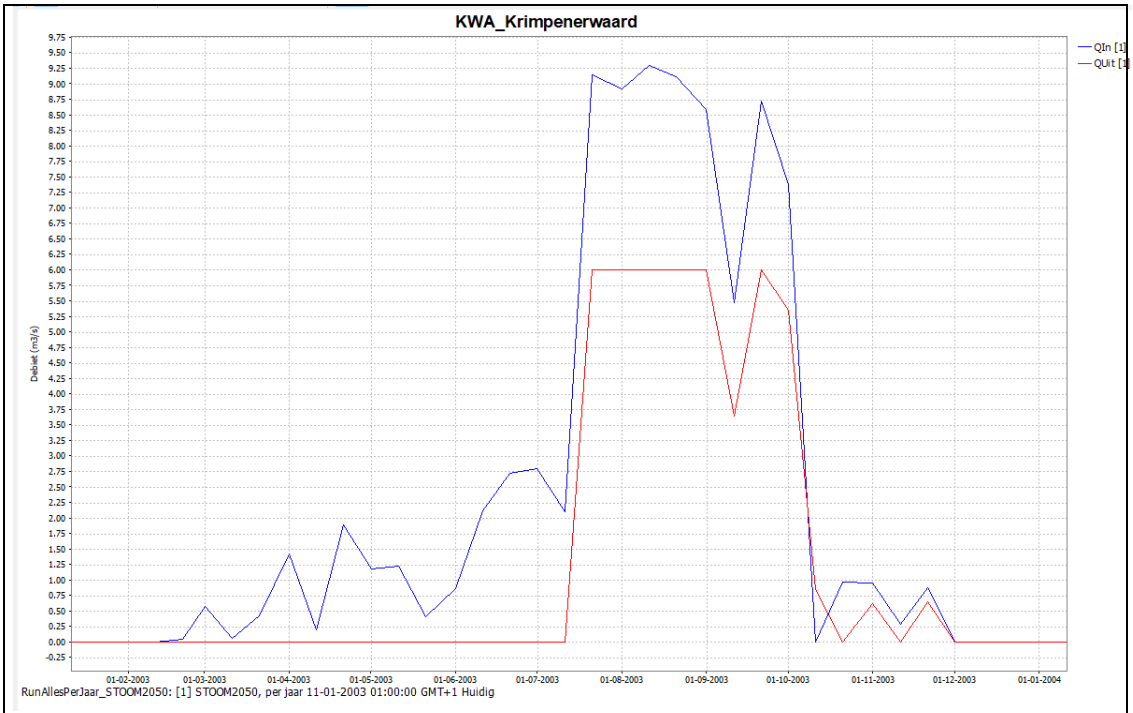
Resultaten hydrologie

De resultaten van deze maatregel worden getoond op takken KWA_Krimpenerwaard en HIJ_Krimpen_Gouda.



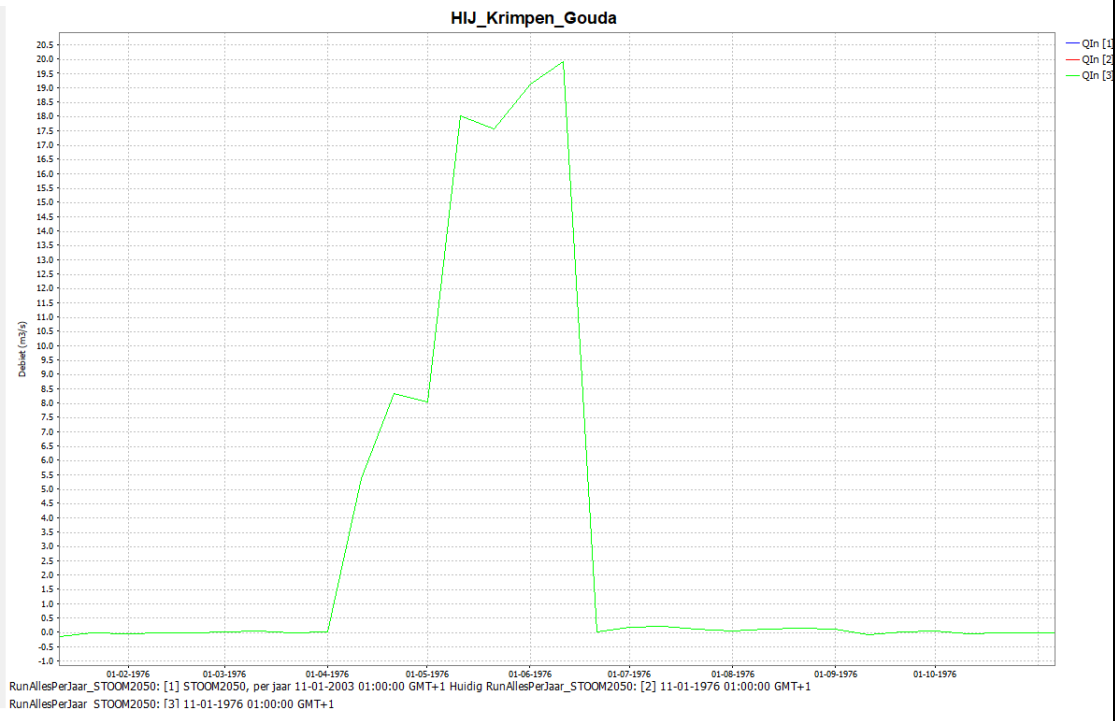
Figuur Q13-2 De schematisatie van de verschillende KWA takken in QWAST. Om modelredenen is aanvoer en afvoer via de Hollandse IJssel in twee takken geschematiseerd, en komt de tak KWA-Krimpenerwaard uit tussen Gouda en de Waaiersluis.

In de resultaten is het effect van de maatregel duidelijk te zien. De maximale capaciteit van de tak KWA_Krimpenerwaard is verhoogd, in de situatie dat het chloridegehalte in Krimpen aan de IJssel de KWA-grens overschrijdt. Figuur Q13-3 laat zien dat het uitstromende debiet tot 6 m^3/s toeneemt.



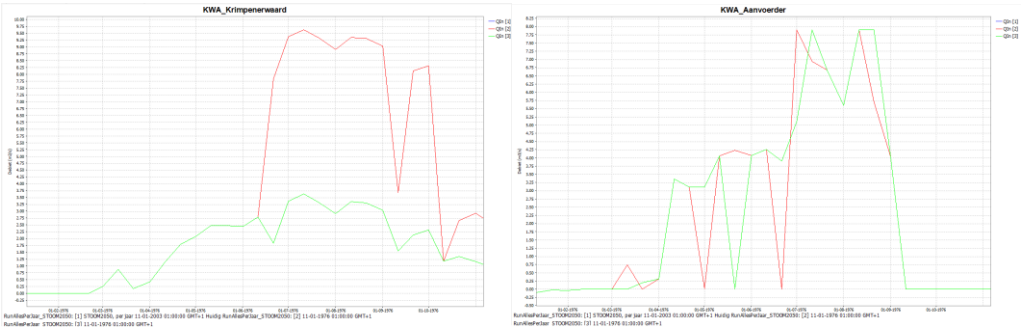
Figuur Q13-3. Het in- (blauw) en uitstromend debiet (rood) in de tak KWA_Krimpenerwaard met maatregel, scenario STOOM2050, jaar 2003. Het verschil tussen de twee lijnen is waterverbruik in de Krimpenerwaard.

In de volgende figuren is de situatie met en zonder maatregel vergeleken voor 1976, scenario STOOM2050. In de tak HIJ_Krimpen_Gouda is het instromend debiet zoals verwacht hetzelfde met en zonder maatregel. Vanaf juli is de chlorideconcentratie te ver opgelopen en wordt overgeschakeld van onttrekking uit de Hollandse IJssel naar de KWA.



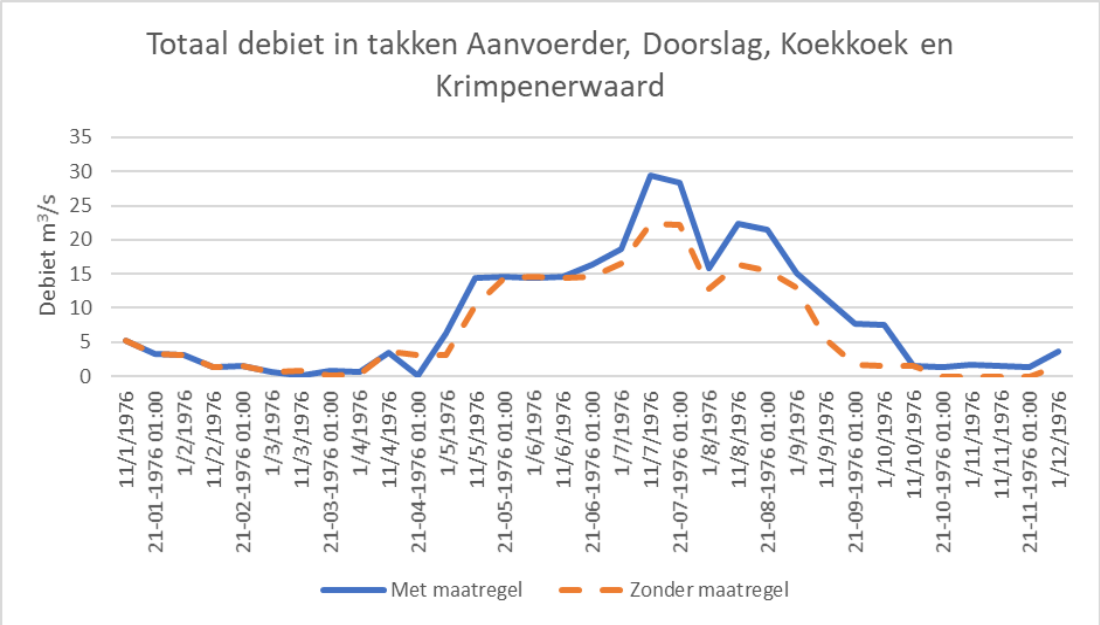
Figuur Q13-4 Debiet van de tak HIJ_Krimpen_Gouda, met (rood) en zonder maatregel (groen) in 1976.

In de tak KWA_Krimpenerwaard is het instromend debiet verhoogd met de maatregel.



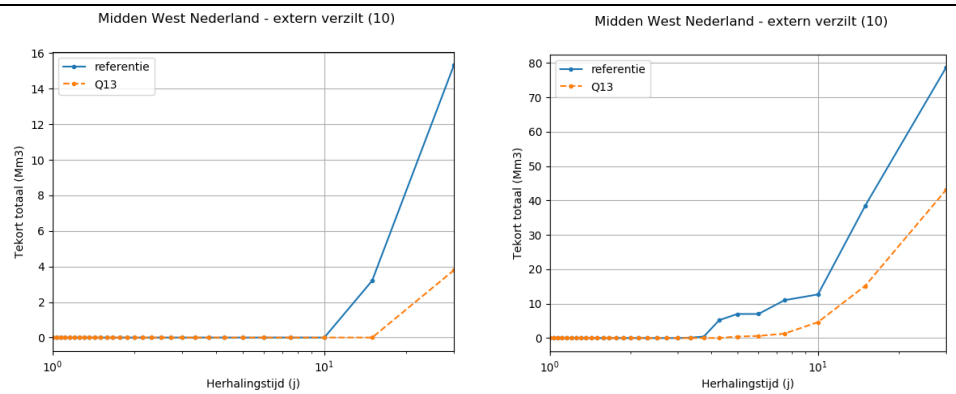
Figuur Q13-5 Debiet van de tak KWA_Krimpenerwaard (links), en KWA_Aanvoerder (rechts), met (rood) en zonder maatregel (groen) in 1976.

Het debiet is lager geworden in de tak KWA_Aanvoerder, aangezien meer KWA-debiet door de tak Krimpenerwaard gaat (Figuur Q13-5). Dit geldt min of meer ook voor het debiet in de tak KWA_Doorslag, en voor de tak KWA_Koekoek: het debiet met de maatregel is minder geworden. De mogelijkheid om debiet door de tak Krimpenerwaard aan te voeren richting de Hollandse IJssel geeft een afname van het debiet op de andere KWA-takken Doorslag, Aanvoerder en Koekoek. QWAST kent geen volgordelijkheid in inzet van de verschillende aanvoerroutes. In totaal neemt het debiet over de verschillende KWA-takken toe met maximaal 6 m^3/s (Figuur Q13-6).



Figuur Q13-7 Totaal debiet van de verschillende KWA-takken, met (blauw) en zonder maatregel (rood) in 1976, STOOM2050.

Door de extra aanvoermogelijkheid nemen tekorten in de regio af. In QWAST wordt het inlaatpunt Snelle Sluis niet apart onderscheiden. Tekorten nemen daarom in de gehele regio Midden-West Nederland af in de KWA-jaren (Figuur Q13-7).

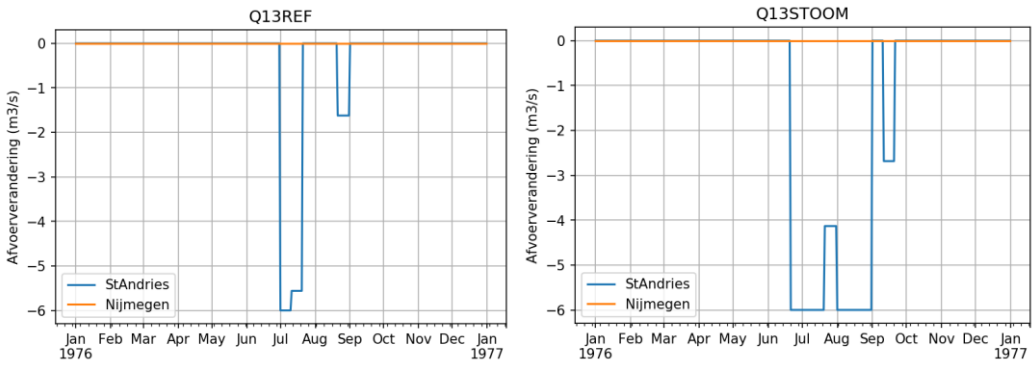


Figuur Q13-7 Overschrijdingskans totaal tekort in het gebied Midden West Nederland – extern verzilt, met (oranje)- en zonder (blauw) maatregel bij scenario's REF2017 (links) en STOOM2050 (rechts).

Scheepvaart

Het grootste deel van de vaarkosten in Nederland wordt gemaakt door de scheepvaart op de Waal. Er is daarom enkel gekeken naar het effect van deze maatregel op de afvoer op de Waal en het resultaat hiervan op de vaarkosten.

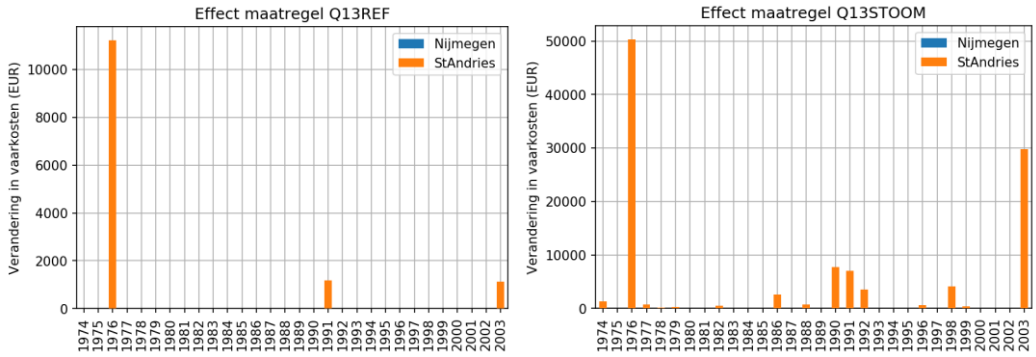
Uit de analyse met de eenvoudige scheepvaartrelatie is gebleken dat de deze maatregel geen effect heeft op de afvoer op de Waal bij Nijmegen, maar dat de afvoer bij St. Andries gedurende droge perioden afneemt (zie Figuur Q13-8).



Figuur Q13-8 Afvoerverandering op de Waal bij Nijmegen en St. Andries, voor scenario's REF2017 (links) en STOOM2050 (rechts).

Omdat het grootste knelpunt van de corridor naar Duitsland (knelpunt Nijmegen) niet beïnvloed wordt door de maatregel, is er enkel een extra vaardieptebeperking voor scheepvaart die wel langs St. Andries gaat, maar niet langs Nijmegen (bijvoorbeeld richting Amsterdam).

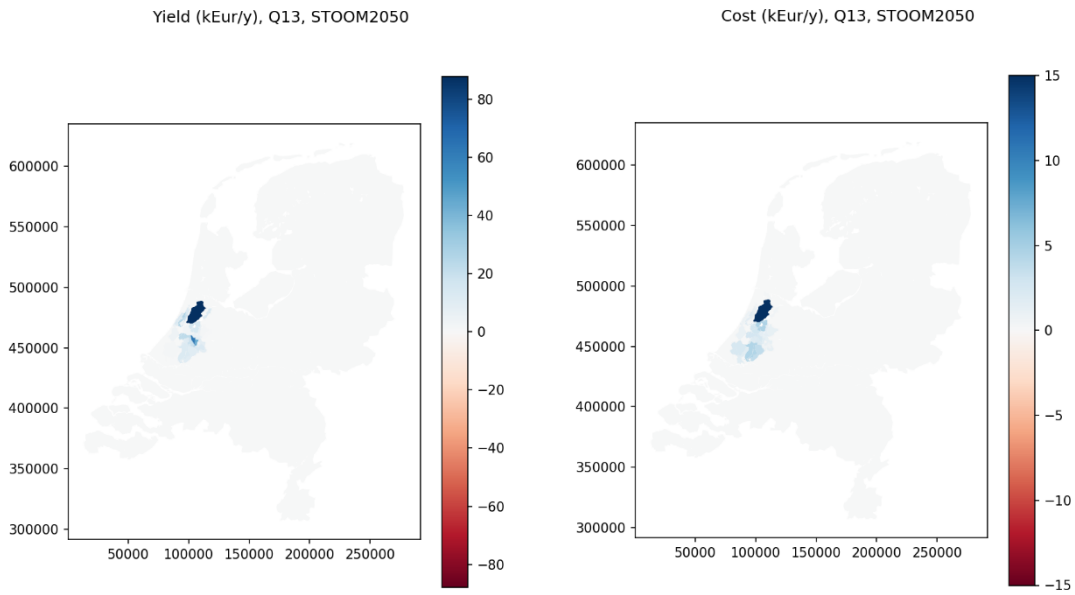
De gemiddelde verhoging van de jaarlijkse kosten wordt ingeschat op €500 in REF2017 en €3700 in STOOM2050.



Figuur Q13-9 Berekende verandering in vaarkosten op de Waal bij Nijmegen en St. Andries, voor scenario's REF2017 (links) en STOOM2050 (rechts).

Droogteschade Landbouw

Door de extra aanvoerroute door de Krimpenerwaard is er – in perioden dat de Hollandse IJssel is verzilt – meer water beschikbaar voor beregening uit oppervlaktewater. Door de toegenomen beregening neemt de gemiddelde opbrengst toe, maar ook de gemaakte kosten voor beregening (Figuur Q13-10). Doordat in QWAST de onttrekkingen van regio Midden-West Nederland op dezelfde locatie water innemen uit het hoofdwatersysteem, heeft de maatregel effect in de hele regio Midden-West Nederland, en niet alleen in Schieland. De opbrengst kan hierdoor overschat worden. In REF2017 is de verandering in netto opbrengst (opbrengst minus beregeningskosten) 0.15 ME/jaar, in STOOM2050 loopt dit op tot 0.37 ME/jaar (Tabel Q13-2).



Figuur Q13-10 Berekende verandering in gemiddeld jaarlijkse gewasopbrengst (links) en beregeningskosten (rechts), voor scenario STOOM2050.

Tabel Q13-2 Berekende verandering in jaarlijkse gewasopbrengst, beregeningskosten, en netto opbrengst.

	REF2017			STOOM2050		
verandering in:	opbrengst (ME/jr)	kosten (ME/jr)	netto (ME/jr)	opbrengst (ME/jr)	kosten (ME/jr)	netto (ME/jr)
	0.17	0.02	0.15	0.43	0.06	0.37

Let op dat de eenvoudige relatie geen rekening houdt met veranderingen in zoutschade van gewassen. Meer beschikbaar water voor doorspoelen heeft in principe een afname van zoutschade tot gevolg, maar dit is niet zichtbaar in de berekende getallen.

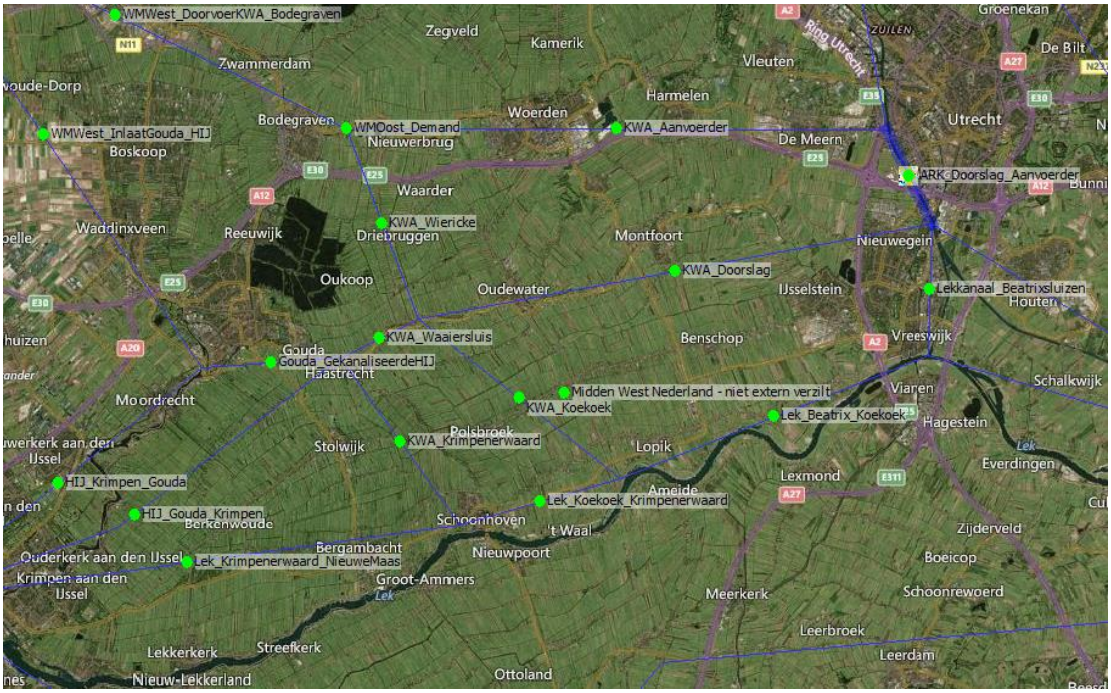
A.13 Q14 – Uitbreiden KWA (KWA++)

Omschrijving maatregel

Het verder opwaarderen/optimaliseren van de Klimaatbestendige Wateraanvoer om nog meer water naar het westen te kunnen aanvoeren. Het gaat hier primair om de zoetwatervoorziening van West-Nederland.

Rekenwijze quickscan hydrologie

De Klimaatbestendige wateraanvoer is de alternatieve watervoorziening van west Nederland wanneer bij Gouda niet langer uit de Hollandse IJssel kan worden ingenomen (zoutgehalte in Hollandse IJssel groter dan 200 mg/l). Met de Klimaatbestendige wateraanvoer wordt water aangevoerd vanuit Amsterdam-Rijnkanaal en Lek, via de Oude Rijn en de gekanaliseerde Hollandse IJssel. De KWA kent na uitbreiding een capaciteit van 15 m^3/s. De KWA++ betreft een verdere uitbreiding naar 24 m^3/s, door meer water aan te voeren via gemaal de Koekoek en door de Krimpenerwaard.



Figuur Q14-1 De geschematiseerde KWA routes.

De KWA ++ wordt geïmplementeerd door verschillende tak-capaciteiten te verhogen ten opzichte van de KWA15.

Tabel Q14-1: Takcapaciteiten voor KWA++

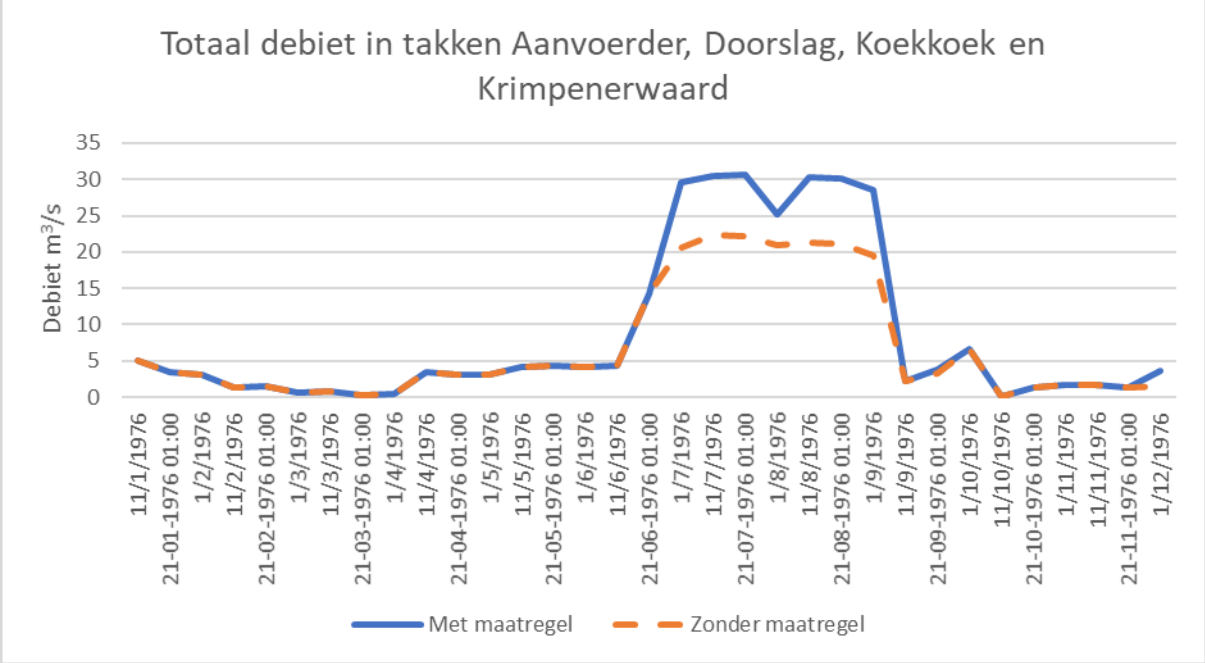
KWA takken		**KWA REF2017**	**KWA++**
KWA_Waaiersluis	Qmax	14	14
WMWest_DoorvoerKWA_Bodegraven	Qmax	10,5	**12**
KWA_Koekoek	Qmax	10,3	**14,1**
WMWest_InlaatGouda	Qmax	35	35
KWA_Aanvoerder_ARK	Qmax	7,9	7,9
KWA_Doorslag_Lek	Qmax	9,8	9,8
KWA_Wiericke	Qmax	10,9	10,9
KWA_Krimpenerwaard	Qmax	0	**6**
Gouda_GekanaliseerdeHIJ	Qmax	4,5	**12**

Resultaten hydrologie

De KWA is in 2003, STOOM2050 actief tussen juli en oktober. Figuur Q14-2 geeft de chlorideconcentratie in de Hollandse IJssel, en de takdebieten van de (uitgebreide) KWA-takken KWA_Krimpenerwaard, KWA_Koekoek en KWA_GekanaliseerdeHIJ. De drie takken worden in juli en augustus maximaal belast, vervolgens zakt in september de watervraag weg. QWAST houdt geen rekening met een volgordelijkheid in inzet van de verschillende routes: de aanvoer via de Doorslag en de Aanvoerder hoeft in de periode juli – augustus dan ook niet maximaal te zijn.

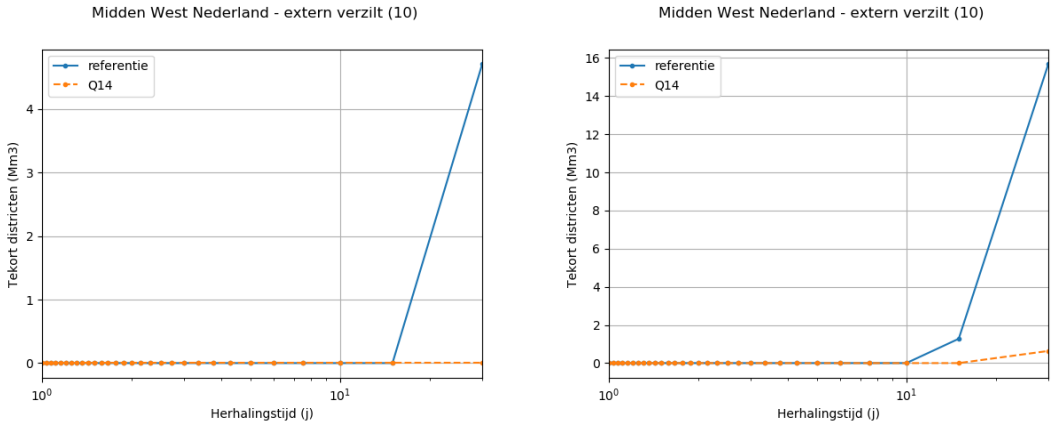
Figuur Q14-2 Boven: chloridegehalte in Hollandse IJssel, onder: debieten in de KWA takken met maatregel in 2003, STOOM2050.

Het totale aanvoerdebiet over alle KWA takken wordt gegeven in Figuur Q14-3, voor het jaar 1976 in STOOM2050. Het aanvoerdebiet is met de maatregel duidelijk toegenomen, van maximaal 22 m^3/s in de uitgangssituatie tot maximaal zo'n 30 m^3/s (24 m^3/s aanvoer KWA, plus inname regio).

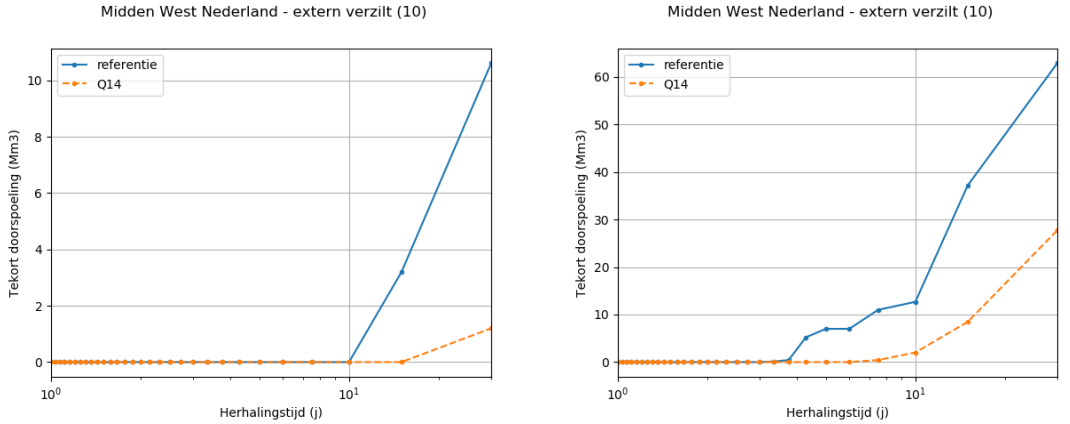


Figuur Q14-3 Som van debieten in de KWA takken in 1976, scenario STOOM2050, met (blauw) en zonder (rood) maatregel.

Door de grotere aanvoermogelijkheden nemen tekorten in west Nederland sterk af. Zo is het tekort in district onttrekkingen voor beregening, en peilbeheer zo goed als verdwenen (Figuur Q14-4), en is ook het doorspoeltekort in KWA jaren flink gereduceerd (Figuur Q14-5). Doorspoeling kent een lagere prioriteit dan de districtsonttrekkingen, en wordt daarom als eerste gekort.



Figuur Q14-4 Overschrijdingskans tekort districtvraag in het gebied Midden West Nederland – extern verzilt, met (oranje)- en zonder (blauw) maatregel bij scenario's REF2017 (links) en STOOM2050 (rechts).

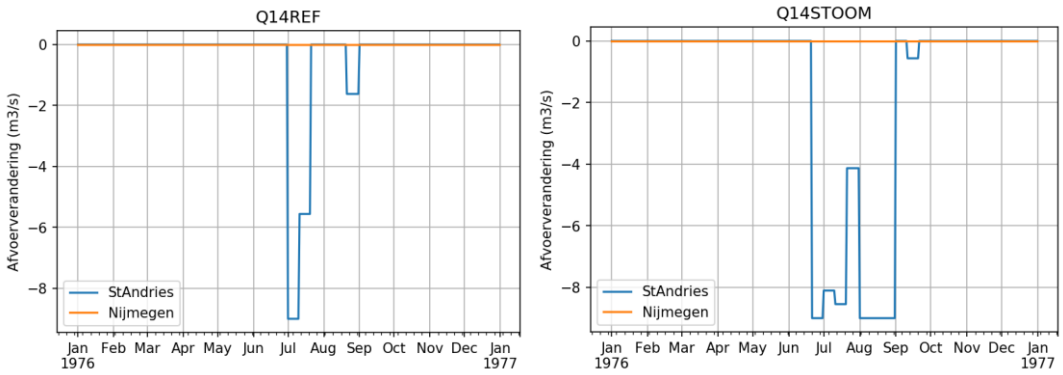


Figuur Q14-5 Overschrijdingskans tekort doorspoeling in het gebied Midden West Nederland – extern verzilt, met (oranje)- en zonder (blauw) maatregel bij scenario's REF2017 (links) en STOOM2050 (rechts).

Scheepvaart

Het grootste deel van de vaarkosten in Nederland wordt gemaakt door de scheepvaart op de Waal. Er is daarom enkel gekeken naar het effect van deze maatregel op de afvoer op de Waal en het resultaat hiervan op de vaarkosten.

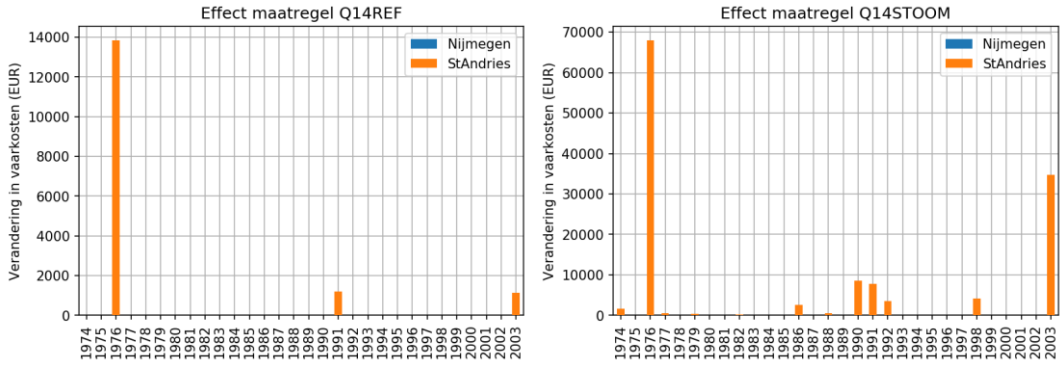
Uit de analyse met de eenvoudige scheepvaartrelatie is gebleken dat de deze maatregel geen effect heeft op de afvoer op de Waal bij Nijmegen, maar dat de afvoer bij St. Andries gedurende droge perioden afneemt (zie figuur).



Figuur Q14-6 Afvoerverandering op de Waal bij Nijmegen en St. Andries, voor scenario's REF2017 (links) en STOOM2050 (rechts).

Omdat het grootste knelpunt van de corridor naar Duitsland (knelpunt Nijmegen) niet beïnvloed wordt door de maatregel, is er enkel een extra vaardieptebeperking voor scheepvaart die wel langs St. Andries gaat, maar niet langs Nijmegen (bijvoorbeeld richting Amsterdam).

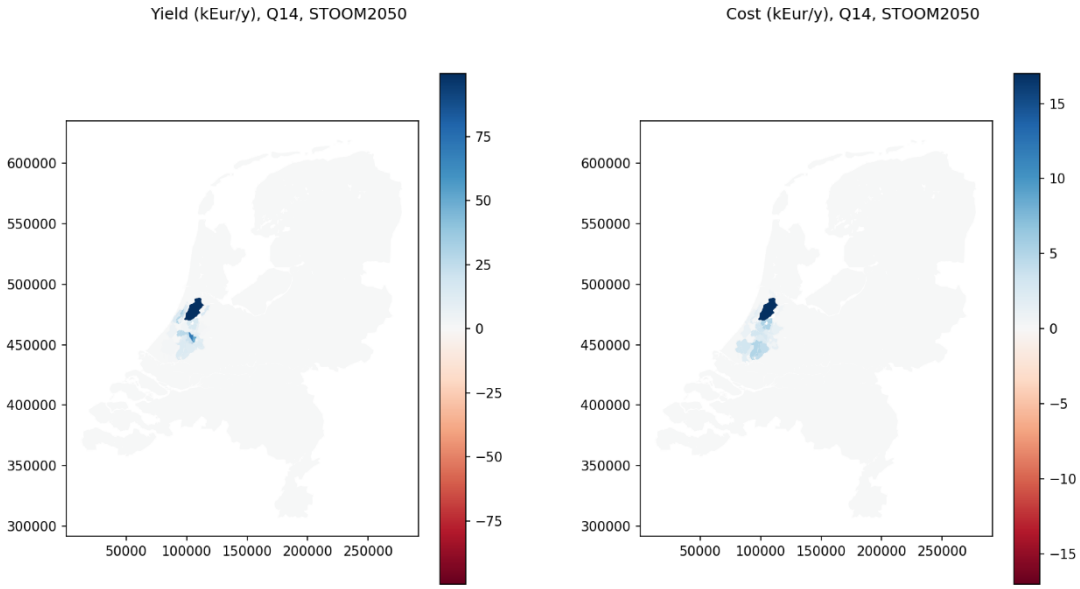
De gemiddelde verhoging van de jaarlijkse kosten wordt ingeschat op €500 in REF2017 en €4400 in STOOM2050 (Figuur Q14-7).



Figuur Q14-7 Berekende verandering in vaarkosten op de Waal bij Nijmegen en St. Andries, voor scenario's REF2017 (links) en STOOM2050 (rechts).

Droogteschade Landbouw

Door het vergroten van de capaciteit van de Klimaatbestendige Wateraanvoer is er – in perioden dat de Hollandse IJssel is verzilt – meer water beschikbaar voor beregening uit oppervlaktewater. Door de toegenomen beregening neemt de gemiddelde opbrengst toe, maar ook de gemaakte kosten voor beregening (Figuur Q14-8). In REF2017 is de verandering in netto opbrengst (opbrengst minus beregeningskosten) 0.15 ME/jaar, in STOOM2050 loopt dit op tot 0.42 ME/jaar (Tabel Q14-2).



Figuur Q14-8 Berekende verandering in gemiddeld jaarlijkse gewasopbrengst (links) en beregeningskosten (rechts), voor scenario STOOM2050.

Tabel Q14-2 Berekende verandering in jaarlijkse gewasopbrengst, beregeningskosten, en netto opbrengst.

	REF2017			STOOM2050		
verandering in:	opbrengst (ME/jr)	kosten (ME/jr)	netto (ME/jr)	opbrengst (ME/jr)	kosten (ME/jr)	netto (ME/jr)
	0.17	0.02	0.15	0.49	0.07	0.42

Let op dat de eenvoudige relatie geen rekening houdt met veranderingen in zoutschade van gewassen. Meer beschikbaar water voor doorspoelen heeft in principe een afname van zoutschade tot gevolg, maar dit is niet zichtbaar in de berekende getallen.

A.14 Q15 – Slimmer doorspoelen zoute polders

Omschrijving maatregel

Het doel van slimmer doorspoelen is om te kijken of het ingelaten water effectiever in tijd en ruimte ingezet kan worden, of dat met minder inlaatwater hetzelfde bereikt kan worden (in termen van voorkomen opbrengstderving) om daarmee te besparen op de hoeveelheid inlaatwater. Slimmer doorspoelen kan ook een besparing in maalkosten opleveren. Slimmer doorspoelen kan ook input leveren aan waterbeschikbaarheid, in die zin dat duidelijkheid wordt verschaft over de hoeveelheid en kwaliteit van het beschikbare water.

Voor waterschap Scheldestromen gaat het om: Tholen, Sint-Philipsland en Reigerbergse polder: 10-20% minder doorspoeldebiet. En voor Brabantse Delta de polders Prins Hendrik, Auvergne en Nieuw-Vossemeer (PAN-polders) ook 10-20% minder doorspoeldebiet.

Voor Rijnland gaat het om de volgende polders: Polder Middelburg en Tempelpolder, Haarlemmermeerpolder, Oostbroekpolder, Drooggemaakte Geer- en Kleine Blankaardpolder, Zoetermeerse Meerpolder, Nieuwe Driemanspolder, Polder de Noordplas, Drooggemaakte Grote Polder, Zwet- en Grote Blankaartpolder, Polder Oudendijk, Polder Vierambacht. Er zijn geen absolute getallen gegeven door de regio.

Voor Delfland kan geen voordeel worden gehaald bij slimmere doorspoeling van polders. Polders die worden doorgespoeld, doen dit via het boezemsysteem (inlaten en weer uitmalen). Netto-effect is dus 0. Bij Delfland gaat het voornamelijk om het doorspoelen van stukken boezem(land):
- Effectiever doorspoelen voor tegengaan zoute kwel rondom gemaal v/d Burg (is geen polder maar boezemland). Gemaal v/d Burg maalt nu 0,5 m3/s constant uit. We weten niet met hoeveel m3/s dit afneemt, is nu in de onderzoeksfase (via waterbeschikbaarheid). Besparing voornamelijk in droge zomers door minder aanvoer Brielse Meer en/of KWA-water
- Effectiever terugmalen van zoutindringing bij Parksluizen (boezem, niet polder). Bij lage rivierafvoeren en droge zomers in de doorspoelbehoefte 1,5 - 2 m3/s. Dit betreft in droge zomers voornamelijk KWA-water en Brielse Meer water. In een eerder onderzoek van Deltares wordt gesteld dat er driemaal zoveel gespoeld wordt als theoretisch nodig is om de schutschijf weer af te voeren. Een eerste studie van Hydrologic stelt dat een mogelijke verlaging van het doorspoeldebiet van 30% (dus grofweg in droge tijden 0,5 m3/s minder KWA) mogelijk zou kunnen zijn. Dit moet echter nog beter worden onderzocht.

Bij HHSK wordt nauwelijks doorgespoeld tijdens droogte door water intern te circuleren en de interne verzilting te monitoren (de Zuidplaspolder).

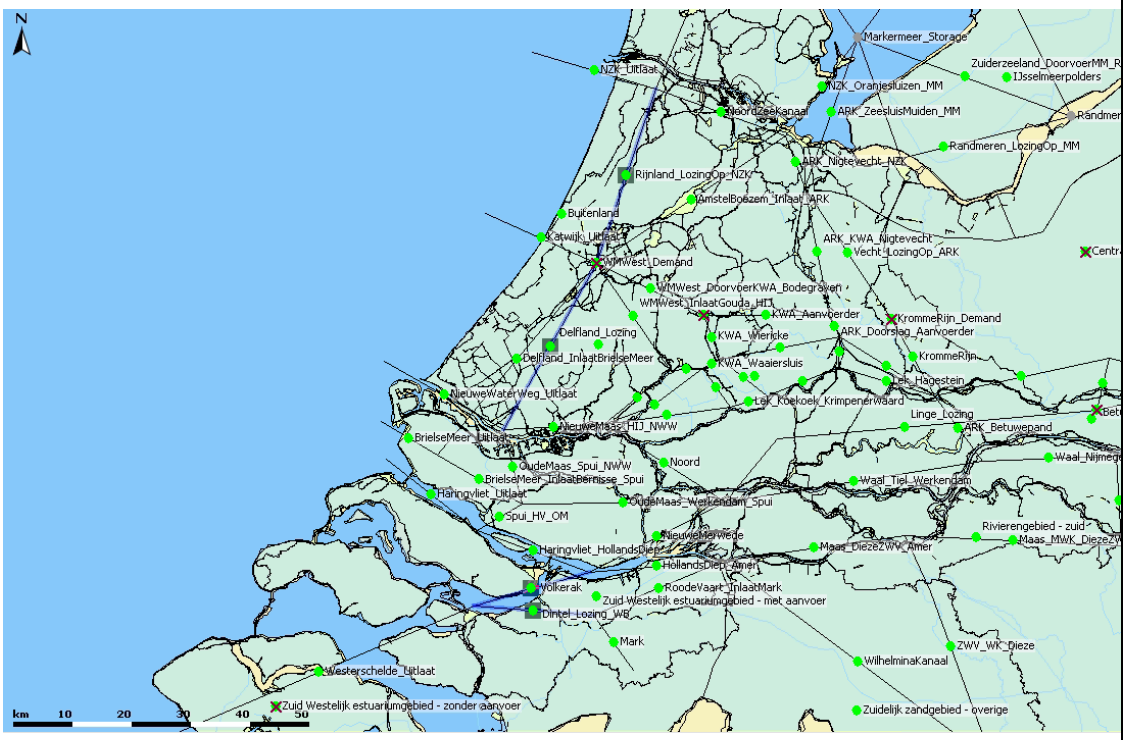
Voor zoetwaterregio IJsselmeer is het doel om door waterbesparing langer gebruik te kunnen maken van het water beschikbaar uit het IJssel- en Markermeer. De waterbesparing zal worden bereikt door het efficiënter doorspoelen van de kustregio van Friesland/Groningen.

Rekenwijze quickscan hydrologie

Uitgangspunt voor Rijnland: 0,2 m^3/s besparing op vraag aan hoofdwatersysteem. Voor Rijnland gaat het om de volgende polders: Polder Middelburg en Tempelpolder, Haarlemmermeerpolder, Oostbroekpolder, Drooggemaakte Geer- en Kleine Blankaardpolder, Zoetermeerse Meerpolder, Nieuwe Driemanspolder, Polder de Noordplas, Drooggemaakte Grote Polder, Zwet- en Grote Blankaartpolder, Polder Oudendijk, Polder Vierambacht. In QWAST is dit berekend door de VraagNW_doorspoeling op de tak Rijnland_lozingOp_NZK (Figuur Q15-1) te verlagen met 0,2 m^3/s.

Voor Delfland zal het doorspoeldebiet worden verlaagd met 30%. In QWAST is dit berekend door de VraagNW_doorspoeling op de tak Delfland_lozing (Figuur Q15-1) te verlagen met 30%.

Voor Tholen, Sint-Philipsland, Reigersbergse polder, Prins Hendrik, Auvergne en Nieuw-Vossemeer (PAN/polders) is de VraagNW_doorspoeling op de QWAST tak Volkerak (Figuur Q15-1) en de QWAST tak Dintel_Lozing_WB (Figuur Q15.1) met 15% verlaagd.



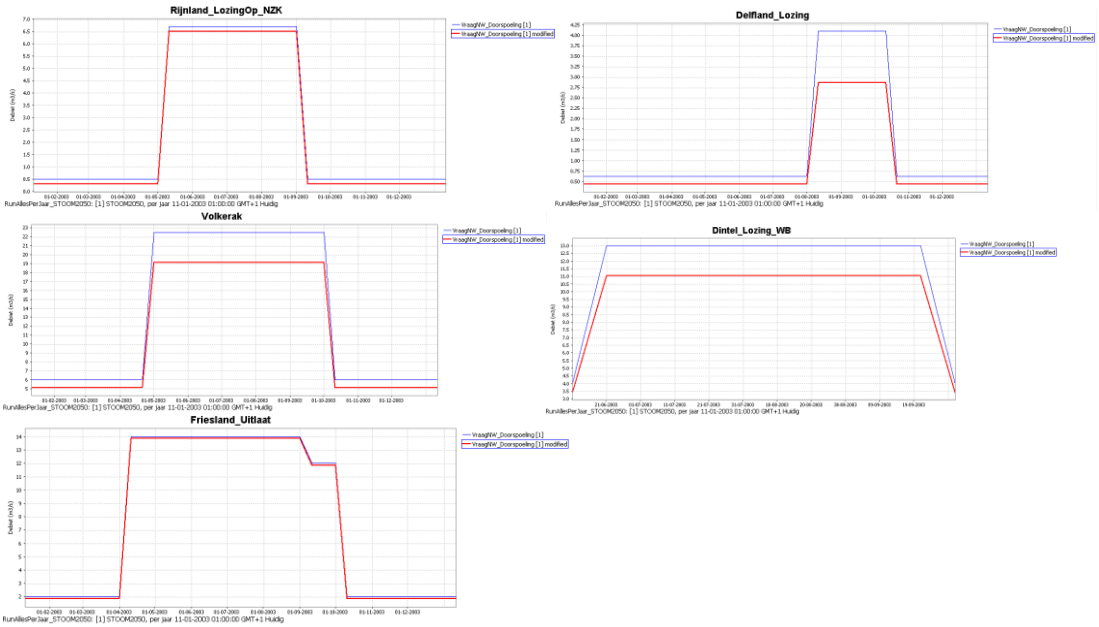
Figuur Q15-1 In donkerblauw zijn de takken aangegeven waarvan de VraagNW_doorspoeling is aangepast.

Voor het optimaliseren van doorspoelen voor het IJsselmeer is in QWAST de doorspoelvraag op het netwerk (VraagNW_doorspoeling op de tak Friesland_Uitlaat (Figuur Q15-2)) verlaagd met 0.15 m^3/s. Dit is berekend op de volgende manier: het huidige doorspoeldebiet in de districten is 2 m^3/s, een verlaging van 15% betekent een verlaging van 0.3 m^3/s. Om het op netwerk niveau te kunnen doorrekenen is aangenomen dat deze doorspoelvraag voor zo'n 50% leidt tot een vraag aan de boezem (een deel wordt intern geleverd), wat leidt tot een verlaging van 0.15 m^3/s.

Figuur Q15-2 In donkerblauw is de tak aangegeven waarvan de VraagNW_doorspoeling is aangepast.

Resultaten hydrologie

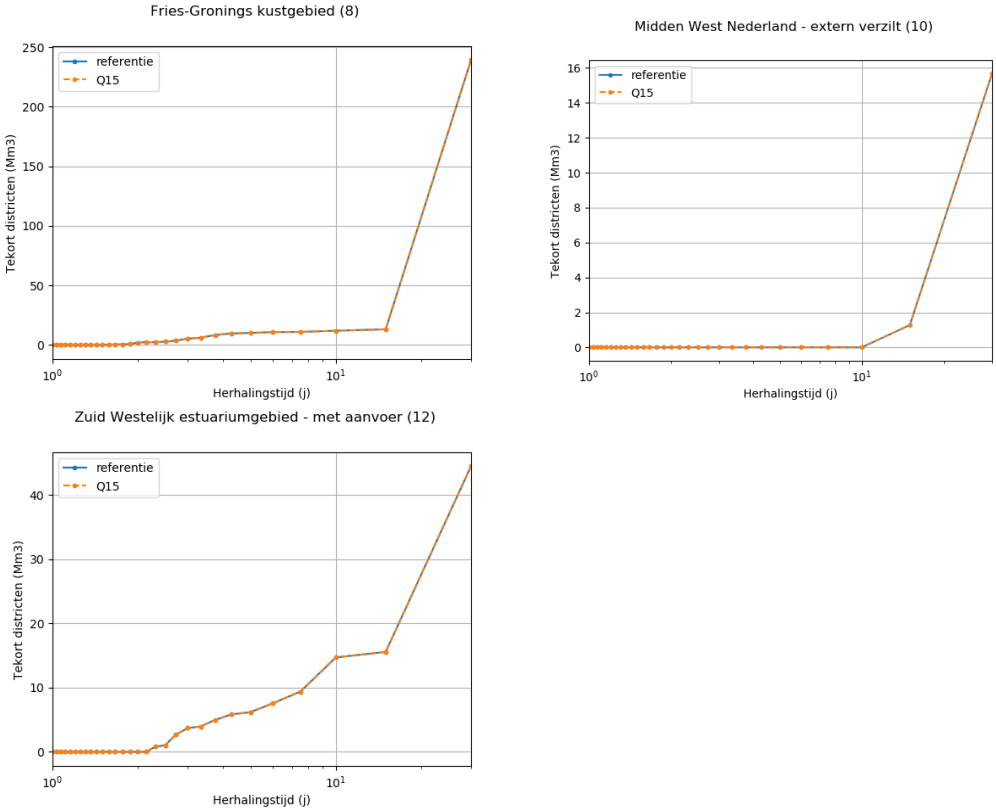
Figuren Q15-3 laat zien dat de maatregel succesvol is geimplementeerd. In blauw is de VraagNW_Doorspoeling te zien zonder maatregel en in rood met de maatregel voor het scenario STOOM, het is duidelijk dat voor alle takken de watervraag ten behoeve van de doorspoeling is verminderd. Een vergelijkbaar patroon was aanwezig voor de scenario REF.



Figuur Q15-3 VraagNW_Doorspoeling voor scenario STOOM, in blauw zonder maatregel en in rood met maatregel voor de takken Rijnland_LozingOp_NZK, Delfland_Lozing, Volkerak, Dintel_Lozing_WB, Friesland_Uitlaat.

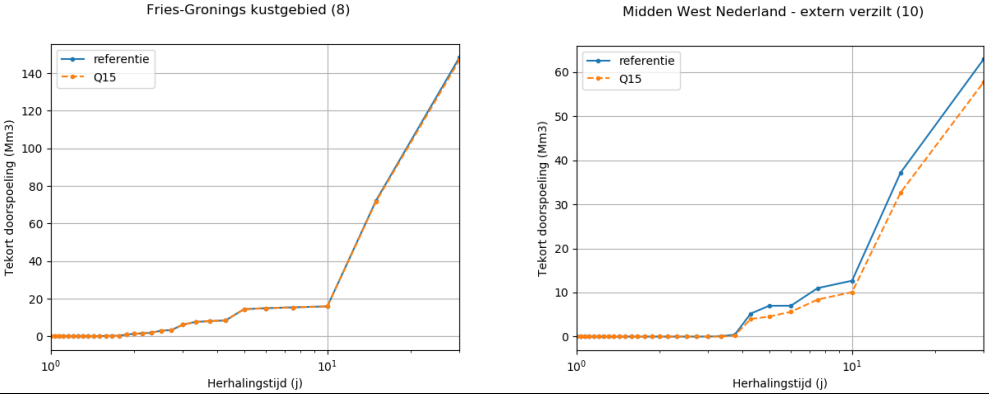
Doorspoeling heeft in QWAST de laagste prioriteit: in een tekortsituatie is doorspoeling de eerste

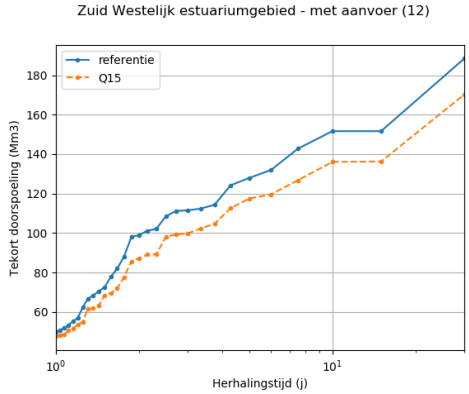
watervraag die gekort wordt. Dat heeft tot gevolg dat vermindering van doorspoeling geen effect heeft op tekorten van andere watervragen. Immers, wanneer deze andere watervragen worden gekort, was doorspoeling al volledig gestopt. Dit blijkt ook uit Figuur Q15-4, die geen verschillen laat zien in optredende tekorten voor districts-onttrekkingen.



Figuur Q15-4 Overschrijdingskans tekort in district onttrekkingen in de betreffende regio's, met (oranje)- en zonder (blauw) maatregel in scenario STOOM2050.

De tekorten voor doorspoeling nemen wel af (Figuur Q15-5); de maatregel zal daarmee leiden tot minder verziltingsproblematiek. De afname is het grootste in regio Zuidwestelijke Delta – met aanvoer, het kleinst in regio Fries-Gronings kustgebied. In Midden West Nederland – extern verzilt neemt het tekort alleen af in KWA jaren. Chloride wordt in de gebruikte eenvoudige schaderelatie niet meegenomen, effecten van de maatregel op verzilting komt dan ook niet tot uitdrukking in de berekende landbouwschade.



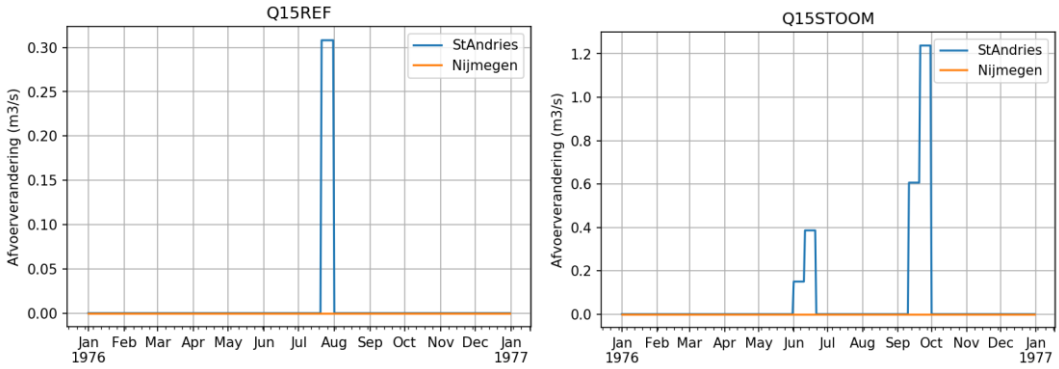


Figuur Q15-5 Overschrijdingskans tekort doorspoeling in de betreffende regio's, met (oranje)- en zonder (blauw) maatregel in scenario STOOM2050

Scheepvaart

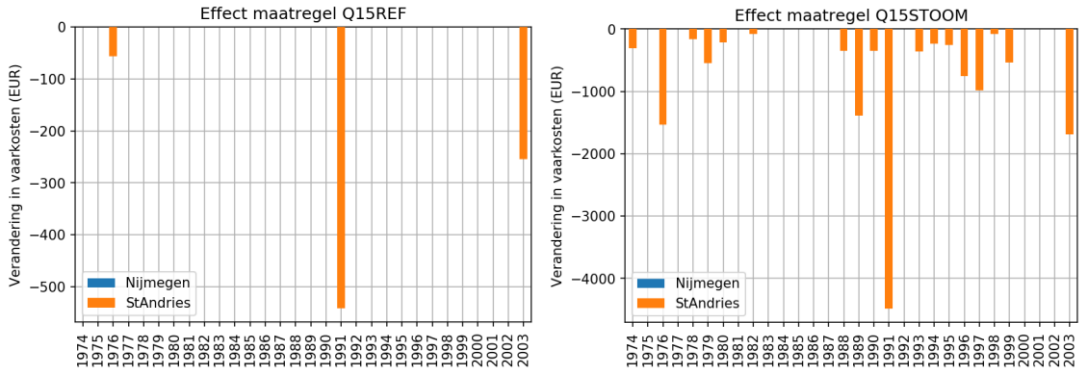
Het grootste deel van de vaarkosten in Nederland worden gemaakt door de scheepvaart op de Waal. Er is daarom enkel gekeken naar het effect van deze maatregel op de afvoer op de Waal en het resultaat hiervan op de vaarkosten.

Uit de analyse met de eenvoudige scheepvaartrelatie is gebleken dat de deze maatregel geen effect heeft op de afvoer op de Waal bij Nijmegen, bij St. Andries treedt er bij droge perioden wel een positief effect op (Figuur Q15-7).



Figuur Q15-6 Afvoerverandering op de Waal bij Nijmegen en St. Andries in 1976, voor scenario's REF2017 (links) en STOOM2050 (rechts).

De gemiddelde verlaging van de jaarlijkse kosten is in REF2017 verwaarloosbaar (minder dan €100), in STOOM2050 is de verlaging €500, Figuur Q15-7.



Figuur Q15-7 Berekende verandering in vaarkosten op de Waal bij Nijmegen en St. Andries, voor scenario's REF2017 (links) en STOOM2050 (rechts).

Landbouw

Door de maatregelen veranderen tekorten voor beregening niet, er zijn door de eenvoudige schaderelatie landbouw dan ook geen verschillen berekend (Tabel Q15-1).

Tabel Q15-1 Berekende verandering in jaarlijkse gewasopbrengst, beregeningskosten, en netto opbrengst.

	REF2017			STOOM2050		
verandering in:	opbrengst (ME/jr)	kosten (ME/jr)	netto (ME/jr)	opbrengst (ME/jr)	kosten (ME/jr)	netto (ME/jr)
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

De schaderelatie houdt geen rekening met eventuele verandering van zoutschade van landbouwgewassen bij afnemende zoutconcentraties in het oppervlaktewater. Doordat er minder doorspoeling nodig is, en daardoor minder doorspoeltekorten optreden, zullen zoutconcentraties bij de maatregel gemiddeld wat afnemen.

A.15 M1 – Optimaliseren inlaten Noorderzijlvest

Omschrijving maatregel

Peilbesluitentrajecten inclusief mogelijk maken van zoetwaterbesparend dynamisch peilbeheer. Per peilbesluit betekent dit gemiddeld het automatiseren van een inlaat, het automatiseren van een stuw en het installeren van een digitale peilschaal met telemetrie.

In de winter kan een grotere grondwaterbuffer aangelegd worden waar in de zomer en het najaar uit geput kan worden. Geoptimaliseerd automatisch beheer van de inlaten en stuwen kan ervoor zorgen dat deze aanvulling zoveel mogelijk met lokale regen gebeurt en zo min mogelijk met ingelaten water. Bovendien is er de mogelijkheid om het water extra te laten uitzakken in met najaar wanneer dat niet schadelijk is voor het groeistadium van de gewassen of de grondbewerking die dan plaatsvindt.

Niet bekend hoeveel waterbesparing hier wordt verwacht. Voor soortgelijke maatregel M07 wordt bij waterschap Hollandse Delta een toename in de waterbeschikbaarheid van 10 - 20% verwacht (eindbeeld 2050). Dezelfde aanname wordt hier ook gedaan.

Maatregel wordt genomen in uiteindelijk 100% van beheergebied (40% in 2028)

Rekenwijze quickscan hydrologie

Voor het hele peilbeheerste beheersgebied van NZV wordt aangenomen dat er in droge perioden

15% meer water intern beschikbaar is voor beregening uit oppervlaktewater (Uit analogie met maatregel M7). De hoeveelheid water die deze 15% vertegenwoordigt wordt bepaald als 15% van de waterallocatie voor beregening in een 1/10 droog jaar (huidig klimaat). Deze hoeveelheid wordt verondersteld niet te veranderen onder klimaatscenario's. De toegekende beregening in de situatie met maatregel is dan de met LHM berekende watervraag, gemaximeerd op de met LHM berekende waterallocatie + de extra hoeveelheid water.

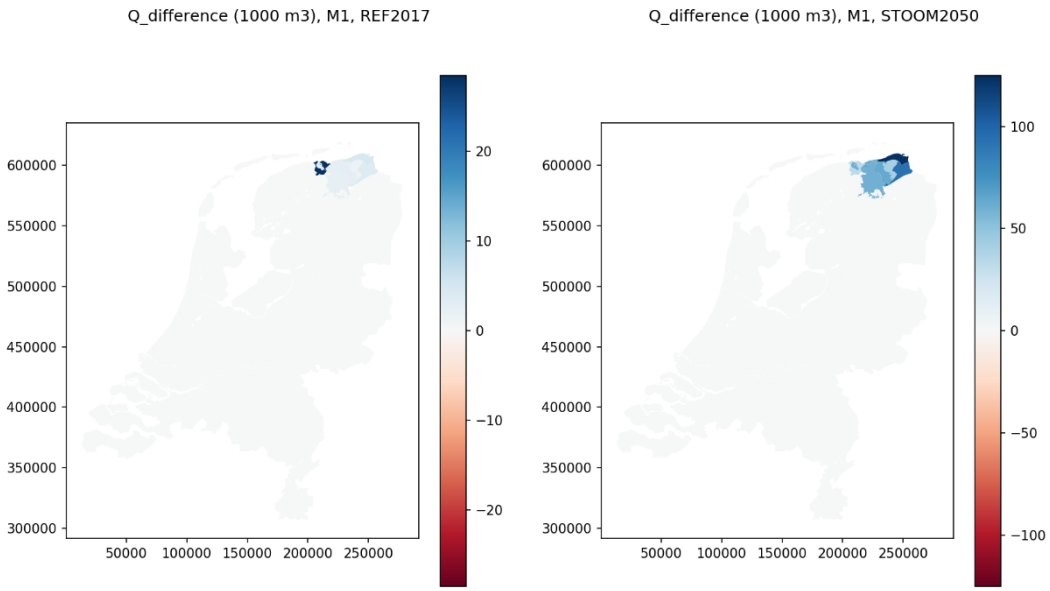
Stappen:

1. Bepalen extra beschikbaar water als 15% van waterallocatie beregening 1/10 jaar
2. Bepalen tekorten voor beregening
3. Tekorten verminderen met maximaal extra beschikbaar water

De baten voor wat betreft droogteschade landbouw van deze extra hoeveelheid water wordt bepaald met behulp van de schaderelatie landbouw.

Resultaten hydrologie

Als gevolg van de maatregel is er in droge jaren extra water beschikbaar (Figuur M1-1). Voor het hele gebied is dit maximaal ongeveer 1 Mm3, of ongeveer een waterschijf van 2 cm op het oppervlaktewater. Opvallend is dat in scenario REF2017 er vooral extra water beschikbaar is voor het gebied rondom het Lauwersmeer, terwijl dit in STOOM2050 veel verspreider over het gebied plaatsvindt. Dit komt doordat er in REF2017 met name beregeningstekorten optreden rondom het Lauwersmeer, waarschijnlijk als gevolg van een lage geschematiseerde inlaatcapaciteit. In STOOM2050 treden er overal in het beheersgebied tekorten op, zodat de grotere landbouwgebieden naar voren komen.



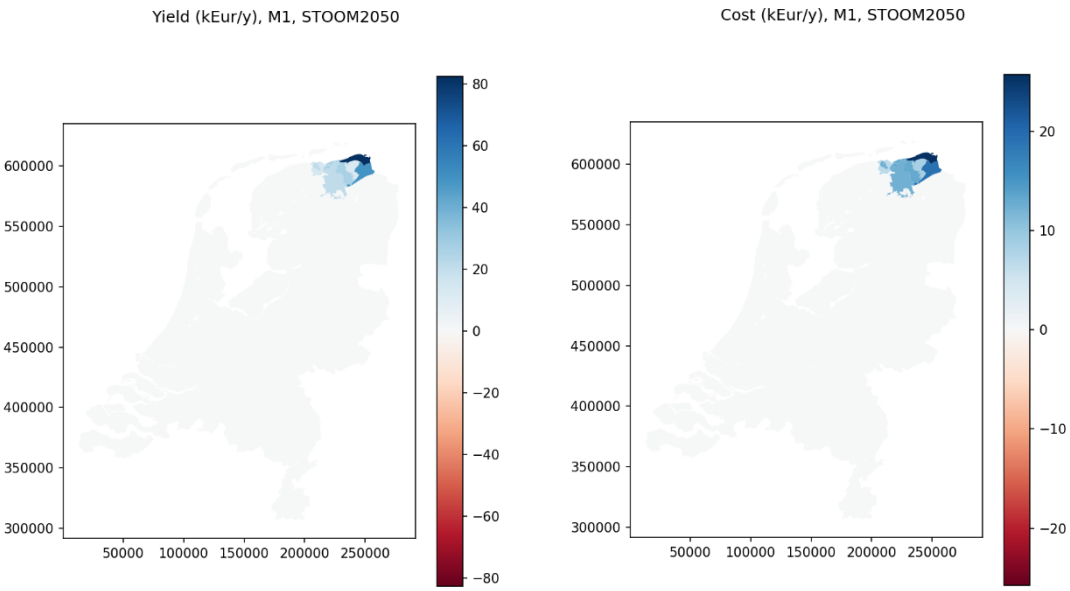
Figuur M1-1 Verschil in totaal geleverd water tussen maatregel en uitgangssituatie voor scenario REF2017 (link) en STOOM2050 (rechts).

Scheepvaart

Er wordt geen effect verwacht van deze maatregel op scheepvaart op de corridor Rotterdam – Lobith.

Droogteschade Landbouw

Door de maatregel is er meer water beschikbaar voor beregening uit oppervlaktewater. Door de toegenomen beregening neemt de gemiddelde opbrengst toe, maar ook de gemaakte kosten voor beregening (Figuur M1-2). In REF2017 is de verandering in netto opbrengst (opbrengst minus beregeningskosten) 16 kE/jaar, in STOOM2050 loopt dit op tot 121 kE/jaar (Tabel M1-1).



Figuur M1-2 Berekende verandering in gemiddeld jaarlijkse gewasopbrengst (links) en beregeningskosten (rechts), voor scenario STOOM2050.

Tabel M1-1 Berekende verandering in jaarlijkse gewasopbrengst, beregeningskosten, en netto opbrengst.

	REF2017			STOOM2050		
verandering in:	opbrengst (kE/jr)	kosten (kE/jr)	netto (kE/jr)	opbrengst (kE/jr)	kosten (kE/jr)	netto (kE/jr)
	24.86	-9.11	15.75	207.13	-85.86	121.28

A.16 M3 – Schutmaatregelen Maas

De volledige methodiek en resultaten worden behandeld in De Jong (2019a), die voor de volledigheid opgenomen is in Bijlage D. In onderstaande tekst zijn enkele conclusies samengevat.

A.16.1 Methodiek

Voor het kwantificeren van de schutmaatregelen (RWS14a, RWS14b, RWS14c) op de Maas is een methodiek ontwikkeld waarbij de kosten van een droge periode worden gekwantificeerd als een combinatie van de kosten door de inzet van pompen en een toename van de wachttijd van schepen doordat er zuiniger geschut wordt.

Er is onderzocht wat het verschil is tussen het beschikbare debiet op het Julianakanaal en het benodigde debiet voor het schutproces. Om een tekort aan afvoer te compenseren zijn diverse scenario's van laagwaterbeleid (en maatregelen) doorgerekend waarbij een deel van het afvoertekort wordt opgevangen door te pompen en een deel door zuiniger te schutten.

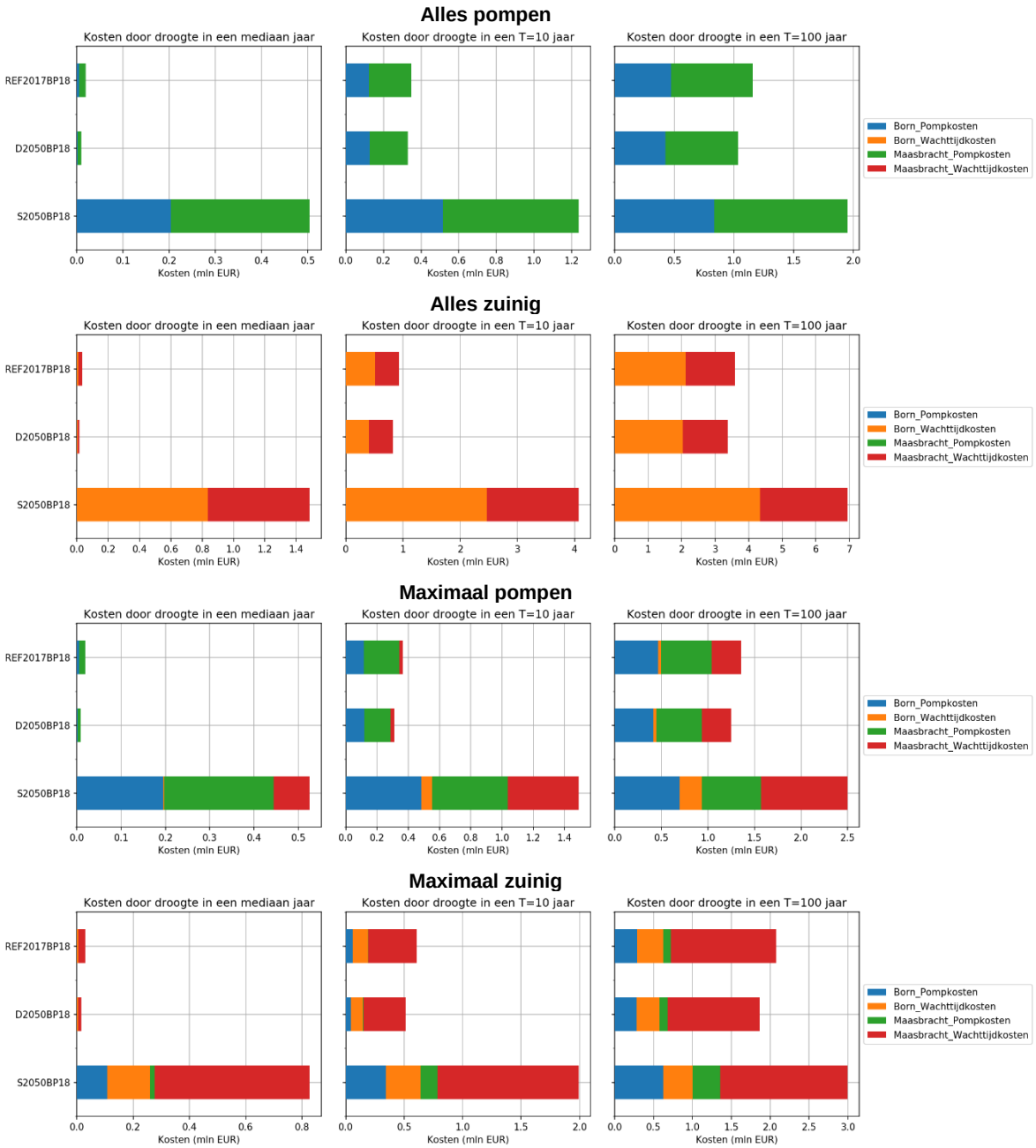
Er zijner telkens 4 scenario's van laagwaterbeleid die beschouwd worden:

- Maximaal zuinig schutten volgens de huidige infrastructuur: *maximaal zuinig*
- Maximaal pompen volgens de huidige infrastructuur: *maximaal pompen*
- Het fictieve scenario dat alles zuinig geschut kan worden: *alles zuinig*
- Het fictieve scenario dat alles gepompt kan worden: *alles pompen*

A.16.2 Conclusies algemeen

Er is onderzocht wat de kosten in een droog jaar zijn bij de schutsluizen van Maasbracht en Born door de toename wachttijden van schepen en door de toename van benodigde pompinzet. Verschillende scenario's van laagwaterbeleid zijn berekend voor verschillende klimaatscenario's. De belangrijkste conclusies van het onderzoek zijn als volgt:

- Er is in het huidige klimaat een groot verschil in de gemaakte kosten tussen een mediaan jaar (0.01 mln euro) en een (zeer) droog jaar (1.2 mln euro). Door grote klimaatverandering nemen de mediane kosten toe (0.5 mln euro), maar is de relatieve toename in een extreem droog jaar veel minder (naar 2.5 mln euro).
- Het is bij de huidige infrastructuur goedkoper om een afvoertekort op te vangen met pompen dan met zuiniger schutten. De kosten door toename in wachttijden van de scheepvaart zorgen ervoor dat het economische niet rendabel is om zuiniger te schutten.



Figuur M3-1 Kosten (mln euro) in een droog jaar met een terugkeertijd van 2, 10 of 100 jaar voor verschillende laagwaterbeleid-scenario's.

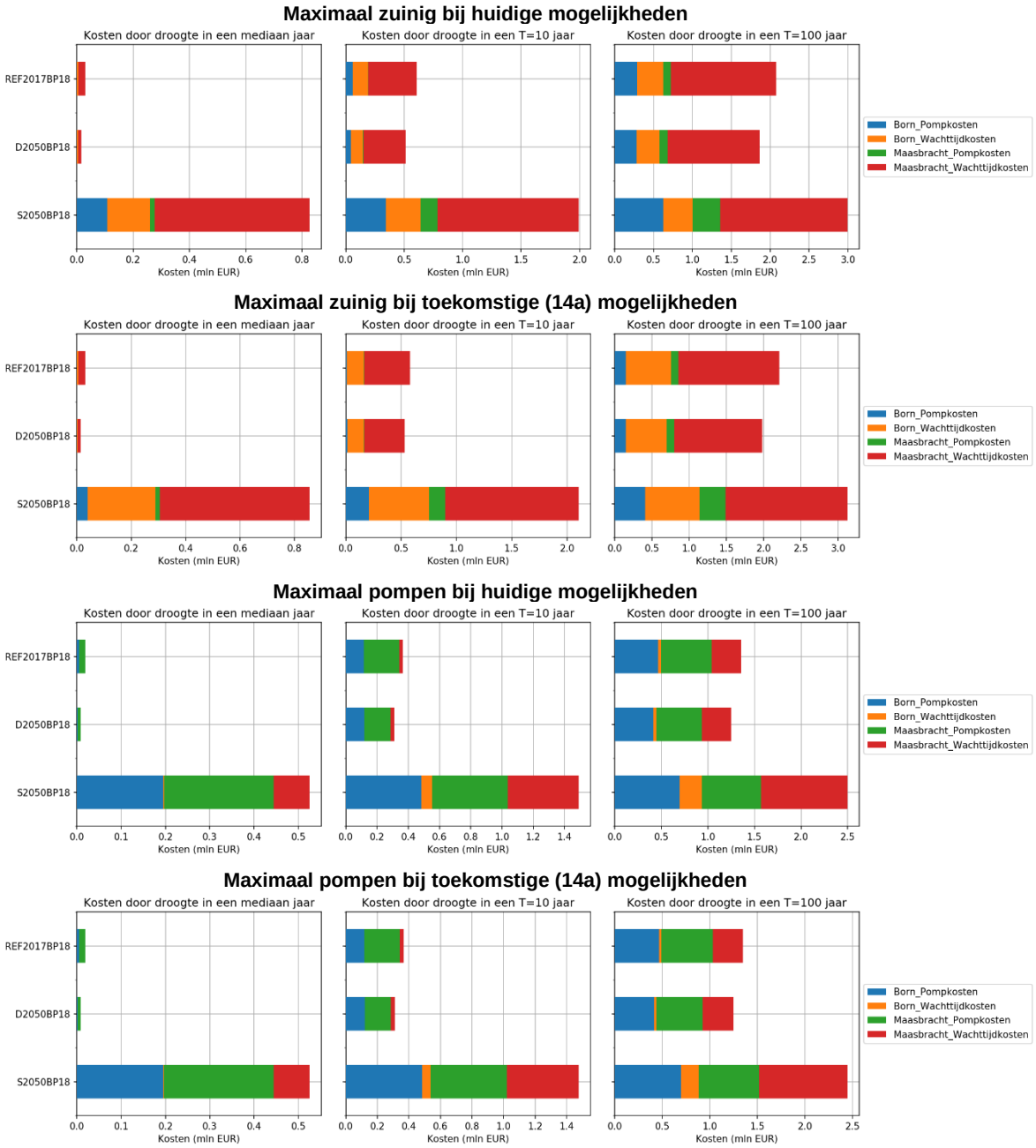
A.16.3 Conclusies 14a: Hevelend schutten bij Born (14a)

Hevelend schutten is al actief bij Maasbracht en is binnen Bolt (2003) doorgerekend. De kennis hieruit kan gebruikt worden om een schatting te maken van de effectiviteit van de installatie van hevelend schutten bij Born. Bij hevelend schutten wordt een grote besparing van de afvoer verkregen, maar de wachttijden voor de scheepvaart nemen wel toe. Voor het doorrekenen van de maatregel wordt een vergelijking uitgevoerd met de scenario's *maximaal pompen* en *maximaal zuinig schutten*.

De verwachting volgens de aangeleverde Factsheets DPZW is dat de besparing door zuiniger schutten 315,000 m^3 per dag is, ofwel 3.65 m^3/s. Het maximale te besparen debiet met zuinige schutten van Born neemt hierdoor toe van 3.35 naar 7 m^3/s. Daarnaast is er een verandering in de toename van de wachttijd voor de scheepvaart. De toename in de wachttijd door het zuiniger schutten is naar verwachting 8 minuten. Bij hogere debietbesparingen door zuinig schutten wordt uitgegaan van dezelfde toename in wachttijd (zoals eerder gebruikt) opgeteld bij het effect van hevelen.

In Figuur M3-2 zijn de resultaten weergegeven van de simulaties met de toekomstige (14a) mogelijkheden voor zuinig schutten en met de nieuwe wachttijden. Ter vergelijking zijn ook de resultaten van de huidige situatie nogmaals geplaatst. Uit de figuur zijn de volgende conclusies te trekken:

- De mogelijkheden van zuinig schutten nemen toe. Echter, doordat de kosten hiervan hoger zijn dan pompen, geeft dit maatregelpakket netto een negatief resultaat op de kosten als volledig wordt ingezet zou worden op zuinig schutten.
- Als echter nog steeds vooral wordt ingezet op de volledige inzet van de pompen, dan wordt echter winst verkregen doordat bij afvoertekorten groter dan het beschikbare pompdebiet de wachttijd van de schepen minder toeneemt dan in de huidige infrastructuur. Hierdoor is er een afname in de kosten.



Figuur M3-2 Kosten (mln euro) in een droog jaar met een terugkeertijd van 2, 10 of 100 jaar voor scenario's met maximaal zuinig schutten en maximaal pompen voor de huidige en toekomstige infrastructuur.

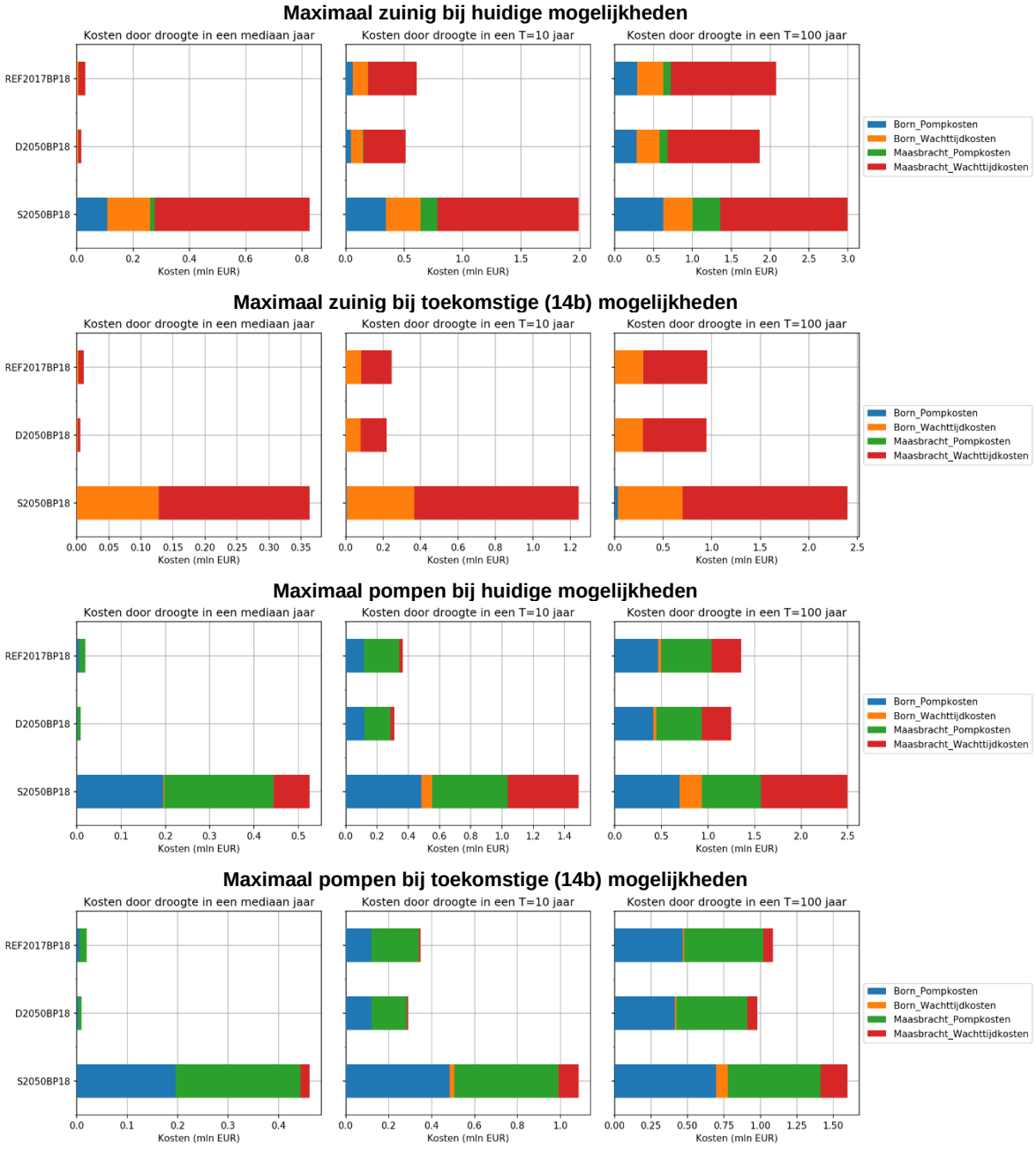
A.16.4 Conclusies 14b: Spaarbekkens bij Born en Maasbracht

Door de aanleg van spaarbekkens kan een forse besparing van de schutverlies verkregen worden. De verwachting volgens de aangeleverde Factsheets DPZW is dat in een droge periode per dag 1 mln m^3 bespaard kan worden bij Born (11 m^3/s) en 1.3 mln m^3 bij Maasbracht (15 m^3/s). Ten opzichte van het totale schutdebiet (respectievelijk 15 en 17 m^3/s) zijn deze maten tegen (of meer dan) het fysisch haalbare. De fysische haalbaarheid is in dit memo niet onderzocht. Daarnaast is gegeven dat de schuttijd toe neemt met 13 minuten (van 12 minuten naar 25 minuten). Bij hogere debietbesparingen door zuinig schutten wordt uitgegaan van dezelfde toename in wachttijd (zoals eerder gebruikt) opgeteld bij het effect van het spaarbekken.

In Figuur M3-3 zijn de resultaten weergegeven van de simulaties met de toekomstige (14b) mogelijkheden voor zuinig schutten en met de nieuwe wachttijden. Ter vergelijking zijn ook de resultaten van de huidige situatie nogmaals geplaatst. Uit de figuur zijn de volgende conclusies te trekken:

- De inzet van spaarbekkens geeft een forse reductie in de wachttijd door zuinig schutten. Hierdoor is niet langer pompen de goedkope oplossing, maar kan volop worden ingezet op de inzet van spaarbekkens.
- De inzet van pompen is bij de volledige inzet van spaarbekkens niet langer nodig.

Echter, de aanlevering van de prestaties van de spaarbekkens geven een te grote besparing in het schutverlies. Aanbevolen wordt om deze prestaties nader te onderzoeken.



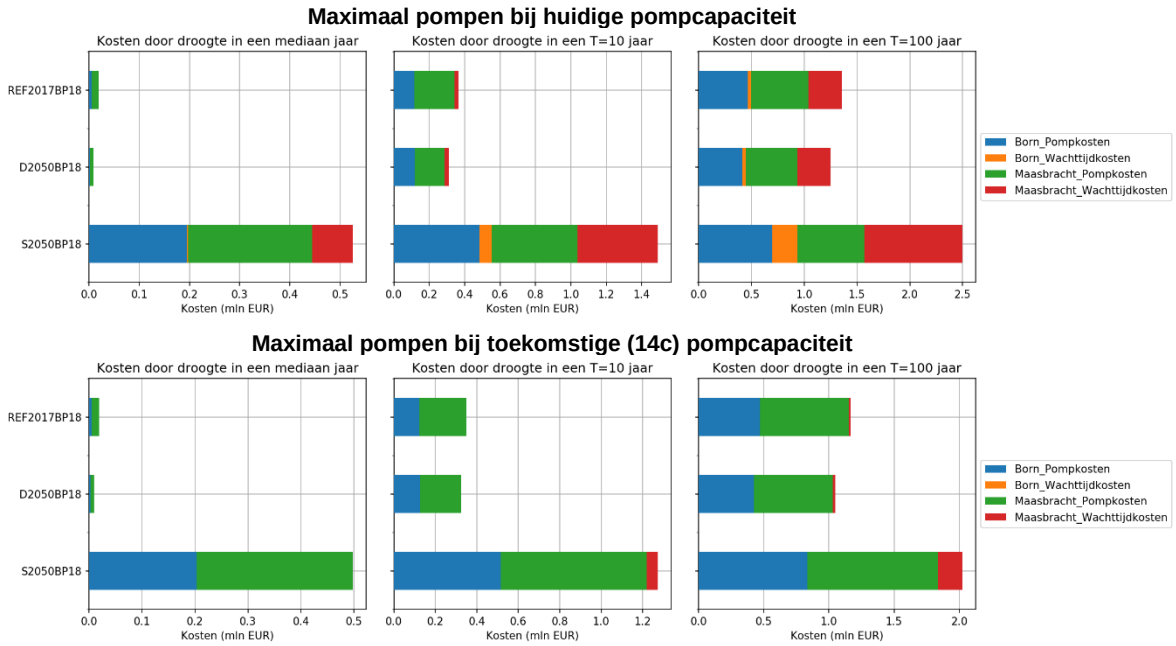
Figuur M3-3 Kosten (mln euro) in een droog jaar met een terugkeertijd van 2, 10 of 100 jaar voor scenario's met maximaal zuinig schutten en maximaal pompen voor de huidige en toekomstige infrastructuur.

A.16.5 Conclusies 14c: Circulair pompen

Deze maatregel realiseert een toename in de pompcapaciteit waardoor het maximale pompdebiet bij Born en Maasbracht met 6 tot 8 m^3/s toeneemt. In deze studie is uitgegaan van een toename naar 6 m^3/s waardoor de pompcapaciteit nu toeneemt naar 15 m^3/s (Maasbracht) en 18 m^3/s (Born). Het zal nu nauwelijks nog noodzakelijk zijn om te zuiniger te schutten, wat ten gunste zal komen van de wachttijden voor de scheepvaart. Voor de pompkosten wordt er vanuit gegaan dat dit evenredig toeneemt ten opzichte van de huidige situatie.

In Figuur M3-4 zijn de resultaten weergegeven van de simulaties met de toekomstige (14c) mogelijkheden met de nieuwe pompcapaciteit. Er is enkel een vergelijking uitgevoerd op de situatie met maximale pompinzet, aangezien zonder aanpassing het zuiniger schutten duurder is dan de inzet van pompen. Uit de figuur zijn de volgende conclusies te trekken:

- De nieuwe pompcapaciteit zorgt ervoor dat het bij Born niet meer nodig is om zuinig te schutten, bij Maasbracht is het alleen in uiterste gevallen noodzakelijk.
- Hierdoor nemen de wachttijdkosten voor de scheepvaart significant af, tegenover een veel kleinere toename van de pompkosten.
- Doordat elke schutting nu volledig teruggepompt word is het effectieve schutdebiet vrijwel 0 m^3/s. Hierdoor onttrekt de maatregel niet langer uit de Maas (bij Borgharen) wat ten goede komt aan de Grensmaas. Benedenstrooms van het Julianakanaal zal er echter geen verschil zijn of de afvoer via het Julianakanaal of de Grensmaas aan komt.
- De maatregel schetst daarnaast het perspectief dat door de inzet van een vijzelturbine energie opgewekt kan worden. Tijdens droge perioden is echter geen water beschikbaar om dit toe te passen en de aanschaf hiervan staat daarnaast los van de aanschaf van de pompen die in deze maatregel zijn onderzocht. Als het tijdens natte perioden mogelijk is om een hoger debiet dan het benodigde schutdebiet toe te laten op het Julianakanaal, dan zou in die perioden de inzet van een turbine bij Maasbracht (en/of Born) te overwegen zijn.



Figuur M3-4 Kosten (mln euro) in een droog jaar met een terugkeertijd van 2, 10 of 100 jaar voor een scenario met enkel pompen met de huidige en toekomstige pompcapaciteit

A.17 M4 – Flexibel en dynamisch peilbeheer regio West

De maatregel is niet verder beschouwd, omdat door de regio is aangegeven dat geen effecten worden verwacht tijdens droogte-perioden.

A.18 M5 – Vergroten inlaatvenster Brielse Meer

Omschrijving maatregel

Het watersysteem van het Brielse Meer voorziet in de zoetwaterbehoefte van de regio Zuid-Hollandse Eilanden, Havengebied Rotterdam, HHSchieland en het Westland/HHDelfland. Om deze gebieden van zoetwater te voorzien is een inname capaciteit van $10m^3s^{-1}$ nodig. Afgelopen zomer en najaar 2018 was er pas laat in de winterperiode (januari) weer sprake van een "normale" situatie waarbij voldoende water kon worden ingenomen om aan de watervraag van het gebied te voldoen. Gezien klimaatverandering zal zorgen voor drogere zomers met lagere rivierstanden is de vraag van WSHD in hoeverre het huidige peil en innamebeheer van het Brielse Meer aan deze watervraag van $10m^3s^{-1}$ kan voldoen. Deze Quickscan verkent de borging van volumes van $10m^3s^{-1}$ en meer door een peilfluctuatie van +20 en -40 vs +10 en -10 nu .

Rekenwijze quickscan waterinlaat Brielse Meer

De inlaat (Bernisse) van het watersysteem van het Brielse Meer ligt tussen het Spui en de Bernisse. De inlaatsluis bestaat uit 2 doorgangen van elk 4m breed met een drempel op -1.95m en een plafond op -0.7m NAP, met schuiven die de doorgangen volledig kunnen afsluiten. De doorgang wordt automatisch bedient ahv het verval over de inlaat, de chloridegehaltes en het maximale doorstroom debiet van $23m^3s^{-1}$.

Voor het jaar 2018 is geanalyseerd onder welke condities er een inname tekort (daggemiddelde inname $<10m^3s^{-1}$) voor de inlaat plaatsvond. Hiervoor zijn de waterstanden van het Spui en het Brielse Meer en de inname van het Brielse Meer (WSHD) vergeleken met de opzet op zee door wind (het verschil tussen de gemeten en astronomische waterstand bij Hoek van Holland (LMW-Rijkswaterstaat) en de afvoer bij Lobith (LMW-Rijkswaterstaat).

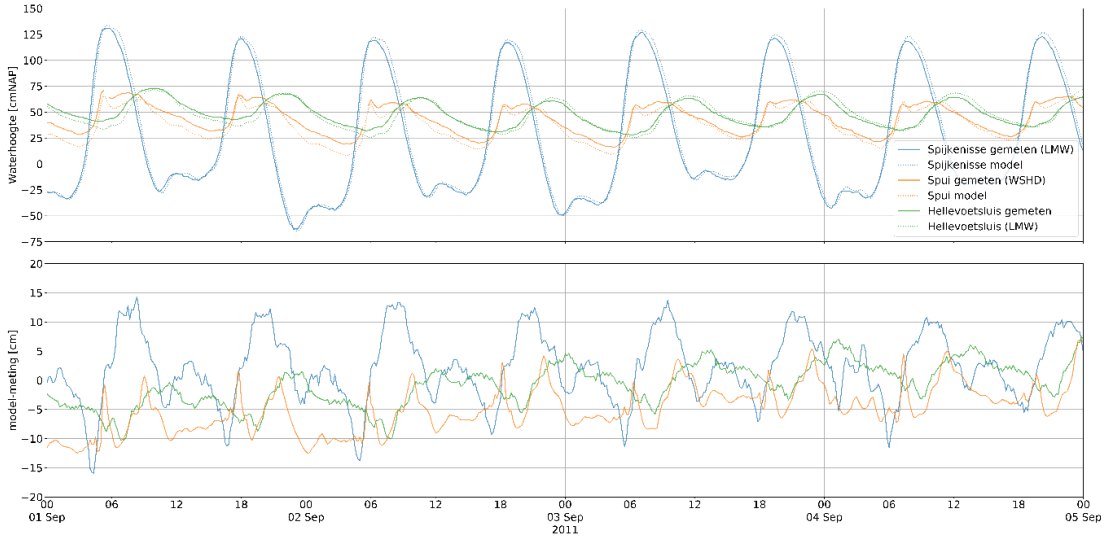
Het maximale inlaat debiet (*Q*) voor de inlaat is berekend met behulp van onderstaande vergelijking (Vergelijking 1) voor gestuwde schuifstroming (WL, 1992):

$$Q = C_1 * a * b * \sqrt{2g * (h_1 - h_2)}$$

Hierin is C_1 de afvoer coëfficiënt, *a* de hefhoogte, *b* de totale breedte van de schuifopeningen (8 m) en h_1 en h_2 de waterstanden voor en achter de sluis ten opzichte van de sluisbodem. De afvoer coëfficiënt (1.34) en gemiddelde hefhoogte (1.4) zijn afgeleid uit de inlaat gegevens van 2011 (WSHD). Deze vergelijking berekend het maximale inlaat debiet, aangezien er gebruik wordt gemaakt van een constante hefhoogte en constant peil in het Brielse Meer (h_2) van respectievelijk 0, -10 en -20cmNAP.

Voor h1 wordt de waterstand voor de locatie Bernisse in het Spui gebruikt, zoals gemodelleerd door het 1D SOBEK NDB model voor 30 jaar (1973 tot 2003) van de huidige situatie (Ref2017) en de klimaatscenario's Warm en Rust (W2050, R2050, W2085 en R2085). Het model is gekalibreerd en gevalideerd op waterstanden, debieten en zoutconcentraties op LMW meetlocaties. Het model voorspelt de waterstanden met een maximale gemiddelde afwijking van 5 cm met een standaardafwijking van maximaal 5 cm. De dichtstbijzijnde LMW meetpunten bij de inlaat Bernisse zijn Hellevoetsluis (BIAS = -0.014m, RMSE = 0.034), Spijkenisse (BIAS = -0.017m, RMSE = 0.036), en Goidschalxoord (BIAS = -0.017m, RMSE = 0.042) (Jansen en Collard, 2004). In Figuur M5-1 zijn zowel de gemeten als de gemodelleerde waterstanden voor de locaties Spijkenisse, Hellevoetsluis en de inlaat Bernisse aan het Spui te zien voor een periode met

inname tekorten in 2011. In dit figuur is zichtbaar dat het model de waterstanden bij de inlaat onderschat tijdens condities van laagwater. Dit betekent dat de maximale inlaat debieten, zoals berekend met vergelijking 1 ook worden onderschat.



Figuur M5-1 De gemodelleerde en gemeten waterstanden voor de locaties Spijkenisse (LMW Rijkswaterstaat), Spui (WSHD) en Hellevoetsluis (LMW Rijkswaterstaat) en het verschil voor een periode met een inname tekort van de inlaat Bernisse in 2011.

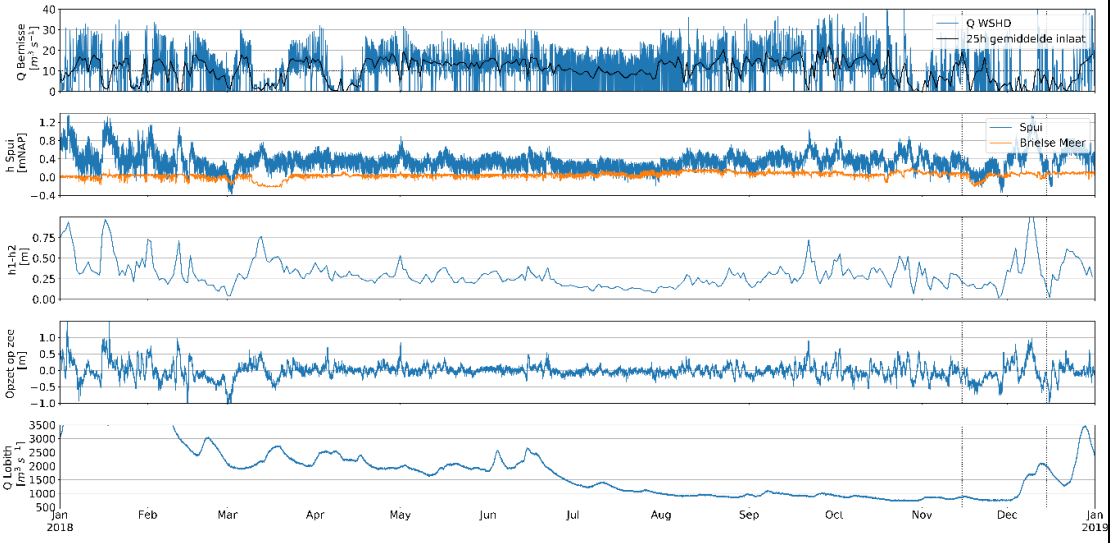
Referenties

WL (1992) – IJking Sluizen boezembeheer, inlaat Bernisse, inlaat Spijkenisse, Spuisluis Spijkenisse, Spuisluis Rozenburg, Onderzoek naar de bepaling van de afvoerrelaties. BB9739 WL Q0937

Jansen en Collard (2004) Herkalibratie van de debietverdeling en Zoutverdeling NDB-model. Svasek rapport MJA/04532/1322

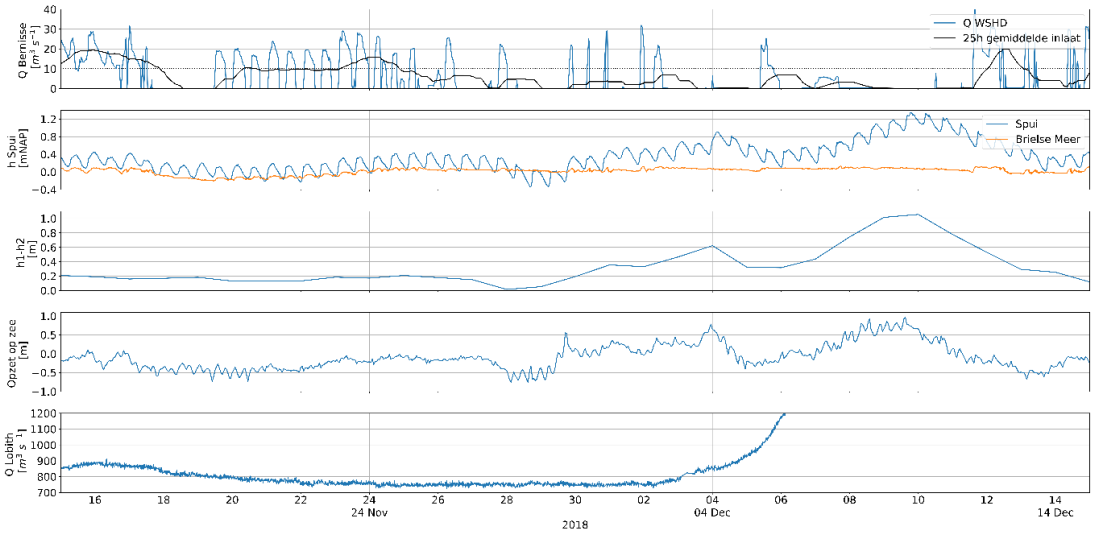
Resultaten hydrologie

Figuur M5-2 en Figuur M5-3 laten zien dat de variatie in waterstand in het Spui voornamelijk wordt bepaald door de opzet op zee en niet door de rivierafvoer. Verder is ook goed zichtbaar dat de variatie in waterstand door het getij ook zorgt voor de dagelijkse variatie in de inname bij Bernisse.



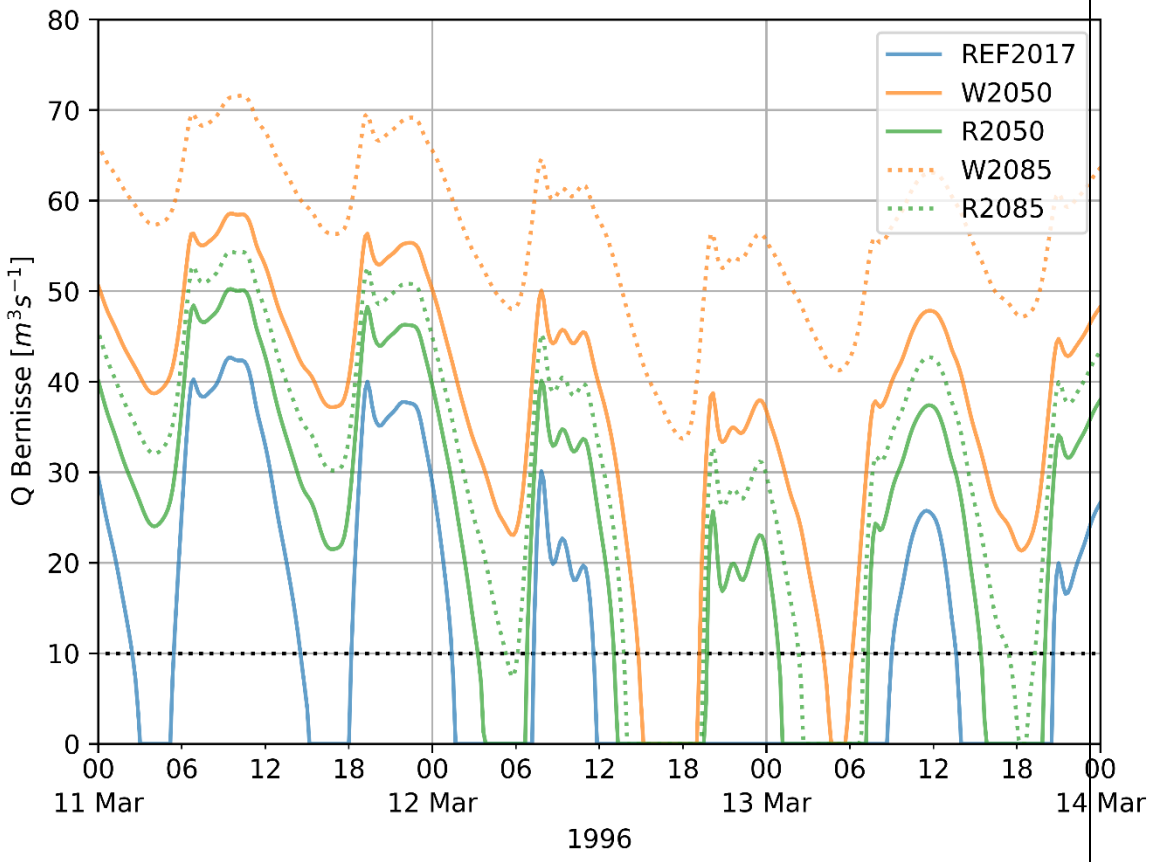
Figuur M5-2 De door WSHD afgeleide actuele en 25 uur gemiddelde inlaat voor het Brielse Meer, de

waterstanden van het Spui en het Brielse Meer, het verschil in waterstand tussen het Spui en het Brielse Meer, de opzet op zee door wind (het verschil tussen de gemeten en astronomische waterstand bij Hoek van Holland (LMW-Rijkswaterstaat) en de afvoer bij Lobith (LMW-Rijkswaterstaat) voor het jaar 2018. De verticale stippellijnen geven de periode aan van Figuur M5-3.



Figuur M5-3 De door WSHD afgeleide actuele en 25 uur gemiddelde inlaat voor het Brielse Meer, de waterstanden van het Spui en het Brielse Meer, het verschil in waterstand tussen het Spui en het Brielse Meer, de opzet op zee door wind (het verschil tussen de gemeten en astronomische waterstand bij Hoek van Holland (LMW-Rijkswaterstaat) en de afvoer bij Lobith (LMW-Rijkswaterstaat) voor 15 november tot 15 december 2018.

In Figuur M5-4 is zichtbaar dat de maximale inlaat van Bernisse toeneemt voor alle klimaat scenario's tijdens een droge periode in 1996. Dit wordt veroorzaakt door de toename in de waterstand in het Spui. Ook voor de extremere Warm scenario's die droger zijn dan het referentie scenario, neemt de waterstand bij de inlaat toe. In deze scenario's is zelfs de grootste toename in de waterstand / maximale inlaat te zien. Deze toename wordt veroorzaakt door de zeespiegelstijging van 40cm in 2050 en 80cm in 2080. De lagere zeespiegelstijging voor de rust scenario's (~15cm in 2050 en ~25cm in 2085) resulteert ook in een lagere toename in de waterstand en inname van het Spui.



Figuur M5-4 De berekende maximale inname van inlaat Bernisse voor de huidige situatie en voor de klimaat scenario's rust en warm voor een droge periode in 1996. De watervraag van 10m^3s^{-1} is weergeven met de stippellijn.

Het gemiddelde aantal dagen en het maximum aantal dagen met het bijbehorende jaar dat er een inname tekort plaatsvindt in de periode 1973-2003 is weergegeven in Tabel M5-1. Hierbij is er een inname tekort, wanneer het over een periode van 25 uur rollend gemiddelde van de inname lager is dan 10m^3s^{-1}. In deze tabel is zichtbaar dat het inname tekort afneemt voor alle klimaat scenario's en dat een toename in het verhang tussen het Spui en het Brielse meer door een peilverlaging in het Brielse Meer resulteert in een verdere afname van het aantal dagen met een tekort.

Tabel M5-1 Gemiddeld en maximum aantal dagen per jaar dat er een inname tekort is bij de inlaat Bernisse in de periode 1973-2003 voor de huidige situatie (Ref2017) en de scenario's Rust en Warm.

Inname tekort	Brielse Meer 0m		Brielse Meer -0.1m		Brielse Meer -0.2m	
	gem. # dagen	max. # dagen	max. # dagen	max. # dagen	max. # dagen	max. # dagen
REF2017	3.7	16.7 (1996)	1.1	6.7 (1996)	0.4	3.6 (1972)
W2050	0.1	1.1 (1994)	0	0	0	0
R2050	0.6	4.0 (1972)	0.3	2.1 (1994)	0.1	1.5 (1994)
W2085	0	0.1 (1972)	0	0	0	0
R2085	0.3	2.2 (1994)	0.1	1.8 (1994)	0.0	0.8 (1994)

Conclusies:
- De zeespiegelstijging in de klimaat scenario's zorgt voor een toename in het verhang tussen het Spui en het Brielse meer en dus een afname van het aantal periodes met een inname tekort
- Een verlaging van het peil in het Brielse meer zorgt voor een afname van het aantal dagen per jaar dat er een inname tekort plaatsvindt.
- Er is in deze analyse niet gelet op mogelijke extra achterwaartse verzilting, deze verzilting kan toenemen door de zeespiegelstijging en verlaagde rivierafvoeren in de klimaat scenario's. In eerdere studies worden deze mechanismen genoemd als reden dat het Brielse meer systeem verder onder druk komt te staan (bijvoorbeeld (Mens, Wijk, et al., 2018)).

A.19 M6 – Alternatieve aanvoer Oostflakkee

Omschrijving maatregel

In de zomerperiode is er aan de noordwestkant van polder het Oudeland (peilgebied G45.002 op Goeree-Overflakkee) moeilijk water te krijgen voor beregening. Dit komt door de hoge waterbodemligging ten opzichte van de oostzijde van de polder. Ook doorspoelen van dit deel van de polder t.b.v. de waterkwaliteit is nauwelijks mogelijk door de blauwalg problematiek in het Volkerak-Zoommeer. In droge perioden is het noodzakelijk om noodpompen in te zetten om het gebied van zoet water te voorzien.

Structurele aanpassing van het watersysteem op Oostflakkee om aanvoer van zoet water vanuit het Haringvliet mogelijk te maken. Voor de aanvoer zullen verbindingen moeten worden gemaakt en watergangen vergraven om uiteindelijk water naar de gewenste polders te kunnen krijgen.

Rekenwijze quickscan hydrologie

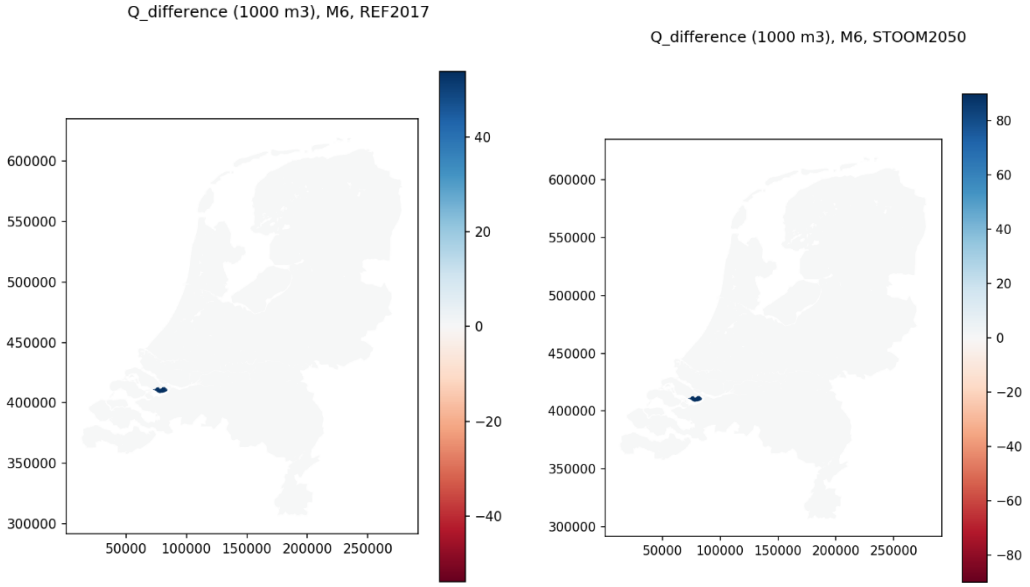
In de berekeningen voor het Deltaprogramma zijn geen belemmeringen opgenomen voor dit gebied om water te krijgen. De uitgangssituatie is daarmee feitelijk de situatie met maatregelen. Als maatwerkanalyse wordt gekeken welke schade er optreedt als 25% van de watervraag voor beregening in droge jaren niet geleverd kan worden.

Stappen:

- doe voor de 1/10 droge jaren:
- bepaal optredend tekort als 25% van de beregeningsvraag
- corrigeer voor oppervlakte peilgebied (642 ha) ten opzichte van gehele district (3721 ha)

Resultaten hydrologie

Met de aangenomen toename van waterbeschikbaarheid komt er in Oost-Flakkee in REF2017 ongeveer 0,5 Mm3 en in STOOM2050 ongeveer 0,9 Mm3 extra water beschikbaar voor beregening (Figuur M8-1). Dit komt voor peilgebied G45.002 overeen met een bufferschijf op het oppervlaktewater van ongeveer 2 cm in REF2017, en 3 cm in STOOM2050.



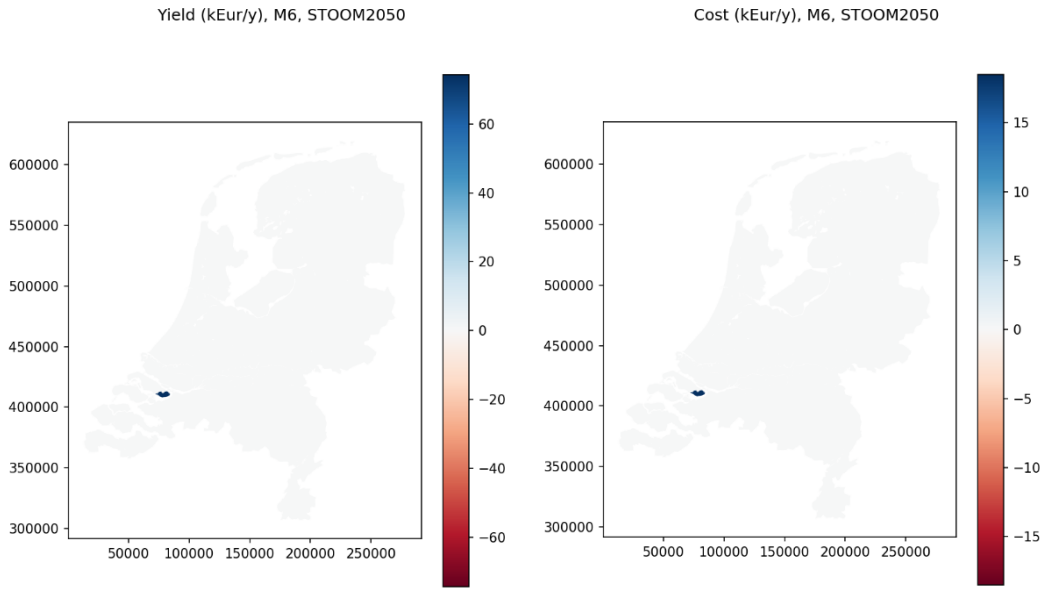
Figuur M6-1 Verschil in totaal geleverd water tussen maatregel en uitgangssituatie voor scenario REF2017 (link) en STOOM2050 (rechts).

Scheepvaart

Er wordt geen effect verwacht van deze maatregel op scheepvaart op de corridor Rotterdam – Lobith.

Droogteschade Landbouw

Door de afgenomen innamestops is er in meer water beschikbaar voor beregening uit oppervlaktewater. Door de toegenomen beregening neemt de gemiddelde opbrengst toe, maar ook de gemaakte kosten voor beregening (Figuur M6-2). In REF2017 is de verandering in netto opbrengst (opbrengst minus beregeningskosten) 42 kE/jaar, in STOOM2050 loopt dit op tot 56 kE/jaar (Tabel M6-1).



Figuur M6-2 Berekende verandering in gemiddeld jaarlijkse gewasopbrengst (links) en beregeningskosten (rechts), voor scenario STOOM2050.

Tabel M6-1 Berekende verandering in jaarlijkse gewasopbrengst, beregeningskosten, en netto opbrengst.

	REF2017			STOOM2050		
verandering in:	opbrengst (kE/jr)	kosten (kE/jr)	netto (kE/jr)	opbrengst (kE/jr)	kosten (kE/jr)	netto (kE/jr)
	52.73	-11.09	41.65	74.29	-18.50	55.79

Het hier berekende welvaartseffect houdt geen rekening met ook afnemende doorspoeltekorten door een verbeterde watervoorziening. Schipper et al. (2014) beschouwden ook afname van zoutschade aan gewassen door afnemende doorspoeltekorten. Zij kwamen uit op baten van 0.71 ME/jr, een orde-grootte groter.

A.20 M7 – Slim Regionaal Waterbeheer

Omschrijving maatregel

Samenwerkingsproject met de drie waterbeheerders met verschillende pilotgebieden. Dit project moet het waterbeheer op een hoger niveau betrekken waarbij nieuwe monitoringsvormen worden vertaald naar regionale sturing in het watersysteem. Hierbij is lokale kennis als ‘validatie’ essentieel. Het resultaat is minder zoetwaterverlies, robuuster watersysteem dat adaptief is naar de omstandigheden. Daarnaast resulteert dit project in een procesbeschrijving voor de uitrol naar andere gebieden. Het effect is productieverbetering voor de landbouw en eventueel de natuur.

Door een goede inrichting en beheer/(automatische/op afstand) bediening neemt de speelruimte voor water conserveren toe. Dit heeft een andere uitwerking in de gebieden MET en ZONDER aanvoer. In de gebieden zonder aanvoer gaat het vooral over het aanvullen (behoud) van grondwater(standen). In het peilbeheerste gebied gaat het vooral om het overbruggen van perioden zonder externe aanvoermogelijkheden (bij lage rivierafvoeren). Het gaat dan inderdaad om afname van beregeningstekorten maar ook behoud/toename van de leveringszekerheid. Water conserveren draagt ook bij aan hogere grondwaterstanden in natuurgebieden.

Rekenwijze quickscan hydrologie

In de aangeleverde factsheet worden de volgende kentallen genoemd:
WSHD: 10-20% meer zoetwater en grondwaterbalans op orde (eindbeeld in 2050)
Scheldestromen: 6-15% meer zoetwater vasthouden (eindbeeld in 2050)
Voor deze kentallen wordt geen onderbouwing gegeven.

Voor de gebieden waarvoor de maatregel geldt wordt aangenomen dat er in droge perioden 15% (WSHD) of 10% (Scheldestromen) meer water intern beschikbaar is voor beregening uit oppervlaktewater. De hoeveelheid water die deze 15%/10% vertegenwoordigd wordt bepaald als 15%/10% van de waterallocatie voor beregening in een 1/10 droog jaar (huidig klimaat). Deze hoeveelheid wordt verondersteld niet te veranderen onder klimaatscenario's. De toegekende beregening in de situatie met maatregel is dan de met LHM berekende watervraag, gemaximeerd op de met LHM berekende waterallocatie + de extra hoeveelheid water.

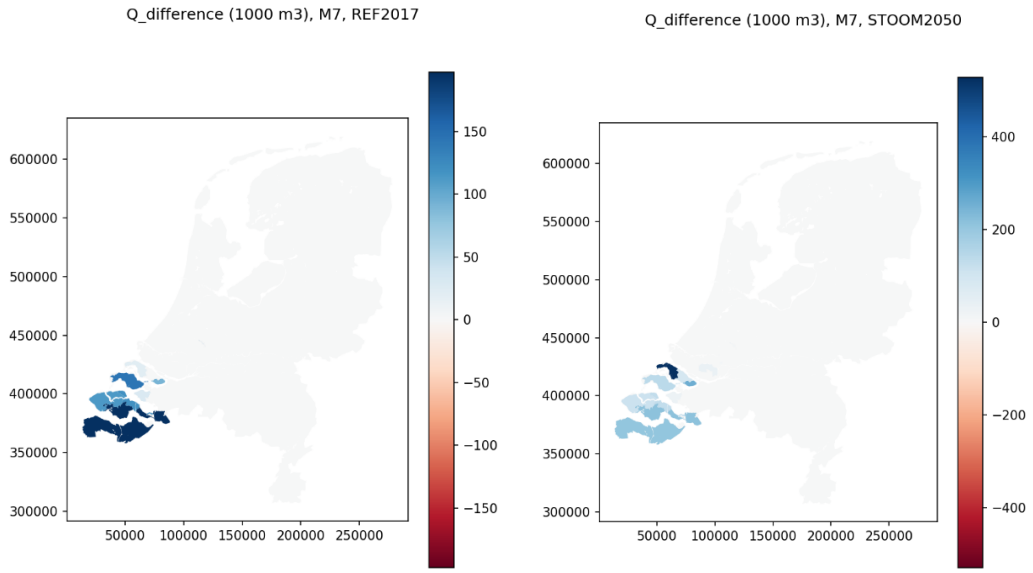
Stappen:

4. Bepalen extra beschikbaar water als 15%/10% van waterallocatie beregening 1/10 jaar
5. Bepalen tekorten voor beregening
6. Tekorten verminderen met maximaal extra beschikbaar water

De baten voor wat betreft droogteschade landbouw van deze extra hoeveelheid water wordt bepaald met behulp van de schaderelatie landbouw.

Resultaten hydrologie

Als gevolg van de maatregel is er in droge jaren extra water beschikbaar. Voor Hollandse Delta komt er in beide scenario's ongeveer 4 Mm3 extra water beschikbaar voor beregening. Dit komt ongeveer overeen met 10 cm bufferschijf op alle watergangen. Voor Scheldestromen betekent de maatregel ongeveer 0,6 Mm3 aan extra water, of ongeveer 6 mm bufferschijf op alle watergangen.



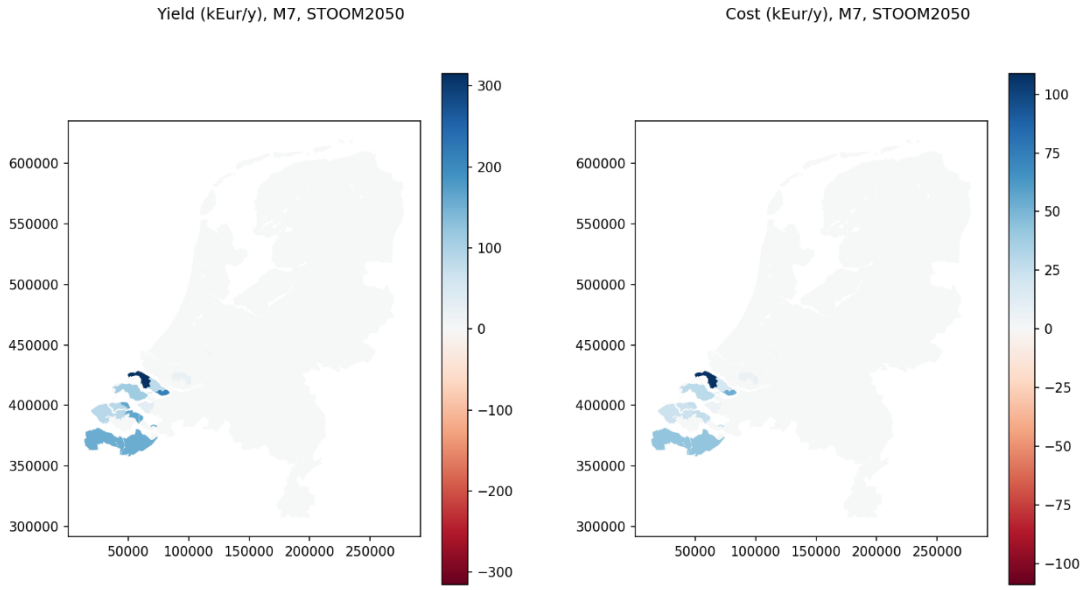
Figuur M7-1 Verschil in totaal geleverd water tussen maatregel en uitgangssituatie voor scenario REF2017 (link) en STOOM2050 (rechts).

Scheepvaart

Er wordt geen effect verwacht van deze maatregel op scheepvaart op de corridor Rotterdam – Lobith.

Droogteschade Landbouw

Door de maatregel is er meer water beschikbaar voor beregening uit oppervlaktewater. Door de toegenomen beregening neemt de gemiddelde opbrengst toe, maar ook de gemaakte kosten voor beregening (Figuur M7-2). In REF2017 is de verandering in netto opbrengst (opbrengst minus beregeningskosten) 0.70 ME/jaar, in STOOM2050 loopt dit op tot 0.87 ME/jaar (Tabel M7-1).



Figuur M7-2 Berekende verandering in gemiddeld jaarlijkse gewasopbrengst (links) en beregeningskosten (rechts), voor scenario STOOM2050.

Tabel M7-1 Berekende verandering in jaarlijkse gewasopbrengst, beregeningskosten, en netto opbrengst.

	REF2017			STOOM2050		
verandering in:	opbrengst (ME/jr)	kosten (ME/jr)	netto (ME/jr)	opbrengst (ME/jr)	kosten (ME/jr)	netto (ME/jr)
	0.85	0.15	0.70	1.19	0.32	0.87

A.21 M8 – Gebruik externe waterbronnen

Omschrijving maatregel

Vanuit de Brabantse wal (D8) en Vlaanderen stroomt er water Nederland in. Dit water kan beter ingezet worden voor grond- en oppervlaktewater. Door gebruik te maken van deze externe waterbronnen is de afhankelijkheid van interne waterbronnen minder groot.

Verwacht wordt dat voor 1000-5000ha landbouwgrond in het waterschap Scheldestromen tijdens gemiddelde zomers volledig voorzien wordt in de watervraag door zoet oppervlaktewater (eindbeeld 2050).

Rekenwijze quickscan hydrologie

De Reigersbergsche polder wordt in de modellering voor het Deltaprogramma voorzien vanuit het Volkerak-Zoommeer. Knelpunten in deze voorziening (zout, blauwalgen) worden niet meegenomen in deze modellering. Er treden in de uitgangssituatie dan ook geen tekorten op. Voor de Reigersbergsche polder schatten we daarom eerst in welk tekort in de uitgangssituatie ongeveer optreedt. In Zeeuws-Vlaanderen treden in de modellering wel knelpunten op bij te weinig waterbeschikbaarheid. Hier berekenen we wat het verwachte extra aanbod aan tekorten opheft.

Aanpak Reigersbergsche polder (1000 ha):

- bepaal watervraag voor beregening in Reigersbergsche polder
- bepaal tekort als 25% van deze watervraag in > 1/10 droge jaren (want nu geen tekorten)
- te voorzien is 100% van vraag in huidig gemiddeld jaar
- bepaal met schaderelatie landbouwschades bij dit optredende tekort, en bij gereduceerd met voorziening

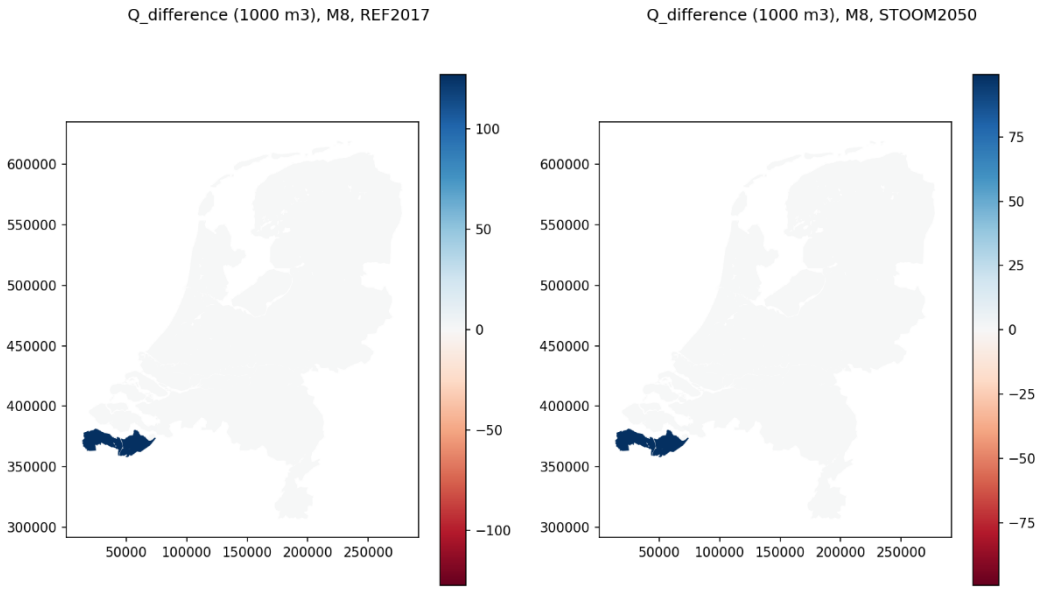
Aanpak Zeeuws-Vlaanderen (gaan uit van maximaal 4000 ha):

- Bepaal optredende landbouwschade in Zeeuws-Vlaanderen
- te voorzien is 100% van vraag in gemiddeld jaar voor 4000 ha
- bepaal extra water als 4000 / totaal areaal * p50 vraag (gemiddelde zomer)
- bepaal te vermijden schade als optredende landbouwschade, verminderd met extra water

Opmerking regio:
Ook deze bronnen kunnen opdrogen. Zeker vanuit Vlaanderen is onbekend hoeveel water beschikbaar zal zijn, omdat ook zij gaan zoeken naar optimalisatie. Ik stel voor dat we uitgaan van een volledige voorziening tijdens gemiddelde zomers.

Resultaten hydrologie

Met de aangenomen toename van waterbeschikbaarheid komt er in beide scenario's voor Zeeuws-Vlaanderen ongeveer 0,2 Mm3 extra water beschikbaar voor beregening, en voor de Reigersbergse polder ongeveer 0,01 Mm (Figuur M8-1). Voor het betreffende gebied in Zeeuws-Vlaanderen komt dit overeen met een bufferschijf op het oppervlaktewater van ongeveer 10 cm, voor de Reigersbergse polder van 2 cm (bij een aangenomen oppervlaktewater percentage van 5%). Het effect op de Reigersbergsche polder is door het verschil in areaalgrootte niet terug te zien in Figuur M8-1. Opvallend is dat het effect van de maatregel groter is in scenario REF2017 dan in STOOM2050. Dit moet verder worden uitgezocht.



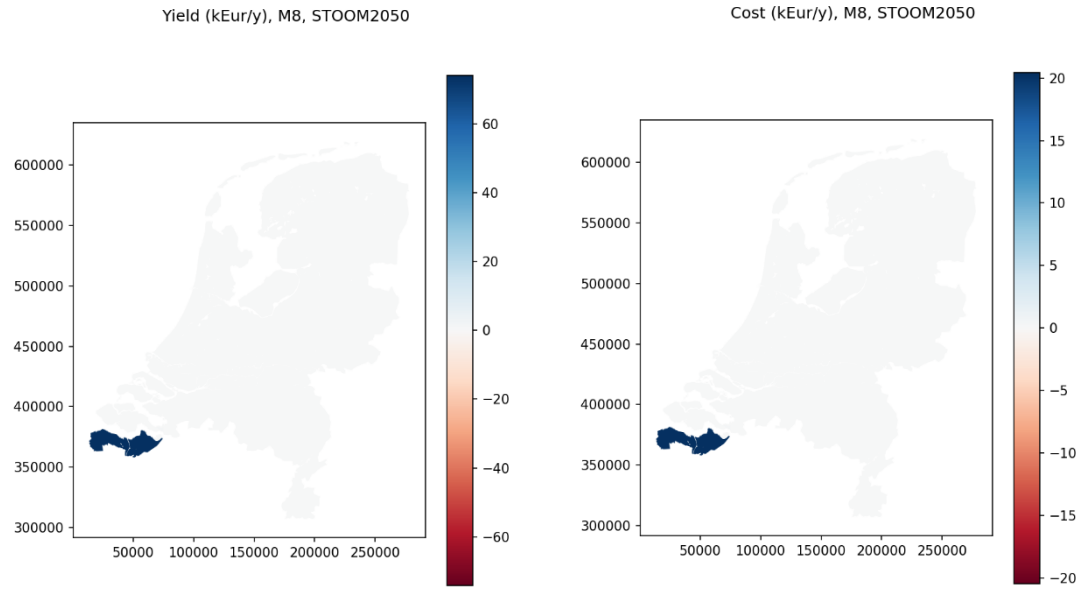
Figuur M8-1 Verschil in totaal geleverd water tussen maatregel en uitgangssituatie voor scenario REF2017 (link) en STOOM2050 (rechts). Let op dat de schaal tussen beide figuren verschilt.

Scheepvaart

Er wordt geen effect verwacht van deze maatregel op scheepvaart op de corridor Rotterdam – Lobith.

Droogteschade Landbouw

Door de maatregel is er meer water beschikbaar voor beregening uit oppervlaktewater. Door de toegenomen beregening neemt de gemiddelde opbrengst toe, maar ook de gemaakte kosten voor beregening (Figuur M8-2). In REF2017 is de verandering in netto opbrengst (opbrengst minus beregeningskosten) 0.13 ME/jaar, in STOOM2050 neemt dit af tot 0.05 ME/jaar (Tabel M8-1).



Figuur M8-2 Berekende verandering in gemiddeld jaarlijkse gewasopbrengst (links) en beregeningskosten (rechts), voor scenario STOOM2050. Let op dat de schaal tussen beide figuren verschilt.

Tabel M8-1 Berekende verandering in jaarlijkse gewasopbrengst, beregeningskosten, en netto opbrengst.

	REF2017			STOOM2050		
verandering in:	opbrengst (ME/jr)	kosten (ME/jr)	netto (ME/jr)	opbrengst (ME/jr)	kosten (ME/jr)	netto (ME/jr)
	0.15	0.03	0.13	0.08	0.02	0.05

A.22 R1 – Regionale maatregelen Hoge Zandgronden

Omschrijving maatregel

Het huidige watersysteem is ontworpen voor efficiënte afvoer en voorkomen van wateroverlast door inundatie en lage grondwaterstanden in het voorjaar. Om ook in droge tijden meer sturingsmogelijkheden te hebben is aanpassing van het systeem nodig (S01).

Daaronder vallen:
- het verwijderen / verondiepen van de drainage (S02/S03),
- het omzetten van drainage naar peilgestuurde drainage (S04),
- het tijdelijk opzetten van het peil (S05), en
- het verbeteren van de bodem gezondheid/ structuur/ organische stof (S13)

Rekenwijze quickscan hydrologie

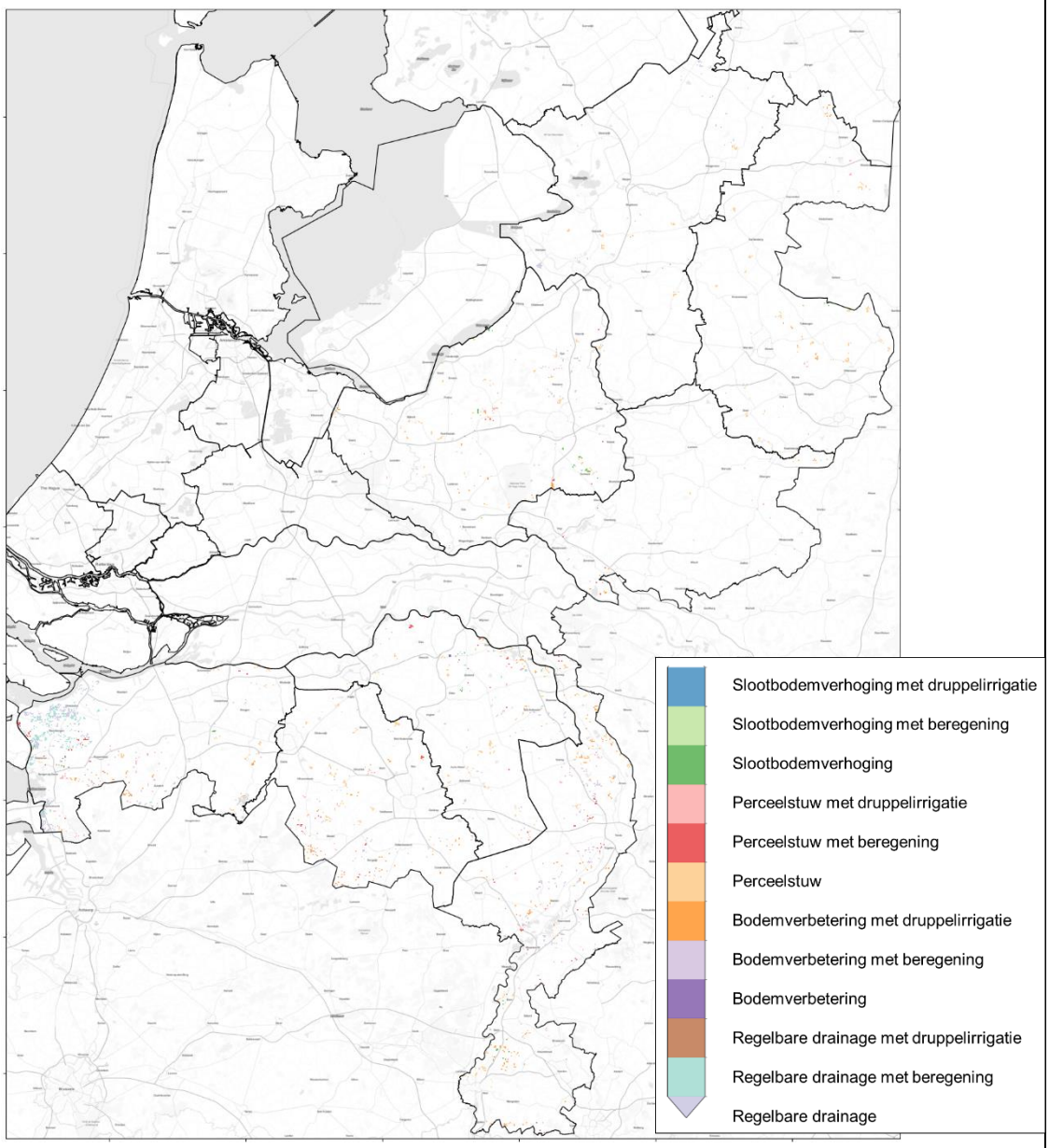
Met behulp van de Regioscan Zoetwatermaatregelen is voor het gebied Hoge Zandgronden (beheersgebied van waterschappen Drents-Overijsselse Delta, Vechtstromen, Rijn en IJssel, Vallei en Veluwe, Brabantse Delta, Dommel, Aa en Maas, Limburg) gekeken naar de kosten en baten van de volgende maatregelen in de Regioscan:

- regelbare drainage,
- perceelstuwen,
- slootbodemverhoging en
- bodemverbetering.

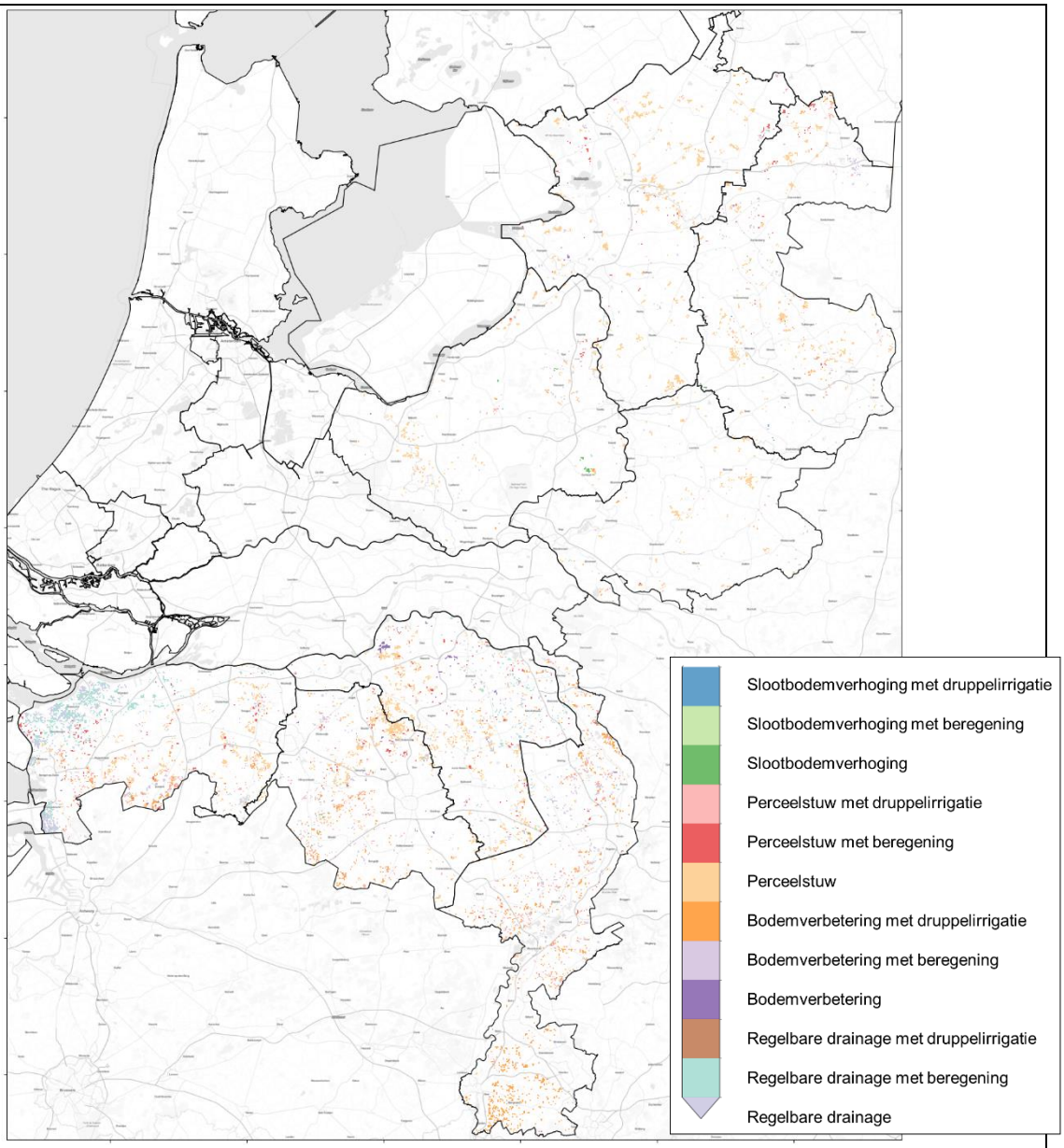
Voor al deze maatregelen geldt dat droogteschade die na toepassing van de maatregel resteert, met beregening kan worden opgelost. Dit laatste is alleen toegestaan op percelen waar in de uitgangssituatie reeds werd beregend.

Analoog aan Zuidwestelijke Delta (R5) is een subsidieregeling verondersteld, die is geïmplementeerd door de jaarlijkse kosten voor de agrariër met 20% te verminderen. Vervolgens is de baten/kosten ratio opnieuw berekend. De kosten voor de maatregel die wordt gerapporteerd zijn de kosten vóór de vermindering, omdat dit uiteindelijk de kosten zijn voor de maatschappij als geheel. Verder zijn in overleg met de regio de kosten voor perceelstuwen verhoogd tot 80 E/ha.

Het areaal waarop de maatregelen worden genomen is het areaal waarvoor tenminste één van de maatregelen een positieve baten/kosten ratio kent (na toepassing van de subsidieregeling). Verder wordt aangenomen dat een agrariër de maatregel implementeert met de meest gunstige baten/kosten ratio.



Figuur R5-1 Locaties waar maatregelen worden geïmplementeerd op basis van baten/kosten ratio (inclusief subsidieregeling) voor scenario REF2017.



Figuur R5-2 Locaties waar maatregelen worden geïmplementeerd op basis van baten/kosten ratio (inclusief subsidieregeling) voor scenario STOOM2050.

De maatregelen die op het grootste areaal worden geïmplementeerd zijn perceelstuwen, bodemverbetering en regelbare drainage, al dan niet met beregening voor het resterende verdampingstekort (Tabel R1-1). Dit zijn relatief goedkope maatregelen om gewasschade door droogte tegen te gaan. Slootbodemverhoging wordt weinig geselecteerd in het maatregelpakket. Dit komt doordat met kosten voor aanvoer van grond wordt gerekend, wat de maatregel relatief duur maakt.

Tabel R1-1 Overzicht areaal geselecteerde landbouwmaatregelen voor scenario's REF2017 en STOOM2050.

	REF2017		STOOM2050	
Maatregel	areaal (ha)	areaal (%)	areaal (ha)	areaal (%)
Bodemverbetering en beregening	2912	16%	6157	9%
Bodemverbetering en druppelirrigatie	2981	17%	11392	17%
Bodemverbeteringsmaatregelen	69	0%	992	1%
Perceelstuw	5517	31%	30649	45%
Perceelstuw en beregening	960	5%	3278	5%
Perceelstuw en druppelirrigatie	1406	8%	6157	9%
Regelbare drainage	1816	10%	4718	7%
Regelbare drainage en druppelirrigatie	34	0%	90	0%
Regelbare drainage en beregening	1508	9%	4745	7%
Slootbodemverhoging	446	3%	448	1%
Slootbodemverhoging en beregening	0	0%	179	0%
Slootbodemverhoging en druppelirrigatie	34	0%	62	0%

Berekende kentallen economische verkenning

Onderstaande tabel geeft een samenvatting van het maatregelpakket voor scenario's REF2017 en STOOM2050. Het areaal waarop maatregelen wordt genomen is in STOOM2050 sterk uitgebreid ten opzichte van REF2017 (van 2 naar 9% van het landbouwareaal), doordat de toegenomen gewasschade in de uitgangssituatie de maatregelen rendabeler maakt.

Tabel R1-2 Overzicht effecten, kosten en baten van geselecteerde landbouwmaatregelen voor scenario's REF2017 en STOOM2050.

	REF2017	STOOM2050
Baten (E/ha/jr)	430	404
Baten gewasschade (E/ha/jr)	313	257
Baten beregening (E/ha/jr)	116	147
Kosten (E/ha/jr)	323	308
Afname grondwaterberegening (Mm3/jr)	2.7	17.76
Afname opp.waterberegening (Mm3/jr)	1.94	8.23
Areaal (ha)	17681	68875
Aantal modelbedrijven	2%	9%
Totaal kosten (kE/jr)	5705	21202
Totaal baten (kE/jr)	7600	27834
Netto welvaartseffect (kE/jr)	1894	6632

Ondanks dat subsidie wordt verleend, waardoor ook sec onrendabele maatregelen worden geselecteerd, is het netto welvaartseffect positief. Dit komt doordat deze maatregelen worden gecompenseerd door een positief welvaartseffect van de ook zonder subsidie rendabele maatregelen.

A.23 R2 – Verziltingsbestrijding Noordelijk Zeekleigebied

Omschrijving maatregel

Binnen het noordelijk zeekleigebied worden de komende periode verschillende projecten gestart om pilots te starten met anti-verziltingsmaatregelen. Aanleg anti-verziltingsdrainage, ondergrondse opslag van zoetwater en slimmer/efficiënter doorspoelen (meer bereiken met dezelfde hoeveelheid of minder water) en functiewijziging. Vergroting van de zoetwatervoorraad op perceelsniveau, waardoor het gebied minder afhankelijk wordt van de aanvoer van zoetwater.

De verwachting is dat voor ca. 10000 ha (voornamelijk akkerbouw) de zoetwaterbeschikbaarheid wordt verbeterd, zonder dat hiervoor extra water wordt aangevoerd.

In droge jaren is nu in een aantal gebieden de verzilting van het ondiepe grondwater al goed merkbaar. Door klimaatverandering, bodemdaling en zeespiegelstijging toe gaat de verzilting toenemen. Gezien de lange tijd die nodig is om een dergelijke verandering te realiseren is het van groot belang hier nu mee aan de slag te gaan.

Rekenwijze quickscan hydrologie

Met behulp van de Regioscan Zoetwatermaatregelen is voor het noordelijke zeekleigebied (kustgebied Friesland en Groningen, waterschappen Fryslan en Noorderzijlvest) gekeken naar de kosten en baten van de volgende maatregelen in de Regioscan:

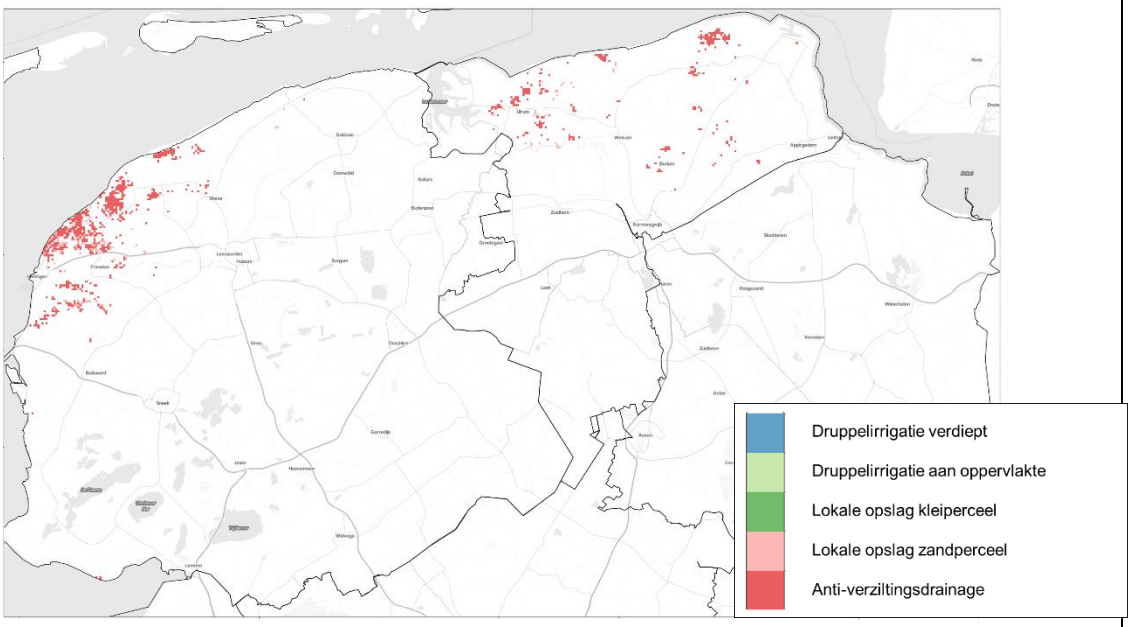
- anti-verziltingsdrainage,
- lokale opslag kleiperceel,
- lokale opslag zandperceel,
- druppelirrigatie aan oppervlakte,
- druppelirrigatie onder de ploegzool.

Het effect van slimmer doorspoelen wordt bekeken in maatregel Q15.

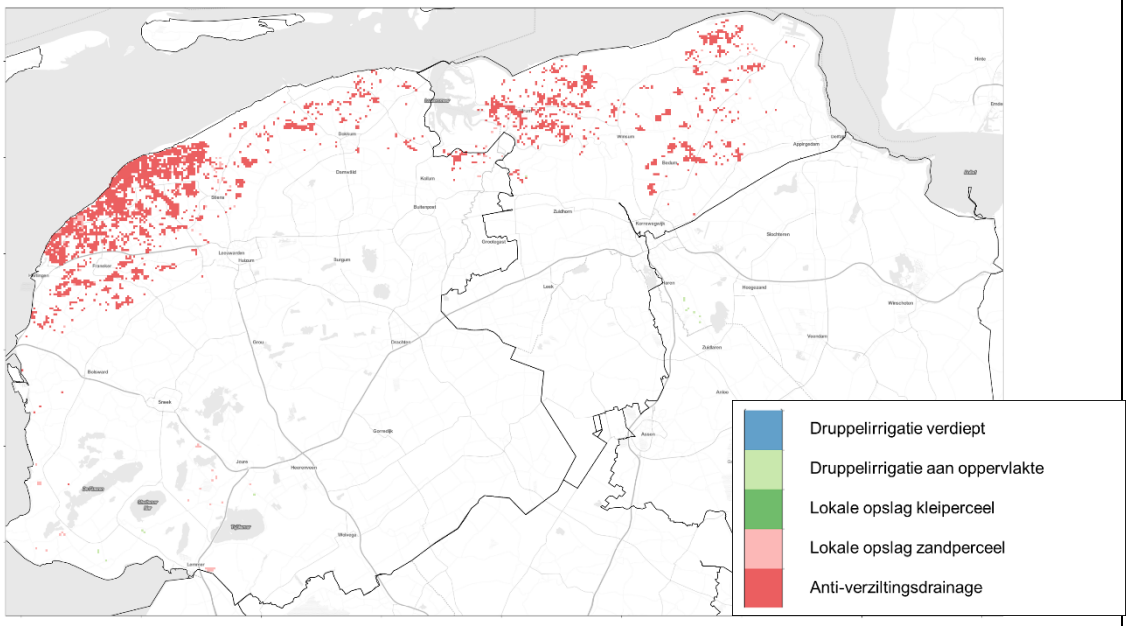
Analoog aan Zuidwestelijke Delta (R5) is een subsidieregeling verondersteld, die is geïmplementeerd door de jaarlijkse kosten voor de agrariër met 20% te verminderen. Vervolgens is de baten/kosten ratio opnieuw berekend. De kosten voor de maatregel die wordt gerapporteerd zijn de kosten vóór de vermindering, omdat dit uiteindelijk de kosten zijn voor de maatschappij als geheel.

Het areaal waarop de maatregelen worden genomen is het areaal waarvoor tenminste één van de maatregelen een positieve baten/kosten ratio kent (na toepassing van de subsidieregeling). Verder wordt aangenomen dat een agrariër de maatregel implementeert met de meest gunstige baten/kosten ratio.

Resultaten Regioscan Zoetwatermaatregelen



Figuur R2-1 Locaties waar maatregelen worden geïmplementeerd op basis van baten/kosten ratio (inclusief subsidieregeling) voor scenario REF2017.



Figuur R2-2 Locaties waar maatregelen worden geïmplementeerd op basis van baten/kosten ratio (inclusief subsidieregeling) voor scenario STOOM2050.

De maatregelen die worden geïmplementeerd zijn met name anti-verziltingsdrainage en lokale opslag – zandperceel (Tabel R2-1). Anti-verziltingsdrainage is een relatief goedkope maatregel om gewasschade door verzilting tegen te gaan. Lokale opslag – zandperceel maakt gebruik van druppelirrigatie onder de ploegzool, waarmee deze maatregel goedkoper is dan lokale opslag in een kleiperceel. Een belangrijk deel van de baten van deze maatregelen bestaat uit vermeden zoutschade die optreedt in de uitgangssituatie.

De beoogde 10000 ha areaal waar maatregelen worden geïmplementeerd wordt met de gekozen berekening in scenario REF2017 half, en in STOOM2050 ruim gehaald. In REF2017 worden maatregelen geïmplementeerd op 5800 ha, in scenario STOOM2050 stijgt dit tot meer dan 19000 ha.

Let op dat deze kaarten 'door de oogharen', en niet op precieze locatie moeten worden geïnterpreteerd, door alle modelvereenvoudigingen gaat het slechts om een ruwe indicatie van geschikte gebieden.

Tabel R2-1 Overzicht areaal geselecteerde landbouwmaatregelen voor scenario's REF2017 en STOOM2050.

	REF2017		STOOM2050	
Maatregel	areaal (ha)	areaal (%)	areaal (ha)	areaal (%)
Druppelirrigatie oppervlakte	0	0%	212	1%
Druppelirrigatie verdiept	0	0%	0	0%
Lokale opslag kleiperceel	0	0%	0	0%
Lokale opslag zandperceel	938	16%	710	4%
Anti-verziltings drainage	4925	84%	18366	95%

Berekende kentallen economische verkenning

Onderstaande tabel geeft een samenvatting van het maatregelpakket voor scenario's REF2017 en STOOM2050. Voor het noordelijk zeekleigebied is er slechts een klein areaal waarop maatregelen wordt genomen. Dit areaal is in STOOM2050 uitgebreid ten opzichte van REF2017 (van 2 naar 8% van het landbouwareaal), doordat de toegenomen gewasschade in de uitgangssituatie de maatregelen rendabeler maakt.

Tabel R2-2 Overzicht effecten, kosten en baten van geselecteerde landbouwmaatregelen voor scenario's REF2017 en STOOM2050.

	REF2017	STOOM2050
Baten (E/ha/jr)	336	267
Baten gewasschade (E/ha/jr)	268	169
Baten beregening (E/ha/jr)	67	98
Kosten (E/ha/jr)	167	185
Afname grondwaterberegening (Mm3/jr)	0.2	0.75
Afname opp.waterberegening (Mm3/jr)	1.74	8.04
Areaal (ha)	5863	19288
Aantal modelbedrijven	2.3%	8.0%
Totaal kosten (kE/jr)	980	3568
Totaal baten (kE/jr)	1969	5149
Netto welvaartseffect (kE/jr)	989	1581

Ondanks dat subsidie wordt verleend, waardoor ook sec onrendabele maatregelen worden geselecteerd, is het netto welvaartseffect positief. Dit komt doordat deze maatregelen worden gecompenseerd door een positief welvaartseffect van de ook zonder subsidie rendabele maatregelen.

A.24 R3 – Stimuleringsregeling waterbesparende maatregelen agrariërs en actieve voorraadvorming – Rivierenland

Omschrijving maatregel

Er wordt financiële ondersteuning geboden voor innovatieve waterbesparende maatregelen. Deze regeling geldt voor landbouwbedrijven en bestaat uit 25% of 40% van de investeringskosten voor nieuw-te-nemen maatregelen voor het bedrijf. Bijvoorbeeld: opslagvoorzieningen, sproeikoppen, druppelirrigatie, peilgestuurde drainage, beslissingsondersteunende systemen.

Een tweede regeling gaat hierop verder door op actieve voorraadvorming in te steken. Actief betekent dat water wordt geborgen op het land van de agrariër óf dat het water eerst actief in de ondergrond wordt ingebracht voordat het in de zomer aan de ondergrond wordt onttrokken.

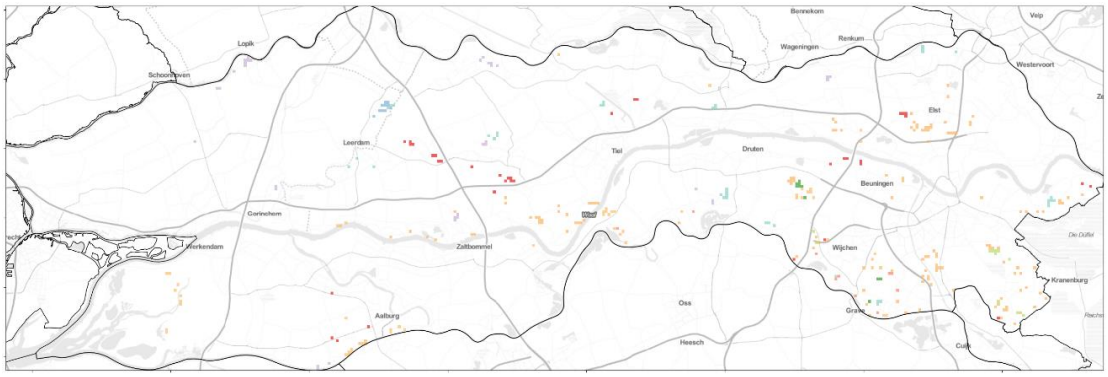
Rekenwijze quickscan hydrologie

Met behulp van de Regioscan Zoetwatermaatregelen is voor de zoetwaterregio Rivierenland Noord en – Zuid gekeken naar de kosten en baten van verschillende maatregelen uit de Regioscan Zoetwatermaatregelen: regelbare drainage, perceelstuwen, slootbodemverhoging en bodemverbetering. Voor al deze maatregelen geldt dat droogteschade die na toepassing van de maatregel resteert, met beregening kan worden opgelost. Dit laatste is alleen toegestaan op percelen waar in de uitgangssituatie reeds werd beregend.

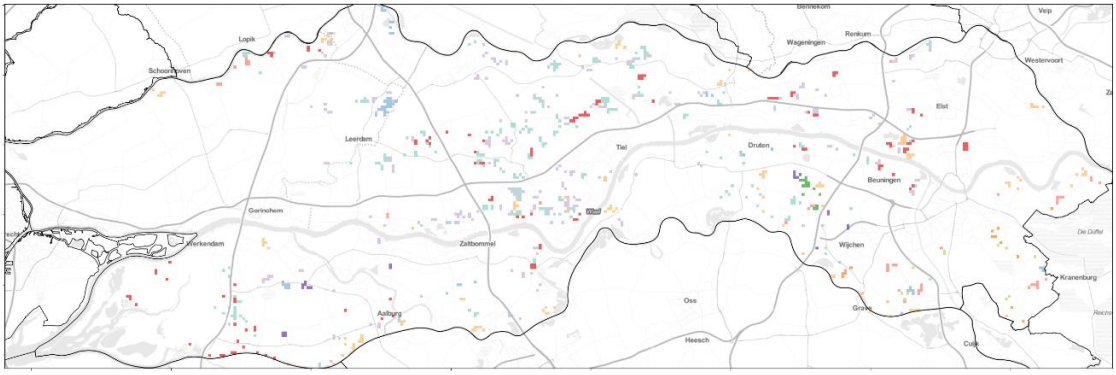
De subsidieregeling is geïmplementeerd door de jaarlijkse kosten voor de agrariër met 20% te verminderen (aangenomen dat 40% investeringssubsidie zich vertaald in 20% minder jaarlijkse kosten). Vervolgens is de baten/kosten ratio opnieuw berekend. De kosten voor de maatregel die wordt gerapporteerd zijn de kosten vóór de vermindering, omdat dit uiteindelijk de kosten zijn voor de maatschappij als geheel. Verder zijn analoog aan maatregel R1 de kosten voor perceelstuwen verhoogd tot 80 E/ha.

Het areaal waarop de maatregelen worden genomen is het areaal waarvoor tenminste één van de maatregelen een positieve baten/kosten ratio kent (na toepassing van de subsidieregeling). Verder wordt aangenomen dat een agrariër de maatregel implementeert met de meest gunstige baten/kosten ratio.

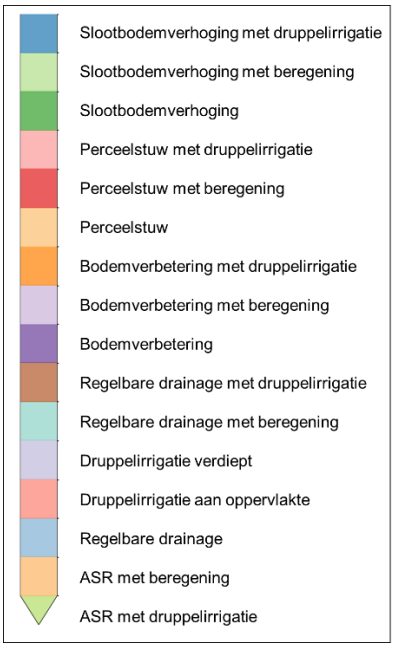
Resultaten Regioscan Zoetwatermaatregelen



Figuur R3-1 Locaties waar maatregelen worden geïmplementeerd op basis van baten/kosten ratio (inclusief subsidieregeling) voor scenario REF2017. Voor legenda zie Figuur R3-3.



Figuur R3-2 Locaties waar maatregelen worden geïmplementeerd op basis van baten/kosten ratio (inclusief subsidieregeling) voor scenario STOOM2050. Voor legenda zie Figuur R3-3.



Figuur R3-3 Legenda geïmplementeerde maatregelen.

De maatregelen die op het grootste areaal worden geïmplementeerd zijn perceelstuwen, bodemverbetering en regelbare drainage, al dan niet met beregening voor het resterende verdampingstekort (Tabel R3-1). Dit zijn relatief goedkope maatregelen om gewasschade door droogte tegen te gaan. Ook Aquifer Storage and Recovery (opslag van water in de bodem) wordt geselecteerd. De kosten van deze maatregel zijn relatief hoog, maar kunnen op droge locaties opwegen tegen de verwachte baten. Dit lijkt met name het geval in REF2017, in STOOM2050 komen andere maatregelen als meer kosten-effectief naar voren en daalt het aandeel ASR.

Let op dat deze kaarten ‘door de oogharen’, en niet op precieze locatie moeten worden geïnterpreteerd, door alle modelvereenvoudigingen gaat het slechts om een ruwe indicatie van geschikte gebieden.

Tabel R3-1 Overzicht areaal geselecteerde landbouwmaatregelen voor scenario’s REF2017 en STOOM2050.

Maatregel	REF2017 areaal (ha)	REF2017 areaal (%)	STOOM2050 areaal (ha)	STOOM2050 areaal (%)
ASR zoet en druppelirrigatie	98	4%	154	3%
ASR zoet en reguliere beregening	847	32%	88	1%
Bodemverbetering en beregening	358	14%	1831	30%
Bodemverbetering en druppelirrigatie	0	0%	66	1%
Bodemverbeteringsmaatregelen	0	0%	132	2%
Druppelirrigatie oppervlakte	98	4%	331	5%
Druppelirrigatie verdiept	0	0%	0	0%
Perceelstuw	391	15%	529	9%
Perceelstuw en beregening	326	12%	794	13%
Perceelstuw en druppelirrigatie	0	0%	0	0%
Regelbare drainage	65	2%	265	4%
Regelbare drainage met druppelirrigatie	0	0%	0	0%
Regelbare drainage en beregening	391	15%	1787	30%
Slootbodemverhoging	65	2%	66	1%
Slootbodemverhoging en beregening	0	0%	0	0%
Slootbodemverhoging en druppelirrigatie	0	0%	0	0%

Berekende kentallen economische verkenning

Onderstaande tabel geeft een samenvatting van het maatregelpakket voor scenario's REF2017 en STOOM2050. Het areaal waarop maatregelen wordt genomen is in STOOM2050 sterk uitgebreid ten opzichte van REF2017 (van 2 naar 6% van landbouwareaal), doordat de toegenomen gewasschade in de uitgangssituatie de maatregelen rendabeler maakt.

Tabel R3-2 Overzicht effecten, kosten en baten van geselecteerde landbouwmaatregelen voor scenario's REF2017 en STOOM2050.

	REF2017	STOOM2050
Baten (E/ha/jr)	484	494
Baten gewasschade (E/ha/jr)	373	265
Baten beregening (E/ha/jr)	111	229
Kosten (E/ha/jr)	280	348
Afname grondwaterberegening (Mm3/jr)	0.08	0.41
Afname opp.waterberegening (Mm3/jr)	0.63	1.86
Areaal (ha)	2638	6044
Areaal (% van totaal landbouwareaal)	2.1%	5.9%
Totaal kosten (kE/jr)	738	2103
Totaal baten (kE/jr)	1278	2987
Netto welvaartseffect (kE/jr)	540	883

Ondanks dat subsidie wordt verleend, waardoor ook sec onrendabele maatregelen worden geselecteerd, is het netto welvaartseffect positief. Dit komt doordat deze maatregelen worden gecompenseerd door een positief welvaartseffect van de ook zonder subsidie rendabele maatregelen.

A.25 R4 – Spaarwatermaatregelen Noord-Holland

Omschrijving maatregel

Creëren van eigen zoetwatervoorziening door effectief watergebruik. Door creëren eigen zoetwatervoorziening in bodem (=grondwater), wordt de vraag naar oppervlaktewater gereduceerd. Door efficiënt omgaan met zoetwater, wordt deze vraag nog eens extra verkleind.

Agrarische bedrijven moeten nu en in de toekomst maatregelen treffen om te werken aan zuinig en efficiënt watergebruik. Kleine effecten kunnen op grote schaal een groot effect hebben.

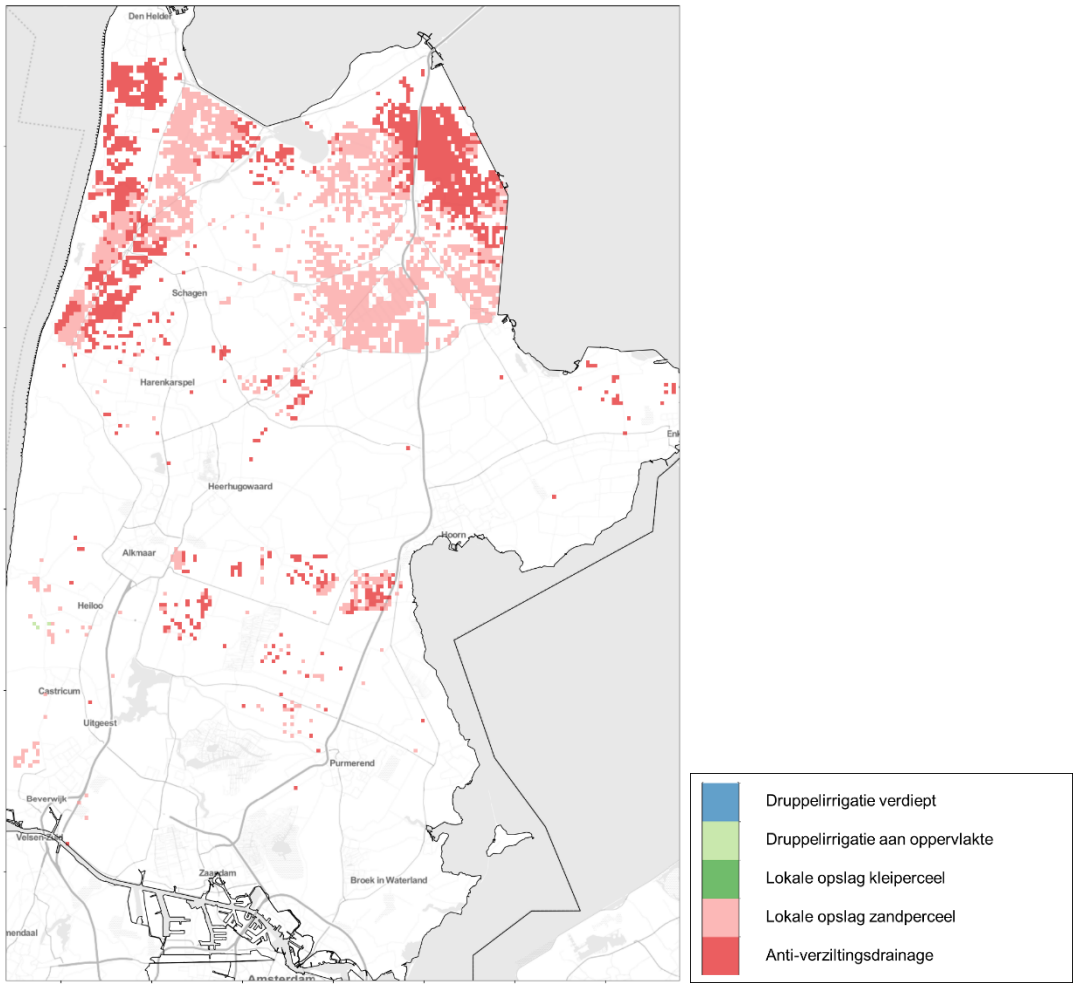
Rekenwijze quickscan hydrologie

Met behulp van de Regioscan Zoetwatermaatregelen is voor het noordelijke zeekleigebied (kustgebied Friesland en Groningen, waterschappen Fryslan en Noorderzijlvest) gekeken naar de kosten en baten van de volgende maatregelen in de Regioscan:

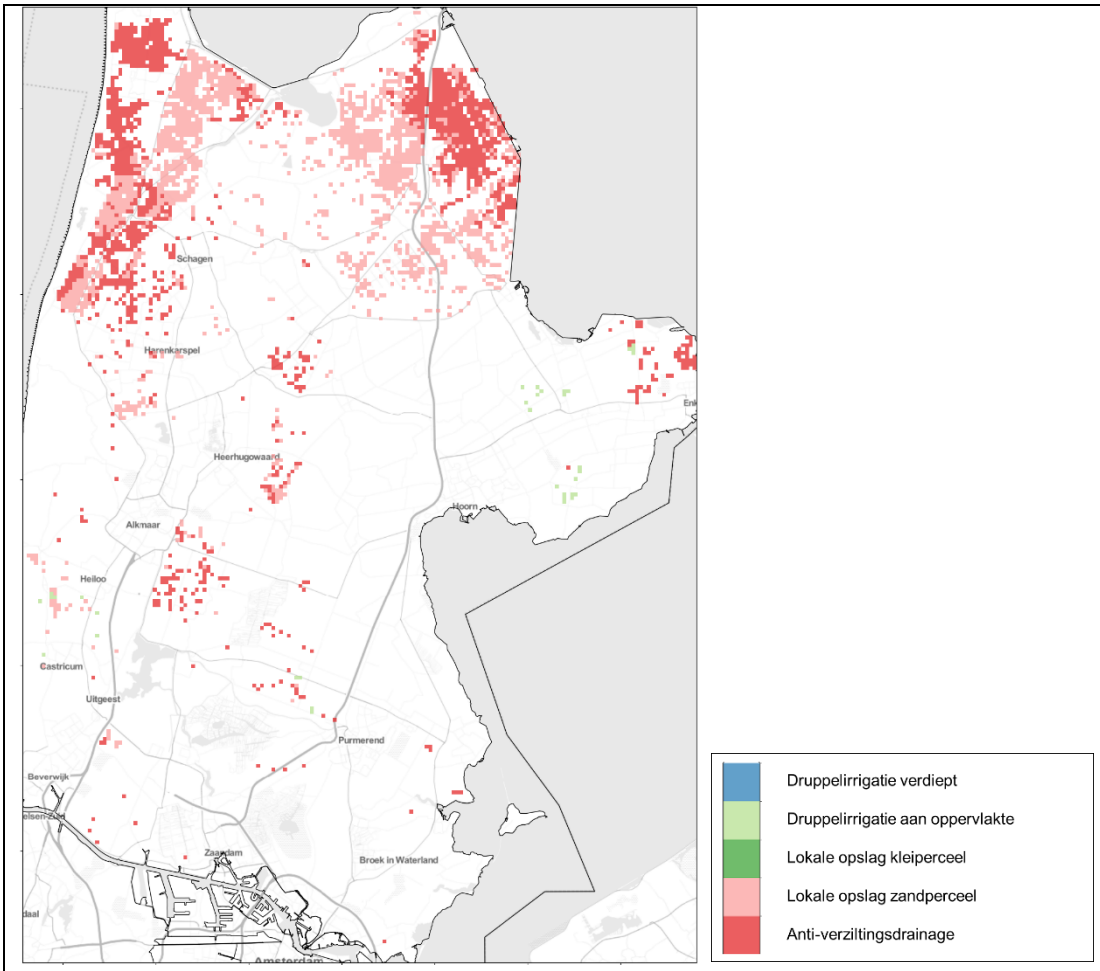
- anti-verziltingsdrainage,
- lokale opslag kleiperceel,
- lokale opslag zandperceel,
- druppelirrigatie aan oppervlakte,
- druppelirrigatie onder de ploegzool.

Analoog aan Zuidwestelijke Delta (R5) is een subsidieregeling verondersteld, die is geïmplementeerd door de jaarlijkse kosten voor de agrariër met 20% te verminderen. Vervolgens is de baten/kosten ratio opnieuw berekend. De kosten voor de maatregel die wordt gerapporteerd zijn de kosten vóór de vermindering, omdat dit uiteindelijk de kosten zijn voor de maatschappij als geheel.

Het areaal waarop de maatregelen worden genomen is het areaal waarvoor tenminste één van de maatregelen een positieve baten/kosten ratio kent (na toepassing van de subsidieregeling). Verder wordt aangenomen dat een agrariër de maatregel implementeert met de meest gunstige baten/kosten ratio.



Figuur R4-1 Locaties waar maatregelen worden geïmplementeerd op basis van baten/kosten ratio (inclusief subsidieregeling) voor scenario REF2017.



Figuur R4-2 Locaties waar maatregelen worden geïmplementeerd op basis van baten/kosten ratio (inclusief subsidieregeling) voor scenario STOOM2050.

De maatregelen die met name worden geïmplementeerd zijn anti-verziltingsdrainage en lokale opslag – zandperceel (Tabel R4-1). Anti-verziltingsdrainage is een relatief goedkope maatregel om gewasschade door verzilting tegen te gaan. Lokale opslag – zandperceel maakt gebruik van druppelirrigatie onder de ploegzool, waarmee deze maatregel goedkoper is dan lokale opslag in een kleiperceel. Let op dat deze kaarten 'door de oogharen', en niet op precieze locatie moeten worden geïnterpreteerd, door alle modelvereenvoudigingen gaat het slechts om een ruwe indicatie van geschikte gebieden.

Tabel R4-1 Overzicht areaal geselecteerde landbouwmaatregelen voor scenario's REF2017 en STOOM2050.

	REF2017		STOOM2050	
Maatregel	areaal (ha)	areaal (%)	areaal (ha)	areaal (%)
Druppelirrigatie oppervlakte	47	0%	550	3%
Druppelirrigatie verdiept	0	0%	0	0%
Lokale opslag kleiperceel	0	0%	0	0%
Lokale opslag zandperceel	12254	57%	9313	49%
Anti-verziltingsdrainage	9062	42%	8974	48%

Berekende kentallen economische verkenning

Onderstaande tabel geeft een samenvatting van het maatregelpakket voor scenario's REF2017 en STOOM2050. Het areaal waarop maatregelen worden genomen is in STOOM2050 relatief licht uitgebreid ten opzichte van REF2017 (van 19 naar 20% van het landbouwareaal), doordat de toegenomen gewasschade in de uitgangssituatie de maatregelen rendabeler maakt. In absolute zin neemt het areaal juist af, omdat er in STOOM2050 minder totaal landbouwareaal is.

Tabel R4-2 Overzicht effecten, kosten en baten van geselecteerde landbouwmaatregelen voor scenario's REF2017 en STOOM2050.

	REF2017	STOOM2050
Baten (E/ha/jr)	3311	3937
Baten gewasschade (E/ha/jr)	3190	3771
Baten beregening (E/ha/jr)	121	166
Kosten (E/ha/jr)	489	485
Afname grondwaterberegening (Mm3/jr)	0.21	0.31
Afname opp.waterberegening (Mm3/jr)	12.25	14.62
Areaal (ha)	21363	18838
Aantal modelbedrijven	19.3%	20.2%
Totaal kosten (kE/jr)	10443	9143
Totaal baten (kE/jr)	70728	74161
Netto welvaartseffect (kE/jr)	60285	65018

Ondanks dat subsidie wordt verleend, waardoor ook sec onrendabele maatregelen worden geselecteerd, is het netto welvaartseffect positief. Dit komt doordat deze maatregelen worden gecompenseerd door een positief welvaartseffect van de ook zonder subsidie rendabele maatregelen. De berekende baten zijn hoog, daarmee is het berekende welvaartseffect ook erg hoog. Hierbij moet de kanttekening worden gemaakt dat de berekening van zoutschade in het Nationaal Watermodel de nodige beperkingen kent. De wijze waarop de wateraanvoersituatie, specifieke bodemopbouw en drainageligging in de bollengebieden in de kop van Noord-Holland is vormgegeven wordt niet in het Nationaal Watermodel gerepresenteerd. In werkelijkheid is niet te verwachten dat de zoutschade in de uitgangssituatie voor de hoogrenderende teelten zo hoog ligt, zonder dat hier door de betreffende agrariërs maatregelen op worden genomen.

A.26 R5 – Uitrollen proeftuin zoetwater

Omschrijving maatregel

In voorgaande periode zijn verschillende technieken onderzocht om lokaal zoetwater optimaler te gebruiken en zoetwater op te slaan. In 2022-2028 wordt een regeling opengesteld die gebruikers moet stimuleren deze technieken toe te passen met als doel het vergroten van de zelfvoorzienendheid van gebieden zonder zoetwateraanvoer. Het gaat hierbij om een regeling, waarbij de gebruikers 40% subsidie kunnen aanvragen voor beproefde technieken.

Rekenwijze quickscan hydrologie

Met behulp van de Regioscan Zoetwatermaatregelen is voor het gebied Zuidwestelijke Delta – zonder aanvoer gekeken naar de kosten en baten van de Proeftuin maatregelen:

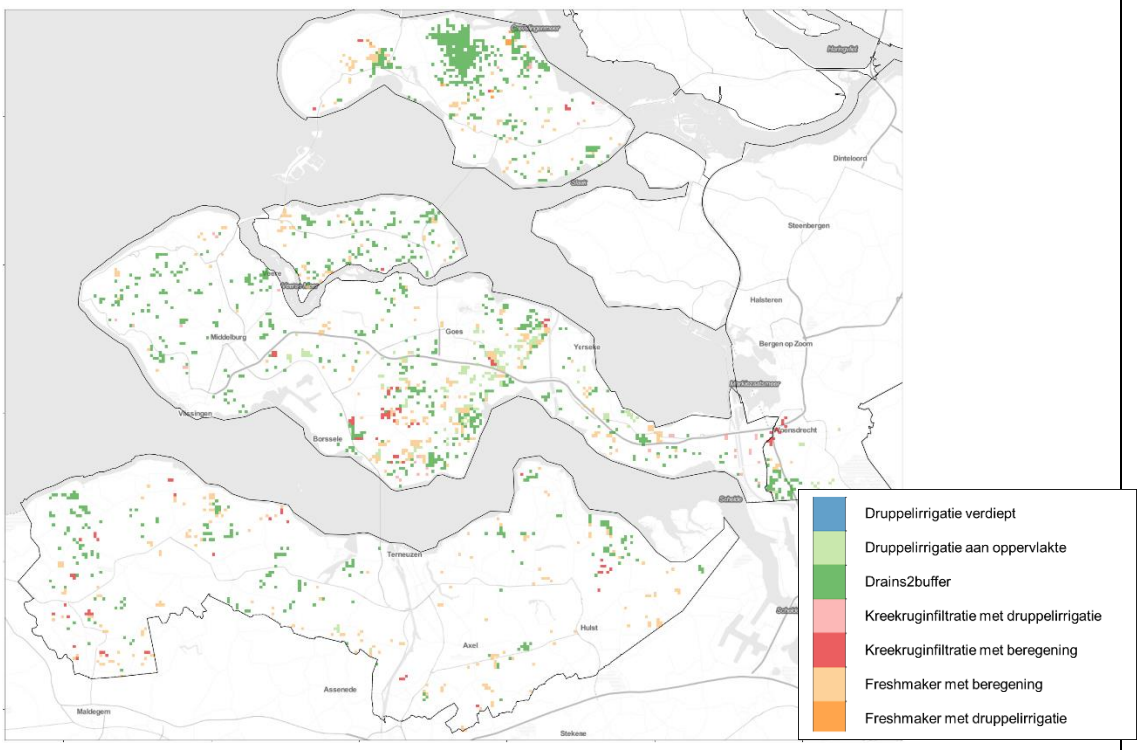
- Drains2buffer,
- Kreekruginfiltratie,

- Freshmaker en
- Druppelirrigatie.

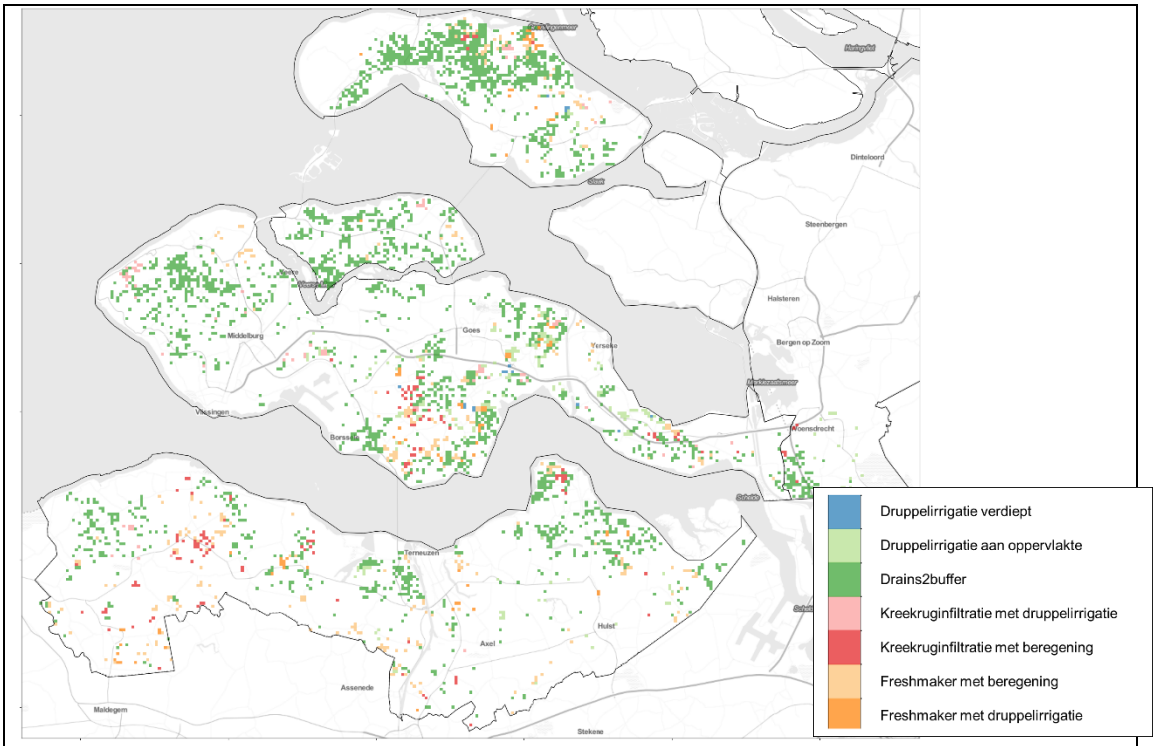
De subsidieregeling is geïmplementeerd door de jaarlijkse kosten voor de agrariër met 20% te verminderen (aangenomen dat 40% investeringssubsidie zich vertaald in 20% minder jaarlijkse kosten), gebaseerd op de factsheet ZWD van april 2019. Vervolgens is de baten/kosten ratio opnieuw berekend. De kosten voor de maatregel die wordt gerapporteerd zijn de kosten vóór de vermindering, omdat dit uiteindelijk de kosten zijn voor de maatschappij als geheel.

Het areaal waarop de maatregelen worden genomen is het areaal waarvoor tenminste één van de maatregelen een positieve baten/kosten ratio kent (na toepassing van de subsidieregeling). Verder wordt aangenomen dat een agrariër de maatregel implementeert met de meest gunstige baten/kosten ratio.

Resultaten Regioscan Zoetwatermaatregelen



Figuur R5-1 Locaties waar maatregelen worden geïmplementeerd op basis van baten/kosten ratio (inclusief subsidieregeling) voor scenario REF2017.



Figuur R5-2 Locaties waar maatregelen worden geïmplementeerd op basis van baten/kosten ratio (inclusief subsidieregeling) voor scenario STOOM2050.

De maatregel die op het grootste areaal wordt geïmplementeerd is drains2buffer (Tabel R5-1). Dit is een relatief goedkope maatregel om gewasschade door zoutconcentraties in het bodemvocht tegen te gaan. Met name in de fruitteelt gebieden worden ook druppelirrigatie, de Freshmaker en Kreekruginfiltratie interessant. Let op dat deze kaarten 'door de oogharen', en niet op precieze locatie moeten worden geïnterpreteerd, door alle modelvereenvoudigingen gaat het slechts om een ruwe indicatie van geschikte gebieden.

Tabel R5-1 Overzicht areaal geselecteerde landbouwmaatregelen voor scenario's REF2017 en STOOM2050.

	REF2017		STOOM2050	
Maatregel	areaal (ha)	areaal (%)	areaal (ha)	areaal (%)
Drains2buffer	6343	47%	14502	65%
Druppelirrigatie oppervlakte	2194	16%	2554	11%
Druppelirrigatie verdiept	0	0%	173	1%
Freshmaker en druppelirrigatie	79	1%	908	4%
Freshmaker en reguliere beregening	3790	28%	2554	11%
Kreekruginfiltratie druppelirrigatie	199	1%	650	3%
Kreekruginfiltratie reguliere beregening	838	6%	1083	5%

Berekende kentallen economische verkenning

Onderstaande tabel geeft een samenvatting van het maatregelpakket voor scenario's REF2017 en STOOM2050. Het areaal waarop maatregelen wordt genomen is in STOOM2050 sterk uitgebreid ten opzichte van REF2017 (van 11 naar 19% van landbouwareaal), doordat de toegenomen gewasschade in de uitgangssituatie de maatregelen rendabeler maakt.

Tabel R5-2 Overzicht effecten, kosten en baten van geselecteerde landbouwmaatregelen voor scenario's REF2017 en STOOM2050.

	REF2017	STOOM2050
Baten (E/ha/jr)	1405	1684
Baten gewasschade (E/ha/jr)	1344	1599
Baten beregening (E/ha/jr)	61	85
Kosten (E/ha/jr)	251	262
Afname grondwaterberegening (Mm3/jr)	1.69	5.3
Afname opp.waterberegening (Mm3/jr)	1.32	2.03
Areaal (ha)	13444	22425
Areaal (% van totaal landbouwareaal)	11%	19%
Totaal kosten (kE/jr)	3377	5870
Totaal baten (kE/jr)	18892	37768
Netto welvaartseffect (kE/jr)	15515	31898

Ondanks dat subsidie wordt verleend, waardoor ook sec onrendabele maatregelen worden geselecteerd, is het netto welvaartseffect positief. Dit komt doordat deze maatregelen worden gecompenseerd door een positief welvaartseffect van de ook zonder subsidie rendabele maatregelen. De berekende baten zijn hoog, daarmee is het berekende welvaartseffect ook erg hoog. Hierbij moet de kanttekening worden gemaakt dat de berekening van zoutschade in het Nationaal Watermodel de nodige beperkingen kent. Ook de wijze waarop met name de fruitteelt gebieden in de zak van Zuid-Beveland via de landbouwwaterleiding van water worden voorzien wordt niet in het Nationaal Watermodel gerepresenteerd. In werkelijkheid is niet te verwachten dat de zoutschade in de uitgangssituatie voor de hoogrenderende teelten zo hoog ligt, zonder dat hier door de betreffende agrariërs maatregelen op worden genomen.

B Eenvoudige scheepvaartrelatie voor vaarkosten op de Waal

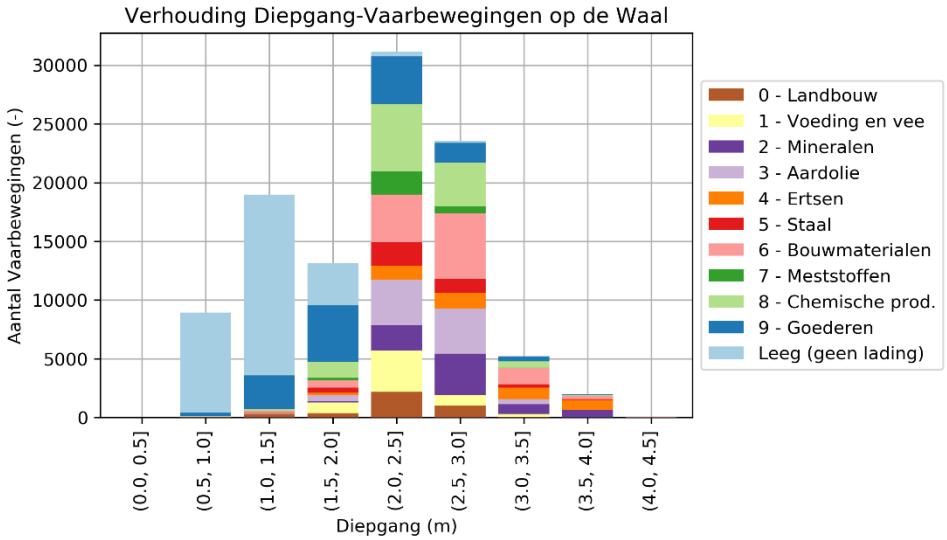
Deze bijlage bevat passages uit de memo (De Jong, 2019b):

Jong, J. de, 2019. Eenvoudige scheepvaartrelatie voor vaarkosten Waal door afname vaardiepte. Deltares memo 11203734-012-ZWS-0007, datum: 31 augustus 2019.

In deze bijlage wordt een beschrijving gegeven van de opzet van een eenvoudige scheepvaartrelatie bij Nijmegen. De basis hiervoor is een scheepvaartbestand van alle vaarbewegingen op de Waal bij Nijmegen. Er wordt aangenomen dat voor alle vaarbewegingen dit knelpunt maatgevend en dat daardoor elke verandering in vaardiepte op deze locatie direct effect heeft op de beladingsgraad en dus op het aantal vaarbewegingen dat nodig is om dezelfde vracht te vervoeren. Op basis van de vaarkosten van de ongehinderde situatie, wordt berekend hoeveel de vaarkosten worden indien er sprake is van een vaardieptebeperking. Wordt de beperking van de beladingsgraad te groot, dan wordt de vracht als 'niet vervoerd' beschouwd. Dit is in overeenstemming met de Effectmodule Scheepvaart van het DPZW.

B.1 Analyse vaarbewegingen Nijmegen

Voor het bepalen van de vaarbewegingen bij Nijmegen wordt gebruik gemaakt van de BIVAS-resultaten van een jaar waarin de vaardiepte niet of nauwelijks beperkt werd. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van het zeer natte hydrologische jaar 1916 in deltascenario REF2017BP18. Uit de BIVAS-resultaten zijn diverse kentallen van de scheepvaart bij Nijmegen geanalyseerd, telkens gegroepeerd per diepgangsklasse. In Figuur B.6.1 zijn het aantal vaarbewegingen gegeven in iedere diepgangsklasse voor de verschillende NSTR-klasses. Van iedere van deze vaarbewegingen is bepaald wat de totale vaarkosten zijn van herkomst naar bestemming. Dit geeft de totale vaarkosten van alle scheepvaart die de Waal passeert.



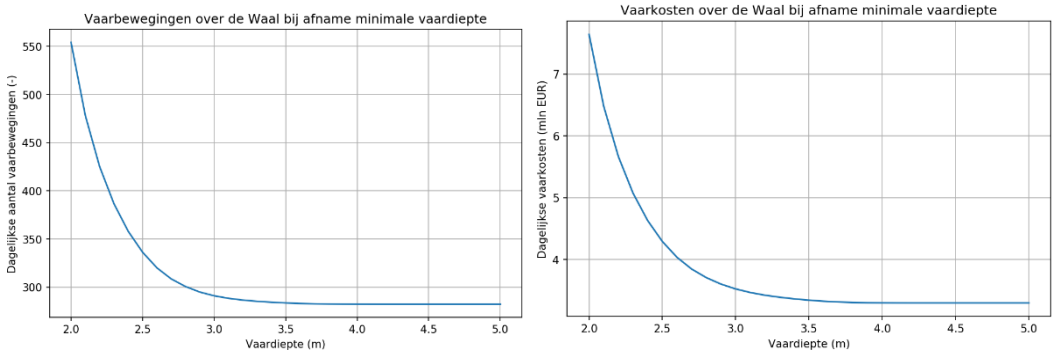
Figuur B.6.1 Verhouding diepgang en vaarbewegingen op de Waal. Op basis van BIVAS-resultaten REF2017BP18 in het natte jaar 1916

B.2 Bepaling toename vaarbewegingen door ladingreductie

In tijden van ondiepte is het niet mogelijk om met de volledige diepgang te varen. De lading dient gereduceerd te worden en om toch alle lading te vervoeren zal er vaker gevaren moeten worden. Er wordt aangenomen dat de afname in relatieve diepgang evenredig is met de afname van de lading en dus invers aan de toename van het aantal vaarbewegingen. De relatieve diepgang is gedefinieerd als het verschil met de diepgang van een leeg schip (t_0). Voor t_0 is een uniforme waarde voor alle schepen aangehouden van 1.3 m [1]. Voor een beschikbare vaardiepte (vd) en een aangenomen kielspeling (ukc) van 0.20 m [2] geeft dit voor iedere diepgang-categorie (d) de volgende vermenigvuldigingsfactor (M).

$$
\begin{array}{lll}
\textit{Als} & vd \geq d + ukc & M = 1 \\
 & vd < d + ukc & M = \frac{t_{rel,origineel}}{t_{rel,beschikbaar}} = \frac{t - t_0}{vd - ukc - t_0} \\
 & vd - ukc < t_0 & M = 0
\end{array}
$$

Als we dit vermenigvuldigen met opbouw van de vloot zoals gegeven in de voorgaande paragraaf (nu gediscrediteerd in diepgangsklassen van 0.10 m diepgang), dan komen we uit op de dagelijkse aantal vaarbewegingen en de dagelijkse vaarkosten zoals gegeven in Figuur B.6.2. Hierbij is telkens uitgegaan van het hele scheepvaartbestand van 2014 en is gedeeld door 365 om te komen tot het aantal vaarbewegingen en de scheepvaartkosten voor 1 dag.



Figuur B.6.2 Eenvoudige relatie tussen de maatgevende vaardiepte op de Waal en het gemiddelde aantal vaarbewegingen (links) en de gemiddelde vaarkosten (rechts)

Hierbij is er geen rekening gehouden met dat vracht niet meer vervoerd zal worden als de ladingreductie te groot wordt. In deze paragraaf wordt de methode hiermee uitgebreid. Als criterium wordt hiervoor naar de vermenigvuldigingsfactor gekeken. Een factor van 5 betekent dat slechts 1/5 van de vracht vervoerd kon worden per schip en dat hierdoor 5 keer zoveel schepen moesten varen om dezelfde hoeveelheid lading te vervoeren. Evenals BIVAS hanteren we nu het criterium dat de reductie in vervoerde vracht nooit kleiner mag worden dan 1/3 van de originele vracht. Vaarbewegingen die verder afgeladen zouden worden, worden verondersteld helemaal niet meer te varen. Hun vracht wordt beschouwd als *niet-vervoerd.*

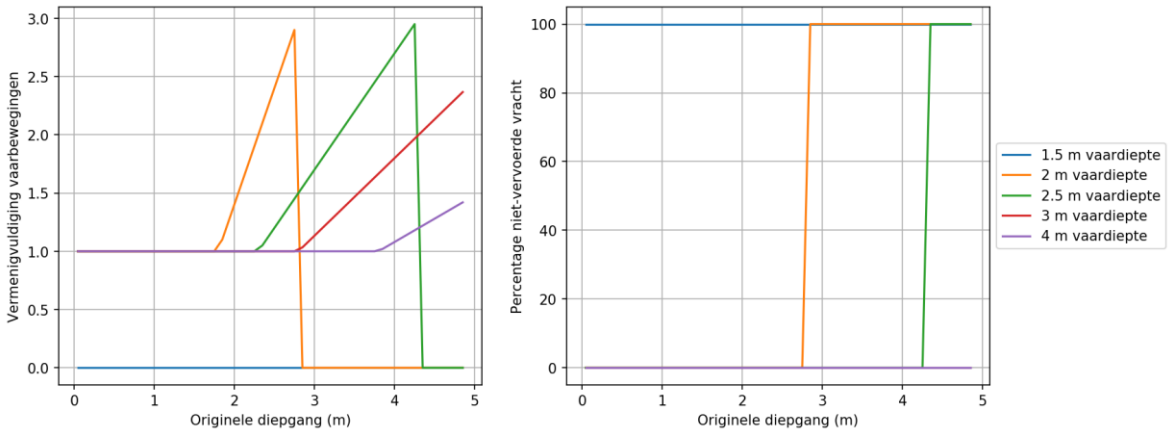
In formules betekent dit het volgende:

$$
\begin{array}{lll}
\text{Als} & M > M_{max} & M = 0 \quad L = 1 \\
 & M < M_{max} & M = M \quad L = 0
\end{array}
$$

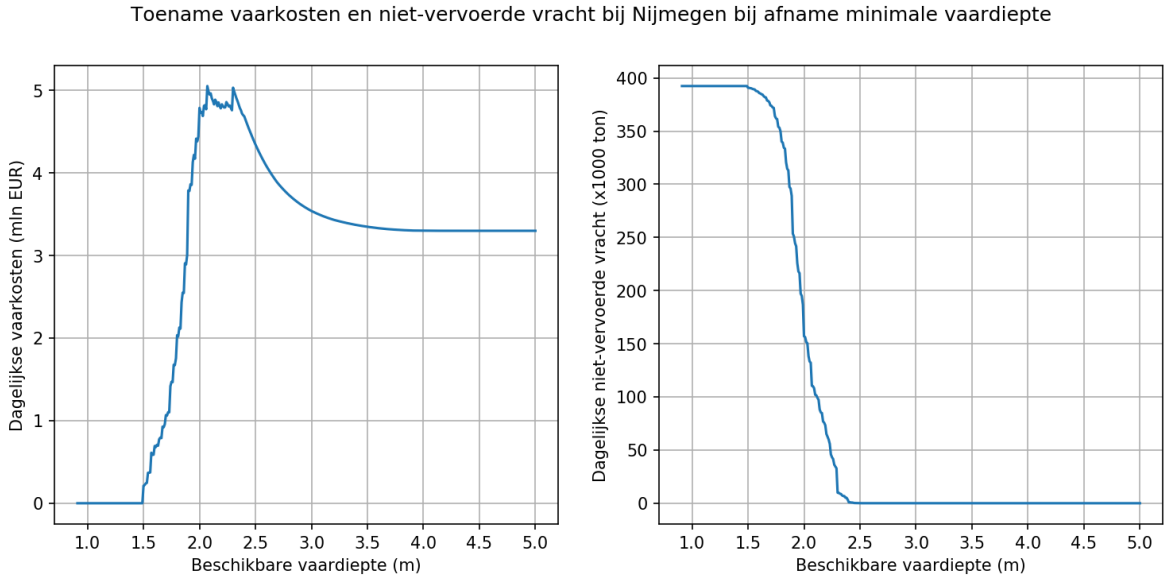
[1] Dit is het gemiddelde van de lege vaarbewegingen op de Waal volgens BIVAS.
[2] Dit is lager dan de minimale kielspeling van 0.3 m volgens BIVAS. De scheepvaart neemt voor de maatgevende ondiepte (bij Nijmegen) vaak een kleinere kielspeling. (Schuttevaer, 2017)

Hierbij wordt M hetzelfde afgehandeld als eerst (als vermenigvuldiging voor de kosten) en wordt de limiter (L) vermenigvuldigd met de vervoerde vracht per diepgangklasse om zo de niet-vervoerde vracht te berekenen.

De niet-vervoerde vracht zal resulteren in een schadepost voor de economie. Om deze schade te berekenen wordt in de Effectmodule Scheepvaart een economische beschouwing gemaakt van verschillende consequenties die verschillende maten en aantal dagen van niet-vervoerde vracht hebben. Hier wordt ten slotte een economische schade uit berekend. Dit is voor de effectmodule niet gebeurd. In de resultaten dienen de verandering van de vaarkosten en de verandering in de niet-vervoerde vracht altijd naast elkaar beschouwd te worden.



Figuur B.6.3 Grootte van de vermenigvuldigingsfactor (Multiplier M) (links) als gevolg van een vaardieptebeperking met gebruik van een M_{max} om een limiter (L) (rechts) te bereken.

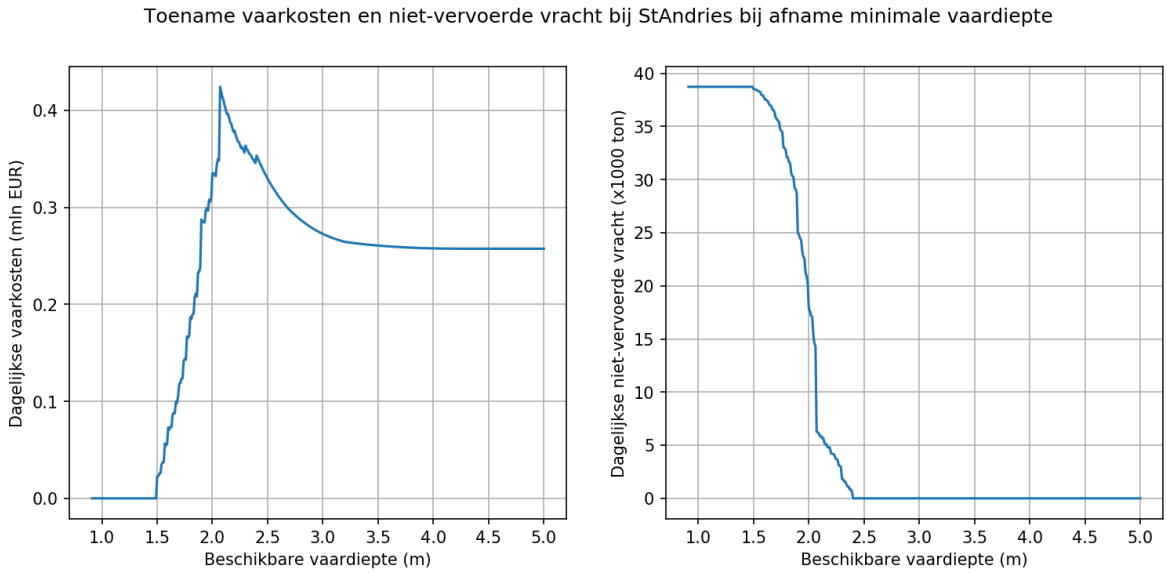


Figuur B.6.4 Eenvoudige relatie als functie van de vaardiepte bij afname van de beschikbare vaardiepte. Het resultaat gegeven in de dagelijkse vaarkosten (links) en niet-vervoerde vracht (rechts).

B.3 Eenvoudige scheepvaartrelaties voor St. Andries

Het tweede knelpunt op de corridor is de locatie St. Andries. Voor veel schepen zal dit knelpunt echter niet interessant zijn, omdat ze hun diepgang al moeten passeren op het grootste knelpunt Nijmegen. Enkel schepen die wel over St. Andries varen, maar niet langs Nijmegen komen, worden daarom meegenomen in het vaarbestand voor deze eenvoudige relatie. Dit is bijvoorbeeld scheepvaart naar het Maas-Waalkanaal of naar het Amsterdam-Rijnkanaal.

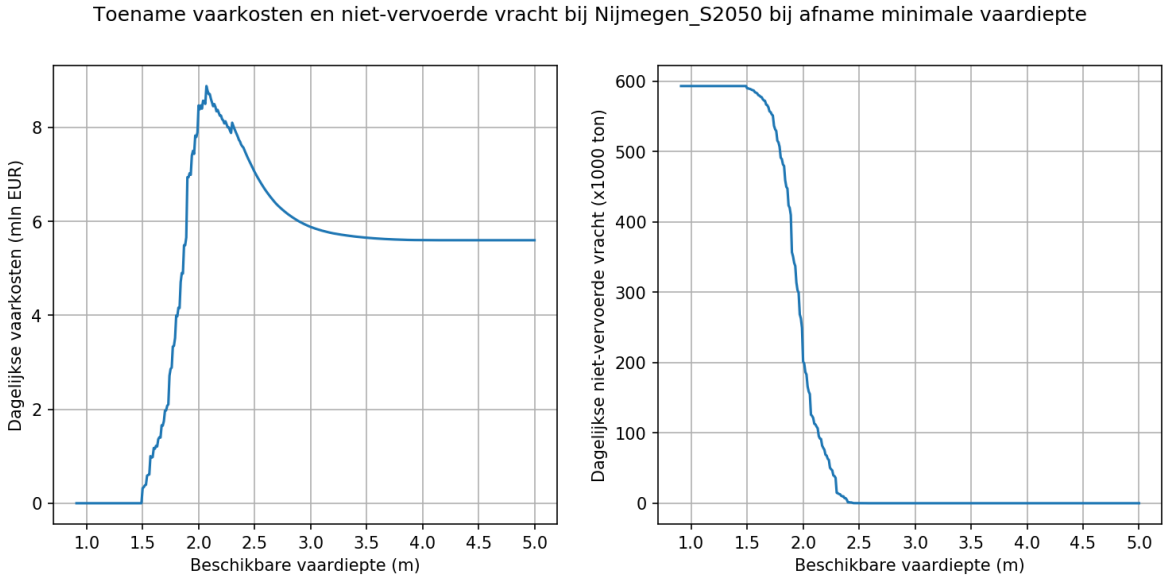
Gelijk aan de methode beschreven in voorgaande paragraaf kan op basis van de scheepvaart bepaald worden wat de vaarkosten worden bij een afname van de beschikbare vaardiepte. De resultaten hiervan zijn weergegeven in Figuur B.6.5.



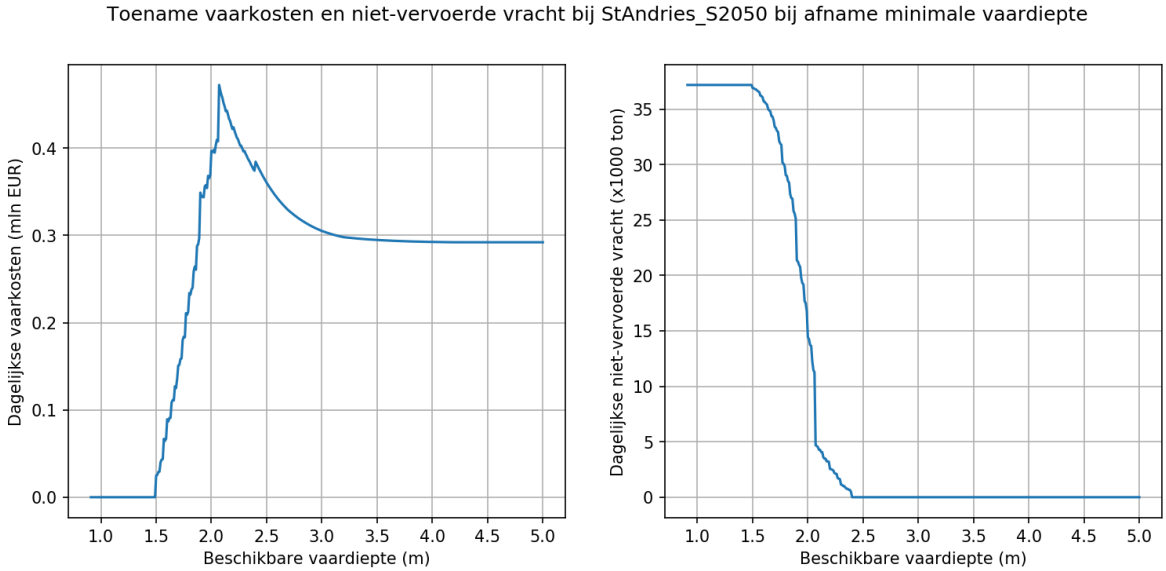
Figuur B.6.5 Vaarkosten en niet-vervoerde vracht in de eenvoudige scheepvaartrelatie van St. Andries (REF2017)

B.4 Eenvoudige scheepvaartrelaties S2050

Op gelijke wijze kan een eenvoudige scheepvaartrelatie worden afgeleid voor S2050 bij Nijmegen en St. Andries.



Figuur B.6.6 Vaarkosten en niet-vervoerde vracht in de eenvoudige scheepvaartrelatie van Nijmegen (S2050)



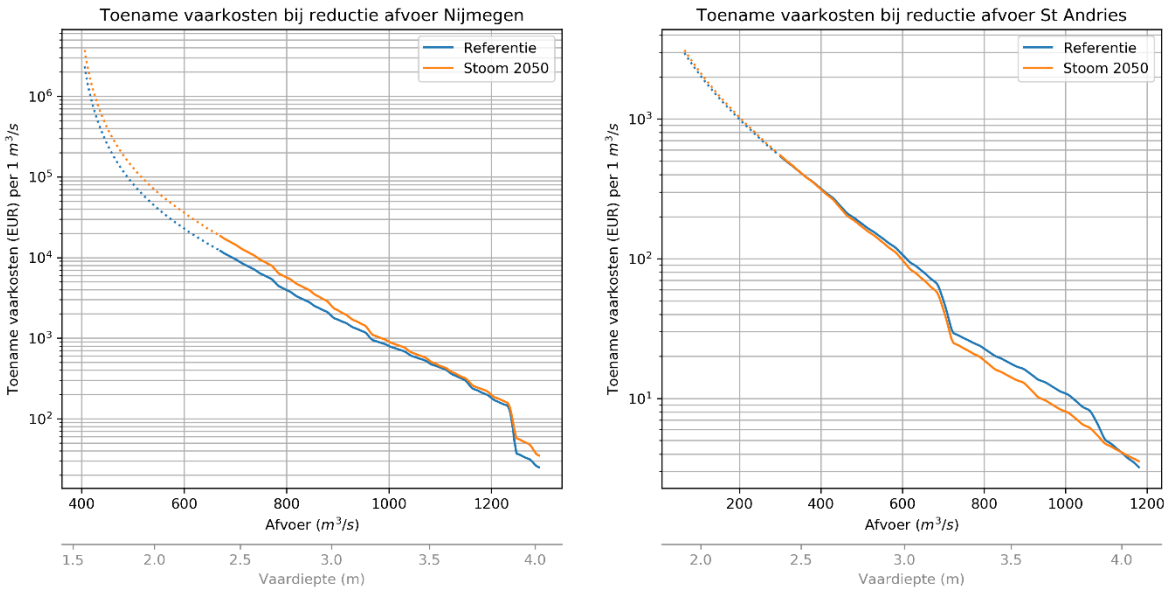
Figuur B.6.7 Vaarkosten en niet-vervoerde vracht in de eenvoudige scheepvaartrelatie van St. Andries (S2050)

B.5 Samenvatting, conclusies en aanbevelingen

Er is een eenvoudige scheepvaart schaderelatie afgeleid voor scheepvaart over de corridor Rotterdam – Lobith. Op deze corridor wordt het grootste deel van de vaarkosten in Nederland gemaakt. Op deze corridor is naar twee punten gekeken: Nijmegen en St. Andries.

Voor de eenvoudige scheepvaart-schaderelatie is uit het scheepvaartmodel BIVAS gehaald hoeveel transport er van welke schepen over de knelpunten in deze corridor gaat. Vervolgens is gekeken hoe waterdiepte de laadcapaciteit van deze schepen beïnvloedt, tot het punt dat lading helemaal niet meer vervoerd wordt omdat er maar een te klein deel van de lading per keer kan worden vervoerd. Relaties hiervoor zijn gekoppeld aan een afgeleide Q-VD (Afvoer-vaardiepte) relatie voor de Waal.

Deze resultaten van de 4 eenvoudige scheepvaartrelaties en Q-VD-relaties zijn samengevat in Figuur B.8, waarbij voor iedere afvoer en vaardiepte direct de kosten of winst van 1 m^3/s bij Nijmegen of St. Andries valt af te lezen. Een beschrijving hiervan is te vinden in Bijlage C van (Jong, 2019a).



Figuur B.8 Toename vaarkosten bij een afvoerreductie van 1 m^3/s bij knelpunt Nijmegen (links) en St. Andries (rechts). De figuur is ook toe te passen bij een afvoertoename door de y-as te lezen als een afname van de vaarkosten in dat geval. Onder de afvoer-as is op basis van de Q-VD-relatie de vaardiepte bij deze lokale afvoeren gegeven. De doorgetrokken lijn geven de resultaten van de eenvoudige scheepvaartrelatie, de stippellijn is de situatie die zou ontstaan als er geen maximale ladingreductie wordt gehanteerd.

Conclusies

De onderstaande conclusies zijn getrokken uit de eenvoudige relatie. Alle conclusies zijn te onderbouwen met Figuur B.8.

- Het knelpunt bij Nijmegen is volgens de Basisprognose-resultaten het maatgevende knelpunt voor de corridor Rotterdam-Lobith. Voor alle scheepvaart op deze corridor telt voor de aflaaddiepte enkel dit knelpunt. Scheepvaart die wel St. Andries passeert maar vervolgens niet naar Nijmegen gaat, wordt verwacht af te laden op St. Andries.
- Het knelpunt St. Andries ligt verder benedenstrooms op de rivier dan Nijmegen. St. Andries kan hierdoor profiteren van de opstuwing vanuit zee waardoor de (daggemiddelde) vaardiepte hier bij droge perioden veel groter is dan bij Nijmegen.

- Beide voorgaande bullets resulteren in een groot verschil in kosten tussen Nijmegen en St. Andries van een ruime factor 100. *Voorbeeld: Een verlies van 1 m^3/s bij 600 m^3/s doet de kosten toenemen voor ongeveer €20.000 van de scheepvaart over Nijmegen en €100 voor de scheepvaart over St. Andries. Het totale effect van deze maatregel is €20.100.*
- De eenvoudige scheepvaartrelatie toont duidelijk hoe voor de scheepvaart de kosten meer dan exponentieel toenemen bij afnemende beschikbare afvoer en vaardiepte. Hierdoor is bij een zeer droge situatie het verlies van 1 m^3/s veel duurder dan in een minder droge situatie. Door klimaatverandering komen lage afvoeren vaker voor en kunnen bovendien lager zijn dan de huidige situatie. Dit geeft een grote verandering op de toename in de vaarkosten.
- De schade door scheepvaart wordt in 2050 ook bij gelijke afvoer groter dan in de huidige situatie. Dit wordt veroorzaakt doordat er een grote toename van het vaarweggebruik wordt verwacht bij grote economische groei.

Aanbevelingen

Voor het komen tot de eenvoudige relatie zijn diverse aannames en vereenvoudigingen uitgevoerd. Ook is na het opstellen van de relaties een verdere analyse en vergelijking met de MSc thesis van Flierman (2017) uitgevoerd. Vele aanbevelingen en inzichten zijn in de rapportage langs gekomen, hier wordt volstaan met de belangrijksten.

- De opbouw van de vaarkosten van de schepen kan verder aangescherpt worden. Zowel de kosten van meer lege schepen, als een betere afhandeling van de vaste vaarkosten geeft een verbetering van de kosten (zie Bijlage B.2). Het eerste punt geeft een toename van de kosten door droogte, het tweede punt een afname.
- Binnen de eenvoudige relatie wordt gebruik gemaakt van een uniforme waarde voor de ledige diepgang. Hier kan meer variatie aan worden toegevoegd voor verschillende scheepvaartklassen of er kan ook overgestapt worden op de TPMCI. De beste methode dient nader onderzocht te worden.
- De Q-VD-relatie is gebaseerd op LSM2BIVAS, de koppelmodule tussen het Landelijk Sobek Model (LSM) en het scheepvaartmodel BIVAS. Dit is een 1D afhandeling van LSM data, welke vervolgens gekalibreerd is om accurate vaardieptes af te geven voor de BIVAS berekeningen. Het wordt aanbevolen een betere Q-VD-relatie op te stellen voor zowel Nijmegen als St. Andries op basis van meer accurate modellen en/of metingen.
- In deze verkenning is het effect van de autonome trend in bodemverandering buiten beschouwing gelaten. Het wordt aanbevolen deze trend verder te kwantificeren en zo nodig in de berekeningen mee te nemen.

C Eenvoudige schaderelatie droogteschade landbouw

C.1 Inleiding

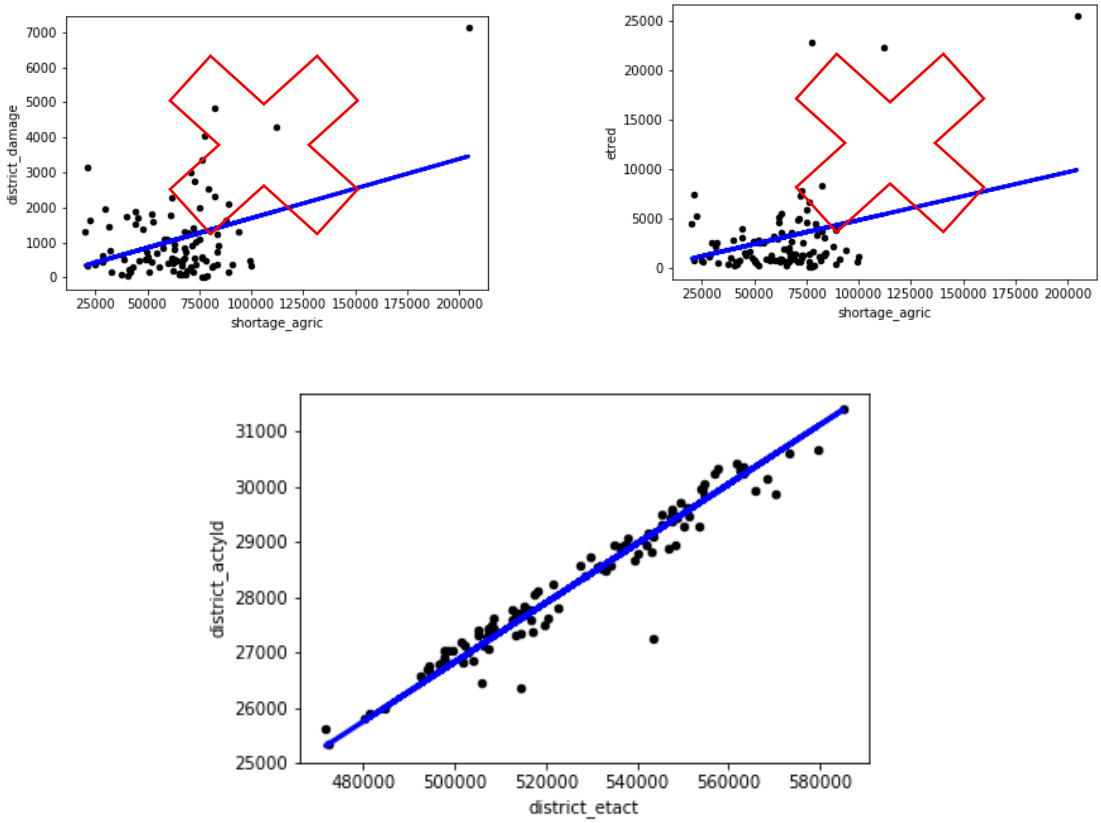
QWAST is een op RTC-Tools softwarepakket gebaseerd water distributie model voor het Nederlands oppervlaktewater. Het QWAST netwerk is gebaseerd op het Distributiemodel van het Nationaal Watermodel (NWM), en voor watervraag invoer gebruikt het door NWM berekende vragen. Agricom is een effectmodule dat uitvoer van het onverzadigde zonemodel Metaswap in het NWM neemt, en het samenvoegt met gewasinformatie om gewasschades te berekenen.

Het doel is om effect op gewasschade te berekenen op basis van QWAST modelresultaten. Hiervoor zijn schaderelaties opgesteld op basis van bestaande 100 jarige NWM en Agricom berekeningen. In dit document is beschreven hoe deze relaties zijn afgeleid, en hoe ze kunnen toegepast. Het afleiden en toepassen van de relaties zijn beide vastgelegd in Python scripts, respectievelijk *schaderelatie_derive.py* en *schaderelatie_apply.py*.

C.2 Relaties

Aangezien QWAST veel minder data produceert dan Agricom verwacht, kunnen we niet direct landbouwschades berekenen op basis van QWAST resultaten. QWAST referentiesommen zijn gebaseerd op NWM sommen, waarvan Agricom resultaten beschikbaar zijn. De voornaamste QWAST uitvoer die effect zal hebben op de landbouwschades is de oppervlaktewaterberegening.

Eerst probeerden we de oppervlaktewater beregeningstekorten van NWM direct te relateren aan gewasschades van Agricom. Dit was echter zonder succes, aangezien het verband niet sterk genoeg bleek. Waarschijnlijk zijn er te veel andere processen die hier invloed op hebben om een eenduidige relatie te laten zien. Om een minder grote stap te maken hebben we ook nog de oppervlaktewater beregeningstekorten aan de verdampingsreductie gerelateerd, maar ook hier was het verband niet duidelijk genoeg. Hieronder staan de figuren voor het district Midden Delfland.



Figuur C.1 Relaties die onderzocht zijn om de QWAST schaderelaties op te baseren. Dit zijn resultaten van 100 jarige NWM/Agricom berekeningen voor district Midden Delfland. Linksboven de relatie tussen het oppervlaktewater beregeningstekort en de opgetreden droogteschade, rechtsboven de relatie tussen het oppervlaktewater beregeningstekort en de opgetreden gewasverdampingsreductie. Onder de relatie tussen de actuele gewasverdamping en de opbrengst (in Euro's).

De relatie tussen actuele verdamping en gewasopbrengst was veel duidelijker. Dit kunnen we ook gebruiken om onze schaderelaties te leggen, volgens deze stappen:

1. QWAST doet berekeningen met en zonder maatregelen, die tot een verschil in oppervlaktewater beregeningstekorten leiden.
2. Via een beregeningsefficiëntie van 40% (van Bakel & Mulder, 2019) wordt dit beregeningswater omgezet in een verhoogde verdamping.
3. De helling in de verdamping – gewasopbrengst relatie kan dan gebruikt worden om het effect van de maatregel op de gewasopbrengst te kwantificeren.
4. Meer beregening leidt ook tot grotere beregeningskosten, via de variabele arbeids- en energiekosten:

    Arbeidskosten: 0.50 Euro mm^{-1} ha^{-1}

    Energiekosten: 1.56 Euro mm^{-1} ha^{-1}

    Deze getallen zijn een verdubbeling van de bestaande Agricom getallen (Mulder & Veldhuizen, 2016) op basis van overleg met Stijn Reinhard van Wageningen Economic Research, naar aanleiding van (Reinhard, 2019).

Deze relaties worden op jaarbasis afgeleid en toegepast. Ook worden uit het NWM alleen districten meegenomen die voor het grootste deel wateraanvoer kennen, en daarbinnen alleen cellen die beregend worden met oppervlaktewater. De overige cellen kunnen door QWAST maatregelen niet beïnvloed worden en moeten daarom niet meegenomen worden in het afleiden van de relaties.

In DPZW fase 1 is ook een eenvoudige relatie gelegd tussen optredende beregeningstekorten en landbouwschade (Baarse, 2012). Deze relatie verliep via een bijgehouden gemiddelde vochtbalans van de wortelzone, waarin transpiratie van het gewas werd bijgehouden en de beregeningsbehoefte werd bepaald. De berekende beregeningsbehoefte werd via calibratie afgeregeld op de met het toenmalige NHI berekende beregeningsbehoefte. Droogteschade werd vervolgens bepaald aan de hand van vaste opbrengsten per gewas per hectare. De hier ontwikkelde relatie is eenvoudiger van opzet, en sluit directer aan bij de uit QWAST verkregen gegevens.

C.3 Gebruik

C.3.1 Relaties afleiden – schaderelatie_derive.py

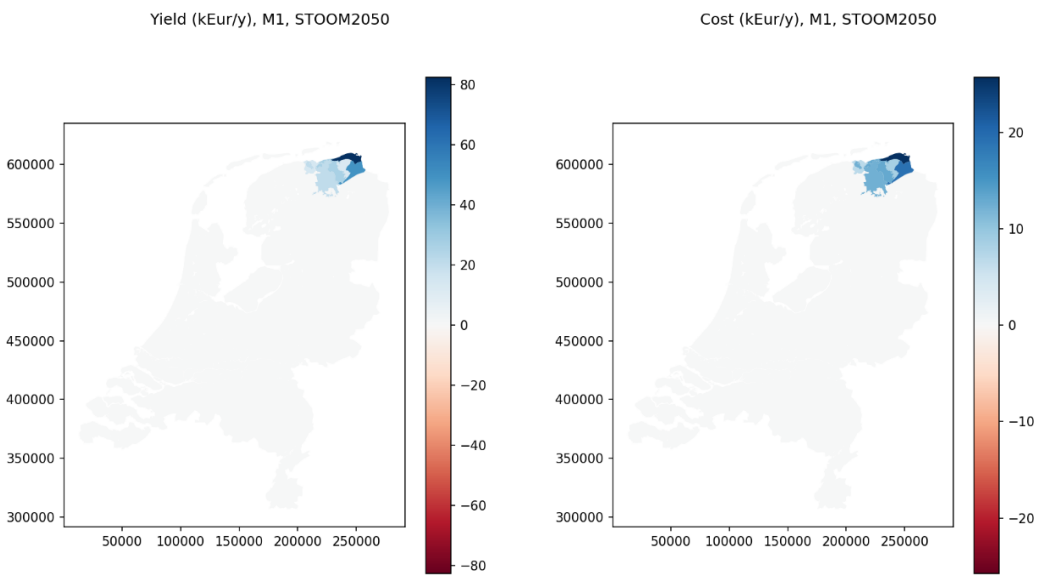
De relaties zijn afgeleid op basis van de 100 jarige NWM basisprognoses uit 2018. Voor de klimaat-/socio-economische scenario's Referentie2017 en Stoom2050 zijn aparte relaties afgeleid. Op basis van de jaarlijkse "etact" actuele verdamping en "actual yield" actuele gewasopbrengst grids die Agricom in- en uitgaan, worden alle relevante gebieden geselecteerd zoals hierboven beschreven, en wordt per district een relatie afgeleid op basis van alle jaren voor dat district. De relatie, inclusief R^2 en scatter plot met fit, wordt uitgevoerd.

C.3.2 Relaties toepassen – schaderelatie_apply.py

Om de afgeleide relaties direct toe te passen op QWAST resultaten is een los script gemaakt. Deze leest de QWAST CSV resultaten voor beregeningstekort op districtsniveau, voor een maatregel en bijbehorende referentiesom. QWAST berekeningsresultaten op het niveau van zoetwaterregio's zijn hiervoor binnen QWAST neergeschaald naar de districten, rekening houdend met de watervragen uit de districten en de geldende prioriteitsstelling. Het verschil in beregeningstekort wordt berekend, en op basis daarvan en de relaties, komen er per district per jaar twee getallen uit, allebei in Euro.

- Ten eerste de "yields" oftewel het aantal Euro's aan gewasopbrengst dat de maatregel veroorzaakt. Als de maatregel grotere beregeningstekorten veroorzaakt kan dat getal dus negatief zijn, omdat de gewasopbrengst dan omlaag gaat.
- Ten tweede de "costs" oftewel het aantal Euro's aan extra variabele beregeningskosten dat de maatregel veroorzaakt. Als een maatregel het beregeningstekort vermindert, wordt er meer beregend, dus zijn de kosten hoger, wat een positief getal geeft.

Naast de districtsuitvoer worden de resultaten ook verder geaggregeerd tot de zoetwater regio's.



Figuur C.2 Voorbeeld uitvoer van de schaderelaties op de kaart. Gewasopbrengst (links) en extra beregeningskosten (rechts) per district voor Maatregel 1 op basis van het Stoom2050 scenario.

D Toename van pomp en vaarkosten door droogte bij Maasbracht en Born

Hieronder is de volgende memo integraal opgenomen:

Jong, J. de, 2019. Toename van pomp- en vaarkosten door droogte bij Maasbracht en Born in het huidige en toekomstige klimaat en het effect van maatregelen 14a, 14b en 14c hierop., Deltares memo 11203734-012-ZWS-0005. Delft.

In een droge periode ondervindt de scheepvaart problemen doordat er onvoldoende water beschikbaar is om zorgeloos te kunnen schutten. Er kan besloten worden om het aantal schuttingen te beperken door gebruik te maken van een andere schutstrategie (bijvoorbeeld alleen schutten met volle sluiskolken) of door gebruik te maken van spaarbekkens of hevelend schutten waardoor er minder schutverlies is. Bij beide methoden neemt de schuttijd voor de schepen toe en daardoor ook de vaarkosten.

Als derde methode kan besloten worden om het schutverlies te compenseren door pompen te installeren bij de schutsluis. Water wordt van de benedenstroomse zijde naar de bovenstroomse zijde van de sluiskolk gepompt waardoor bij voldoende pompcapaciteit het effectieve schutdebiet tot 0 m^3/s gereduceerd kan worden.

In dit memo wordt onderzocht wat het verschil is tussen het beschikbare debiet op het Julianakanaal en het benodigde debiet voor het schutproces. Om een tekort aan afvoer te compenseren worden diverse scenario's van laagwaterbeleid (en maatregelen) doorgerekend waarbij een deel van het afvoertekort wordt opgevangen door te pompen en een deel door zuiniger te schutten.

Uit de resultaten volgt voor ieder klimaatscenario en laagwaterbeleid hoeveel kosten er gemaakt worden aan pompen en door toename van de wachttijden van de scheepvaart.

D.1 Methodiek

D.1.1 Afbakening

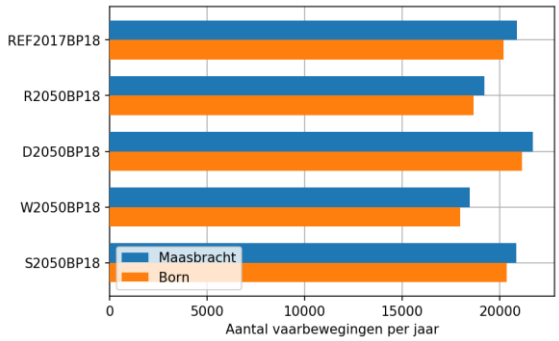
Er wordt enkel gekeken naar de pompen bij Born (4 pompen) en Maasbracht (3 pompen). De pompen naar het Kanaal Wessem-Nederweert bij sluis Panheel worden niet meegenomen. Pompcapaciteit van de Born is 12 m^3/s en bij Maasbracht 9 m^3/s. Ondanks watertekorten zijn momenteel bij sluis Heel geen pompen aanwezig.

Voor het bepalen van veel gegevens van sluizen zijn uitgebreide metingen of modelstudies nodig. In dit memo wordt veel voortgebouwd op de bevindingen van Bolt (2003). In Bolt wordt echter op veel plekken nog gerekend met een verouderde infrastructuur. Er is zo goed mogelijk gebruik gemaakt van de resultaten uit Bolt om toch geldig te zijn voor de huidige situatie.

D.1.2 Bepaling optimale schutdebiet

De basis van het onderzoek bestaat uit een minimale afvoer die beschikbaar moet zijn voor het ongehinderde schutproces. Hiervoor is het aantal vaarbewegingen van belang. Op basis van de BIVAS-resultaten van de Basisprognoses 2018, is achterhaald hoeveel scheepvaart de sluizen van Maasbracht en Born passeert. Uit onderstaande figuur blijkt dat er meer scheepvaart gaat over Maasbracht dan over Born doordat havens tussen beide sluiscomplexen worden aangedaan.

Daarnaast zijn de effecten van economische groei (zowel WLO2050_Laag als WLO2050_Hoog) zichtbaar in de figuur. In tegenstelling tot de grote veranderingen op de Waal zijn er echter de Maas maar kleine veranderingen: Een toename van 5% bij hoge economische groei, en een afname van 5% bij lage economische groei. Daarnaast is in de figuur ook zichtbaar dat zelfs in het natte jaar 1916 de scheepvaart beïnvloed wordt waardoor er verschillen door grote of matige klimaatverandering zichtbaar zijn tussen Rust en Warm en tussen Stoom en Druk.



Figuur D.1 Vaarbewegingen in BIVAS resultaten van het natte jaar 1916 voor de 5 deltascenario's

Vanwege de kleine variatie tussen de deltascenario's wordt voor het benodigde schutdebiet in alle scenario's dezelfde waarde gehanteerd. Bij gebrek aan recentere informatie wordt hiervoor gebruik gemaakt van de bevindingen in Bolt (2003) voor het destijds huidige scenario (het toekomstige scenario is een overschatting).

- Maasbracht: 17.2 m^3/s
- Born: 15.4 m^3/s

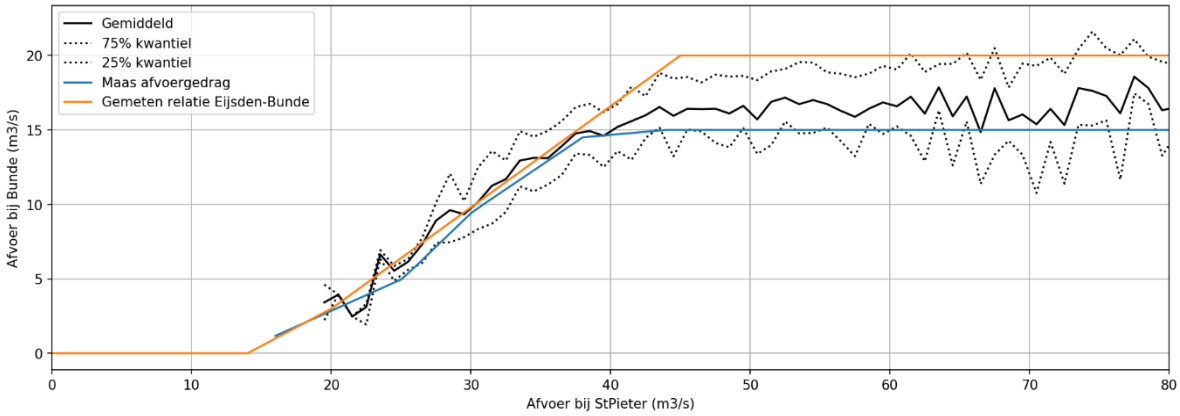
Deze afvoer komt ook overeen met metingen van de afvoer door het Julianakanaal in een periode met voldoende waterbeschikbaarheid.

D.1.3 Bepaling afvoertekort

Omdat in de resultaten van het Nationaal Water Model (in dit geval: Landelijk SOBEK Model) de afvoer door het Julianakanaal niet goed zit verwerkt, wordt voor het bepalen van de waterbeschikbaarheid van het Julianakanaal gebruik gemaakt van een relatie van de gemeten afvoer bij St. Pieter met de gemeten afvoer bij Bunde (Julianakanaal). In onderstaande figuur is op basis van metingen de gemiddelde relatie en de 25% en 75 kwantielen bepaald. Uit de resultaten blijkt een duidelijke relatie tussen de Maas-afvoer en de beschikbare afvoer voor scheepvaart op het Julianakanaal.

Als benadering voor deze relatie is in eerste instantie gekeken naar het Maas-afvoergedrag (blauw). Deze lijkt echter een onderschatting te geven van de praktijk, biedt ook bij hoge Maas-afvoer onvoldoende afvoer voor het Julianakanaal, en is niet geëxtrapoleerd voor zeer lage Maas-

afvoeren. Er wordt gebruik gemaakt van een licht aangepaste versie van het afvoergedrag, waarin op deze onderdelen aanpassingen zitten.



Figuur D.2 Gemeten relatie tussen afvoer bij StPieter en bij Bunde in vergelijking met het Maas-afvoergedrag (blauw) en de gebruikte aangepaste versie hiervan (oranje).

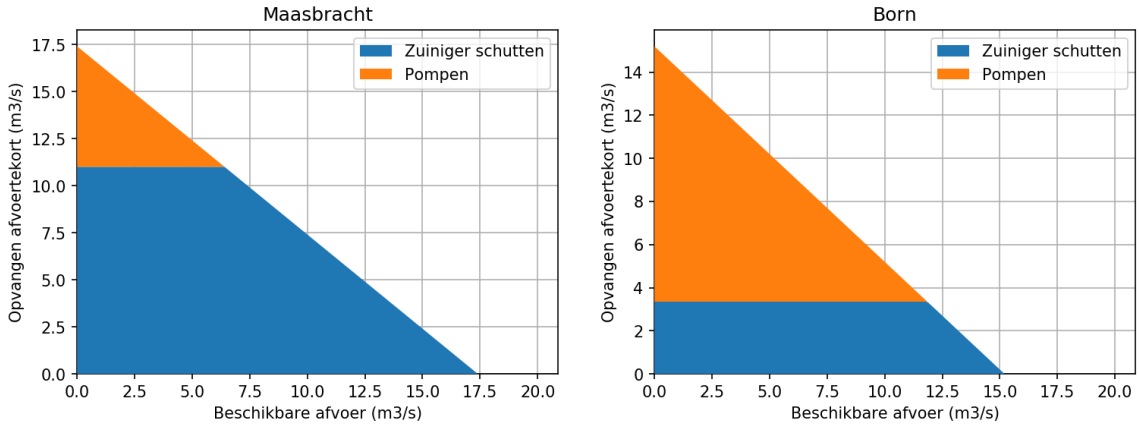
Tabel D.1 Aangepaste versie Maas-afvoergedrag.

Maas-afvoer bij StPieter	Afvoer beschikbaar voor Julianakanaal
14	0
20	3
45	20

D.1.4 Laagwaterbeleid

Registraties van de momenten waarop hevelend schutten en schutstrategieën worden ingezet zijn niet bekend. In Bolt (2003) werd echter geconcludeerd dat in de (toen gerapporteerde) huidige situatie vaak volledig gepompt werd zolang dat mogelijk was en alleen als dit onvoldoende is voor het schutbedrijf, wordt overgegaan op aanvullende maatregelen als hevelend schutten en beperkt/zuinig schutten.

Voor het doorrekenen van de verschillende scenario's van het laagwaterbeleid, wordt uitgegaan van het verschil tussen beschikbare afvoer en benodigde afvoer. Het verschil hiertussen kan opgevangen worden zuiniger schutten of door de inzet van pompen. Ieder laagwaterbeleid valt daardoor te visualiseren als onderstaande figuur. In dit voorbeeld wordt altijd maximaal bezuinigd op het schutten en worden de pompen enkel ingezet als dit niet anders kan.



Figuur D.3 Voorbeeld van laagwaterbeleid "maximaal zuinig".

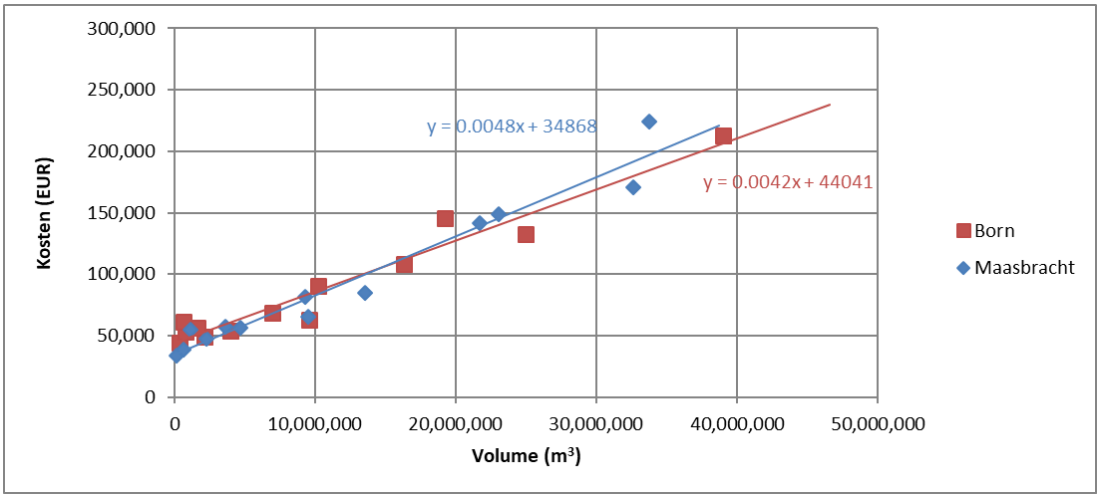
D.1.5 Pompkosten

Op basis van de geleverde pompkosten in 2003 tot 2017 kan ook een schatting gemaakt worden van de functie uit het totale pompvolume. Hierbij wordt niet meegenomen dat er sprake is van een jaarlijkse prijsverhoging, verandering in beheer en onderhoud, of dat de kosten door andere factoren worden beïnvloed.

In Figuur D.4 is het pompvolume uitgezet tegen de kosten[3]. Hieruit zijn twee regressies opgesteld als functie van deel vaste kosten, en variabele kosten naar het pompvolume *V*:

Pompkosten Born: 44041 € + V * 0.0042 €/m^3
Pompkosten Maasbracht: 34868 € + V * 0.0048 €/m^3

In de beoordeling van de maatregelen worden de vaste kosten niet meegenomen en wordt enkel gerekend met de variabele pompkosten.



Figuur D.4 Lineaire regressie van pompvolume met de pompkosten

D.1.6 Kosten door toename wachttijden

Voor de toename van wachttijden bij zuiniger schutten zijn resultaten uit Bolt (2003) gebruikt. Hiervoor zijn vele SIVAK-berekeningen gedraaid om te bepalen hoe de gemiddelde wachttijd reageert. In hoofdlijnen is hieruit de volgende informatie ontleedt. Nauwkeurige SIVAK-berekeningen van de huidige situatie zijn nodig om dit in meer detail te bepalen.

Tabel D.2 Toename in de wachttijd door zuiniger schutten bij Maasbracht (links) en Born (rechts). Op basis van Figuur 11 en Figuur 10 uit Bolt (2003).

Maasbracht		Born	
Zuiniger schutten (m3/s)	Toename wachttijd (min)	Zuiniger schutten (m3/s)	Toename wachttijd (min)
0	0	0	0
4	15	3	10
8	35	4	16
12	60	5	29

[3] In de sheet (RWS, 2018) staat de schatting van Sander Bastings als € 56,000 voor Born en € 50,000 voor Maasbracht. Omdat dit niet overeenkomt met de gegeven totale kosten wordt dit niet verder gebruikt.

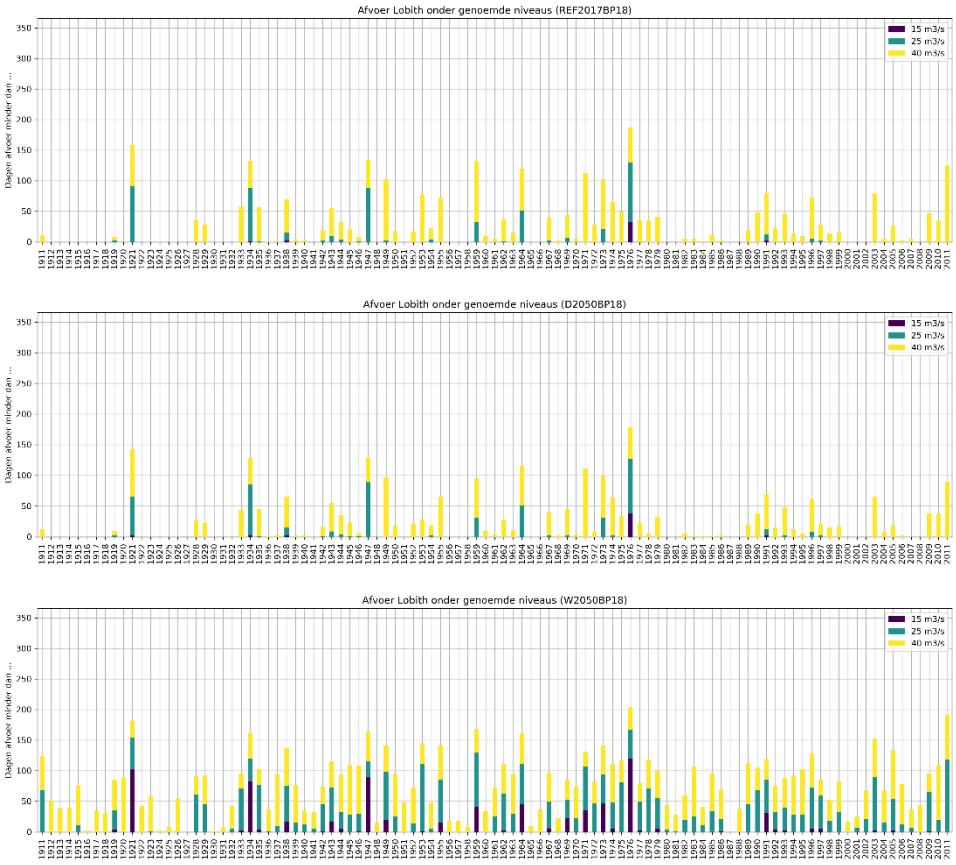
Ook voor de kosten van de wachttijd wordt uitgegaan van Bolt (2003) waarin de wachtkosten voor 25% bestaan uit de vaarkosten en voor 75% uit de ligkosten. Omdat door Bolt uitgegaan wordt van kosten voor verschillende klassen, worden deze gewogen naar de gemeten scheepspassages bij Sluis Maasbracht. Daarnaast worden de kosten gecorrigeerd naar prijspeil 2018[4]. De gemiddelde kosten voor de gehele vloot komen daardoor uit op 189 €/uur. In het vervolg van deze rapportage wordt dit afgerond naar 200 €/uur.

D.2 Resultaten klimaatscenario's

D.2.1 Waterbeschikbaarheid Eijsden

Als eerste applicatie van de beschreven methodiek wordt het effect van klimaatveranderingen op de pomp- en wachttijdkosten bepaald. Omdat economische groei geen invloed heeft op de afvoer bij Eijsden, wordt enkel gekeken naar Druk (matige klimaatverandering) en Stoom (grote klimaatverandering. Deze resultaten zijn identiek aan respectievelijk Rust en Warm.

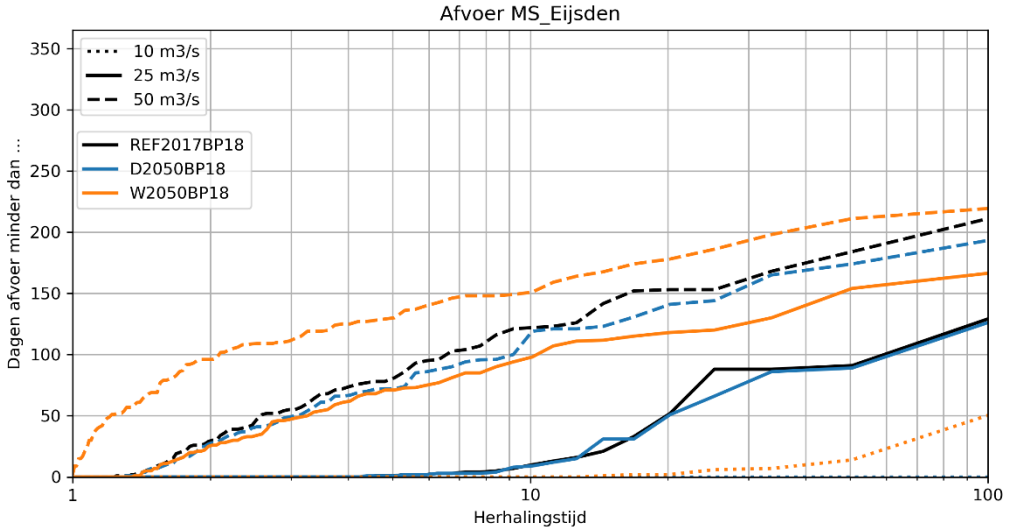
In onderstaande figuur is een beschrijving gegeven van de afvoer bij Eijsden in de Referentie, Druk en Stoom. Voor ieder jaar in de 100-jarige reeks is berekend hoe vaak de gegeven afvoer is onderschreden. Uit de figuur blijkt de grote variatie tussen een droog jaar (bijv.: 1976 of 1921) en een nat jaar (bijv.: 1916 of 1987). Het valt op dat matige klimaatverandering er weinig veranderingen zijn, de waterbeschikbaarheid neemt zelf soms toe. Bij grote klimaatverandering is er echter een grote afname van de waterbeschikbaarheid.



Figuur D.5 Aantal dagen afvoeronderschrijding van zeer lage afvoeren bij Eijsden.

[4] In Bolt (2003) wordt al benoemd dat de correctie van prijspeil 1997 naar 2000 een toename van 10% betekent. Uitgaande van een jaarlijkse correctie van 3% voor de opvolgende jaren komt de totale correctie uit op een toename van 87%.

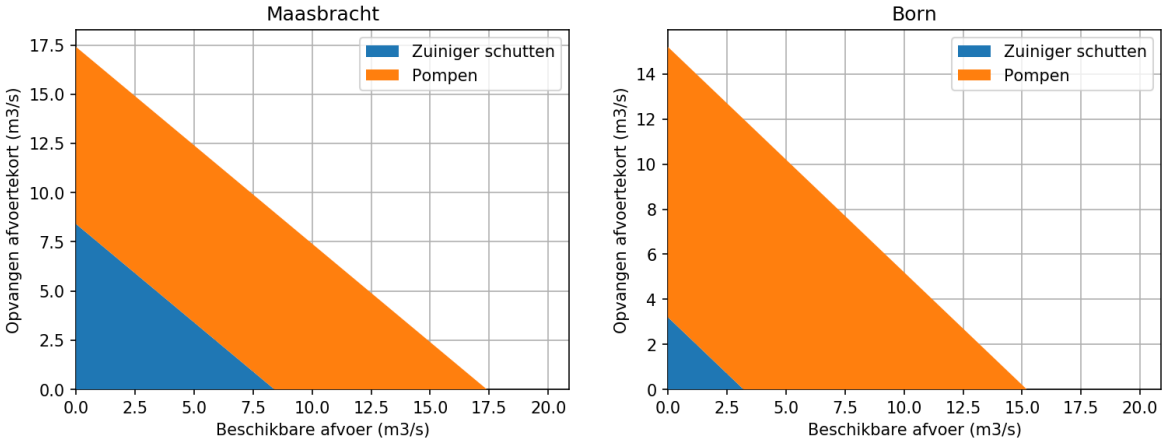
De resultaten zijn in onderstaande figuur nogmaals aangegeven als terugkeertijd (feitelijk is dit enkel een sortering van de jaren). Hieruit blijkt dat bij een droog jaar met een terugkeertijd van 10 jaar een afvoer van 25 m^3/s niet 10 dagen wordt onderschreden (REF), maar 100 dagen per jaar (STOOM). Een forse afname in waterbeschikbaarheid die ook grote consequenties heeft op het schutten op de Julianakanaal.



Figuur D.6 Herhalingstijd van afvoeronderschrijdingen bij Eijsden.

D.2.2 Laagwaterbeleid

De figuren hier gepresenteerd betreffen de schutstrategie maximaal pompen. Dit lijkt in overeenstemming te zijn met de praktijk. Zuiniger schutten wordt pas ingezet als dit noodzakelijk is omdat de pompcapaciteit niet toereikend is.



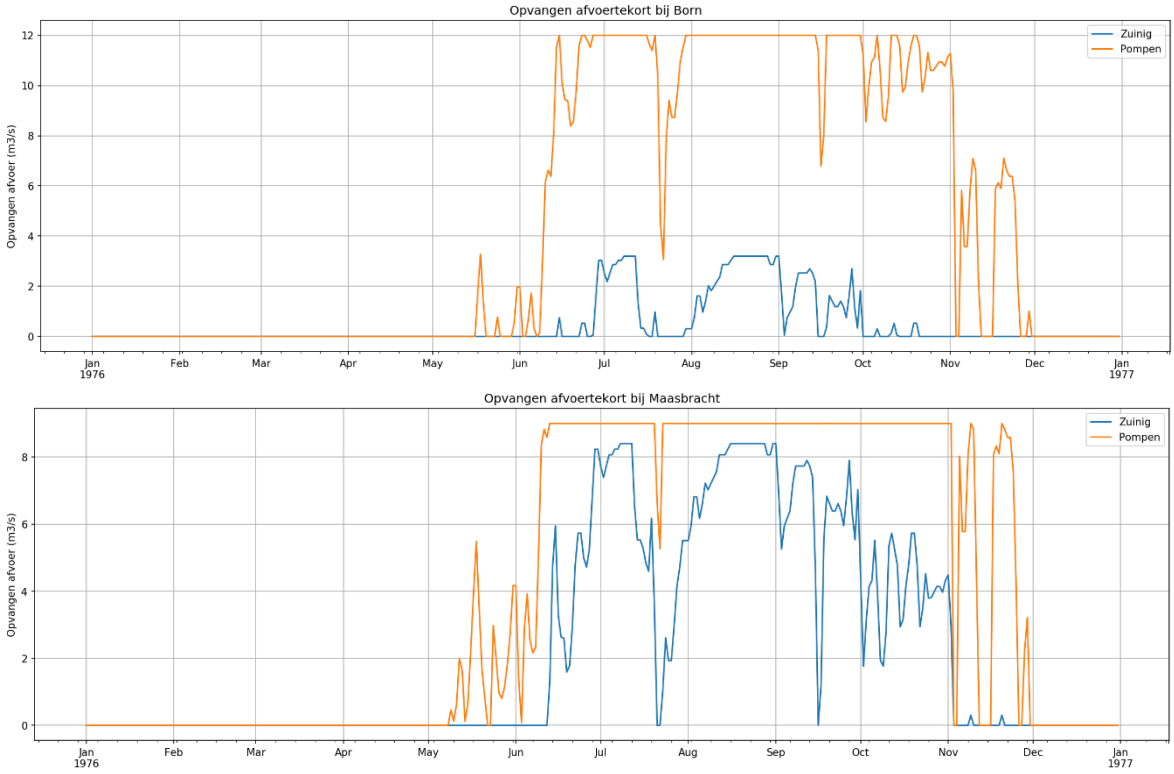
Figuur D.7 Gehanteerd laagwaterbeleid.

D.2.3 Resultaten Referentie

Van de referentie worden hier in een aantal tussen de resultaten gepresenteerd. Eerst wordt gekeken naar het afvoertekort, dan de consequenties voor de wachttijden, en ten slotte de toename van de kosten.

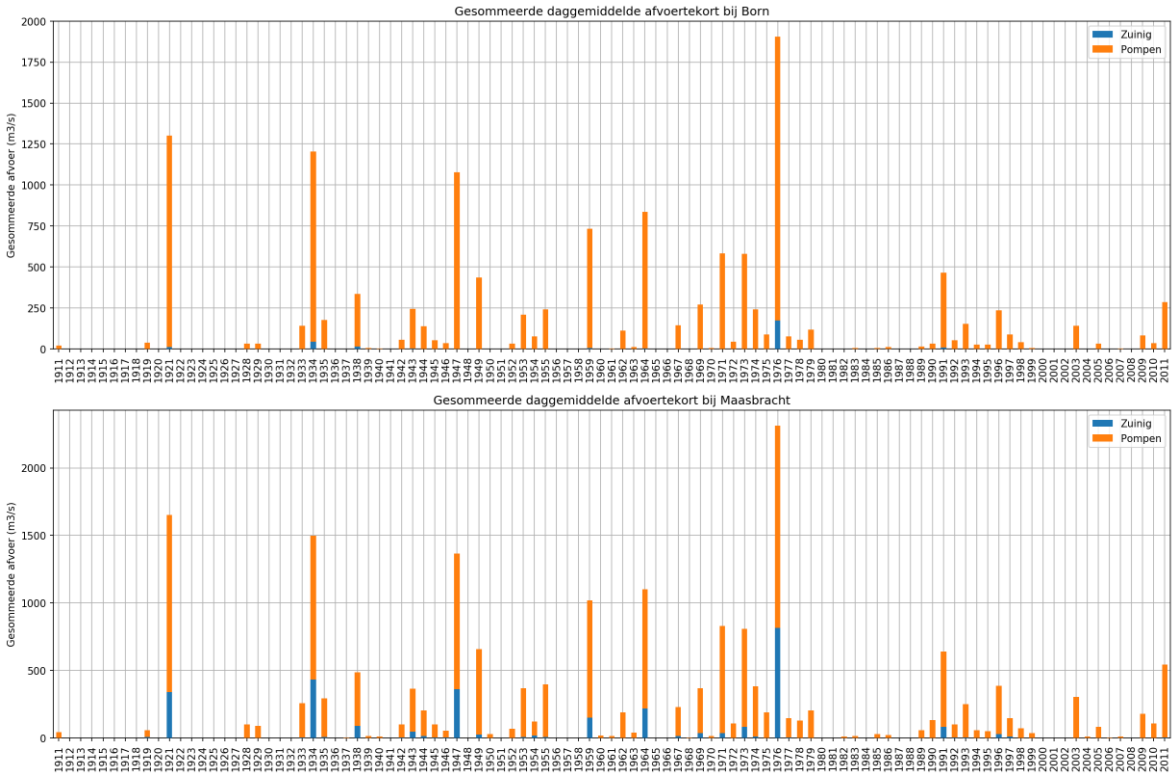
D.2.3.1. Afvoertekort

In onderstaande figuur is het gemiddelde afvoertekort per dag weergegeven voor het zeer droge hydrologische jaar 1976. Uit de figuren blijkt gedurende een groot deel van het jaar de maximale pompcapaciteit te worden ingezet bij beide schutcomplexen. Met name bij Maasbracht moet echter ook al veel afvoertekort worden opgevangen met zuiniger schutten.



Figuur D.8 Het aandeel van het afvoertekort dat in hydrologisch jaar 1976 wordt opgevangen met zuinig schutten of met pompen bij Born en Maasbracht.

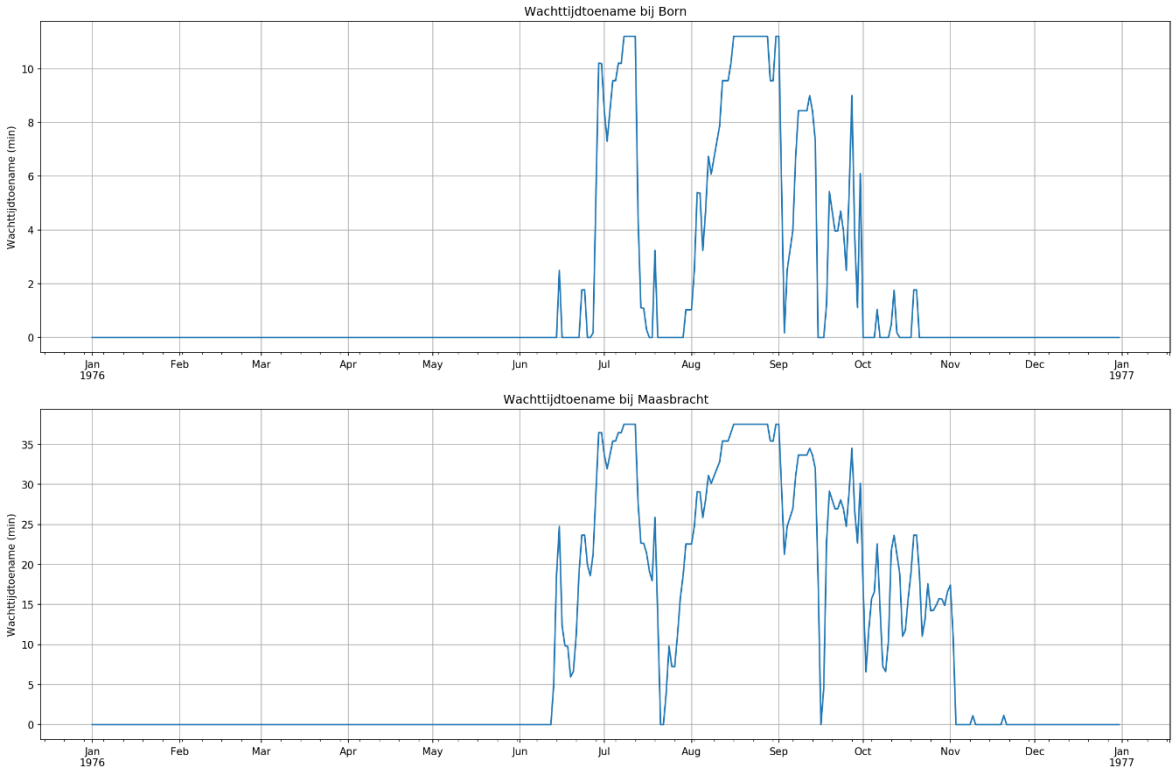
Plaatsen we dit zeer droge jaar in de volledige reeks, dan blijkt het ook in het totale afvoertekort een grote uitschieter te zijn. In de meeste jaren is zuinig schutten vrijwel niet nodig.



Figuur D.9 Het totale gesommeerde daggemiddelde afvoertekort opgevangen met zuinig schutten of met pompen bij Born en Maasbracht.

D.2.3.2. Toename wachttijden

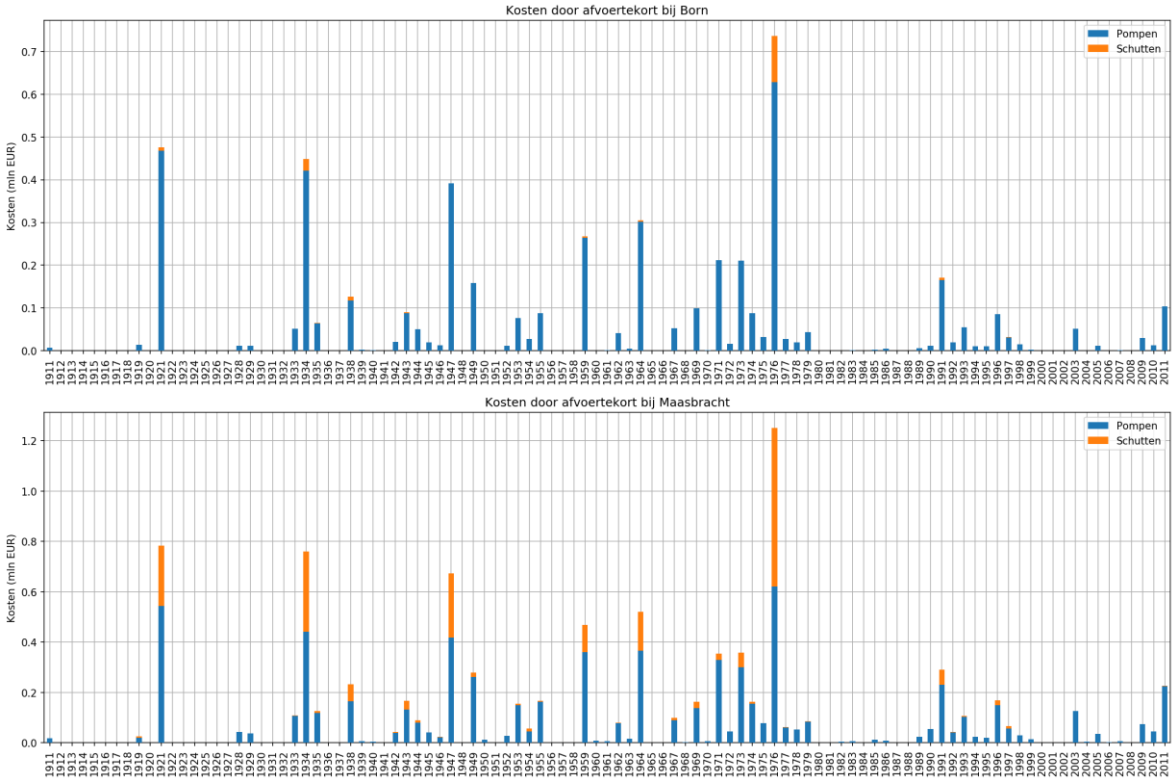
Het zuinige schutten bespaart afvoer, maar heeft consequenties op de wachttijden van de schepen. Bij Born zijn de consequenties beperkt tot 10 minuten, maar bij Maasbracht kosten het schepen gemiddeld ruim 30 minuten meer in de droge perioden.



Figuur D.10 De toename van wachttijden bij Born en Maasbracht doordat er zuiniger geschut wordt voor het hydrologisch jaar 1976

D.2.3.3. Toename kosten

De inzet van pompen en de toename van de wachttijden wordt ten slotte uitgedrukt in de totale kosten in een jaar. In onderstaande figuur blijkt dat 1976 bijna 1 miljoen euro kost voor Born en ruim 1 miljoen euro voor Maasbracht. Aan het einde van dit hoofdstuk worden de kosten gerelateerd aan terugkeertijden.

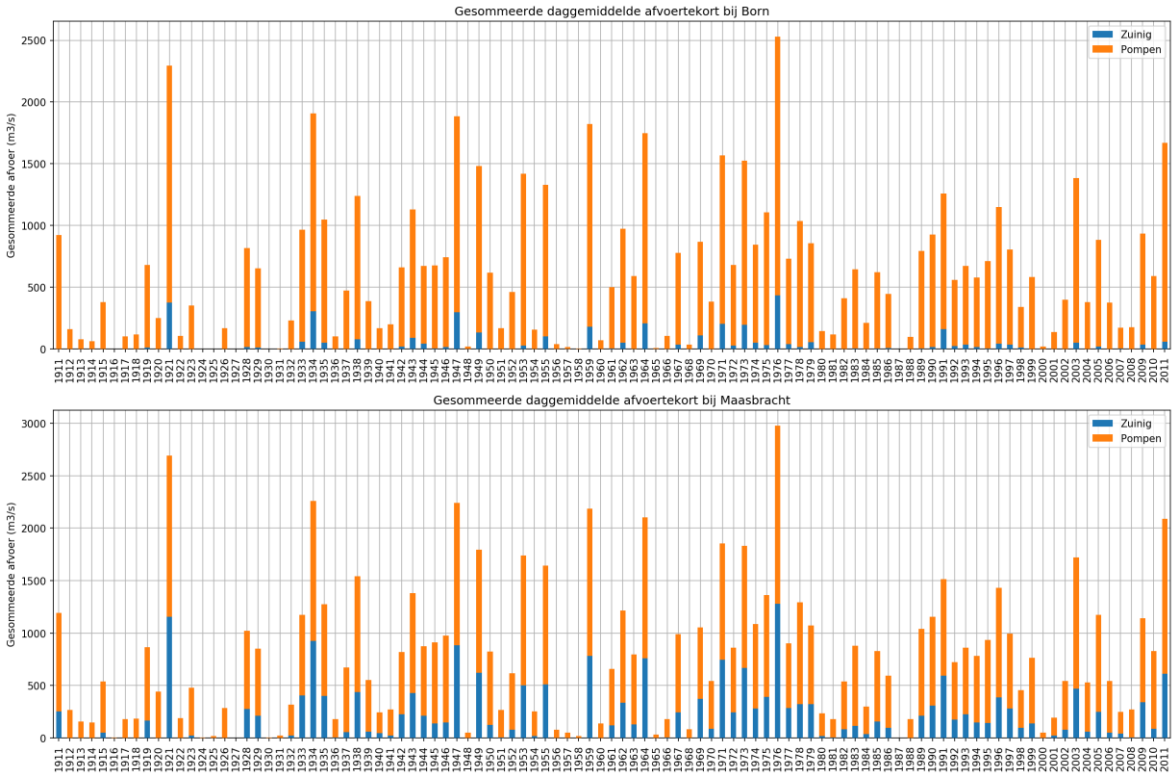


Figuur D.11 Jaarlijkse toename van de pomp- en wachtkosten door het gehanteerde laagwaterbeleid.

D.2.4 Resultaten Stoom

D.2.4.1. Afvoertekort

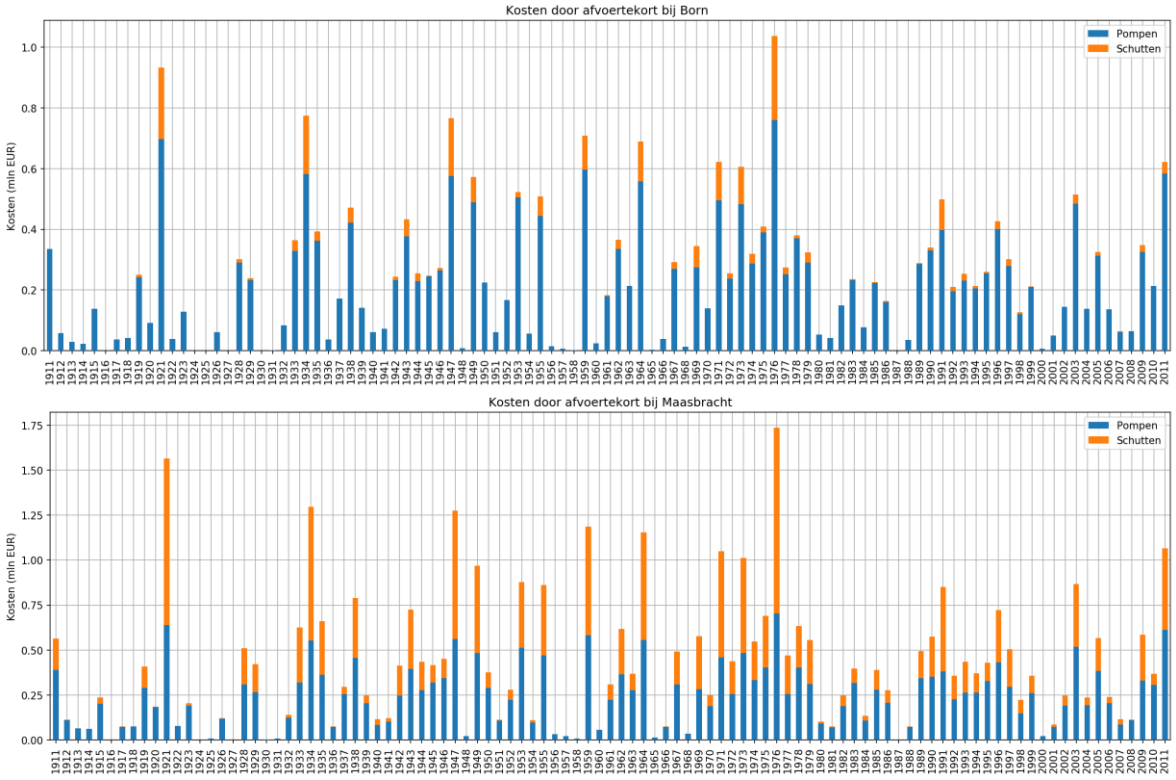
Het afvoertekort in scenario Stoom geeft een heel ander beeld dan de Referentie. Omdat nu in vrijwel ieder jaar wel een afvoertekort optreed, neemt de inzet van met name pompen significant toe.



Figuur D.12 Het totale gesommeerde daggemiddelde afvoertekort opgevangen met zuinig schutten of met pompen bij Born en Maasbracht in scenario Stoom

D.2.4.2. Toename kosten

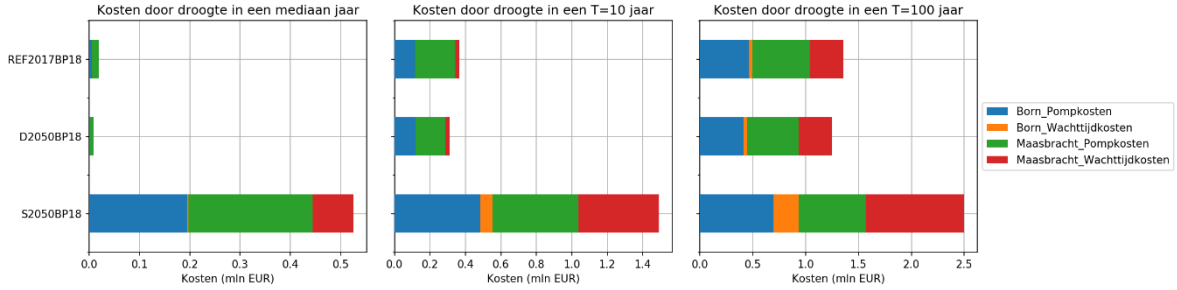
De grote toename in het afvoertekort zorgt ook voor veel grotere kosten. In onderstaande figuur is te lezen dat ook 1976 de kosten met ruim een kwart zijn toegenomen.



Figuur D.13 Jaarlijkse toename van de pomp- en wachtkosten door het gehanteerde laagwaterbeleid in scenario Stoom

D.2.5 Vergelijking scenario's en terugkeertijden

Als samenvattende figuur is in onderstaande figuur de kosten van droogte in een scenario gekoppeld aan een terugkeertijd van respectievelijk 2 (mediaan), 10 en 100 jaar. Uit deze figuur blijkt het grote verschil in kosten tussen een mediaan en een droog jaar of extreem droog jaar (respectievelijk een factor van 10 en 40). Ook is duidelijk dat in scenario Stoom de kosten in een mediaan jaar significant toenemen tot ruim 0.5 miljoen euro, het verschil met een droog of extreem droog jaar is echter minder groot (een factor 3 tot 5). Bij matige klimaatverandering nemen de kosten af.



Figuur D.14 Kosten door droogte in jaren met een terugkeertijd van 2, 10 en 100 jaar.

D.2.6 Verschillen tussen laagwaterbeleid

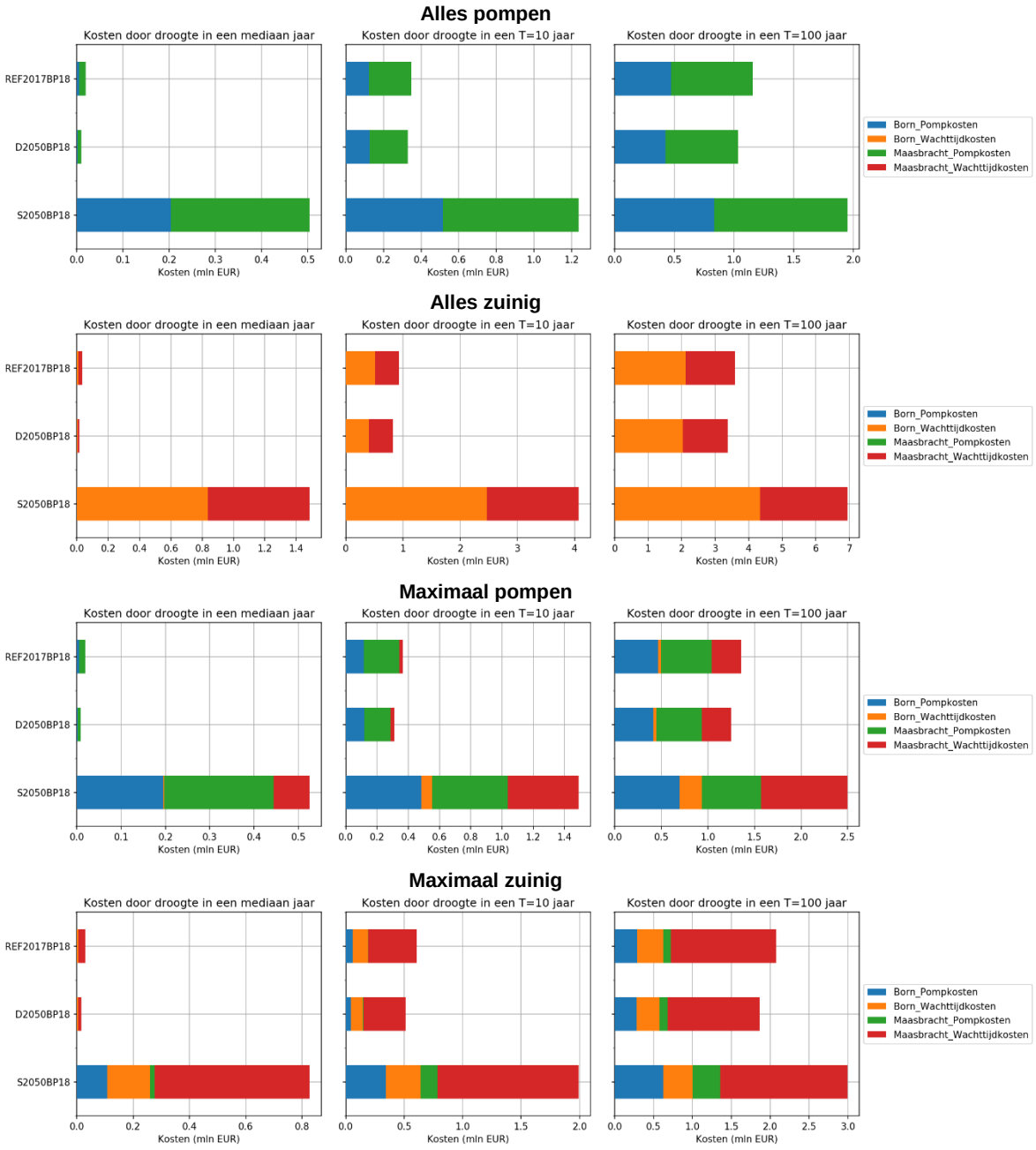
Er zijn enkele varianten van het laagwaterbeleid gedraaid. De hypothetische varianten dat het gehele afvoertekort wordt opgevangen met ofwel pompen (‘*alles pompen*’) of met zuinig schutten (‘*alles zuinig*’). En de varianten binnen de huidige mogelijkheden van de maximale pompcapaciteit (‘*maximaal pompen*’) en mogelijkheden voor zuiniger schutten (‘*maximaal zuinig*’) (Maasbracht: 11 m^3/s, Born: 3.35 m^3/s (bron: Bolt (2003))). In Bijlage D is de invoer en uitvoer van ieder scenario weergeven.

In onderstaande tabel zijn de resultaten voor de huidige infrastructuur de resultaten gegeven. Hieruit kunnen de volgende conclusies getrokken worden uit de vergelijking tussen de laagwaterbeleid-scenario’s:

- De mogelijkheden om met enkel pompen of schutten het afvoertekort op te vangen zijn beperkt en bij zowel Born als Maasbracht is het noodzakelijk een combinatie van beiden te hanteren.
  - Bij Born is de grote pompcapaciteit nu noodzakelijk om het gebrek aan mogelijkheden van zuiniger schutten op te vangen. De mogelijkheden zijn net groot genoeg om zelfs tijdens extreme droogte te kunnen compenseren.
  - Bij Maasbracht is zowel met pompen als zuiniger schutten meer vrijheid om te variëren. De variatie tussen de laagwaterbeleid-scenario’s wordt ook vooral hierdoor veroorzaakt.
- Het is goedkoper om een afvoertekort op te vangen met pompen dan met zuiniger schutten. De kosten door toename in wachttijden van de scheepvaart zorgen ervoor dat het economische niet rendabel is om zuiniger te schutten.

Tabel D.3 Totale kosten (mln euro) in een droog jaar met een terugkeertijd van 2, 10 of 100 jaar voor verschillende laagwaterbeleid-scenario’s.

		Alles pompen	**Alles zuinig**	**Maximaal pompen**	**Maximaal zuinig**
T=2	REF2017BP18	0.02	0.03	0.02	0.03
	D2050BP18	0.01	0.02	0.01	0.02
	S2050BP18	0.50	1.49	0.53	0.83
T=10	REF2017BP18	0.35	0.93	0.37	0.61
	D2050BP18	0.33	0.83	0.31	0.51
	S2050BP18	1.24	4.07	1.49	1.99
T=100	REF2017BP18	1.16	3.59	1.36	2.08
	D2050BP18	1.03	3.38	1.25	1.86
	S2050BP18	1.95	6.95	2.50	3.00



Figuur D.15 Kosten (mln euro) in een droog jaar met een terugkeertijd van 2, 10 of 100 jaar voor verschillende laagwaterbeleid-scenario's.

D.3 Onderzoek naar maatregelen

Binnen de maatregelverkenning van het DPZW zijn een drietal maatregelen gemarkeerd die effect hebben op het laagwaterbeleid van de Maas:

14a: Hevelend Schutten (Born)
14b: Spaarbekkens (Born en Maasbracht)
14c: Circulair pompen (Born en Maasbracht)

Voor de bepaling van de besparing die door deze maatregel bereikt wordt, is het belangrijk dat de toename van de wachttijd en de benodigde inzet van de pompen accuraat worden berekend. Hiervoor kunnen bijvoorbeeld berekeningen met SIVAK gedaan worden in lijn met de methode uit Bolt (2003). In dit stadium is het echter nog niet mogelijk een dergelijke inspanning te verrichten. Voor het berekenen van de kostenbesparing door de maatregelen worden daarom enkele belangrijke aannames gedaan. Om de gevoeligheid van de aannames te onderbouwen is gevarieerd met de instellingen.

D.3.1 Hevelend schutten (14a)

D.3.1.1. Introductie en aannames

Hevelend schutten is al actief bij Maasbracht en is binnen Bolt (2003) doorgerekend. De kennis hieruit kan gebruikt worden om een schatting te maken van de installatie van hevelend schutten bij Born. Bij hevelend schutten wordt een grote besparing van de afvoer verkregen, maar de wachttijden voor de scheepvaart nemen wel toe. Voor het doorrekenen van de maatregel wordt een vergelijking uitgevoerd met de scenario's *maximaal pompen* en *maximaal zuinig schutten*.

De verwachting is dat de besparing door zuiniger schutten 315.000 m^3 per dag is, ofwel 3.65 m^3/s. Het maximale zuinige schutten van Born neemt hierdoor toe van 3.35 naar 7 m^3/s. Daarnaast is er een verandering in de toename van de wachttijd voor de scheepvaart. De toename in de wachttijd door het zuiniger schutten is naar verwachting 8 minuten. Na deze toename wordt uitgegaan van dezelfde toename in wachttijd zoals eerder gebruikt

Tabel D.4 Toename wachttijd bij Born door bij installatie van hevelend schutten.

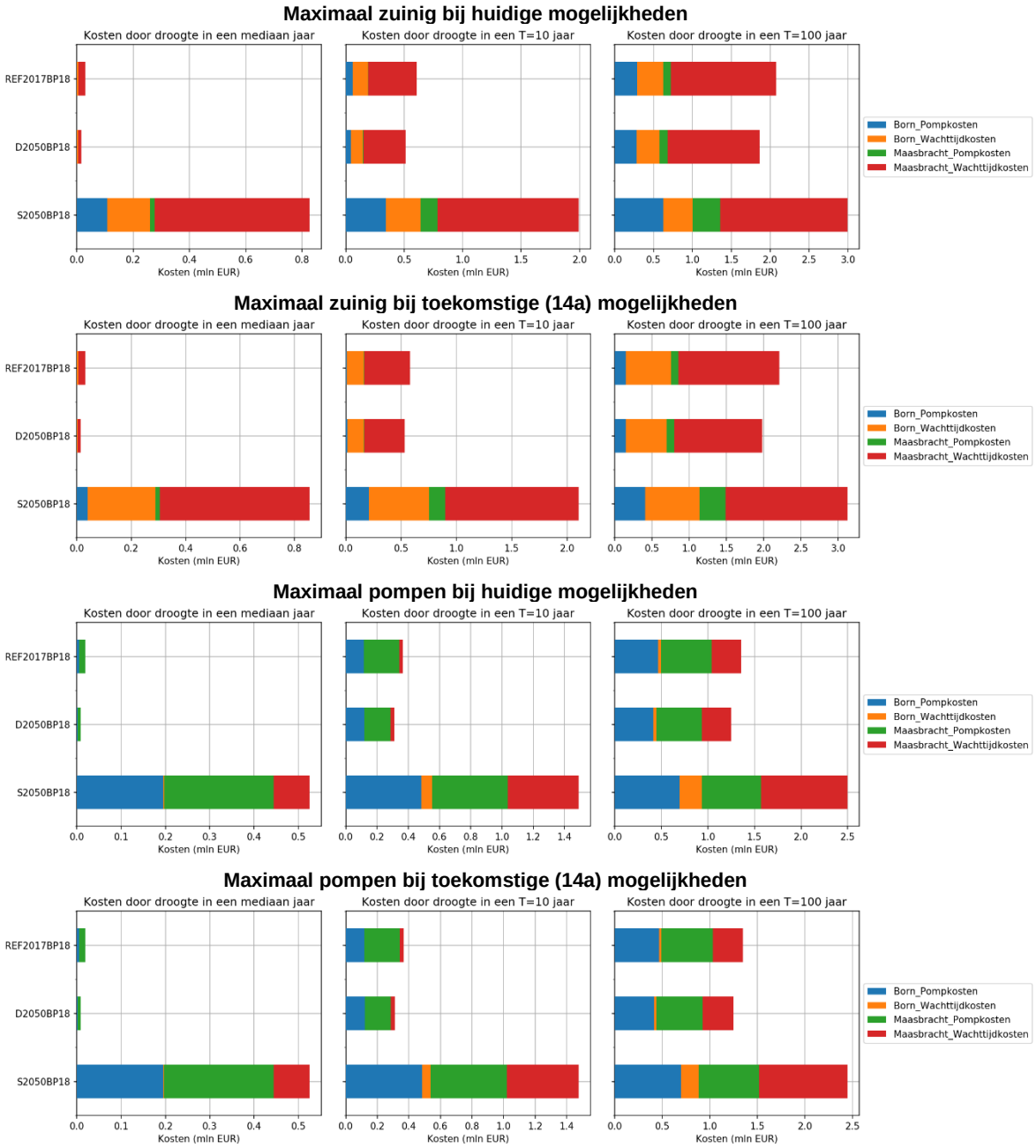
Zuiniger schutten (m3/s)	Toename wachttijd (min)
0	0
3	8
6	18
7	24
8	37

D.3.1.2. Resultaten

In onderstaande figuur zijn de resultaten weergegeven van de simulaties met de toekomstige (14a) mogelijkheden voor zuinig schutten en met de nieuwe wachttijden. Ter vergelijking zijn ook de resultaten van de huidige situatie nogmaals geplaatst. Uit de figuur zijn de volgende conclusies te trekken:

- De mogelijkheden van zuinig schutten nemen toe. Echter, doordat ook de kosten hiervan hoger zijn, geeft dit maatregelpakket netto een negatief resultaat op de kosten als volledig wordt ingezet op zuinig schutten.

- Als echter nog steeds vooral wordt ingezet op de inzet van de pompen, dan wordt echter winst verkregen doordat buiten het pompbereik de wachttijd van de schepen minder toeneemt dan in de huidige situatie. Hierdoor is er een afname in de kosten.



Figuur D.16 Kosten (mln euro) in een droog jaar met een terugkeertijd van 2, 10 of 100 jaar voor scenario's met maximaal zuinig schutten en maximaal pompen voor de huidige en toekomstige infrastructuur

D.3.2 Spaarbekkens (14b)

D.3.2.1. Introductie en aannames

Door de aanleg van spaarbekkens kan een forse besparing van de schutverlies verkregen worden. De verwachting is dat in een droge periode per dag 1 mln m^3 bespaard kan worden bij Born (11 m^3/s) en 1.3 mln m^3 bij Maasbracht (15 m^3/s). Ten opzichte van het totale schutdebiet (respectievelijk 15 en 17 m^3/s) zijn deze maten tegen (of meer dan) het fysisch haalbare. De fysische haalbaarheid is in dit memo niet onderzocht. Daarnaast is gegeven dat de schuttijd toe neemt met 13 minuten. Na deze toename wordt uitgegaan van dezelfde toename in wachttijd zoals eerder gebruikt

Tabel D.5 Toename wachttijd bij Maasbracht en Born bij installatie van spaarbekkens.

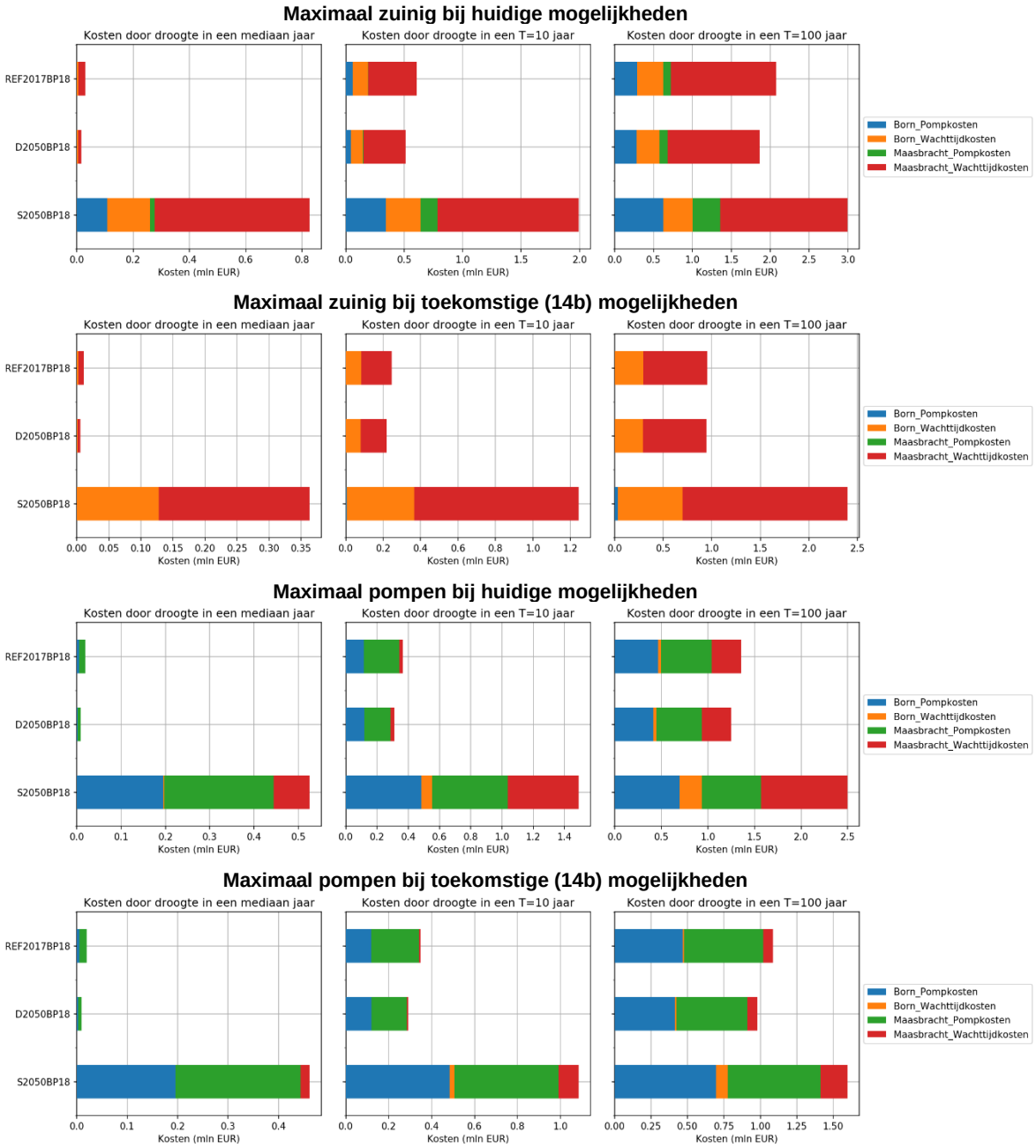
Maasbracht		Born	
Zuiniger schutten (m3/s)	**Toename wachttijd (min)**	**Zuiniger schutten (m3/s)**	**Toename wachttijd (min)**
0	0	0	0
15	13	11	13
19	28	14	23
23	48	15	29
27	73	16	42

D.3.2.2. Resultaten

In onderstaande figuur zijn de resultaten weergegeven van de simulaties met de toekomstige (14b) mogelijkheden voor zuinig schutten en met de nieuwe wachttijden. Ter vergelijking zijn ook de resultaten van de huidige situatie nogmaals geplaatst. Uit de figuur zijn de volgende conclusies te trekken:

- De inzet van spaarbekkens geeft een forse reductie in de wachttijd door zuinig schutten. Hierdoor is niet langer pompen de goedkope oplossing, maar kan volop worden ingezet op de inzet van spaarbekkens.
- De inzet van pompen is bij volledige inzet van spaarbekkens niet langer nodig.

Echter, de geleverde prestaties van de spaarbekkens geven een te grote besparing in het schutverlies. Aanbevolen wordt om deze prestaties nader te onderzoeken.



Figuur D.17 Kosten (mln euro) in een droog jaar met een terugkeertijd van 2, 10 of 100 jaar voor scenario's met maximaal zuinig schutten en maximaal pompen voor de huidige en toekomstige infrastructuur

D.3.3 Circulair pompen (14c)

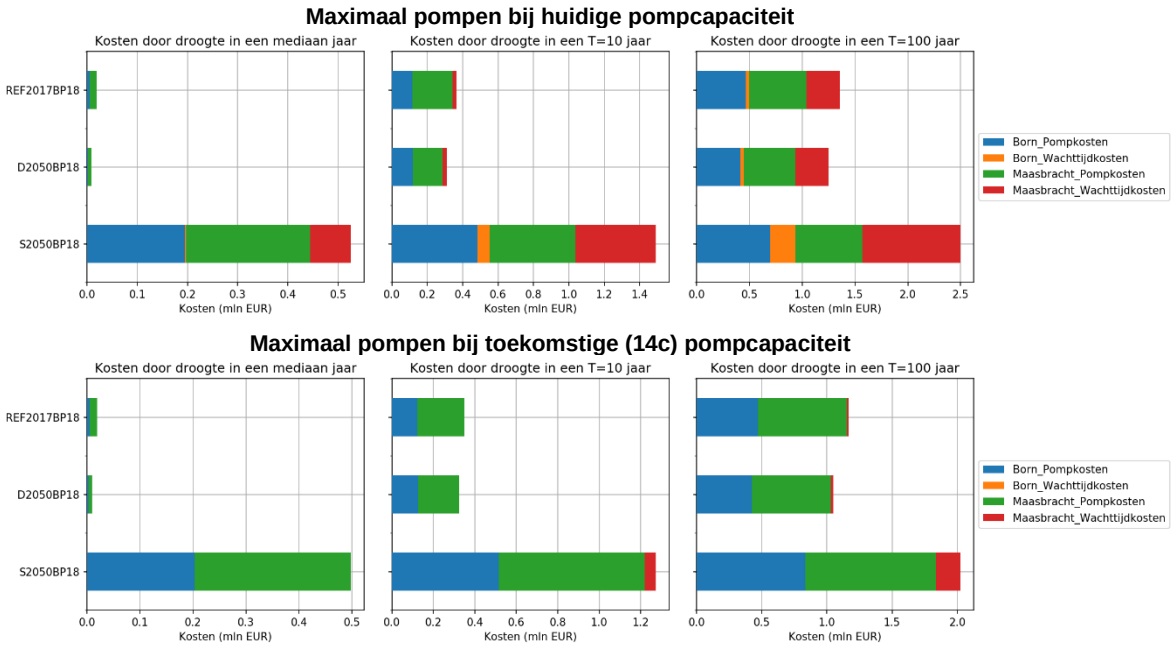
D.3.3.1. Introductie en aannames

Deze maatregel realiseert een toename in de pompcapaciteit waardoor het maximale pompdebiet bij Born en Maasbracht met 6 tot 8 m^3/s toeneemt. In deze studie is uitgegaan van een toename naar 6 m^3/s waardoor de pompcapaciteit nu toeneemt naar 15 m^3/s (Maasbracht) en 18 m^3/s (Born). Het zal nu nauwelijks nog noodzakelijk zijn om te zuiniger te schutten, wat ten gunste zal komen van de wachttijden voor de scheepvaart. Voor de pompkosten wordt er vanuit gegaan dat dit evenredig toeneemt ten opzichte van de huidige situatie.

D.3.3.2. Resultaten

In onderstaande figuur zijn de resultaten weergegeven van de simulaties met de toekomstige (14c) mogelijkheden met de nieuwe pompcapaciteit. Er is enkel een vergelijking uitgevoerd op de situatie met maximale pompinzet, aangezien zonder aanpassing het zuiniger schutten duurder is dan de inzet van pompen. Uit de figuur zijn de volgende conclusies te trekken:

- De nieuwe pompcapaciteit zorgt ervoor dat het bij Born niet meer nodig is om zuinig te schutten, bij Maasbracht is het alleen in uiterste gevallen noodzakelijk.
- Hierdoor nemen de wachttijdkosten voor de scheepvaart significant af, tegenover een veel kleinere toename van de pompkosten.



Figuur D.18 Kosten (mln euro) in een droog jaar met een terugkeertijd van 2, 10 of 100 jaar voor een scenario met enkel pompen met de huidige en toekomstige pompcapaciteit

D.4 Conclusies en aanbevelingen

Er is onderzocht wat de kosten in een droog jaar zijn bij de schutsluizen van Maasbracht en Born door de toename wachttijden van schepen en door de toename van benodigde pompinzet. Verschillende scenario's van laagwaterbeleid zijn berekend voor verschillende klimaatscenario's. De belangrijkste conclusies van het onderzoek zijn als volgt:

- Er is in het huidige klimaat een groot verschil in de gemaakte kosten tussen een mediaan jaar (0.01 mln euro) en een (zeer) droog jaar (1.2 mln euro). Door grote klimaatverandering nemen de mediane kosten toe (0.5 mln euro), maar is de relatieve toename in een extreem droog jaar veel minder (naar 2.5 mln euro).
- Het is bij de huidige infrastructuur goedkoper om een afvoertekort op te vangen met pompen dan met zuiniger schutten. De kosten door toename in wachttijden van de scheepvaart zorgen ervoor dat het economische niet rendabel is om zuiniger te schutten.
- Het effect van hevelend schutten bij Born (maatregel 14a) geeft nauwelijks afname in de wachttijden en is daardoor niet of nauwelijks gunstig ten opzichte van de huidige situatie.
- De installatie van spaarbekkens bij Maasbracht en Born (maatregel 14b) geeft een forse reductie in de wachttijd bij zuinig schutten. Hierdoor is niet langer pompen de goedkope oplossing, maar kan volop worden ingezet op de inzet van spaarbekkens. De inzet van pompen is bij volledige inzet van spaarbekkens niet langer nodig.
- De installatie van extra (circulair) pompen (maatregel 14c) zorgt ervoor dat het bij Born niet meer nodig is om zuinig te schutten, bij Maasbracht is het alleen in uiterste gevallen noodzakelijk. Hierdoor nemen de wachttijdkosten voor de scheepvaart significant af, tegenover een veel kleinere toename van de pompkosten.

D.5 Referenties

RWS (2018). Excelsheet ResumeBornMaasbracht1996-2017.xls
Bolt, E. (2003).

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