

Vertaling van de Deltascenario's 2024 naar invoer voor het Nationaal Water Model



Vertaling van de Deltascenario's 2024 naar invoer voor het Nationaal Water Model

Auteur(s)

Gijs Janssen
Ilja America - van den Heuvel
Rianne Meeusen
Charlotte van Strien
Geert Prinsen
Esmée Mes
Indra Marth
Otto Weiler
Arnout Bijlsma

Vertaling van de Deltascenario's 2024 naar invoer voor het Nationaal Water Model

Opdrachtgever	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
Contactpersoon	
Referenties	
Trefwoorden	Deltascenario's; klimaatverandering; sociaal-economische ontwikkeling; Nederland; waterbeheer; Deltaprogramma Zoetwater, Nationaal Water Model, NWM, LHM, Model, Landelijk Hydrologisch Model

Documentgegevens

Versie	1.0
Datum	19-04-2024
Projectnummer	11209219-018
Document ID	11209219-018-ZKS-0001
Pagina's	170
Classificatie	
Status	definitief

Samenvatting

Deze rapportage beschrijft de modelinvoer van de modellen die in het Nationaal Water Model (NWM) zijn opgenomen (t.w. LHM en LSM), voor de Deltascenario's 2024 en de nieuwe Referentie voor het Deltaprogramma Zoetwater (DPZW). De Deltascenario's en Referentie worden vervolgens (buiten dit project) doorgerekend. Deze zogenaamde Basisprognoses worden daarna o.a. geanalyseerd in de Knelpuntenanalyse Zoetwater van het DPZW.

De Deltascenario's zijn toekomstscenario's van Nederland, met een focus op klimaatverandering en de socio-economische ontwikkelingen. Onzekerheden met betrekking tot klimaatverandering enerzijds en de sociaaleconomische en ruimtelijke ontwikkelingen anderzijds bepalen de bandbreedte van de opgaven voor waterveiligheid, zoetwaterbeschikbaarheid en ruimtelijke adaptatie. De gehanteerde zichtjaren voor de modelinvoer zijn 2050 en 2100.

De verhaallijnen van de Deltascenario's worden beschreven in Van der Brugge en De Winter (2024). In voorliggende rapportage wordt beschreven hoe deze scenario's zijn vertaald naar modelinvoer voor het NWM. Een belangrijk onderdeel daarvan is het inbrengen van de veranderende klimatologische randvoorwaarden zoals beschreven in de nieuwe KNMI'23 Klimaatscenario's (inclusief zeespiegelstijging en atmosferische CO₂-concentraties). Vele andere randvoorwaarden zijn daar direct of indirect van afgeleid, zoals afvoeren, peilen, temperatuur en chlorideconcentraties van rivieren. Andere modelinvoer, zoals bodemdaling en doorspoelvragen van polders en boezemsystemen, is gebaseerd op danwel afgeleid van eerdere studies. Klimaatmitigatie in het veengebied is eveneens afhankelijk gesteld van de klimaatas door in de scenario's met minder klimaatverandering een hogere peilopzet te hanteren dan in de scenario's met meer klimaatverandering.

Langs de socio-economische as maken de Deltascenario's gebruik van door de VU aangeleverde landgebruiksscenario's, welke zijn doorvertaald naar alle van landgebruik afhankelijke modelinvoer. In de Deltascenario's zijn ook schattingen van ontwikkelingen in drinkwater- en industriële onttrekkingen opgenomen en deze zijn opgelegd aan de modellen.

Veranderingen in het berekend areaal in de landbouw en de doorspoelbehoefte van schut- en spuisluizen zijn afhankelijk van zowel de klimaatas als de socio-economische as van de Deltascenario's. Voor de Krammersluizen, het Haringvliet, het sluisencomplex IJmuiden en de Afsluitdijk is gekeken naar hoe de zoutindringing door schut- en spuisluizen zal toenemen, enerzijds als gevolg van zeespiegelstijging en anderzijds als gevolg van een toename van de schutoperatie, samenhangend met economische groei.

De modelinvoer is per scenario klaargezet voor een 90-jarige meteorologische reeks, bestaande uit drie 30-jarige ensembles welke parallel aan elkaar doorgerekend kunnen worden. Deze ensembles zijn zodanig door het KNMI geselecteerd dat deze representatief zijn voor het betreffende klimaatscenario. Doorrekening met het NWM en analyse van de resultaten vinden buiten het hier gerapporteerde project plaats.

Inhoud

	Samenvatting	5
1	Introductie	10
1.1	Inleiding en context	10
1.1.1	Wat zijn de Deltascenario's?	10
1.1.2	Waarom is een actualisatie van de Deltascenario's nodig?	10
1.1.3	Wat is nieuw ten opzichte van de oude Deltascenario's?	11
1.2	Het assenstelsel	12
1.3	Zichtjaren	13
1.4	Het Nationaal Water Model (NWM)	13
2	Referentie watersysteem	16
2.1	Introductie	16
2.2	Wijzigingen t.o.v. LHM 4.3	16
2.2.1	KWA	16
2.2.2	Doorspoeling afsluitdijk	17
2.2.3	Doorspoeling VZM na implementatie nieuwe zout-zoetscheiding Krammer	17
2.2.4	Noordervaart	17
2.2.5	Alblasserwaard: nieuwe inlaat vanuit Beneden-Merwede	18
2.2.6	Koppeling watervraag-chloride voor Parksluizen en monding Lek	18
2.2.7	Doorvoer Krimpenerwaard	18
2.2.8	Zoetwaterfabriek Delfland	18
3	Modelinvoer afhankelijk van de klimaat-as	19
3.1	Inleiding	19
3.2	KNMI-scenario's en meteorologische invoer	19
3.2.1	KNMI scenario's	19
3.2.2	Totstandkoming van de klimaatreeksen	21
3.2.3	Keuze van de Referentiereeks	22
3.2.4	Totstandkoming van de 90-jarige reeks	22
3.2.5	Datastromen en -conversies meteodata	22
3.3	CO ₂ – concentratie	24
3.4	Zeespiegelstijging	25
3.5	Buitenwaterstanden	27
3.6	Rivierafvoeren	29
3.6.1	Rijn en Maas	29
3.6.2	Vecht en kleine zijrivieren	31
3.6.2.1	Niers	33
3.6.2.2	Vecht	33
3.6.2.3	Roer	34
3.6.2.4	Swalm, Dommel, Tongelreep en Bovenmark	35
3.6.2.5	Wateraanvoer Zeeuw-Vlaanderen (vanuit België) en Dinkel	35

3.6.2.6	Dommel-Eindhoven, Aa en Noordervaart	35
3.7	Temperatuur LSM	36
3.7.1	Bovenstrooms	36
3.7.2	Buitenwater	38
3.8	Peilen hoofdwatersysteem	39
3.9	Chlorideconcentraties in de rivieren	42
3.10	Bodemdaling	42
3.11	Klimaatmitigatie in het veengebied	43
3.12	Interne verzilting	45
3.13	Doorspoeling	45
3.13.1	Doorspoeling polders	45
3.13.2	Doorspoeling boezemkanalen	48
3.14	Koelwater	49
4	Modelinvoer afhankelijk van de socio-economische as	51
4.1	Inleiding	51
4.2	Landgebruik	51
4.2.1	Landgebruikscenario's	51
4.2.2	Doorwerking landgebruik in de modelinvoer	56
4.2.2.1	Verharding	56
4.2.2.2	Ontwatering	56
4.2.2.3	Schalingsfactoren bodemvocht in bosgebied	57
4.2.2.4	Wortelzonedikte	58
4.2.2.5	Glastuinbouw	58
4.3	Drinkwater	58
4.3.1	Ontwikkeling drinkwatervraag	58
4.3.2	Onttrekkingen oppervlaktewater	59
4.3.3	Onttrekkingen grondwater	60
4.4	Industriële onttrekkingen en lozingen	61
5	Modelinvoer afhankelijk van beide assen	64
5.1	Inleiding	64
5.2	Berekening	64
5.3	Doorspoelbehoefte schut- en spuisluizen	68
5.3.1	Inleiding	68
5.3.2	Krammersluizen	68
5.3.3	Haringvliet	69
5.3.4	IJmuiden	69
5.3.5	Afsluitdijk	70
5.4	Initiële condities	72
5.4.1	LHM	72
5.4.2	LSM	73
6	Resultaten testruns	74
7	Aanbevelingen voor verdere verbeteringen	77

7.1	Bruinkoolwinnings	77
7.2	Klimaatteffect op doorspoelvragen polders en boezems	77
7.3	Economisch effect op doorspoelvragen boezems	77
7.4	Kennisvragen IJsselmeer	77
7.5	Regioscan	78
7.6	Bodemdaling	78
8	Referenties	79
A	Aanpassingen LSM voor Referentie'28	82
B	Koppeling watervraag-chloride voor Parksluizen en monding Lek	99
B.1	Introductie	99
B.2	Methode	99
B.3	Testsom	100
B.3.1	Doorspoelvraag	100
B.3.2	Doorspoeldebiet	105
C	Variatie meteorologie tussen scenario's en tussen ensembles	108
D	Controle rivierafvoeren	114
E	Peilen en drainageniveaus in de scenario's	115
E.1	Regionale peilen	115
E.2	Drainage	119
F	KNMI data neerslag en potentieel neerslagtekort	123
G	Regioscan	128
H	Doorspoelbehoeften zoete watersystemen door zoutindringing bij schut- en spuisluizen	130
H.1	Samenvatting	130
H.2	Inleiding	133
H.2.1	Algemeen	133
H.2.2	Zeespiegelstijging en gemiddelde zeestanden	134
H.2.3	Socio-economische groei: ladingstroom en schutoperatie	135
H.2.4	Combinatie van zeestanden en schutoperatie	136
H.2.5	Verzoeting in de winter, verzilting in de zomer	137
H.3	Volkerak-Zoommeer en de Krammersluizen	137
H.3.1	Inleiding	137
H.3.2	Krammersluizen – zeespiegelstijging	139
H.3.3	Waterbalans in de zomer bij ZSS en bij huidige schutbedrijf:	141
H.3.4	Krammersluizen - schutoperatie	141
H.3.5	Resultaat: afvoer via de Krammersluizen tijdens het groeiseizoen	143
H.4	Haringvliet	144

H.5	IJmuiden	145
H.6	Afsluitdijk	147
H.6.1	Inleiding	147
H.6.2	Huidige spuisluizen en zoutbeheer	148
H.6.2.1.	Methode voor schatting spoeldebieten	148
H.6.2.2.	Resultaten	149
H.6.3	Invloed nieuwe spuisluizen en gemalen Den Oever	152
H.6.4	Invloed inzet gemalen voor zoutbeheer	156
H.6.5	Resume doorspoeldebieten volgens huidig beheer	157
H.6.6	Verziltning IJsselmeer	158
H.6.7	Kennisvragen IJsselmeer	160
H.7	Referenties	160
H.8	Bijlage: Lekvolumes per gemiddelde getijcyclus en lekdebieten	162
I	Aanvullende resultaten testberekeningen	163
I.1	Stationaire runs	163
I.2	Landgebruik gerelateerde ontwateringsaanpassingen en bodemdaling	165
I.3	Peilopzet in veengebieden	166
I.4	Effect van verhoging CO ₂ -concentratie	166
J	Aangepaste LHM invoerbestanden en daarvoor gebruikte scripts	167

1 Introductie

1.1 Inleiding en context

Deze rapportage beschrijft modelinvoer van de modellen die in het Nationaal Water Model (NWM) zijn opgenomen voor de geactualiseerde Deltascenario's en de nieuwe Referentie voor het Deltaprogramma Zoetwater (DPZW). De invoer wordt vervolgens (buiten dit project) doorgerekend met het NWM en geanalyseerd in de Knelpuntenanalyse Zoetwater van het DPZW.

Hieronder volgt een korte beschrijving van de context waarbinnen het werk is uitgevoerd. De tekst van de volgende secties 1.1.1 t/m 1.1.3 is grotendeels afkomstig van het rapport over de verhaallijnen van de Deltascenario's (Van der Brugge et al., 2024). Voor een meer gedetailleerde beschrijving van de Deltascenario's, zie Van der Brugge et al. (2024).

1.1.1 Wat zijn de Deltascenario's?

De Deltascenario's zijn toekomstscenario's van Nederland, met een focus op klimaatverandering en de socio-economische ontwikkelingen. Onzekerheden met betrekking tot klimaatverandering enerzijds en de sociaaleconomische en ruimtelijke ontwikkelingen anderzijds bepalen de bandbreedte van de opgaven voor waterveiligheid, zoetwaterbeschikbaarheid en ruimtelijke adaptatie. De Deltascenario's maken deze onzekerheden expliciet door verschillende, mogelijke toekomsten uit te werken en de wateropgaven in beeld brengen.

Binnen het Deltaprogramma heeft het instrument Deltascenario's een specifieke rol in de Herijking van het Deltaprogramma richting 2026. De cyclus begint met het in beeld brengen van de toekomstige wateropgaven en is de basis voor knelpuntenanalyses en eventuele aanpassingen in de Deltabeslissingen en voorkeursstrategieën. De scenario's zijn omgezet naar modelinvoer (voorliggend rapport) en zullen in de 1ste helft van 2024 doorgerekend worden met het NWM. Deze kwantitatieve basisprognoses zijn vrij beschikbaar en kunnen desgewenst gebruikt worden door de deelprogramma's. De basisprognoses vormen de basis voor de knelpuntenanalyse van het DPZW.

1.1.2 Waarom is een actualisatie van de Deltascenario's nodig?

De voorgaande Deltascenario's stammen uit 2011 en zijn in 2013 nader uitgewerkt. In 2017 zijn de 2013-scenario's weliswaar geactualiseerd, maar de opbouw is bij deze actualisatie gelijk gebleven. Na 10 jaar is het zinvol om de opbouw en scope van de Deltascenario's opnieuw tegen het licht te houden. Hier zijn een aantal concrete aanleidingen voor:

- *Nieuwe scenario's*: de ontwikkeling van nieuwe klimaatscenario's door het KNMI (2023), de geplande update van de WLO-scenario's van het PBL (2023) en de scenariostudie NL-Later van het PBL (2022).
- *Inzichten klimaatverandering*: Nieuwe kennis en inzichten over het klimaat en de doorontwikkeling van de klimaatmodellen laten zien dat extreme neerslag en droogte eerder voorkomen dan verwacht. Daarnaast is de bandbreedte van mogelijke zeespiegelstijging groter dan voorheen. Ook het Klimaatakkoord geeft aanleiding om nieuwe klimaatscenario's te ontwikkelen.
- *Maatschappelijke opgaven/transities*: Hoewel in 2011 opgaven zoals landbouwtransitie, energietransitie en biodiversiteit ook al speelden, zijn deze urgenter geworden. Maatregelen voor deze transitie hebben grote impact op de ruimte en op het water- en bodemsysteem. Tevens zijn er nieuwe perspectieven voor het terugdringen van land gebonden broeikasgasemissies.

- *Nieuwe vragen:* Een vraag die steeds meer opkomt is of we wel door moeten gaan op het huidige spoor of dat we meer fundamentele veranderingen (gebiedstransformaties of systeemtransities) moeten doorvoeren om klimaatverandering het hoofd te bieden. Dit komt ook naar voren in het meest recente rapport van het IPCC¹, waarin wordt gesteld dat adaptatie aan klimaatverandering mogelijk te traag gaat voor de veranderingen die de komende decennia te verwachten zijn. Daarmee samenhangend is de wens om het water- en bodemsysteem meer sturend te laten zijn in de ruimtelijke ordening (en dus ook in de maatschappelijke transitie).

Deze ontwikkelingen geven niet alleen aanleiding om de Deltascenario's te actualiseren, maar ook om de opbouw van de Deltascenario's te heroverwegen.

1.1.3 Wat is nieuw ten opzichte van de oude Deltascenario's?

In de Deltascenario's 2024 is een aantal belangrijke verschillen aangebracht ten opzichte van de eerdere oude Deltascenario's uit 2011, 2013 en 2017.

1. **Emissiereductie van broeikasgassen** (klimaatmitigatie) is meegenomen op één van de assen (de klimaatas, zie volgende paragraaf) waarlangs de scenario's opgesteld. Dit heeft ook consequenties voor het landgebruik en de wateropgaven.
2. **Lagere ondergrens voor klimaatverandering.** Voor klimaatverandering sluiten de Deltascenario's aan bij de klimaatscenario's '23 van het KNMI. In navolging van het Parijs-akkoord wordt er in het laagste klimaatscenario vanuit gegaan dat de globale temperatuurstijging aan het eind van de 21^e eeuw onder de 2 graden blijft ten opzichte van pre-industrieel², dit is substantieel lager dan ondergrens die meegenomen werd in de vorige Deltascenario's.
3. **“Wat Als” Ontwikkelingen.** Bij het ontwikkelen van de Deltascenario's bleek dat er behoefte is om ook inzicht te hebben in ontwikkelingen waarvan het nog niet duidelijk is of ze gaan optreden, maar die wel grote invloed kunnen hebben op de wateropgaven. Daarom is er een aanvullende categorie gemaakt waarin inzichten in deze ontwikkelingen gegeven kunnen worden. Hierin zitten ontwikkelingen zoals extreme zeespiegelstijging, bovenstrooms landgebruik en waterbeheer en autonome adaptatie (waaronder bijvoorbeeld Water & Bodem Sturend). Deze 'Wat-Als?' ontwikkelingen worden in vervolgprojecten apart uitgewerkt tot modelinvoer. Deze worden niet met het volledige NWM doorgerekend, maar met deelmodellen, en vormen dan ook geen onderdeel van het voorliggende rapport.

Benadrukt wordt dat in de Deltascenario's *geen* beleidsrespons van de watersector zit. De Deltascenario's moeten geïnterpreteerd worden als scenario's die de toekomstige wateropgaven laten zien als het waterbeleid en waterbeheer blijft zoals het nu is. In het Deltaprogramma en andere beleidsprogramma's wordt onderzocht of nieuw beleid en aanvullende maatregelen nodig zijn. Zo wordt het hierboven al aangehaalde principe van Water & Bodem Sturend als nieuw beleid beschouwd en daarom nog niet meegenomen.

Beleid van buiten de watersector wordt beschouwd als exogene context en als ontwikkelingen die buiten de invloedssfeer van het waterbeleid plaats vindt. Deze beleidsontwikkelingen zijn wel meegenomen als dat voldoende status heeft en daardoor invloed heeft op de wateropgave (bijvoorbeeld internationale beleidskeuzes die invloed hebben op de mate van

¹ IPCC AR6 WG 2, 28 februari 2022

² Het KNMI hanteert de referentie periode 1990-2020 en verwacht een toename van 0,8/0,9 graden in 2050/ 2100 onder het laagste klimaatscenario. In de vorige klimaatscenario's was de temperatuurstijging +1,3/1,7 graden in 2071-2100 ten opzichte van 1981-2010.

klimaatverandering, of het nationale Klimaatakkoord dat consequenties heeft voor waterstanden in het veenweidegebieden).

1.2 Het assenstelsel

Er zijn vijf onzekerheidsdimensies die een grote impact hebben op de toekomstige wateropgave. Dit zijn:

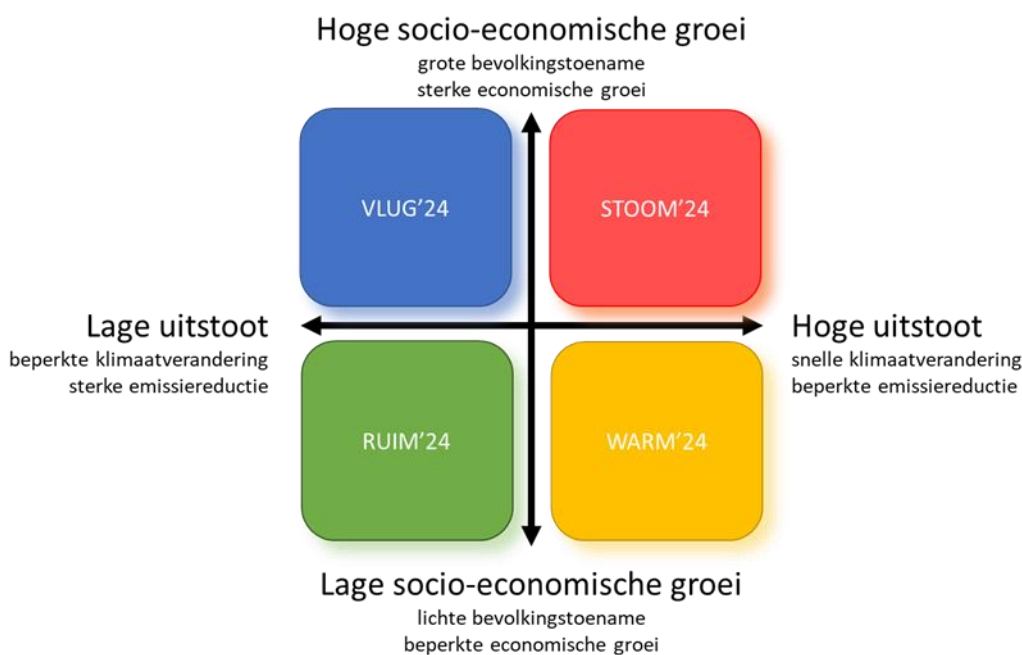
1. Mondiale CO₂-emissie en de daaraan gekoppelde gematigde of sterke klimaatverandering;
2. De verandering van het Nederlandse klimaat richting een droger dan wel natter klimaat (dit is dus een additioneel onzekerheidsaspect t.o.v. de mate van klimaatverandering genoemd onder 1: zowel gematigde als sterke klimaatverandering kunnen richting een droger of natter klimaat plaatsvinden);
3. De socio-economische ontwikkeling van Nederland m.b.t. demografie, economie en landgebruik (hoge dynamiek versus een lage dynamiek);
4. De uitwerking van het nationale klimaatbeleid op mitigatie en met name op adaptatie;
5. Bovengenoemde 'Wat-Als?' ontwikkelingen.

Assen 1 en 2 vormen samen het assenstelsel waar voor het KNMI scenario's heeft ontwikkeld en opgeleverd. Assen 3 en 4 vormen samen het assenstelsel van de WLO (Welvaart en Leefomgeving) scenario's.

Deze 5 assen zijn teruggebracht tot één assenstelsel, met kortgezegd de volgende argumenten:

- De 'Wat-Als?' ontwikkelingen zijn te onzeker. Daarom wordt deze as in zijn geheel niet meegenomen in de reguliere scenario's, zoals hierboven reeds gemeld.
- Naar verwachting loopt Europa voor op de rest van de wereld als het gaat om klimaatmitigatie. Daarom zal beperkte klimaatverandering (= wereldwijd grote klimaatmitigatie) samengaan met stevig klimaatbeleid in Nederland. Met die redentatie kunnen de assen 1 (mondiale CO₂ emissie) en 4 (nationaal klimaatbeleid) worden samengevoegd tot één as.
- De Deltascenario's worden niet alleen voor het Deltaprogramma Zoetwater (DPZW) ontwikkeld, er zijn ook andere gebruikers. Bij het ontwerpen van het assenstelsel is daarom rekening gehouden met een brede gebruikersgroep; ze zijn dus niet enkel op zoetwater-toepassingen ontworpen. Waar voor zoetwater-toepassingen vooral de effecten van een mogelijk droger klimaat interessant zijn, zijn voor waterveiligheid-toepassingen vooral de effecten van een mogelijk natter klimaat relevant. Daarom is het niet mogelijk om as 2 (natter versus droger toekomstig klimaat) in zijn geheel weg te laten, en te kiezen tussen een droger en natter klimaat. De optie om de twee smaken samen te voegen was ook niet ideaal – het samenvoegen van nattere en drogere reeksen maakt de statistiek van de reeksen lastiger te interpreteren. Uiteindelijk is gekozen om twee soorten Deltascenario's te ontwikkelen: (1) Deltascenario's ontworpen op een droger klimaat en (2) Deltascenario's ontworpen op een natter klimaat. Voorliggende studie heeft betrekking op de eerste variant; de NWM-modelinvoer zoals beschreven in deze rapportage dient het DPWZ.

Zie hieronder het assenstelsel van de Deltascenario's.



Figuur 1-1 Overzicht van de Deltascenario's 2024.

1.3 Zichtjaren

De Deltascenario's worden ontwikkeld voor de volgende zichtjaren:

- Referentiesituatie ('huidige situatie'; klimatologisch 1991-2020, inrichting watersysteem 2028)
- 2050
- 2100

Het KNMI levert ook reeksen van het zichtjaar 2150, maar deze worden niet gebruikt in de reguliere klimaatscenario's.

De twee assen van het assenstelsel leveren in combinatie met de zichtjaren 2050 en 2100 en de Referentie (nader beschreven in Hoofdstuk 2) negen Deltascenario's op. Daarbij gelden nog de volgende kanttekeningen:

- De socio-economische as van 2100 is gelijk gesteld aan het landgebruik van 2050, omdat socio-economische voorspellingen voorbij 2050 als te onzeker worden beschouwd. Zo zijn er geen landgebruikskarten voor 2100 ontwikkeld.
- Omdat het klimatologische verschil tussen de zichtjaren 2050 en 2100 in het KNMI-scenario met geringe klimaatverandering heel beperkt is, worden beide zichtjaren voor dat klimaatscenario aan elkaar gelijk gesteld.

Deze 'vereenvoudigingen' leveren echter geen reductie op in het aantal Deltascenario's, omdat er tussen 2050 en 2100 wel onderscheid is in de mate van bodemdaling en zeespiegelstijging.

Voor meer informatie over het assenstelsel wordt verwezen naar Van der Brugge et al. (2024).

1.4 Het Nationaal Water Model (NWM)

De Deltascenario's zijn ingebouwd in het Nationaal Watermodel (NWM), versie 2.4.3.0. Het NWM is een verzameling van bestaande, aan elkaar gekoppelde modellen en wordt gebruikt

in beleidsstudies op het gebied van zoetwater. De modelberekeningen worden in vier stappen uitgevoerd.

Stap 1: Een eerste hydrologische berekening met het LHM

Het NWM gebruikt metadata van het KNMI om in de eerste plaats data te genereren over o.a. grondwaterstanden en debieten in zowel het hoofdwater- als het regionaal systeem. Dit gebeurt met het Landelijk Hydrologisch Model (LHM), dat bestaat uit vier deelmodellen (zie Figuur 1-2):

- 1) MODFLOW is het grondwatermodel,
- 2) MetaSWAP-WOFOST is het onverzadigde zone- en gewasgroei model,
- 3) Mozart is het regionaal oppervlaktewater model, en
- 4) DM is het oppervlaktewatermodel voor het hoofdwatersysteem.

Stap 2: Een eerste chloride-berekening met het LSM

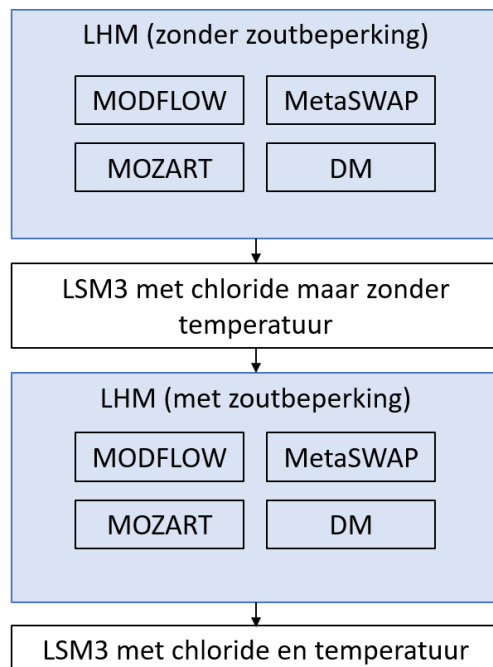
De output van het LHM wordt gebruikt als randvoorwaarden voor het Landelijk Sobek Model (LSM). In het LSM zijn modelschematisaties van het oppervlaktewater van Rijkswaterstaat en waterschappen samengevoegd. Het LSM maakt gebruik van de in het LHM (op basis van de verdringingsreeks) aan de districten gealloceerde debieten voor het berekenen van waterstanden en chloridegehalten, waarbij de verdeling plaatsvindt op basis van de fysica en sturingsregels voor de diverse kunstwerken.

Stap 3: Een finale hydrologische berekening met het LHM

Vervolgens kan LHM deze LSM-output gebruiken om te draaien, waarin ook zoutbeperking van belangrijke innamepunten (zoals die voor West-Nederland) is meegenomen.

Stap 4: Een finale hydrologische berekening met het LSM

Hierna wordt het LSM nogmaals gedraaid om nieuwe chloridegehalten en in deze laatste stap tevens de oppervlaktewatertemperatuur te berekenen. Deze modeltrein wordt schematisch weergegeven in Figuur 1-2.



Figuur 1-2 Modellentrein Nationaal Water Model.

In het NWM wordt deze modellentrein op jaarbasis, dus voor elk jaar apart, doorlopen, alvorens door te gaan naar het volgende jaar d.m.v. een 'warme herstart'.

De op dit moment in het NWM ingebouwde LHM-versie is LHM 4.3 (Janssen et al., 2023). Voor LSM3 is dat Sobek-lsm3-j18_5-v7 (Wesselius en Fujisaki, 2020; Prinsen, 2021 en Loos en Broderie (2022) met aanpassingen voor de Referentie'28 zoals beschreven in dit rapport (Hoofdstuk 2 en Bijlage A).

2 Referentie watersysteem

2.1 Introductie

De Referentie, gebaseerd op LHM4.3 en LSM3, beoogt het Nederland (i.e. in hydrologische zin) van 2028 te beschrijven, zodat in beeld kan worden gebracht welke zoetwateropgave in het huidige klimaat overblijven na uitvoering van de DPZW Fase 2 maatregelen.

De invulling van de Referentie'28 betekent concreet:

- Het klimaat van 1991-2020 (= het referentieklimaat van de KNMI '23 scenario's, zie Hoofdstuk 3);
- Hydrologische randvoorwaarden die horen bij het referentieklimaat, t.w. voor LHM het zeeniveau en dynamische rivierafvoeren en voor LSM3 de buitenwaterstanden en rivierafvoeren (zie Hoofdstuk 3);
- Randvoorwaarden voor chloride en temperatuur afgeleid voor het referentieklimaat (zie Hoofdstuk 3);
- Een landgebruikskaart, gegenereerd met de Ruimtescanner, die representatief is voor de huidige situatie. Hier wordt verder op ingegaan in sectie 4.2;
- Een beregeningskaart, gegenereerd met de Regioscan, representatief voor het referentieklimaat en het referentielandgebruik. Hier wordt verder op ingegaan in sectie 5.2;
- Bodemhoogtes volgens de AHN-versie zoals geïmplementeerd in LHM 4.3 (t.w. AHN2);
- De grootschalige uitvoeringsmaatregelen uit DPZW Fase 2 (uitvoeringsperiode tot 2028) worden verondersteld te zijn uitgevoerd, mits deze kunnen worden gemodelleerd in LHM en LSM;

Modelontwikkelingen gericht op de toepassing voor het Deltaprogramma Zoetwater zijn opgenomen in LHM versie 4.3 (Janssen et al., 2023). Dit betreft de verschillende softwareontwikkelingen en alle schematisatie-aanpassingen die al in de huidige situatie gelden. Maatregelen die (nog) niet zijn uitgevoerd, maar dat bij aanvang van de volgende planperiode DPZW (2028) wel zullen zijn, zijn niet opgenomen in LHM versie 4.3, maar maken wel deel uit van de nieuwe Referentie. Dit hoofdstuk geeft een overzicht van deze, ten opzichte van LHM 4.3 nieuw geïmplementeerde maatregelen. Meer informatie is tevens te vinden in Pouwels et al. (2023), waarin de aanpassingen van het LHM ten behoeve van het kunnen doorrekenen van maatregelen in het DPZW worden beschreven.

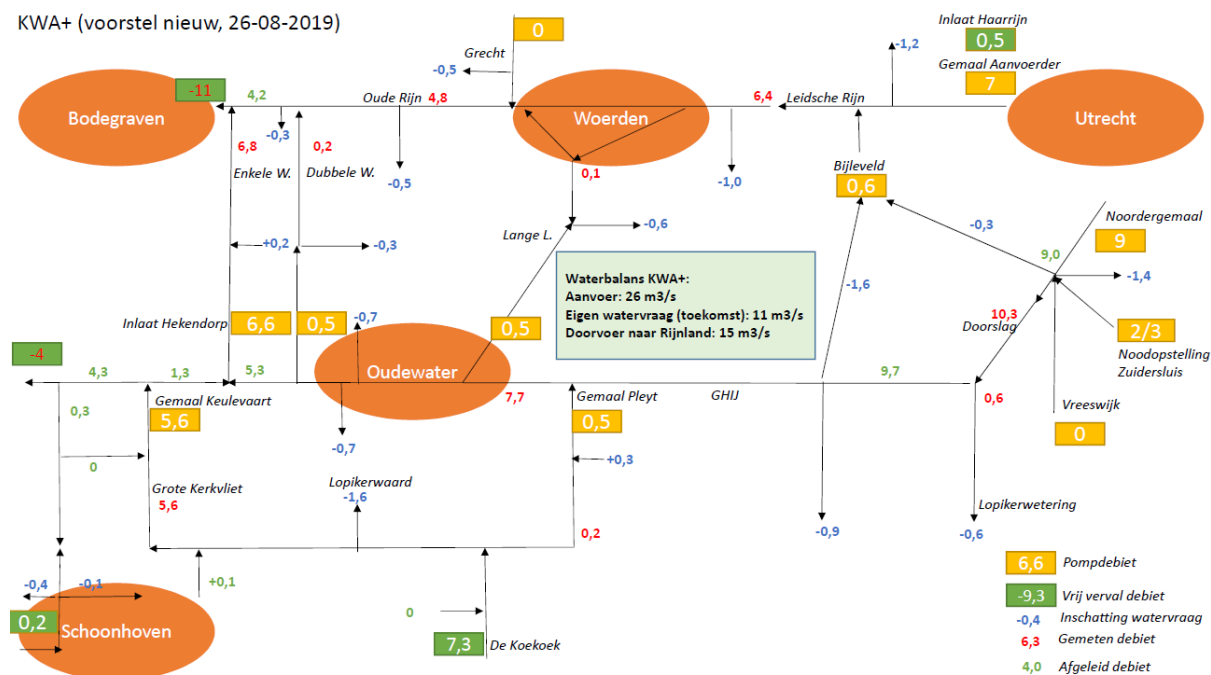
2.2 Wijzigingen t.o.v. LHM 4.3

2.2.1 KWA

KWA-light (of KWA⁻) is de aanvoer via de Gekanaliseerde Hollandsche IJssel met het Noordergemaal (6-8 m³/s) en via de Lopikerwaard (1-2 m³/s). Dit is zoals HDSR het in 2020 heeft uitgevoerd en in LHM 4.3 voor de huidige situatie geïmplementeerd.

Voor de Referentie 2028 wordt echter uitgegaan van de KWA-plus (KWA⁺). Hiervoor geldt het volgende schema:

KWA+ (voorstel nieuw, 26-08-2019)



De KWA+ gaat uit van een uitbreiding van de gemaalcapaciteiten en heeft een capaciteit van 12 m³/s bij Noordergemaal en Zuidersluis (incl. noodpompen), een verhoogde doorvoercapaciteit bij Doorslag, en een capaciteit van 7 m³/s bij gemaal de Aanvoerder. In totaal kan er dan 15 m³/s naar Rijnland worden aangevoerd (11 m³/s bij Bodegraven, 4 m³/s via de Waaiersluis en dan bij Gouda inlaten). Daarnaast wordt er via Krimpenerwaard van de Lek naar de Hollandsche IJssel doorgespoeld om de inlaat bij Gouda zoet te houden.

2.2.2 Doorspoeling afsluitdijk

In LHM 4.3 is de doorspoelvraag van de sluisen in de Afsluitdijk verhoogd naar 40 m³/s (met hoge prioriteit 2) t.b.v. het zoethouden van de drinkwaterinlaat Andijk, conform het Waterakkoord Noord van februari 2022. Hier bovenop wordt in de Referentie'28 een watervraag van 30m³/s gealloceerd (om zoutoplading tegen te gaan maar ook ten behoeve van vismigratie, zie ook Sectie 5.3.5, met lage prioriteit 10).

2.2.3 Doorspoeling VZM na implementatie nieuwe zout-zoetscheiding Krammer

In Pouwels et al. (2023) wordt vermeld dat de in LHM 4.3 toegevoegde aparte tak voor de Krammer (van knoop 6018 naar knoop 201 met een gewenst debiet van 8.8 m³/s) voor de Referentie 2028 verhoogd zou worden naar 13.8 m³/s. Dit is bij nader inzien teruggedraaid, omdat;

- De onderbouwing ervan niet achterhaald kon worden;
- Het huidige standpunt van RWS vooralsnog is dat er geen extra water toegezegd kan worden;
- Extra water voor de Krammersluizen leidt tot minder doorspoeling naar Bath, waardoor het zout in het Zoommeer nog trager wordt afgevoerd.

2.2.4 Noordervaart

- Capaciteit Noordervaart is voor de Referentie 2028 vergroot tot 5.4 m³/s.
- Inlaat Noordervaart bij Katsberg naar Peelkanaal is verhoogd naar 0.5 tot 1 m³/s. Deze inlaat is verhoogd vanwege de watervraag voor de Peelvenen: in het Waterakkoord WATAK2022 is aangegeven dat voor de Peelvenen op basis van de

ervaringen in 2018-2019 een minimum vraag is van 2.3 m³/s. Aangenomen wordt dat dit deels in de districtswatervraag is opgenomen. Voor een goede ruimtelijke verdeling is in de Referentiesituatie 2028 is de doorspoeling van de Noordervaart bij Katsberg verhoogd van 0.5 tot 1.0 m³/s (Pouwels et al., 2023).

2.2.5 Alblasserwaard: nieuwe inlaat vanuit Beneden-Merwede

Het Waterschap Rivierenland is van plan om het watersysteem van de Alblasserwaard aan te passen zodat niet meer (of niet alleen) ingelaten kan worden via de inlaat Kinderdijk bij Alblasserdam. Dit omdat die inlaat steeds vaker last krijgt van zoutindringing. Er is een nieuwe inlaat bij Hardinxveld gepland, uit de Waal, waar de chlorideproblematiek niet speelt. De implementatie van deze maatregel is naar verwachting rond 2028 gereed, en daarom is de maatregel nog niet in LHM 4.3 (huidige situatie) meegenomen, maar wel in de Referentiesituatie 2028. De inlaatcapaciteit is op basis van informatie van het waterschap ingesteld op 7.4 m³/s.

2.2.6 Koppeling watervraag-chloride voor Parksluizen en monding Lek

In de modellentrein van het Nationaal Water Model (NWM) wordt de chlorideconcentratie, berekend in het Landelijk Sobek Model (LSM), gebruikt om de watervraag voor doorspoelvraag in het Distributiemodel (DM) aan te passen. Tot voor kort bestond die terugkoppeling alleen voor de monding van de Hollandsche IJssel, op basis waarvan de inzet van de Klimaatbestendige Wateraanvoervoorziening voor West-Nederland wordt bepaald. Voor twee locaties, de monding van de Lek en Nieuwe Maas ter hoogte van de Parksluis, is gewenst om de berekende chlorideconcentraties in het LSM te gebruiken om de doorspoelvraag op deze locaties aan te passen. Dit omdat de opgegeven doorspoelvraag in de monding van de Lek voorheen los stond van de chlorideconcentratie die LSM berekent, waardoor ook water over de Lek wordt gestuurd in situaties waarin dit niet nodig is. De benodigde koppeling tussen LSM en DM en de implementatie ervan zijn beschreven in Bijlage A.

2.2.7 Doorvoer Krimpenerwaard

Conform de bestuurlijke overeenkomst regionale waterbeheerders is doorvoer van de Krimpenerwaardroute verhoogd van 2.0 naar 5.5 m³/s.

2.2.8 Zoetwaterfabriek Delfland

Delfland is van plan om in de nabije toekomst, over enkele jaren, effluent van RWZI water, dat nu in zee geloosd wordt, op de boezem te lozen. Dit gaat om 0.35 m³ /s en kan dan gebruikt worden voor peilbeheer en beregening). Deze zoetwaterfabriek blijkt echter pas na 2028 praktijk te zijn. Daarom is gekozen om deze fabriek niet in het LHM 4.3 te implementeren, maar wel in LHM Ref2028 (Pouwels et al., 2023).

3 Modelinvoer afhankelijk van de klimaat-as

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt de invoer besproken van de modelinstellingen die alleen veranderen langs de klimaat-as (betreffende klimaatverandering en klimaatadaptatie) van het assenstelsel. Naast het klimaat zelf (inclusief atmosferische CO₂-concentraties en zeespiegelstijging) zijn dit ook de instellingen met betrekking tot rivierafvoeren, de daarvan afhankelijke peilen en chloridegehalten van het hoofdwatersysteem, bodemdaling, peilopzet veenweidegebied, interne verzilting en de daaruit voortvloeiende doorspoelbehoefte en de temperatuurrandvoorwaarden voor LSM.

Soms wordt specifiek gemeld welke modelinvoerbestanden zijn aangepast, maar niet altijd. Een volledig overzicht voor aanpassingen aan de invoerbestanden (LHM) wordt gegeven in Bijlage J.

3.2 KNMI-scenario's en meteorologische invoer

Hieronder worden eerst de KNMI scenario's beschreven die de basis vormen voor de klimaat-as van de Deltascenario's. Vervolgens wordt beschreven hoe het KNMI de klimaatreeksen genereert op basis van deze scenario's. Tenslotte wordt beschreven hoe deze scenario's zijn toegepast in de NWM modelinvoer.

3.2.1 KNMI scenario's

In het NWM wordt gewerkt met de meest recente klimaatscenario's van het KNMI (KNMI, 2023). Deze KNMI'23 scenario's bevatten 4 scenario's voor de toekomstige klimaatverandering (zie Figuur 3-1), waarin 2 varianten van 2 uitstootsscenario's worden beschreven. De uitstootsscenario's betreffen de IPCC-scenario's SSP1-2.6 en SSP5-8.5:

Het SSP1-2.6 scenario is een scenario met lage uitstoot (aangegeven met de letter 'L') en correspondeert met een waarschijnlijke temperatuurstijging van minder dan 2 graden aan het eind van deze eeuw, zoals afgesproken in het klimaatakkoord van Parijs.

SSP5-8.5 is het worstcasescenario (hoge uitstoot, aangegeven met de letter 'H'), waarbij er geen maatregelen worden genomen om de uitstoot van broeikasgassen te verminderen en de uitstoot zelfs verder toeneemt.

De twee varianten van beide uitstootsscenario's hebben betrekking op de mate waarin de zomer droger en de winter natter wordt:

- In de 'natte' variant (aangeduid met de letter 'n') vernatten de winters sterk en verdrogen de zomers licht;
- In de 'droge' variant (aangeduid met de letter 'd') vernatten de winters licht en verdrogen de zomers sterk.

De combinaties van de natte en droge variant met de twee uitstootsscenario's leveren, volgens genoemde lettercoderingen, de scenario's Ld, Hd, Ln en Hn op. Naast deze vier scenario's heeft het KNMI ook een scenario's ontwikkeld voor gematigde klimaatverandering ('Md'). Hierop is het Referentieklimaat gebaseerd (zie sectie 3.2.3).



KNMI, 2023

Figuur 3-1 . Vier scenario's voor klimaatverandering in Nederland. Het aantal blokjes staat voor de mate van klimaatverandering rond 2100 ten opzichte van 1991-2020 (KNMI, 2023)

In de Deltascenario's worden (naast dus een Md scenario voor de Referentie) alleen de 'droog'-scenario's (Ld en Hd, respectievelijk het droge scenario bij lage en hoge uitstoot) gebruikt, omdat de focus in het Deltaprogramma Zoetwater op waterbeschikbaarheid ligt en deze in de droge varianten het meest onder druk komt te staan. Het Ld-scenario betreft de linkerhelft van het Deltascenario's assenstelsel Figuur 1-1, het Hd-scenario de rechterhelft. Het KNMI heeft tevens scenario's voor matige CO₂-uitstoot ontwikkeld (Md en Mn).

Voor de volledigheid staan in Tabel 3-1 alle klimaatscenario's van het KNMI, met hun codenamen en een aanwijzing of de scenario's worden gebruikt in de Deltascenario's.

Tabel 3-1 De klimaatscenario's van het KNMI. Met een X is aangegeven welke scenario's het KNMI oplevert voor o.a. de Deltascenario's en BOI. De blauw gearceerde scenario's worden gebruikt in de NWM-berekeningen.

Scenario	Scenario code	IPCC scenario	1991-2020	2050	2100	2150
Referentie	Md2050	SSP245-droog	X			
Lage CO ₂ -uitstoot / vernattend	Ln	SSP126 – nat			X	X
Lage CO ₂ -uitstoot / verdrogend	Ld	SSP126 – droog			X	X
Matige CO ₂ -uitstoot, vernattend	Mn	SSP245-nat		X	X	X
Matige CO ₂ -uitstoot, verdrogend	Md	SSP245-droog		X	X	X
Hoge CO ₂ -uitstoot / vernattend	Hn	SSP585-nat		X	X	X
Hoge CO ₂ -uitstoot / verdrogend	Hd	SSP585-droog		X	X	X

De zichtjaren 2050, 2100 en 2150 zijn qua klimaat vrijwel identiek bij het scenario SSP-1-2.6. Daarom levert KNMI slechts één klimaatreeks aan die geldt voor al deze zichtjaren. Zij houden daarbij de tijdreeks voor zichtjaar 2100 aan. In de Deltascenario's wordt dus, naast de referentiereeks Md2050 (zie sectie 3.2.3), gewerkt met drie klimaatreeksen: Ld2100, Hd2050 en Hd2100.

3.2.2 Totstandkoming van de klimaatreeksen

De klimaatscenario's die door het KNMI zijn afgeleid zijn berekend met het klimaatmodel RACMO (Regional Atmospheric Climate MOdel) klimaatmodel, gevoed met randvoorwaarden uit het globale klimaatmodel EC-Earth. Per klimaatscenario zijn 8 30-jarige realisaties doorgerekend. De resultaten die verkregen zijn voor de 30-jarige referentieperiode (1991-2020) vormen de *control* van het scenario. De resultaten die verkregen zijn voor de 30-jarige periode die representatief is voor het gewenste zichtjaar (2050, 2100) vormen de *future* van het scenario. Het zichtjaar is het centrale jaar in de 30-jarige periode. Zichtjaar 2100 geeft dus reeksen voor 2086-2015. Aldus heeft elk scenario $8 \times 30 = 240$ jaar aan resultaten voor zowel de *control* als de *future*.

Op alle *controls* en *futures* heeft een bias-correctie plaatsgevonden, die ervoor zorgt dat de resultaten van de *controls* klimatologisch overeen komen met de observaties in de referentieperiode. De voor de *control* afgeleide biascorrectie voor een bepaald scenario is tevens toegepast op de *future* van dat scenario.

De hierboven genoemde 30-jarige periode die representatief is voor het gewenste zichtjaar (2050, 2100) is niet de 30-jarige periode gecentreerd rondom het zichtjaar. De reden hierachter is dat het EC-Earth model een iets hogere temperatuurstijging berekent dan de IPCC modellen. Hiervoor wordt gecorrigeerd door de gesimuleerde reeks met ECEarth (neergeschaald met RACMO) iets eerder in de tijd te nemen. Deze 'correctie' is per klimaatscenario verschillend. De perioden zoals voor de zichtjaren aangeleverd door het KNMI worden gegeven in Tabel 3-2.

3.2.3 Keuze van de Referentiereeks

In feite heeft elk klimaatscenario dus zijn eigen referentie (de *control*). Omdat dit praktisch onwerkbaar is in hydrologische studies, heeft het KNMI uit alle scenario's die *control* geselecteerd die het meest representatief is (specifiek wat betreft het voorkomen van neerslagextremen, zowel aan droge als natte zijde) voor alle *controls*. Op basis van analyse naar deze criteria heeft het KNMI de *control* van het scenario 2050Md gekozen als meest geschikte referentiereeks. De hiertoe gehanteerde methodiek wordt beschreven in Van den Brink (2023).

3.2.4 Totstandkoming van de 90-jarige reeks

Zoals gezegd levert het KNMI voor elk scenario 240 jaar aan resultaten: 8 blokken van 30 jaar, afkomstig van 8 verschillende RACMO simulaties. Deze blokken worden *ensembles* genoemd.

Omdat budget en doorlooptijd geen ruimte bieden om per scenario 240 jaar door te rekenen met het NWM zijn de reeksen verkleind. Er is gekozen voor een reeks van 90 jaar per scenario (drie ensembles van 30 jaar). Per klimaatscenario is de optimale combinatie van drie ensembles bepaald die samen de relevante statistieken van de 240-jarige reeks zo goed mogelijk beschrijven (zie Tabel 3-2). Voor het Referentiescenario betreft het hier drie ensembles van de *control* (omdat die van toepassing zijn op de referentieperiode). Voor de toekomstscenario's zijn het ensembles uit de *future*. De gehanteerde methodiek om te komen tot de beste keuze van de drie ensembles wordt beschreven in Van den Brink (2023).

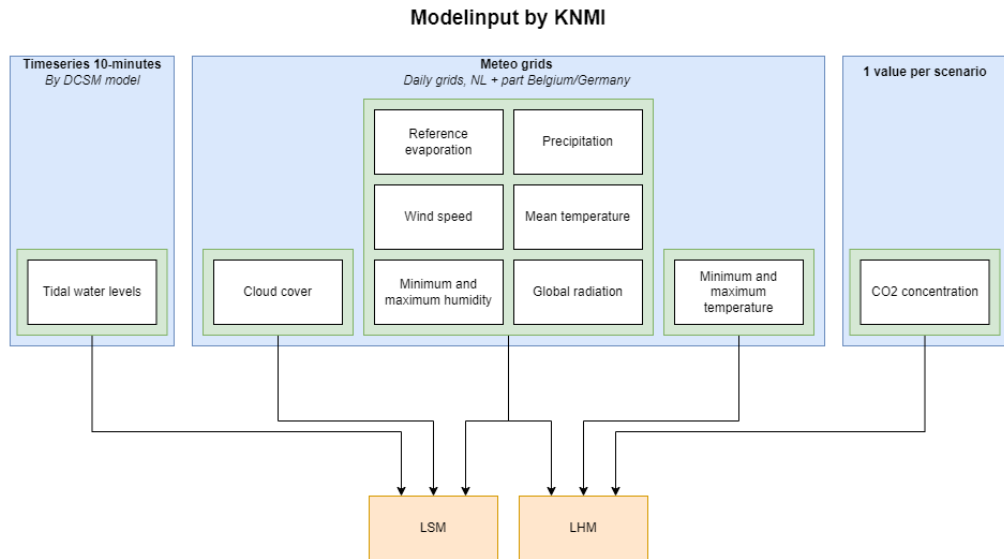
Tabel 3-2 Gebruikte ensembles en rekenperioden per klimaatscenario

Klimaatscenario	Geselecteerde ensembles	Rekenperiode
Md2050 (Referentie)	1,2,7 (control)	1991 - 2020
Ld2100 = Ld2050	1,7,8 (future)	2026 - 2055
Hd2050	3,4,8 (future)	2034 - 2063
Hd2100	3,4,5 (future)	2073 - 2102

Tijdens het voorbereiden van de modelinvoer voor de Deltascenario's is gebleken dat ensembles binnen een klimaatscenario aanzienlijk van elkaar kunnen verschillen. Dit wordt nader geïllustreerd in Bijlage C, waarin voor alle klimaatscenario's, en voor het zomer- en winterhalfjaar apart, het langjarig gemiddelde neerslagoverschot op basis van 90 jaar en voor de individuele ensembles worden getoond, alsmede de verschillen ten opzichte van de Referentie (eveneens op basis van 90 jaar en op basis van individuele ensembles). Duidelijk is dat het individueel vergelijken van ensembles een beeld kan geven dat sterk kan afwijken van het beeld dat ontstaat indien de gehele 90-jarige reeksen met elkaar vergeleken worden.

3.2.5 Datastromen en -conversies meteodata

Het KNMI heeft voor de klimaatscenario's grid-bestanden op dagbasis aangemaakt voor de neerslag, Makkink referentie-gewasverdamping, temperatuur, straling, bewolingsgraad, luchtvochtigheid en windsnelheid, voor de zichtjaren 2050 en 2100 voor Nederland. Deze data is inmiddels te downloaden op het KNMI Dataportaal met de zoekterm KNMI23 ([KNMI Klimaatscenario's](#)). De meeste gegevens zijn voor beide NWM-modellen (LHM en LSM) nodig. Bewolingsgraad is alleen nodig in het LSM en de minimum- en maximumtemperatuur is alleen nodig in het LHM. Zie ook het schematische overzicht in Figuur 3-2.



Figuur 3-2 De meteo-gerelateerde modelinvoer van het LHM en LSM.

Het KNMI heeft de meteorologische klimaatdata gedurende het project waarbinnen de modelinvoer voor de Deltascenario's is voorbereid op twee manieren aangeleverd:

1. In een eerste levering in netcdf formaat met een rotated pole projectie op 12x12 km gridresolutie. Deze projectie komt standaard uit het RACMO model. Deze levering is gebruikt ten behoeve van uitgevoerde LHM-testsommen en voor de inspeelruns voor het aanmaken van de initiële condities voor de NWM-sommen. Omwille van die sommen is een herprojectie naar het in LHM vereiste Rijksdriehoekstelsel (RD-new) uitgevoerd. Om een modelsom te draaien met 12x12km grid in het LHM diende een aantal extra bestanden aangepast te worden:
 - a. De initiële meteorologische condities: VALUE.asc en VALUE08.asc zijn omgezet naar 12x12km grids
 - b. De Metaswap meteo koppelingsbestanden svat2etref.inp en svat2precgrid.inp zijn opnieuw afgeleid.
2. In een tweede levering op verzoek van Deltares tevens in netcdf formaat met een WGS84 projectie op 1x1 km resolutie. Deze levering vormt de invoer voor NWM en wordt door FEWS omgezet naar de door NWM vereiste RD-new projectie en naar de vereiste eenheden.

De data van het KNMI zijn omgerekend naar de eenheden die het NWM verwacht. Tabel 3-3 geeft de omrekenfactoren per parameter.

Tabel 3-3 Omrekenfactoren van de meteorologische invoer

Parameter	Aangeleverde eenheid van KNMI	Omreken-factor	LHM eenheid
Neerslag (RD1)	mm/d	-	mm/d
Makkink referentieverdamping (EV24)	mm/d	-	mm/d
Daggemiddelde temperatuur Tgem (TG)	Kelvin	TG-273.15	Celsius
Min. dagtemperatuur Tmin (TN)	Kelvin	TN-273.15	Celsius

Max. dagtemperatuur Tmax (TX)	Kelvin	TX-273.15	Celsius
Windsnelheid (FG)	m/s	FG*1.33	m/s overdag
Straling (Shortwave radiation) (Q)	J/s/m ²	Q*86.4	Kj/dag/m ²
Dampspanning (UG)	Relatieve luchtvochtigheid (RHmin, RHmax) (-)	kPa	UG = ((RHmin*Es(TX)) + (RHmax*Es(TN))) / 2 Waarin: Es(TN) = 0.6108*(exp(17.27*TN / (237.3 + TN))) Es(TX) = 0.6108*(exp(17.27*TX / (237.3 + TX))) (Van Walsum, 2023)

Naast de meteorologische datagrids heeft het KNMI de CO₂-concentratie per combinatie van klimaatscenario en zichtjaar geleverd, die in het LHM-model wordt gebruikt en van invloed is op de gewasgroei zoals gemodelleerd door WOFOST. Hier wordt verder op ingegaan in sectie 3.3.

Het KNMI levert ook tijdreeksen van de kustwaterstanden op 10-minuten-basis. Deze reeksen komen uit het DCSM model, zie paragraaf 3.5.

3.3 CO₂ – concentratie

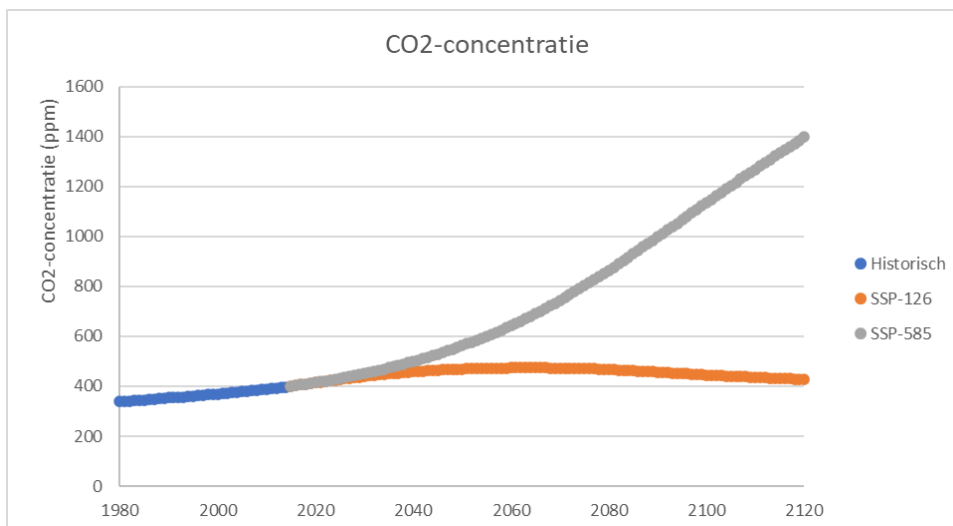
Het LHM (met WOFOST) heeft de gemiddelde CO₂-concentratie nodig voor de rekenperiode van een klimaatscenario. De effecten van de jaarlijkse gang in CO₂-concentratie op gewasgroei zijn namelijk verwaarloosbaar klein (mondelinge communicatie WENR). Overigens is een tijdsafhankelijke CO₂-concentratie ook geen bestaande functionaliteit in WOFOST.

Figuur 3-3 toont het verloop in jaarlijks gemiddelde CO₂-concentratie voor het SSP-126 en SSP-585 scenario. Voor de modelberekeningen zijn de te hanteren CO₂-concentraties bepaald door het gemiddelde te nemen over de corresponderende 30-jarige klimaatperiode. De resulterende getallen worden gegeven in Tabel 3-5.

In de tabel is te zien dat, hoewel de meteorologie voor 2050 en 2100 in het Ld-scenario gelijkgeschakeld is, wel onderscheid gemaakt wordt in CO₂-concentraties tussen beide zichtjaren. De reden hierachter is dat het maken van dit onderscheid erg eenvoudig te maken was vanwege de beschikbaarheid van de tijdreeks. Tegelijkertijd kan gezegd worden dat het effect van dit onderscheid op de hydrologie minimaal is, zie ook Figuur 8-62 waarin de gevoeligheid voor de CO₂-concentratie wordt verkend en welke laat zien dat zelfs een verhoging van de CO₂-concentratie tot de maximale waarde weinig effect heeft op de grondwaterstanden.

Opgemerkt wordt verder dat de maximale CO₂-concentratie in WOFOST 999 ppm bedraagt (van Walsum, 2023). De waarde van 1141 ppm in Hd2100 wordt daarom intern in de code teruggeschaald naar 999 ppm).

Bij een hogere CO₂-concentratie hoeven planten hun huidmondjes minder ver te openen, of minder huidmondjes aan te maken, om in hun koolstofbehoefte te voorzien. Het gevolg hiervan is dat de verdamping daalt (Witte et al., 2006). Hierdoor kunnen grondwaterstanden iets stijgen. In Bijlage I.4 wordt het effect van toename van de CO₂ concentratie op grondwaterstanden en verdamping geïllustreerd.



Figuur 3-3 Verloop van de jaargemiddelde CO₂-concentratie in de klimaatscenario's SSP-126 (Ld) en SSP-585 (Hd), zoals gebruikt in RACMO. Bron: KNMI.

Tabel 3-4 CO₂-concentraties zoals gehanteerd in WOFOST voor de verschillende klimaatscenario's

	Periode		SSP-126 (Ld)	SSP-585 (Hd)
Referentie	1991 - 2020	381.1	-	-
Zichtjaar 2050	2036-2065	-	467.2	573.0
Zichtjaar 2100	2086-2115	-	445.8	1141.0

3.4 Zeespiegelstijging

In onderstaande tabel is de zeespiegelstijging beschreven voor de twee klimaatscenario's en de twee zichtjaren. Per scenario is conform de verhaallijnen (Van der Brugge et al., 2024) de middenwaarde genomen van de door het KNMI gepubliceerde bandbreedtes. Dit is anders dan de vorige Deltascenario's, waarin voor de scenario's met relatief weinig klimaatverandering de ondergrens van de zeespiegelstijging genomen was en voor de scenario's met relatief veel klimaatverandering de bovengrens (Hunink et al. 2017).

Tabel 3-5 Zeespiegelstijging [m] in de KNMI'23 scenario's (KNMI, 2023).¹KNMI hanteert de periode 1995-2014 als referentieperiode voor de zeespiegelstijging. Het middelpunt van deze referentieperiode is nagenoeg gelijk aan het middelpunt van de voor de klimaatscenario's gehanteerde referentieperiode (1991 – 2020).

	Periode		SSP-126 (Ld)	SSP-585 (Hd)
Referentie	1995 - 2014 ¹	0		
Zichtjaar 2050	2036-2065		0.24	0.27
Zichtjaar 2100	2086-2115		0.44	0.82

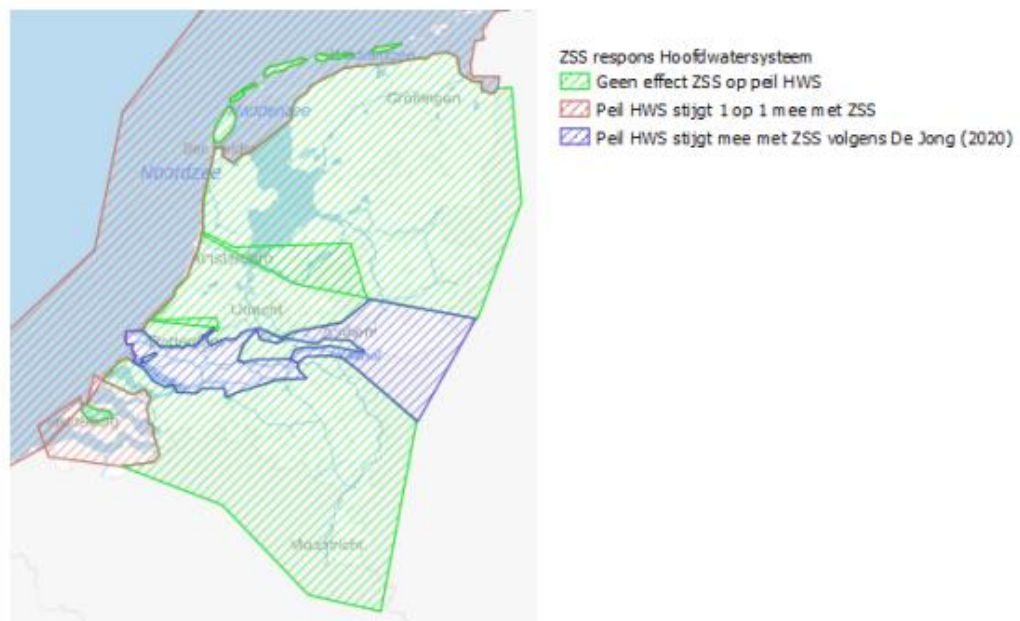
De zeespiegelstijging zoals weergegeven in KNMI'23 is uitgedrukt ten opzichte van de gemiddelde zeestand van de periode 1995-2014. Bij het bepalen van deze gemiddelde zeestand is het gemiddelde genomen van de 6 hoofdstations die in de zeespiegelmonitor worden gebruikt. Dit gemiddelde over de periode 1995-2014 ligt ca. 3 cm boven NAP; dit blijkt uit het rapport van de zeespiegelmonitor. Voor NAP is daarbij de laatste waterpassing genomen, ook wel aangeduid als NAP-2005. Tenslotte is in de zeespiegelstijging meegenomen dat er in Nederland sprake is van (geologische) bodemdaling (Glacial Isostatic

Adjustment, GIA), waarmee er dus sprake is van relatieve zeespiegelstijging, namelijk t.o.v. het (dalende) landniveau waarmee ook NAP daalt.

Conform bovenstaande is in MODFLOW (GHB-randvoorwaarde) in de Referentie het zeeniveau gesteld op NAP +3cm, i.p.v. NAP +0cm in LHM 4.3. Voor de scenario's zijn daar de zeespiegelstijgingswaarden uit Tabel 3-5 bij opgeteld.

Door opstuwing heeft de zeespiegelstijging verder landinwaarts effect op rivierstanden. De mate van 'meestijgen' is mede afhankelijk van de rivierafvoer: hoe lager de rivierafvoer, hoe sterker het relatieve effect van de zeespiegel op rivierwaterstanden landinwaarts. Met modelsimulaties is de stijging van rivierwaterstanden landinwaarts als gevolg van zeespiegelstijging bij een zeespiegelstijging van 1, 2 en 3 m en verschillende afvoeren doorgerekend (De Jong, 2020). Deze gegevens zijn gebruikt voor de doorwerking van zeespiegelstijging op de rivierwaterstanden, in relatie met rivierafvoeren (zie Figuur 3-5 als voorbeeld).

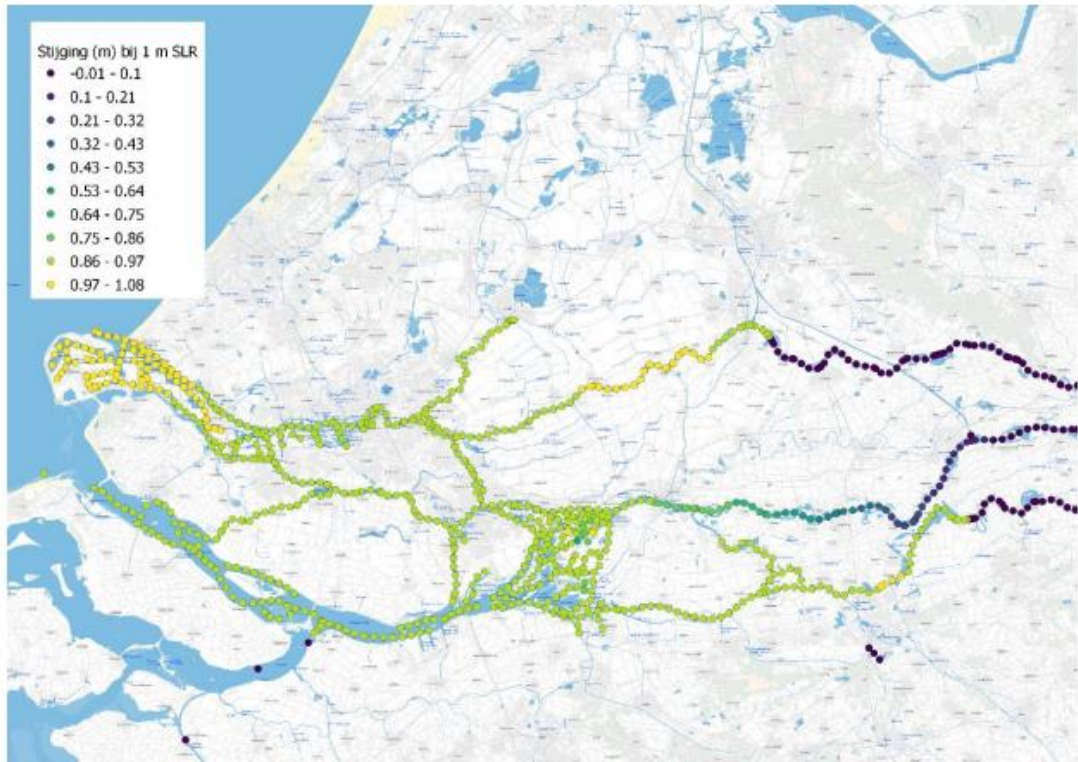
De daartoe gevolgde methodiek is conform de implementatie van zeespiegelstijging in het LHM-zoetzout ten behoeve van de KP-ZSS studie van Delsman et al. (2022). Voor de Rijn-Maasmonding en de bovenstroomse riviertakken worden de berekeningsresultaten van De Jong (2020) voor verschillende zeespiegelstijgingswaarden lineair geïnterpoleerd voor de stijgende zeespiegel, rekening houdend met de variabele afvoer nabij Lobith (zie paragraaf 3.8). Dat laatste is aanvullend op de implementatie van Delsman et al. (2022). Voor Ooster- en Westerschelde en Eems-Dollard stijgt het peil 1 op 1 mee met de zeespiegel. Overige peilen stijgen niet mee (Figuur 3-4). Deze randvoorwaarden worden in de MODFLOW RIV-module van het LHM opgelegd in de maandelijkse rivierwaterstanden (hoofdwatersysteem).



Figuur 3-4 Indeling hoofdwatersysteem (HWS) in type respons van de zeespiegelstijging op het waterpeil. Bron: Delsman et al., 2022.

De (invloed van de) zeespiegel(stijging) is eveneens van invloed op de LSM-randvoorwaarden (buitenwaterstanden, zie volgende Sectie).

Opgemerkt wordt dat er geen aanpassingen aan het landsysteem zijn meegemodelleerd aan de hand van de zeespiegelstijging (bijvoorbeeld dijkverhogingen of opgave van land aan de zee).



Figuur 3-5 Doorwerking van 1 meter zeespiegelstijging op stijging rivierwaterstanden bij mediane rivierafvoer (1961 m³/s bij Lobith). De doorwerking wordt scherp begrensd door de stuwen bij Hagestein en Lith, en de Volkeraksluizen (gebaseerd op De Jong, 2020).

3.5 Buitenwaterstanden

Voor de buitenwaterstanden (zeerandvoorwaarden in LSM) heeft het LSM tijdreeksen nodig van diverse locaties (zie Figuur 3-6) langs de Nederlandse kust. Het KNMI heeft voor 16 locaties buitenwaterstanden aangeleverd in netcdf-formaat, welke t.b.v. LSM3 omgezet zijn naar een door FEWS bruikbaar formaat (eveneens netcdf, maar met een andere configuratie). De koppeling tussen de door het KNMI aangeleverde locaties en de randvoorwaardelocaties in LSM3 zoals getoond in Figuur 3-6 worden gegeven in Tabel 3-6.

De buitenwaterstanden komen niet direct uit het RACMO model. Het KNMI heeft deze berekend met het DCSMv5 model (Delft Continental Shelve Model, Gerritsen et al., 1995). Hiervoor is versie v5 gebruikt, omdat deze oudere versie goed aansluit bij RACMO.

De buitenwaterstanden zoals aangeleverd door het KNMI zijn exclusief zeespiegelstijging. De zeespiegelstijging wordt in FEWS 'erop gedrukt' volgens de waarden in Tabel 3-5.

Tabel 3-6 Locaties DCSM buitenwaterstanden en de LSM3-locaties waarop deze toegepast worden.-.

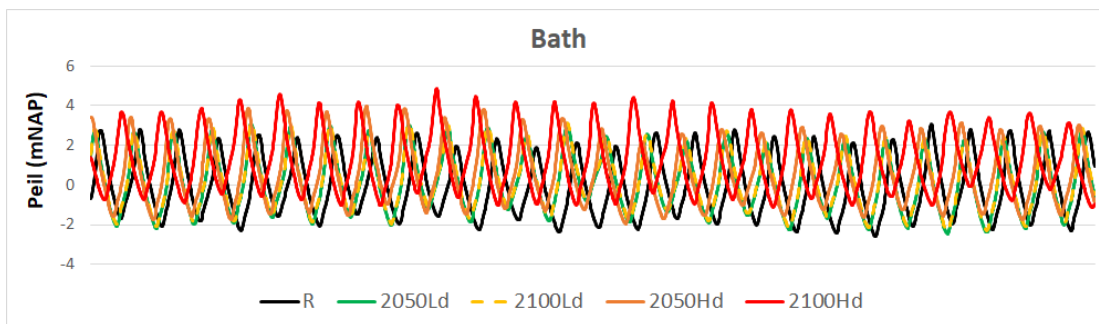
	DCSM uitvoerlocatie	LSM3 ID
1	Bath	Bathsluis
2	Westkapelle	WKAP
3	Roompot-buiten	OS11a, OS11b, OS11c, OS13, OS14
4	Brouwershavensche Gat	Node_Grev_01, Node_Grev_03
5	Haringvliet	Harvt10
6	Maasmond	Maasmond
7	Scheveningen	DL_Afvoer_JJMvd_Burg, DL_Afvoer_Schoute, DL_Afvoer_Vlotwatering, DL_Sluis_Scheveningen

8	Katwijk-Noord	RL_714;Noordwijk
9	Ijmuiden	WN_NZK023. WN_NZK024, WN_NZK025
10	Den Helder	HN_298, HN_299, HN_WG_1334, HN_WG_1544
11	Den Oever	WZDen_oever
12	Kornwerderzand	WZKornwerderzand
13	Harlingen	FR_P495
14	Waddenzee Lauwersoog	NZ_H_buiten_waddenzee
15	Delfzijl	Delfzijl
16	Nieuwe Statenzijl Dollard	HA_11



Figuur 3-6 Locaties buitenwaterstand-randvoorwaarden LSM3.

Figuur 3-7 geeft ter illustratie een voorbeeld van de verkregen buitenwaterstanden voor de locatie Bath.

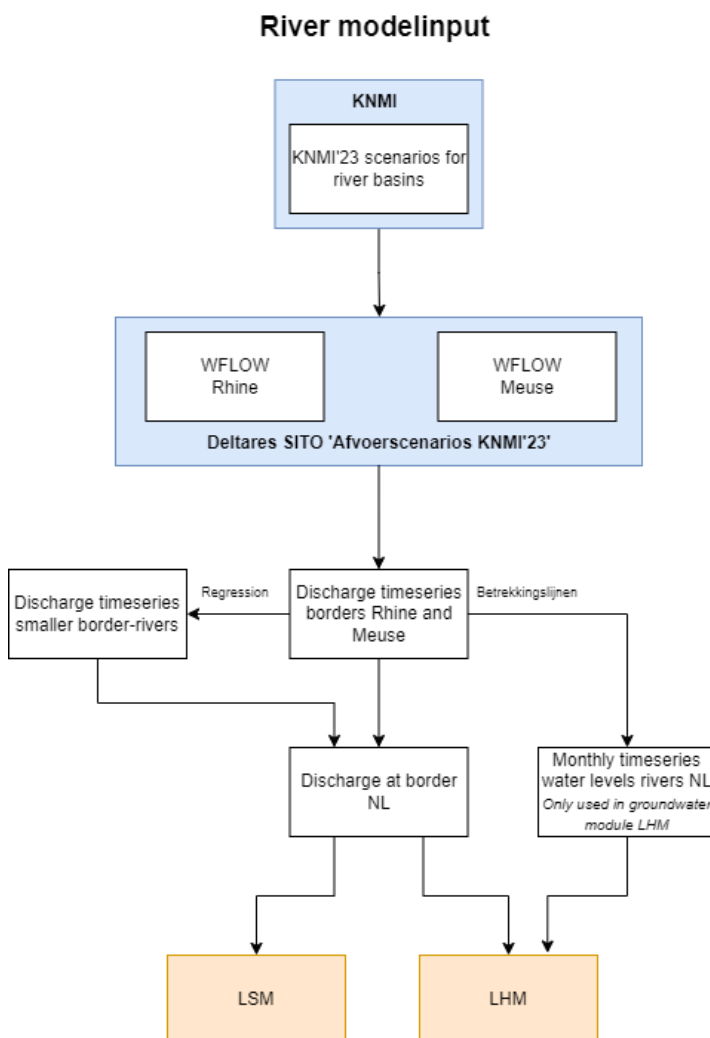


Figuur 3-7 Illustratie van de buitenwaterstanden in de verschillende klimaatscenario's voor locatie Bath, voor een willekeurige periode van ongeveer 2 weken.

3.6 Rivierafvoeren

3.6.1 Rijn en Maas

Het NWM verwacht afvoerwaarden aan de landsgrenzen als randvoorwaarden van rivieren in DM en LSM. Deze afvoeren worden tevens gebruikt om, via correlatie, peilen af te leiden voor het hoofwatersysteem in MODFLOW (zie Sectie 3.8). Een schematisch overzicht van de datastromen m.b.t. de rivierafvoeren wordt gegeven in Figuur 3-8.

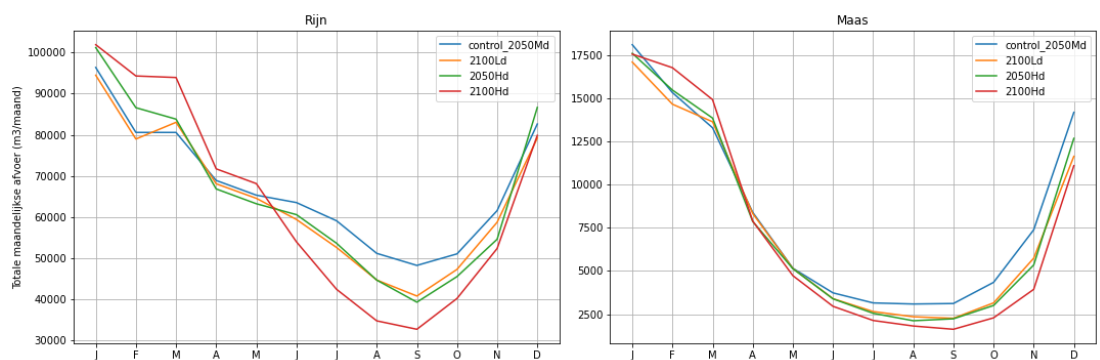


Figuur 3-8 Datastromen m.b.t. de rivierafvoeren: van gemodelleerde klimaat-afvoerscenario's tot randvoorwaarden voor LHM en LSM.

Het SITO-project 'Afvoerscenario's KNMI'23', onderdeel van het project Transnationale Samenwerking, heeft afvoerreeksen van de Rijn en de Maas behorende bij de KNMI'23-scenario's geleverd. Deze simulaties zijn beschreven in Buitink et al. (2023). De afvoerreeksen van de Rijn en Maas zijn gemaakt met het model wflow_sbm (Van Verseveld et al., 2022; Deltares, 2023).

Hetzelfde project heeft ook voor de Vecht afvoerscenario's opgeleverd. Voor de Vecht is geen wflow-model beschikbaar en is in plaats daarvan een gekoppeld HBV-LSM gebruikt. Vanwege nog onbevredigende prestaties van dit model in vergelijking met metingen zijn deze resultaten echter uiteindelijk niet gebruikt voor de afleiding van de modelinvoer voor de Deltascenario's. In plaats daarvan is de afvoer van de Vecht gecorreleerd aan de Maasafvoer, zie Sectie 3.6.2.

Voor meer informatie over de afvoersimulaties wordt verwezen naar Buitink et al. (2023). Figuur 3-9 laat de maandelijkse afvoeren voor Rijn en Maas zien voor de vier klimaatscenario's. In Bijlage D worden controlefiguren gegeven waaruit blijkt dat de aldus verkregen Maas- en Rijnafvoeren (in de Referentie) qua niveaus en dynamiek in lijn liggen met de afvoeren in LHM 4.3.



Figuur 3-9 Totale maandelijkse rivierafvoer per klimaatscenario voor Lobith, de Rijn (links) en 'Wflow-Borgharen', de Maas (rechts). De afvoer is gesimuleerd met wflow-hbv.

De afvoeren van de Rijn (locatie Lobith) en de Maas (locatie 'Wflow-Borgharen') op de landsgrens zijn directe invoer voor het NWM. Zowel in DM als in LSM3 worden de wflow-resultaten voor Borgharen toegepast op de locatie Monsin. Een nadere toelichting hierop wordt gegeven in onderstaande tekstbox.

Monsin versus Borgharen

Er zit een verschil tussen het werkelijke verloop van de Maas na Monsin, en hoe dit in Wflow zit. Wflow heeft geen ondersteuning zitten voor rivieren die opsplitsen in twee takken; rivieren kunnen alleen samenkomen. In Wflow loopt de Maas dus door als één tak na Monsin, zonder afsplitsing van (bijvoorbeeld) het Albertkanaal. Tussen Monsin en Borgharen komen nog wel de Jeker en de Berwinne erbij, dus ook in Wflow.

Omdat de afsplitsingen in het model ontbreken is dat de locatie die in Wflow Borgharen genoemd, dus niet de "werkelijke" Borgharen. De locatie wordt in dit rapport "Wflow-Borgharen" genoemd.

DM en LSM verwachten als randvoorwaarden een tijdreeks voor locatie Monsin stroomopwaarts van de splitsing van het Albertkanaal. Hiervoor zijn twee opties geïdentificeerd: (1) de door Wflow berekende afvoer bij Monsin of (2) de berekende afvoer bij "Wflow-Borgharen". Bij optie 2 zijn de twee kleine rivieren (Jeker en Berwinne) die tussen Monsin en Borgharen uitmonden in de Maas wel meegenomen, maar de 'onttrekking' naar het Albertkanaal dus niet.

- Bij optie 1 ontbreekt de bijdrage van de Jeker en Berwinne voor de waterbeschikbaarheid binnen Nederland, waardoor mogelijk "te weinig" water Nederland instroomt.
- Bij optie 2 wordt de bijdrage van de Jeker en Berwinne wel meegenomen. Omdat DM de reeks op Monsin plaatst, is de afvoer op deze locatie mogelijk net wat hoger is dan wat er in de werkelijkheid op deze locatie gebeurt, maar is het totale volume water vanuit het stroomgebied wel goed. De net wat hogere waarde bij Monsin betekent wel dat mogelijk iets meer water het Albertkanaal ingestuurd wordt (doordat de verdeelsleutel als fractie gedefinieerd is). De inschatting is geweest dat deze fout wel kleiner is dan de fout die bij optie 1 gemaakt wordt.

Ook andere modelinvoer wordt afgeleid van de afvoeren bij Lobith en Borgharen:

- De landsgrens-afvoeren van de kleinere rivieren zoals de Roer en de Swalm (zie sectie 3.6.2);
- De rivierpeilen van het hoofdwatersysteem die worden gebruikt in het grondwatermodel (MODFLOW) (zie sectie 3.8).
- Bovenstroomse randvoorwaarden voor Rijn en Maas voor chlorideconcentraties en temperatuur (resp. sectie 3.9 en 3.7). Zij het dat het voor de Maas hier gaat om de afvoer bij Eijsden.

3.6.2 Vecht en kleine zijrivieren

Naast de Rijn en de Maas worden de rivierafvoeren in de Vecht, Bovenmark, Dommel en Tongelreep, Roer, Swalm en Niers ook als randvoorwaarden opgelegd aan het Distributiemodel van het LHM en aan het LSM (zie de locaties van de rivieren in Figuur 3-10). Voor het Distributiemodel worden decadewaarden opgegeven en voor het LSM dagwaarden. De dagelijkse afvoeren in de Rijn en Maas aan de landsgrens, zoals gemodelleerd met WFLOW dienen als basis voor de afvoeren van de zijrivieren in het LHM en LSM. Aan de hand van meetgegevens zijn regressierelaties afgeleid waarmee de dagelijkse afvoeren in de kleine zijrivieren ingeschat konden worden. Vervolgens zijn deze gemiddeld naar decadewaarden voor het Distributiemodel in het bestand dmdecadeafvoeren.txt.



Figuur 3-10 Locaties (groene punten) van de zijrivieren in DM en LSM

Om de regressierelaties tussen de afvoeren in de Maas en Rijn en de zijrivieren te bepalen, is gebruik gemaakt van de volgende datasets met dagelijkse rivierafvoeren:

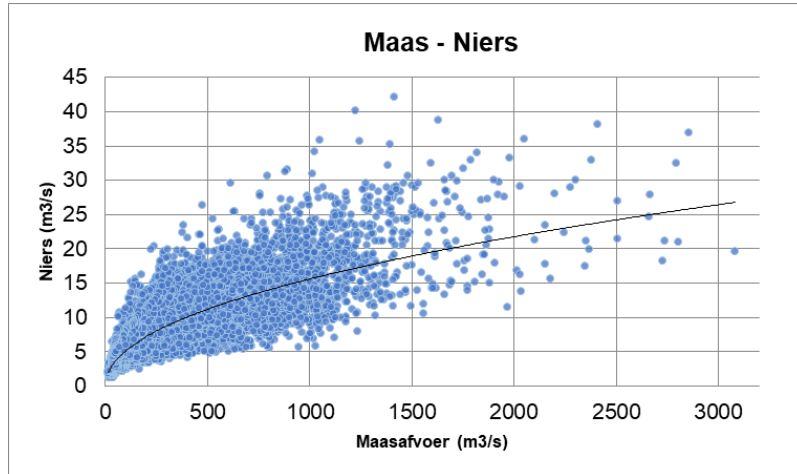
- Rijn bij Lobith: 1 januari 1901 t/m 1 januari 2012;
- Maas bij Monsin: 1 januari 1911 t/m 3 april 2012;
- Overijsselsche Vecht (Emmlichheim): 1 november 1949 t/m 1 januari 2012;
- Niers (Goch), 1 november 1960 t/m 1 januari 2012;
- Swalm (grens), 1 november 1958 t/m 6 maart 2012;
- Roer (Stah), 1 november 1960 t/m 6 november 2012;
- Dommel en Tongelreep, 1 november 1958 t/m 1 januari 2012;
- Bovenmark: 1 november 1958 t/m 6 november 2012.

Vervolgens is op bovenstaande datasets enkelvoudige regressie toegepast om de relaties te bepalen. Alle zijrivieren bleken een hogere correlatie te hebben met de Maas dan met de Rijn, wat verklaarbaar is omdat deze zijrivieren net als de Maas regenrivieren zijn. Er is aangenomen dat de regressierelaties met Monsin kunnen worden toegepast op de gesimuleerde afvoer bij Borgharen, aangezien de afvoeren tussen beide locaties maar weinig verschillen. In de volgende paragrafen worden per zijrivier de regressierelaties besproken. Omwille van een iets betere correlatie bij lage Maasafvoeren, is voor sommige rivieren gebruik gemaakt van getrapte regressie, met een aparte regressierelatie voor lagere- en voor hogere afvoeren. De overgang tussen de twee regressiefuncties wordt gerealiseerd op het punt waarbij de Maasafvoer dezelfde waarde heeft op basis van beide regressiefuncties. Dit wordt ook wel het knikpunt genoemd. Het knikpunt ligt daarom niet noodzakelijkerwijs bij dezelfde afvoer als de afvoer die de grens vormt tussen het bepalen van beide relaties. Bijlage D toont controlefiguren waaruit blijkt dat de afgeleide afvoeren (voor de Referentie) qua niveaus en dynamiek in lijn liggen met de afvoeren in LHM 4.3.

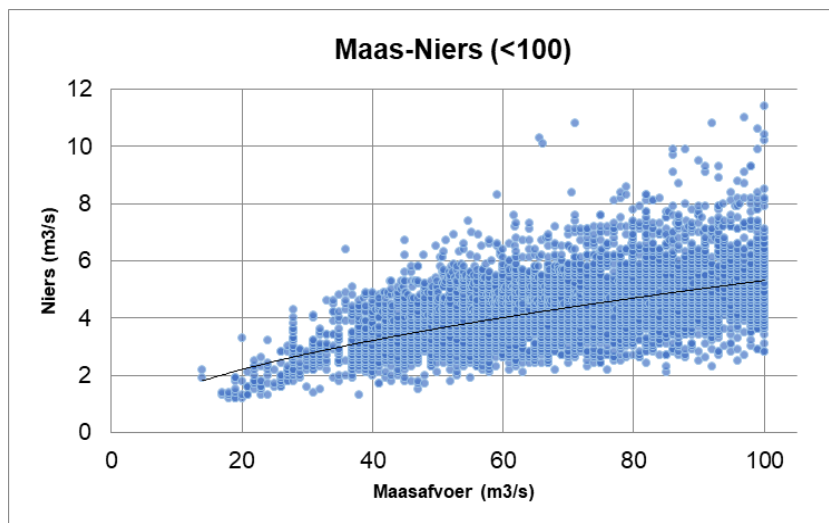
3.6.2.1 Niers

Voor de Niers zijn regressierelaties voor Maasafvoeren lager dan 100 m³/s en voor het hele bereik afgeleid. Het knikpunt tussen de twee functies is bepaald op 68 m³/s.

- $Q_{\text{Maas}} < 68 \text{ m}^3/\text{s}$
 $Q_{\text{Niers}} = 0.4247 * Q_{\text{Maas}}^{0.5485}$ ($R^2 = 0.2834$)
- $Q_{\text{Maas}} > 68 \text{ m}^3/\text{s}$
 $Q_{\text{Niers}} = 0.5675 * Q_{\text{Maas}}^{0.47989}$ ($R^2 = 0.6954$)



Figuur 3-11 Correlatie tussen de afvoer van de Maas en de afvoer van de Niers voor hoge afvoeren.

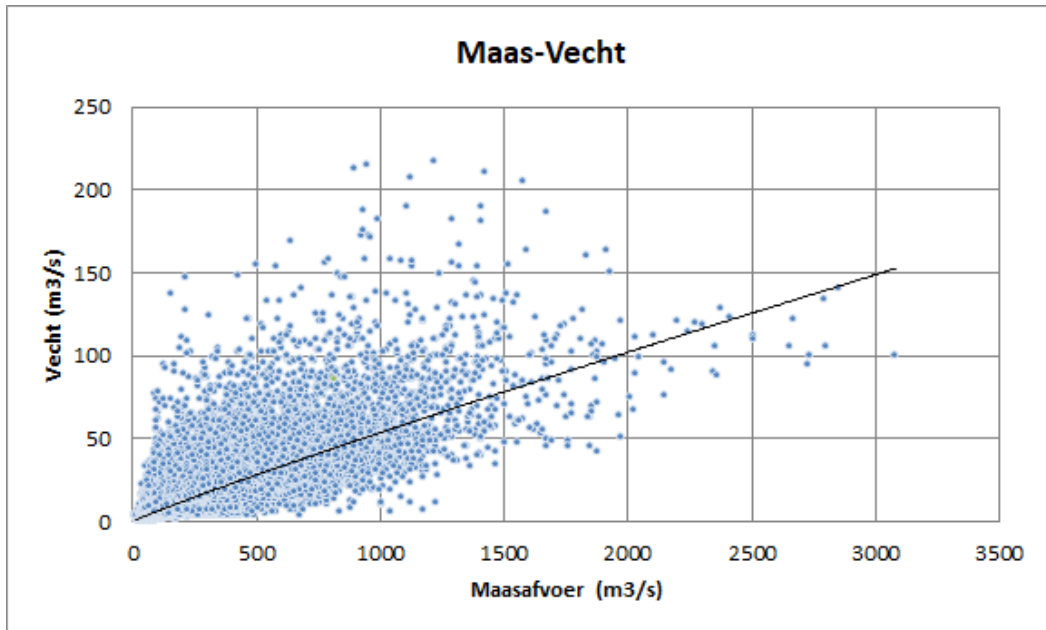


Figuur 3-12 Correlatie tussen de afvoer van de Maas en de afvoer van de Niers voor lage afvoeren.

3.6.2.2 Vecht

Hoewel de afstand van de Overijsselse Vecht tot de Maas groter is dan tot de Rijn, is de Overijsselse Vecht qua karakter beter te vergelijken is met de Maas (regenrivier) dan met de Rijn. Daarom is gekozen voor de regressierelatie met de Maasafvoer. Bij controle blijkt dat terecht, de regressierelatie tussen Rijn en Vechtafvoer op dagbasis en op decadebasis hebben een R^2 van ongeveer 0.4, terwijl de regressierelaties tussen Maas en Vechtafvoer een R^2 geven van ongeveer 0.6. De gebruikte regressie is als volgt:

- $Q_{\text{Vecht}} = 0.087 * Q_{\text{maas}}^{0.9299}$ ($R^2 = 0.5988$)

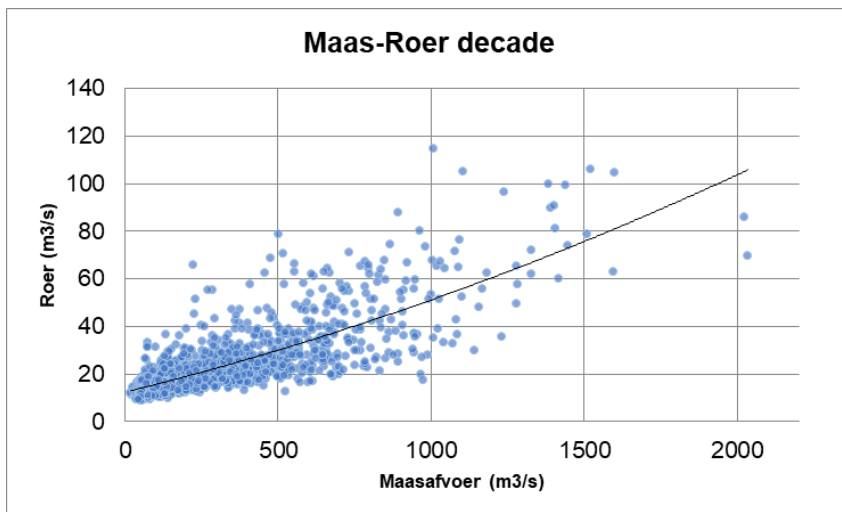


Figuur 3-13 Correlatie tussen de afvoer van de Maas en de afvoer van de Vecht.

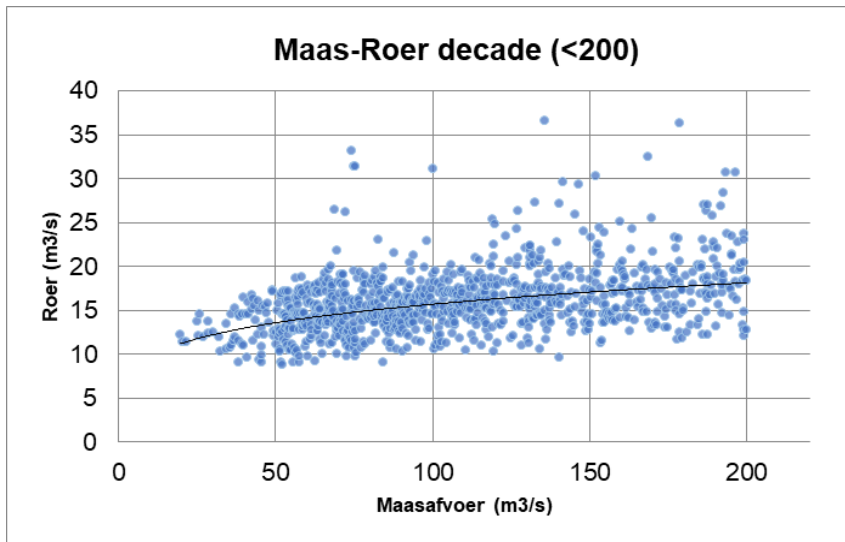
3.6.2.3 Roer

De afvoer van de Roer wordt sterk gereguleerd door een aantal reservoirs. Lage afvoeren hebben daardoor een slechte correlatie met de rest van het hoofdwatersysteem en de getrapte relatie is daarom extra van belang. Daarnaast is besloten om relaties op basis van de decadeafvoer te bepalen, omdat de correlatie hoger is dan op dagelijkse basis en de extremen zo minder een rol spelen. De gevonden correlaties zijn ook toegepast op de dagelijkse afvoeren, welke alleen invoer zijn voor het LSM. Regressierelaties voor Maasafvoeren lager dan 200 m³/s en voor het hele bereik zijn afgeleid. Het knikpunt tussen de twee functies is bepaald op 75 m³/s.

- $Q_{\text{maas}} < 75 \text{ m}^3/\text{s}$:
 $Q_{\text{Roer}} = 6.0407 * Q_{\text{maas}}^{0.2076}$ ($R^2 = 0.1694$)
- $Q_{\text{maas}} > 75 \text{ m}^3/\text{s}$:
 $Q_{\text{Roer}} = 0.000007 * Q_{\text{maas}}^2 + 0.0319 * Q_{\text{maas}} + 12.37$ ($R^2 = 0.6445$)



Figuur 3-14 Correlatie tussen de afvoer van de Maas en de afvoer van de Roer (hoge afvoeren).



Figuur 3-15 Correlatie tussen de afvoer van de Maas en de afvoer van de Roer (lage afvoeren).

3.6.2.4 Swalm, Dommel, Tongelreep en Bovenmark

De enkelvoudige regressiemethode is eerder toegepast op de Swalm, Dommel, Tongelreep en de Bovenmark door Hunink et al. (2013). De afgeleide regressiefuncties zijn hier opnieuw gebruikt. Deze functies zijn gebaseerd op de afvoer in de Niers, aangezien de rivieren hier sterker mee zijn gecorreleerd dan met de Maas. De gebruikte regressievergelijkingen zijn hieronder weergegeven:

- $Q_{\text{Swalm}} = 0.5902 \cdot Q_{\text{Niers}}^{0.5069}$ ($R^2 = 0.5617$)
- $Q_{\text{Dommel+Tongelreep}} = 0.2822 \cdot Q_{\text{Niers}} + 0.4707$ ($R^2 = 0.6477$)
- $Q_{\text{Bovenmark}} = 0.7264 \cdot Q_{\text{Dommel+Tongelreep}}^{1.6303}$ ($R^2 = 0.7045$)

In het LHM (Distributiemodel) worden de afvoeren voor de Dommel en Tongelreep als één afvoer gemodelleerd. In het LSM worden de afvoeren wel afzonderlijk onderscheiden. Daarbij is het resultaat van de bovenstaande relatie voor 2/3 toegekend aan de Dommel en voor 1/3 aan de Tongelreep (verdeling op basis van meetreeksen).

3.6.2.5 Wateraanvoer Zeeuw-Vlaanderen (vanuit België) en Dinkel

Deze aanvoeren zijn minimaal en worden conform de instellingen in LHM 4.3 constant gehouden op 0.1 m³/s.

3.6.2.6 Dommel-Eindhoven, Aa en Noordervaart

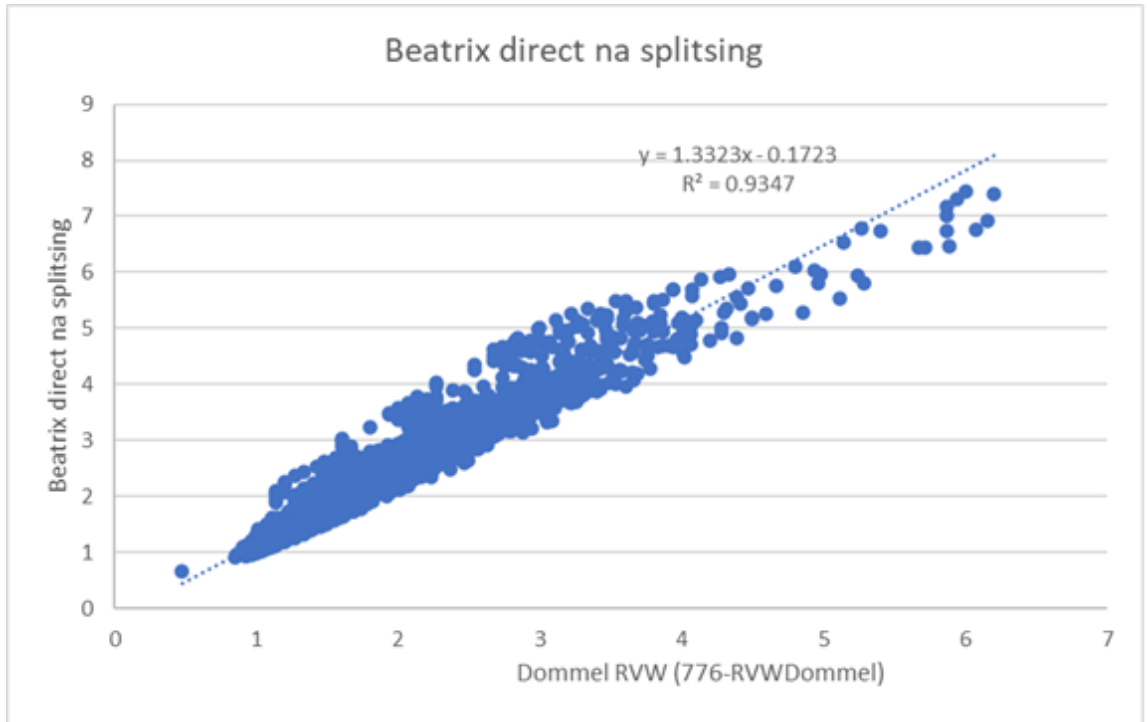
Voor stuw Noordervaart staat in LSM3 een randvoorwaarde, t.w. een onttrekking van 1.5 m³/s ter representatie van de hoeveelheid water die via stuw Katsberg naar het Peelkanaal wordt doorgevoerd.

Voor de Aa bij Den Bosch wordt de totale afvoer van LHM district 63 op DM knoop 5075 als randvoorwaarde genomen

Voor de Dommel bij Eindhoven is uit met LSM-KRW gemodelleerde tijdreeksen een relatie afgeleid tussen het debiet van de randvoorwaarde Dommel en het debiet op Beatrixkanaal. Dit levert (zie ook Figuur 3-16):

- $Q_{\text{Dommel, Eindhoven}} = 1.3323 \cdot Q_{\text{Dommel, RVW}} - 0.1723$ ($R^2 = 0.9347$)

Waarbij Q_{Dommel} , $RVW = 2/3 * Q_{\text{Dommel}+\text{Tongelreep}}$, zoals vermeld in sectie 3.6.2.4.



Figuur 3-16 Correlatie tussen met LSM-KRW berekende debieten van de randvoorwaarde Dommel (776) en eveneens met LSM-KWR berekende debieten op het Beatrixkanaal.

3.7 Temperatuur LSM

LSM heeft als randvoorwaarde de oppervlaktewatertemperatuur nodig van de bovenstroomse wateren (bij de landsgrenzen) en van het buitenwater (aan zee). Hieronder is aangegeven hoe deze zijn afgeleid.

3.7.1 Bovenstrooms

De watertemperatuur bij Lobith en Eijsden geven de randvoorwaarden bovenstrooms aan. Om deze voor de klimaatscenario's te kunnen berekenen, wordt de volgende relatie gebruikt tussen luchttemperatuur, afvoer en watertemperatuur (Loos en Boderie, 2019):

$$T_w = C_{T_{air}} * T_{air} + C_Q * Q + T_{w_offset}$$

Waarbij

T_w = watertemperatuur (°C)

T_{air} = luchttemperatuur, smoothed met een moving average van 9 dagen (°C)

Q = afvoer, smoothed met een moving average van 9 dagen (m³/s)

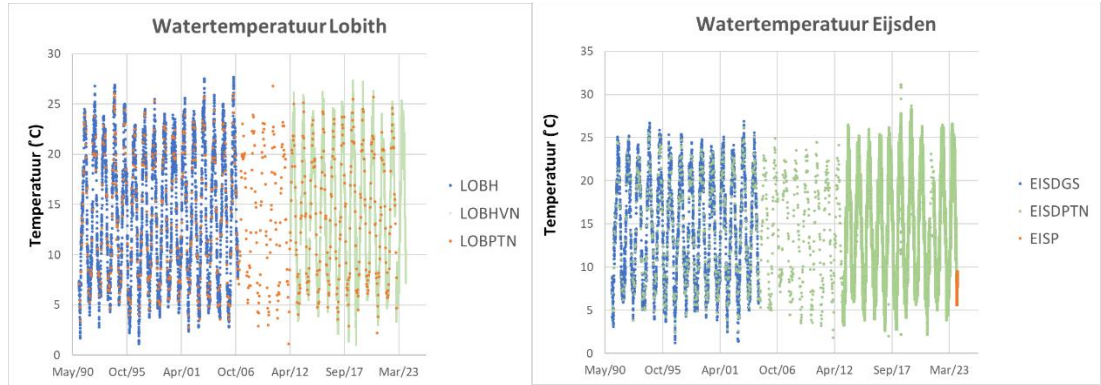
$C_{T_{air}}$ = coëfficiënt voor watertemperatuur

C_Q = coëfficiënt voor afvoer

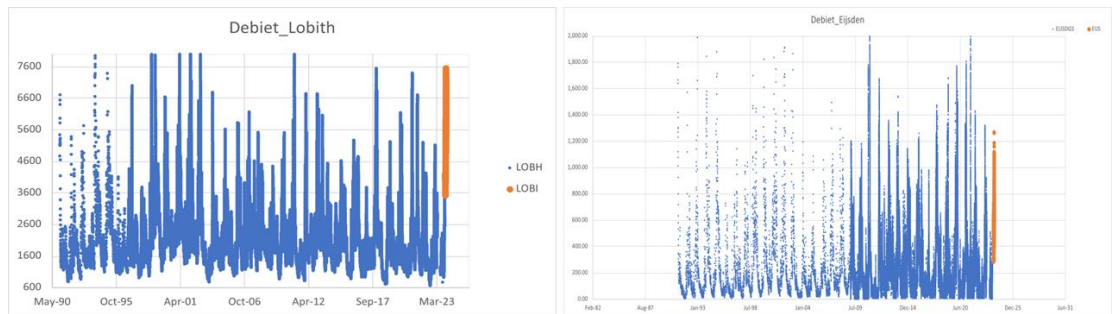
T_{w_offset} = offset watertemperatuur (°C)

Een multiple linear regression met gemeten data tussen 1991 en eind 2023 bepaalt de coëfficiënten $C_{T_{air}}$, C_Q en de watertemperatuur offset T_{w_offset} . Hiertoe waren diverse datasets met verschillende temporele dekking beschikbaar, zie Figuur 3-17 en Figuur 3-18. . Voor zowel temperatuur als afvoer is de reeks met de beste dekking gekozen voor beide locaties.

Alleen voor de temperatuur bij Lobith zijn drie tijdreeksen gecombineerd om een volledige dekking over een voldoende lange periode te verkrijgen. Zie ook Tabel 3-7.



Figuur 3-17 Gemeten watertemperatuur bij Lobith en Eijsden tussen 1991 en 2023



Figuur 3-18 Gemeten afvoer bij Lobith en Eijsden tussen 1991 en 2023

Tabel 3-7 Gebruikte watertemperatuur- en afvoermetingen bij Lobith en Eijsden voor correlatie berekening

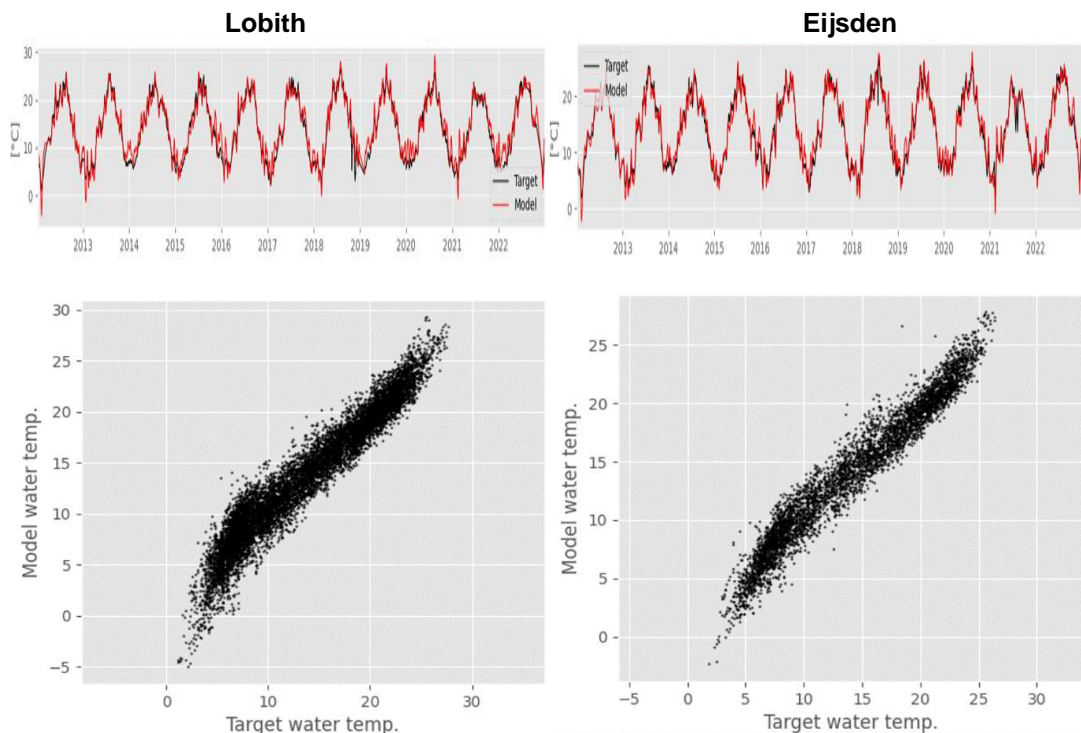
Parameter en hoofdlocatie	Sublocatie
Watertemperatuur Lobith	LOBH, LOBHVN, LOBPTN (om de gat in de mitte te vullen)
Watertemperatuur Eijsden	EISDPTN
Afvoer Lobith	LOBH
Afvoer Eijsden	EIJDGS

De uitgevoerde correlaties resulteren in de volgende coëfficiënten voor bovenvermelde relatie:

Eijsden: $C_{T_air} = 8.729331e^{-1}$, $C_Q = -3.940457e^{-1}$, $T_{w_offset} = 5.424203$

Lobith: $C_{T_air} = 1.019924$, $C_Q = -4.756565e^{-4}$, $T_{w_offset} = 4.086132$

Figuur 3-19 toont de performance van de twee relaties. De score van de regressie is 0.95 voor Eijsden en 0.93 voor Lobith. De root-mean-square error is 1.86 voor Eijsden en 2.8 voor Lobith.



Figuur 3-19 Performance van watertemperatuur relaties voor Lobith en Eijsden. Boven: vergelijking tussen metingen ('Target') en regressiemodel ('Model') in een tijdreeks. Onder: correlatiediagrammen.

3.7.2 Buitenwater

Voor de temperatuur van de buitenwateren wordt gebruik gemaakt van een eerder afgeleide relatie tussen de atmosferische temperatuur bij Vlissingen en de watertemperatuur bij Hoek van Holland (Bak, 2017). Bak (2017) maakte gebruik van:

(a) een meetreeks (1984 – 2015) met dagwaarden van de watertemperatuur bij Hoek van Holland op negen meter onder waterspiegel. De meetlocatie ligt op de Nieuwe Waterweg, vlakbij de Berghaven.

(b) een meetreeks met dagwaarden van de luchttemperatuur bij station Vlissingen.

Bak (2017) vond de volgende relatie tussen de watertemperatuur bij Hoek van Holland en het 9-daags lopende gemiddelde van de luchttemperatuur bij station Vlissingen:

$$y = \frac{L}{1 + \exp_{-k}(x - x_0)} - 2 \text{ met parameters } L, k \text{ en } x_0$$

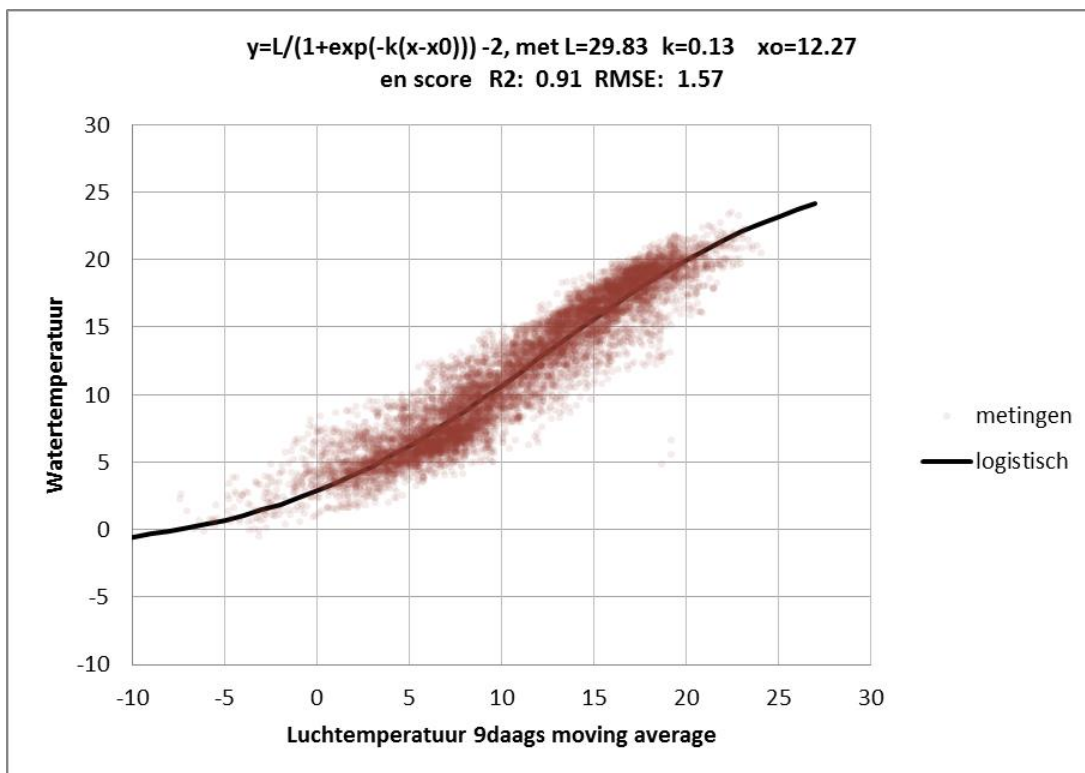
Waarbij

Y = de watertemperatuur bij Hoek van Holland (°C)

X = de luchttemperatuur bij Vlissingen (9-daags lopend gemiddelde, °C)

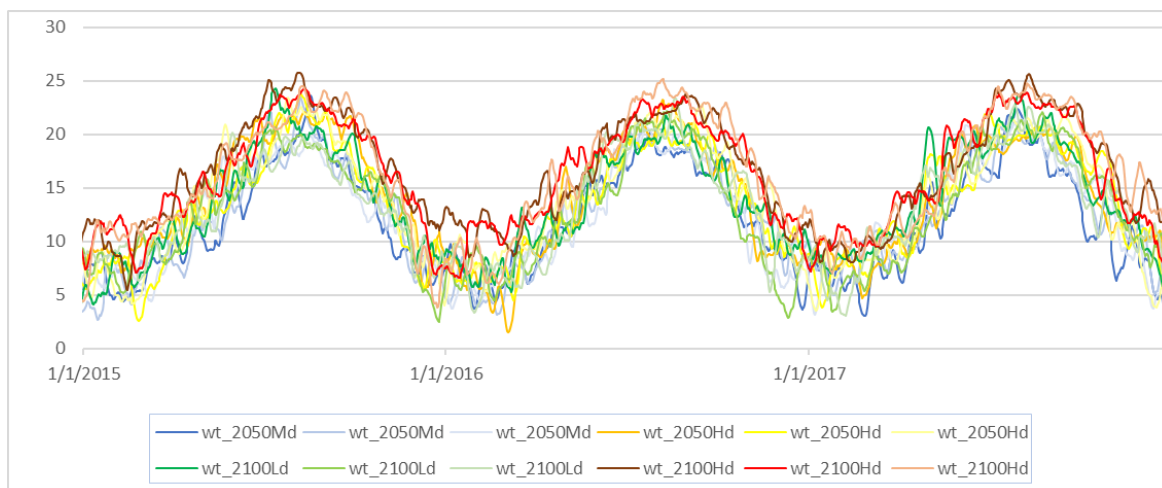
L, k en x_0 zijn regressieparameters met resp. de waarden $L=29.83495709$, $k=0.1332114$ en $x_0=12.27456387$

Het gevonden verband heeft de vorm van een S-curve, zie Figuur 3-20.



Figuur 3-20 Het gevonden verband tussen de luchttemperatuur bij station Vlissingen en de watertemperatuur bij Hoek van Holland. Bron: Bak (2017).

De gevonden relatie is toegepast op de tijdreeksen van luchttemperatuur bij Vlissingen volgens de door het KNMI aangeleverde klimaatgrids. Een illustratie van de aldus berekende temperatuurdynamiek voor de verschillende ensembles van de verschillende klimaatscenario's wordt gegeven in Figuur 3-21.



Figuur 3-21 Illustratie van het verloop van de watertemperatuur ('wt') bij Hoek van Holland in de verschillende ensembles van de verschillende klimaatscenario's.

3.8 Peilen hoofdwatersysteem

Voor het LHM (MODFLOW) zijn de maandelijks gemiddelde waterpeilen in het hoofdwatersysteem op gridbasis nodig om de interactie tussen het grondwatersysteem en de oppervlaktewateren te bepalen. Deze peilen zijn voor de grote rivieren (Figuur 3-22) bepaald aan de hand van relaties met de dagelijkse rivierafvoer die in Nederland bij de grens

binnenkomt (bij Lobith en Borgharen): QH-relaties. Deze relaties zijn te vinden in twee betrekkinglijndocumenten voor de Rijn en de Maas die zijn opgesteld door Rijkswaterstaat (Rijkswaterstaat, 2018; Rijkswaterstaat, 2020). In deze documenten wordt het peil voor elke kilometer langs de Rijn en de Maas gegeven bij een aantal discrete afvoeren.

Om de peilen te bepalen in de verschillende klimaatscenario's, zijn de peilen uit de QH-relaties (per kilometer) omgezet naar een vlakdekkend grid van het hoofdwatersysteem voor elke discrete afvoerwaarde uit de betrekkinglijnen. Hiervoor is het hoofdwatersysteem opgeknippt in vakken van 1km rondom de meetpunten uit het betrekkinglijndocument. Per vak is vervolgens middels een opzoektabel opgezocht welk peil volgens het betrekkinglijndocument hoort bij de geldende afvoer, zoals die volgt uit de met wflow gesimuleerde scenario-afvoeren bij Borgharen en Lobith. Daarbij is lineair geïnterpoleerd tussen de in het betrekkinglijnen gehanteerde afvoerclassen.



Figuur 3-22 Hoofdwatersysteem in Nederland met in donkerblauw en donkeroranje de gebieden waar het peil is aangepast aan de hand van de betrekkinglijnen van Rijkswaterstaat.

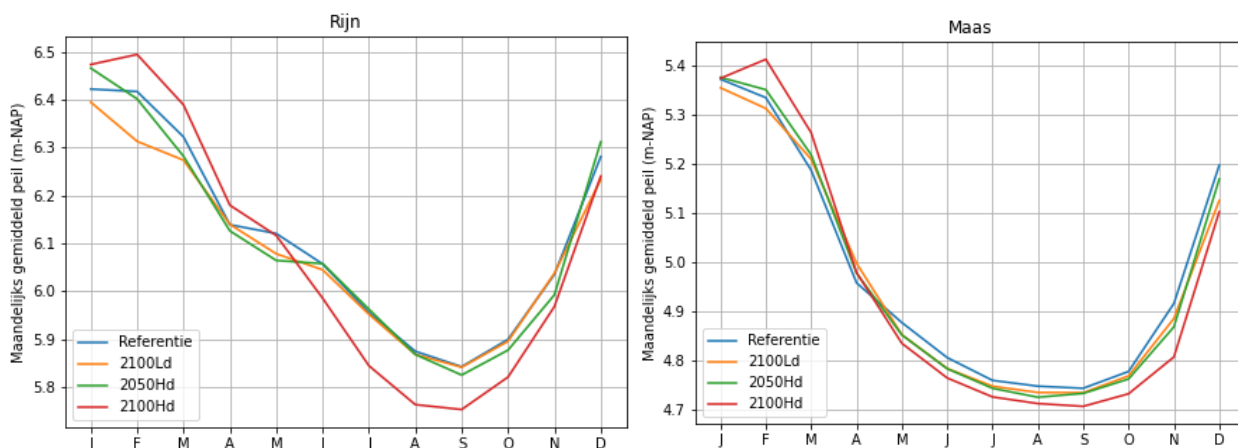
Bij deze methode zijn de volgende overwegingen en aannames meegenomen:

- De QH-relaties verlopen lineair tussen de discrete afvoeren uit het betrekkinglijndocument
- Het betrekkinglijndocument gaat uit van afvoeren bij Borgharen Dorp en Sint-Pieter Noord, net bovenstrooms van Borgharen. De relaties op basis van Sint-Pieter Noord worden iets betrouwbaarder bevonden wegens de stuw bij Borgharen (Rijkswaterstaat, 2020). Echter presteert WFLOW beter op de locatie Borgharen, wat uiteindelijk heeft doen besluiten om Borgharen als afvoerlocatie te gebruiken omdat de relaties worden toegepast op WFLOW modelresultaten.
- De QH relaties zijn niet afhankelijk van het moment in het jaar van optreden van de afvoeren en dus ook niet van de maandelijks variërende streefpeilen van het IJsselmeer. Het document is gebaseerd op een IJsselmeerpeil van -40cm-NAP. Het IJsselmeerpeil heeft normaliter wel een invloed op de peilen bij het Keteldiep en Kampen. In de Deltascenario's is ervoor gekozen om geen aanpassingen te doen en te werken met de betrekkinglijnen zoals opgesteld door RWS, omdat de laagste Rijnafvoeren niet in de zomer plaatsvinden maar in oktober/november, waardoor lage afvoeren vaak samenvallen met een winterpeil van -40 cm NAP in het IJsselmeer.

Ook geven modellering van de IJssel en de betrekkinglijnen zelf weer dat de impact van de afvoer bij Lobith groter is dan de impact van het IJsselmeerpeil, vooral bij hogere afvoeren.

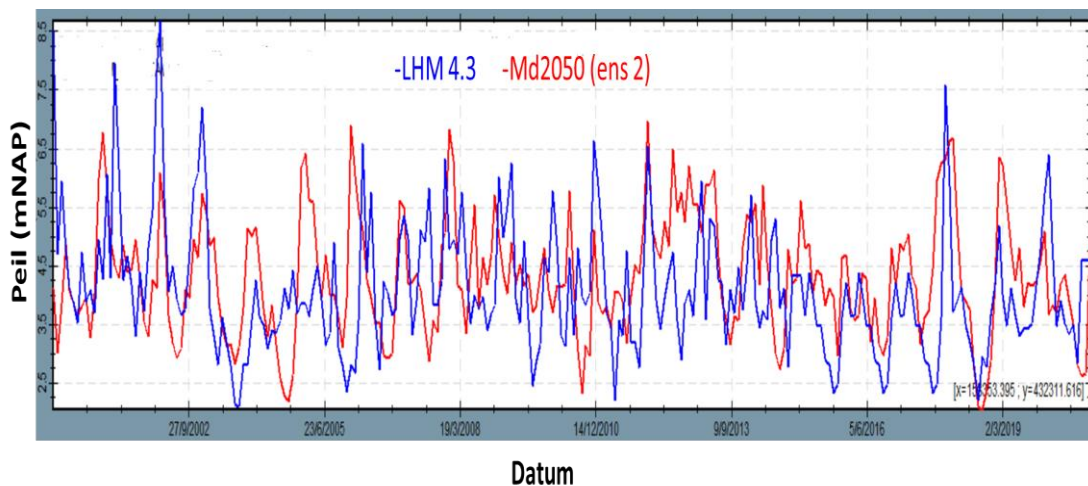
- De betrekkinglijndocumenten geven de QH-relaties tot aan de gebieden waar het getij van invloed is op de peilen (aangegeven in groen in Figuur 3-22). Voor het getijdengebied een standaard maandelijks patroon in peilen aangenomen, namelijk de peilen uit 2000 vanuit LHM 4.3.
- Er is aangenomen dat de QH-relaties niet veranderen onder klimaatverandering, bodemdaling en landgebruiksaanpassingen
- Er moet worden opgemerkt dat er enkele stukjes in het betrekkinglijndocument zijn waar de ruimtelijke resolutie groter is dan 1 kilometer. Bij Doesburg valt bijvoorbeeld een “gat” van 4 km tussen twee meetpunten.

De gemiddelde maandelijks peilen die volgen uit deze methode zijn voor een willekeurige locatie weergegeven in Figuur 3-23. Hierin is goed te zien dat het scenario 2100Hd het meest afwijkt van de andere scenario's met lagere peilen in de zomer en hogere in de winter. Voor het peil afhankelijk van de Rijnafvoer is dit verschil het grootst.



Figuur 3-23 Maandelijks gemiddeld peil voor twee willekeurige locaties in het hoofdwatersysteem: nabij Rhenen (Rijn, links) en Oss (Maas, rechts).

Figuur 3-24 toont een vergelijking die ter controle is gemaakt tussen de afgeleide peilen nabij Tiel voor het Referentiescenario (ensemble 2) en de peilen in LHM 4.3. Hieruit blijkt dat zowel de absolute niveaus als de dynamiek goed met elkaar in lijn liggen. Bij de vergelijking moet in gedachten gehouden worden dat de Referentiereeks een synthetische reeks is en dus per definitie anders is dan de van meetwaarden afgeleide reeks in LHM 4.3.



Figuur 3-24 Vergelijking tussen de afgeleide peilen nabij Tiel voor het Referentiescenario (ensemble 2) en de peilen in LHM 4.3.

3.9 Chlorideconcentraties in de rivieren

Voor de chlorideconcentraties in de Maas- en Rijn-randvoorwaarde (zowel LSM als DM) is gebruik gemaakt van de regressierelaties met respectievelijk Maas- en Rijnafvoer zoals afgeleid in Pronk (2021).

Voor de overige rivierafvoeren is de chlorideconcentratie veel minder van belang. Daarom is in die rivieren een vast jaarlijks patroon van chloride op decadebasis opgelegd. De hiervoor gebruikte waarden zijn gelijk aan die van LHM 4.3.

3.10 Bodemdaling

Recent zijn nieuwe bodemdalingsprognoses gemaakt voor 2050 en 2100 (<https://www.klimaat-effectatlas.nl/nl/bodemdalingsvoorspellings-kaarten>) (Erkens et al., 2021). De prognoses zijn gemaakt voor twee scenario's: Business-as-Usual, met voortgaande peilindexatie en sterke klimaatverandering, en een 'Parijs-akkoord-scenario', met gematigde klimaatverandering en peilfixatie. Bij peilindexatie worden de oppervlaktewaterpeilen regulier (in tien-jaarlijkse cycli) aangepast aan de opgetreden bodemdaling, bij peilfixatie wordt het oppervlaktewaterpeil niet aangepast zodat als gevolg van de bodemdaling vernatting optreedt en bodemdaling wordt geremd.

In de Deltascenario's wordt uitgegaan van de peilfixatievariant (Figuur 3-25). De motivatie hierachter is dat deze bodemdalingsvariant beter aansluit bij de verwachting dat de peilen opgezet gaan worden om bodemdaling tegen te gaan.

Bij de totstandkoming van de gebruikte bodemdalingskaart is ervan uitgegaan dat al het water dat nodig is voor de bodemdalingsreductiemaatregelen ook daadwerkelijk geleverd kan worden. Vermoedelijk is dit niet het geval en zal de bodemdaling daardoor iets groter zijn. De bodemdaling wordt in een vervolgtraject nauwkeuriger bepaald. Na de NWM-berekeningen wordt namelijk de bodemdalingseffectmodule gedraaid, die geeft inzicht in de daadwerkelijke bodemdaling, ook als gevolg van watertekorten.

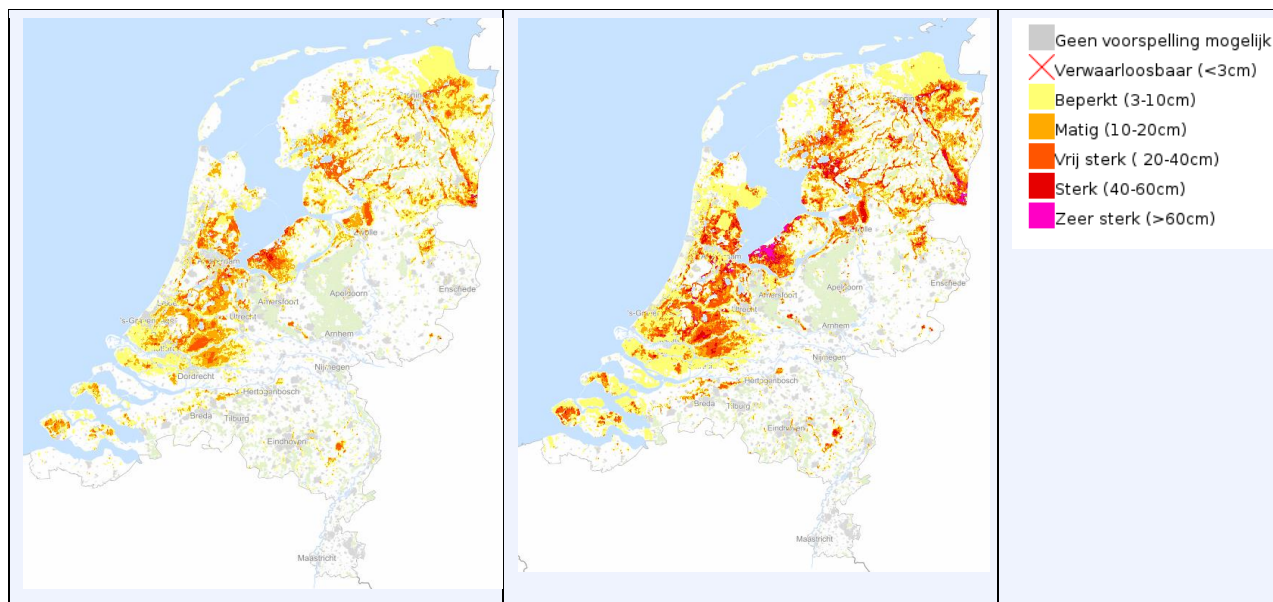
In de NWM modelinvoer zijn de volgende aanpassingen gedaan:

- De maaiveldhoogte wordt aangepast voor de twee bodemdalingsscenario's.
- In de topsysteemroutine zijn aanpassingen ten aanzien van de ontwateringsbasis gemaakt:
 - De hoogte van de drainagesystemen (SOF, greppels en buisdrainage) is verlaagd om rekening te houden met de berekende bodemdaling;

- Ook de bodemhoogte van de primaire, secundaire en tertiaire waterlopen is verlaagd naar rato van de berekende bodemdaling;

Vanwege de veronderstelde peilfixatie blijven de streefpeilen van het oppervlaktewater in de primaire, secundaire en tertiaire waterlopen gelijk aan de huidige (Referentie), tenzij de peilen boven maaiveld komen te liggen. In het hoofdwatersysteem wordt geen bodemdaling toegepast.

Bijlage B toont hoe de oppervlaktewaterpeilen en drainageniveaus veranderen tussen de scenario's, onder invloed van bodemdaling (deze sectie), landgebruiksveranderingen (sectie 4.2) en peilopzet in het veengebied (sectie 3.11).



Figuur 3-25 Bodemdalingskaarten voor de periode 2020 – 2050 (links) en 2020 – 2100 (rechts). Scenario 'Parijs-akkoord'. Bron: [Klimaat-effectatlas.nl](https://klimaat-effectatlas.nl/).

3.11 Klimaatmitigatie in het veengebied

In alle scenario's worden inspanningen geleverd om CO₂ emissies te reduceren. In Vlug en Ruim, waarbij in Nederland broeikas-emissie naar nul gereduceerd worden (of op Europees niveau worden gecompenseerd), is uitgegaan van de strengere norm van peilopzet van oppervlaktewateren in veengebieden naar 0.20m onder maaiveld. In de Stoom en Warm wordt weliswaar ook gestreefd naar reductie van CO₂ uit landgebruik, maar is de inspanning minder groot. In Stoom en Warm wordt daarom uitgegaan van een peilopzet 0,40m onder maaiveld. De ordegrrootte van de peilopzet is ingeschat op basis van expert judgement.

In deze analyse wordt uitgegaan van de veengebieden (veen en moerige gronden) die lager dan 1m+NAP gelegen zijn (conform Hunink et al, 2022), omdat deze gebieden mogelijkheden hebben tot wateraanvoer (Figuur 3-26). De selectie is bepaald op basis van:

- BOFEK kartering: veen en moerige gronden,
- Maaiveld < 1 m+NAP (rekening houdend met bodemdaling; Sectie 3.10),
- Landgebruik: alles behalve stedelijk gebied en open water.

Ligging veenweidegebieden



Figuur 3-26 Locatie van veengebieden in scenario A voor zichtjaar 2050.

Tabel 3-8 Beïnvloed veengebied areaal in de verschillende scenario's

Scenario	Peilverhoging in veengebied	Beïnvloed areaal (ha)	
		2050	2100
Referentie	-	-	-
Vlug-'24	0,20 m-mv	253225	253938
Rust – Parijs-'24	0,20 m-mv	253225	253938
Stoom-'24	0,40 m-mv	255475	256200
Warm-'24	0,40 m-mv	255475	256200

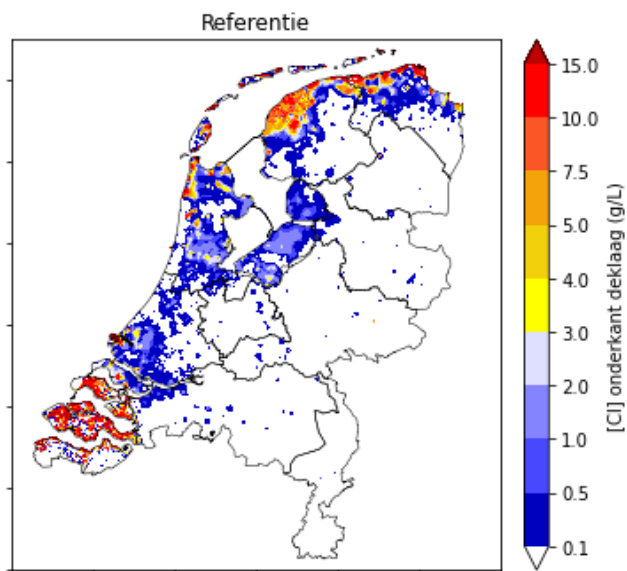
In Tabel 3-8 zijn de arealen van het aangenomen veengebied in weergegeven. Het areaal verschilt per scenario, afhankelijk van de landgebruikskaat (zie Sectie 4.2). De oppervlaktewaterstanden worden in het LHM verhoogd door het waterpeil van de regionale waterlopen (primair, secundair en tertiair systeem) te verhogen tot ofwel 0,20m onder maaiveld (Vlug en Ruim) ofwel 0,40m onder maaiveld (Stoom en Warm).

Bijlage B toont hoe de oppervlaktewaterpeilen en drainageniveaus veranderen tussen de scenario's, onder invloed van peilopzet veenweide (deze Sectie), bodemdaling (Sectie 3.10) en landgebruiksveranderingen (Sectie 4.2).

3.12 Interne verzilting

Interne verzilting beschrijft het proces van verzilting vanuit het grondwater naar het oppervlaktewater. De chloride-concentraties van het grondwater (specifiek de concentratie aan de onderkant van de deklaag welke gebruikt wordt als onderrandvoorwaarde voor Transol en voor de concentratie van de wellen in MODFLOW) zijn voor de Referentie en alle scenario's gelijk gehouden aan LHM 4.3. Deze concentratieverdeling is sinds de vorige editie van de Deltascenario's geupdate in het kader van de ontwikkeling van LHM-zoetzout (Delsman, 2020).

Figuur 3-27 toont de chlorideconcentraties aan de onderkant van de deklaag, zoals dus gebruikt in de Referentie en alle scenario's.



Figuur 3-27 Boven: Chlorideconcentratie onderkant deklaag in de referentie en alle scenario's.

De onderrandvoorwaarde voor Transol is uiteindelijk niet scenarioafhankelijk gemaakt om twee redenen:

- Na een late ontdekking van een invoerfout (m.b.t. oplegging zeespiegelstijging) in de uitgevoerde LHM-zoetzoutberekeningen was geen tijd meer beschikbaar om de benodigde runs te herhalen;
- Ook los van die invoerfout bestonden er twijfels over de berekende ontwikkelingen van de onderrandvoorwaarde in de tijd.

3.13 Doorspoeling

3.13.1 Doorspoeling polders

De watervraag voor doorspoeling van het oppervlaktewater in polders verandert onder invloed van zeespiegelstijging, bodemdaling, autonome beweging van het chloride in/met het grondwater (Delsman et al., 2022). Binnen het kennisprogramma zeespiegelstijging (KPZSS) is onderzocht in hoeverre de doorspoelvraag verandert bij het handhaven van de huidige streefconcentraties in het regionale oppervlaktewater. De totale polder doorspoelwatervraag neemt toe van 20 m³ /s in de huidige situatie, tot ongeveer 50, 90 en 270 m³/s voor respectievelijke zichtwaarden 0.5 m, 1 m en 3 m zeespiegelstijging, rekening houdend met autonome ontwikkelingen en bodemdaling bij voortgaande peilindexatie tot 2100.

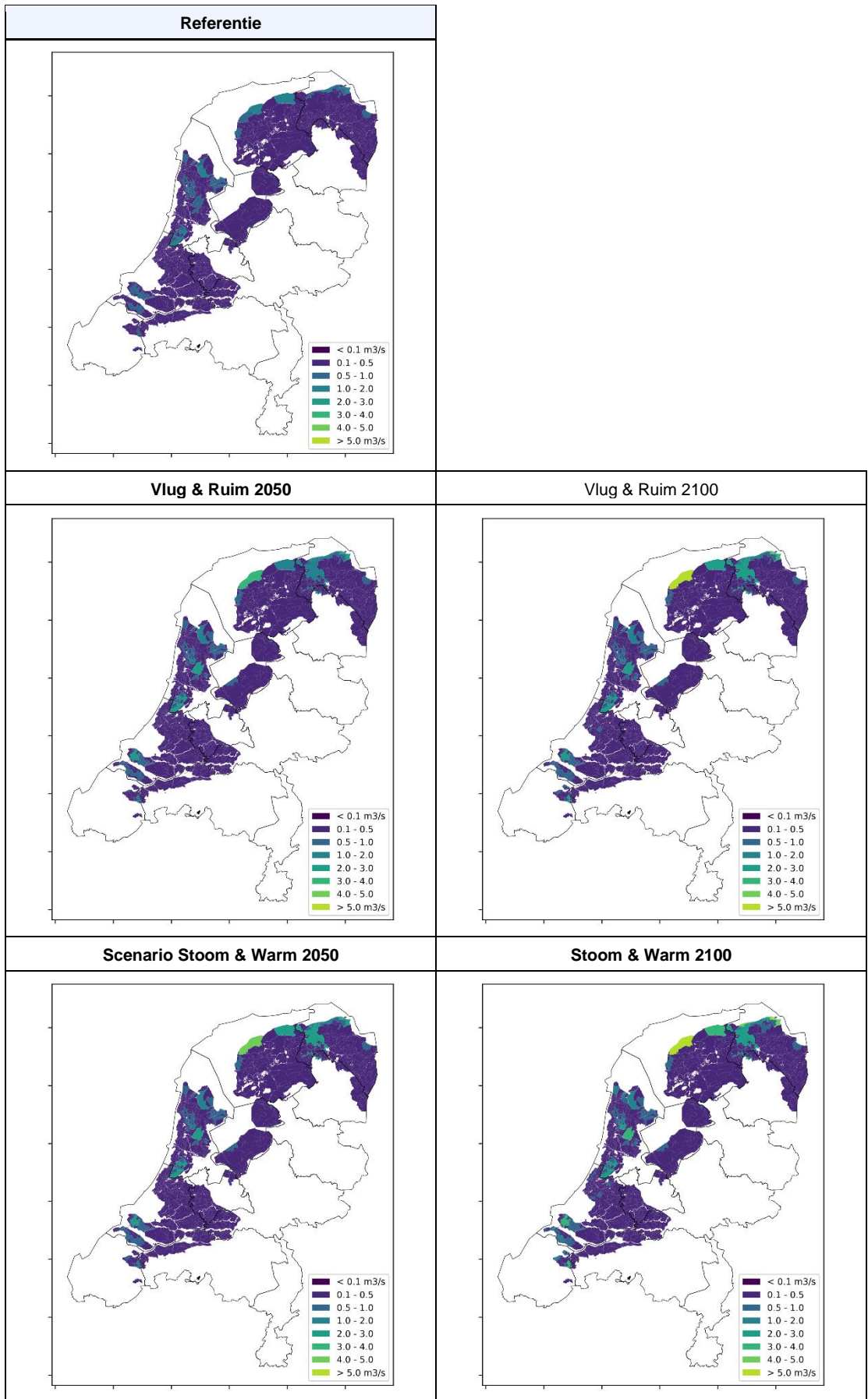
Voor de Deltascenario's is geprobeerd de aanpak van Delsman et al., (2022) te herhalen voor alle scenario's (inclusief klimaatverandering) en zichtjaren. De poging resulteerde echter niet in logische verhoudingen van doorspoelvragen tussen de scenario's, mogelijk doordat de gekozen rekenperiodes voor dit doel onvoldoende representatief waren. Omdat de tijd ontbrak voor nieuwe pogingen is voor een pragmatische weg gekozen om toch inschattingen te verkrijgen van de ontwikkeling van de doorspoelvragen.

De berekeningsresultaten van Delsman et al. (2022) voor verschillende zeespiegelstijgingswaarden zijn lineair geïnterpoleerd; voor de zeespiegelstijgingswaarden < 0.5m is geïnterpoleerd tussen de resultaten van Delsman et al. (2020) voor 0 en 0.5m zeespiegelstijging. Voor de zeespiegelstijgingswaarde van 0.82m is geïnterpoleerd tussen de resultaten van 0.5m en 1m zeespiegelstijging. Delsman et al. (2020) berekenden voor een aantal LSW's ook afname van doorspoelvragen, als gevolg van autonome ontwikkeling in de chlorideverdeling in het grondwater. Voor de Deltascenario's is in dergelijke gevallen de doorspoelvraag gelijk gehouden aan de Referentie.

De aldus berekende totale polder doorspoelwateraanvoer neemt toe van 20 m³/s in de huidige situatie, tot ongeveer 37, 39, 50 en 75 m³/s voor respectievelijke zichtwaarden 0.24 m, 0.27 m, 0.44 m en 0.82 m zeespiegelstijging. In Figuur 3-28 is de polder doorspoelvraag voor de verschillende scenario's weergegeven. De aangepaste polderspoelvragen (Figuur 3-28) zijn aangepast in *uslswdem.dik*.

In de lineaire interpolatie vanuit de KPZSS-resultaten ligt een onzuiverheid besloten vanwege het feit dat in KPZSS andere uitgangspunten voor de bodemdaling zijn gehanteerd (m.n. peilindexatie i.p.v. peilfixatie). De KPZSS-studie heeft echter ook laten zien dat de bijdrage van bodemdaling, alsmede van autonome verzilting, aan de toename van de watervraag voor doorspoeling ondergeschikt is aan de bijdrage van zeespiegelstijging. Een andere onzuiverheid is dat Delsman et al. (2022) één zeespiegelstijgingscurve hebben doorgerekend en de jaartallen waarin de zeespiegelstijgingswaarden die in de Deltascenario's gehanteerd worden bereikt worden afwijken van de jaartallen waarin dat volgens die curve gebeurt. De afwijking is met name voor Warm 2100 significant, omdat 0.44m zeespiegelstijging volgens de gehanteerde curve al in 2055 wordt bereikt. Daardoor 'ontbreekt' er 45 jaar aan effect autonome chloridebeweging en bodemdaling op de doorspoelvragen in de modelresultaten. Voor de overige scenario's is de afwijking veel kleiner (Vlug 2050: 2038 t.o.v. 2050; Stoom 2050: 2041 t.o.v. 2050; Stoom 2100: 2079 t.o.v. 2100) en in het licht van alle onzekerheden niet problematisch.

Tot slot heeft de gevolgde pragmatische aanpak tot gevolg dat effecten van (meteorologische) klimaatverandering op de doorspoelvraag niet verrekend wordt, omdat de KPZSS studie dat ook buiten beschouwing heeft gelaten.



Figuur 3-28 Doorspoelvraag polders [m^3/s] voor de verschillende scenario's.

3.13.2 Doorspoeling boezemkanalen

Doorspoeling in boezemkanalen vindt gewoonlijk plaats om zoutvracht als gevolg van interne verzilting te compenseren, of zoutlek door sluizen te mitigeren. Per boezemkanaal met doorspoeling - volgens de schematisatie van het Distributiemodel - is op basis van expertkennis ingeschat welke van beide redenen het voornamelijk betreft (Tabel 3-9, Delsman et al., 2022).

Binnen het kennisprogramma zeespiegelstijging is onderzocht in hoeverre de boezemdoorspoelvraag verandert. De aanname daarbij was dat de systeemwerking (met name het zoetspoelrendement van een boezem) bij toenemende zoutvracht in de toekomst niet verandert (Delsman et al., 2022). Hierbij is voor beide typen (zoutlek en interne verzilting) de doorspoeling evenredig verondersteld met de zoutvracht. De toename van de zoutvracht op de boezems is voor type interne verzilting ingeschat op basis van de totale berekende zoutvracht in het op de boezem afwaterende oppervlak. Voor het type zoutlek (externe verzilting) is de toename van de zoutvracht afhankelijk verondersteld van de zeespiegelstijging.

Voor iedere zichtwaarde (0.5 m, 1 m en 3 m zeespiegelstijging) en locatie hebben Delsman et al. (2022) een factor bepaald waarmee het huidige doorspoeldebiet is vermenigvuldigd. Voor de Deltascenario's zijn deze factoren voor de verschillende zeespiegelstijgingswaarden lineair geïnterpoleerd. In Tabel 3-9 zijn de aangenomen factoren en doorspoeldebieten voor de verschillende scenario's weergegeven. De aangepaste debieten zijn aangepast in *Inks.txt*.

Een kanttekening die gemaakt moet worden is dat de factoren, bepaald in Delsman et al. (2022), berekend zijn aan de hand van de toen geldende doorspoeldebieten in de huidige situatie (LHM versie 4.1). Deze komen voor het Eemskanaal (Ink: 10451) niet overeen met de doorspoeldebieten in het referentiescenario van de Deltascenario's. Er is voor het Eemskanaal voor gekozen om het huidige doorspoeldebiet van 0.85 m³/s aan te houden.

Tabel 3-9 Doorspoeldebieten voor Distributiemodel links (met name boezemkanalen). De grijs gearceerde links in het regionale systeem worden doorspoeld vanwege interne verzilting. De niet-gearceerde links in het regionale systeem worden doorspoeld vanwege zoutlek door sluisen.

DM knoop	LSM3 ID		Factor				Doorspoeling (m ³ /s)				
			RUIJ EN VLUG 2050	RUIJ EN VLUG 2100	STOOM EN WARM 2050	STOOM EN WARM 2100	Referentie	RUIJ EN VLUG 2050	RUIJ EN VLUG 2100	STOOM EN WARM 2050	STOOM EN WARM 2100
Regionaal systeem											
40251	130 + 161 (extra doorspoeldebiet verdeeld over ID 130 en ID 161 in een resp. 60-40 verhouding)	Rijnland – Spaarndam	1.10	1.18	1.11	1.28	3.1	3.41	3.66	3.44	3.97
4062	805	Zuiderdiep boezem	1.22	1.40	1.24	1.54	2.2	2.68	3.08	2.73	3.39
5029		Steenbergse Vliet	1.00	1.00	1.00	1.00	3.5	3.50	3.50	3.50	3.50
5026		Dintel	1.00	1.00	1.00	1.00	3.5	3.50	3.50	3.50	3.50
4006		Vecht	1.00	1.00	1.00	1.00	10	10.0	10.0	10.0	10.0
1063	789	Electraboezem	1.32	1.59	1.36	2.05	1	1.32	1.59	1.36	2.05
4028	163	Rijnland – Katwijk	1.10	1.18	1.11	1.28	1.1	1.21	1.30	1.22	1.41
10451	Gwdb_Delfzijl	Eemskanaal	1.09	1.17	1.10	1.32	0.85	0.93	0.99	0.94	1.12
10551	801	Friese boezem	1.09	1.17	1.10	1.32	5	5.45	5.85	5.50	6.60
1036	793	Termunterzijldiep	1.09	1.17	1.10	1.32	1	1.09	1.17	1.10	1.32
1044	796	Westerwoldse Aa	1.09	1.17	1.10	1.32	0.5	0.55	0.59	0.55	0.66
20041	HN_303	HHNK – Helsdeur	1.09	1.17	1.10	1.32	4.1	4.47	4.80	4.51	5.41
2005	Gemaal Waakzaamheid is intern gemaal in Noord-Holland; doorspoeling staat niet apart in LSM3	HHNK – Waakzaamheid	1.09	1.17	1.10	1.32	0.6	0.65	0.70	0.66	0.79
40561	804	Schie-Parksluizen	1.09	1.17	1.10	1.32	2	2.18	2.34	2.20	2.64
Hoofdwatersysteem											
6070	Oranjesluis_gwdb	Markermeer-Noordzeekanaal	1.06	1.10	1.15	1.51	4	4.2	4.4	4.6	6.0

3.14 Koelwater

De koelwatervraag vanuit het oppervlaktewater is eveneens afhankelijk gesteld van de klimaat. In Vlug en Ruim wordt sterk ingezet op de reductie van CO₂ en in 2050 is de uitstoot met 95% afgenomen. In deze twee scenario's lukt het Nederland om voor 2050 grotendeels over te schakelen op hernieuwbare bronnen. In Stoom en Warm doorloopt Nederland de energietransitie minder snel. Gasgestookte energiecentrales zullen tot 2050 nodig blijven als regelbaar vermogen voor de leveringszekerheid.

Voor energie (koelwater) is aldus de in DM en LSM gedefinieerde koelwatervraag op het Amsterdam-Rijnkanaal (t.b.v. energiecentrales te Utrecht, Amsterdam en Velsen) verlaagd. Voor scenario's Vlugs en Ruim (uitstoot) is de reductie 95% en voor scenario's Stoom en Warm (hoge uitstoot) is de reductie 80% (Tabel 3-10). Het betreffende debiet is aangepast in *Inks.txt*.

Verder is in de *fixed.txt* de onttrekking bij de Clauscentrale voor koelwater met dezelfde reductiefactoren gereduceerd. De watervraag voor ECN Petten (kerncentrale) blijft gelijk.

Getallen voor zichtjaar 2100 zijn gelijkgesteld aan die voor 2050.

Tabel 3-10 Aangepaste koelwatervragen hoofdwatersysteem en onttrekkingen t.a.v. koelwatervraag

		Aanpassingsfactor t.o.v. Referentie [-]				Doorspoeling [m3/s]				
		Ruim 2050 en 2100	Warm 2050 en 2100	Vlugs 2050 en 2100	Stoom 2050 en 2100	Referentie	Ruim 2050 en 2100	Warm 2050 en 2100	Vlugs 2050 en 2100	Stoom 2050 en 2100
Hoofdwatersysteem – koelwater (doorspoelvragen)										
6014	ARK Utrecht	0.05	0.2	0.05	0.2	10	0.5	2	0.5	2
Energiecentrales (onttrekkingen)										
2125	ECN Petten (koel en proces water)	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
6006	Clauscentrale	0.05	0.2	0.05	0.2	0.6	0.03	0.12	0.03	0.12

4 Modelinvoer afhankelijk van de socio-economische as

4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt de invoer besproken van de modelinstellingen die alleen veranderen langs de socio-economische van het assenstelsel. Het betreft hier landgebruik en onttrekkingen (zowel grondwater als oppervlaktewater en zowel drinkwater en industrie, echter niet de landbouwonttrekkingen voorberekening).

Soms wordt specifiek gemeld welke modelinvoerbestanden zijn aangepast, maar niet altijd. Een volledig overzicht voor aanpassingen aan de invoerbestanden (LHM) wordt gegeven in Bijlage J.

4.2 Landgebruik

4.2.1 Landgebruikscenario's

De landgebruikskarten, en daaruit volgend ook verhardingskarten, passend bij de Referentie en de Deltascenario's 2024, zijn aangeleverd door de VU (Claassens et al., 2023). Daarbij is gebruik gemaakt van de nieuwste versie van het model Ruimtescanner (Rijken et al., 2023). Deze simulaties zijn gestuurd met scenario's op basis van de kenmerken zoals geschetst in het plan van aanpak Deltascenario's 2023 (van de Brugge & de Winter, 2022). Voor deze uitwerking is aangesloten bij de Planmonitor NOVI 2023 met daarin een update van de Welvaart en Leefomgeving (WLO)-scenario's van PBL/CPB (o.a. update verstedelijking) en de Natuurverkenning (NVK) 2050 van PBL/WUR (Bremner et al., 2022).

Voor de Referentie is een Basiskaart samengesteld (zie Figuur 4-1), representatief voor het huidige landgebruik. T.b.v. de Deltascenario's zijn twee combinaties van de WLO-scenario's met de NVK-scenario's ontwikkeld. Daarbij wordt het WLO-scenario 'Hoog' gecombineerd met het NVK-scenario 'BAU' ('business-as-usual'), en het WLO-scenario 'Laag' met het NVK-scenario 'HDB' ('hoger doelbereik'):

- WLO-scenario Hoog combineert een hoge economische groei van 2 procent per jaar met een relatief sterke bevolkingsaanwas (CPB/PBL, 2015). Dit wordt gecombineerd met het NVK-BAU-scenario welke een beperkte toename van natuur in 2050 beoogt. Door de hoge bevolkingsgroei en economische groei is er veel druk op de ruimte, en daardoor minder nadruk op natuurontwikkeling (Claassens et al., 2023).
- WLO-scenario Laag combineert een gematigde economische groei van 1 procent per jaar met een beperkte demografische ontwikkeling (CPB/PBL, 2015). Dit wordt gecombineerd met het NVK-HDB-scenario welke veel natuurontwikkeling beoogt, waarvoor meer ruimte beschikbaar is vanwege de lagere groei.

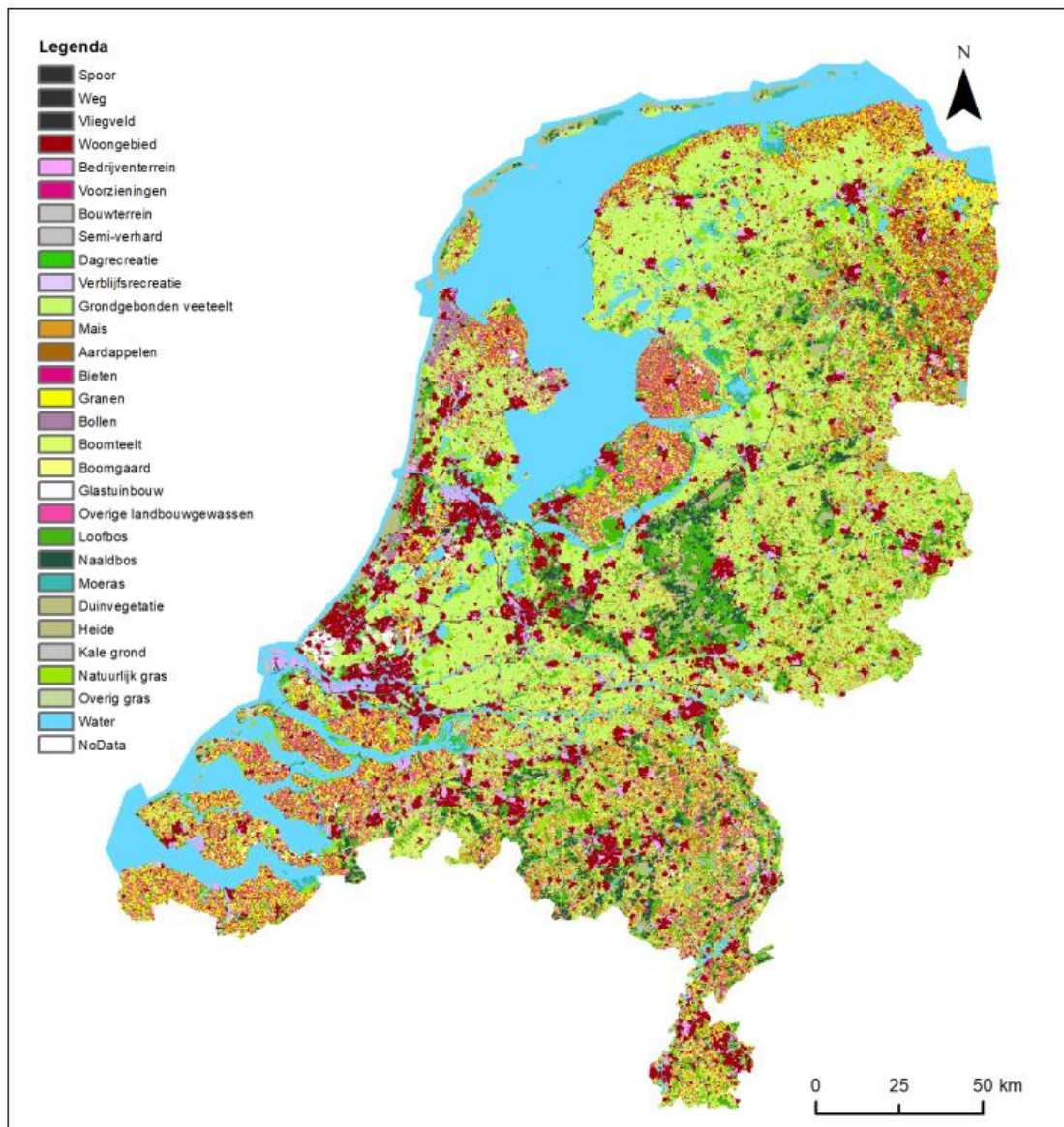
In de Deltascenario's wordt de combinatie WLO-Hoog / NVK-BAU toegepast in de scenario's Vlug en Stoom. De combinatie WLO-Laal / NVK-HDB wordt toegepast in de scenario's Ruim en Warm.

Opgemerkt wordt dat de landgebruikskarten geen betrekking hebben op ligging van waterlopen.

De kaarten van het landgebruik en de verhardingskaarten zijn aangeleverd met een resolutie van 250m. De legenda van de kaarten uit de Ruimtescanner bevatten meer klassen dan gebruikt worden in het LHM. De landgebruiksklassen van de Ruimtescanner zijn vertaald naar landgebruiksklassen van het LHM volgens Tabel 4-1.

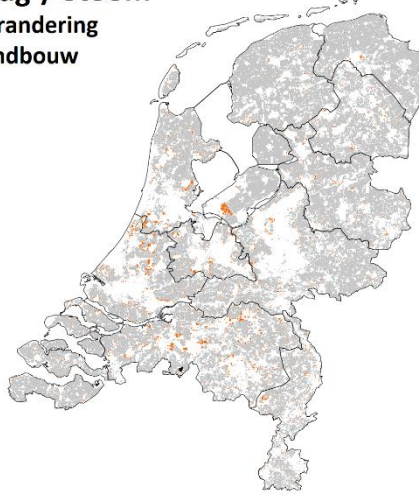
Tabel 4-1 Herclassificatietabel van landgebruik Ruimtescanner naar landgebruik LHM

Ruimtescanner klassennummer	Omschrijving Ruimtescanner klasse	LHM klassennummer	Omschrijving LHM klasse
0	Spoorlijnen	18	Stedelijk grasland
1	Wegen	18	Stedelijk grasland
2	Vliegvelden	18	Stedelijk grasland
3	Woongebied	18	Stedelijk grasland
4	Bedrijventerrein	18	Stedelijk grasland
5	Voorzieningen	18	Stedelijk grasland
6	Bouwterrein	18	Stedelijk grasland
7	Semi verhard	18	Stedelijk grasland
8	Dagrecreatie	18	Stedelijk grasland
9	Verblijfsrecreatie	18	Stedelijk grasland
10	Grondgebonden veeteelt	1	Gras
11	Mais	2	Mais
12	Aardappelen	3	Aardappelen
13	Bieten	4	Bieten
14	Granen	5	Granen
15	Bloembollen	10	Bollen
16	Boomteelt	7	Boomteelt
17	Boomgaard	21	Fruitwekerijen
18	Glastuinbouw	8	Glastuinbouw
19	Overige landbouw	6	Overige landbouw
20	Loofbos	11	Loofbos
21	Naaldbos	12	Naaldbos
22	Moeras	13	Moeras
23	Duinvegetatie	14	Duinvegetatie
24	Heide	20	Heide
25	Kale grond	15	Kale grond
26	Natuurlijk gras	17	Natuurlijke gras
27	Overig gras	18	Stedelijk grasland
28	Water	16	Water
29	No Data	0	No Data

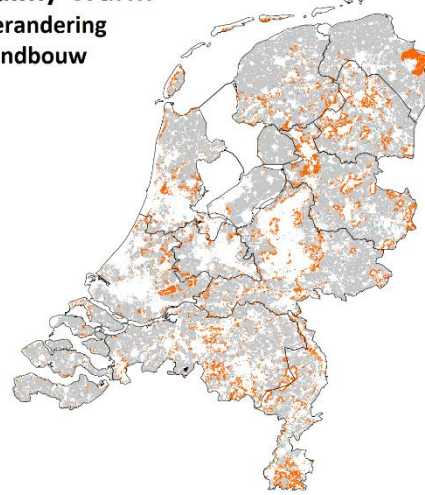


Figuur 4-1 De Basiskaart die ten grondslag ligt aan het landgebruik in de Referentie.

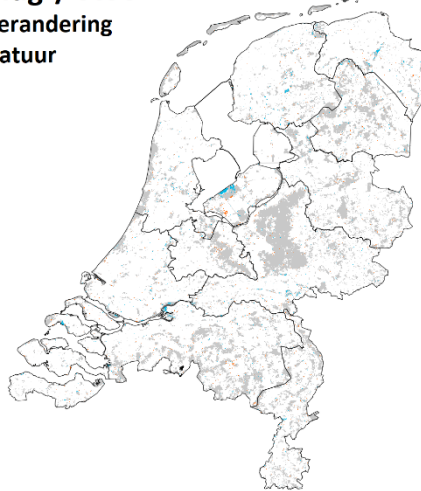
Vlug / Stoom
Verandering
Landbouw



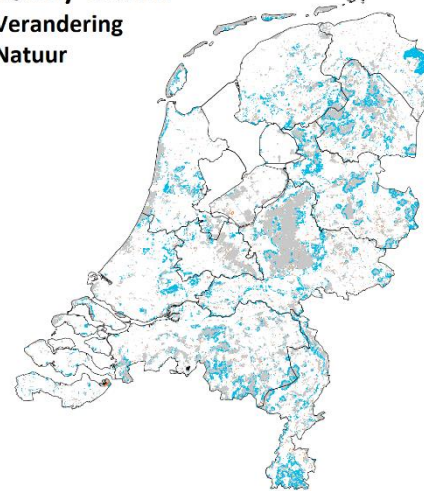
Ruim / Warm
Verandering
Landbouw



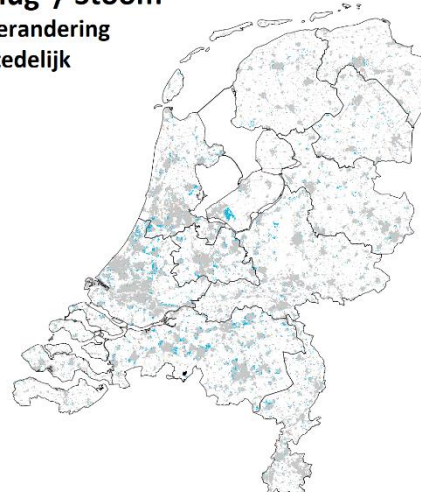
Vlug / Stoom
Verandering
Natuur



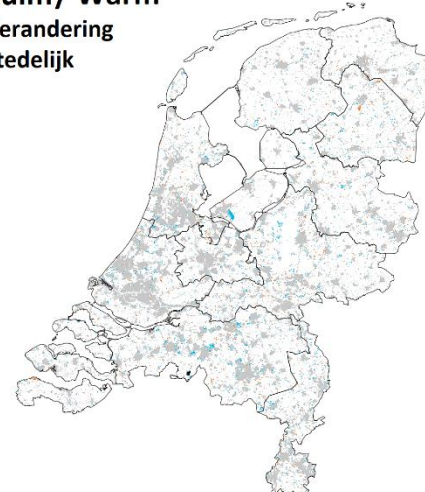
Ruim / Warm
Verandering
Natuur



Vlug / Stoom
Verandering
Stedelijk



Ruim / Warm
Verandering
Stedelijk



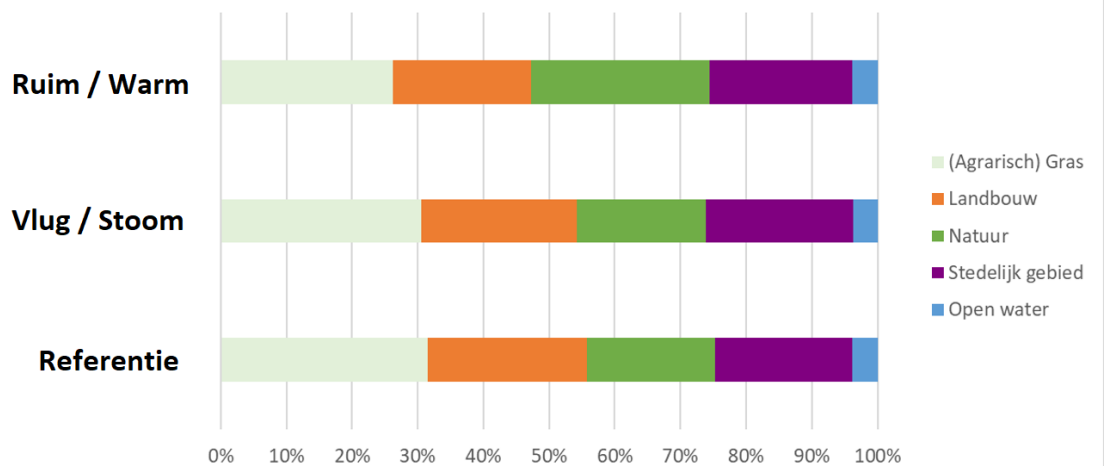
Figuur 4-2 Veranderend landgebruik ten opzichte van de Referentie. Blauw = nieuw voorkomen van het landgebruik. Oranje = verdwijnen van het landgebruik. De categorie Landbouw is hier inclusief agrarisch grasland,

In Figuur 4-3 is de verdeling van de verschillende landgebruikstypes weergegeven voor de verschillende scenario's. Het areaal landbouw (gras en overige landbouw) neemt in alle

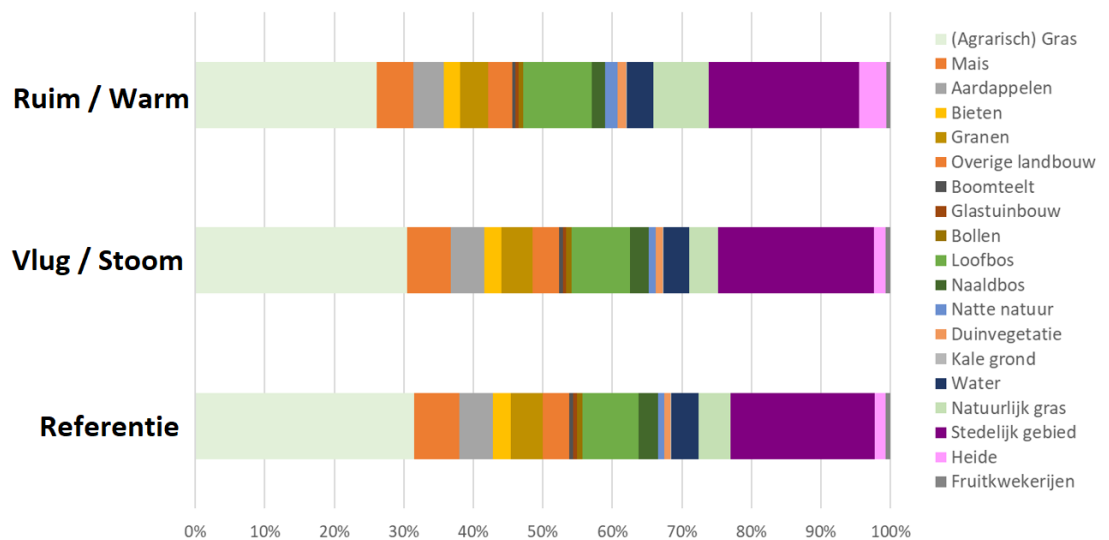
scenario's af (Tabel 4-2). De grootste afname is zichtbaar in Ruim / Warm. De afname van het landbouwareaal komt daar grotendeels ten goede van het areaal natuur. In Figuur 4-4 is te zien dat in Ruim / Warm een significante toename is van het areaal loofbos, natte natuur en natuurlijk grasland. Het areaal naaldbos neemt af in Ruim / Warm. De grootste toename van het stedelijk gebied is te zien in Vlug / Stoom.

Tabel 4-2 Verandering van de arealen [ha] in de verschillende Deltascenario's.

	Referentie [ha]	Verandering naar Ruim / Warm [%]	Verandering naar Vlug / Stoom) [%]
(Agrarisch) Gras	1103725	-17%	-3%
Landbouw	850094	-14%	-2%
Natuur	682381	39%	0%
Stedelijk gebied	728188	4%	8%
Open water	137150	-3%	-5%



Figuur 4-3 Verdeling van de verschillende hoofdklassen van landgebruikstypen voor de referentie en de scenario's Vlug / Stoom en Ruim / Warm.



Figuur 4-4 De verdeling van de verschillende landgebruikstypen voor Referentie en de scenario's Vlug / Stoom en Ruim / Warm.

4.2.2 Doorwerking landgebruik in de modelinvoer

Het landgebruik en de daaraan gerelateerde verhardingsgraad werken op meerdere plekken door in de modelinvoer. Deze sectie geeft een overzicht van de modelinvoer die aangepast is aan de aangeleverde landgebruiks- en verhardingskaarten (referentie en scenario's).

4.2.2.1 Verharding

In het LHM wordt het actieve MetaSWAP oppervlak in m² opgegeven in het gridbestand *UOPP.ASC*. Dit is het oppervlak per modelcel dat onverhard is én geen oppervlaktewater is. Om per scenario het actieve MetaSWAP oppervlak te bepalen zijn de verhardingskaarten vanuit de Ruimtescanner opgeteld bij het oppervlak 'open water' uit de deelmodellen Mozart en DM. Er is een minimum MetaSWAP-oppervlak van 1m² toegepast per cel omdat een MetaSWAP-oppervlak van 0 m² leidde tot fouten/problemen in de preprocessing.

4.2.2.2 Ontwatering

Buisdrainage

De buisdrainage is wel afhankelijk van het landgebruik aangezien het voorkomen van buisdrainage samenhangt met het voorkomen van landbouw. De oorspronkelijke drainagekaart is ook afgeleid uit de landbouw-meitelling van 2012 (Massop et al., (2016) en is vrijwel 1 op 1 (na opschaling) in het LHM opgenomen met slechts kleine correcties ten opzichte van waterpeilen in het regionale watersysteem van het LHM. Daarnaast is de buisdrainage voor alle modelcellen met natte natuur verwijderd. De drainagekaart is op de hieronder beschreven manier aangepast op de nieuwe landgebruikskaarten.

Om te bepalen of aan een modelcel waarin het landgebruik verandert t.o.v. LHM 4.3 buisdrainage toegekend moet worden is voor LHM 4.3 het procentuele areaal met buisdrainage bepaald per combinatie van landgebruikstype en hydrotype. Het hydrotype is hierbij als bepalende factor meegenomen vanwege de grote invloed van bodemkenmerken op de verwachte drainagesituatie. Voor een landgebruikstype-hydrotype-combinatie met een procentueel areaal buisdrainage hoger dan 50% wordt, na conversie naar het betreffende landgebruikstype, buisdrainage aangenomen. Het gaat hierbij om de landgebruikstypes vermeld in Tabel 4-3. Overal waar het landgebruik niet verandert ten opzichte van LHM 4.3, blijft de buisdrainage-toekenning zoals in LHM 4.3.

Tabel 4-3 Landgebruikstypen waarvoor, bij conversie naar dit type, altijd buisdrainage wordt toegekend.

LGN code	landgebruikstype
1	Gras
2	Mais
3	Aardappelen
4	Bieten
5	Granen
6	Overig Landbouwgewas
7	Boomteelt
8	Glastuinbouw
9	Boomgaarden
10	Bollen
18	Stedelijk gras
21	Fruitkwekerijen

De dieptetoepassing van de buisdrainage, daar waar deze nieuw wordt toegepast, is zoveel mogelijk gedaan volgens dezelfde principes als de oorspronkelijke buisdrainagekaart (Massop et al, 2016). Daarbij zijn de dieptes toegepast volgens Tabel 4-4, waarin is te zien dat stedelijk gebied en grasland vaste dieptes hebben en verder alle tuin- en akkerbouw een diepte hebben afhankelijk van bodemtype. De voor de toekenning van drainagedieptes dus benodigde bodemindeling tussen veen, klei en zand is gemaakt aan de hand van bodemfysische eenheden:

- Veen bestaat uit veengronden en moerige gronden (bodemfysische eenheid 1 t/m 66)
- Klei bevat alle kleivaaggronden, brikgronden, kalksteengronden en leemgronden. Kalksteengronden en leemgronden zijn tot klei benoemt op basis van de Staringsreeks- bouwcodes (Heinen et al, 2021) (bodemfysische eenheid 110 t/m 114, 211 t/m 370)
- Zand bevat de zandgronden, de podzolgronden, de eerdgronden en de zandvaaggronden (bodemfysische eenheid 67 t/m 109, 115 t/m 210)

Tabel 4-4 Draindiepte onderscheiden naar landgebruik en bodem. Bron: Massop et al. (2016).

Landgebruik	Bodem	Draindiepte in cm-mv
Grasland	Veen	80
	Zand	80
	Klei	80
Akkerbouw/tuinbouw	Veen	95
	Zand	100
	Klei	110
Stedelijk	Nvt	120

De weerstand van nieuw toegekende buisdrainage is toegekend door middel van ruimtelijke interpolatie vanuit de reeds aanwezige buisdrainage.

Ligging en peilen regionaal systeem

De ligging van de watergangen is in het algemeen niet aangepast aan de hand van het veranderend landgebruik. De huidige ligging van de watergangen is niet direct te correleren aan specifieke landgebruikstypen en dus zijn hier geen aanpassingen toegevoegd. Voor de natuur zijn er wel aanpassingen gedaan aan het tertiaire systeem, zie hieronder. Tevens zijn er aanpassingen gedaan ten behoeve van het veenweidegebied. Dit is verder uitgewerkt in sectie 3.11.

Natuurgebieden

In natuurgebieden is het ongebruikelijk dat er drainage of afwateringsystemen aanwezig zijn. Daarom zijn in nieuwe natuurgebieden (loofbos, (donker) naaldbos, moeras, duinvegetatie en heide) de buisdrainage en het tertiaire oppervlaktewatersysteem verwijderd wanneer deze aanwezig waren. Daarnaast is de voor de natte natuur (moeras; klasse 13 in landgebruikskaart) een ontwateringsdiepte (primair & secundair systeem) aangehouden van 20 cm–mv.

4.2.2.3 Schalingsfactoren bodemvocht in bosgebied

In bosgronden is een strooisellaag aanwezig die bijdraagt aan het waterbergend vermogen in de bossen. Dit is niet meegenomen bij de bepaling van de bodemfysische karakteristieken waardoor er een correctie nodig is om de juiste verdampingswaarden te krijgen. Om de verdamping te verhogen zijn de schalingsfactoren voor bodemvocht (de zgn. theta-schalingsfactoren in *uscl_svat.inp*) voor modelcellen met bosvegetatie in de nieuwe

landgebruikskaarten (boomgaard, loofbos en (donker) naaldbos) gezet op 1.15 (zoals vermeld in Janssen et al., 2023).

4.2.2.4 Wortelzonedikte

Ook de wortelzonedikte is worden aangepast op het veranderde landgebruik. De gehanteerde maximale wortelzonedikteschematisering voor niet-WOFOST gewassen is hetzelfde als in LHM4.3.

4.2.2.5 Glastuinbouw

Voor glastuinbouw en voedsel fabrieken geldt dat steeds dezelfde kenmerken worden toegekend, ongeacht de lokale grondsoort (zoals vermeld in de veranderingsrapportage van [LHM 4.3](#)). De volgende parameterinstellingen zijn gehanteerd:

- De bodemeenheid is 77;
- De schaalfactor voor de bodemfysica is op 1.0 gezet (in uscl_svat.inp)
- Wortelzonedikte van 0.05 m.
- Het lokale waterreservoir heeft een inhoud van 100 mm (bassin.asc op 0.1)

4.3 Drinkwater

4.3.1 Ontwikkeling drinkwatervraag

De ontwikkeling van de drinkwatervraag wordt alleen afhankelijk gesteld van de socio-economische as van de Deltascenario's. De structurele trend van klimaatverandering op het drinkwaterverbruik is namelijk zeer klein: volgens Baggelaar et al. (2022) zou het meest extreme klimaatscenario (van de *KNMI '14 scenario's*) een toename van de drinkwatervraag van 0.7% betekenen. Hoewel extreem droge jaren zoals 2018 en 2020 wel terug te zien zijn in de drinkwatervraag (Baggelaar et al. (2022) definiëren een extra bovengrens voor extreem droge jaren, met een toename van 3.7% van het totale jaarlijkse drinkwaterverbruik) wordt de drinkwatervraag in de modelinvoer van de Deltascenario's net als in voorgaande edities niet afhankelijk gesteld van de klimaatas.

De drinkwatervraag bestaat uit drie onderdelen: 1) levering aan huishoudens, 2) levering aan de zakelijke markt en 3) niet in rekening gebracht water (NIRG). Voor elk van deze componenten is een andere aanpak gevolgd om tot een projectie van de toekomstige drinkwatervraag te komen.

1. Huishoudelijke drinkwaterlevering

De huishoudelijke drinkwaterlevering wordt berekend door projecties van bevolkingsaantallen in 2050 te vermenigvuldigen met de verwachte dagelijkse drinkwatervraag per persoon in 2050 (lpppd).

In de verhaallijnen (Van der Brugge et al., 2024) neemt de bevolking in Ruim en in Warm tot 2050 toe tot 17.9 miljoen mensen (van 17.3 miljoen nu). In Vlug en Stoom groeit de bevolking tot 20.7 miljoen mensen in 2050.

Het hoofdelijke drinkwaterverbruik in 2050 is van allerlei factoren van belang, waaronder autonome ontwikkelingen met betrekking tot besparing. Baggelaar et al. (2022) verwachten in de basisprognose dat het hoofdelijke drinkwaterverbruik terugloopt van het huidige 128 lpppd naar 126 lpppd in 2040. Deze autonome besparing wordt tevens aangenomen voor 2050 (en ook voor 2100) en is geldig voor alle scenario's, omdat deze grotendeels gebaseerd zijn op gedrag (doucheduur, keuze voor type douche, etc.) en autonome ontwikkelingen op het gebied van apparaat efficiëntie.

2. Niet-huishoudelijke drinkwaterlevering

Per drinkwaterbedrijf is de verhouding tussen huishoudelijk en niet-huishoudelijk verbruik beschikbaar. Echter, gedetailleerde prognoses van de zakelijke markt per leveringsgebied is

niet beschikbaar. Daarom wordt ervan uitgegaan dat de huidige verhouding tussen huishoudelijk en niet-huishoudelijk verbruik ook in de toekomst geldig is. De niet-huishoudelijke drinkwaterlevering volgt dus de bevolkingsgroei- of krimp. Daarbij is een correctie doorgevoerd voor de autonome besparing in de zakelijke markt. De niet-huishoudelijke autonome besparing is sectorafhankelijk. Elke sector heeft een andere verwachte autonome besparing (Baggelaar et al., 2022). Omdat de verdeling van de sectoren over de gemeenten lastig te voorspellen is, wordt uitgegaan van een gemiddelde autonome besparing. Het gemiddelde van de verwachte zakelijke besparing is volgens Baggelaar et al. (2022) 13%. Ook hier geldt dat de autonome besparing geldig is voor alle scenario's.

3. Niet in rekening gebracht gebruik

Het niet in rekening gebrachte gebruik (NIRG) hangt van meerdere factoren af, waaronder lekverliezen, bluswater en meetfouten. De basisprognose van Baggelaar et al. (2022) gaat tot 2040 uit van een stabilisatie van het NIRG op het huidige niveau van 5.6% van de totale drinkwaterlevering in 2040. Voor de Deltascenario's wordt deze stabilisatie ook voor 2050 en 2100 aangenomen.

De groei of krimp van de drinkwatervraag is niet voor heel Nederland gelijk. Daarom wordt een specificering gemaakt van de toekomstige drinkwateronttrekking naar de verschillende leveringsgebieden. De individuele toe- of afname van de huishoudelijke en niet-huishoudelijke drinkwatervraag wordt naar rato opgeteld tot een totale groei- of krimpfactor per drinkwaterbedrijf. Het resultaat is gegeven in Tabel 4-5.

Tabel 4-5 Groei- en krimpfactoren van de drinkwaterlevering uitgesplitst naar drinkwaterbedrijf.

Drinkwaterbedrijf	Groei of krimpfactoren van drinkwater per drinkwaterbedrijf			
	Ruim '24	Warm'24	Vlug '24	Stoom '24
Brabant Water	1.00	1.00	1.13	1.13
Dunea	1.08	1.08	1.32	1.32
Evides Waterbedrijf	1.01	1.01	1.12	1.12
Oasen	0.95	0.95	1.29	1.29
PWN	1.05	1.05	1.27	1.27
Vitens	0.99	0.99	1.13	1.13
Waternet	1.02	1.02	1.25	1.25
Waterbedrijf Groningen	0.91	0.91	1.02	1.02
WMD Drinkwater	0.93	0.93	1.04	1.04
WML	0.93	0.93	1.05	1.05

4.3.2 Onttrekkingen oppervlaktewater

De drinkwateronttrekkingen uit het oppervlaktewater zijn in het LHM geschematiseerd in DM. De debieten zijn aangepast in het bestand *fixed.txt*. De drinkwateronttrekkingen zijn een subset van de vaste onttrekkingen met label 'DIW' (Drink- en IndustrieWater). Voor drinkwater betreft het de onttrekkingen in onderstaande Tabel 4-6, waarbij voor de scenario's de debieten in de Referentie (kolom Debiet Ref2028) zijn vermenigvuldigd met factoren uit Tabel 4-5.

Tabel 4-6 Drinkwateronttrekkingen uit het oppervlaktewater in DM.

DM knoop	Omschrijving	Debiet Ref2028	Drinkwaterbedrijf
6004	Roosteren oeverinfiltratie	0.2	WML
6006	WML Heel	0.5	WML
6013	Dunea Brakel	2.5	Dunea
6014	Evides Gat vd Kerksloot	6.2	Evides Waterbedrijf
6016	Evides Scheelhoek	0.2	Evides Waterbedrijf
6026	Oeverinfiltratie Dordrecht e.o.	0.2	Evides Waterbedrijf
6029	onbekend -Spui	0.1	Evides Waterbedrijf
6033	Oeverinfiltratie Schoonhoven e.o.	1	Oasen
6040	Waternet/PWN-Nieuwegein	4.4	Waternet
6041	DW Loosdrecht/Nieuwersluis ARK	3.5	Waternet
1153	DW de Punt	0.75	Waterbedrijf Groningen
6057	Andijk	4	PWN
1131	Waterbedrijf Groningen, Veendam	0.4	Waterbedrijf Groningen
1105	WMO Vechterweerd	0.15	Vitens

4.3.3 Onttrekkingen grondwater

De onttrekkingsdebieten uit het grondwater ten behoeve van drinkwater zijn vermenigvuldigd met de factoren uit Tabel 4-5. De volgende modelbestanden zijn aangepast:

LHM-MODFLOW:

- Vitens: NHI/02_Vitens/02_Vitens.ipf
- Brabant_Water: NHI/01_BW/01_BW.ipf
- Evides_Waterbedrijf: NON_NHI/wel_evides_all.ipf
- Oasen: NON_NHI/wel_oasen_all.ipf
- PWN: NON_NHI/wel_pwn_all.ipf
- Waterbedrijf_Groningen: NHI/60_MIPWA/WBG/WBG.ipf
- WMD_Drinkwater: NHI/60_MIPWA/WMD/WMD.ipf
- WML: NHI/03_WML/03_WML.ipf

Ten opzichte van de LHM-versie die is gebruikt in de vorige Basisprognoses is in LHM 4.3 nieuw dat voor een aantal drinkwaterbedrijven (t.w. Vitens, Brabant Water, WML, WMD en Waterbedrijf Groningen) er nu tijdreeksen van onttrekkingsdebieten in het model zijn opgenomen, in plaats van langjarig gemiddelden. Ten behoeve van de Deltascenario's zijn deze tijdreeksen aangepast. Allereerst is er vanuit de bestaande tijdreeksen per winning een representatieve jaarreeks met maandgemiddelde debieten over de periode 2011-2018 gemaakt. Op deze jaarreeks zijn vervolgens de aanpassingsfactoren toegepast. In een scenario wordt dus dezelfde jaarreeks steeds herhaald.

4.4 Industriële onttrekkingen en lozingen

In de verhaallijnen van de Deltascenario's (Van der Brugge et al., 2024) zijn de veranderingsfactoren voor de industrie bepaald. Deze zijn weergegeven in Tabel 4-7. De lozingen en onttrekkingen voor industrie in het oppervlaktewater zijn binnen het LHM geschematiseerd in DM. Dit is een subset van de met 'DIW' gelabelde debieten (Drink- en Industrie Water). Voor industrie betreft het de lozingen en onttrekkingen in Tabel 4-8. Dit is aangepast in de het bestand *fixed.txt*.

De grondwateronttrekkingen zijn in het LHM uitgesplitst in "drinkwater" en "overig". De klasse overig is echter niet uitgesplitst naar type gebruiker. Om een inschatting te krijgen van de gebruiker 'industrie' is gekeken naar de onttrekkingen groter dan 100.000 m³/jaar (circa 275 m³/dag). De som van de onttrekkingen boven deze waarde in de categorie 'overig' bedraagt circa 170 miljoen m³/jaar. De veranderingsfactoren voor industrie zoals vermeld in Tabel 4-7 zijn toegepast voor de onttrekkingen groter dan 100.000 m³/dag voor de verschillende scenario's. De volgende bestanden zijn aangepast (alleen deze bestanden bevatten industriële onttrekkingen):

- Wel_overig_non_nhi.ipf
- Wel_gelderland.ipf

Tabel 4-7 Veranderingsfactoren voor de onttrekkingen ten behoeve van de industrie uit oppervlaktewater en grondwater.

Scenario	Verandering industriële onttrekkingen	Factor
Referentie	-	
Vlug '24	+ 2%	1.02
Stoom '24	+ 2%	1.02
Ruim '24	- 19%	0.81
Warm '24	- 19%	0.81

Tabel 4-8 Lozingen en onttrekkingen voor industrie in het oppervlaktewater in het model DM

DM knoop	Omschrijving	Lozing (d) of onttrekking (e)	Debiet Ref2028
6001	M1 Arcadis Bijlage 3 4.4	d	2
6001	M1 Arcadis Bijlage 3 4.4	e	1.9
6004	M2 Arcadis Bijlage 3 4.4	d	2.2
6008	M3 Arcadis Bijlage 3 4.4	e	0.3
6009	M4 Arcadis Bijlage 3 4.4	e	0.8
6003	JK Arcadis Bijlage 3 4.4	e	3
6003	JK Arcadis Bijlage 3 4.4	d	0.3
5068	ZWV2 Arcadis Bijlage 3 4.4	e	0.3
5068	ZWV2 Arcadis Bijlage 3 4.4	d	0.3
5070	NV Arcadis Bijlage 3 4.4	e	0.1
6006	Niet bekend	d	1.1
6014	Niet bekend	d	0.4

6027	Niet bekend	d	0.6
6022	Niet bekend	d	0.2
6025	Niet bekend	d	0.2
6033	Niet bekend	d	0.3
6035	Niet bekend	d	0.3
6036	Niet bekend	d	0.1
6037	Niet bekend	d	0.7
6015	Niet bekend	d	0.6
6030	Niet bekend	d	0.3
6016	Niet bekend	d	0.2
6038	Niet bekend	d	1.4
6039	Niet bekend	d	1.1
6017	Niet bekend	d	0.1
6018	Niet bekend	d	1
6019	Niet bekend	d	0.1
6042	Niet bekend	d	1
6043	Niet bekend	d	0.2
6057	Niet bekend	d	0.1
6058	Niet bekend	d	0.2
6059	Niet bekend	d	0.4
6051	Niet bekend	d	0.1
6054	Niet bekend	d	2.3
6055	Niet bekend	d	0.7
6053	Niet bekend	d	6.6
4401	Brielse Meer	e	2
1137	Avebe, ter Apel kanaal	e	1
1137	Avebe, Gasselternijveen	e	0.2
1130	Kappa Sappemeer	e	0.2
1135	Nedmag Veendam	e	0.3
1142	Norit Purit	e	0.1
1100	Industriewater Twentekanaal	e	0.1
1101	Industriewater Twentekanaal	e	0.1
6032	Parenco	e	1

6032	Hydron, Buitenwaard/Steenwaard	e	0.5
------	-----------------------------------	---	-----

5 Modelinvoer afhankelijk van beide assen

5.1 Inleiding

Dit hoofdstuk gaat in op de modelinvoer die langs beide assen verandert, i.e. beïnvloed wordt door zowel het klimaat als door socio-economische ontwikkelingen. Het gaat hier om de watervraag bij zee- en spuilsuizen (omdat deze zowel afhangt van zeespiegelstijging als van de toename van de scheepvaart via schutverliezen) en de beregeningskaarten (omdat deze afhangen van zowel klimaatverandering als landgebruiksveranderingen. Ook de initiële condities veranderen langs beide assen; voor elk scenario zijn apart initiële condities afgeleid.

5.2 Berekening

LHM heeft een beregeningskaart nodig met potentiële beregeningslocaties; dit betreft percelen met een beregeningsinstallatie, waar in een droge periode beregend kan worden. De ligging van deze potentiële beregeningslocaties is afhankelijk van zowel landgebruik als het klimaat. Daarom heeft elk Deltascenario zijn eigen beregeningskaart. Om beregeningskaarten op te zetten, is gebruik gemaakt van de Regioscan (STOWA, 2018). Deze tool bepaalt waar beregening vermoedelijk plaatsvindt aan de hand van een kosten-batenafweging (vaste en variabele kosten gerelateerd aan irrigeren versus vermijden droogteschade) vanuit de agrariër. Het achterliggende model voor deze kosten-batenafweging heet Agricom (Mulder & Veldhuizen, 2014). De aanname hierbij is dat de verhouding tussen kosten en baten waarbij een agrariër besluit een beregeningsinstallatie aan te schaffen over alle scenario's gelijk blijft. Veranderingen in potentieel beregeningsareaal tussen de scenario's worden dan veroorzaakt door veranderingen in opbrengst als gevolg van klimaatverandering, of door verschuivingen in het landgebruik.

De Regioscan tool is gebruikt om beregeningskaarten te bepalen voor de Referentie en de zes scenario's. Een uitgebreidere beschrijving van de Regioscan en het bepalen van de ligging van de potentiële beregeningslocaties is terug te vinden in Bijlage G. Deze methode is vergelijkbaar met die van de vorige Deltascenario's (Hunink et al., 2017). Een belangrijk verschil met die eerdere toepassing is wel dat LHM4.3, in tegenstelling tot LHM3.3, met WOFOST draait, en dus voor bepaalde gewassen variabele (want weersafhankelijke) groeiseizoenen kent. De Regioscan maakt echter nog gebruik van de vaste groeiseizoenen uit MetaSWAP. Hierdoor kan het zo zijn dat er schade wordt berekend terwijl het gewas nog niet is opgekomen in WOFOST, waardoor de kosten-batenverhouding van een beregeningsinstallatie anders kan liggen. Hiervoor is gecorrigeerd door de verdampingsreductie op die locaties en momenten op nul te zetten zodat er geen schade wordt berekend.

Het oorspronkelijke idee was om de Regioscan voor alle scenario's op basis van 30-jarige LHM-modelruns het beregende areaal te laten bepalen. Er was voor gekozen voor een periode van 30 jaar om de klimaatvariantie binnen de 90 jaar zo goed mogelijk mee te nemen. Daartoe was per scenario een selectie gemaakt van het meest representatieve meteo-ensemble (blok van 30 jaar, zie ook sectie 3.2) in termen van het zomerhalfjaargemiddelde neerslagtekort en het verschil daarin ten opzichte van de Referentie (zie Bijlage C). Per klimaatscenario zijn de gekozen ensembles als gegeven in Tabel 5-1.

Tabel 5-1 Gekozen ensemble voor de 30-jarige runs t.b.v. de Regioscan

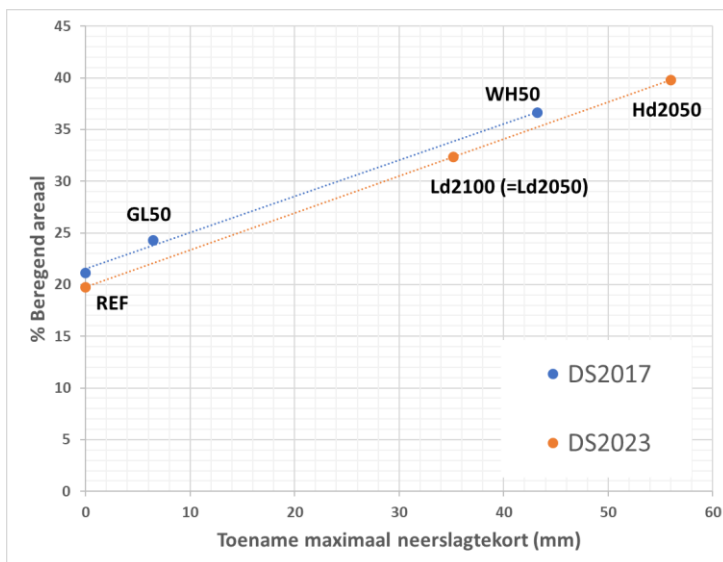
Klimaatscenario	Meest representatieve ensemble
Md2050 (Referentie)	2
Ld2100	7
Hd2050	8

De LHM uitvoer van de 30 jarige runs die dienen als input van de Regioscan verhiel zich tussen de scenario's echter anders dan verwacht. De reden hierachter is dat de gekozen ensembles, hoewel zorgvuldig gekozen, toch niet optimaal representatief zijn voor het klimaatscenario. De voor de verschillende scenario's verkregen beregeningskaarten verhiel zich mede hierdoor ook niet altijd geheel logisch tot elkaar. Zo werden voor Stoom 2050 lagere beregeningsarealen berekend dan voor Vlug 2050. Mogelijk hebben tevens nog onbegrepen invloeden van WOFOST op de Regioscanresultaten hierin een rol gespeeld. Om de verschillen in achterliggend klimaat toch goed en op een logische wijze naar voren te laten komen in het beregend areaal, is (mede omwille van de tijd) voor een pragmatische alternatieve aanpak.

Uit een analyse van de eveneens met de Regioscan verkregen beregeningskaarten van de vorige Deltascenario's (Hunink et al., 2018) kwam naar voren dat er een nagenoeg lineair verband aanwezig is tussen een toename in het maximale neerslagtekort ten opzichte van de referentie en het percentage beregend landbouwareaal, zie Figuur 5-1. Deze relatie is gehanteerd om het verwachte beregende areaal in de nieuwe Deltascenario's op voorhand te berekenen. Vervolgens zijn de baten-kosten ratio's (zogenaamde NBC's) van het Referentiescenario (berekend aan de hand van de 30-jarige LHM som met klimaatensemble 2) als uitgangspunt genomen voor alle scenario's, waarbij tot het gewenste beregende areaal is gekomen door de NBC-drempelwaarde waarboven beregend wordt aan te passen. De NBC's van de Referentie zelf zijn berekend aan de hand van een 30-jarige LHM-som, met klimaatensemble 2.

Het beregend areaal van de Referentie is afgesteld op het beregende areaal in LHM 4.3. Opgemerkt hierbij wordt dat Wetterskip Fryslân heeft aangegeven voor hun beheersgebied meer vertrouwen te hebben in de beregeningskaart van LHM 4.1 dan die van LHM 4.3, met het oog op mogelijke onderschatting van beregening uit oppervlaktewater. Daarom is t.b.v. de afleiding van de beregeningskaarten voor de Referentie en de scenario's de beregeningskaart voor de provincie Friesland in LHM 4.3 vervangen met die van LHM 4.1.

Voor meer details over de gevolgde stappen en verdere nabewerkingen worden verwezen naar Bijlage G.



Figuur 5-1 Blauwe lijn en punten: gevonden relatie tussen de toename van het maximale neerslagtekort in het zomerhalfjaar t.o.v. het referentieklimaat en de toename van het % beregend areaal (als % van het totale landbouwoppervlak inclusief grasland, zoals ontleend aan de beregeningskaarten Druk en Stoom van de Deltascenario's 2017 (Hunink et al., 2018). Oranje lijn en punten: toepassing van dezelfde relatie t.b.v. de Deltascenario's 2024.

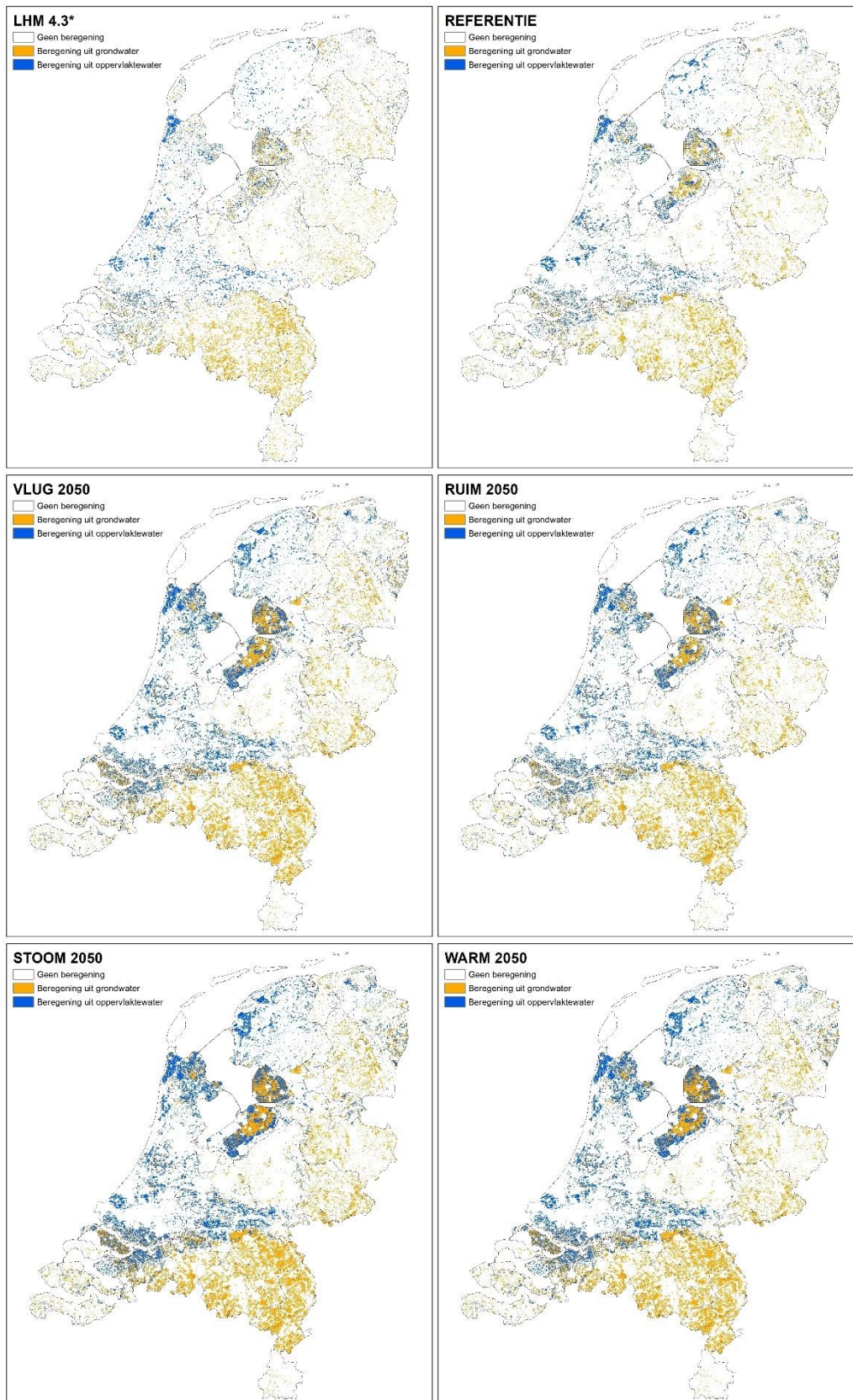
De resulterende beregende arealen zijn gegeven in Tabel 5-2 en Figuur 5-2.

Te zien is dat het beregend areaal in de Referentie uiteindelijk wat hoger is uitgevallen dan in LHM 4.3. Dit heeft zijn oorzaak in de diverse nabewerkingsstappen, waarin aan bepaalde landgebruikstypen berekening is toegekend en de arealen van deze landgebruikstypen bovendien kunnen afwijken van de arealen in LHM 4.3.

Er zijn geen aparte beregeningskaarten voor zichtjaar 2100 gemaakt. De redenen hierachter zijn vooral het feit dat er ook geen landgebruikskarten voor 2100 zijn gemaakt en de grote onzekerheden in de prijsontwikkelingen zo ver in de toekomst.

Tabel 5-2 Beregend areaal per scenario. De beregende arealen worden in zichtjaar 2100 gelijk gehouden aan 2050. *Het betreft hier de beregeningskaart van LHM 4.3 met de aanpassing voor Friesland (waar de beregeningskaart van LHM 4.1 is toegepast).

Scenario	Potentieel beregend areaal (ha)	Verandering tov Referentie (%)
LHM 4.3*	365 856	
Referentie	399 568	-
Vlug 2050	639 344	+ 60%
Stoom 2050	780 238	+ 95%
Ruim 2050	605 286	+ 51%
Warm 2050	741 600	+ 86%



Figuur 5-2 Beregeningskaarten per scenario. De kaarten voor 2050 worden eveneens toegepast voor zichtjaar 2100.

5.3 Doorspoelbehoefte schut- en spuisluisen

Onderstaande tekst betreft de samenvatting van het memo 'Deltascenario's '24: Doorspoelbehoefte zoete watersystemen door zoutindringing bij schut- en spuisluisen' (Weiler en Bijlsma, 2024), welke als onderdeel van de modelinvoer Deltascenario's is opgesteld. Voor meer achtergrond bij hoe de getallen voor doorspoeling tot stand zijn gekomen wordt verwezen naar dat memo, welke tevens als bijlage is bijgevoegd (zie Bijlage H).

5.3.1 Inleiding

Voor de definitie van de Deltascenario's 2024 is het nodig de doorspoelbehoefte van de zoete watersystemen vast te stellen, die gekoppeld zijn aan het bestrijden van de zoutindringing bij schut- en spuisluisen in (droge) zomers. Het betreft specifiek de systemen Volkerak-Zoommeer (Krammersluizen), Haringvliet, Noordzeekanaal, Amsterdamrijnkanaal (IJmuiden) en het IJsselmeer (Afsluitdijk).

Deze sectie beschrijft de bepaling van de doorspoelbehoefte van deze zoetwatersystemen in de zomer, met als doel het beperken van het zoutgehalte in die systemen. Hiertoe wordt gekeken naar hoe de zoutindringing door schut- en spuisluisen zal toenemen, enerzijds als gevolg van zeespiegelstijging en anderzijds als gevolg van een toename van de schutoperatie, samenhangend met economische groei.

Voor de zeespiegelstijging wordt gebruik gemaakt van de recente KNMI-scenario's. De toekomstige schutoperatie is gemaximaliseerd op de capaciteit van de huidige schutsluisen en, specifiek voor IJmuiden, door het toegestane gebruik daarvan: wel de nieuwe Zeesluis met de Selectieve Onttrekking, maar niet de Noordersluis. Dit is in lijn met de wens om de scenario's '**beleidsarm**' in te vullen.

Voor het bepalen van de doorspoelbehoefte wordt aangenomen dat het doorspoeldebiet ook kan worden afgevoerd. Uit de analyse blijkt dat door zeespiegelstijging de afvoercapaciteit afneemt. Om bij de huidige streefpeilen het zoutgehalte te kunnen handhaven, dat wil zeggen: bij het huidige beleid inzake peil en zoutgehalte, wordt het als '**beleidsarm**' beschouwd om waar en wanneer nodig afvoercapaciteit toe te voegen. Dit zal uiteindelijk zijn in de vorm van pompen als het verval over een spuisluis geheel is verdwenen.

De **seizoensvariatie** in afvoer en daarmee de seizoensvariatie in het zoutgehalte (oplopend in de zomer en dalend in de winter) wordt niet beschouwd: hiertoe ontbreken de benodigde gegevens. De beschouwing is beperkt tot situaties met een lage afvoer zoals die kan optreden in het zomerseizoen. Hierbij is het goed te beseffen dat in het modelinstrumentarium gewerkt wordt met vaste debieten jaarrond, welke enkel kritisch zijn in perioden met lage afvoeren en in perioden met hoge afvoeren sowieso al gehaald zullen worden.

5.3.2 Krammersluizen

Voor de Krammersluizen is beschreven hoe de effectiviteit van de IZZS (innovatief Zoet -Zout scheidingsstelsel) wordt beïnvloed door zeespiegelstijging: de verandering daarin is gradueel en niet plotseling, zoals in andere rapporten is aangenomen. Om bij gelijkblijvend streefpeil het zoutgehalte op het VZM te kunnen handhaven zal aanvullende afvoercapaciteit bij de Krammersluizen nodig zijn.

Alle studies voor het IZZS van de Krammersluizen maken gebruik van een simulatie van de schutoperatie voor een vervoersprognose voor 2045. Deze wordt ook van toepassing geacht voor 2050. Voor een toekomstige schutoperatie voor 2100 is een schatting gemaakt. Voor de Krammersluizen leidt dit tot de volgende doorspoelbehoefte:

Tabel 5.3 Doorspoelbehoeften Krammersluizen. Opmerking: Hoge groei + Ld = Vlug. Lage groei + Ld = Ruim. Hoge groei + Hd = Stoom. Lage groei + Hd = Warm.

Doorspoelbehoefte (debiet) bij zeestand en schutoperatie		SSP1-2.6 / Ld			SSP5-8.5 / Hd		
		Zeestand [m NAP]	Schutoperatie	Debiet [m ³ /s]	Zeestand [m NAP]	Schutoperatie	Debiet [m ³ /s]
Referentie		0.03	huidige operatie	huidig	0.03	huidige operatie	huidig
Zichtjaar 2050	Hoge groei	0.27	huidige operatie	9	0.30	huidige operatie	9
	Lage groei	0.27	huidige operatie	9	0.30	huidige operatie	9
Zichtjaar 2100	Hoge groei	0.47	max. capaciteit	20	0.85	max. capaciteit	22
	Lage groei	0.47	huidige operatie	9	0.85	huidige operatie	9

5.3.3 Haringvliet

Voor het Haringvliet wordt geen (significante) toename van het doorspoeldebiet verwacht.

5.3.4 IJmuiden

Voor IJmuiden is een beperkte toename van de doorspoeldebieten afgeleid. Hierbij is gebruik gemaakt van een eerder opgezet balansmodel voor de jaargemiddelde situatie. Ter controle is vastgesteld dat deze surplusdebieten ook gelden voor een zomersituatie, beschouwd met hetzelfde balansmodel. De surplusdebieten zijn weergegeven in de onderstaande tabel:

Tabel 5.4 Surplusdebieten bij IJmuiden. Opmerking: Hoge groei + Ld = Vlwg. Lage groei + Ld = Ruim. Hoge groei + Hd = Stoom. Lage groei + Hd = Warm.

Doorspoelbehoefte (debiet) bij zeestand en schutoperatie		SSP1-2.6 / Ld			SSP5-8.5 / Hd		
		Zeestand [m NAP]	Schutoperatie	Debiet [m ³ /s]	Zeestand [m NAP]	Schutoperatie	Debiet [m ³ /s]
Referentie		0.05	huidige operatie	huidig	0.05	huidige operatie	huidig
Zichtjaar 2050	Hoge groei	0.29	max. capaciteit	+2	0.32	max. capaciteit	+2
	Lage groei	0.29	huidige operatie	+2	0.32	huidige operatie	+2
Zichtjaar 2100	Hoge groei	0.49	max. capaciteit	+4	0.87	max. capaciteit	+7
	Lage groei	0.49	huidige operatie	+4	0.87	huidige operatie	+7

5.3.5 Afsluitdijk

Voor de Afsluitdijk is primair gekeken naar de **spuisluizen**. Er is een uitgebreide verkenning gedaan naar de verandering van de doorspoeldebieten gerelateerd aan het naar binnen lekken van zoutwater door de (gesloten) spuisluizen. Ongeveer de helft van het naar binnenkomende zout verzamelt zich in de erosiekuilen. Deze helft wordt via spuien weer teruggevoerd naar zee. De andere helft verspreidt zich over het IJsselmeer waardoor dit (in een zomer met beperkte afvoer) langzaam in zoutgehalte zal toenemen. De zeespiegelstijging, maar ook de bouw van nieuwe spuisluizen en gemalen bij Den Oever, leidt tot een groter lekdebet naar binnen. Daarmee neemt ook het debiet om de kuilen weer zoet te spoelen toe. Echter ook de verspreiding naar het IJsselmeer neemt toe.

In het Waterakkoord Noord Nederland is een gemiddeld spuidebiet van 40 m³/s vastgelegd voor situaties van extreme droogte. Dit debiet volstaat om de erosiekuilen zoet te spoelen als die geheel zijn gevuld met zout water. Bij ongewijzigd beheer zou dit debiet toenemen naar 53 m³/s door de extra spuisluizen en gemalen bij Den Oever en met zeespiegelstijging verder tot meer dan 100 m³/s (zie Tabel 8.19).

De bouw van nieuwe spuisluizen en gemalen bij Den Oever leidt echter ook tot de mogelijkheid om het zout dat zich verzamelt in de erosiekuilen af te voeren in een hogere concentratie. Dit leidt tot een kleinere doorspoelbehoefte voor zover gerelateerd aan het weer zoetspoelen van de erosiekuilen.

Door zeespiegelstijging neemt de spuicapaciteit af. Voor het peilbeheer, maar ook voor de beperking van de zoutindringing, zullen er daarom op de niet al te lange duur ook bij Kornwerderzand gemalen nodig zijn. Ook de inzet hiervan zal leiden tot een reductie van de doorspoelbehoefte voor zover gerelateerd aan het weer zoetspoelen van de erosiekuilen. Met de inzet van pompen op beide locaties zou de doorspoelbehoefte voor het leegmaken van de kuilen afnemen tot 11 tot 22 m³/s (zie Tabel 8.20).

In de loop van de tijd (van nu naar 2050 en 2100) en afhankelijk van het Lage- of Hoge-uitstootscenario (Ld of Hd) kunnen de volgende doorspoeldebieten worden verwacht voor het leegmaken van de erosiekuilen:

- 2005 (Ref): alleen spuien 40 m³/s
- 2005 (2025): spuien bij KWZ en pompen bij DO 27 m³/s

- 2050Ld: spuien bij KWZ en pompen bij DO 34 m³/s
- 2050Hd: spuien bij KWZ en pompen bij DO 35 m³/s
- 2100Ld: alleen pompen 17 m³/s
- 2100Hd: alleen pompen 22 m³/s

Ondanks het zoet blijven maken van de erosiekuilen zal dus de verspreiding van zout naar het IJsselmeer blijven toenemen met de zeespiegelstijging. In de huidige situatie is het inkomende lekdebiet ca. 4 m³/s (Tabel 8.16). Door de uitbreidingen bij Den Oever neemt dit toe naar ca. 5,4 m³/s en met zeespiegelstijging naar 11 m³/s. Dit is ongeveer een factor drie t.o.v. het huidige lekdebiet. (Tabel 8.19). De helft hiervan gaat naar het IJsselmeer en ook deze helft neemt dus toe met ongeveer een factor drie. Deze toename van de verzilting van het IJsselmeer is nog niet vertaald naar een benodigd doorspoeldebiet. (Alleen voor de helft die in de erosiekuilen terecht komt is dat gedaan.)

Naast de zoutindringing door de spuisluizen (de helft die het IJsselmeer bereikt) zal ook de zoutindringing via de **schutsluizen** toenemen, zowel door zeespiegelstijging als door een toename van het scheepvaartverkeer, al of niet in combinatie met een nieuw te bouwen sluis bij Kornwerderzand. Daarnaast wordt er gewerkt aan het weer in ere herstellen van de bellenschermen op de schutsluizen. Het is niet duidelijk wat voor de schutsluizen moet worden aangenomen als referentie.

Wel is duidelijk dat er voor het toekomstige beheer van het IJsselmeer op zoutgehalte naast voldoende doorspoeling ook zgn. **bronmaatregelen** nodig zullen zijn op de spui- en schutsluizen. Dit betreft b.v. betere afdichtingen op de spuisluizen en maatregelen op de schutsluizen. Ook sommigen van deze bronmaatregelen zullen een watervraag met zich meebrengen.

Voor de schutsluizen zou, als eerste schatting, gerekend kunnen worden met een watervraag van 4 m³/s voor 2050 (reële orde van grootte voor schutsluizen Den Oever en Kornwerderzand van elk 2 m³/s) en mogelijk het dubbele voor 2100. Opgeteld bij de debieten voor het leegspoelen van de erosiekuilen worden de doorspoeldebieten dan als volgt:

- 2050Ld: 38 m³/s,
- 2050Hd: 39 m³/s,
- 2100Ld: 25 m³/s,
- 2100Hd: 30 m³/s.

Let wel: Bovenstaande debieten dekken nog niet de toenemende zoutindringing naar het IJsselmeer die het gevolg is van een toenemende lekkage van de spuisluizen.

Welke toename van de zoutindringing acceptabel is hangt o.a. af van de doorspoeling in de winter. Deze **seizoensvariatie** is nog onvoldoende in kaart gebracht om een heldere referentie te kunnen definiëren. Bovendien zal die veranderen met verschuivingen van de afvoer over de seizoenen.

Gezien de vragen die nog open staan wordt geadviseerd om voor de Deltascenario's voor alle vier de kwadranten uit te blijven gaan van **een minimale doorspoelbehoefte van 40 m³/s** zoals nu is vastgelegd in het Waterakkoord. Deze waarde is net iets hoger dan hierboven afgeleid voor 2050Ld en 2050Hd. Deze afvoer mag ten koste gaan van het peilbeheer. Uit beschikbare documenten (Van Veen, 2021) wordt verder opgemerkt **dat een afvoer van 70 m³/s gewenst is, om zoutoplading tegen te gaan maar ook ten behoeve van vismigratie**. In de waterverdeling zal er daarom zo lang mogelijk op gestuurd moeten worden om deze afvoer te kunnen handhaven. Als deze afvoer niet meer beschikbaar is worden er maatregelen getroffen om de zoutindringing te beperken. Dit gaat o.a. dan ten koste van vismigratie en ook worden er op een zeker moment schutbeperkingen ingesteld.

5.4 Initiële condities

Per scenario's worden op de NWM productieomgeving de 3 ensembles 'parallel' doorgerekend. Om de reketijden van de NWM-productiesommen te beperken is ervoor gekozen om 'vooraf' de modellen in te spelen.

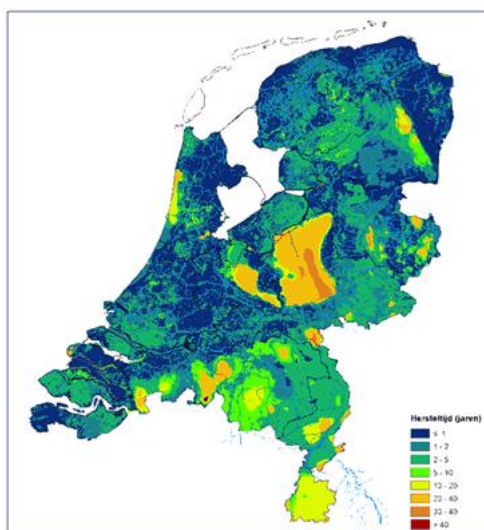
Het 'inspelen' van de modellen gebeurt om goede initiële condities te bepalen, zodanig dat de modelresultaten niet beïnvloed worden door foute inschattingen van de beginsituatie.

5.4.1 LHM

De initiële condities betreffen wat LHM betreft de volgende modelbestanden:

- MODFLOW: de stijghoogtes van alle modellen
- METASWAP: init_svat.inp
- TRANSOL: solute_coliii.csv.inp
- MOZART: dwvalue.dik, lswvalue.dik, wavalvalue.dik
- DM: RestartIn.txt

Van MODFLOW is bekend dat voor de hoge zandgronden een inspeeltijd nodig kan zijn van tientallen jaren (afhankelijk uiteraard van de juistheid van de beginsituatie waarmee de inspeelperiode aangevangen wordt). Om een gevoel te krijgen welke inspeeltijd het grondwatersysteem nodig heeft hebben Mens et al. (2018) gekeken naar de hersteltijd van het grondwatersysteem. Hier wordt de hersteltijd gedefinieerd als de tijd die het systeem nodig heeft om van de laagste GLG omhoog te komen naar een gemiddelde GVG. De berekende hersteltijd is weergegeven in Figuur 5-3 en kan oplopen tot 40 jaar op de Veluwe. Voor TRANSOL hebben Delsman et al. (2020) de benodigde inspeeltijd bepaald indien aangevangen wordt met een 'leeg' bodemprofiel (concentraties van nul); deze bedraagt ongeveer 20 jaar.



Figuur 5-3 Hersteltijd van droogte in de Referentie van de Deltascenario's 2017. Bron: Mens et al. (2018).

MOZART en DM kennen veel kortere benodigde inspeeltijden vanwege het veel kortere 'geheugen' van het oppervlaktewatersysteem t.o.v. het grondwatersysteem.

De modellen zijn voor de verschillende scenario's ruim voldoende ingespeeld door in de verschillende verbeter rondes en daarop volgende testruns t.b.v. de aanmaak van de modelinvoer steeds de eindsituatie van de vorige ronde over te pakken als initiële condities voor de volgende ronde. In de testruns is gebruik gemaakt van representatieve 10-jarige perioden, die per scenario zodanig gekozen zijn dat ze gemiddeld gezien het beste overeen komen met het 90-jaar gemiddelde van de 3 ensembles samen. Hierbij is gekeken naar de

totale winterneerslag (1 oktober - 31 maart) alsmede naar het neerslagtekort in de zomermaanden (1 april – 30 september). Zie Tabel 5-5 voor de gekozen ensembles en runperiode voor de verschillende scenario's, alsmede voor de bijbehorende meteorologische statistieken. In Bijlage F is de meer informatie te vinden per jaar en ensemble.

Tabel 5-5 Runperiodes van de 10-jarige testruns, samen met de winterneerslag en het neerslagtekort in de zomerperiode voor de gekozen 10-jarige perioden. Voor de 10-jarige perioden is het gemiddelde van 10 jaar gegeven. De afwijkingen gegeven in de twee rechter kolommen zijn ten opzichte van 90-jarig gemiddelde (zie Bijlage F).

KNMI'23 scenario	Ensemble	Periode	Winter neerslag [mm]	Zomer neerslagtekort [mm]	Afwijking winter neerslag t.o.v. 90-jarig gemiddelde [%]	Afwijking zomer neerslagtekort t.o.v. 90-jarig gemiddelde [%]
Md-2050	2	2009-2018	438.3 (437.5)	-94.7 (-99.1)	0.2	-4.4
Ld-2100	7	2043-2052	463.1 (452.3)	-152.1 (-153.6)	2.4	-0.9
Hd-2050	3	2043-2052	460.6 (451.2)	-172.9 (-170.3)	2.1	3.7
Hd-2100	4	2082-2091	484.9 (481.6)	-259.2 (-261.1)	0.7	-0.8

Bij aanvang van de cyclus van testruns is ook gestart vanuit de eindsituatie van een 40-jarige run met LHM 4.3. In de voorlaatste rekenronde is elk scenario 30 jaar doorgerekend voor het meest representatieve ensemble (Tabel 5-1). Daarna is, na laatste lichte modelaanpassingen en na overpakken van de eindsituatie van de 30-jarige runs als initiële condities, nogmaals 10 jaar doorgerekend voor de periodes van Tabel 5-5.

5.4.2 LSM

Het oppervlaktewatersysteem kent een veel korter geheugen en daardoor zijn veel kortere inspeeltijden nodig. LSM is ingespeeld met een jaarsom voor 2018. De resultaten van die som gelden als initiële conditie voor alle scenarioruns.

6 Resultaten testruns

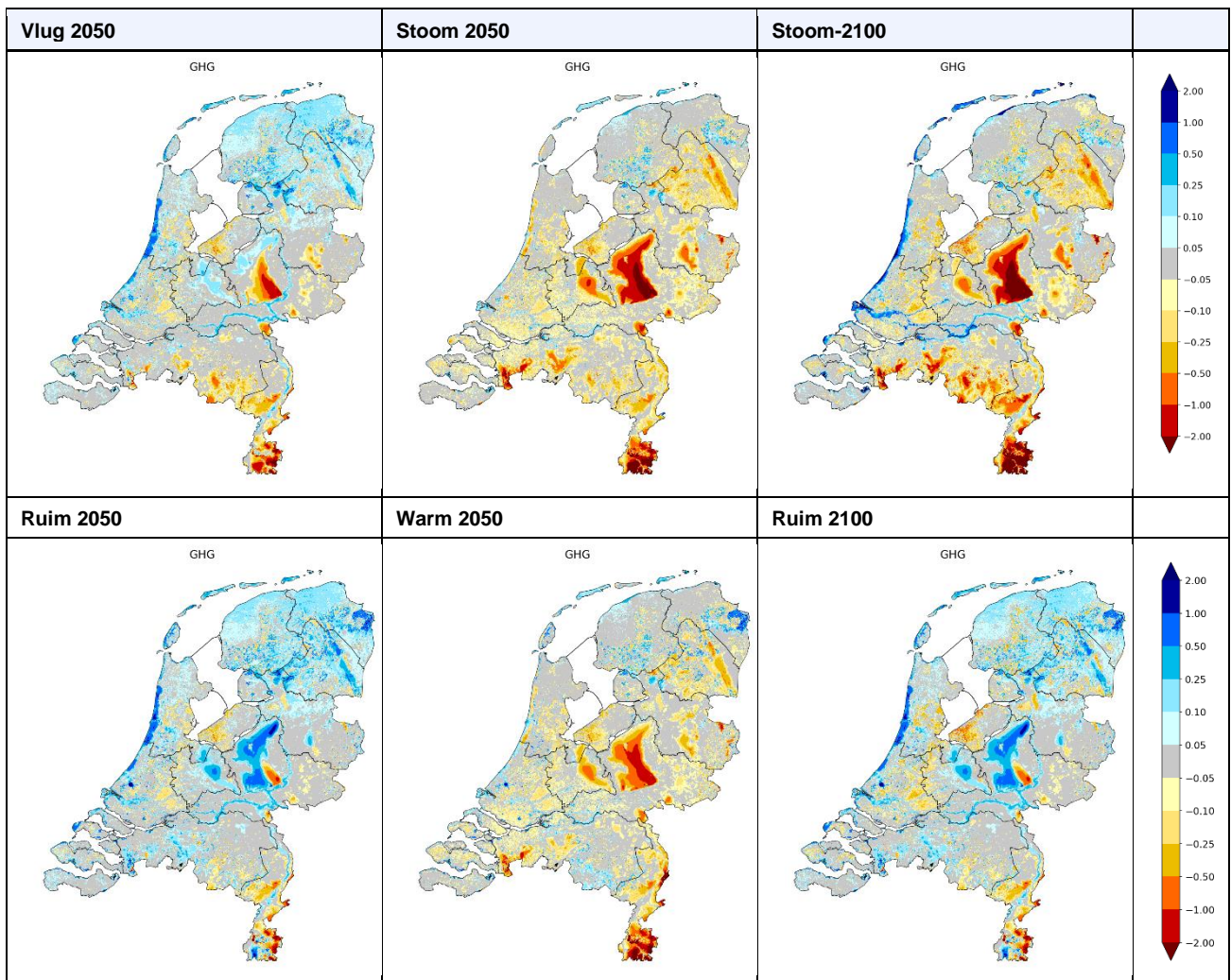
Dit hoofdstuk toont resultaten van de laatste uitgevoerde rekenronde, dus voor de 10-jarige periodes zoals gegeven in Tabel 5-5. Deze presentatie van resultaten dient vooral ter illustratie, maar tegelijkertijd ook om aan te tonen dat de resultaten voor de verschillende scenario's plausibel zijn en de scenario's zich logisch tot elkaar verhouden. In gedachten moet gehouden worden dat de getoonde resultaten niet representatief zijn voor de scenario's, omdat de rekenperiode van 10 jaar daar (veel) te kort voor is.

De presentatie van resultaten beperkt zich hier tot de grondwaterstanden. Figuur 6-1 toont het verschil in Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG) tussen de scenario's enerzijds en de Referentie anderzijds. Figuur 6-2 doet hetzelfde voor de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG).

De 10-jarige rekenperiode is, zoals in het vorige hoofdstuk beschreven, zodanig gekozen dat zowel de gemiddelde neerslaghoeveelheid in het winterhalfjaar als het gemiddelde neerslagtekort over het zomerhalfjaar zoveel mogelijk representatief zijn voor de gehele 90-jarige periode. In de gekozen reeksen zijn de scenario's Vlug en Ruim vrijwel even nat als Stoom/Warm 2050, wat overeenkomt met de kentallen van het KNMI voor deze scenario's (beide +4% neerslag in de winter t.o.v. de Referentie). De GHG voor Stoom/Warm 2050 berekend over de 10-jarige periode is desondanks overwegend wat droger, wat verklaard kan worden uit meteorologische variabiliteit (naast hoeveel neerslag er valt in de winterhalfjaren is voor de tevens GHG van belang *wanneer* die valt en hoeveel er verdampt) en uit het feit dat in Stoom/Warm 2050 de grondwaterstanden in de zomer verder wegzakken en er dus in de winter meer neerslag nodig is om deze te 'herstellen'. In Stoom/Warm 2100 komt de GHG overwegend ook niet omhoog t.o.v. Stoom/Warm 2050, als gevolg van de sterk toegenomen droogte in de zomer. Overigens dient ook bedacht te worden dat extra neerslag ook leidt tot toename van drainage, wat beperkend werkt op de toename van de grondwaterstanden.

De verandering van de GHG in Ruim 2100 lijkt sterk op die van Ruim 2050, wat het gevolg is van het feit dat beide scenario's hetzelfde klimaat hebben. Wel is het effect van voortschrijdende bodemdaling te zien. De zeespiegelstijging schrijdt eveneens voort tussen 2050 en 2100, maar is te beperkt om duidelijk tot uiting te komen in de modelresultaten voor Ruim. Het effect van zeespiegelstijging wordt wel goed zichtbaar in Stoom 2100, vooral langs de Friese kust, de Waddeneilanden en de grote rivieren vanaf de zee stroomopwaarts tot de stuwen van Hagestein en Lith.

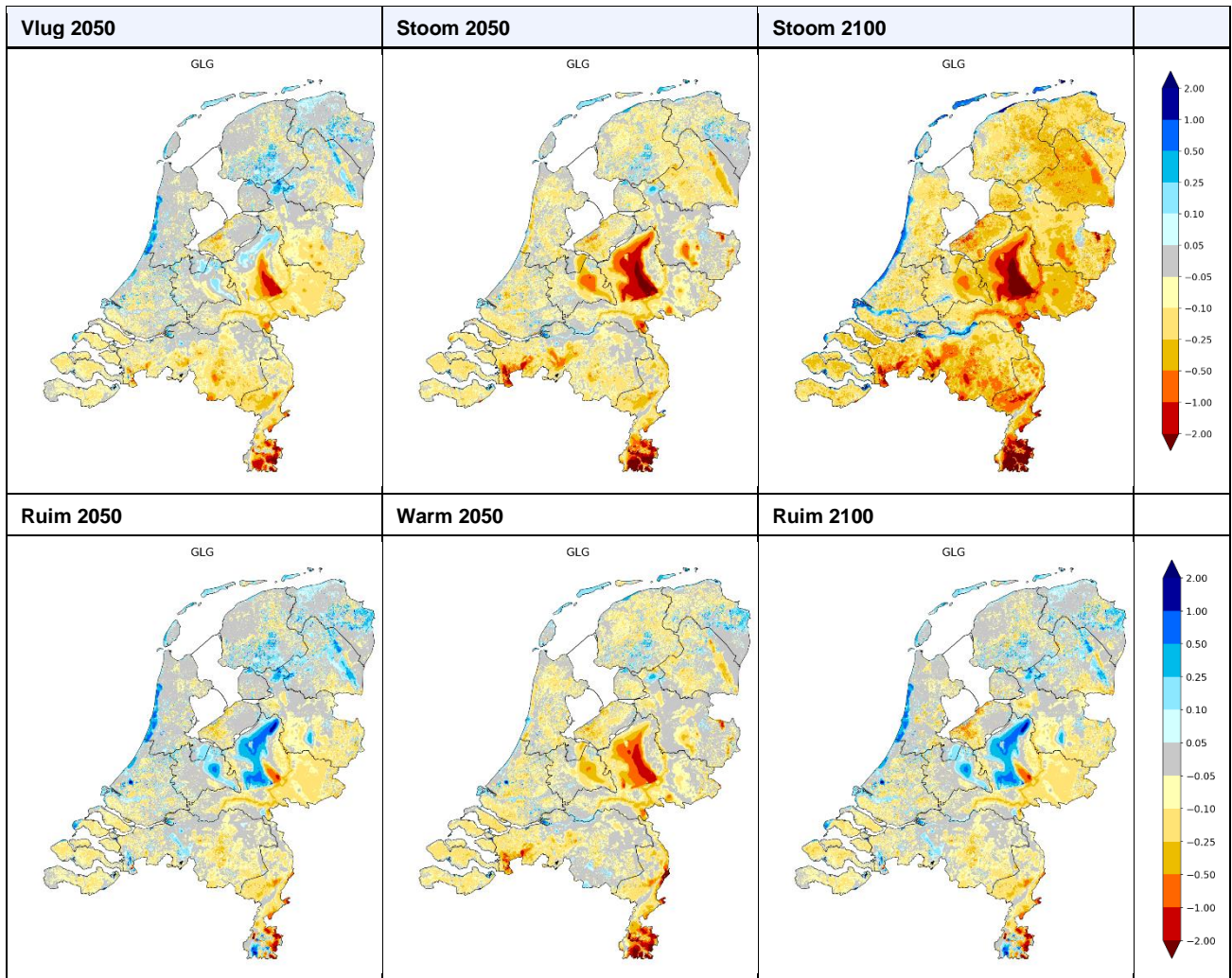
De vernatting van de veenweidegebieden schijnt ook vaak door in de modelresultaten, vooral in Friesland en Groningen, waar de peilopzetten het grootst zijn. Het verschil in de ontwikkeling in onttrekkingsdebieten is ook goed zichtbaar langs tussen de Druk en Stoom scenario's enerzijds en de Rust en Warm scenario's anderzijds: vooral de Veluwe en gebieden in Noord-Brabant en Limburg zijn hierdoor duidelijk droger in Druk en Stoom. Tot slot is de doorwerking van het klimaatsignaal op de peilen van het hoofdwatersysteem (via de Maas- en Rijnafvoeren, zoals beschreven in Sectie 3.8) op de grondwaterstanden goed zichtbaar. In de natter wordende winters worden de piekafvoeren van Rijn en Maas groter en daarmee de peilen hoger. In Warm en Stoom 2050 is dit dan weer niet zichtbaar, wat het gevolg is van de klimaatvariabiliteit en de matige representativiteit van de korte rekenperiodes.



Figuur 6-1 Verandering in gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) in meters ten opzichte van de Referentie zoals berekend voor de 10-jarige periode.

De resultaten voor de GLG laten een ook op basis van de kentallen van het KNMI verwachte voortgaande verdroging zien van Vlug/Ruim 2050 via Stoom/Warm 2050 naar Stoom/Warm 2100.

In Vlug en Ruim is goed de doorgevoerde vernatting van de veenweidegebieden weer goed zichtbaar. In Stoom / Warm 2050 en Stoom 2100 wordt die vernatting in toenemende mate teniet gedaan door de toenemende meteorologische droogte en deels ook door de voortschrijdende bodemdaling. Ook is het klimaatsignaal weer goed zichtbaar via de rivierpeilen van het hoofdwatersysteem, nu als een verlaging van de GLG als gevolg van afnemende rivierafvoeren in het zomerhalfjaar.



Figuur 6-2 Verandering in gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) in meters ten opzichte van de Referentie zoals berekend voor de 10-jarige periode.

Bijlage I toont meer resultaten van het effect van modelinvoeraanpassingen t.b.v. de scenario's op GHG en GLG. Specifiek worden de stationaire effecten getoond, het effect van landgebruiksveranderingen, het effect van peilopzet in de veenweidegebieden en het effect van het wijzigen van de CO₂-concentraties in de atmosfeer.

7 Aanbevelingen voor verdere verbeteringen

7.1 Bruinkoolwinningen

Tijdens het inbouwen van de Deltascenario's in het LHM is gebleken dat sinds de release van LHM 4.0 de onttrekkingen gerelateerd aan de bruinkoolwinningen in Duitsland niet goed in het model verwerkt zitten. Onderdeel van alle scenario's voor 2050 en 2100 zou zijn dat deze onttrekkingen gestopt worden. Effectief komt de modelfout er echter op neer dat deze onttrekkingen ook in de Referentie al niet meer aanwezig zijn.

Deze modelfout is te laat in het traject geconstateerd om nog opgelost te kunnen worden. De impact op de KPA wordt als beperkt beoordeeld omdat de fout de facto alleen in de Referentie zit en de effecten zich bovendien vooral op het diepe grondwater betrekking hebben en niet op de waterverdeling. Voor specifieke toepassingen van in- of uitvoer van het NWM kan het echter wel relevant zijn op de hoogte te zijn van deze modelfout. De modelfout dient in een volgende versie van het LHM uiteraard wel hersteld te worden.

7.2 Klimaat effect op doorspoelvragen polders en boezems

De doorspoelvragen voor polders en boezems zijn in de Deltascenario's 2024 afgeleid van modelresultaten uit het KPZSS (zie Sectie 3.13). In de betreffende studie (Delsman et al., 2022) is de verandering van de doorspoelvraag berekend onder invloed van zeespiegelstijging, bodemdaling en autonoom zouttransport in het grondwater. Die berekeningen namen niet het effect van veranderende grondwateraanvulling in een veranderend klimaat mee. Via het effect op grondwaterstanden en stijghoogtes en daarmee kwelfluxen en zoutvrachten kan klimaatverandering van invloed zijn op de doorspoelvragen.

Zoals beschreven in Sectie 3.13 is gepoogd om de aanpak van Delsman et al., 2022 te herhalen voor alle scenario's (inclusief klimaatverandering) en zichtjaren, maar werden geen goede resultaten verkregen, mogelijk doordat de gekozen (korte) rekenperiodes voor dit doel onvoldoende representatief waren. Aanbevolen wordt om de analyse te herhalen met de resultaten van de 90-jarige Basisprognoseberekeningen, om te bezien of met deze lange reeks wel goede resultaten verkregen worden en in hoeverre deze afwijken van de nu gehanteerde watervragen voor doorspoeling.

7.3 Economisch effect op doorspoelvragen boezems

Vanwege het ontbreken van harde getallen over het effect van veranderingen in het aantal schutbewegingen als gevolg van veranderende scheepvaartintensiteit is dit niet opgenomen in de modelinvoer. De doorspoelvragen van de boezemsystemen zijn gebaseerd op de KPZSS-studie van Delsman et al. (2022) waarin ook geen rekening is gehouden met dit effect. Aanbevolen wordt hier kwantitatieve inzichten over de ontwikkelen zodat in de volgende ronde Basisprognoses hier wel op gefundeerde wijze invulling aan gegeven kan worden.

7.4 Kennisvragen IJsselmeer

In Sectie H.6.7 worden aanbevelingen gedaan voor verdere verbetering van de inschatting van toekomstige doorspoeldebieten voor het IJsselmeer. Voor deze aanbevelingen wordt hier verwezen naar de desbetreffende Sectie.

7.5 Regioscan

Zoals beschreven in Sectie 5.2 konden binnen het hier gerapporteerde project geen bevredigende resultaten met de Regioscan op de aanvankelijk bedoelde wijze verkregen worden. De achterliggende oorzaken zijn nog niet volledig opgehelderd. Aanbevolen wordt daarom om hier nader onderzoek naar te doen. In elk geval moet bij de planning en begroting van toekomstige toepassingen van de Regioscan in combinatie met Wofost en/of de nieuwe klimaatscenario's rekenschap gegeven worden van het feit dat bij dergelijke toepassingen zich nog te overwinnen obstakels kunnen voordoen.

7.6 Bodemdaling

Vanwege de tijdsplanning was het binnen dit project niet haalbaar om nieuwe hoogtekarten te maken aan de hand van met de Deltascenario's berekende grondwaterstanden. Er wordt daarom in het NWM gewerkt met beschikbare bodemdalingskaarten. De consequentie hiervan is dat de bodemdalingskaarten niet helemaal in lijn zijn met de berekeningen / grondwaterstanden die volgen uit de Deltascenario's. Aanbevolen wordt daarom om op basis van de Basisprognoseresultaten alsnog nieuwe bodemdalingskaarten te genereren om daarmee verdere effectbepalingen uit te voeren.

8 Referenties

Baggelaar, P., Kuin, P., Geudens, P. (2022). Prognoses drinkwatergebruik in Nederland t/m 2040.

Bak, C. 2017. Reeksen Watertemperatuur Noordzee 100 jaar. Intern document Deltares.

Buitink, J., Tsiokanos, A., Geertsema, T., ten Velden, C., Bouaziz, L., & Sperna Weiland, F. 2023. Implications of the KNMI'23 climate scenarios for the discharge of the Rhine and Meuse. Deltares rapport 11209265.

Claassens, J., E. Koomen en B. Rijken. 2023. Actualisering landgebruik Deltascenario's 2023. Spinlab Research Memorandum SL-23

De Jong, J., 2020. Effect zeespiegelstijging op rivierwaterstanden, Deltares memo

Delsman, J., America, I., & Mulder, T. (2022). Grondwaterverziltiging en watervraag bij een stijgende zeespiegel. Deltares Rapport 11208039-009-BGS-0001.

Delsman, J., Boekel, E. Van, Reinhard, S., te Winkel, T., Loon, A. Van, Bartholomeus, R.P., Mulder, M., Massop, H., Polman, N., Schasfoort, F., 2018. Regioscan Zoetwatermaatregelen - Verkennen van het perspectief van kleinschalige zoetwatermaatregelen voor de regionale zoetwateropgave, STOWA rapport 2018-?

Deltares. 2023. Memo: Kennisontwikkeling Hydrologische modellen Rijn en Maas. Floodplain 1d, 11209265, March 2023, authors: J. Buitink and L. Bouazi.

Gerritsen, H., de Vries, H., and Philippart, M. 1995. The Dutch Continental Shelf Model, in: Quantitative Skill Assessment for Coastal Ocean Models, edited by: Lynch, D. and Davies, A., vol. 47 of Coastal and Estuarine Studies, American Geophysical Union.

Heinen, M., F. Brouwer, K. Teuling, D. Walvoort, 2021. BOFEK2020 – Bodemfysische schematisatie van Nederland; Update bodemfysische eenhedenkaart. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 3056.

Hunink, J.C., A. Veldhuizen, G. Prinsen, J. Oosterwijk, G. Oude Essink, 2013, Deltascenario's 2012 NHI modelinvoer, Technische achtergrond rapportage. Deltares rapport 12053-000-BGS-0003.

Hunink, J., J. Delsman, G. Prinsen, L. Bos - Burgering, N. Mulder, M. Visser. 2018. Vertaling van Deltascenario's 2017 naar modelinvoer voor het Nationaal Water Model. Deltares rapport 11202240-009-ZWS. Utrecht, oktober 2018.

Hunink, J.C., M. Mens en R. Melman. 2022. Verkenning toename watervraag door vernattingsmaatregelen in veenweidegebieden. Deltares rapport 11208074-008-ZWS-0001.

Janssen, G.M.C.M., P.E.V. van Walsum, P.T.M. Vermeulen, R. Meeusen, J.R. Pouwels, G. Prinsen, I. America – van den Heuvel, E. Mes, J. Delsman, H. Kok en T. Kroon. 2023. Veranderingsrapportage LHM 4.3; Actualisatie van het Landelijk Hydrologisch Model in 2022 en 2023. Deltares rapport 11209235-000-BGS-0001

KNMI, 2023: KNMI'23-klimaatsscenario's voor Nederland, KNMI, De Bilt, KNMI-Publicatie 23-03.

Loos, S. en Boderie, P. 2019. Evaluatie relatie tussen watertemperatuur, debiet en luchttemperatuur voor voorspelling bovenstroomse rivieranden Landelijk Temperatuur Model. Deltares memo 11202216-000-ZWS-0009.

Loos, S. en Boderie, P. 2022. KPP 2022 – verificatie van LSM3 voor temperatuur. Deltares rapport 11208053-010-ZWS-000

Massop, H.Th.L. en C. Schuiling, 2016. Buisdrainagekaart 2015; Update landelijke buisdrainagekaart op basis van de landbouwmetellingen van 2012. Wageningen, Alterra Wageningen UR (University & Research centre), Alterra-rapport 2700. 54 blz.; 27 fig.; 11 tab.; 17 ref.

Mens, M., G. Prinsen, J. Hunink., D. Bachmann, E. Snippen en J. Delsman. 2018. Analyse van de 100-jarige reeks ten behoeve van de Knelpuntenanalyse Zoetwater 2017. Deltares rapport 11202240-000.

Mulder, H.M. en Veldhuizen, A.A., 2014, AGRICOM 2.01 ; Theorie en gebruikershandleiding, Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2576

P.E.V. van Walsum, 2023. SIMGRO 8.1.2.2, Input and output reference manual. Wageningen Environmental Research, Wageningen. Alterra-Report 913.3. 78 pp.

Pouwels, J., Delsman, J., Prinsen, G., Mes, E., America-van den Heuvel, I., Kok, H., & Mens, M. 2023. Ontwikkelingen LHM ten behoeve van het Deltaprogramma Zoetwater. Deltares rapport 11209259-000-ZWS-0003.

Prinsen, G.F. 2021. LSM3 performance, Deltares memo 11206813-016-ZWS-0005 Prinsen, G.F. (2021): Landelijk Sobek Model LSM3, Update en verificatiesom 2018. Deltares rapport 11206813-016-ZWS-0009

Pronk, T. 2021. Actualisatie regressiemodel voor chlorideconcentraties bij Lobith en Eijsden. KWR rapport 2021.045

Rijkswaterstaat, 2018, Betrekkingslijnen Rijn versie 2018.

Rijkswaterstaat Zuid Nederland, 13 maart 2020, Betrekkingslijnen Maas versie 2020-2021 (1).

STOWA, 2018, Regioscan Zoetwatermaatregelen. Verkennen van het perspectief van kleinschalige zoetwatermaatregelen voor de regionale zoetwateropgave. STOWA rapport 2018-13.

Van den Brink, H. 2023. Bepaling van de optimale referentie en de optimale subsets voor de KNMI'23 klimaatscenario's. KNMI memo.

Van der Brugge, R. en R. de Winter. 2024. Deltascenario's 2024 - Zicht op water in Nederland. Deltares rapport 11209219-000-ZKS-0004.

Van Veen, N. 2021. Spuiadvies Afsluitdijk 2021. Rijkswaterstaat memo. 11 mei 2021.

Van Velthoven. 2022. Regioronde DPZW: gewenste aanpassingen hydrologisch modelinstrumentarium. Berenschot rapport.

Van Verseveld, W., A.H. Weerts, Martijn Visser, J. Buitink, R.O. Imhoff, Hélène Boisgontier, Laurène Bouaziz, Dirk Eilander, Mark Hegnauer, Corine ten Velden, Bobby Russell. 2022. Wflow_sbm v0.6.1, a spatially distributed hydrologic model: from global data to local

applications. Geoscientific Model Development, *in preprint*. <https://doi.org/10.5194/gmd-2022-182>

Vewin. (2022). Drinkwaterstatistieken 2022

VU, 2017, Actualisering landgebruiksimulatie Deltascenario's; Achtergronddocument bij Ruimtescanner inzet. Spinlab Research Memorandum SL-12.

Weiler, O. en A. Bijlsma. In Prep. Deltascenario's '24: Doorspoelbehoeften zoete watersystemen door zoutindringing bij schut- en spuisluisen. Deltares memo.

Wesselius, C. en Fujisaki, A. 2020. Landelijk SOBEK model in SOBEK3 (LSM3), Modelbouw, verificatiesom 2003 en 2018. Deltares rapport 11205258-012-ZWS-0001

Witte, J. P., Kruijt, B., Kroon, T., & Maas, K. (2006). Verdamping planten vermindert door toename atmosferische kooldioxide. H2O: tijdschrift voor watervoorziening en afvalwaterbehandeling, 39(5), 27-29.

A Aanpassingen LSM voor Referentie'28

Dit memo geeft een overzicht van de aanpassingen die gedaan zijn op LSM3 ten behoeve van de Referentie'28. De uitgangsversie daarbij is de eind 2022 opgeleverde versie van LSM3 met chloride en temperatuur (Protocol van Overdracht van sobek-lsm3-j18_5_v6 dd 22 dec 29022), met daarin overgenomen de in het kader van de inbouw in NWM geïmplementeerde aanpassingen. Die in dit memo gehanteerde R-nummers verwijzen naar de nummering van issues in Pouwels et al. (2023).

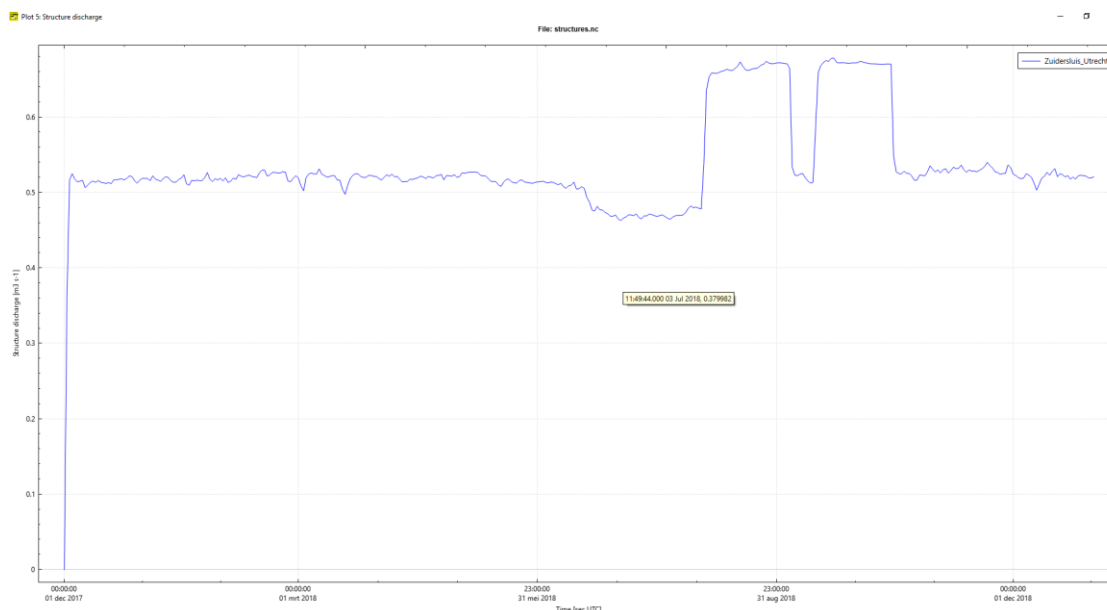
R 120 Sluis lekverliezen van HDSR naar ARK en Lek

Uit memo Berenschot: schutsluizen lekken water van HDSR naar ARK 2 m³/s en 1 m³/s naar de Lek (Utrecht Noordersluis/Zuidersluis, Koninginnesluis Vreeswijk).

In DM is dit geïmplementeerd als gewenst debiet (Lnks.txt) of schut/lekverlies (fixed.txt). Hierbij naar het ARK via Zuidersluis, Noordersluis, Oog in AI: $3 \times 0.6 = 1.8$ m³/s; naar de Lek nabij Vreeswijk 0.8 m³/s.

In LSM:

- In de 2018 som geeft de Zuidersluis Utrecht een afvoer van ongeveer 0.5 m³/s of hoger, zonder sturing via RTC. -> Geen aanpassing nodig.



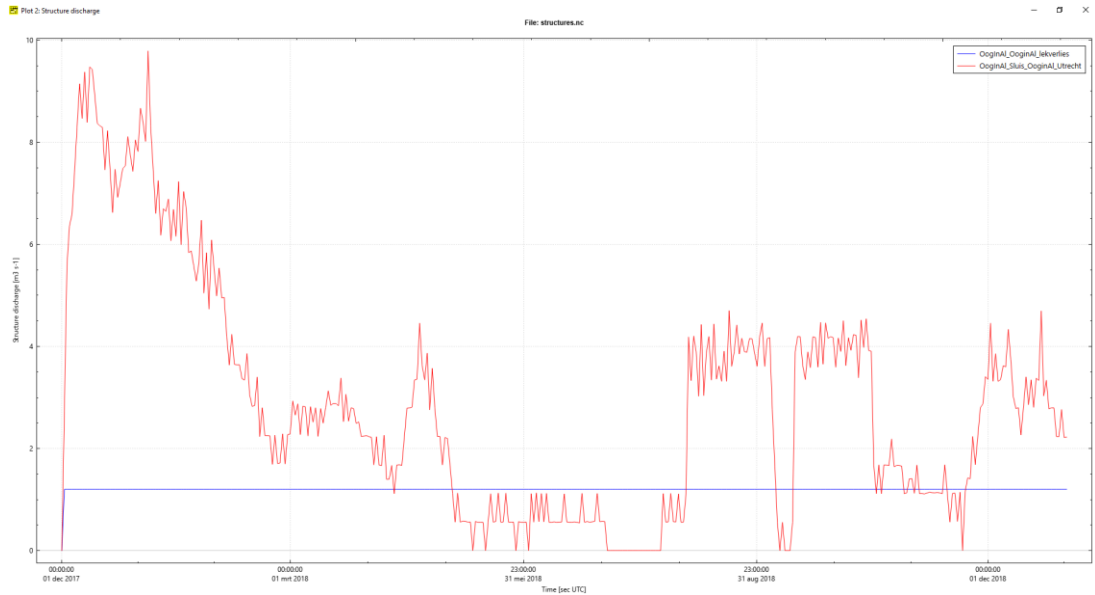
Figuur 8-1 Debieten Zuidersluis in LSM Ref2028

- Noordersluis: deze wordt via RTC aangestuurd in LSM, is als pomp geschematiseerd om water uit ARK te onttrekken en dan via gemaal onder ARK door naar westzijde (Doorslag) te sturen. Actie: hier geen aanpassing om lekverlies te modelleren. In plaats daarvan is het schutverlies bij de nabijgelegen Sluis Oog in AI verhoogd.

- Oog in AI (id Sluis_OogInAI_Utrecht)

Wordt gestuurd via RTC, maar gebruikt om overschot te lozen in relatie tot doorspoeling Weerdsuis. In de winter wordt veel meer geloosd, maar in de zomer beperkt. Een minimum debiet van 1.2 m³/s is nu extra in het model opgelegd (ter representatie van

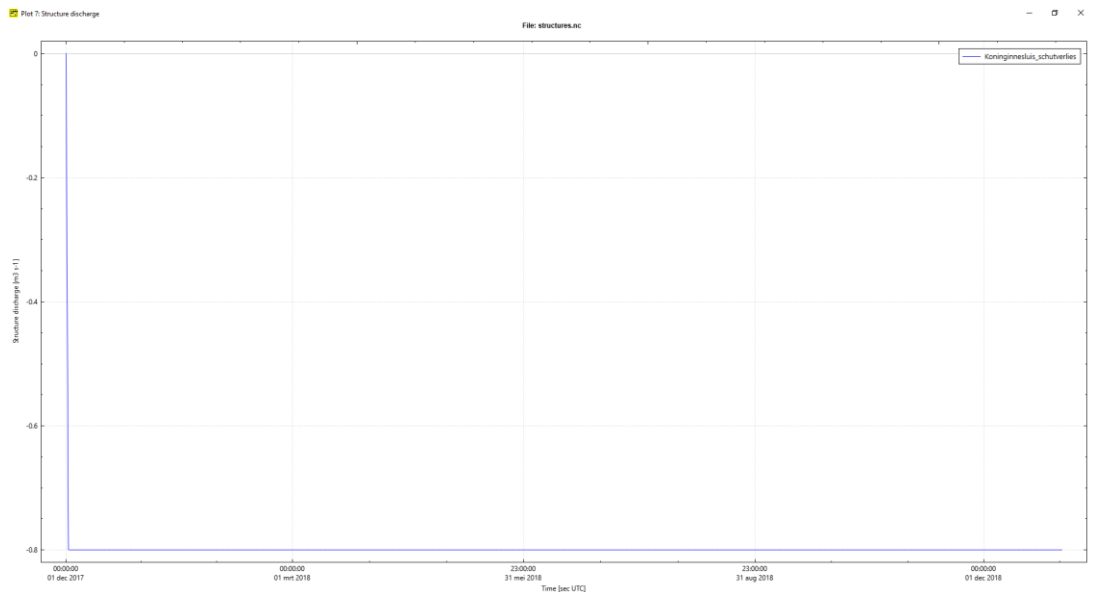
schut/lekverliezen in realiteit bij de Noordersluis en Oog in AI) via een parallelle pomp met continu debiet naar ARK 1.2 m³/s.



Figuur 8-2 Debieten Oog in AI (doorspoeling/lekverlies 1.2 m³/s, blauwe lijn, extra lozing via spuisluis (rode lijn))

- Koninginnesluis Vreeswijk

In de standaard LSM 2018 som staat hiervoor een pomp (met id Koninginnesluis_schutverlies) met capaciteit nul. Voor LSM Ref2028 heeft deze pomp een capaciteit van 0.8 m³/s met stromingsrichting naar de Lek (negatief)

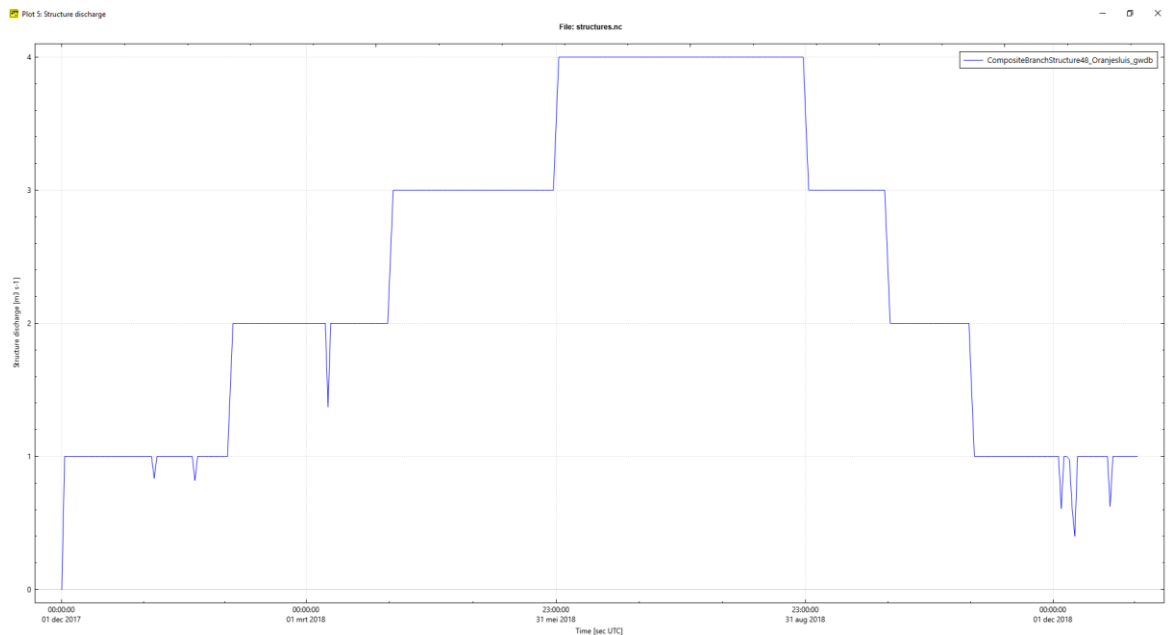


Figuur 8-3 Debiet Koninginnesluis (lekverlies 0.8 m³/s)

R8 Doorspoeling Oranjesluizen tot max. 4 m³/s.

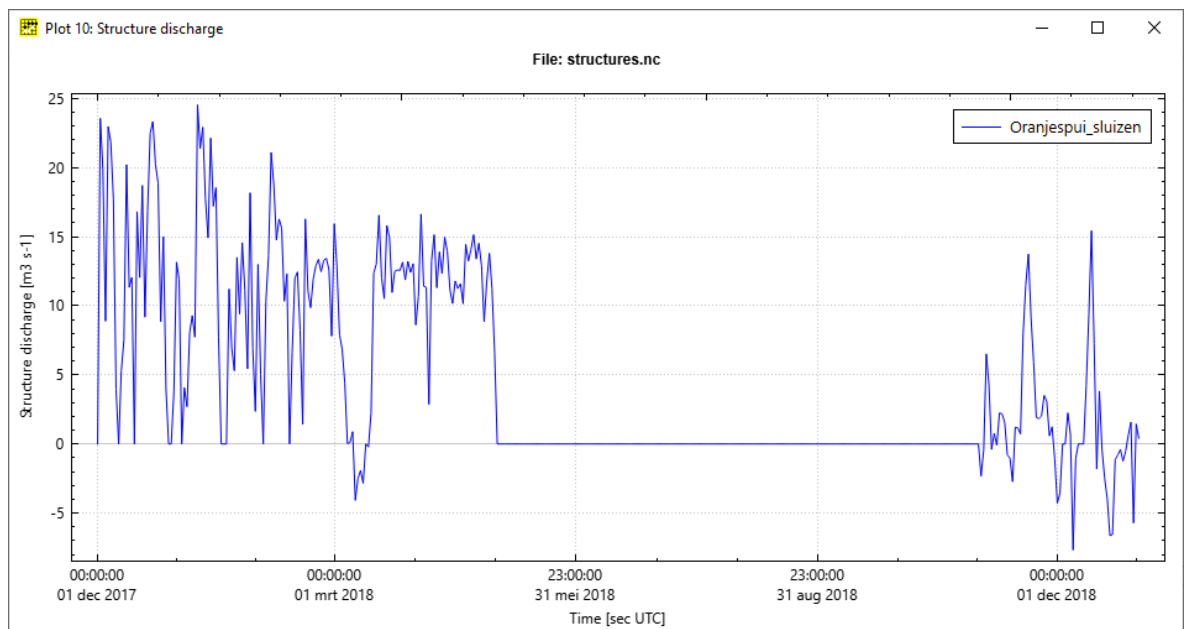
In DM (LHM 4.3) is dit als een tijdreeks opgedrukt met gewenst debiet van 1 m³/s in de wintermaanden november tm februari, 2 m³/s in maart en oktober, 3 m³/s in april, mei, september, en 4 m³/s in juni t/m augustus.

In LSM: Naast de bestaande sluizen (Oranjespui_sluizen en de CompositeBranchStructure48 met als members Oranjesl_N, Oranjesl_M en Oranjesl_Z) is een member toegevoegd bij de compositeBranchStructure: pomp Oranjesluis_gwdb is geïmplementeerd met het gewenste debiet conform de DM implementatie (via tijd tabel sturing RTC; geen kortingsregels en bestaande sturing ook niet aangepast).

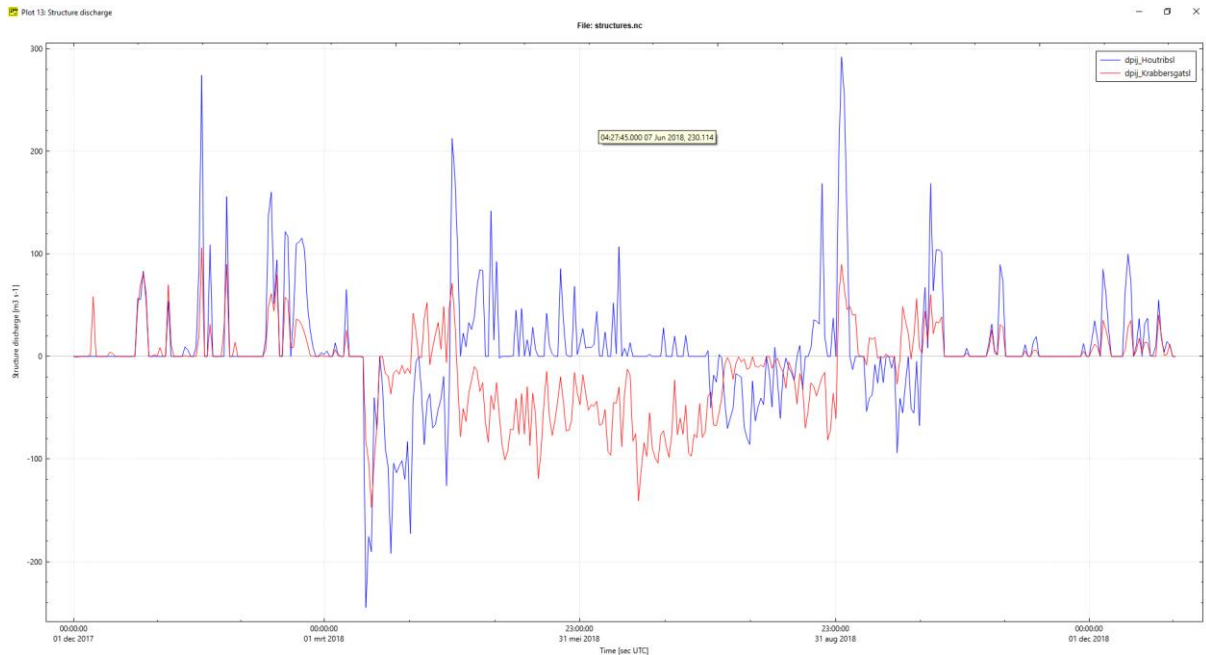


Figuur 8-4 Debiet Oranjesluizen

PM: De parallelle spuisluizen lozen ook nog water naar het NZK in de periode november-april. Spuien richting IJsselmeer gebeurt in die periode ook wel, maar minder vaak. (al is het wel met grotere debieten).



Figuur 8-5 Debiet Oranjespuisluizen



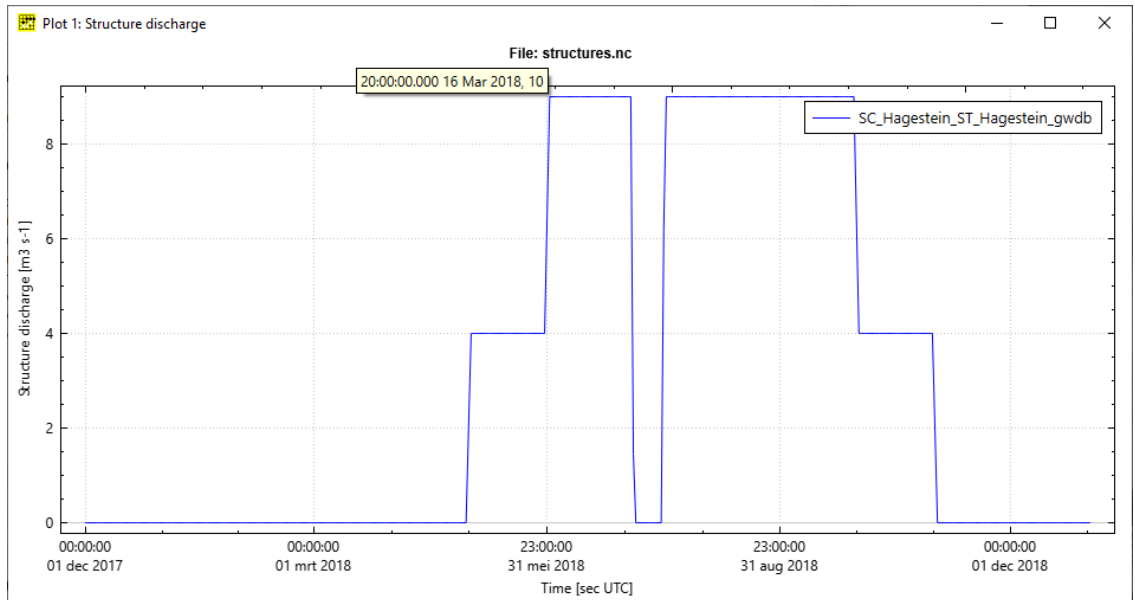
Figuur 8-6 Debiet dpj_Houtribsluizen en dpj_Krabbersgatsluizen. Positief debiet is voor beide locaties richting IJsselmeer. NB in sommige perioden (bv. mei-juli) zijn de daggemiddelde debieten bij de sluizen tegengesteld

R12 Algemeen sturing chloride; Gewenst debiet monding Lek / doorspoeling via Hagestein realiseren. Tijdreeks als in DM.

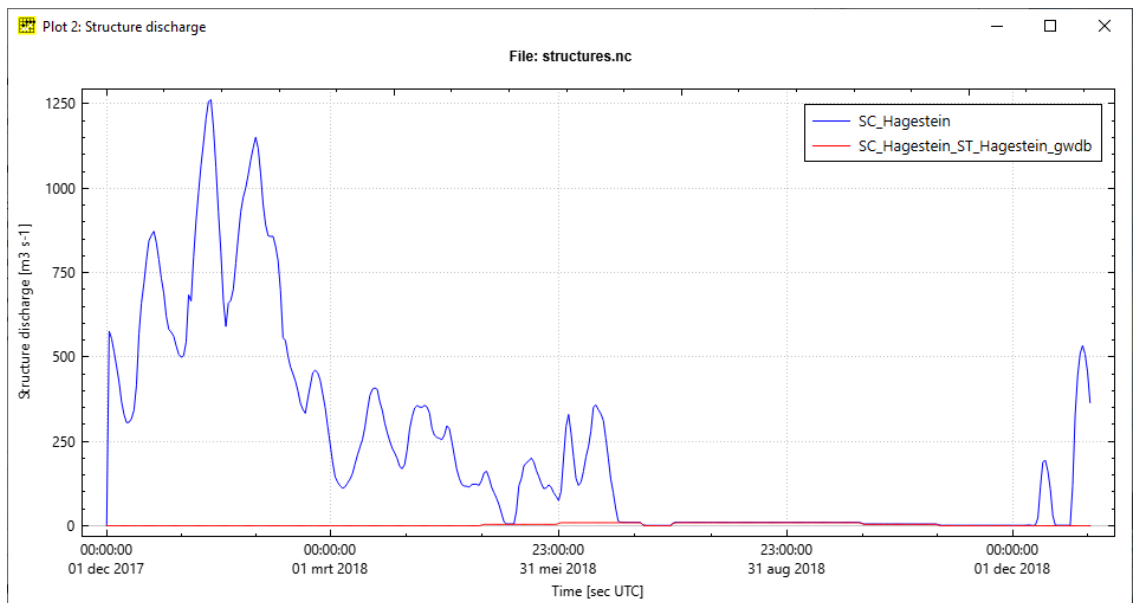
In DM is het gewenst debiet bij de monding van de Lek in Nieuwe Maas opgelegd als een tijdtabel op de tak bij Krimpen aan de Lek, met gewenst debiet 1 m³/s in de winter, 5 m³/s in mei en oktober, en 10 m³/s in de zomer.

In LSM gaat een directe sturing op het debiet bij de monding van de Lek niet werken, want het getij klotst veel harder heen en weer (honderden m³/s) dan de grootte van het gewenst debiet. Daarom is een pomp bij de compound Hagestein toegevoegd (**pomp ST_Hagestein_gwdb**) die een debiet met bovenstaand omschreven tijdverloop realiseert. Daarbij wordt wel aangetekend dat in de KWA perioden er benedenstreams van Hagestein maar bovenstreams van de monding van de Lek ook water wordt onttrokken (inlaat Koekoek = kunstwerk 249), en 2.5 m³/s lekverlies via de Beatrixsluizen). Al liggen er ook nog diverse lateralen tussen Hagestein en monding Lek die dat weer deels kunnen compenseren. Maar deze actie is in ieder geval een verbetering (al moet misschien de opgedrukte debietreeks nog wel worden aangepast). Omdat de sturing van de omloopriolen Hagestein in LSM al zorgt voor ongeveer 1 m³/s doorspoeling, is de DM tijdreeks met 1 m³/s verlaagd.

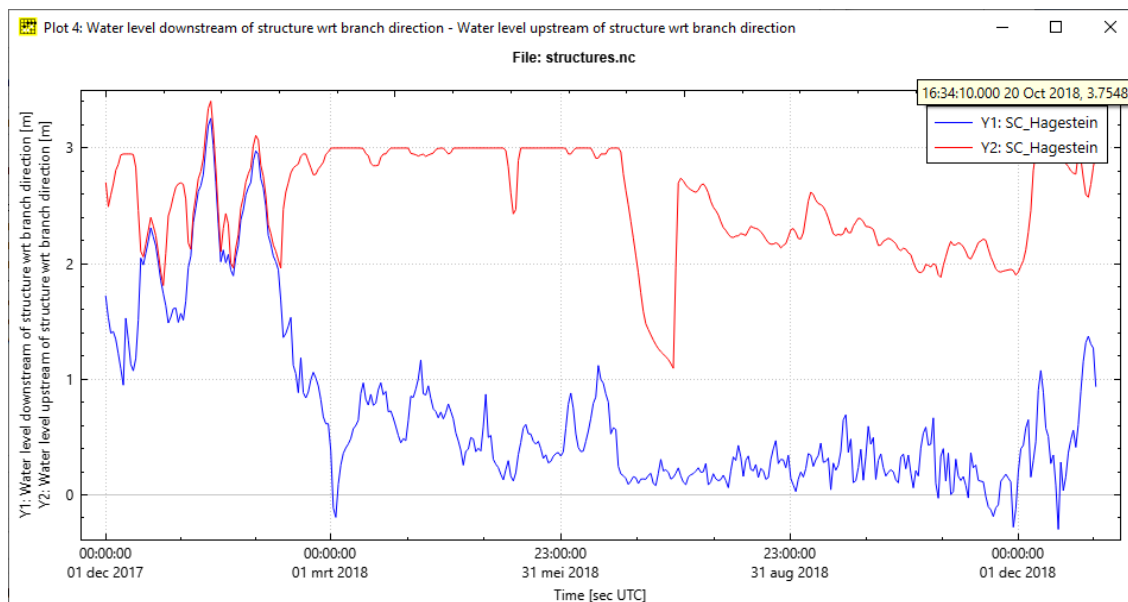
- Pomp met sturing ST_Hagestein_gwdb toegevoegd, met tijdtabel debiet; net als in DM (nog) niet afhankelijk van chloride.
Wel met een beperking: als het peil in het Hagestein pand onder de 1.5m NAP komt schakelt de pomp uit.
- Lekverlies 2.5 m³/s ARK_Beatrrixsluizen is als pomp toegevoegd (kunstwerk ARK_Beatrrixsluizen_lekverlies).



Figuur 8-7 Debiet doorlaat ST_Hagestein_gwdb (doorspoeling Hagestein als pomp geschematiseerd)



Figuur 8-8 Debiet doorlaat ST_Hagestein_gwdb (rood) en totaal debiet Hagestein (blauw)



Figuur 8-9 Daggemiddelde waterstand Hagestein boven (rood) en beneden (blauw)

R10 IRM bodem 2018

Via helpdesk water collega's is het SOBEK3 model met actuele 2018 bodem, weerstanden etc. ontvangen (sobek-rijn-j19_5-v1). Het LSM3 model had de data op basis van het sobek-rijn-j17_5-v3 Rijntakken model. Bij vergelijking van LSM3 met het nieuwere Rijntakkenmodel blijken enkele verschillen. De update met de sobek-rijn-j19-v1 data is geïmplementeerd in LSM Ref2028.

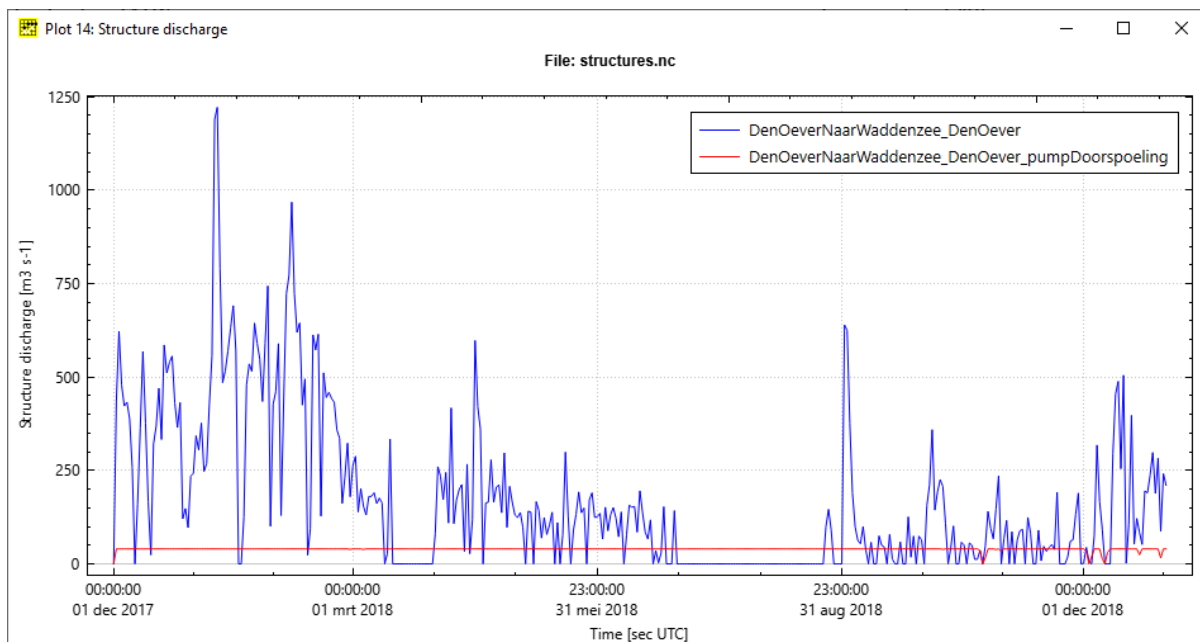
R11 Peilbeheer IJsselmeer/Markermeer/Veluwemeer updaten naar laatste inzichten

In DM (LHM 4.3) is het streefpeil volgens de laatste inzichten beschikbaar.

Actie: Update van de RTC sturing in de aansturing van streefpeilen in LSM. Uitgevoerde aanpassing: -0.15 vanaf april i.p.v. -0.10 of -0.20 voor IJsselmeer/Markermeer. Veluwemeer is al hoger.

R9 Gewenst debiet Afsluitdijk 40 m³/s ipv 10 m³/s. Den Oever / Kornwerderzand.

In de LSM 2018 som zijn er perioden met Q=0 bij Den Oever en Kornwerderzand. Voor het zoethouden van de drinkwaterinlaat Andijk is gesteld dat dit een doorspoeling van 40 m³/s vereist (met hoge prioriteit in DM). In LSM is daarom bij Den Oever een pomp toegevoegd met capaciteit 40 m³/s die mag pompen zolang het peil IJsselmeer -0.40m of hoger is.



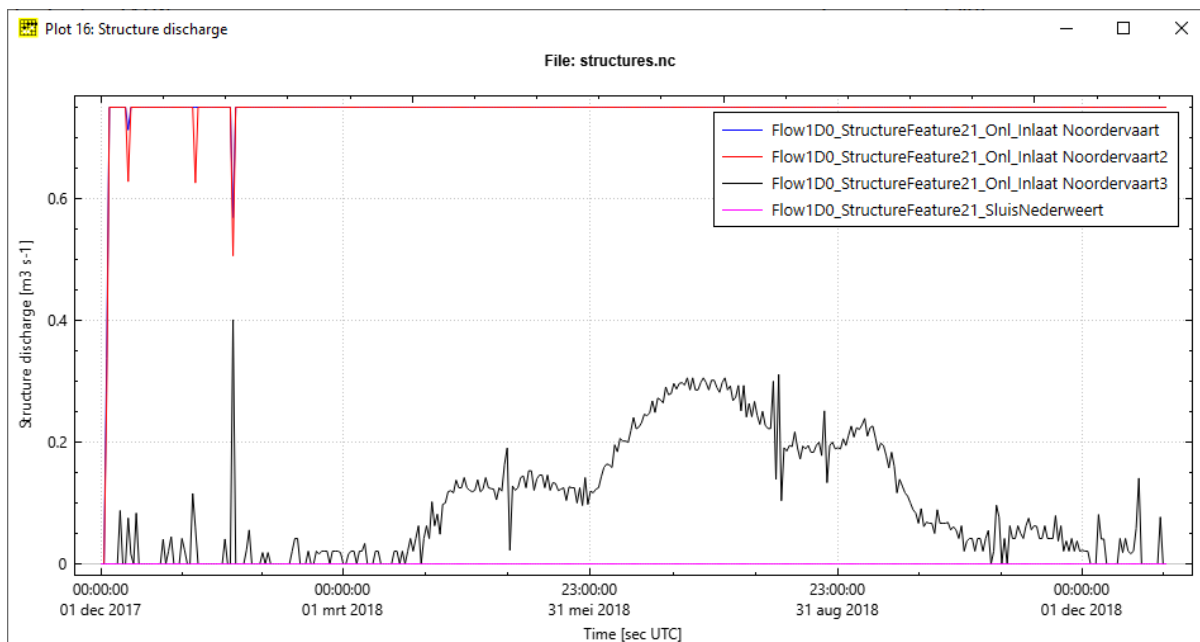
Figuur 8-10 Debiet Den Oever Afsluitdijk. De rode lijn is de 40 m³/s doorspoeling (streefwaarde) en de blauwe lijn het extra gespuide debiet. Het blijkt dat op enkele moment in oktober-december 2018 het doorspoeldebiet niet gehaald wordt omdat het lokale peil voor Den Oever onder de -0.45 m NAP komt, waarbij de uitlaat dichtgezet wordt.

R153 Capaciteit Noordervaart van 3.5 naar 5.4 m³/s

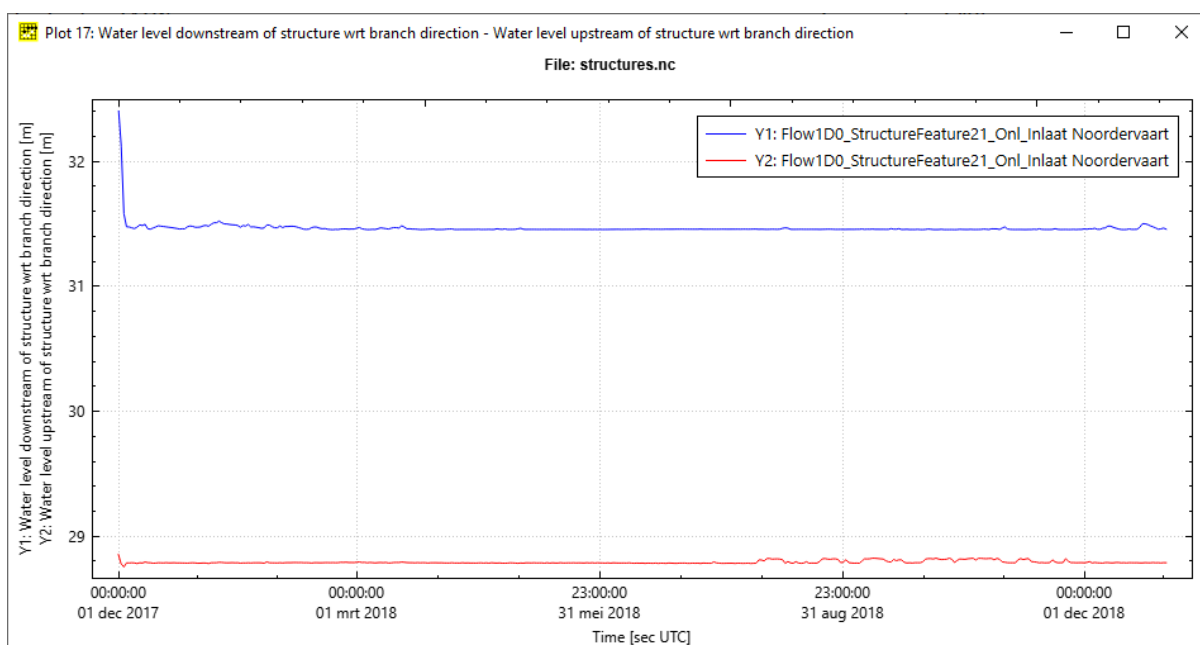
Bij de Noordervaart / Zuid-Willemsvaart verbinding staat een inlaatkunstwerk. Ten opzichte van de takrichting staat het echter niet correct gedefinieerd, dat is voor LSM Ref2028 aangepast (negatief ipv positief). De eerdere sommen met LSM2018 laten peilen zien op de Noordervaart 29.7 m en op de Zuid-Willemsvaart 28.8m. Dus Inlaat via pompen en afwateren via sluis kan dus.

Actie: pomprichting is omgedraaid, totaal debiet verhoogd van 3.5 naar max. 5.5 m³/s. De rand naar het Peelkanaal heeft een opgelegd debiet (onttrekking Katsberg) van 1.5 m³/s gekregen.

Aansturing pompen is aangepast in de structure invoerfile. Streefpeil Noordervaart is gezet op 31.53, peil ZLWM zijde waaronder niet meer gepompt mag worden naar de Noordervaart is gezet op 28.58 m NAP.



Figuur 8-11 Debieten Noordervaart



Figuur 8-12 Bovenstroomse en benedenstroomse waterstanden Noordervaart (blauw=Noordervaartzijde)

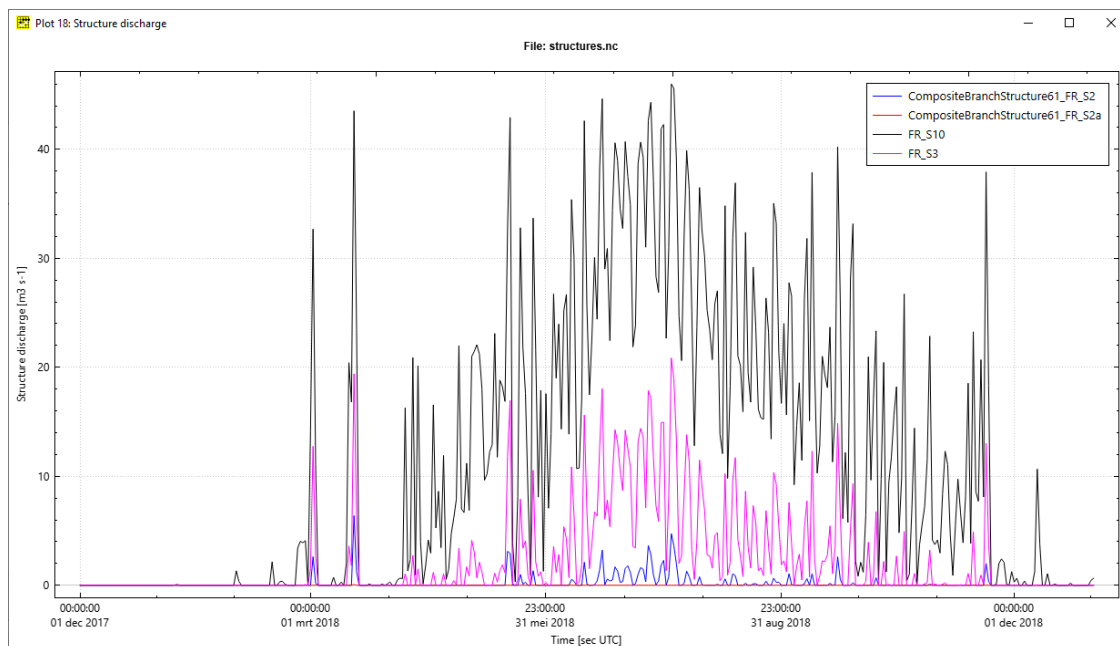
R25 Inlaat Friesland - meer in winter

Friesland wil ook in de winter meer inlaten. Dat is in DM (LHM4.3) geïmplementeerd als een verhoogde doorspoeling (5 m³/s Harlingen, 5.8 m³/s Dokkum) en een verhoogde inlaatcapaciteit.

In LSM Ref2028 zijn voor Harlingen en Dokkum de streefdebieten jaarrond verhoogd.

- Harlingen TimeSeries_import.xml voor kunstwerk 801 continu 5 m³/s
- Dokkum TimeSeries_import.xml voor kunstwerk FR_16 continu 5.8 m³/s
- Capaciteiten inlaat zijn in LSM als volgt: Stavoren FR_S2 11m³/s, inlaat Tacozijl FR_S3 23 m³/s, inlaat Teroelsterkolk FR_S10 46 m³/s; dus totaal 80 m³/s terwijl de totale inlaatcapaciteit zoals in DM is opgegeven nog hoger is (bij hogere IJsselmeerpeilen en Fries boezempeil van -0.52m).

- Extra pomp bij Hoogland (Stavoren) is toegevoegd om bij nog lagere peilen op de Friese boezem (alle bovengenoemde pompen staan aan met cap. totaal 80 m³/s als het boezempeil -0.58 m is). Deze extra pomp kan nog tot max. 22 m³/s inlaten (FR_S2a)



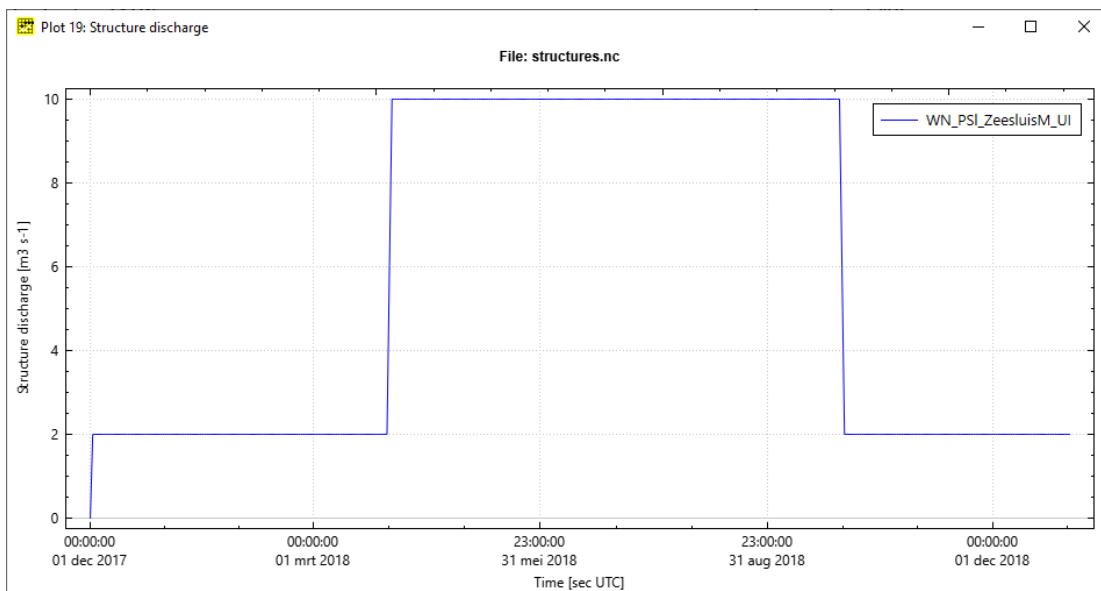
Figuur 8-13 Debieten inlaat Friesland. Tacozijl (FR_S3=paarse lijn), Teroelsterkolk (FR_S10, grijze lijn), Stavoren (FR_S2 en FR_S2a, blauwe en rode lijn). Zoals verwacht is het debiet bij het extra toegevoegde kunstwerk ter representatie van extra inlaatcapaciteit FR_S2a nog nul.

R23 Inlaat Zeesluis Muiden. Zeesluis in RTC

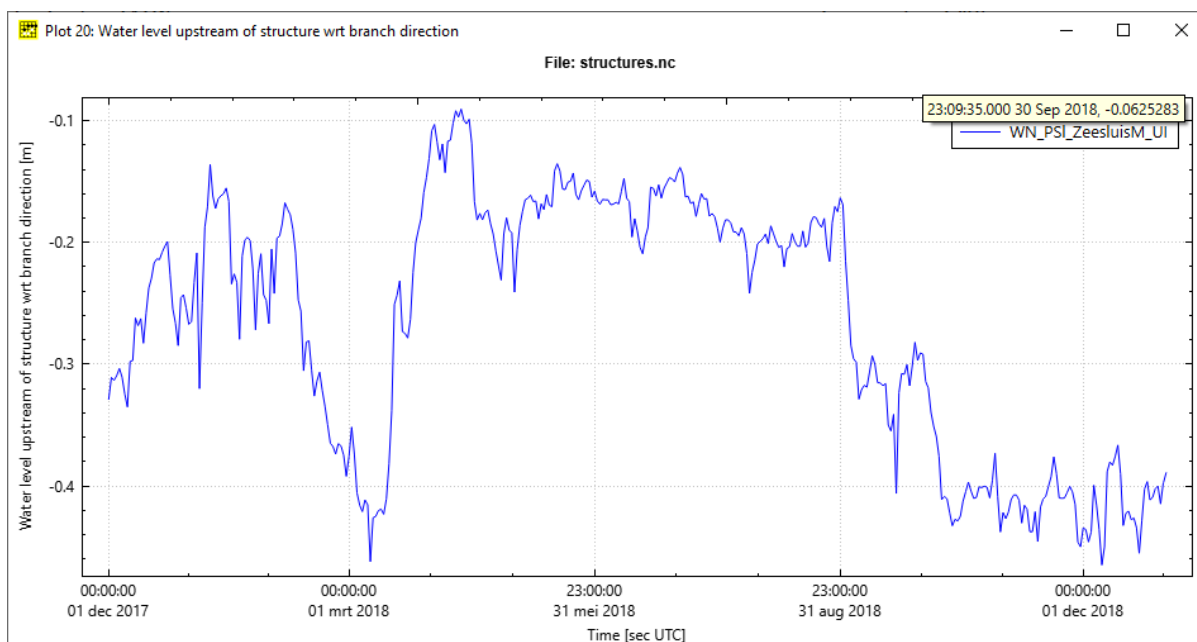
(Wn_PSI_ZeesluisM_UI) in timeseries_import.xml Control group of WN_PSI_ZeesluisM_UI/CTR_P10_PSI_ZeesluisM_UI

In DM is het gewenste debiet 10 m³/s met lage prioriteit, en 2 m³/s met hoge prioriteit. **Actie:** In LSM is de tijdreeks met doorspoeling Muiden vervangen door 2 m³/s in de winter, en 10 m³/s inlaat in de zomer (net als in DM)ga .

PM Er is nog niet geregeld via RTC dat bij peilen Markermeer onder het kritiek peil (-0.30 in de zomer) de doorspoeling gekort wordt naar 2 m³/s. Dat is voor de huidige simulaties nog niet kritisch, want in de huidige 2018 som zakt het peil in april tot en met augustus niet onder de -0.30 m NAP, en in september is het opgedrukte streefpeil Markermeer al -0.30m NSP en het kritiek peil om te korten verlaagd. In die periode wordt in LSM nog wel het gewenste debiet van 10 m³/s opgelegd.



Figuur 8-14 Debiet inlaat zeesluis Muiden



Figuur 8-15 Bovenstrooms peil zeesluis Muiden (=peil Markermeerzijde)

R17 Inlaatcapaciteit Hoogland vergroot

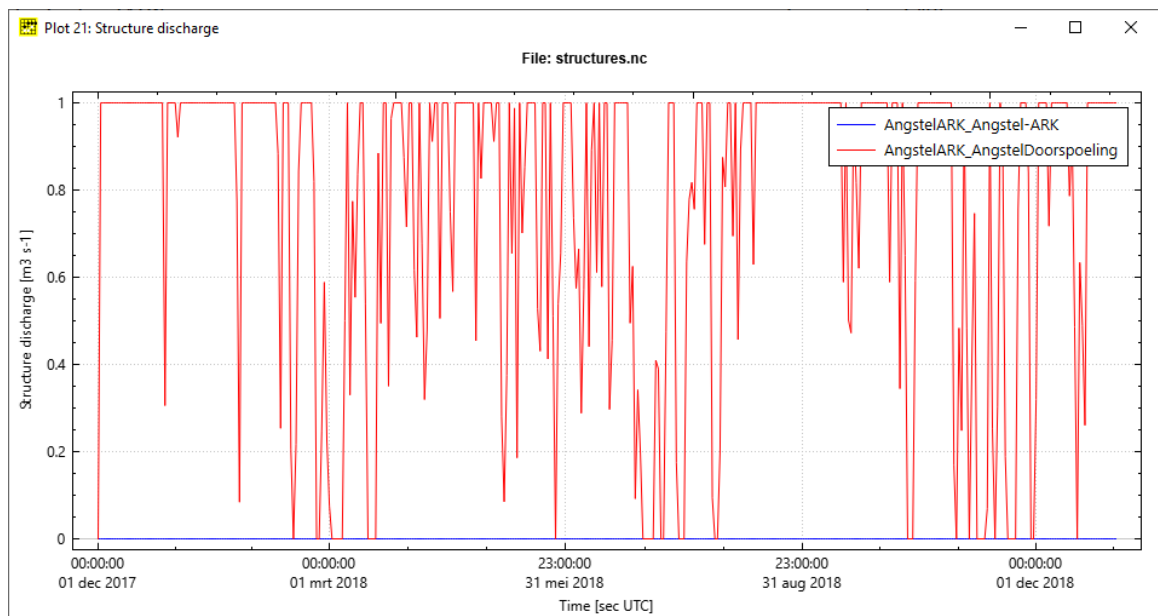
Zie actie en grafiek bij punt R25

R127 Doorspoeling Amstelland (van ARK via Amstelland naar NZK)

In DM bedraagt deze doorspoeling 1 m³/s.

In LSM 2018 som een debiet oscillerend met het pseudo getij op ARK, tussen $Q=-2.5$ m³/s en $Q=+3.5$ m³/s (positief = richting ARK op meetpunt WN_M_ANG006). Water level variations van -0.46 tot -0.30 m NAP. Google Earth laat zien dat het afsluitbaar is. Dan kan inderdaad een pomp worden toegevoegd om de inlaat te realiseren.

Actie: pomp op de Angstel is toegevoegd met $q=1$ m³/s. Parallele structure ook toegevoegd (en nu dichtgezet) zodat als men het toch open wil dat simpel te doen is door de pomp capaciteit nul te geven en de parallelle general structure open te zetten.

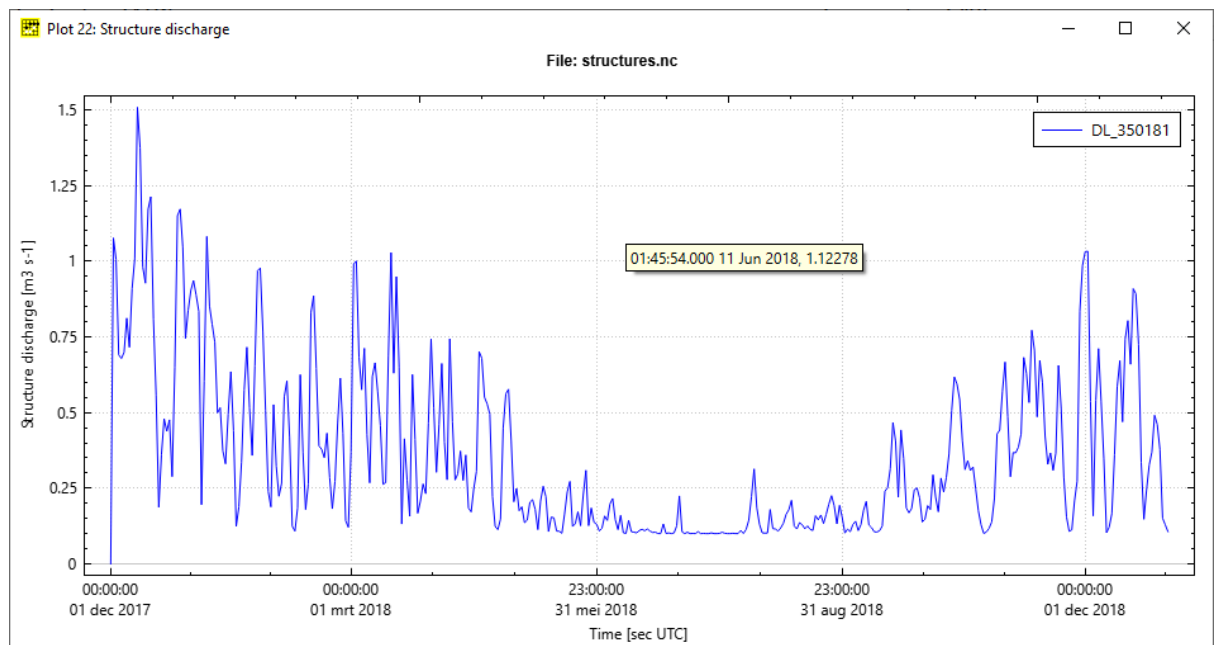


Figuur 8-16 Debieten van ARK naar Angstel

PM De inlaat wordt stopgezet als het peil op het ARK bij het inlaatpunt onder de -0.45m NAP komt. Dat komt blijkbaar regelmatig voor, waardoor het daggemiddelde debiet regelmatig de 1 m³/s niet haalt.

R128 Gemaal vd Burg doorspoeling 0.1 i.p.v. 0.5 m³/s

De doorspoeling van gemaal van de Burg (Westland) is verlaagd tot 0.1 m³/s. Dit is in LSM geïmplementeerd door de RTC sturing van kunstwerk DL_350181 aan te passen (via RTC, met PIDVEL controller met min 0.5 en max 6.0 m³/s. Minimum is bijgesteld naar 0.1 m³/s)



Figuur 8-17 gemaal van de Burg, Delfland. Minimum debiet 0.10 m³/s

R137 KWA+ issues

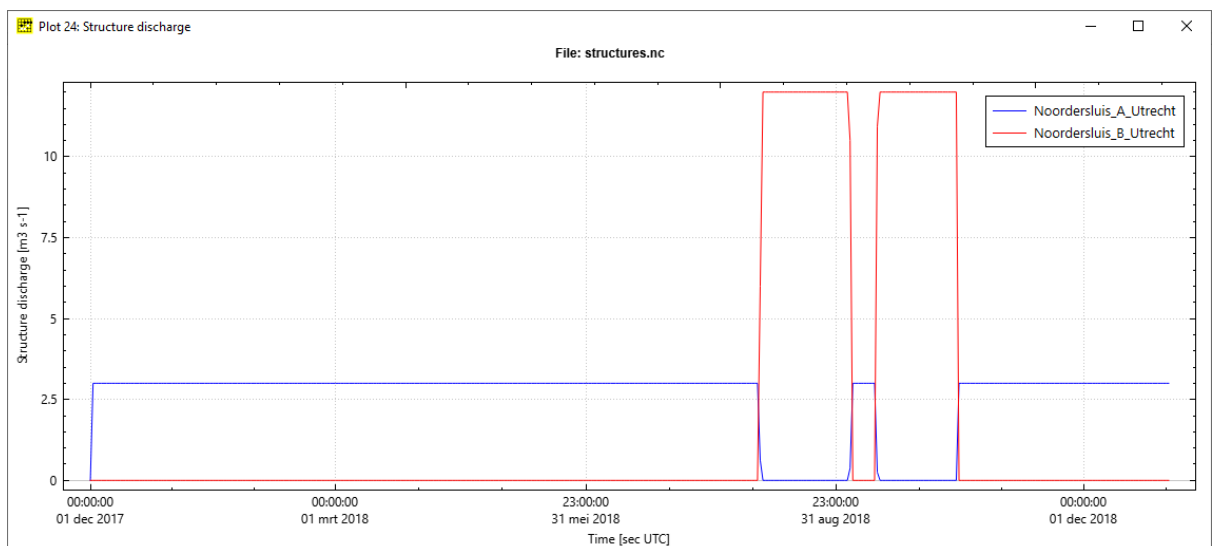
- **Weesp** standaard 25 m³/s
In de LSM 2018 som is het normale debiet bij Weesp daggemiddeld iets te laag (orde 20 m³/s), ook als bij de Irenesluis orde 25 m³/s wordt ingelaten. Bij KWA perioden

wordt wel het gewenste debiet bij Weesp gerealiseerd. Daarom is in LSM REF2028 de RTC sturing van de inlaat Irenesluis in normale situaties iets aangepast (bij de Hydraulische rule CNTL_Irenesluis de opening van het kunstwerk met 10% vergroot, uitgaande van bodemniveau -6.38)

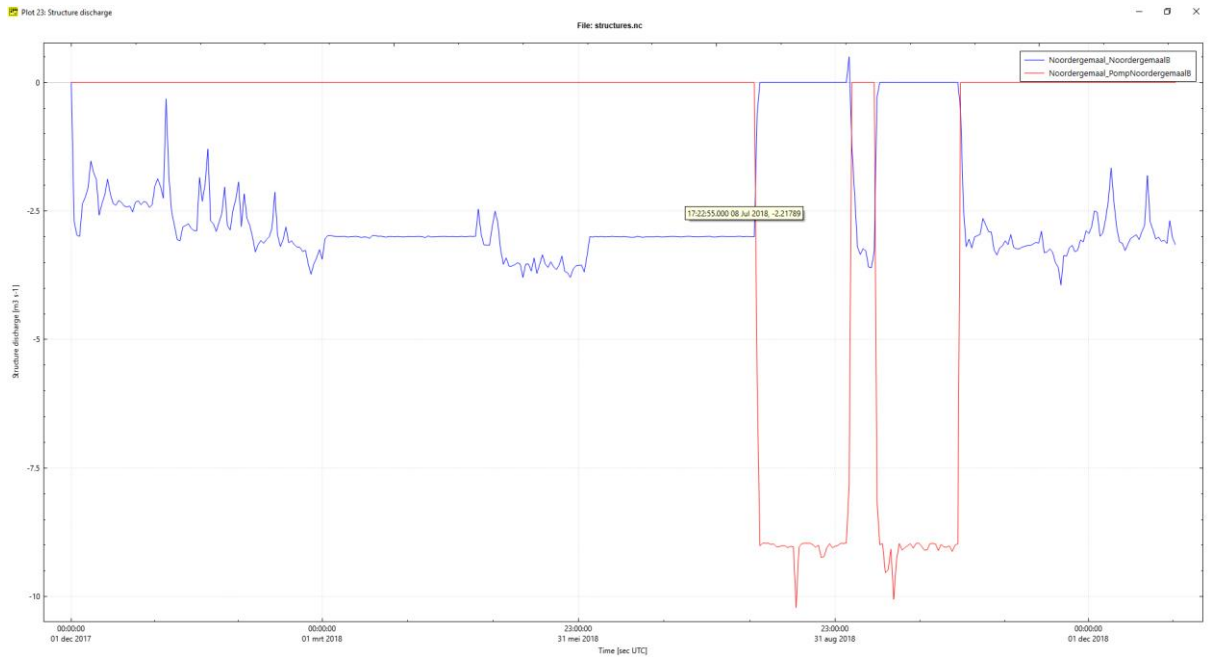
- gemaalcapaciteit **Aanvoerder** (structure id 134) is correct in LSM: 7.0 m³/s
- gemaalcapaciteit **Noordergemaal** (Noordersluis B Utrecht) is 12 m³/s in LSM. Echter, de inlaat is maar beperkt tot 3 m³/s (NoordersluisA) en via Noordersluis B 6 m³/s, en niet tegelijk. En van de inlaat gaat 1/3 naar Noord en 2/3 via NoordergemaalB en NoordergemaalC naar zuiden (richting Doorslag GHIJ) in de 2018 som slechts tot 4 m³/s richting zuid. RTC geeft dus wel 12 m³/s als setpoint door, maar in het 1D model wordt dit in LSM3 2018 geknepen naar max. 6 m³/s. Voor de Ref2028 moet de capaciteit naar het zuiden verhoogd worden tot 9.6 m³/s (in DM Ref2028: via Doorslagluis max. 9.6 m³/s naar de gekanaliseerde Hollandsche IJssel.). Om dit te realiseren is kunstwerk Noordergemaal B (nu identiek als Noordergemaal C een general structure) uitgebreid met een parallelle pomp PompNoordergemaalB met capaciteit 10.5 m³/s richting zuiden (houdt rekening met lekverlies Zuidersluis en Koninginnesluis; NB al in 2018 som is debiet 99% van de tijd van oost naar west, dus aanvoer naar westelijk HDSR)

RTC Sturing is toegevoegd zodat:

- De pomp aangaat in KWA situaties (en Noordersluis B actief is met tot 12 m³/s inlaat)
- De huidige general structure is dan dichtgezet (gate lower edge level -3.50 ipv +90.5)

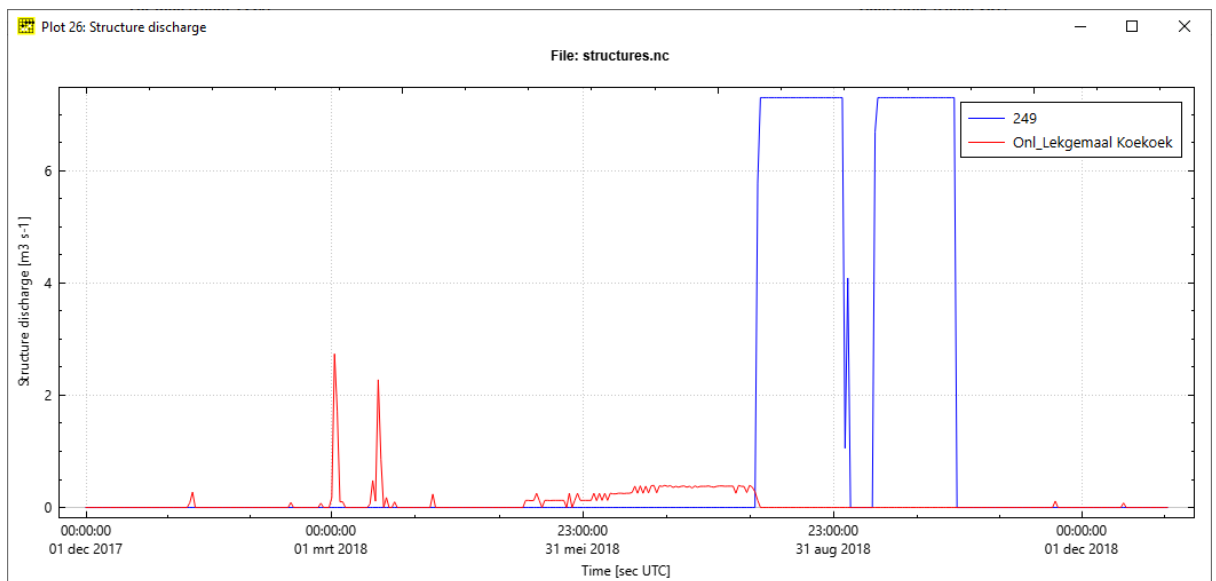


Figuur 8-18 Debieten Noordersluis A en B (inlaat Noordergemaal). Standaard inlaat 3 m³/s (blauwe lijn), in KWA perioden 12 m³/s (rode lijn)



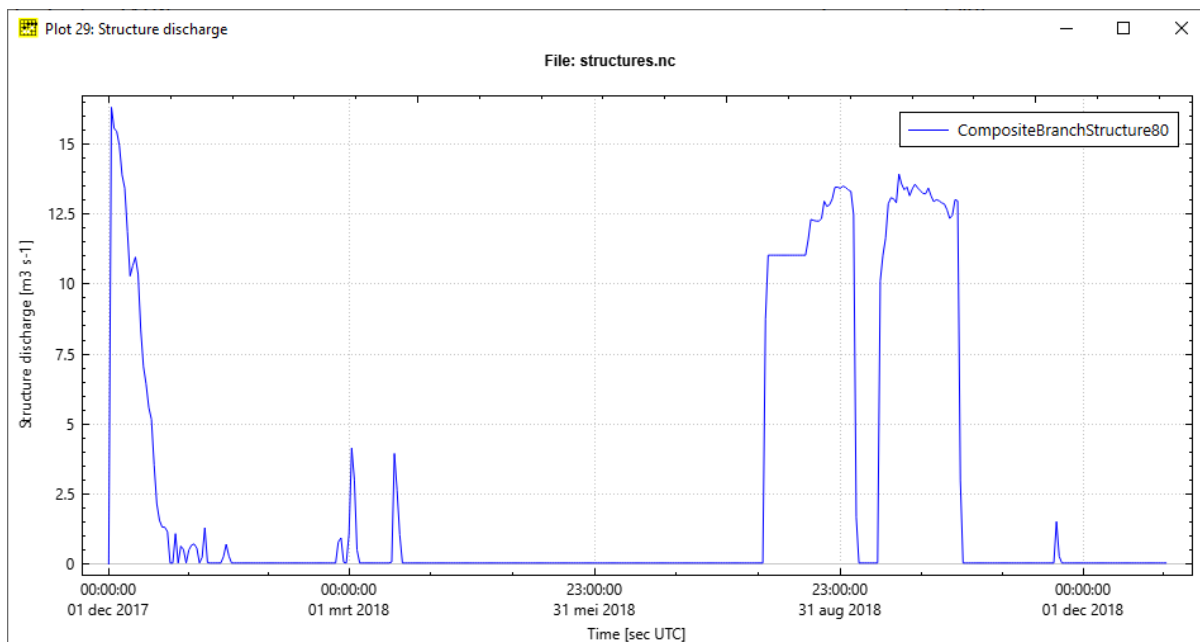
Figuur 8-19 Debieten NoordergemaalB (general structure, blauwe lijn) en inlaat KWA periode (rode lijn)

- Gemaal **Koekoek/Keulevaart** capaciteitsvergroting voor Ref2028. Actie LSM: Koekoek in LSM is vergroot van 4.9 m³/s naar 7.3 m³/s (zowel bij OnL_Lekgemaal Koekoek als 249, KWA_inlaat_Koekoek).



Figuur 8-20 Debieten inlaat de Koekoek (blauwe lijn = KWA periode)

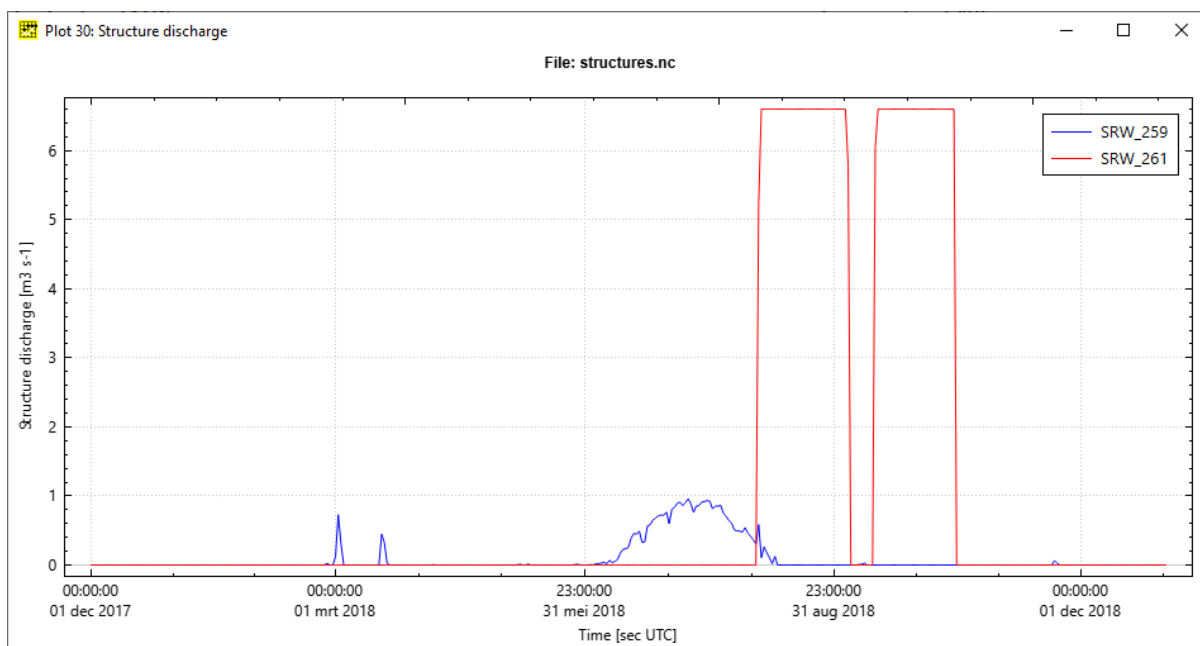
- **Waaiersluis**
Gestreefd wordt naar een debiet van 4.0 m³/s bij de KWA. Nu wordt nog een groter debiet gerealiseerd (via member GemaalGouda met capaciteit 14 m³/s). Het netto debiet is tot orde 8 m³/s.
- **Bodegraven**: capaciteit 15 m³/s KWA, waarvan 4 Waaiersluis. Dus voor Bodegraven 11 m³/s. In sturing het max. van 10.5 verhoogd naar 11.0.



Figuur 8-21 Debieten Bodegraven. De gemodelleerde KWA doorlaat is beperkt tot 11 m³/s, echter bij 1 van de parallelle kunstwerken (culvert SRW_241) wordt nog extra water doorgelaten. In de wintermaanden is dat een lozing van overtollig water van het westelijk gebied van HDSR. In de perioden van KWA in augustus/september is er zichtbaar iets meer water dan de afgesproken 11 m³/s beschikbaar.

- **Inlaat Hekendorp**

In LSM Ref2018 is de capaciteit voor kunstwerk SRW_261 KWA opgehoogd naar 6.6 m³/s; In de RTC sturing krijgen zowel kunstwerk SRW_259 als kunstwerk SRW_261 in de hydraulische regels de capaciteit van 6.6 in plaats van 6.2 of 4.2 m³/s.

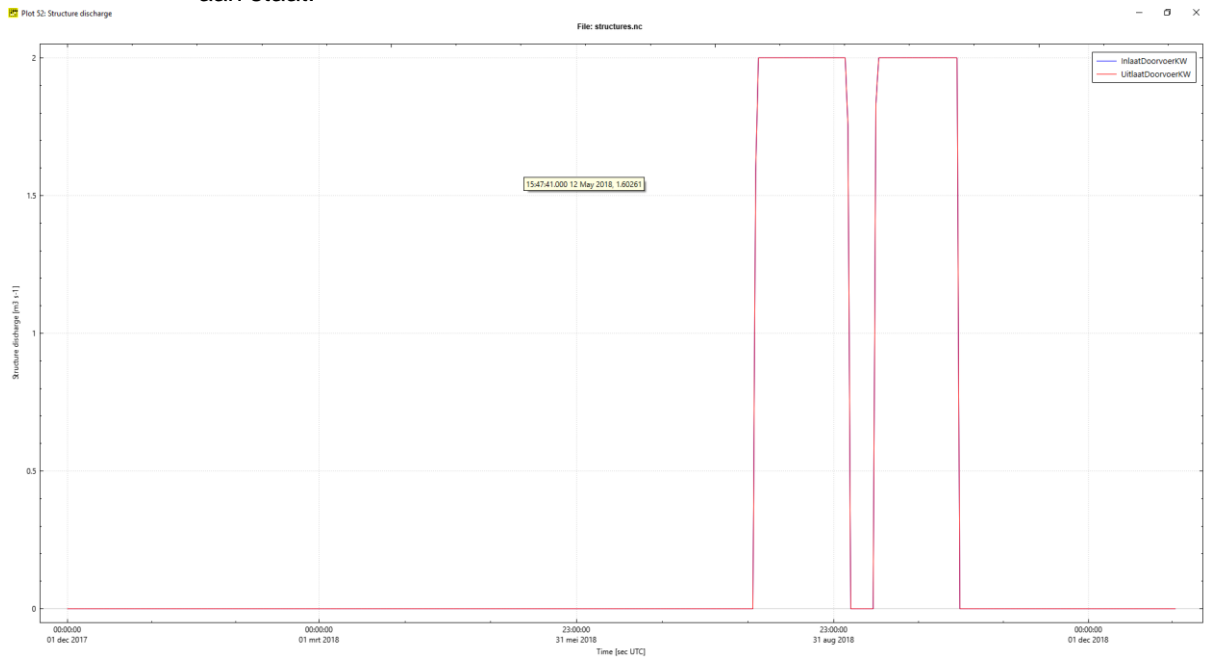


Figuur 8-22 Debieten inlaat Hekendorp. (blauwe lijn = normale inlaat, rode lijn = KWA periode)

- **Surplus Krimpenerwaardroute**

De Krimpenerwaardroute zat nog niet in LSM3. Voor LSM3 Ref2028 is daarom een tak toegevoegd van knoop Hoogeboezem (op de Lek bij Bergambacht) naar knoop Node063 op de Hollandse IJssel bij Snelle Sluis / A Kroes gemaal. Met inlaatgemaal Bergambacht capaciteit 5.5 m³/s uit de Lek en uitlaatgemaal capaciteit 5.5 m³/s naar

de Hollandsche IJssel, trapeziumprofiel 2m diep 5 m breed. Beide gemalen (inlaatDoorvoerKW en uitlaatDoorvoerKW worden via RTC aangezet als de KWA aan staat.



Figuur 8-23 Debieten inlaat en uitlaat van de doorvoer Krimpenerwaard

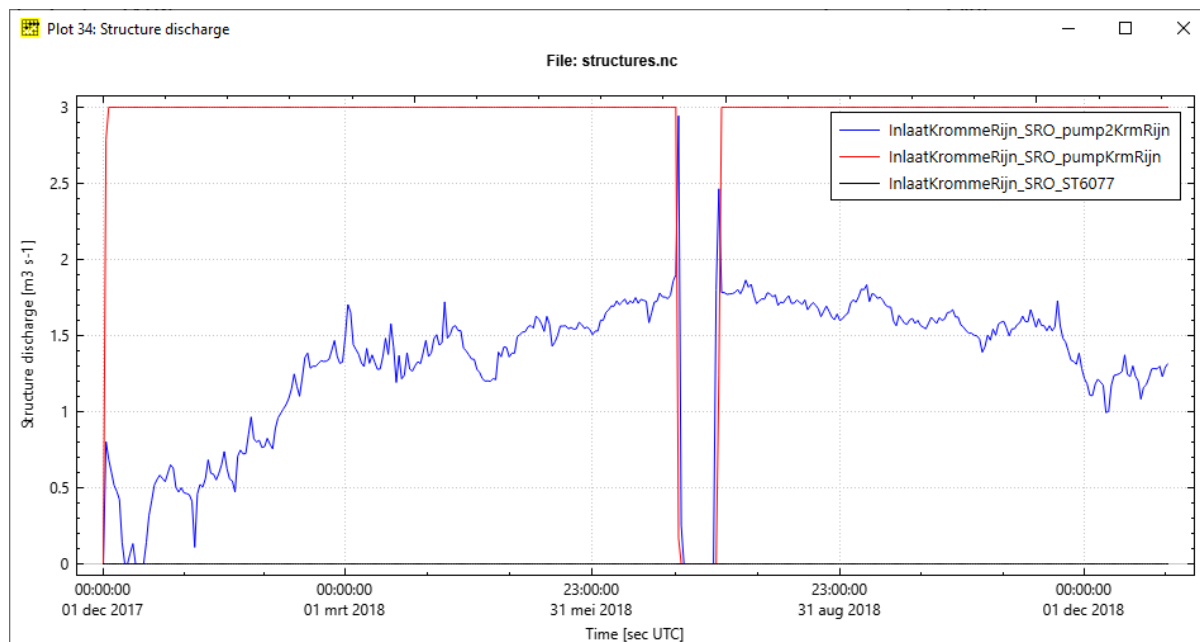
R140 Lozing 0.35 m³/s Harnaschpolder op boezem Delfland

Extra lateral in LSM Ref2028 toegevoegd met constante lozing 0.35 m³/s DL_CH_206 chainage 1000.0 (=nabij RWZI Harnaschpolder)

R 113 Kromme Rijn gemaal 6 m³/s en niet inschakelen Caspargouw gemaal voor regionale aanvoer.

In de LSM2018 som gaat al alles via Kromme Rijn inlaat, niet via Caspargouw.

Uitgevoerde actie: de huidige pompcapaciteit in LSM van InlaatKrommeRijn van 3 m³/s is uitgebreid door er een 2e pomp ook met cap. 3 m³/s parallel bij te zetten met switch-on/off levels vergelijkbaar als de 1e pomp, maar iets later aanzetten. (delivery side 2.50 tm 2.60). De pompcapaciteit bij Caspargouw is juist verminderd met 3 m³/s (resteert nog 0.3 voor kleine lokale inlaat). De vrij verval inlaat (ST6077) is dichtgezet.



Figuur 8-24 Debieten inlaat Kromme Rijn

De berekende totale inlaat is typisch tussen de 4 en 5 m³/s, iets lager dan voorheen (door het dichtzetten van de vrij verval inlaat).

R115 Takcapaciteit Hennipsloot 0.6 m³/s naar Rotte (onbepert naar Ringvaart)

In de LSM 2018 som gaat er max. 0.1 m³/s naar de Ringvaart, (SL_Hennipsloot_ringv) en niets naar de Rotte (SL_Hennipsloot_rotte = 0.0)

In LSM Ref2028 is in de Structures.ini de capaciteit van beide kunstwerken gereduceerd tot 0.6 m³/s (was 3 en 22.5).

Drink- en industriewater vragen DM/LSM

Deze zijn geïmplementeerd volgens de laatste waterakkoorden.

DIW lozingen/onttrekkingen:

- HN_ECN_Petten -0.9 ongewijzigd
- LatDiwe6004 -0.2 ongewijzigd
(Roosteren oeverinfiltratie, onbekende DM lozing 2.2 weggelaten)
- LatDiwd1DM6001 2.0 – 1.9 = 0.1 (was 2.1)
- LatDiwd2DM6003 -3.0+0.3 = -2.7 (was 0.5)
- LatDiwd3DM6006 1.1 ongewijzigd (WLM Heel was en is apart)
- LatDiwd4DM6009 0.8 (was 0.7)
- LatDiwd5DM6014 0.4 ongewijzigd (onttrekking 6.2 is apart)
- LatDiwd6DM6027 0.6 ongewijzigd
- LatDiwd7DM6022 0.2 ongewijzigd
- LatDiwd8DM6025 0.2 ongewijzigd
- LatDiwd9DM6033 0.3 ongewijzigd (onttrekking Schoonhoven -1.0 is apart)
- LatDiwd10DM6035 0.3 ongewijzigd
- Etc. 6036, 6037, 6015, 6016 (excl. Scheelhoek), 6038, 6044, 6057-6-59, 6013
(=Dunea Brakel), 6014 Biesbosch -6.2, 6026, 6029, 6032 (2maal) etc ongewijzigd
- LatDIWE-WLM-Heel -0.5 ongewijzigd
- LatDiwe-Scheelhoek -0.2 ongewijzigd
- LatDiwe-Brielsemeer -2.0 ongewijzigd
- Clauscentrale niet opgegeven! (dus Q=0)
- Andijk 4.0 is LatDiwe38DM6057

Onttrekkingen toegevoegd H&A

In DM: drinkwater van 0.8 naar 1.0, proceswater van 0.8 naar 1.7.

In LSM op 6 nieuwe lateralen (1153 de Punt 0.60, 1131 Veendam 0.40, 1204 Avebe ter Apel kanaal 1.0, 1137 Gasselternijveen 0.2, 1130 Kappa Sappemeer 0.2, 1135 Nedmag Veendam 0.3)

- Drenthe / Vechtstromen 0.1 m³/s proceswater Norit Purit Klazienaveen toegevoegd
- Loosdrecht 3.5 m³/s drinkwater onttrekking gezet bij bestaande lateral Waterleidingplas
- Nieuwegein 4.4 m³/s (RWS) was -3.2 (LatDiwe37DM6039)

B Koppeling watervraag-chloride voor Parksluizen en monding Lek

B.1 Introductie

In de modellentrein van het Nationaal Water Model (NWM) wordt de chlorideconcentratie, berekend in het Landelijk Sobek Model (LSM), gebruikt om de watervraag voor doorspoelvraag in het Distributiemodel (DM) aan te passen. Momenteel bestaat die terugkoppeling alleen voor de monding van de Hollandsche IJssel, op basis waarvan de inzet van de Klimaatbestendige Wateraanvoervoorziening voor West-Nederland wordt bepaald. Voor twee locaties, de monding van de Lek en Nieuwe Maas ter hoogte van de Parksluis, is gewenst om de berekende chlorideconcentraties in het LSM te gebruiken om de doorspoelvraag op deze locaties aan te passen. Dit is gewenst, omdat de opgegeven doorspoelvraag in de monding van de Lek nu losstaat van de chlorideconcentratie die LSM berekent, waardoor nu ook water over de Lek wordt gestuurd in situaties waarin dit niet nodig is.

B.2 Methode

Om het benodigde doorspoeldebiet bij de monding van de Lek en Nieuwe Maas t.h.v. Parksluis te bepalen op basis van de chlorideconcentraties is de salt.his file uit het LSM gebruikt. Hierin worden de berekende 10-minuten chlorideconcentraties omgerekend naar decadetijdstap, waardoor de salt.his file de chlorideconcentraties per decadetijdstap in een jaar en voor verschillende locaties in deze file weergeeft. In de salt.his file zijn de twee nieuwe locaties als extra uitvoerpunt toegevoegd, zodat ook voor deze locaties de chlorideconcentraties worden berekend en weergegeven worden in de salt.his file. Dit zijn de locaties zoals weergegeven in de salt.his file:

- Station Lek8_8028.000 voor de Lek.
- Station DL_CH_492_1 voor Parksluis.

Ook is er een nieuw script opgezet, die in de modeltrein van het NWM is opgenomen. Dit nieuwe script leest de chlorideconcentratie uit de salt.his file (output van LSM) op de twee nieuwe locaties in. Aan deze chlorideconcentraties zijn bepaalde doorspoeldebieten gekoppeld, ingeschat door experts. De gehanteerde criteria zijn hieronder weergegeven.

Chlorideconcentratie Lek (mg/l)	Doorspoelvraag monding Lek/DM-tak 6009 (m ³ /s)
$x < 150$	1
$150 < x < 250$	5
$250 < x < 400$	10
$x > 400$	15

Chlorideconcentratie Parksluis (mg/l)	Doorspoelvraag Parksluis/DM-tak 40561 (m ³ /s)
$x < 250$	0.26
$250 < x < 300$	1
$x > 300$	2

Voor de chlorideconcentraties, die in de salt.his-file om worden gezet van 10-minuten tijdstap naar decadetijdstap, wordt per decadetijdstap bepaald wat de bijbehorende doorspoelvraag is die DM moet hanteren. De bepaalde doorspoelvraag per decadetijdstap wordt overschreven in de Inks.txt file: een inputfile die DM o.a. gebruikt om doorspoelvraag uit te lezen. Dit gebruikt DM vervolgens om de waterallocatie- en verdeling binnen Nederland te berekenen. De twee locaties in deze Inks.txt file zijn:

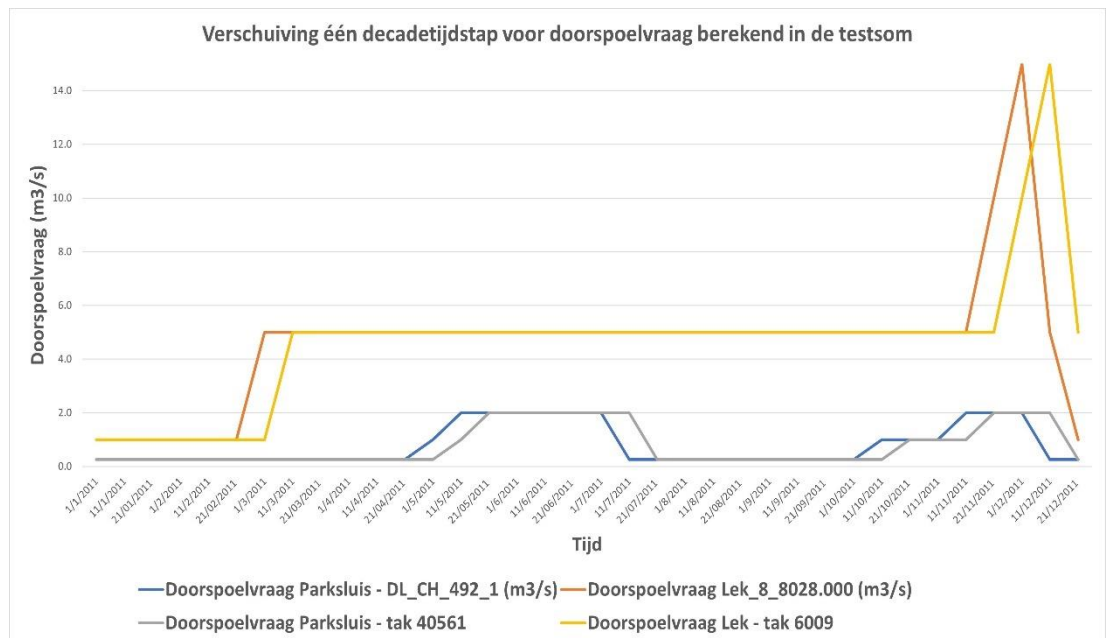
- DM tak 6009 voor de Lek.
- DM tak 40561 voor Parksluis.

B.3 Testsom

Om het effect van de nieuwe methode op de doorspoelvraag te bepalen, is een testsom uitgevoerd. In deze testsom zijn de doorspoelvraag, het doorspoeltekort, en het takdebiet berekend via de nieuwe methode en vergeleken met een referentiesom waarin de nieuwe methode nog niet was doorgevoerd. Het doorspoeltekort was echter 0 m³/s voor beide locaties in zowel de referentierun als de testsom. Om deze reden is de uiteindelijke vergelijking alleen gedaan voor de doorspoelvraag en het takdebiet. Het jaar 2011 is voor de testsom gekozen, omdat dit jaar beschikbaar was als ingespeelde modelsimulatie om de werking van het script mee te testen.

B.3.1 Doorspoelvraag

De vergelijking voor de doorspoelvraag is weergegeven in Figuur 8-26, Figuur 8-27, en Tabel 7 en Tabel 8. Wat hierbij belangrijk is te benoemen, is dat de berekende doorspoelvraag in de testsom verschilt wanneer deze uit de DM-tak wordt gehaald vergeleken met wanneer deze uit de LSM-rekenpunten wordt gehaald. Dit is weergegeven in Tabel 24 en Figuur 8-25. De berekende doorspoelvraag in de LSM-rekenpunten komt overeen met die berekend in de DM-takken, maar treedt 1 decadetijdstep later op voor beide locaties. Dit is te wijten aan het feit dat het DM de doorspoelvraag aan het einde van de decadetijdstep wegschrijft, en het LSM aan het begin. Normaliter, tijdens het runnen van de modeltrein in het NWM wordt er rekening gehouden met de verschuiving, doordat de DM-uitvoer (en overigens ook de uitvoer van de andere deelmodellen van het Landelijk Hydrologisch Model (LHM)) één decadetijdstep wordt verschoven. Hierdoor leest LSM3 toch op de juiste decadetijdstep de met LHM-berekende afvoeren in. Omdat de LSM3 doorspoelvraag normaliter dus ook als juist beschouwd wordt t.o.v. de DM-uitvoer, wordt de doorspoelvraag uit de LSM-rekenpunten gebruikt in de Figuren.



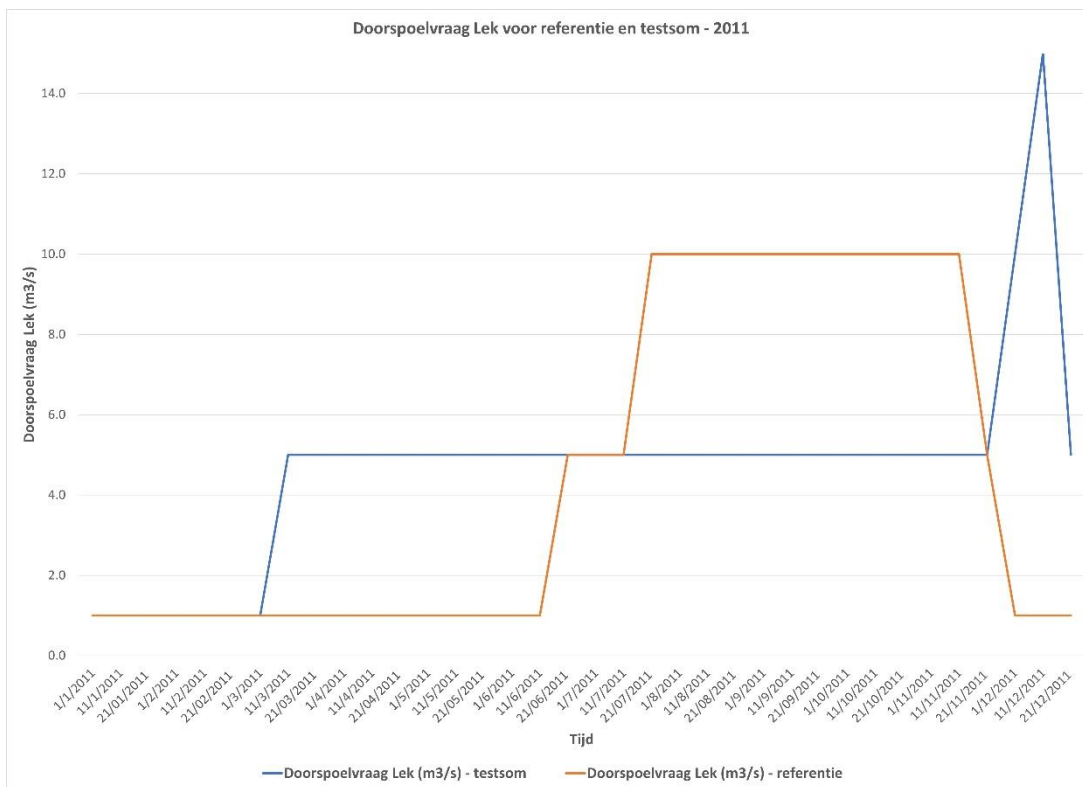
Figuur 8-25: Doorspoelvraag berekend in de testsom voor zowel de LSM rekenpunten als de DM-takken. Voor de DM-takken treedt dezelfde doorspoelvraag op als voor de LSM-rekenpunten, maar dan één decadetijdstep later. Er is dus een afwijking/verschuiving van één decadetijdstep voor de DM-takken t.o.v. de LSM-rekenpunten.

Tabel 24 Chlorideconcentratie berekend met LSM en bijbehorende doorspoelvraag opgenomen in Inks.txt file voor 2011 in de testsom. De blauwe pijltjes laten zien dat er een verschuiving van 1 decadetijdstap plaatsvindt voor de berekende doorspoelvraag bij de takken t.o.v. de rekenpunten in LSM.

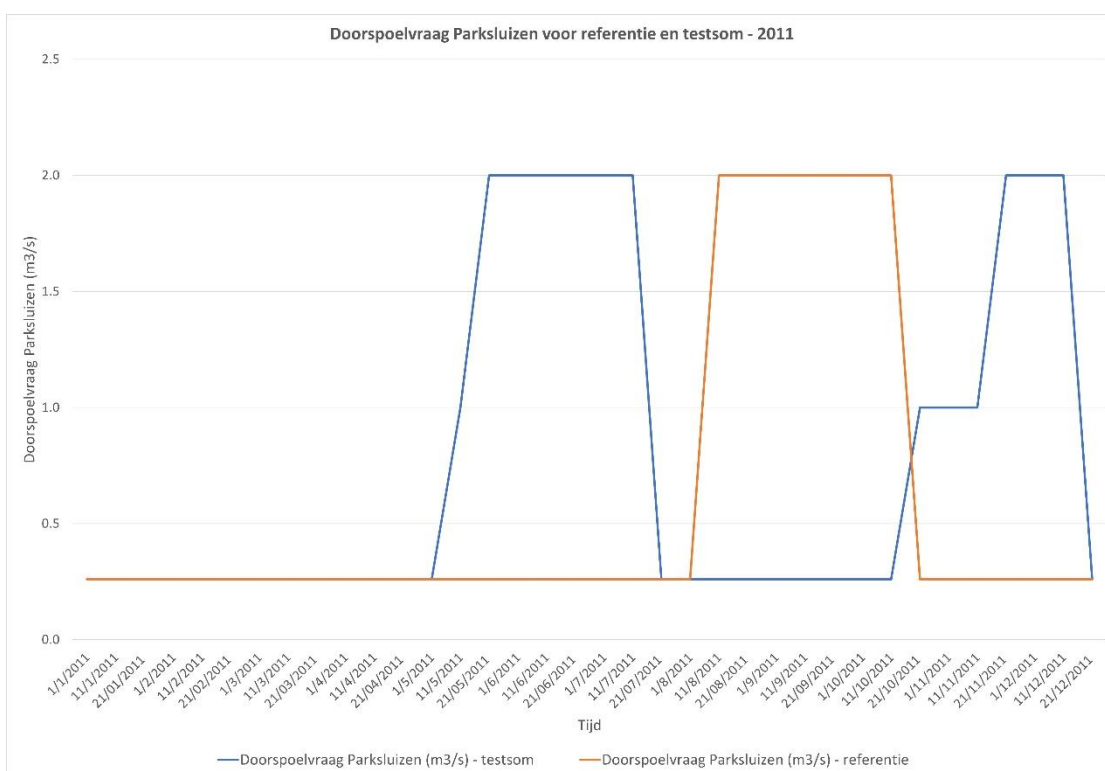
Datum	Parksluizen			Lek		
	Cl-concentratie DL_CH_492_1 (mg/l)	Doorspoelvraag DL_CH_492_1 (m3/s)	Doorspoelvraag tak 40561 (m3/s)	Cl-concentratie Lek 8_8028.000 (mg/l)	Doorspoelvraag Lek 8_8028.000 (m3/s)	Doorspoelvraag tak 6009 (m3/s)
1/1/2011	181	0.26	0.26	132	1	1
11/1/2011	179	0.26	0.26	104	1	1
21/01/2011	173	0.26	0.26	117	1	1
1/2/2011	172	0.26	0.26	136	1	1
11/2/2011	180	0.26	0.26	145	1	1
21/02/2011	179	0.26	0.26	146	1	1
1/3/2011	178	0.26	0.26	154	5	1
11/3/2011	179	0.26	0.26	167	5	5
21/03/2011	186	0.26	0.26	172	5	5
1/4/2011	203	0.26	0.26	179	5	5
11/4/2011	217	0.26	0.26	182	5	5
21/04/2011	246	0.26	0.26	193	5	5
1/5/2011	293	1	0.26	202	5	5
11/5/2011	362	2	2	213	5	5
21/05/2011	521	2	2	220	5	5
1/6/2011	681	2	2	214	5	5
11/6/2011	567	2	2	194	5	5
21/06/2011	545	2	2	188	5	5
1/7/2011	416	2	2	178	5	5
11/7/2011	213	0.26	0.26	182	5	5
21/07/2011	192	0.26	0.26	180	5	5
1/8/2011	196	0.26	0.26	160	5	5
11/8/2011	216	0.26	0.26	159	5	5

21/08/2011	195	0.26	0.26	164	5	5
1/9/2011	187	0.26	0.26	173	5	5
11/9/2011	214	0.26	0.26	176	5	5
21/09/2011	235	0.26	0.26	186	5	5
1/10/2011	240	0.26	0.26	198	5	5
11/10/2011	271	1	0.26	185	5	5
21/10/2011	276	1	1	170	5	5
1/11/2011	295	1	1	195	5	5
11/11/2011	342	2	1	214	5	5
21/11/2011	374	2	2	287	10	5
1/12/2011	321	2	2	430	15	10
11/12/2011	204	0.26	2	171	5	15
21/12/2011	182	0.26	0.26	122	1	5

Wat uit Figuur 8-26 en Figuur 8-27 naar voren komt, is dat de doorspoelvraag sterk verandert voor beide locaties in de testsom t.o.v. de referentie. De doorspoelvraag is op beide locaties hoger in het voorjaar (vanaf mei voor Parksluizen en maart voor de Lek) en vanaf november voor Parksluizen en december voor de Lek t.o.v. de referentie, maar lager van juli/augustus tot november/december. Dit patroon is ook terug te zien in Tabel 7, waarin de grootste toename in doorspoelvraag plaatsvindt in het voorjaar en november/december, en de grootste afname in juli/augustus tot november. De doorspoelvraag kan dus sterk veranderen wanneer deze op chlorideconcentratie wordt gebaseerd vergeleken met de referentiemethode, waarin een vast doorspoeldebiet per periode in het jaar werd gehanteerd.



Figuur 8-26 Doorspoelvraag Lek (m^3/s) voor de testsom en referentie. Voor de testsom is de doorspoelvraag weergegeven uit rekenpunt Lek_8_8028.000 (en niet die uit tak 6009).



Figuur 8-27 Doorspoelvraag Parksluizen (m^3/s) voor de testsom en referentie. Voor de testsom is de doorspoelvraag weergegeven uit rekenpunt DL_CH_492_1 (en niet die uit tak 40561).

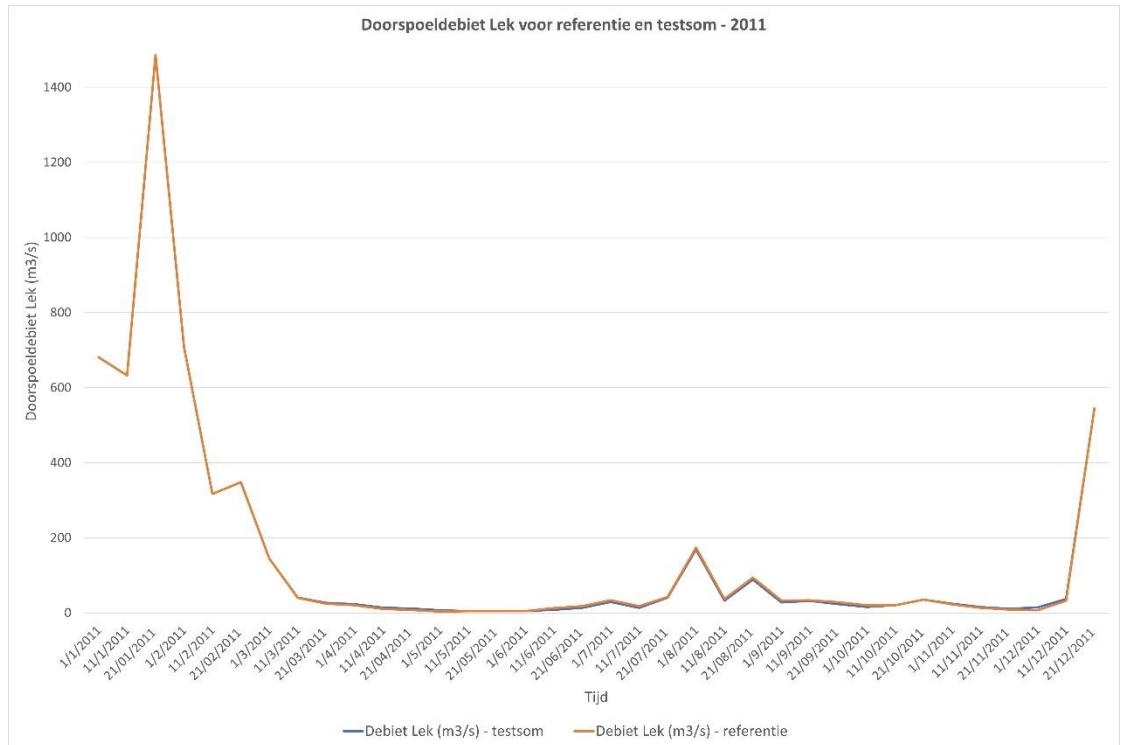
Tabel 7 Verandering doorspoelvraag Lek en Parksluizen in m³/s voor testsom t.o.v. referentie. Hier is voor de testsom de doorspoelvraag gebruikt uit rekenpunt Lek_8_8028.000 (en niet die uit tak 6009) en uit rekenpunt DL_CH_492_1 (en niet die uit tak 40561).

Datum	Verandering doorspoelvraag Lek (Lek_8_8028.000) voor testsom t.o.v. referentie (m3/s)	Verandering doorspoelvraag Parksluizen (DL_CH_492_1) voor testsom t.o.v. referentie (m3/s)
1/1/2011	0.0	0.0
11/1/2011	0.0	0.0
21/01/2011	0.0	0.0
1/2/2011	0.0	0.0
11/2/2011	0.0	0.0
21/02/2011	0.0	0.0
1/3/2011	0.0	0.0
11/3/2011	4.0	0.0
21/03/2011	4.0	0.0
1/4/2011	4.0	0.0
11/4/2011	4.0	0.0
21/04/2011	4.0	0.0
1/5/2011	4.0	0.0
11/5/2011	0.0	0.7
21/05/2011	0.0	1.7
1/6/2011	0.0	1.7
11/6/2011	-5.0	1.7
21/06/2011	-5.0	1.7
1/7/2011	-5.0	1.7
11/7/2011	-5.0	1.7
21/07/2011	-5.0	0.0
1/8/2011	-5.0	0.0
11/8/2011	-5.0	-1.7
21/08/2011	-5.0	-1.7
1/9/2011	-5.0	-1.7
11/9/2011	-5.0	-1.7
21/09/2011	-5.0	-1.7
1/10/2011	-5.0	-1.7
11/10/2011	0.0	-1.7
21/10/2011	4.0	0.7
1/11/2011	4.0	0.7
11/11/2011	4.0	0.7
21/11/2011	4.0	1.7
1/12/2011	9.0	1.7

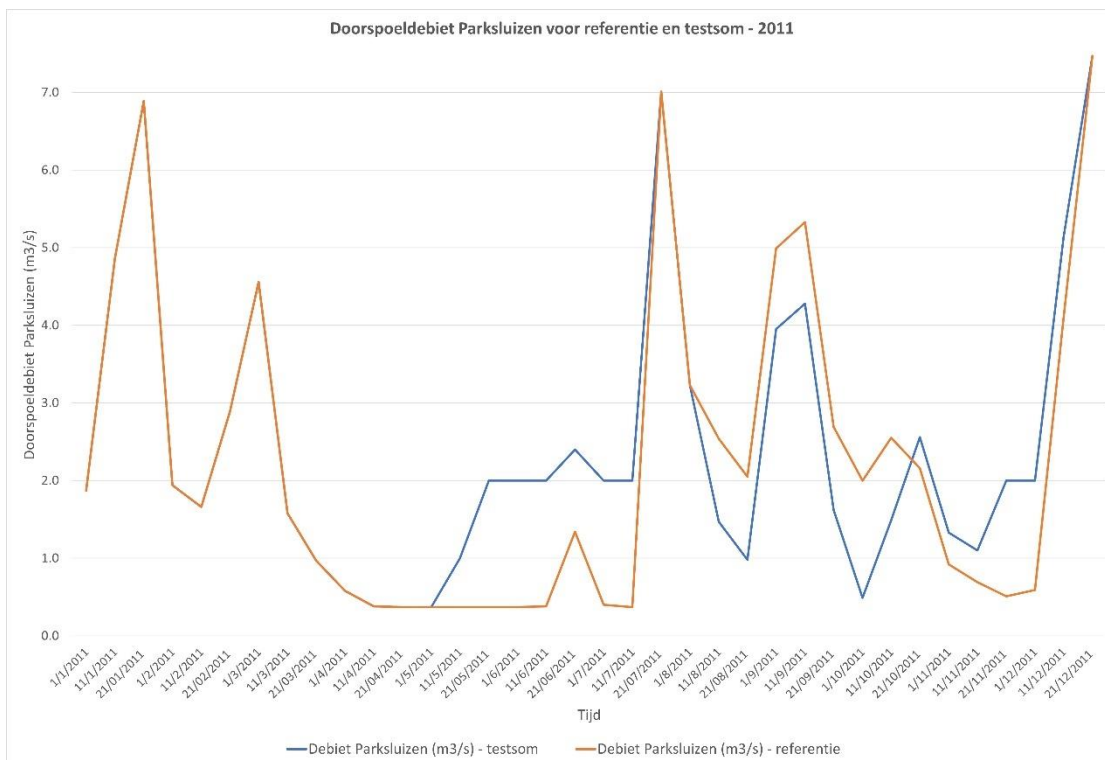
11/12/2011	14.0	1.7
21/12/2011	4.0	0.0

B.3.2 Doerspoeledebiet

Voor de Lek geldt dat het gevraagde doerspoeledebiet vrijwel altijd geleverd kan worden, aangezien hier een hoge prioriteit is en er voldoende water in de Waal is. Hierdoor is er maar een zeer kleine verandering voor het doerspoeledebiet in de Lek voor de testsom t.o.v. de referentie, wat vrijwel niet waarneembaar is in Figuur 8-28 door de hoge doerspoeledebieten bij de Lek. Deze veranderingen zijn ook klein voor de Parksluizen, maar wel waarneembaar (zie Figuur 8-29) door het lagere doerspoeledebiet op deze locatie. Het doerspoeledebiet ligt iets hoger is in mei en december t.o.v. de referentie, en iets lager van augustus tot november, wat ook waarneembaar is in Tabel 8. De verschillen zijn echter klein voor het doerspoeledebiet, en komen duidelijker naar voren voor de doerspoeelvraag.



Figuur 8-28 Takdebiet Lek in m³/s voor zowel de testsom als de referentie



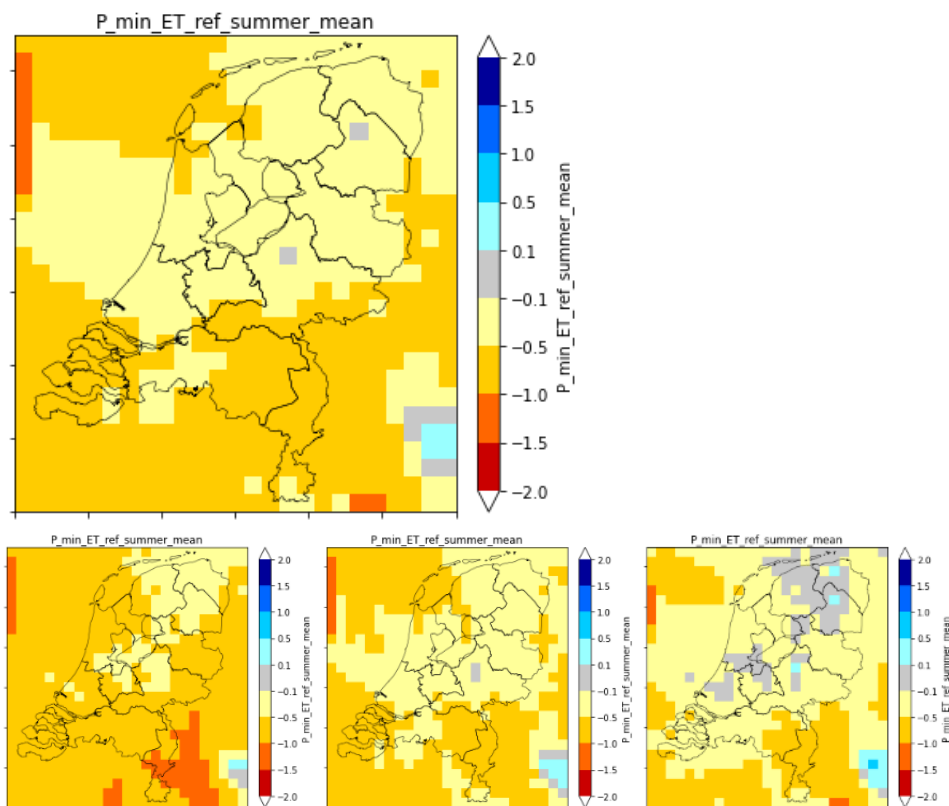
Figuur 8-29 Takdebiet Parksluizen in m³/s voor zowel de testsom als de referentie

Tabel 8 Verandering takdebiet Lek en Parksluizen in m³/s voor testsom t.o.v. referentie

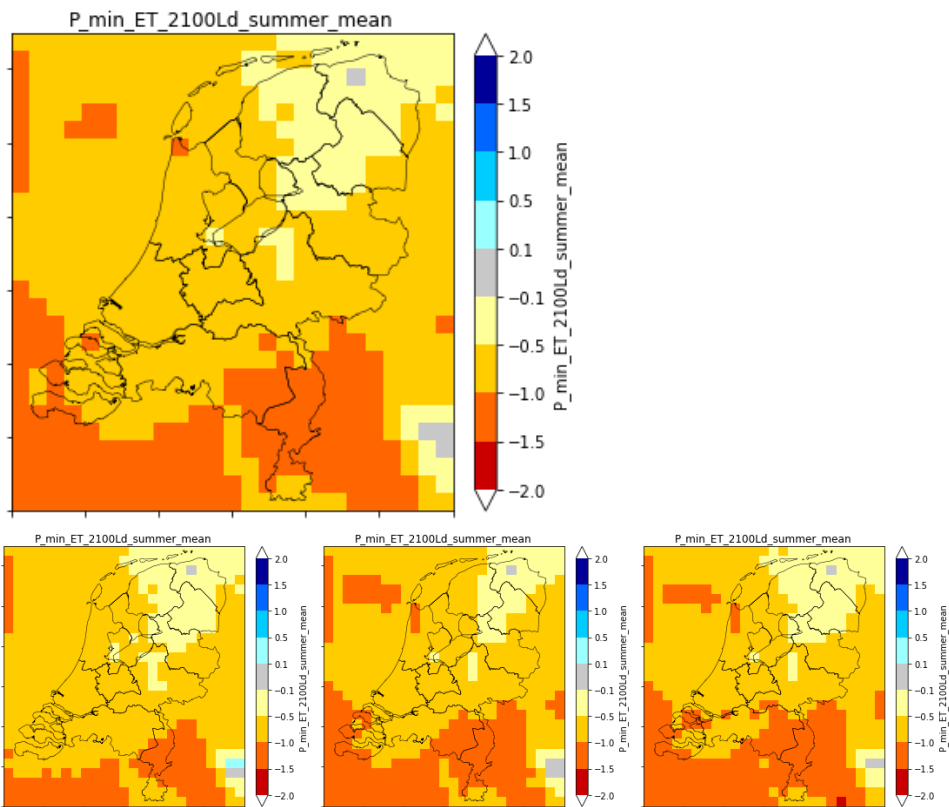
Datum	Verandering debiet Lek - testsom t.o.v. referentie (m ³ /s)	Verandering debiet Parksluizen - testsom t.o.v. referentie (m ³ /s)
1/1/2011	0.0	0.0
11/1/2011	0.0	0.0
21/01/2011	0.0	0.0
1/2/2011	0.0	0.0
11/2/2011	0.0	0.0
21/02/2011	0.0	0.0
1/3/2011	0.0	0.0
11/3/2011	0.5	0.0
21/03/2011	2.0	0.0
1/4/2011	2.8	0.0
11/4/2011	3.3	0.0
21/04/2011	3.6	0.0
1/5/2011	3.6	0.0
11/5/2011	0.0	0.6
21/05/2011	0.0	1.6
1/6/2011	0.0	1.6
11/6/2011	-4.6	1.6
21/06/2011	-4.7	1.1
1/7/2011	-4.7	1.6
11/7/2011	-4.6	1.6

21/07/2011	-1.4	0.0
1/8/2011	-5.5	0.0
11/8/2011	-4.9	-1.1
21/08/2011	-5.0	-1.1
1/9/2011	-5.4	-1.0
11/9/2011	-1.7	-1.1
21/09/2011	-5.5	-1.1
1/10/2011	-4.7	-1.5
11/10/2011	0.0	-1.1
21/10/2011	0.0	0.4
1/11/2011	1.6	0.4
11/11/2011	2.3	0.4
21/11/2011	2.8	1.5
1/12/2011	7.7	1.4
11/12/2011	4.8	1.0
21/12/2011	0.0	0.0

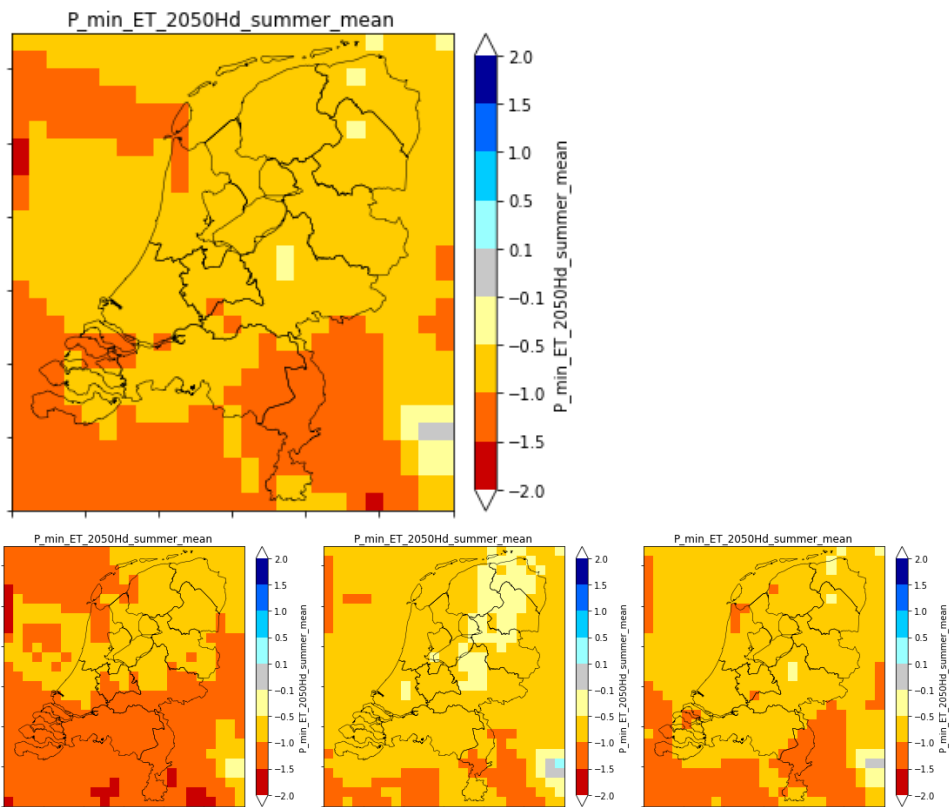
C Variatie meteorologie tussen scenario's en tussen ensembles



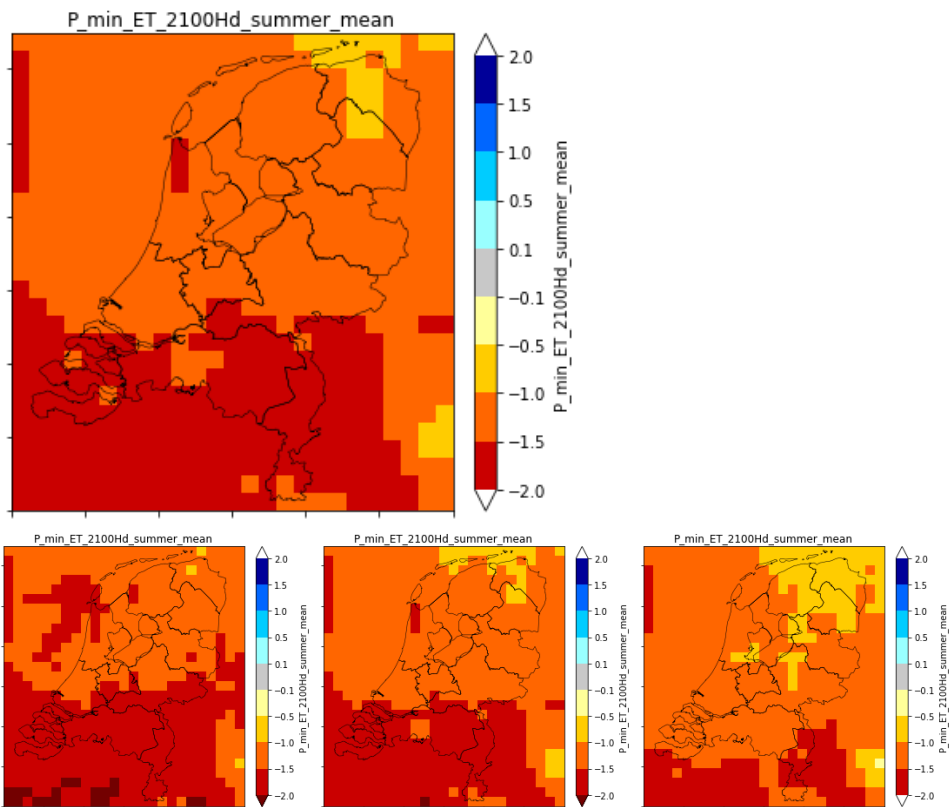
Figuur 8-30 Boven: 90-jarig zomergemiddelde van het verschil tussen potentieel neerslagtekort (hier negatief gedefinieerd, P min ET) voor het referentieklimaat. Onder: idem, maar dan voor 3 30-jarige ensembles (ensemble 1,2 en 7).



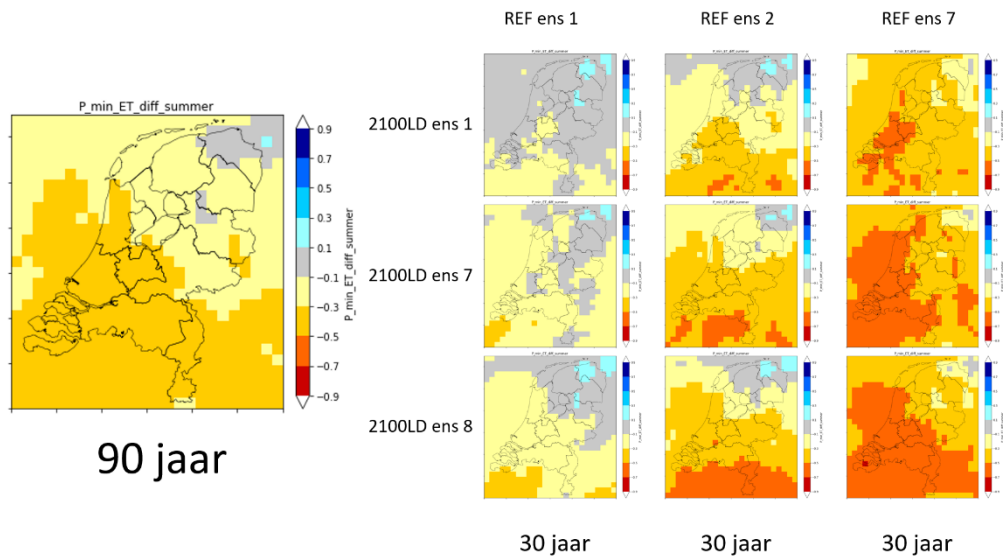
Figuur 8-31. Boven: 90-jarig zomergemiddelde van het verschil tussen potentieel neerslagtekort (hier negatief gedefinieerd, $P_{\min} ET$) voor het 2100 Ld klimaat. Onder: idem, maar dan voor 3 30-jarige ensembles (ensemble 1,7 en 8).



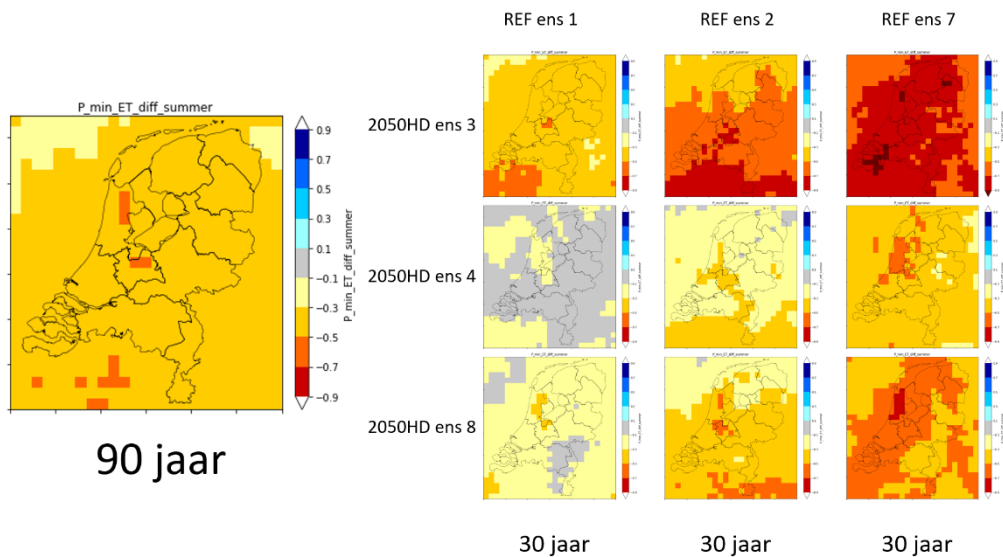
Figuur 8-32. Boven: 90-jarig zomergemiddelde van het verschil tussen potentieel neerslagtekort (hier negatief gedefinieerd, $P \text{ min } ET$) voor het 2050 Hd klimaat. Onder: idem, maar dan voor 3 30-jarige ensembles (ensemble 3, 4 en 8).



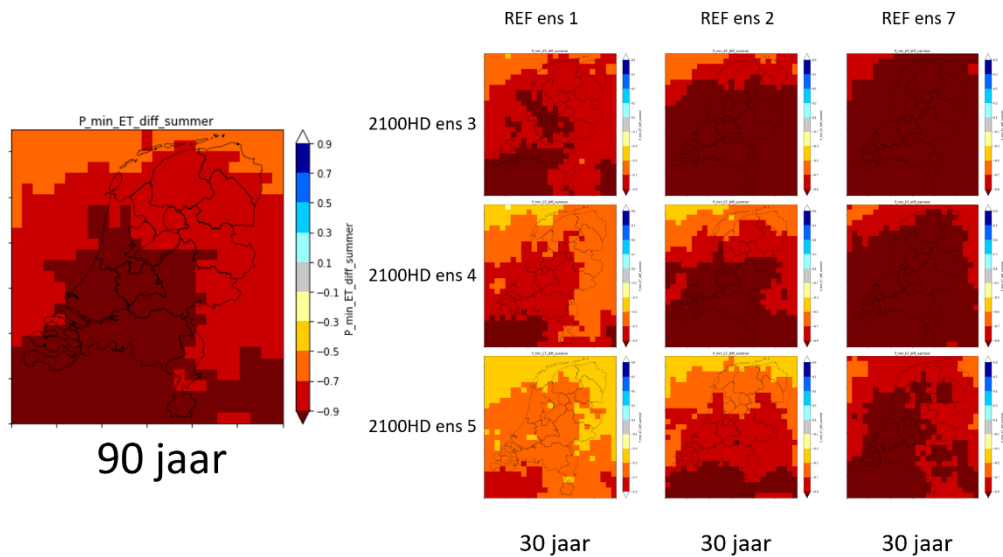
Figuur 8-33. Boven: 90-jarig zomergemiddelde van het verschil tussen potentieel neerslagtekort (hier negatief gedefinieerd, $P \text{ min } ET$) voor het 2100 Hd klimaat. Onder: idem, maar dan voor 3 30-jarige ensembles (ensemble 3, 4 en 5).



Figuur 8-34. Links: 90-jarig zomergemiddelde van het verschil in potentieel neerslagtekort (hier negatief gedefinieerd) tussen 2100Ld en het referentieklimaat. Rechts: idem, maar dan voor de 30-jarige ensembles van de twee scenario's.



Figuur 8-35. Links: 90-jarig zomergemiddelde van het verschil in potentieel neerslagtekort (hier negatief gedefinieerd) tussen 2050Hd en het referentieklimaat. Rechts: idem, maar dan voor de 30-jarige ensembles van de twee scenario's.



Figuur 8-36. Links: 90-jarig zomergemiddelde van het verschil in potentieel neerslagtekort (hier negatief gedefinieerd) tussen 2100Hd en het referentieklimaat. Rechts: idem, maar dan voor de 30-jarige ensembles van de twee scenario's.

D Controle rivierafvoeren

Onderstaande figuren zijn gemaakt ter controle van de afgeleide rivierafvoeren. De controle is uitgevoerd door de afvoeren van het Referentiescenario (R) te vergelijken met die in LHM 4.3. Daartoe zijn de afvoerreeksen zoals die in het DM-invoerbestand DMdecadeafvoeren.txt zijn opgenomen vergeleken. Bedacht moet worden dat niet verwacht wordt dat de reeksen gelijk zijn, omdat het referentieklimaat een synthetische reeks is en de LHM4.3-waarden betrekking hebben op de werkelijke periode 1991-2020, afgeleid van daadwerkelijke metingen. Gemiddelde afvoerniveaus en dynamiek komen tussen beide reeksen overwegend goed overeen; wel kan voor enkele zijrivieren (vooral Bovenmark) worden opgemerkt dat hoge afvoerextremen kunnen worden onderschat.



Figuur 8-37 Vergelijking tussen de rivierafvoeren in de Referentie (R) en in LHM 4.3. Rijn en Maasafvoeren zijn voor de Referentie gemodelleerd met wflow (zie sectie 3.6.1); voor LHM 4.3 betreft het meetreeksen. De overige rivierafvoeren zijn voor de Referentie verkregen via correlatie met de Maasafvoeren (zie sectie 3.6.2).

E Peilen en drainageniveaus in de scenario's

Deze bijlage beschrijft de verschillen in oppervlaktewaterpeilen en drainageniveaus tussen de verschillende scenario's. In de Referentie (R) zijn deze peilen en drainageniveaus gelijk aan LHM 4.3. In deze bijlage wordt voor de 2050-scenario's per parameter steeds het verschil gevisualiseerd tussen scenario A (Vlug) en R, tussen B (Stoom) en A, tussen C (Ruim) en A en tussen D (Warm) en B. Deze vergelijkingen geven een volledig beeld van de verandering van de peilen en drainageniveaus langs beide assen.

Voor de 2100-scenario's worden de vergelijkingen met de B- en C-scenario's in 2050 getoond, zodat tevens de veranderingen langs de tijdsas gegeven wordt.

Per parameter wordt een korte uitleg van de verschillen tussen de scenario's gegeven.

E.1 Regionale peilen

Figuur 8-38 t/m Figuur 8-43 geven de verschillen in regionale peilen tussen de scenario's. De verklaringen voor de peilverschillen tussen de scenario's zijn voor de primaire (Figuur 8-38 en Figuur 8-39), secundaire (Figuur 8-40 en Figuur 8-41) en tertiaire (Figuur 8-42 en Figuur 8-43) waterlopen steeds dezelfde en worden hieronder geduid.

Verschillen 2050

In het verschil tussen A (Vlug) en R (2050) is steeds vooral de peilopzet (naar 20cm-mv) in het veenweidegebied zichtbaar. Op zeer kleine schaal komen ook locaties voor waar het peil daalt; dit kunnen zijn:

- Veenweidegebieden waar na bodemdaling het niveau van 20cm-mv lager is dan het oorspronkelijke peil;
- Gebieden die in R nog veengebied of natte natuur zijn maar volgens de landgebruikskaart van A niet meer.

Dezelfde peilopzet wordt in C (Ruim) gehanteerd; verschillen tussen C en A zijn kleinschalig en worden veroorzaakt door de andere landgebruikskaart in C t.o.v. A; het gaat daarbij meestal om peilverhogingen welke veroorzaakt worden door de creatie van nieuwe natte natuur waarbij het peil wordt opgezet naar 20-cm-mv.

Sporadisch komen verlagingen van peilen in C t.o.v. A ook voor. Dit wordt veroorzaakt door een verandering van het landgebruik van veen of natte natuur naar iets anders.

In B liggen de peilen in het veenweidegebied lager dan in A doordat het peil in B wordt opgezet naar 40 cm-mv in plaats van 20 cm-mv.

De verschillen tussen D en B zijn voor het grootste gedeelte gelijk aan die tussen C en A (in beide gevallen gaat het om het effect van de socio-economische as). In D t.o.v. B zijn er wel iets meer cellen waar het peil verhoogd wordt dan in C t.o.v. A. Dit betreft:

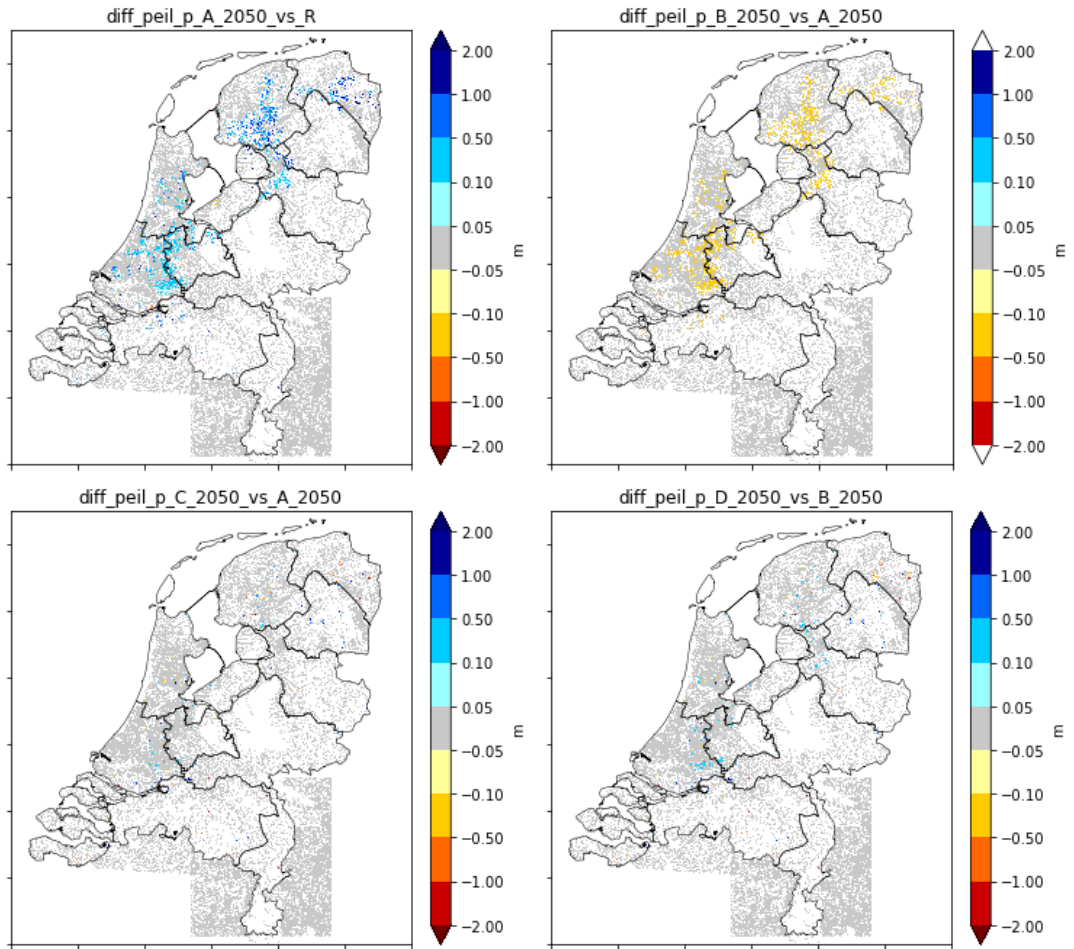
- Gebieden die zijn omgezet van veenweide naar nieuwe natte natuur. In A is hier het peil opgezet naar 20cm-mv en in B naar 40cm-mv. Bij omzetting naar natte natuur wordt eveneens een peilopzet naar 20cm-mv gehanteerd, maar omdat deze in A al was gerealiseerd omdat het veenweide betreft, levert C dit geen extra peilverhoging op t.o.v. A. Voor D t.o.v. B echter wel omdat in B het peil 'slechts' 40cm-mv is, en daar vanwege de omzetting naar natte natuur nog 20 cm bijkomt.

Verschillen 2100

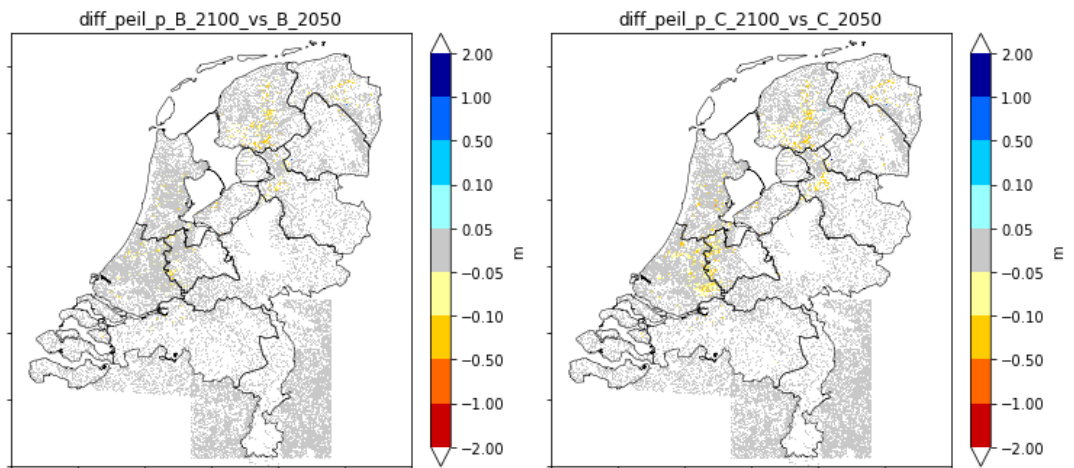
De voortschrijdende bodemdaling zorgt ervoor dat de peilen in 2100 soms lager komen te liggen dan in 2050; dat is het geval indien door bodemdaling het maaiveld lager komt te liggen dan het peil. In dat geval wordt het peil gelijk gesteld aan het maaiveld. Omdat de peilen in het veenweidegebied in scenario C hoger liggen dan in scenario B, komt het daar

ook vaker voor dat het maaiveld onder het peil zakt en de correctie dus nodig is. Vandaar dat in scenario C het areaal met peilverlaging in 2100 t.o.v. 2050 groter is dan in B.

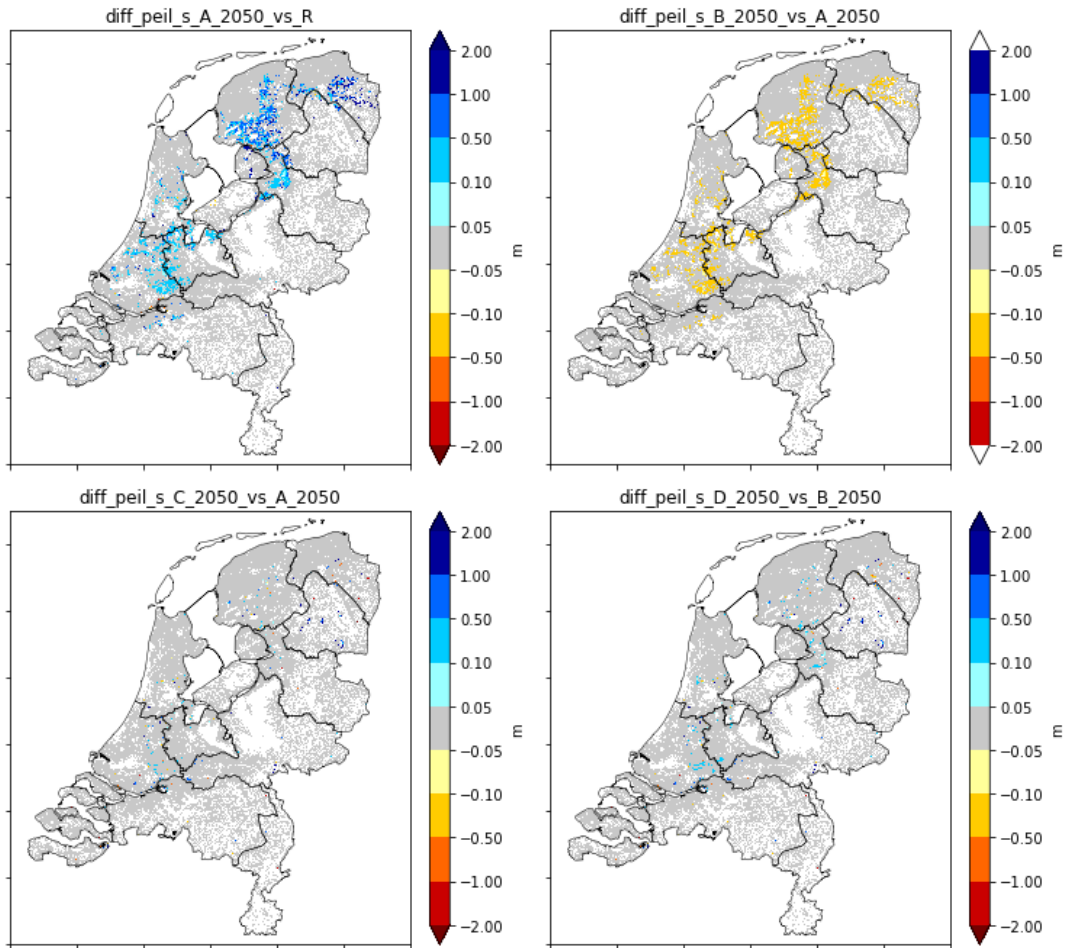
Niet (goed) zichtbaar in de figuren zijn de wijzigingen in het voorkomen van het tertiaire systeem zoals beschreven in sectie 4.2.2.2.



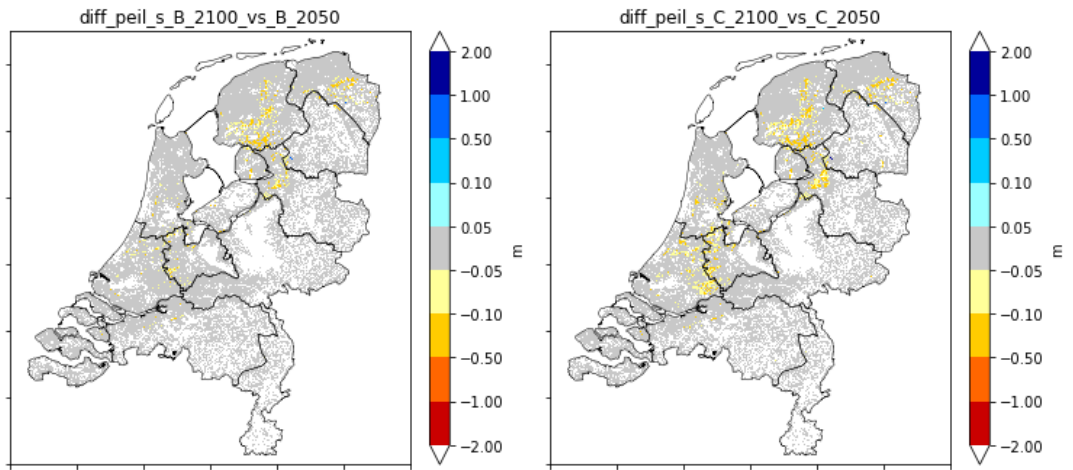
Figuur 8-38 Verschil in primaire peilen tussen de scenario's in 2050.



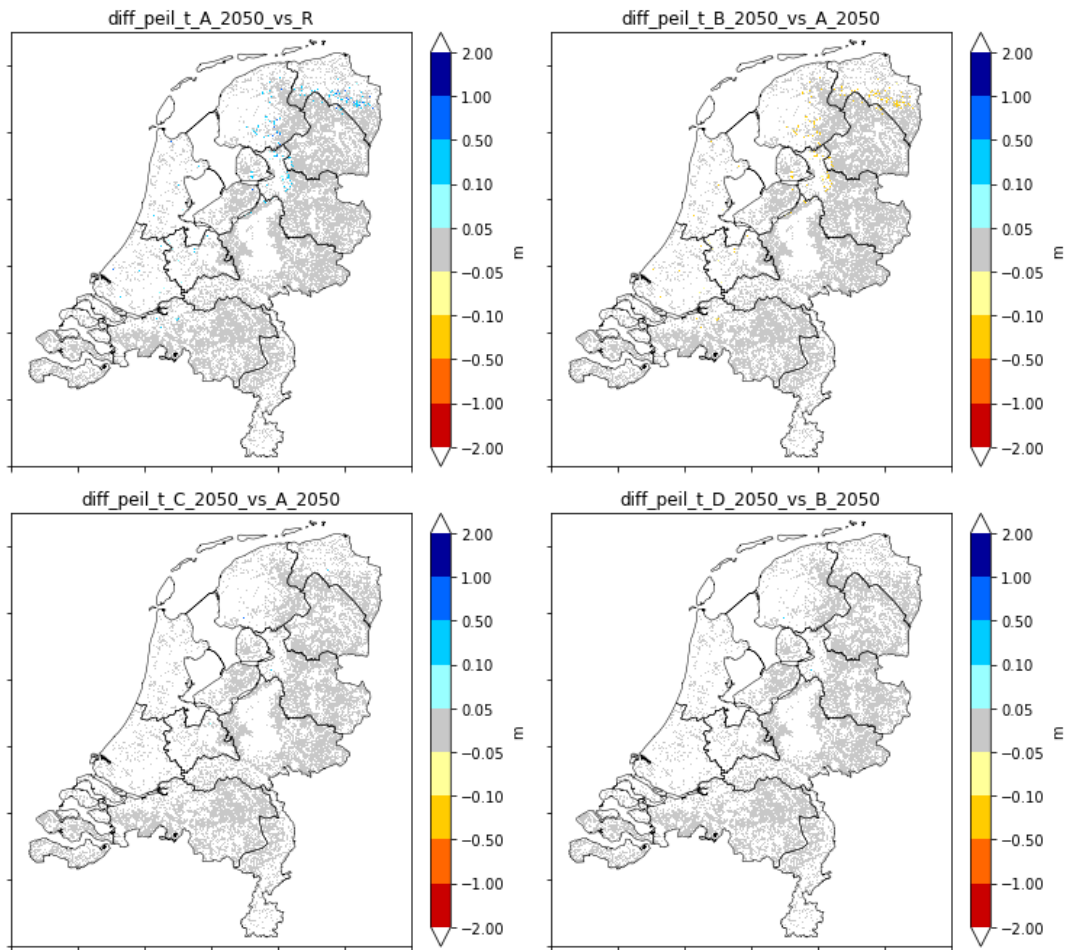
Figuur 8-39 Verschil in primaire peilen tussen de scenario's in 2100.



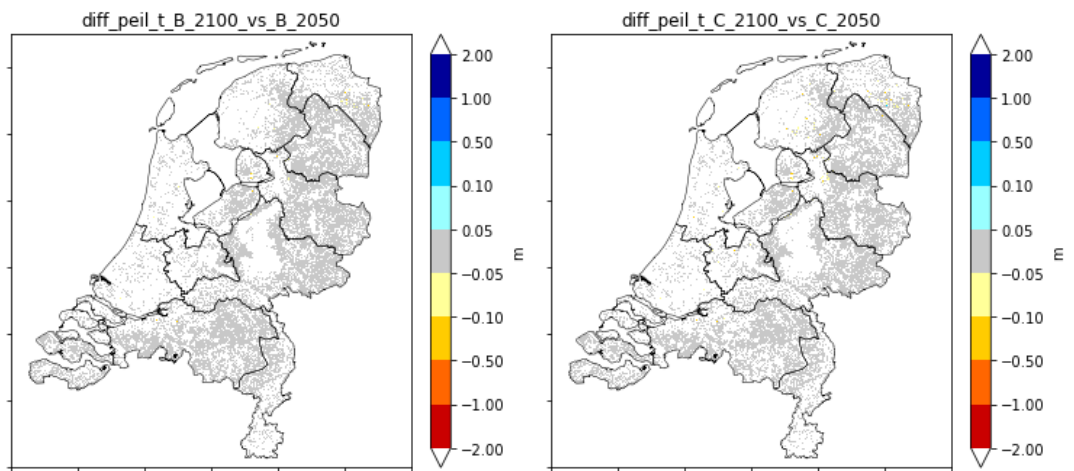
Figuur 8-40 Verschil in secundaire peilen tussen de scenario's in 2050



Figuur 8-41 Verschil in secundaire peilen tussen de scenario's in 2100



Figuur 8-42 Verschil in tertiaire peilen tussen de scenario's in 2050

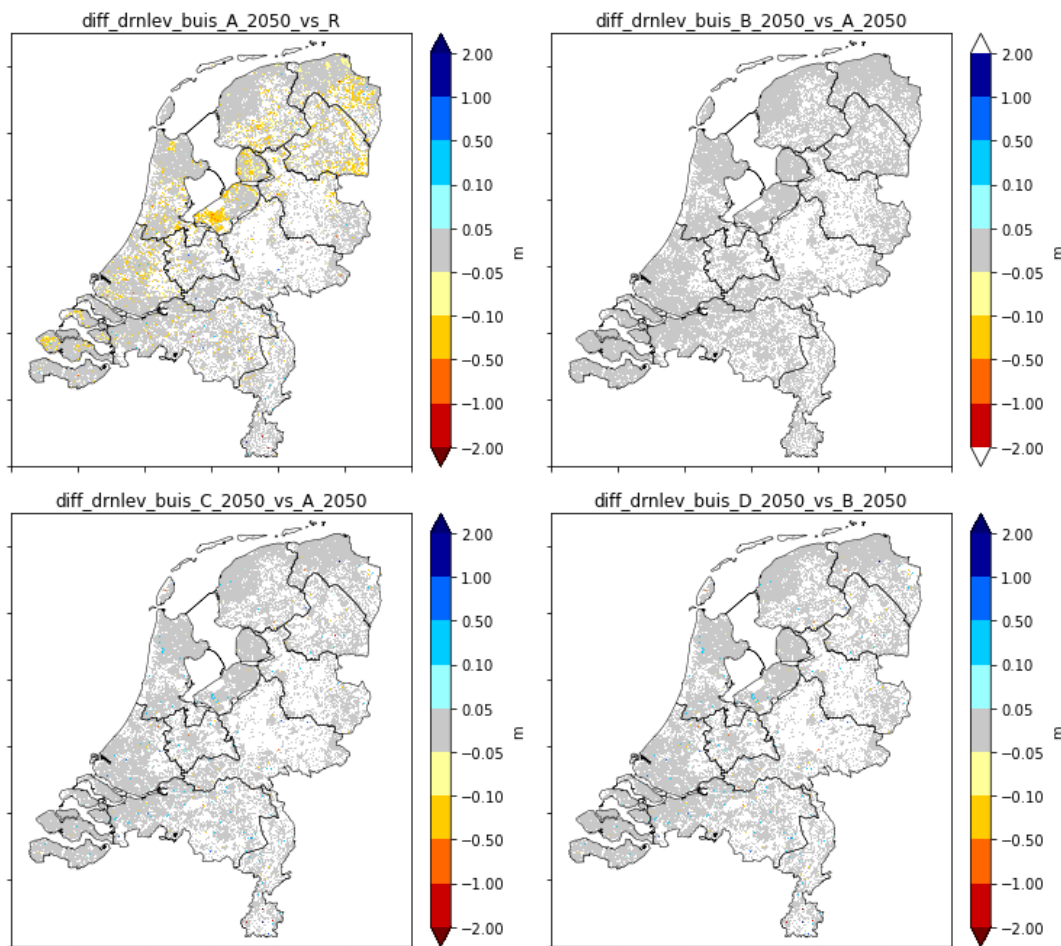


Figuur 8-43 Verschil in tertiaire peilen tussen de scenario's in 2100

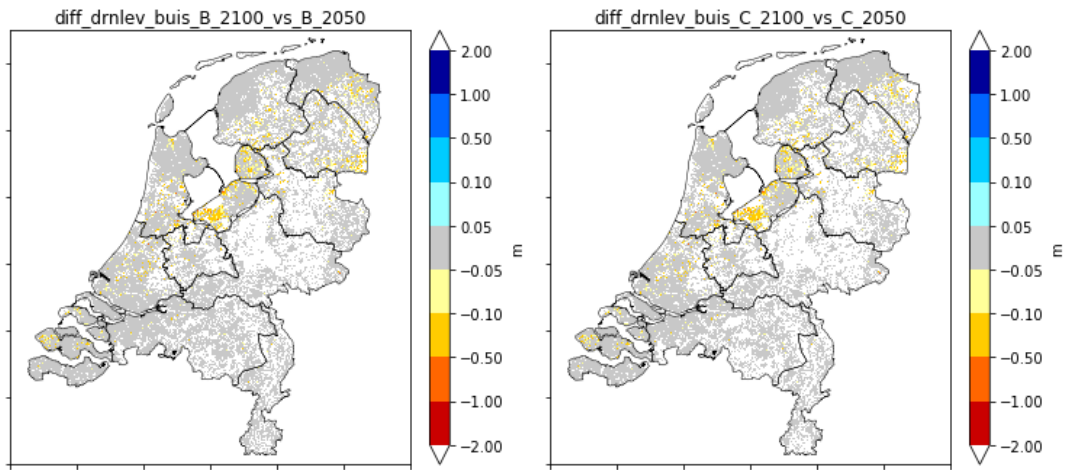
E.2 Drainage

Figuur 8-44 t/m Figuur 8-49 geven de verschillen in drainageniveaus tussen de scenario's. De verklaringen voor de peilverschillen tussen de scenario's zijn voor de buisdrainage (Figuur 8-44 en Figuur 8-45), greppels (Figuur 8-46 en Figuur 8-47) en maaiveldafvoer (Figuur 8-48 en Figuur 8-49) steeds dezelfde. De drainageniveaus dalen alle met de bodemdaling mee. Omdat de bodemdaling per zichtjaar voor alle scenario's gelijk is, zijn er geen verschillen tussen de scenario's binnen een zichtjaar.

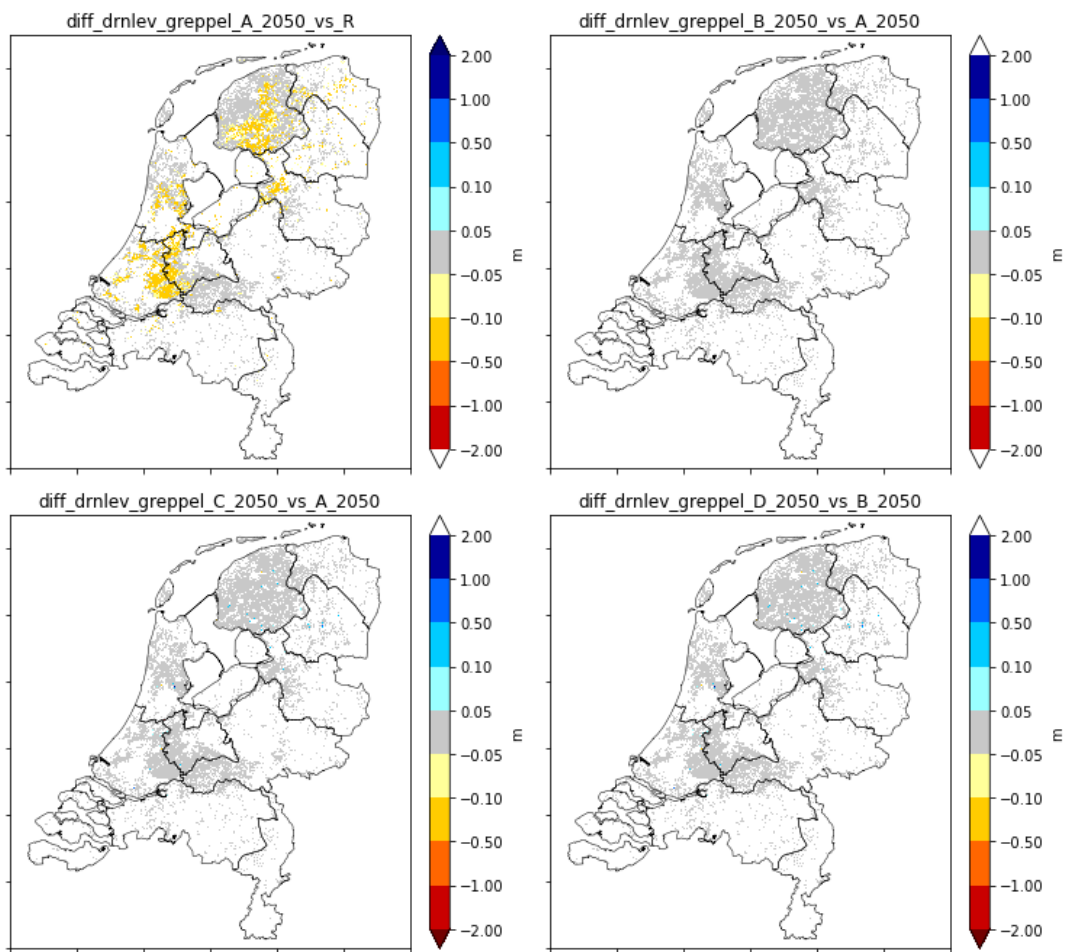
Niet (goed) zichtbaar maar wel aanwezig in de figuren zijn de kleinschalige veranderingen in het voorkomen van drainage als gevolg van landgebruiksveranderingen zoals beschreven in sectie 4.2.2.2.



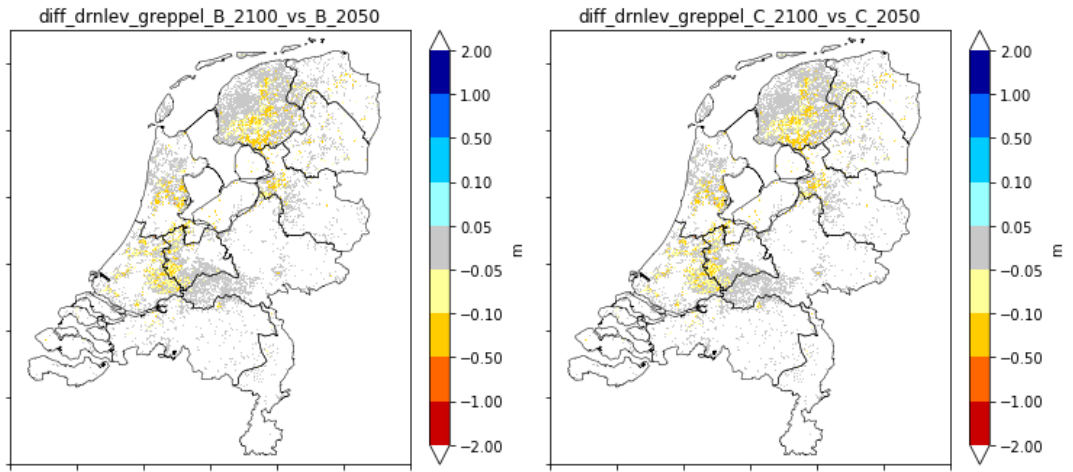
Figuur 8-44 Vershil in buisdrainageniveaus tussen de scenario's in 2050



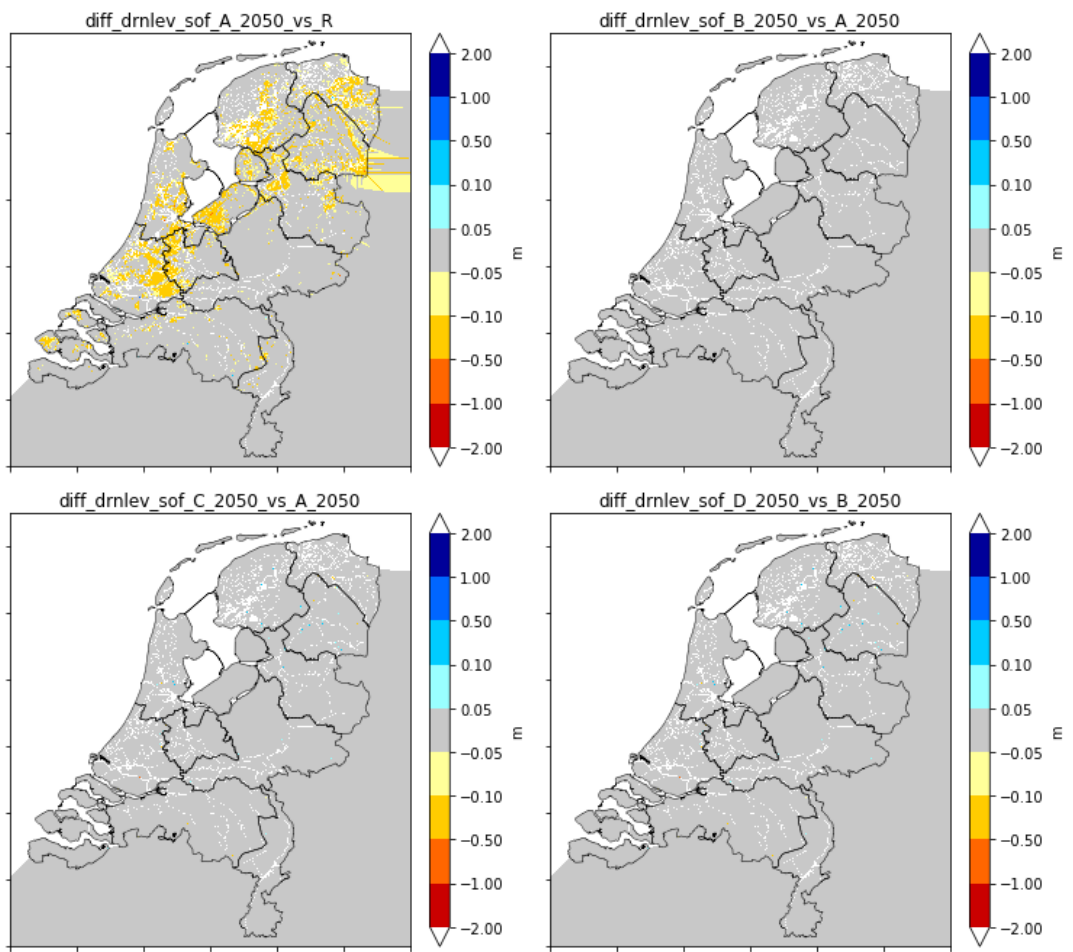
Figur 8-45 Verschil in buisdrainageniveaus tussen de scenario's in 2100



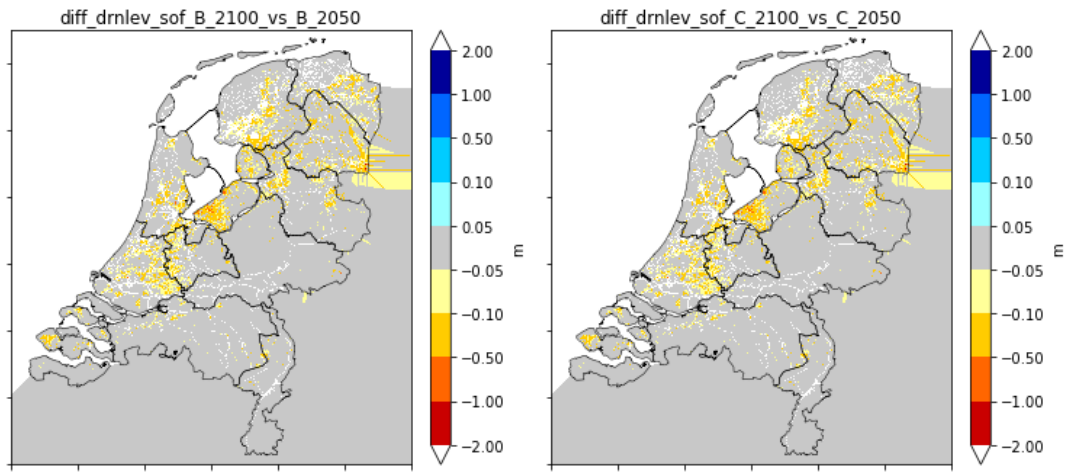
Figur 8-46 Maaiveldgreppels 2050



Figuur 8-47 Maaiveldgreppels 2100



Figuur 8-48 Maaiveldafvoer 2050



Figuur 8-49 Maaiveldafvoer 2100

F KNMI data neerslag en potentieel neerslagtekort

Tabel 8-27 Voorafgaand aan jaar winterneerslag (1 oktober – 31 maart) [mm] en potentieel neerslagtekort (hier negatief gedefinieerd) in zomerperiode (1 april – 30 september) [mm] en afwijking ten opzichte van 90-jarig gemiddelde, voor Md-2050.

Ensemble	Winter neerslag [mm]			Zomer neerslagtekort [mm]			Afwijking winter neerslag t.o.v. 90-jarig gemiddelde [%]			Afwijking zomer neerslagtekort t.o.v. 90-jarig gemiddelde [%]		
	1	2	7	1	2	7	1	2	7	1	2	7
1991				-250.3	120.4	25.5				152.4	-221.4	-125.7
1992	277.6	494.2	387.5	-158.8	-42.7	-120.3	-36.5	13.0	-11.4	60.2	-57.0	21.3
1993	370.0	437.4	473.5	-106.9	-92.4	-5.5	-15.4	0.0	8.2	7.8	-6.8	-94.4
1994	449.9	435.4	520.3	-149.5	-110.3	158.5	2.8	-0.5	18.9	50.8	11.3	-259.9
1995	395.1	380.2	354.3	-227.5	-79.8	-196.7	-9.7	-13.1	-19.0	129.5	-19.6	98.4
1996	486.3	451.3	596.2	-242.6	-238.5	-54.3	11.1	3.1	36.3	144.7	140.5	-45.3
1997	470.2	419.6	339.3	-313.3	-116.1	-115.4	7.5	-4.1	-22.5	216.0	17.1	16.4
1998	316.8	310.1	356.3	-137.9	-12.6	-175.2	-27.6	-29.1	-18.6	39.1	-87.2	76.7
1999	559.9	408.5	384.2	-106.2	-127.0	-195.3	28.0	-6.6	-12.2	7.1	28.1	97.0
2000	423.3	388.3	366.5	28.0	-158.4	-56.3	-3.3	-11.3	-16.2	-128.3	59.8	-43.2
2001	482.0	480.4	530.4	-94.6	-236.4	-35.9	10.2	9.8	21.2	-4.6	138.4	-63.8
2002	402.0	464.4	492.4	-108.9	-70.3	-10.0	-8.1	6.1	12.5	9.8	-29.1	-89.9
2003	445.8	425.3	255.5	-188.5	-119.4	-11.0	1.9	-2.8	-41.6	90.1	20.4	-88.9
2004	291.3	478.1	578.0	-106.4	-221.7	-25.9	-33.4	9.3	32.1	7.3	123.6	-73.9
2005	407.6	498.2	494.5	-15.9	11.4	-63.2	-6.8	13.9	13.0	-83.9	-111.5	-36.2
2006	328.0	500.8	435.9	98.7	-135.6	-8.3	-25.0	14.5	-0.4	-199.5	36.8	-91.6
2007	416.8	427.9	345.8	-193.6	-118.1	43.2	-4.7	-2.2	-21.0	95.3	19.1	-143.6
2008	444.0	524.7	328.0	-148.5	25.1	-44.7	1.5	19.9	-25.0	49.8	-125.3	-54.9
2009	313.6	404.0	428.9	-88.7	-14.3	3.3	-28.3	-7.7	-2.0	-10.5	-85.6	-103.4
2010	488.9	387.4	431.3	-8.5	-221.4	-72.4	11.7	-11.5	-1.4	-91.4	123.3	-27.0
2011	293.7	369.0	387.9	-105.4	8.8	-98.3	-32.9	-15.7	-11.3	6.3	-108.9	-0.8
2012	527.2	534.2	521.0	-4.0	-42.7	-180.8	20.5	22.1	19.1	-96.0	-56.9	82.4
2013	409.8	453.7	422.5	-227.0	-54.7	-191.6	-6.3	3.7	-3.4	129.0	-44.8	93.2
2014	437.4	480.0	444.7	-232.8	-162.5	27.5	0.0	9.7	1.6	134.8	64.0	-127.8
2015	499.3	500.1	574.6	-209.3	-107.3	-114.0	14.1	14.3	31.3	111.1	8.2	15.0
2016	442.9	300.0	450.2	-252.1	-171.8	-57.1	1.2	-31.4	2.9	154.3	73.3	-42.4

2017	552.4	474.2	395.4	-152.5	-25.0	-146.2	26.3	8.4	-9.6	53.8	-74.8	47.5
2018	398.7	480.4	476.4	-133.5	-156.5	-178.2	-8.9	9.8	8.9	34.7	57.9	79.7
2019	500.7	413.1	577.7	-68.1	-13.5	-76.9	14.4	-5.6	32.0	-31.3	-86.4	-22.4
2020	454.3	456.3	653.2	-42.3	-197.3	-119.6	3.8	4.3	49.3	-57.3	99.0	20.6
30-jarig gemiddelde	423.6	440.6	448.4	-131.6	-96.0	-69.8						
90-jarig gemiddelde	437.5			-99.1								

Tabel 8-28 Voorafgaand aan jaar winterneerslag (1 oktober – 31 maart) [mm] en potentieel neerslagtekort in zomerperiode (1 april – 30 september) [mm] en afwijking ten opzichte van 90-jarig gemiddelde, voor Ld-2100.

	Winter neerslag [mm]			Zomer neerslagtekort [mm]			Afwijking winter neerslag t.o.v. 90-jarig gemiddelde [%]			Afwijking zomer neerslagtekort t.o.v. 90-jarig gemiddelde [%]		
	1	7	8	1	7	8	1	7	8	1	7	8
Ensemble												
2026				-345.5	-161.9	-144.0				125.0	5.4	-6.2
2027	450.5	498.6	496.9	-13.2	-68.9	-108.0	-0.4	10.2	9.9	-91.4	-55.1	-29.7
2028	538.3	438.1	492.4	45.5	-5.8	-128.9	19.0	-3.1	8.9	-129.6	-96.3	-16.1
2029	278.6	499.2	358.2	-214.0	-85.9	-269.8	-38.4	10.4	-20.8	39.4	-44.1	75.7
2030	392.6	449.8	464.2	41.6	-240.1	-117.3	-13.2	-0.5	2.6	-127.1	56.3	-23.6
2031	456.6	470.7	454.3	-101.8	-54.6	-138.4	1.0	4.1	0.5	-33.7	-64.5	-9.8
2032	301.6	350.4	439.4	-69.4	57.6	-192.3	-33.3	-22.5	-2.8	-54.8	-137.5	25.2
2033	555.4	460.6	513.8	-146.8	-188.1	-112.9	22.8	1.8	13.6	-4.4	22.5	-26.5
2034	465.9	504.0	502.0	-271.8	-203.9	-159.9	3.0	11.4	11.0	77.0	32.8	4.1
2035	359.1	473.9	447.3	99.2	-189.1	-101.9	-20.6	4.8	-1.1	-164.6	23.2	-33.7
2036	408.3	431.6	431.9	-154.1	-175.4	-112.0	-9.7	-4.6	-4.5	0.3	14.2	-27.1
2037	409.4	407.6	602.5	-57.2	-238.9	-282.6	-9.5	-9.9	33.2	-62.8	55.6	84.0
2038	598.0	482.8	521.1	4.8	-165.1	-120.0	32.2	6.7	15.2	-103.1	7.5	-21.8
2039	564.8	313.6	441.3	-141.4	-181.6	-49.0	24.9	-30.7	-2.4	-7.9	18.2	-68.1
2040	423.1	391.9	479.0	-97.6	-239.3	-198.4	-6.4	-13.4	5.9	-36.5	55.8	29.2
2041	380.4	379.8	571.9	-106.3	-266.7	-333.5	-15.9	-16.0	26.4	-30.8	73.7	117.2
2042	586.0	484.7	633.7	-183.0	-227.0	-229.9	29.6	7.2	40.1	19.1	47.8	49.7
2043	380.0	492.2	362.9	-141.0	-151.2	-174.6	-16.0	8.8	-19.8	-8.2	-1.6	13.7
2044	399.4	491.7	365.1	-79.0	-93.1	-164.6	-11.7	8.7	-19.3	-48.6	-39.4	7.2
2045	426.4	456.6	356.7	-136.8	-147.8	-204.1	-5.7	1.0	-21.1	-10.9	-3.7	32.9

2046	528.8	540.1	465.2	-156.2	-121.6	-255.2	16.9	19.4	2.9	1.8	-20.8	66.2
2047	505.0	369.2	273.7	-198.2	-56.5	-56.5	11.7	-18.4	-39.5	29.1	-63.2	-63.2
2048	543.5	546.4	548.0	-195.6	-79.6	-112.8	20.2	20.8	21.2	27.4	-48.2	-26.5
2049	449.7	318.6	395.4	-217.5	-311.3	-37.3	-0.6	-29.6	-12.6	41.6	102.7	-75.7
2050	406.2	587.8	618.6	-296.6	-39.7	-92.1	-10.2	30.0	36.8	93.2	-74.2	-40.0
2051	439.8	349.0	398.1	-130.7	-183.5	-256.2	-2.8	-22.8	-12.0	-14.9	19.5	66.8
2052	541.7	479.5	318.7	-342.3	-337.2	-327.0	19.8	6.0	-29.5	122.9	119.6	112.9
2053	579.0	297.5	417.4	-269.9	-211.9	-121.3	28.0	-34.2	-7.7	75.7	38.0	-21.0
2054	375.3	535.3	516.0	-168.2	-190.3	-82.9	-17.0	18.4	14.1	9.6	23.9	-46.0
2055	346.3	471.9	399.3	-219.5	-184.1	-132.1	-23.4	4.3	-11.7	43.0	19.9	-14.0
30-jarig gemiddelde	451.4	447.3	458.1	-142.1	-158.1	-160.5						
90-jarig gemiddelde	452.3			-153.6								

Tabel 8-29 Voorafgaand aan jaar winterneerslag (1 oktober – 31 maart) [mm] en potentieel neerslagtekort in zomerperiode (1 april – 30 september) [mm] en afwijking ten opzichte van 90-jarig gemiddelde, voor Hd-2050.

	Winter neerslag [mm]			Zomer neerslagtekort [mm]			Afwijking winter neerslag t.o.v. 90-jarig gemiddelde [%]			Afwijking zomer neerslagtekort t.o.v. 90-jarig gemiddelde [%]		
	3	4	8	3	4	8	3	4	8	3	4	8
Ensemble												
2034				-241.5	-238.7	-172.3				41.8	40.2	1.2
2035	522.2	297.0	563.6	-216.9	36.5	-64.0	15.8	-34.2	24.9	27.4	-121.4	-62.4
2036	449.8	271.2	368.0	-47.7	-129.2	-62.4	-0.3	-39.9	-18.4	-72.0	-24.1	-63.3
2037	444.5	534.7	535.3	-273.9	-240.0	-273.9	-1.5	18.5	18.6	60.9	40.9	60.9
2038	306.9	350.5	306.9	-159.6	-67.3	-159.6	-32.0	-22.3	-32.0	-6.2	-60.5	-6.2
2039	434.4	431.7	434.4	-221.9	-71.5	-221.9	-3.7	-4.3	-3.7	30.3	-58.0	30.3
2040	335.0	550.9	335.0	-135.5	-279.7	-135.5	-25.7	22.1	-25.7	-20.4	64.3	-20.4
2041	419.3	462.7	419.3	-133.9	-203.4	-133.9	-7.1	2.5	-7.1	-21.4	19.4	-21.4
2042	565.0	374.6	533.7	-209.0	-141.7	-95.9	25.2	-17.0	18.3	22.7	-16.8	-43.7
2043	502.2	420.3	409.1	18.5	-99.8	-67.1	11.3	-6.8	-9.3	-	-41.4	-60.6
2044	432.8	590.6	409.6	-134.6	-186.4	-163.6	-4.1	30.9	-9.2	-20.9	9.5	-3.9
2045	499.1	531.1	511.0	-227.9	-126.9	11.4	10.6	17.7	13.3	33.8	-25.5	-106.7
2046	422.1	266.5	507.0	-83.0	-148.0	-171.9	-6.4	-40.9	12.4	-51.3	-13.1	1.0
2047	448.4	481.6	560.2	-236.3	36.5	-158.4	-0.6	6.7	24.2	38.8	-121.4	-7.0
2048	531.9	512.4	447.0	-392.4	-17.3	-31.9	17.9	13.6	-0.9	130.4	-89.8	-81.2
2049	311.2	454.6	426.5	-141.1	-227.0	-118.5	-31.0	0.8	-5.5	-17.2	33.3	-30.4
2050	519.5	510.3	402.0	-32.8	-73.6	-300.4	15.2	13.1	-10.9	-80.7	-56.8	76.4

2051	443.9	371.8	441.9	-205.6	-287.8	-273.6	-1.6	-17.6	-2.1	20.7	69.0	60.7
2052	494.5	394.6	379.1	-293.7	-367.1	-135.6	9.6	-12.5	-16.0	72.5	115.6	-20.4
2053	369.7	417.0	466.9	-229.9	-279.0	-131.1	-18.1	-7.6	3.5	35.0	63.9	-23.0
2054	477.7	477.2	408.7	-337.1	-58.6	-187.3	5.9	5.8	-9.4	98.0	-65.6	10.0
2055	496.9	472.7	486.9	-200.6	-137.4	-90.7	10.1	4.8	7.9	17.8	-19.3	-46.7
2056	370.1	475.1	474.6	-237.5	-27.3	-338.6	-18.0	5.3	5.2	39.5	-84.0	98.8
2057	397.8	337.1	593.7	-184.3	-117.9	-340.3	-11.8	-25.3	31.6	8.2	-30.8	99.9
2058	460.1	579.7	429.8	-319.9	-205.3	-225.2	2.0	28.5	-4.7	87.9	20.6	32.2
2059	511.0	581.3	574.4	-208.6	-19.7	-275.0	13.3	28.8	27.3	22.5	-88.4	61.5
2060	423.7	473.0	438.2	-208.1	-52.7	-216.6	-6.1	4.8	-2.9	22.2	-69.1	27.2
2061	616.8	353.5	444.8	-166.3	-152.3	-157.7	36.7	-21.7	-1.4	-2.3	-10.6	-7.4
2062	510.9	311.5	537.9	-354.3	-173.8	-125.2	13.2	-31.0	19.2	108.1	2.1	-26.5
2063	597.8	451.8	353.6	-310.3	-237.4	-88.4	32.5	0.1	-21.6	82.2	39.4	-48.1
30-jarig gemiddelde	459.1	439.2	455.1	-204.2	-143.1	-163.5						
90-jarig gemiddelde	451.2			-170.3								

Tabel 8-30 Voorafgaand aan jaar winterneerslag (1 oktober – 31 maart) [mm] en potentieel neerslagtekort in zomerperiode (1 april – 30 september) [mm] en afwijking ten opzichte van 90-jarig gemiddelde, voor Hd-2100.

	Winter neerslag [mm]			Zomer neerslagtekort [mm]			Afwijking winter neerslag t.o.v. 90-jarig gemiddelde [%]			Afwijking zomer neerslagtekort t.o.v. 90-jarig gemiddelde [%]		
	3	4	5	3	4	5	3	4	5	3	4	5
Ensemble												
2073				-136.1	-136.1	-160.0				-47.9	-47.9	-38.7
2074	529.0	529.0	502.6	-82.6	-82.6	-200.0	9.8	9.8	4.3	-68.4	-68.4	-23.4
2075	422.1	422.1	409.8	-496.8	-496.8	-228.8	-12.4	-12.4	-14.9	90.3	90.3	-12.4
2076	498.5	402.3	483.6	-278.0	-330.9	-381.6	3.5	-16.5	0.4	6.5	26.7	46.1
2077	367.4	613.3	456.3	-245.3	-100.2	-240.7	-23.7	27.3	-5.3	-6.1	-61.6	-7.8
2078	379.4	404.9	445.6	-393.8	-337.3	-174.4	-21.2	-15.9	-7.5	50.8	29.2	-33.2
2079	438.0	471.8	403.6	-197.0	-299.5	-297.2	-9.1	-2.0	-16.2	-24.5	14.7	13.8
2080	450.7	353.9	479.6	-340.7	-264.8	-276.4	-6.4	-26.5	-0.4	30.5	1.4	5.9
2081	581.3	524.4	486.9	-321.2	-177.3	-177.3	20.7	8.9	1.1	23.0	-32.1	-32.1
2082	432.8	546.8	546.8	-345.0	-189.2	-189.2	-10.1	13.5	13.5	32.1	-27.5	-27.5
2083	406.1	546.2	546.2	-94.4	-253.0	-253.0	-15.7	13.4	13.4	-63.8	-3.1	-3.1
2084	350.8	274.8	274.8	-384.7	-334.4	-334.4	-27.2	-43.0	-43.0	47.4	28.1	28.1
2085	364.1	524.0	525.1	-381.3	-331.3	-56.0	-24.4	8.8	9.0	46.0	26.9	-78.5
2086	445.2	367.4	506.2	-207.5	-207.5	-162.2	-7.6	-23.7	5.1	-20.5	-20.5	-37.9
2087	364.0	428.3	662.1	-170.4	-518.6	-252.1	-24.4	-11.1	37.5	-34.7	98.6	-3.5
2088	480.9	521.1	490.5	-193.4	-106.6	-265.1	-0.1	8.2	1.8	-25.9	-59.2	1.5
2089	476.3	567.8	482.6	-311.8	-301.2	-344.8	-1.1	17.9	0.2	19.4	15.4	32.1
2090	470.8	426.8	489.2	-159.8	-87.2	-341.3	-2.2	-11.4	1.6	-38.8	-66.6	30.7
2091	464.0	646.1	483.2	-303.6	-261.4	-193.6	-3.7	34.1	0.3	16.3	0.1	-25.9

2092	554.4	431.5	474.7	-340.9	-199.0	-150.4	15.1	-10.4	-1.4	30.6	-23.8	-42.4
2093	520.6	356.6	567.5	-12.4	-185.4	-120.3	8.1	-26.0	17.8	-95.2	-29.0	-53.9
2094	358.9	529.9	564.8	-358.4	-469.4	-231.1	-25.5	10.0	17.3	37.3	79.8	-11.5
2095	588.4	495.4	445.0	-510.2	-295.3	-278.7	22.2	2.9	-7.6	95.4	13.1	6.7
2096	328.3	401.2	528.7	-327.1	-146.5	76.2	-31.8	-16.7	9.8	25.3	-43.9	-129.2
2097	459.7	534.2	421.7	-349.2	-348.5	-188.1	-4.6	10.9	-12.4	33.8	33.5	-28.0
2098	424.8	603.8	413.5	-248.0	-96.7	-342.0	-11.8	25.4	-14.1	-5.0	-63.0	31.0
2099	596.3	640.0	481.2	-335.8	-360.1	-317.4	23.8	32.9	-0.1	28.6	37.9	21.6
2100	612.8	373.5	666.3	-345.8	-345.7	-417.1	27.2	-22.4	38.3	32.4	32.4	59.7
2101	418.8	578.4	761.8	-358.9	-235.8	-136.0	-13.0	20.1	58.2	37.5	-9.7	-47.9
2102	564.6	505.6	533.3	-417.3	-372.2	-347.6	17.2	5.0	10.7	59.8	42.5	33.1
30-jarig gemiddelde	460.3	483.5	501.1	-288.2	-262.4	-232.7						
90-jarig gemiddelde	481.6			-261.1								

G Regioscan

De Regioscan Zoetwatermaatregelen is een tool die de effecten van zoetwatermaatregelen berekent op perceelschaal. AGRICOM is het model dat erachter zit die de kosten-baten verhouding vanuit de gewassen per cel berekent. Zo kan de tool berekenen waar het het meest efficiënt is om te beregenen. De Regioscan rekent op basis van LHM uitvoer. De berekende kosten-batenverhouding wordt vervolgens gebruikt om te bepalen waar potentieel beregend wordt en of dit uit grondwater of oppervlaktewater gebeurt. Dit resulteert in een beregeningskaart die gebruikt kan worden voor het LHM.

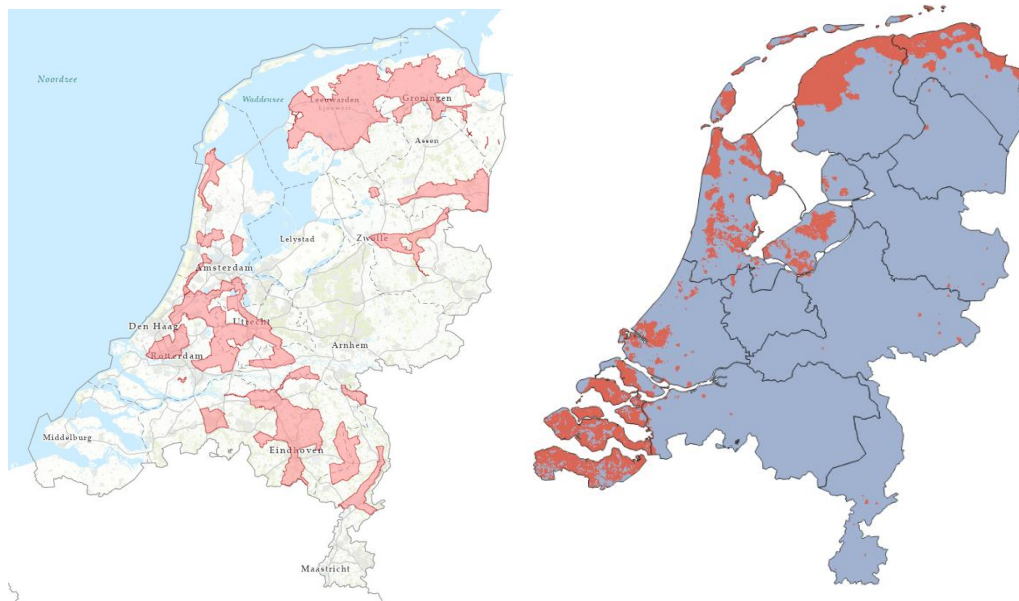
In de Regioscan wordt elke LHM rekencel als apart modelbedrijf beschouwd en worden de maatregelen 'reguliere beregening grondwater' en 'reguliere beregening oppervlaktewater' doorgerekend. De Regioscan berekent per cel een baten-kostenratio (NBC) voor reguliere beregening. Hierbij bestaan de kosten uit de kosten voor beregening (investeringskosten, energie en arbeid), en de baten uit de toegenomen gewasopbrengst als gedurende de rekenperiode zou zijn beregend.

Met de kosten-batenanalyse uit de Regioscan zijn de volgende stappen genomen om tot een beregeningskaart te komen.

1. In verband met de bruinrotbacterie heeft de Nederlandse Voedsel en Waren Autoriteit (NVWA) een kaart gemaakt met aangewezen gebieden waar niet beregend mag worden uit oppervlaktewater (zie Figuur 8-50). Dit geldt voor de teelt van zetmeel- en consumptieaardappelen en tomaten. Daarnaast zijn er gebieden aangewezen waar beregening uit grondwater geen optie is wegens te brak water. Deze gebieden zijn gedefinieerd als gebieden waar zoutgehaltes van 1 g/l binnen 15m onder maaiveld voorkomen. Voor zowel de bruinrotgebieden als de brakwatergebieden is aangenomen dat ze niet veranderen per scenario. Op basis van deze twee kaarten zijn de modelcellen met landgebruik aardappelen vastgesteld waar, ongeacht de kosten-batenratio, niet beregend wordt.
2. De Regioscan gaat uit van het potentieel beregend areaal dat is gemaakt aan de hand van de landbouwmeitelling in 2016. Dit areaal is aangegeven per LEI-66 gebied. De arealen per LEI-gebied zijn vermenigvuldigd met 0.7 om het totale areaal in Nederland gelijk te houden aan het beregeningsareaal in LHM4.3.
3. Per LEI-66 gebied worden de rekencellen in de Regioscan gesorteerd op afnemende baten-kostenratio. Vervolgens is voor de referentiesituatie de laagste baten-kostenratio bepaald waarbij het potentieel beregende areaal per LEI-66 gebied overeenkomt voor het referentie scenario.
4. Voor elk scenario worden cellen met een baten-kostenratio hoger dan de in de vorige stap bepaalde ratio per LEI-66 gebied gesteld potentieel te beregenen.
5. Volledige beregening in LHM wordt toegekend aan kapitaalintensieve gewassen met LGN-codes 7 (boomteelt), 8 (glastuinbouw), 9 (boomgaard), 10 (bollen), 21 (fruitwekerijen), en 22 (sportvelden). Dit is analoog aan Massop et al. (2012). Hierbij wordt aangetekend dat de aparte landgebruiksklasse 22 niet voorkomt in de door de VU aangeleverde landgebruikskaarten voor de Deltascenario's.
6. Het toekennen van beregening aan grond- danwel oppervlaktewater is gedaan volgens de procedure van Massop et al. (2012) en Veldhuizen en Van Bakel (2008):
 - i. Per LEI-66 gebied is het percentage grond- / oppervlaktewaterberegening vastgelegd op basis van de huidige beregeningskaart;
 - ii. De overgebleven beregende cellen zijn op basis van slootdichtheid toegekend aan oppervlaktewater (hoge slootdichtheid) danwel grondwater

(lage slootdichtheid), tot wordt voldaan aan het vastgelegde percentage berekening uit oppervlaktewater / grondwater. Dit percentage wordt constant verondersteld over de scenario's.

- iii. Waar volgens het bruinrotbesluit (zie 1) niet uit oppervlaktewater mag worden berekend (aardappel) is de berekening vastgezet op grondwater (cellen waar dit niet mogelijk is zijn eerder al uit de procedure verwijderd).



Figuur 8-50. Links: in roze de gebieden waar wegens de bruinrotbacterie een berekeningsverbod uit oppervlaktewater geldt voor aardappelen en tomaten. Rechts: in roze de gebieden waar wegens te brak water een berekeningsverbod uit grondwater geldt voor aardappelen.

7. De Regioscan berekende een grote toename in uit oppervlaktewater berekend areaal op zowel Schouwen-Duiveland als Noord-Beveland. Dit is echter niet realistisch vanwege het zoutgehalte in de sloten en de afwezigheid van waterafvoer. De reden waarom toch berekening uit oppervlaktewater werd toegekend is dat deze gebieden in de Regioscan één regio vormen met Tholen/St-Philipsland, waar wel wateraanvoer is en waar wel uit oppervlaktewater berekend wordt. De Regioscan probeert de verhoudingen tussen berekening uit grondwater en uit oppervlaktewater per regio gelijk te houden, waardoor bij toename van de berekening tevens berekening uit oppervlaktewater aan Schouwen-Duiveland en Noord-Beveland werd toegekend. In de nabewerking is alle berekening uit oppervlaktewater in deze twee gebieden verwijderd.

H Doerspoeelbehoeften zoete watersystemen door zoutindringing bij schut- en spuisluisen

H.1 Samenvatting

Voor de definitie van de Deltascenario's 2024 is het nodig de doerspoeelbehoeften van de zoete watersystemen vast te stellen, die gekoppeld is aan het bestrijden van de zoutindringing bij schut- en spuisluisen in (droge) zomers. Het betreft specifiek de systemen Volkerak-Zoommeer (Krammersluizen), Haringvliet, Noordzeekanaal en Amsterdamrijnkanaal (IJmuiden) en het IJsselmeer (Afsluitdijk).

1. Dit memo beschrijft de bepaling van de doerspoeelbehoeften van deze zoetwatersystemen in de zomer, met als doel het beperken van het zoutgehalte in die systemen. Hiertoe wordt gekeken naar hoe de zoutindringing door schut- en spuisluisen zal toenemen, enerzijds als gevolg van zeespiegelstijging en anderzijds als gevolg van een toename van de schutoperatie, samenhangend met economische groei.
2. Voor de zeespiegelstijging wordt gebruik gemaakt van de recente KNMI-scenario's. De toekomstige schutoperatie is gemaximaliseerd op de capaciteit van de huidige schutsluisen en, specifiek voor IJmuiden, door het toegestane gebruik daarvan: wel de nieuwe Zeesluis met de Selectieve Onttrekking, maar niet de Noordersluis. Dit is in lijn met de wens om de scenario's '**beleidsarm**' in te vullen.
3. Voor het bepalen van de doerspoeelbehoefte wordt aangenomen dat het doerspoeeldebiet ook kan worden afgevoerd. Uit de analyse blijkt dat door zeespiegelstijging de afvoercapaciteit afneemt. Om bij de huidige streefpeilen het zoutgehalte te kunnen handhaven, dat wil zeggen: bij het huidige beleid inzake peil en zoutgehalte, wordt het als '**beleidsarm**' beschouwd om waar en wanneer nodig afvoercapaciteit toe te voegen. Dit zal uiteindelijk zijn in de vorm van pompen als het verval over een spuisluis geheel is verdwenen.
4. De **seizoensvariatie** in afvoer en daarmee de seizoensvariatie in het zoutgehalte (oplopend in de zomer en dalend in de winter) wordt niet beschouwd: hiertoe ontbreken de benodigde gegevens. De beschouwing is beperkt tot situaties met een lage afvoer zoals die kan optreden in het zomerseizoen.

Krammersluizen

5. Voor de Krammersluizen is beschreven hoe de effectiviteit van de IZZS wordt beïnvloed door zeespiegelstijging: de verandering daarin is gradueel en niet plotseling, zoals in andere rapporten is aangenomen. Om bij gelijkblijvend streefpeil het zoutgehalte op het VZM te kunnen handhaven zal aanvullende afvoercapaciteit bij de Krammersluizen nodig zijn.
6. Alle studies voor het IZZS van de Krammersluizen maken gebruik van een simulatie van de schutoperatie voor een vervoersprognose voor 2045. Deze wordt ook van toepassing geacht voor 2050. Voor een toekomstige schutoperatie voor 2100 is een schatting gemaakt. Voor de Krammersluizen leidt dit tot de volgende doerspoeelbehoeften:

Tabel 8.31 Doorspoelbehoeften Krammersluizen

Doorspoelbehoefte (debiet) bij zeestand en schutoperatie		Lage uitstoot			Hoge uitstoot		
		Zeestand [m NAP]	Schutoperatie	Debiet [m ³ /s]	Zeestand [m NAP]	Schutoperatie	Debiet [m ³ /s]
Referentie		0.03	huidige operatie	huidig	0.03	huidige operatie	huidig
Zichtjaar 2050	Hoge groei	0.27	huidige operatie	9	0.30	huidige operatie	9
	Lage groei	0.27	huidige operatie	9	0.30	huidige operatie	9
Zichtjaar 2100	Hoge groei	0.47	max. capaciteit	20	0.85	max. capaciteit	22
	Lage groei	0.47	huidige operatie	9	0.85	huidige operatie	9

Haringvliet

7. Voor het Haringvliet wordt geen (significante) toename van het doorspoeldebiet verwacht.

IJmuiden

8. Voor IJmuiden is een beperkte toename van de doorspoeldebieten afgeleid. Hierbij is gebruik gemaakt van een eerder opgezet balansmodel voor de jaargemiddelde situatie. Ter controle is vastgesteld dat deze surplusdebieten ook gelden voor een zomersituatie, beschouwd met hetzelfde balansmodel. De surplusdebieten zijn weergegeven in de onderstaande tabel:

Tabel 8.32 Surplusdebieten bij IJmuiden

Doorspoelbehoefte (debiet) bij zeestand en schutoperatie		Lage uitstoot			Hoge uitstoot		
		Zeestand [m NAP]	Schutoperatie	Debiet [m ³ /s]	Zeestand [m NAP]	Schutoperatie	Debiet [m ³ /s]
Referentie		0.05	huidige operatie	huidig	0.05	huidige operatie	huidig
Zichtjaar 2050	Hoge groei	0.29	max. capaciteit	+2	0.32	max. capaciteit	+2
	Lage groei	0.29	huidige operatie	+2	0.32	huidige operatie	+2
Zichtjaar 2100	Hoge groei	0.49	max. capaciteit	+4	0.87	max. capaciteit	+7
	Lage groei	0.49	huidige operatie	+4	0.87	huidige operatie	+7

Afsluitdijk

9. Voor de Afsluitdijk is primair gekeken naar de **spuisluizen**. Er is een uitgebreide verkenning gedaan naar de verandering van de doorspoeldebieten gerelateerd aan het naar binnen lekken van zoutwater door de (gesloten) spuisluizen. Ongeveer de helft van het naar binnenkomende zout verzamelt zich in de erosiekuilen. Deze helft wordt via spuien weer teruggevoerd naar zee. De andere helft verspreidt zich over het IJsselmeer waardoor dit (in een zomer met beperkte afvoer) langzaam in zoutgehalte zal toenemen. De zeespiegelstijging, maar ook de bouw van nieuwe spuisluizen en gemalen bij Den Oever, leidt tot een groter lekdebiet naar binnen. Daarmee neemt ook het debiet om de kuilen weer zoet te spoelen toe. Echter ook de verspreiding naar het IJsselmeer neemt toe.
10. In het Waterakkoord Noord Nederland [12] is een gemiddeld spuidebiet van 40 m³/s vastgelegd voor situaties van extreme droogte. Dit debiet volstaat om de erosiekuilen zoet te spoelen als die geheel zijn gevuld met zout water. Bij ongewijzigd beheer zou dit debiet toenemen naar 53 m³/s door de extra spuisluizen en gemalen bij Den Oever en met zeespiegelstijging verder tot meer dan 100 m³/s (zie Tabel 8.19).
11. De bouw van nieuwe spuisluizen en gemalen bij Den Oever leidt echter ook tot de mogelijkheid om het zout dat zich verzamelt in de erosiekuilen af te voeren in een hogere concentratie. Dit leidt tot een kleinere doorspoelbehoefte voor zover gerelateerd aan het weer zoetspoelen van de erosiekuilen.
12. Door zeespiegelstijging neemt de spuicapaciteit af. Voor het peilbeheer, maar ook voor de beperking van de zoutindringing, zullen er daarom op de niet al te lange duur ook bij Kornwerderzand gemalen nodig zijn. Ook de inzet hiervan zal leiden tot een reductie van de doorspoelbehoefte voor zover gerelateerd aan het weer zoetspoelen van de erosiekuilen. Met de inzet van pompen op beide locaties zou de doorspoelbehoefte voor het leegmaken van de kuilen afnemen tot 11 tot 22 m³/s (zie Tabel 8.20).
13. In de loop van de tijd (van nu naar 2050 en 2100) en afhankelijk van het Lage- of Hoge-uitstootscenario (L of H) kunnen de volgende doorspoeldebieten worden verwacht voor het leegmaken van de erosiekuilen:
 - 2005 (Ref): alleen spuien 40 m³/s
 - 2005 (2025): spuien bij KWZ en pompen bij DO 27 m³/s
 - 2050L: spuien bij KWZ en pompen bij DO 34 m³/s
 - 2050H: spuien bij KWZ en pompen bij DO 35 m³/s
 - 2100L: alleen pompen 17 m³/s
 - 2100H: alleen pompen 22 m³/s
14. Ondanks het zoet blijven maken van de erosiekuilen zal dus de verspreiding van zout naar het IJsselmeer blijven toenemen met de zeespiegelstijging. In de huidige situatie is het inkomende lekdebiet ca. 4 m³/s (Tabel 8.16). Door de uitbreidingen bij Den Oever neemt dit toe naar ca. 5,4 m³/s en met zeespiegelstijging naar 11 m³/s. Dit is ongeveer een factor drie t.o.v. het huidige lekdebiet. (Tabel 8.19). De helft hiervan gaat naar het IJsselmeer en ook deze helft neemt dus toe met ongeveer een factor drie. Deze toename van de verzilting van het IJsselmeer is nog niet vertaald naar een benodigd doorspoeldebiet. (Alleen voor de helft die in de erosiekuilen terecht komt is dat gedaan.)
15. Naast de zoutindringing door de spuisluizen (de helft die het IJsselmeer bereikt) zal ook de zoutindringing via de **schutsluizen** toenemen, zowel door zeespiegelstijging als door een toename van het scheepvaartverkeer, al of niet in combinatie met een nieuw te bouwen sluis bij Kornwerderzand. Daarnaast wordt er gewerkt aan het weer

in ere herstellen van de bellenschermen op de schutsluizen. Het is niet duidelijk wat voor de schutsluizen moet worden aangenomen als referentie.

16. Wel is duidelijk dat er voor het toekomstige beheer van het IJsselmeer op zoutgehalte naast voldoende doorspoeling ook zgn. **bronmaatregelen** nodig zullen zijn op de spui- en schutsluizen. Dit betreft b.v. betere afdichtingen op de spuisluizen en maatregelen op de schutsluizen. Ook sommigen van deze bronmaatregelen zullen een watervraag met zich meebrengen.
17. Voor de schutsluizen zou, als eerste schatting, gerekend kunnen worden met een watervraag van 4 m³/s voor 2050 (reële orde van grootte voor schutsluizen Den Oever en Kornwerderzand van elk 2 m³/s) en mogelijk het dubbele voor 2100. Opgeteld bij de debieten voor het leegspoelen van de erosiekuilen worden de doorspoeldebieten dan als volgt:
 - 2050L: 38 m³/s,
 - 2050H: 39 m³/s,
 - 2100L: 25 m³/s,
 - 2100H: 30 m³/s.

Let wel: Bovenstaande debieten dekken nog niet de toenemende zoutindringing naar het IJsselmeer die het gevolg is van een toenemende lekkage van de spuisluizen.

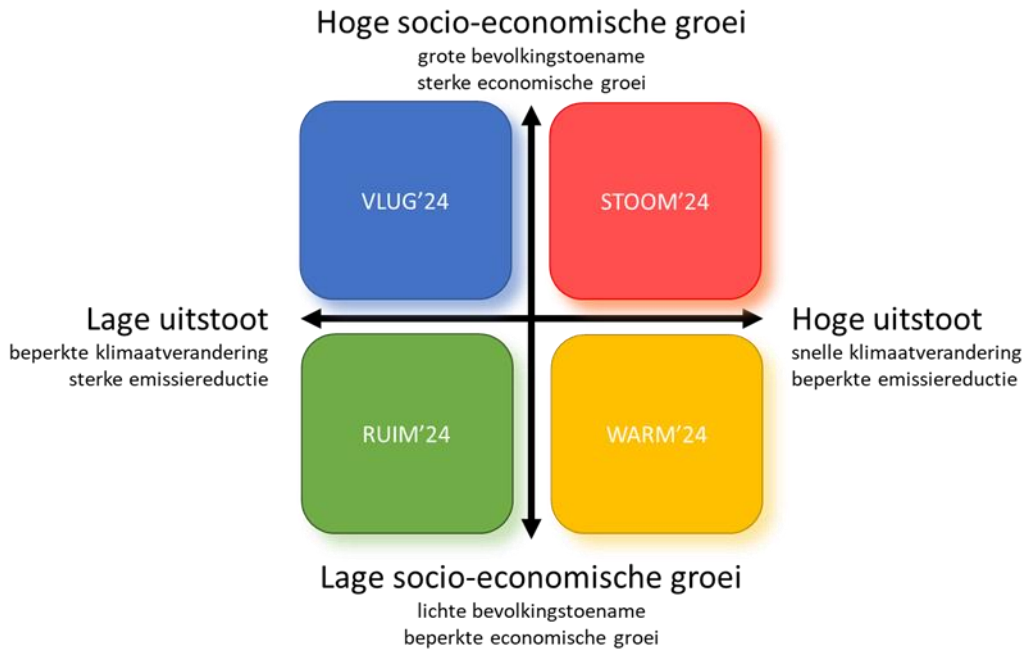
18. Welke toename van de zoutindringing acceptabel is hangt o.a. af van de doorspoeling in de winter. Deze **seizoensvariatie** is nog onvoldoende in kaart gebracht om een heldere referentie te kunnen definiëren. Bovendien zal die veranderen met verschuivingen van de afvoer over de seizoenen.
19. Gezien de vragen die nog open staan wordt geadviseerd om voor de Deltascenario's voor alle vier de kwadranten uit te blijven gaan van **een minimale doorspoelbehoefte van 40 m³/s** zoals nu is vastgelegd in het Waterakkoord [12]. Deze waarde is net iets hoger dan hierboven afgeleid voor 2050L en 2050H. Deze afvoer mag ten koste gaan van het peilbeheer. Uit beschikbare documenten [21] wordt verder opgemerkt **dat een afvoer van 70 m³/s gewenst is, onder meer ten behoeve van vismigratie**. In de waterverdeling zal er daarom zo lang mogelijk op gestuurd moeten worden om deze afvoer te kunnen handhaven. Als deze afvoer niet meer beschikbaar is worden er maatregelen getroffen om de zoutindringing te beperken. Dit gaat o.a. dit ten koste van vismigratie en ook worden er op een zeker moment schutbeperkingen ingesteld.

H.2 Inleiding

H.2.1 Algemeen

Voor de verkenning van de invloed van klimaatverandering op de zoetwaterbeschikbaarheid in Nederland wordt gewerkt aan het opstellen en doorrekenen van nieuwe toekomstscenario's: de Deltascenario's 2024. Onderdeel hiervan is het bepalen van toekomstige doorspoelbehoeften van de zoete watersystemen die nodig is voor het bestrijden van de zoutindringing bij schut- en spuisluizen in (droge) zomers. Het betreft specifiek de systemen Volkerak-Zoommeer (Krammersluizen), het Haringvliet, het Noordzeekanaal en Amsterdamrijnkanaal (IJmuiden) en het IJsselmeer (Afsluitdijk).

De nieuwe Deltascenario's beslaan 4 kwadranten, bepaald door lage of hoge CO₂-uitstoot en lage of hoge socio-economische groei.



Figuur 8.51 Schematische weergaven Deltascenario's

Dit memo beschrijft de bepaling van de doorspoelbehoefte van deze zoetwatersystemen in de zomer, met als doel het beperken van het zoutgehalte in die systemen. Hiertoe wordt gekeken naar hoe de zoutindringing door schut- en spuisluizen zal toenemen, enerzijds als gevolg van zeespiegelstijging en anderzijds als gevolg van een toename van de schutoperatie, samenhangend met economische groei. Vervolgens wordt gekeken hoe deze toename van zoutindringing kan worden gemitigeerd met een hogere afvoer door het betreffende systeem.

Het memo is opgesteld door Otto Weiler en Arnout Bijlsma. De eerstgenoemde heeft zich in het bijzonder gericht op de kunstwerken aan het Volkerak-Zoommeer (en specifiek de Krammersluizen), het Haringvliet en het Noordzeekanaal met de sluisen te IJmuiden. De laatstgenoemde heeft zich specifiek gericht op de kunstwerken in de Afsluitdijk en de invloed ervan op het IJsselmeer.

De in dit memo gepresenteerde resultaten zijn in korte tijd bepaald op basis van beschikbare rapporten, aangevuld met eenvoudige berekeningen, deels gebruikmakend van bestaande balansmodellen. De nauwkeurigheid hiervan is beperkt, maar wordt voldoende geacht voor het doel.

H.2.2 Zeespiegelstijging en gemiddelde zeestanden

Voor de doorspoelbehoefte van zoete watersystemen wegens zoutindringing bij schut- en spuisluizen is de eerste as (lage of hoge CO₂-uitstoot) vertaald in een mate van zeespiegelstijging. Uit de KNMI-scenario's 2024 is voor de zeespiegelstijging gekozen voor het midden (verwachtingswaarden) van de gepubliceerde bandbreedtes van zeespiegelstijging per klimaatscenario per zichtjaar. Dit leidt tot de volgende cijfers t.o.v. een referentieniveau bepaald voor een referentieperiode (1995 – 2014).

Tabel 8.33 Zeespiegelstijging volgens KNMI'23

Zeespiegelstijging KNMI'23		Lage uitstoot	Hoge uitstoot
	Periode	Vlug en Ruim	Stoom en Warm
Referentie	1995 - 2014	0	
Zichtjaar 2050	2036 - 2065	0.24 m	0.27 m
Zichtjaar 2100	2086 - 2115	0.44 m	0.82 m

Voor de bepaling van de zoutindringing bij kunstwerken, en vandaaruit de doorspoelbehoefte, is het nodig om de waterstanden t.o.v. NAP te kennen. Dit vanwege de in eerdere berekeningen gebruikte waterstanden t.o.v. NAP en constructiehoogten t.o.v. NAP.

De zeespiegelstijging zoals weergegeven in KNMI'23 is uitgedrukt ten opzichte van de gemiddelde zeestand van de periode 1995-2014. Bij het bepalen van deze gemiddelde zeestand is het gemiddelde genomen van de 6 hoofdstations die in de zeespiegelmonitor worden gebruikt. Dit gemiddelde over de periode 1995-2014 ligt ca. 3 cm boven NAP; dit blijkt uit het rapport van de zeespiegelmonitor. Voor NAP is daarbij de laatste waterpassing genomen, ook wel aangeduid als NAP-2005. Tenslotte is in de zeespiegelstijging meegenomen dat er in Nederland sprake is van bodemdaling (Glacial Isostatic Adjustment, GIA), waarmee er dus sprake is van relatieve zeespiegelstijging, namelijk t.o.v. het (dalende) landniveau waarmee ook NAP daalt.

Met deze correctie van 3 cm is de tabel met de zeespiegelstijging om te zetten naar een tabel met de gemiddelde zeestanden t.o.v. NAP-2005:

Tabel 8.34 Gemiddelde zeestand t.o.v. NAP-2005 volgens de scenario's van KNMI'23

Gemiddelde zeestand t.o.v. NAP-2005		Lage uitstoot	Hoge uitstoot
	Periode	Vlug en Ruim	Stoom en Warm
Referentie	1995 - 2014	0.03 m NAP	
Zichtjaar 2050	2036 - 2065	0.27 m NAP	0.30 m NAP
Zichtjaar 2100	2086 - 2115	0.47 m NAP	0.85 m NAP

H.2.3 Socio-economische groei: ladingstroom en schutoperatie

In overleg tussen Deltares en RWS op 10 oktober 2023 is besproken hoe om te gaan met de aspecten van een groeiende economie, een toenemende ladingstroom en de invloed daarvan op de schutoperatie om daarmee de zoutindringing te kunnen bepalen, waaruit dan weer de doorspoelbehoefte kan worden bepaald.

Op basis van beschikbare informatie en relatief eenvoudig te genereren informatie moeten scenario's worden gedefinieerd voor een lage en een hoge socio-economische groei. De doorwerking van economische groei naar een ladingstroom en een schutoperatie is echter complex. Daarbij is de schutcapaciteit van de huidige sluiscomplexen beperkt en nieuwe sluisen worden niet gebouwd zonder een afweging op het effect daarvan op de zoutindringing. Om de gekozen scenario's 'beleidsarm' te laten zijn en om ook in deze scenario's een onder- en bovenkant te zoeken is de volgende keuze gemaakt:

- voor het scenario van de lage socio-economische groei wordt aangenomen dat de schutoperatie niet verandert;

- voor het scenario van de hoge socio-economische groei wordt aangenomen dat de schutoperatie is gelimiteerd tot de capaciteit van de huidige sluiscomplexen; deze maximale capaciteit wordt in elk geval aangehouden voor 2100; voor 2050 kan een tussenstap worden gedefinieerd, afhankelijk van de huidige marge in de capaciteit per locatie.

Weergegeven in een tabel ziet dat er als volgt uit:

Tabel 8.35 Scenario's voor de schutoperatie volgens de Delta-scenario's voor hoge en lage socio-economische groei

Referentie		huidige operatie
Zichtjaar 2050	Hoge groei	?? tussenstap ??
	Lage groei	huidige operatie
Zichtjaar 2100	Hoge groei	max. schutcapaciteit
	Lage groei	huidige operatie

Voor IJmuiden wordt voor de maximale schutcapaciteit uitgegaan van de 'vergunde ruimte', d.w.z. het gebruik van de nieuwe Zeesluis in combinatie met de Selectieve Onttrekking (SO), samen met de Middensluis, Zuidersluis en Kleine Sluis, maar **niet** het gebruik van de Noordersluis. Dit omdat destijds de MER en PIP zijn opgesteld met de SO als mitigerende maatregel voor het verschil in zoutindringing tussen nieuwe Zeesluis en Noordersluis. Het feit dat op dit moment zowel de nieuwe Zeesluis als de Noordersluis in bedrijf zijn heeft te maken met het nog niet gereed zijn van de SO, om welke reden men nog zoveel mogelijk gebruikt maakt van de Noordersluis om daarmee de zoutindringing te beperken. Het tegelijkertijd volledig gebruiken van de nieuwe Zeesluis en de Noordersluis valt buiten de afgegeven vergunning en wordt daarom niet beschouwd.

H.2.4 Combinatie van zeestanden en schutoperatie

De combinatie van beide assen tot scenario's voor de referentie-periode en de twee zichtjaren leidt tot de volgende tabel, in te vullen voor elk van de te beschouwen locaties:

Tabel 8.36 Structuur van de Delta-scenario's voor lage en hoge CO₂-uitstoot en lage en hoge socio-economische groei

Doorspoelbehoefte (debiet) bij zeestand en schutoperatie		Lage uitstoot			Hoge uitstoot		
		Zeestand [m NAP]	Schutoperatie	Debiet [m ³ /s]	Zeestand [m NAP]	Schutoperatie	Debiet [m ³ /s]
Referentie		0.03	huidige operatie	huidig	0.03	huidige operatie	huidig
Zichtjaar 2050	Hoge groei	0.27	?? tussenstap ??	?	0.30	?? tussenstap ??	?
	Lage groei	0.27	huidige operatie	?	0.30	huidige operatie	?
Zichtjaar 2100	Hoge groei	0.47	max. capaciteit	?	0.85	max. capaciteit	?
	Lage groei	0.47	huidige operatie	?	0.85	huidige operatie	?

Daarbij geldt als referentie voor de doorspoelbehoefte in alle vier de kwadranten dezelfde zeestand (0,03 m NAP-2005) en dezelfde (huidige) schutoperatie. Hiervoor moeten dan, per locatie, de huidige doorspoeldebieten worden ingevuld.

H.2.5 **Verzoeting in de winter, verzilting in de zomer**

Alle te beschouwen gebieden worden gekenmerkt door een seizoens-cyclus: doorspoeling in de winter is nodig voor een goede startpositie voor de zomer waarin dan het zoutgehalte mag toenemen. We beschouwen nu vooral de doorspoelbehoefte in de zomer, maar gaan daarbij impliciet uit van de nu bekende winters. Maar als de afvoer in de winter ook afneemt, dan moeten we misschien wel uitgaan van een minder gunstige beginsituatie, waardoor het zoutgehalte minder mag toenemen en dat zou leiden tot een hogere doorspoelbehoefte in de zomer dan we nu als uitgangspunt (referentie) hanteren. Deze potentiële invloed van drogere winters staat nog los van het effect van zeespiegelstijging.

Het beschouwen hiervan valt buiten de huidige vraagstelling; we kunnen het effect hiervan op de doorspoelbehoefte in de zomer nu niet op een eenvoudige manier inschatten. Dit blijft daarom een 'disclaimer' bij de in dit document opgestelde doorspoeldebieten.

H.3 **Volkerak-Zoommeer en de Krammersluizen**

H.3.1 **Inleiding**

Het Volkerak-Zoommeer (VZM) wordt doorgespoeld om het zoutgehalte te beperken. Het zout dringt naar binnen via een aantal bronnen, waarvan de schutsluizen van het Krammersluizencomplex de grootste zijn. (De andere bronnen zijn de Bergsediepsluis, lekkage en visvriendelijk spui-beheer van de Bathsespuisluis, kwel en uitgeslagen water uit omliggende polders.) Het water wordt aangevoerd via de doorlaatsluizen in de Volkerakdam en door de Brabantse rivieren (Dintel en Steenbergse Vliet) en afgevoerd via de Krammersluizen, via de Kreekraksluizen (om zoutindringing vanuit het Antwerpskanaal (AKP) te voorkomen) en via de Bathse Spuisluis (ook om zoutindringing via de spuisluisen te voorkomen).

De **doorspoelbehoefte over de Kreekraksluizen** is niet gevoelig voor zeespiegelstijging en ook niet voor een evt. toename van de scheepvaart. Het waterpeil in de Antwerpse havendokken staat op ca. 1,90 m boven NAP en daar zal binnen de nu beschouwde range niets aan veranderen. De scheepvaart op het kanaal zorgt voor menging en daarmee is een beperkt debiet, opgepompt bij de Kreekraksluizen, voldoende om het zout op afstand te houden. Dit debiet bedraagt (nu en in de toekomst) 2 - 4 m³/s [5]. De afvoer naar het AKP zorgt voor een (beperkt) debiet over de Eendracht en daarmee ook voor de afvoer van zout dat binnenkomt via de Bergsediepsluis en via de Bathse Spuisluis.

Het debiet over de **Bathse Spuisluis** is potentieel (bij dreigende wateroverlast) het grootste. In tijden van droogte is het echter kleiner. Dit heeft ook te maken met de recente renovatie van de spuisluisen, waarmee de zoutindringing door lekkage is teruggebracht.

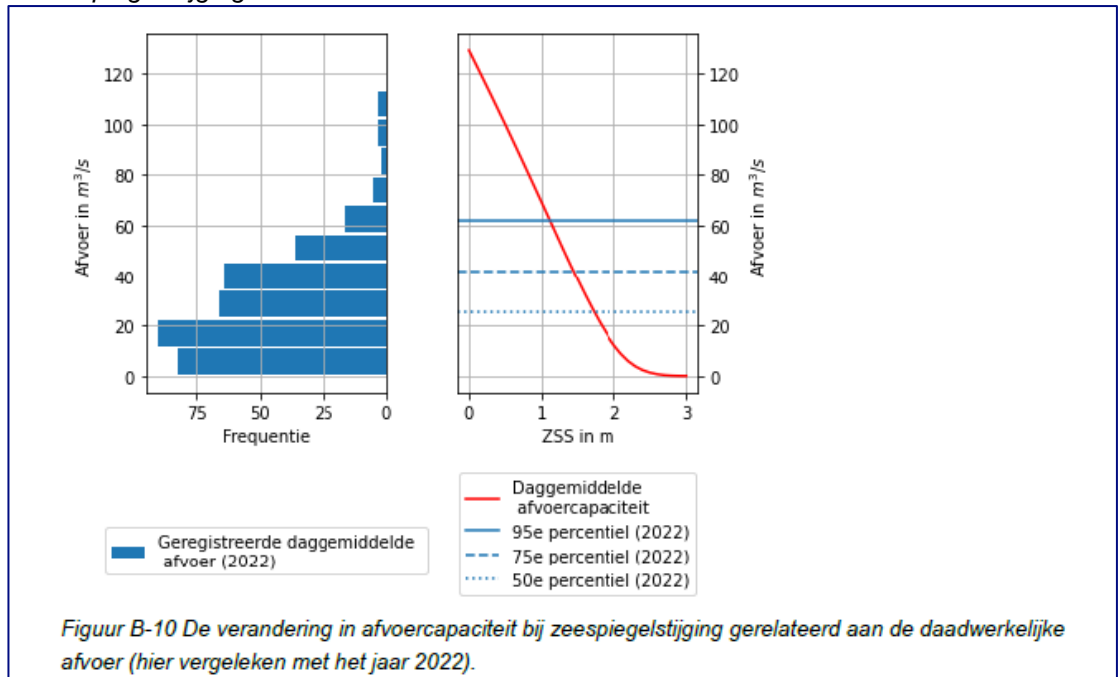
De afvoer vindt plaats onder vrij verval naar de Westerschelde. Door zeespiegelstijging op de Westerschelde zal het maximale verval rond laagwater teruglopen en ook de duur van de periode dat er gespuid kan worden. Daarmee zal de daggemiddelde afvoercapaciteit teruglopen, zie de rechter helft van onderstaande figuur, die is gemaakt in het kader van een onderzoeksproject inzake de Vervanging en Renovatie van Natte Kunstwerken [1]³. Bij een

³ Hiervoor is een gemeten tijdreeks van waterstanden op de Westerschelde gebruikt, die is verhoogd met de zeespiegelstijging. Daarna is bepaald wat dan het gemiddelde debiet is dat nog kan worden afgevoerd, gegeven o.a. de afmetingen van de spuisluisen.

zeespiegelstijging van 0.82 m is de maximale gemiddelde afvoercapaciteit nog ca. 80 m³/s. In geval van hogere afvoer, bv door lokale regenval, zal dit soms onvoldoende zijn, waardoor er meerdere spuivensters of dagen nodig zijn om het peil terug te brengen naar het streefpeil, maar voor de doorspoeling in de zomer zal dit een minder grote rol spelen.

Arcadis/Hydrologic benoemt ditzelfde voor een hogere zeespiegelstijging in haar rapport [2] over het VZM (par 4.1.3, C2):

Tot en met 125 cm zeespiegelstijging is de spuicapaciteit nog voldoende om de waterstand tussen de streefpeilen te behouden. Vanaf 150 cm zeespiegelstijging is deze te klein bij (extreem) natte omstandigheden. De spuicapaciteit verdwijnt helemaal bij 2,7m zeespiegelstijging.



Figuur 8.52 Daggemiddelde afvoercapaciteit Bathse Spuisluizen, links: aantal dagen met geregistreeerde daggemiddelde afvoer in 2022, rechts: afname afvoercapaciteit met zeespiegelstijging en percentielwaarden 2022; figuur overgenomen uit [1]

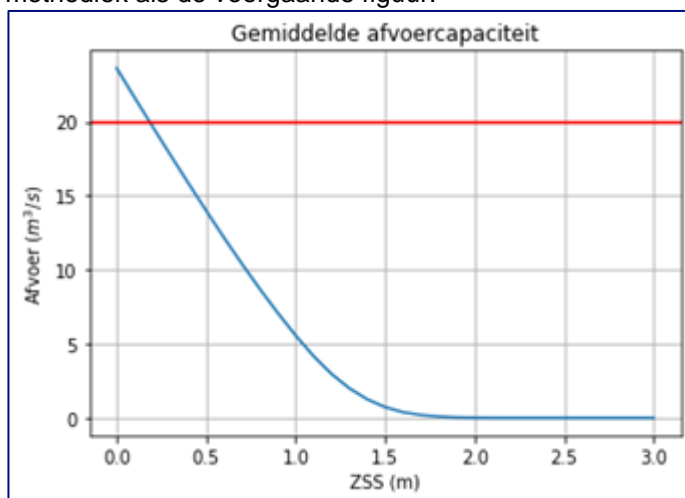
De afvoer van water via de **Krammersluizen** is onderdeel van het systeem van zout-zoetscheiding. Voor het huidige systeem (met uitwisseling van het water in de kolk terwijl de deuren gesloten zijn) is een debiet van ca. 9 m³/s nodig. Na de ombouw naar de nieuwe manier van zout-zoetscheiding, het IZZS, zal ditzelfde debiet gelden voor het groeiseizoen (15 maart – 15 september). Deze beperking tot 9 m³/s houdt o.a. verband met de kweek van mossels en kreeften aan de zoute zijde van de Krammersluizen. Het grootste deel van deze 9 m/s wordt afgevoerd via de schutkolken als onderdeel van de bestrijding van de zoutindringing.

Buiten het groeiseizoen kan er daarnaast water worden afgevoerd via een te bouwen Spui- en Vismigratiemiddel (SPVM). Dit bedraagt ca. 20 m³/s, waarmee een totale afvoer van 29 m³/s wordt bereikt.

Deze beide 'nominale waarden' van de afvoeren zullen mogelijk veranderen als gevolg van zeespiegelstijging en als gevolg van een toename van de schutintensiteit.

H.3.2 Krammersluizen – zeespiegelstijging

Hierboven is al aangegeven dat er buiten het groeiseizoen water moet worden afgevoerd via een te bouwen SPVM. Ook van dit spuumiddel zal de capaciteit teruglopen als gevolg van zeespiegelstijging, zoals weergegeven in onderstaande figuur, opgezet o.b.v. dezelfde methodiek als de voorgaande figuur.



Figuur 8.53 Daggemiddelde afvoercapaciteit Spui- en Vismigratiemiddel, te bouwen als onderdeel van de renovatie en ombouw van de Krammersluizen, afname met zeespiegelstijging.

Bovenstaande figuur laat zien dat bij de Krammersluizen het daggemiddelde debiet veel sneller terugloopt dan bij Bath. Dit is een gevolg van het feit dat bij de Krammersluizen de getij-amplitude veel kleiner is, waardoor met zeespiegelstijging het verval rond laagwater al eerder naar nul gaat.

In voorbereiding op de aanbesteding van de ombouw van de Krammersluizen is Deltares gevraagd om het effect van zeespiegelstijging tot 80 cm te onderzoeken ([3] en [4]). In deze studies is de werking van de IZZS met hetzelfde instrumentarium onderzocht als ten tijde van de Planstudie, namelijk het model in WANDA-Locks, waardoor alle details van de regeling van het IZZS zijn inbegrepen.

Deze studies laten zien dat in het groeiseizoen het effect van de zeespiegelstijging op de effectiviteit van het IZZS zeer beperkt is: door de *momentane* spoeldebieten door de kolken aan te passen kan het *gemiddelde* watergebruik van de sluisen gelijk worden gehouden en daarmee blijft ook de zoutindringing praktisch gelijk. Dit vraagt dan wel om het bouwen van pompen op het zogenaamde Laagbekken: in dit bekken wordt gebruikt als het water op de Oosterschelde hoger staat dan op het VZM. Het wordt dan gebruikt om het spoeldebiet op te vangen, maar ook het inkomende schutdebiet zodat dit zoutere water uit de sluiskolken niet naar het VZM stroomt. Door stijging van de zeespiegel zal dit bekken eerder vol raken en bovendien kan het op een zeker moment niet meer rond laagwater worden gelegegd op vrij verval. Daarvoor moeten er dan pompen worden ingezet.

De beschouwing gaat in deze rapporten tot een zeespiegelstijging van 0,80 m, maar dit is ook te verwachten bij grotere stijgingen.⁴ Het t.z.t. inbouwen van pompen op het Laagbekken is reeds voorzien en daarom kan dit worden beschouwd als 'beleidsarm', oftewel als onderdeel van de 'autonome ontwikkeling', waardoor voor de nu beschouwde waarden van

⁴ Zie Tabel 4.1 in [4] en de voetnoot daarbij: het momentane spoeldebiet door de kolk loopt met zeespiegelstijging tot 0,8 m op van 9 naar 14 m³/s, maar blijkens de voetnoot bij deze tabel mag dit verder oplopen naar 20 m³/s.

de zeespiegelstijging de afvoer in het groeiseizoen op 9 m³/s gehandhaafd kan blijven met een beperkte toename van de zoutindringing naar het VZM.

Buiten het groeiseizoen speelt de teruglopende afvoercapaciteit van het SPVM een rol, waardoor, bij oplopende zeespiegelstijging, het VZM minder goed kan worden doorspoeld en het zoutgehalte aan het begin van het groeiseizoen al hoger is, en daardoor ook aan het eind van het groeiseizoen.⁵ Het is op dit moment niet duidelijk of er bij de aanbesteding van de ombouw rekening is gehouden met dit toekomstige tekort aan afvoercapaciteit, en daarmee is het ook niet duidelijk of eventuele toekomstige voorzieningen kunnen worden beschouwd als 'autonome ontwikkeling'. Voor het invullen van de tabellen met doorspoeldebieten moet hier een keuze worden gemaakt.

Voordat daarop wordt ingegaan hieronder in het kort wat andere rapporten melden over de invloed van zeespiegelstijging op de werking van de IZZS.

Het teruglopen van de te realiseren afvoer via het SPVM is niet meegenomen in [5] (zie Tabel 3.3 van [5]: de debieten via de Krammersluizen blijven gelijk met oplopende zeespiegelstijging, en dat kan niet zonder aanvullende voorzieningen). Dit teruglopen van de te realiseren afvoer zal ertoe leiden dat er in de wintermaanden (buiten het groeiseizoen) een grotere zoutlast richting VZM is dan waarvan wordt uitgegaan in [5].

Door Arcadis Hydrologic [2] wordt erover gesproken dat de IZZS faalt bij een zeespiegelstijging van 1,25 m. Uit het rapport is echter niet goed op te maken of ze daarbij doelen op het debiet door schutkolken of het debiet door het SPVM. Zoals al besproken speelt de invloed van de zeespiegelstijging vooral buiten het groeiseizoen, namelijk door het teruglopen van het te realiseren debiet via het SPVM, maar dit gebeurt geleidelijk en niet abrupt zoals het rapport [2] suggereert.

Naarmate de zeespiegel stijgt loopt het af te voeren debiet via het SPVM dus terug, met nadelige gevolgen voor het zout-beheer van het VZM. Dit kan worden opgevangen met extra afvoer via Bath, maar dat vraagt dan om een groter debiet dan via de Krammersluizen: het afvoeren via de Krammersluizen gebeurt namelijk met een hoger zoutgehalte en het heeft meteen ook een reducerend effect op de zoutindringing.

Er zijn dus twee benaderingen denkbaar voor het handhaven van het maximum zoutgehalte op het VZM:

- het bouwen van een gemaal naast (of i.p.v.) het SPVM om daarmee het debiet via de Krammersluizen min of meer constant te kunnen houden, waarmee dan ook de aanvoer via de Volkerkdam min of meer constant blijft, of
- het sturen van een groter debiet naar Bath, dat dan ook door de Volkeraksluizen moet worden aangevoerd.

Wat die laatste optie betreft: bij een zeespiegelstijging van ca. 0,82 m kan er daggemiddeld nog ca. 7 m³/s via de Krammersluizen worden afgevoerd (zie Figuur 8.53). Dat is onvoldoende voor de winterdoorspoeling. De overige 13 m³/s zou via Bath kunnen worden gestuurd, maar door de lagere effectiviteit zou dat orde twee keer zoveel moeten zijn, dus ca. 26 m³/s. Dit past nog binnen de afvoercapaciteit van de Bathse Spuisluis (zie Figuur 8.52). Kijken we iets verder vooruit, naar een zeespiegelstijging van 1,25 m, waarbij we dan nog

⁵ In deze studie is gebruik gemaakt van een jaarreeks van beschikbare afvoer, geconstrueerd op basis van een opgetreden droog jaar (2003) waarin er ook in de wintermaanden minder dan 29 m³/s beschikbaar was voor het doorspoelen van het VZM. Daardoor blijft in die studie de afvoercapaciteit van het SPVM langer voldoende dan wanneer wordt uitgegaan van een benodigde capaciteit van 20 m³/s.

steeds 20 m³/s via de Krammersluizen zouden willen sturen, dan moet dat waarschijnlijk meer dan 40 m³/s worden bij Bath, en dan zitten we daar al meteen tegen de maximale capaciteit aan. Dat is eigenlijk geen optie. Daarbij komt dat de perioden met lage afvoer en droogte langer zouden kunnen worden, waardoor de periode voor het doorspoelen in de winter korter wordt, en eigenlijk meer debiet zou vragen.

Deze overwegingen maken het waarschijnlijker dat er op den duur extra afvoercapaciteit bij de Krammersluizen zal worden bijgebouwd: mogelijk eerst in de vorm van een grotere spui-capaciteit, maar uiteindelijk ook in de vorm van een gemaal. Vanuit de noodzaak voor het waterbeheer beschouwen we dit als onderdeel van een 'autonome ontwikkeling' en in die zin 'beleidsarm'.

Voor het bepalen van de doorspoelbehoeften voor de Deltascenario's, die aansluiten bij de bestaande werking van het watersysteem, wordt de bestaande c.q. toekomstige situatie na ombouw van de Krammersluizen naar de IZZS, aangevuld met de volgende voorzieningen:

- er komen pompen op het Laag Bekken voor het functioneren van de zout-zoetscheiding gedurende het groeiseizoen; de afvoer via de schutkolken blijft dan 9 m³/s;
- daarnaast wordt er voor gezorgd dat er in de winter voldoende doorspoeling kan worden gerealiseerd, equivalent aan een afvoercapaciteit van 20 m³/s via het SPVM; dit kan de vorm krijgen van een groter debiet via Bath, maar op de langere duur zal er behoefte zijn aan het vergroten van de spui-kokers en/of het bouwen van een gemaal naast of i.p.v. het SPVM;
- door het tweede wordt er o.a. voor gezorgd dat 9 m³/s in de zomer voldoende is voor het handhaven van het zoutgehalte op het VZM.

H.3.3 Waterbalans in de zomer bij ZSS en bij huidige schutbedrijf:

- In [5] wordt uitgegaan van een waterbeschikbaarheid van 40 m³/s via de doorlaatsluizen in de Volkerakdam. Bij dit aanvoerdebiet (en onder de aanname van voldoende afvoercapaciteit bij de Krammersluizen, ook bij zeespiegelstijging) kan de Chloride-norm bij Bath worden gehaald. Bij 25 m³/s via de Volkerakdam lukt dit niet meer.
- In de referentie-situatie wordt uitgegaan van een afvoer via de Eendracht (Bath en Kreekrak tezamen) van 22.5 m³/s. Dit komt ongeveer neer op het spuien met één koker bij Bath gedurende elk laag water op de Westerschelde, en dat is dan exclusief een debiet via de Kreekraksluizen. Verder wordt aangenomen een debiet van 8.8 m³/s via de Krammer, oplopend naar 13,5 m³/s in 2028: het is niet duidelijk hoe deze toename is bepaald; mogelijk is dit gerelateerd aan een veronderstelde toename van de scheepvaart, maar die toename vervalt (zie hieronder): aan te houden 9 m³/s conform [3] en [4].
- Vergelijkenderwijs: 40 m³/s via Volkerak is groter dan 22.5 + 9 = 31.5 m³/s via Bath en Krammer; als we die marge beschouwen als nodig voor verdamping en onttrekkingen voor beregning, dan sluiten de getallen op elkaar aan.

Op basis van bovenstaande is de doorspoelbehoefte voor de Krammersluizen voor de huidige schutoperatie dus voor alle waarden van de zeespiegelstijging gelijk aan 9 m³/s.

H.3.4 Krammersluizen - schutoperatie

Alle berekeningen zoals uitgevoerd voor de Krammersluizen, zowel door Deltares als door Arcadis/Hydrologic, zijn gebaseerd op een SIVAK-simulatie van de verkeersafwikkeling (en daarmee de sluis-operatie) voor een verkeersprognose voor 2045, opgesteld door Ecorus in

2008 ([6] en [7]). Gezien het jaartal van de prognose en de economische ontwikkelingen sinds het opstellen ervan is de nauwkeurigheid hiervan beperkt. Ondanks dat houden we deze schutoperatie ook aan voor 2050, en daarmee blijft voor zichtjaar 2050 de afvoer via de Krammersluizen in de zomer gelijk aan $9 \text{ m}^3/\text{s}$.

Met de ombouw van de Krammersluizen naar de nieuwe manier van zout-zoetscheiden is er echter een winst in schut-capaciteit ontstaan: de schutcyclus duurt korter en er kan dus vaker worden geschut. Dit impliceert dat de sluisen nog niet op hun maximale capaciteit zitten. Voor de scenario's met hoge socio-economische groei voor het zichtjaar 2100 moet deze maximale schut-capaciteit nog worden bepaald.

Een enigszins nette kwantitatieve verkenning van deze invloed zou kunnen bestaan uit de volgende stappen:

- het vatten van de operatie zoals tot nu toe gehanteerd in termen van een aantal schuttingen per etmaal en een kalibratiefactor voor de deur-opentijden (C_{DOT});
- het onderzoeken met behulp van de Zeesluisformulering (ZSF) van de impact van een variatie aantal schuttingen en C_{DOT} op het zouttransport;
- vertalen van de toename in het zouttransport naar een toename van de doorspoelvraag, bv gebruikmakend van de kennis over hoe zeespiegelstijging leidt tot een toename van het zouttransport en de doorspoelvraag.

Voor een dergelijke verkenning is nu echter geen tijd beschikbaar. Om die reden wordt een eenvoudiger insteek gekozen.

De verhaallijnen Deltascenario's '23 spreken over een toename van het vervoerd gewicht van 34% in 2040. Voor 2100 worden er geen percentages genoemd.

Voor het jaar 2100 zou, als eerste ruwe benadering, gekeken kunnen worden naar wat er zou gebeuren als er in 2100 1,5 keer zoveel schepen zouden moeten passeren als verwacht voor 2045 (en nu aangenomen voor 2050). De gevolgen hiervan worden hieronder uitgewerkt.

Hoge groei – Lage uitstoot: zeestand is 0.47 m:

- Huidige operatie:
 - o de *momentane* afvoer door de schutkolken bij zeestand 0.47 is ca. $11,5 \text{ m}^3/\text{s}$ (volgens [4], door interpolatie in Tabel 4.1),
 - o de gemiddelde afvoer door de schutkolken is daarbij $9 \text{ m}^3/\text{s}$;
- toename scheepvaart bij gelijkblijvende momentane afvoer:
 - o bij de Krammersluizen zal dan de totale deur-opentijden ca. 1,5 x zo lang worden als, gevolg van meer schuttingen en schuttingen met meer schepen in de kolk⁶;
 - o daarmee gaat ook de gemiddelde afvoer omhoog van 9 naar ca. $13,5 \text{ m}^3/\text{s}$;
- echter: bij gelijkblijvende momentane afvoer via de kolken gaat zoutindringing ook omhoog met factor 1,5; dit is op te vangen door een toename van de afvoer via de schutkolken met een factor 1,5 (aanneme); dit geldt dan voor zowel de momentane als de gemiddelde afvoer door de schutkolken:
 - o de momentane afvoer gaat naar $17,3 \text{ m}^3/\text{s}$;
 - o de gemiddelde afvoer via de schutkolken wordt ca. $20 \text{ m}^3/\text{s}$;

⁶ Dat is niet overal het geval, maar wel bij de Krammersluizen: om de zoutindringing beperkt te houden zal er veel aandacht moeten zijn voor het gesloten houden van de deuren als er geen schepen in- of uitvaren; alleen dan kan de doelstelling wat betreft het beperkt houden van de zoutindringing worden gerealiseerd.

Hoge groei – Hoge uitstoot: zeestand is 0.85 m:

- Huidige operatie:
 - o De momentane afvoer door de schutkolken bij zeestand 0.85 is ca. 14,5 m³/s (extrapolatie o.b.v. Tabel 4.1 in [4]; zie ook voetnoot 3));
 - o de gemiddelde afvoer door de schutkolken is nog steeds 9 m³/s;
- toename scheepvaart bij gelijk blijvende momentane afvoer;
 - o de gemiddelde afvoer gaat omhoog van 9 naar ca. 13,5 m³/s;
- bij gelijkblijvende momentane afvoer via de kolken gaat zoutindringing omhoog met factor 1,5; dit kan nog grotendeels worden opgevangen met toename afvoer via de schutkolken door het momentane spoeldebiet op te voeren tot 20 m³/s; dit is de limiet om hinder voor de scheepvaart te voorkomen;
 - o door de toename van het momentane spoeldebiet van 14,5 naar 20 m³/s wordt een factor 1,4 gerealiseerd waar 1,5 nodig was (er is nog een toename van ca. 10% 'ongedekt').
 - o De gemiddelde afvoer via de schutkolken gaat ook met deze factor omhoog van 13,5 naar 18,6 m³/s
- de nog op te vangen toename van 10% kan worden gecompenseerd met extra afvoer via het SPVM; dit is echter minder effectief dan afvoer via schutkolken: om toename van de zoutindringing met 10 % te compenseren, is mogelijk een extra afvoer nodig van 20% (aanname):
 - o gemiddelde afvoer via schutkolken: van 13,5 naar 18,6 m³/s;
 - o extra afvoer via SPVM: 20% van 13,5 is ca. 3 m³/s;
 - o totale afvoer in het groeiseizoen: ca. 22 m³/s.

Bovenstaande redenering levert schattingen voor de nog ontbrekende getallen voor de afvoeren via de Krammersluizen in het groeiseizoen. Deze redenering laat twee belangrijke dingen zien:

- Het handhaven van het zoutgehalte op het VZM zal niet meer mogelijk zijn binnen de grens van 9 m³/s gerelateerd aan o.a. de kweek van mossels en kreeften op de Oosterschelde. Het overschrijden van die grens wordt, bij gebrek aan andere mogelijkheden, beschouwd als 'autonome ontwikkeling' en daarmee als 'beleidsarm'.
- Bij een zeespiegelstijging van 0,82 m (hoge uitstoot, 2100) is nog een gemiddelde afvoercapaciteit via het SPVM beschikbaar van ca. 7 m³/s (zie Figuur 8.53). In de zomermaanden is er dus nog voldoende afvoercapaciteit. Echter, zoals al eerder is afgeleid, zal zeespiegelstijging gaan vragen om extra afvoercapaciteit via het nog te bouwen SPVM om in de wintermaanden in staat te zijn het VZM voldoende door te spoelen.

H.3.5 Resultaat: afvoer via de Krammersluizen tijdens het groeiseizoen

De uitkomsten van bovenstaande beschouwingen zijn samengebracht in onderstaande tabel. Deze geeft de doorspoelbehoeften in het groeiseizoen die nodig zijn om te blijven voldoen aan het maximale zoutgehalte op het VZM.

Tabel 8.37 Doorspoelbehoeften Krammersluizen

Doorspoelbehoefte (debiet) bij zeestand en schutoperatie		Lage uitstoot			Hoge uitstoot		
		Zeestand [m NAP]	Schutoperatie	Debiet [m ³ /s]	Zeestand [m NAP]	Schutoperatie	Debiet [m ³ /s]
Referentie		0.03	huidige operatie	huidig	0.03	huidige operatie	huidig
Zichtjaar 2050	Hoge groei	0.27	huidige operatie	9	0.30	huidige operatie	9
	Lage groei	0.27	huidige operatie	9	0.30	huidige operatie	9
Zichtjaar 2100	Hoge groei	0.47	max. capaciteit	20	0.85	max. capaciteit	22
	Lage groei	0.47	huidige operatie	9	0.85	huidige operatie	9

Met deze afvoer via de Krammersluizen en een gelijkblijvende afvoer via Bath / Kreekrak zijn dan de afvoeren via de Volkeraksluizen te bepalen.

Wellicht ten overvloede: met het stijgen van de zeespiegel zal ook het peil op het Hollandsch Diep toenemen (zie ook hieronder). Als het peil op het VZM gehandhaafd blijft zal met het toenemen van het verval ook de afvoercapaciteit van de doorlaatsluizen in de Volkerakdam toenemen. Om die reden was er geen reden om een check te doen op de afvoercapaciteit van deze doorlaatsluizen.

H.4 Haringvliet

Zolang er geen wijzigingen zijn in de inrichting van het watersysteem van de Benedenrivieren zal het peil van het Haringvliet meestijgen met de stijging van de zeespiegel. Dit omdat de bestrijding van de zoutindringing via de Nieuwe Waterweg ervoor zal zorgen dat bij lage Rijnaafvoer de spuisluizen in de Haringvlietdam gesloten zullen zijn, net als nu, en er dus eigenlijk niks veranderd (afgezien van een verandering van de waterdiepten). Als de waterstanden aan weerszijden van de Haringvlietdam dus gelijkelijk stijgen, zal het gemiddelde verval niet veranderen. Een verandering van de zoutindringing via de schut- en spuisluizen is dus beperkt tot de invloed van een hogere waterstand aan weerkanten van de kunstwerken.

De zoutindringing door de schutsluis, de Goereese Sluis, zou iets kunnen toenemen door de grotere waterdiepte boven de drempels, waardoor de kolkuitwisseling sneller loopt en er meer uitwisseling is per periode dat een van de deuren open staat. Dit zou berekende kunnen worden met behulp van de Zeesluisformulering (ZSF), om daarmee te komen tot een schatting van de toename van de doorspoelbehoefte. Gegevens voor een dergelijke berekening zouden o.a. gehaald kunnen worden uit [9] of recentere bronnen.

Daarnaast zal er sprake zijn van een toename van de lekverliezen langs de schuiven van de spuisluizen, gedurende de tijd dat de zee hoger staat dan het peil op het Haringvliet: niet omdat het drukverschil groter is, maar omdat dit werkt over een grotere (verticale) lengte van de afdichtingen langs de schuiven. Omdat de spuisluizen zijn voorzien van een dubbele set schuiven, voorzien van rubberen afdichtingen, en omdat de toename van de verticale

lek lengte beperkt is t.o.v. de totale lek lengte zal de verandering van het lek debiet beperkt zijn.

Op basis van bovenstaande overwegingen kan de aanname gedaan worden dat de huidige beperkte doorspoelvraag ongeveer gelijk zal blijven.

H.5 IJmuiden

In het kader van de bouw van de nieuwe Zeesluis te IJmuiden is uitgebreid onderzoek gedaan naar de te verwachten toename van de zoutindringing die het gevolg zal zijn van het *vervangen* van de Noordersluis door een nieuwe grotere sluis (Zeesluis IJmuiden) en hoe de toename in zoutindringing gemitigeerd zou kunnen worden. Een veelheid van studies uitgevoerd door Deltares heeft uiteindelijk geleid tot de keuze voor de bouw van een Selectieve Onttrekking een tot het hydraulisch ontwerp daarvan.

Een van de uitkomsten hiervan was dat de te verwachten toename van de zoutindringing zich niet geleidelijk zou voordoen, met het groeien van de ladingstroom, maar direct bij ingebruikstelling van de nieuwe sluis (en buitengebruikstelling van de Noordersluis) [10]. De zoutindringing was in beide gevallen (initiële bezetting en toekomstige maximale bezetting) nagenoeg aan elkaar gelijk.

Dit betekent dat, voor IJmuiden, er geen onderscheid wordt gemaakt tussen de Lage- en Hoge-groeiscenario's. De vraag voor de Delta-scenario's is daarmee beperkt tot de invloed van zeespiegelstijging op de doorspoelbehoefte van het Noordzeekanaal – Amsterdam-Rijnkanaal.

Om deze vraag te beantwoorden is gebruik gemaakt van een (zeer) eenvoudig balansmodel van het Noordzeekanaal, opgezet ten tijde van de inbedrijfstelling van de nieuwe Zeesluis te IJmuiden: op dat moment is aan Deltares advies gevraagd omtrent de extra zoutindringing die het gevolg zou zijn van test-schuttingen met de nieuwe Zeesluis naast de reguliere schuttingen van de Noordersluis [11].

Het balansmodel bevat de schut- en spuisluisen sluisen in IJmuiden (voor de kleinere schutsluisen zijn constante transporten aangehouden), het NZK als twee 'bakjes' (de Velserskom en het kanaal), heeft een afvoer die over de hele lengte constant is, en beschrijft (ruw) de dispersieve en advectioneel transporten tussen de elementen in het model. Het balansmodel was afgeregeld op jaargemiddelde waarden in de (toenmalige) situatie met de Noordersluis en nog zonder Selectieve Onttrekking. Eén van de parameters in dat model is een factor tussen het dieptegemiddelde zoutgehalte in de Velserskom en het zoutgehalte in de afvoer via het spui- en maalcomplex. Deze factor, afgeregeld op resultaten uit o.a. 3D-modelberekeningen en meetgegevens, was kleiner dan 1, passend bij het relatief ondiepe spuikanaal t.o.v. de Velserskom.

Voor de toekomstige situatie met de nieuwe Zeesluis en de Selectieve Onttrekking (en zonder de Noordersluis) is dit model aangepast door het toepassen van een factor van 1,5 voor de werking van de Selectieve Onttrekking. Daarnaast is de operatie met de Noordersluis vervangen door de (toekomstige) operatie met de nieuwe Zeesluis. Hieruit volgen om en nabij dezelfde zoutgehalten in de Velserskom en op het kanaal, zoals ook het uitgangspunt was voor de studies inzake het hydraulisch ontwerp van de Selectieve Onttrekking. Een verdere aanpassing van het balansmodel bleek niet nodig om antwoorden te genereren voor de huidige vraag.

Met dat model is vervolgens gekeken wat er bij zeespiegelstijging aan *extra debiet* nodig is om het zoutgehalte op het kanaal op dezelfde waarde te houden, uitgaande van de jaargemiddelde afvoer van 68 m³/s: dit is gedaan op basis van 'trial and error'. Het 'surplusdebiet' dat hier uitkomt is weergegeven in onderstaande tabel: bij kleine waarden voor de zeespiegelstijging is dit surplusdebiet gering; het loopt op naar +7 m³/s bij de hoogste waarde voor de zeespiegelstijging.

Tabel 8.38 Surplusdebieten bij IJmuiden

Doorspoelbehoefte (debiet) bij zeestand en schutoperatie		Lage uitstoot			Hoge uitstoot		
		Zeestand [m NAP]	Schutoperatie	Debiet [m ³ /s]	Zeestand [m NAP]	Schutoperatie	Debiet [m ³ /s]
Referentie		0.05	huidige operatie	huidig	0.05	huidige operatie	huidig
Zichtjaar 2050	Hoge groei	0.29	max. capaciteit	+2	0.32	max. capaciteit	+2
	Lage groei	0.29	huidige operatie	+2	0.32	huidige operatie	+2
Zichtjaar 2100	Hoge groei	0.49	max. capaciteit	+4	0.87	max. capaciteit	+7
	Lage groei	0.49	huidige operatie	+4	0.87	huidige operatie	+7

De vraag kan gesteld worden of deze surplusdebieten ook gelden voor een zomersituatie met een veel lagere afvoer bij IJmuiden van 35 m³/s (i.p.v. 68 m³/s jaargemiddeld). Daarvoor is opnieuw het balansmodel gebruikt. Eerst is opnieuw een berekening gedaan de 'oude' situatie met de Noordersluis en vervolgens een voor de toekomstige situatie met de nieuwe Zeesluis en de Selectieve Onttrekking. Met dezelfde factor op het zoutgehalte van 1,5 sluiten de beide situaties goed op elkaar aan.

De zoutgehalten in het kanaal en in de Velserkom zijn daarbij wel veel hoger, maar niet onrealistisch hoog. Hoe die waarden corresponderen met gemeten waarde in een zomersituatie is niet verder nagegaan. De responstijd van het systeem is wel korter: in de oude situatie loopt het zoutgehalte langzaam op: na 60 dagen van 35 m³/s is het zoutgehalte nog steeds licht aan het stijgen. In de toekomstige situatie is het zoutgehalte op het kanaal binnen 60 dagen wel stabiel. Dit sluit aan op eerdere bevindingen waarin beide situaties zijn doorgerekend met een 3D-model: de dynamiek in het zoutgehalte is in de toekomstige situatie groter dan in de oude situatie.

Ook voor deze situatie zijn de surplusdebieten bepaald zoals nodig om bij zeespiegelstijging het zoutgehalte gelijk te houden. Deze waarden zijn om en nabij gelijk aan de waarden in de tabel hierboven. Bij de hoogste waarde voor de zeespiegelstijging is het surplusdebiet zelfs iets kleiner, mogelijk als gevolg van het zouter worden van de Velserkom en het handhaven van de factor 1.5.

Dat betekent dus dat de surplus debieten vastgesteld voor jaargemiddelde afvoer ook van toepassing geacht mogen worden op de zomersituatie. Daarbij wordt de kanttekening gemaakt dat het zoutgehalte bij lage afvoer sneller zal oplopen dan tot nu toe gebruikelijk is. Dit effect maakt echter onderdeel uit van de referentie-situatie en staat los van zeespiegelstijging of toename van de ladingstroom.

Ook in IJmuiden zal de zeespiegelstijging leiden tot een afname van de spuicapaciteit. Door het streefpeil van NAP-0,40 m op het NZK en door de beperkte getijslag bij IJmuiden is deze capaciteit nu al beperkt en deze zal al bij enkele decimeters richting nul gaan. De in IJmuiden reeds aanwezige pompcapaciteit wordt in staat geacht het doorspoeldebiet t.b.v. het zoutbeheer af te voeren. Vragen omtrent toekomstig peilbeheer op het NZK vallen buiten deze beschouwing.

H.6 Afsluitdijk

H.6.1 Inleiding

Voor doorspoeling van het IJsselmeer is bij de Afsluitdijk in de huidige situatie 40 m³/s beschikbaar voor het zoethouden van de drinkwaterinnamepunten bij Andijk. Dit is gebaseerd op de ervaring met recente droge zomers zoals in 2018. In het Waterakkoord Noord Nederland staat 44 m³/s voor categorie 2.1, opgebouwd uit 4 m³/s voor drinkwateronttrekking door PWN bij Andijk en 40 m³/s om de drinkwaterpunten voldoende zoet te houden [12].

Het zoutbeheer werkt in het IJsselmeer anders dan in de overige aandachtsgebieden. Dit heeft ook invloed op de schattingen voor de watervraag in 2050 en 2100.

- In het huidige beheer wordt het bovengenoemde spoeldebiet van 40 m³/s in droge perioden namelijk hoofdzakelijk ingezet om in crisissituaties de gevolgen van de zoutlek bij de spuisluizen in de Afsluitdijk te beheersen door eenmaal in de 5,5 à 7 dagen het in de erosiekuilen aanwezige zoute water uit te spoelen met een flinke spui. In dergelijke situaties zijn al diverse aanvullende maatregelen van kracht, zoals het stoppen met visvriendelijk spuien en het sluiten van beide deuren op de spuisluizen. Een dergelijke situatie deed zich voor in de zomer van 2022. De zoutlast van de scheepvaartsluizen (met schutbeperkingen) wordt onder dergelijke omstandigheden maar voor een heel klein deel met de incidentele spuien afgevoerd omdat het zout, gezien de lange periode van 5,5 – 7 dagen, zich voornamelijk vanuit de binnenhavens verder het IJsselmeer op zal verspreiden. De zoutlast van de scheepvaartsluizen zal in dergelijke droge perioden daarom voornamelijk bijdragen aan het verhogen van het zoutgehalte in het IJsselmeer. In het natte seizoen wordt dit zout geleidelijk weer uitgespoeld.

Onder normale zomerse (droge) condities wordt geadviseerd 70 m³/s doorspoeldebiet aan te houden, waarbij 30 m³/s voor natuur (vismigratie) en enige extra marge in het zoutbeheer wordt ingezet ten opzichte van de 40 m³/s uit de crisissituatie, zie [21].

We richten ons in eerste instantie op schattingen voor de crisissituatie. De vraag is nu wat het benodigde spoeldebiet in zeer droge perioden zal zijn om de drinkwaterinname punten bij Andijk zoet te houden bij de stijgende zeespiegel en de economische ontwikkelingen van de Deltascenario's. Dit is sterk afhankelijk van toekomstige maatregelen op of bij de scheepvaartsluizen en spuisluizen. Weliswaar zijn deze maatregelen onderwerp van onderzoek, maar de toekomst in de Deltascenario's wenst men 'beleidsarm' in te steken. Bij de schattingen van het spoeldebiet hieronder maken we onderscheid tussen de spuisluizen en de schutsluizen. De schattingen van het spoeldebiet voor de spuisluizen worden gepresenteerd in een aantal stappen, mede om het probleem te illustreren:

- Eerst worden schattingen gegeven voor de Deltascenario's bij een ongewijzigd zoutbeheer en de huidige spuisluizen. Daarbij wordt tevens naar de spuicapaciteit gekeken, om vast te stellen wanneer deze aanpak onmogelijk wordt.
- Vervolgens wordt voor Den Oever gekeken wat de uitbreiding met 2 gemalen en 2 spuigroepen betekend voor het bestaande zoutbeheer gerelateerd aan de

spuisluizen. Ook hier wordt naar de spuicapaciteit gekeken, omdat men aanvankelijk zo min mogelijk wenst te pompen (onder het motto: 'spuien als het kan, pompen alleen als het moet').

- Tenslotte wordt gekeken wat de uitbreiding met gemalen bij Den Oever en Kornwerderzand kan betekenen voor de watervraag voor de bestrijding van de verzilting door de spuisluizen en gemalen.

Vervolgens wordt besproken wat de toename van de zoutlast bij de Afsluitdijk onder invloed van zeespiegelstijging betekent voor het zoutgehalte in het IJsselmeer zelf (dus los van de spui- en maalcomplexen en de daarbij behorende kuilen). Deze toename vindt plaats bij de scheepvaartsluizen, maar de spuisluizen en pompen leveren ook een bijdrage. Besproken wordt hoe dit aspect van de verzilting is te bestrijden in de Deltascenario's.

Door de gemaakte schattingen van spoeldebieten voor de meest aannemelijke configuraties van spuisluizen en pompen te combineren in de Deltascenario's wordt tenslotte de totale watervraag voor de bestrijding van verzilting van het IJsselmeer in droge perioden verkregen.

H.6.2 Huidige spuisluizen en zoutbeheer

H.6.2.1. Methode voor schatting spoeldebieten

Bij het huidige zoutbeheer van het IJsselmeer bij de Afsluitdijk wordt het debiet van 40 m³/s in droge perioden ingezet om de erosiekuilen van de spuisluizen leeg te spoelen wanneer deze vol met zoutwater zitten. Gedurende lange perioden zonder spuien lopen de erosiekuilen geleidelijk vol met zoutwater door het zoute inwaartse lekdebet van de spuisluizen. In de praktijk treedt daarbij menging op, aanvankelijk veel als de kuil nog zoet is, maar allengs minder als de kuil geleidelijk zouter wordt. Na ca. 5,5 dag bij Den Oever en ca. 7 dagen bij Kornwerderzand wordt voor de kuilen het maximum zoutgehalte bereikt tot het niveau van de drempel met het IJsselmeer (rep. ca. -4,5 en -4 m NAP). Op dat moment worden de erosiekuilen weer zoet gespoeld. Daarvoor is een flinke spui nodig met een spuivolume dat vele malen groter is dan het volume van de erosiekuil. Hiervoor is een volume nodig gelijk aan 40 m³/s maal 5,5 à 7 dagen, welk volume eventueel ontleend kan worden aan het uitzakken van het meerpeil.

We proberen nu een eenvoudige relatie op te zetten om de benodigde spoeldebieten voor de Deltascenario's te schatten. Daarvoor nemen wij het volgende aan:

- De (gemiddelde) zeespiegelstijging ten opzichte van NAP van de Deltascenario's geldt ook voor Den Oever en Kornwerderzand (d.w.z. lokale variaties worden vooralsnog verwaarloosd).
- Het verloop van het getij in de tijd verandert niet door ZSS, alleen de gemiddelde waterstand op zee wordt hoger onder invloed van zeespiegelstijging. We beschouwen de (in- en uitgaande) lekdebieten op basis van één 'gemiddelde' getijcyclus. De (gemiddelde) getijkromme daarvoor is ontleend aan de astronomische getijcurves die beginnen op 28-10-2023 om 14:40 MET voor Den Oever Buiten en om 15:30 MET voor Kornwerderzand Buiten. Deze getijcurves voldoen qua hoogte van HW en LW en MSL vrij goed aan de kenmerkende waarden van het gemiddelde getij 2011.0 volgens [13] en/of Bijlage G in [14] ⁷.
- Het meerpeil is conform het huidige beleid. Het winterpeil is -0,4 m NAP en het nieuwe zomerpeil (vanaf 2019) schommelt binnen de bandbreedte -0,10 m/-0,30 m

⁷ Netter ware het om de methode voor de gemiddelde getijcurve te volgen conform [16] voor de Rijn-Maasmonding, maar de invloed op de lekdebieten zal naar verwachting niet groot zijn. Mogelijke veranderingen in het getij zijn waarschijnlijk belangrijker.

NAP⁸. Voor de schatting van de lekdebieten is -0,3 m NAP aangehouden in verband met het uitzakken van het meerpeil in droge zomers.

- Het lekoppervlak van de spuisluizen geschat voor 2022 is ook representatief voor de toekomst. Mogelijke toekomstige reducties door renovatie van de spuideuren laten we buiten beschouwing. 2022 wordt beschouwd als een representatief jaar, omdat voldoende zorg is besteed aan onderhoud en rubber slabben om onnodige lekkage te voorkomen. Aan beide einden van de onderrand van een spuideur is doelbewust een uitsparing gelaten om het vastlopen van de deur op vuil te voorkomen. In de studie voor de validatie van het 3D model IJsselmeer [15] is voor 2022 het daaraan gerelateerde lekoppervlak A per spuideur geschat op:
 - $2 \cdot 0,20 \cdot 0,20 = 0,080 \text{ m}^2$ voor Den Oever (15 kokers) en
 - $2 \cdot 0,25 \cdot 0,25 = 0,125 \text{ m}^2$ voor Kornwerderzand (10 kokers)
 - met een aangenomen afvoercoëfficiënt $C_d = 1$.
 - Daarbij is er van uitgegaan dat de deuren dubbeldicht (d.w.z. beide deuren per koker) worden gesloten waardoor het verval in de afvoerformule halveert ($n = 2$, zie 3e formule hieronder).
- Het beheer van het zout bij de spuisluizen, gericht op het zoetspoelen van de erosiekuilen als deze vol met zoutwater zitten, wordt voor de eerste schatting gehandhaafd ('beleidsarm').
- De economische varianten uit de Deltascenario's spelen voor de schatting van de spoeldebieten voor de spuisluizen geen rol.

Het spoeldebiet van $40 \text{ m}^3/\text{s}$, beschikbaar voor zoutbestrijding bij de spuisluizen in droge perioden, zal evenredig moeten toenemen met de ontwikkeling van het lekdebiet onder invloed van zeespiegelstijging.

Het lekdebiet $Q_{lek \text{ in}}$ bij instroming van de spuisluizen van Den Oever (DO) en Kornwerderzand (KWZ), gemiddeld over de getijperiode T , is gelijk aan:

$$Q_{lek \text{ in}} = \frac{1}{T} \cdot V_{lek \text{ in}}$$

met

$$V_{lek \text{ in}} = \int_0^T Q_{lek \text{ in DO}}(t) dt + \int_0^T Q_{lek \text{ in KWZ}}(t) dt$$

De instromende lekdebieten zijn met afvoerformules af te leiden uit het waterstandsverschil over de spuisluizen:

$$Q_{lek \text{ in}} = C_d \cdot A \cdot k \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot |h_{meer} - h_{zee}|/n} \text{ voor } (h_{meer} - h_{zee}) > 0$$

Met k het aantal kokers per complex, 15 voor Den oever en 10 voor Kornwerderzand. Als de waterstand aan zeezijde lager is dan het meerpeil treedt er ook lek naar buiten op. Deze $Q_{lek \text{ uit}}$ wordt op een vergelijkbare manier bepaald voor $(h_{meer} - h_{zee}) < 0$.

H.6.2.2. Resultaten

De in- en uitgaande lekvolumes per gemiddelde getijcyclus zijn gegeven in Bijlage A (Tabel A-1 en A-2). Deze zijn afgeleid van het boven beschreven gemiddelde getij bij Den Oever Buiten en Kornwerderzand Buiten, een meerpeil van -0,3 m NAP en de gegeven lekoppervlakten voor dubbel gesloten deuren. De bijbehorende gemiddelde lekdebieten naar binnen, naar buiten en netto (positief naar binnen) zijn gegeven in Tabel 8.16 hieronder.

⁸ <https://www.rijkswaterstaat.nl/water/projectenoverzicht/ijsselmeer-zoetwatervoorraad-op-peil>.

Tabel 8.16 Schatting gemiddelde lekdebieten voor de Deltascenario's in droge perioden bij huidige zoutbeheer van de bestaande spuisluizen.

Scenario	Gem. zeeniveau (m NAP)	Q _{lek in} DO (m ³ /s)	Q _{lek uit} DO (m ³ /s)	Q _{lek in} KWZ (m ³ /s)	Q _{lek uit} KWZ (m ³ /s)	Q _{lek in} totaal (m ³ /s)	Q _{lek uit} totaal (m ³ /s)	Q _{lek in netto} totaal (m ³ /s)
2005 Ref.	0,03	2,00	-0,63	2,08	-0,77	4,07	-1,40	2,67
2050 L	0,27	2,53	-0,32	2,60	-0,44	5,14	-0,76	4,38
2050 H	0,30	2,60	-0,29	2,68	-0,40	5,28	-0,69	4,60
2100 L	0,47	3,01	-0,11	3,08	-0,21	6,08	-0,32	5,76
2100 H	0,85	3,94	0,00	4,05	0,00	7,99	0,00	7,99

De spoeldebieten worden gerelateerd aan de *inkomende* lekdebieten omdat deze bepalen hoeveel zout er binnenkomt en in de erosiekuilen wordt opgeslagen. De uitgaande lekdebieten voeren hoofdzakelijk oppervlakte water af dat over het algemeen een vrij laag zoutgehalte heeft. Deze laten we daarom buitenbeschouwing. Voor de huidige situatie is het spoeldebiet voor de spuisluizen dan afhankelijk van het inkomende lekdebiet:

$$Q_{spoel} = f \cdot Q_{lek-in}$$

Op basis van de referentie data, zie Tabel 8.40, is:

$$f = -40/4,07 = -9,82$$

Hiermee kunnen de spoeldebieten voor de deltasenario's worden geschat, zie Tabel 8.40. Deze variëren voor Den Oever en Kornwerderzand samen van 50 m³/s in het laagste scenario tot 79 m³/s in het hoogste scenario (het minteken in de tabel geeft aan dat ze naar buiten zijn gericht). Opvallend is ook dat de verdeling tussen Den Oever en Kornwerderzand bijna 1:1 is.

Een aantal waarden in de tabel zijn in grijs weergegeven. Dit wordt verderop in de tekst toegelicht.

Tabel 8.40 Schatting spoeldebieten voor de Deltascenario's in droge perioden bij huidige zoutbeheer van de bestaande spuisluizen.

Scenario	Gem. zeeniveau (m NAP)	Q _{lek in} DO (m ³ /s)	Q _{lek in} KWZ (m ³ /s)	Q _{lek in} totaal (m ³ /s)	Q _{spoel} DO (m ³ /s)	Q _{spoel} KWZ (m ³ /s)	Q _{spoel} totaal (m ³ /s)
2005 Ref.	0,03	2,00	2,08	4,07	-20	-20	-40
2050 L	0,27	2,53	2,60	5,14	-25	-26	-50
2050 H	0,30	2,60	2,68	5,28	-26	-26	-52
2100 L	0,47	3,01	3,08	6,08	-30	-30	-60
2100 H	0,85	3,94	4,05	7,99	-39	-40	-79

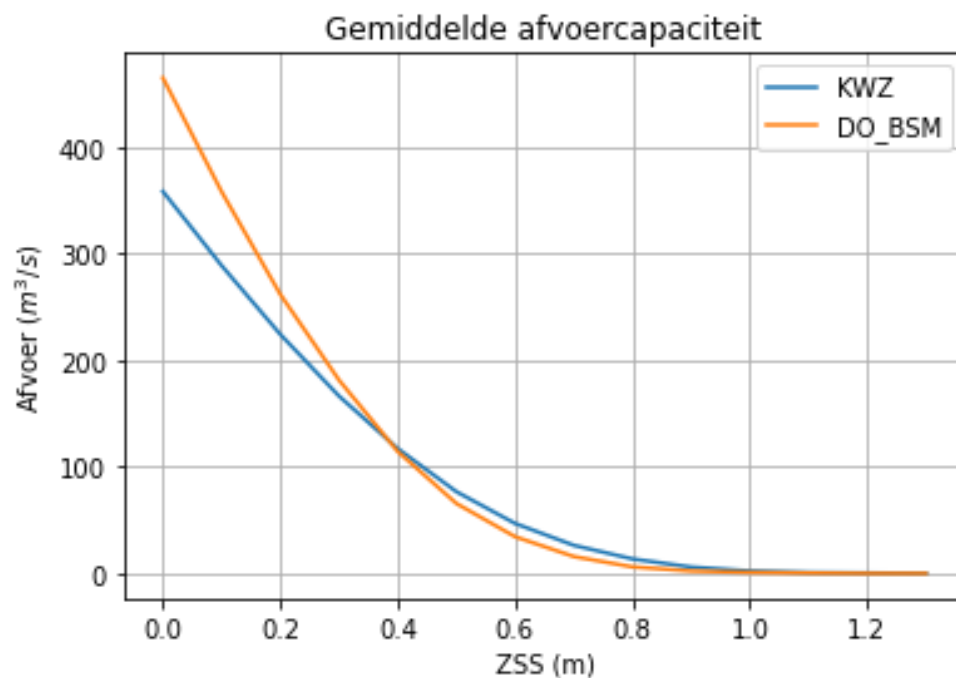
Voor de waterbalans van het IJsselmeer moet rekening gehouden worden met het netto effect van in en uitgaande lekdebieten, zie de laatste kolom van Tabel 8.16, dat naar binnen is gericht. Voor deze situatie bedragen deze echter doorgaans minder dan 10% van de (absolute waarde van) de corresponderende spoeldebieten.

Voor de zoutbalans van het IJsselmeer in de droge perioden moet ook een kanttekening worden gemaakt. Het instromende lekdebiet maakt dat eenzelfde debiet over de drempel van de kuil het IJsselmeer in zal stromen. Als het zoute lekdebiet van de spuisluis de kuil

instroomt treedt er menging op, geschat op gemiddeld ongeveer een factor 2. Dan zal de zoutconcentratie van het water dat over de drempel naar het IJsselmeer stroomt gemiddeld ongeveer de helft zijn van dat van het lekdebiet bij de spuisluizen. Het gevolg is dat circa de helft van de instromende hoeveelheid zout verder het meer inloopt, en de andere helft in de erosiekuilen achterblijft om uitgespoeld te worden⁹. Voor uitspoeling is naar ervaring ca. 20 maal zoveel water nodig als aanwezig in de kuilen, wat in het referentiescenario leidt tot het spoeldebiet van 40 m³/s. Dit verklaart ook de factor f van ~10 tussen inkomend lekdebiet en spoeldebiet.

Bij gelijkblijvend beheer, namelijk spuien als de kuil 'vol' zit, zal dus steeds de helft van zout in het lekwater naar het IJsselmeer toe gaan. Het gevolg is dat bij de toenemende lekdebieten in de Deltascenario's en ondanks de toenemende spoeldebieten het zoutgehalte in het IJsselmeer nog steeds zal oplopen, nog los van andere zoutbronnen.

Een andere kanttekening bij dit resultaat is dat de aanpak van zoetspoelen van de erosiekuilen door middel van een flinke spui op termijn niet te handhaven is omdat de bestaande spuicapaciteit afneemt door zeespiegelstijging. Dit wordt geïllustreerd door de gemiddelde spuicapaciteit van Den Oever en Kornwerderzand uit te zetten tegen zeespiegelstijging, zie Figuur 8.54. De gemiddelde spuicapaciteit is bepaald op basis van de opgetreden buitenwaterstanden in het jaar 2022, verhoogd met zeespiegelstijging, en een meerpeil van -0,3 m NAP voor de bestaande 15 spuiokers bij Den Oever en 10 spuiokers bij Kornwerderzand. Daarbij is uitgegaan van de kokerbreedte van 12 m en een drempelhoogte van -4,7 m NAP, en een afvoercoëfficiënt van 1,0 (globale waarden voor drempelhoogte en afvoercoëfficiënt). Bij afnemende spuicapaciteit kan het beheer misschien nog een tijdje gerekt worden door wat frequenter kleinere spuien in te zetten, waarbij de erosiekuilen dan niet volledig zoetspoeld zullen worden.



Figuur 8.54 Gemiddelde spuicapaciteit bestaande spuisluizen Den Oever (BSM DO) en Kornwerderzand (KWZ) als functie van zeespiegelstijging (ZSS).

⁹ De redenatie gaat uit van de inkomende lekdebieten. De uitgaande lekdebieten hebben een veel lager zoutgehalte en de (reducerende) bijdrage daarvan is verwaarloosd.

Uit bovenstaande figuur blijkt dat voor het hoge scenario 2100 H (Gemiddeld zeeniveau 0,85 m NAP) de spuicapaciteit nodig voor zoutbeheer in droge perioden volgens de huidige methode vrijwel geheel ontbreekt bij zowel Den Oever als Kornwerderzand (gemiddelde spuicapaciteit resp. 5 en 12 m³/s), tenzij het meerpeil zou worden verhoogd. Het is duidelijk dat in dit scenario de huidige methode van zoetspoelen door spuien niet meer mogelijk is. De betreffende spoeldebieten voor 2100 H in Tabel 8.40 zijn daarom grijs weergegeven. Voor de andere scenario's zijn de afwegingen wat lastiger.

- Voor het lage scenario 2100 L (Gemiddeld zeeniveau 0,47 m NAP) is bij Den Oever en Kornwerderzand resp. ca. 90 en 95 m³/s aan gemiddelde spuicapaciteit beschikbaar (totaal 185 m³/s), zie Figuur 8.54. Alhoewel dit ruim voldoende lijkt met oog op het benodigde spoeldebiet van 60 m³/s, moet ook bedacht worden dat een 'flinke spui' nodig is om de kuilen schoon te spoelen. In de huidige situatie hoort bij zo'n flinke spui een totaal debiet van 480 m³/s gemiddeld over 1 getijcyclus (40 m³/s over 6,2 dagen/12 getijcycli, gemiddeld over 1 getijcyclus). Op vergelijkbare wijze kan dit uitgesplitst worden voor Den Oever (20 m³/s over 5,5 dagen) met een spui van ca. 210 m³/s gemiddeld over 1 getijcyclus, en voor Kornwerderzand met een spui ca. 270 m³/s gemiddeld over 1 getijcyclus (20 m³/s over 7 dagen). Om het hogere spoeldebiet van 60 m³/s te realiseren in plaats van de huidige 40 m³/s zou met de bestaande spuicapaciteit al vaker gespuid moeten worden. Maar omdat de beschikbare gemiddelde spuicapaciteit per spuicomplex met 90 a 95 m³/s veel lager is dan nu, zal nog vaker gespuid moeten worden waarbij de kuil waarschijnlijk maar gedeeltelijk kan worden zoetgespoeld. Vermoedelijk is het huidige zoutbeheer bij de spuisluizen dan ook niet meer houdbaar. Daarom zijn ook de spoeldebieten voor 2100 L in Tabel 8.40 in grijs zijn weergegeven.
- Voor scenario 2050 H (Gemiddeld zeeniveau 0,30 m NAP) is bij Den Oever ca. 205 m³/s en bij Kornwerderzand ca. 185 m³/s spuicapaciteit beschikbaar (totaal 390 m³/s), zie Figuur 8.54. Omdat het benodigde spoeldebiet nu lager is (52 m³/s) is het huidige zoutbeheer bij de spuisluizen wellicht nog houdbaar.
- Voor scenario 2050 L (Gemiddeld zeeniveau 0,27 m NAP) is bij Den Oever ca. 230 m³/s en bij Kornwerderzand ca. 200 m³/s spuicapaciteit beschikbaar (totaal 430 m³/s), zie Figuur 8.54. Aangezien het benodigde spoeldebiet nu nog ietsje lager is (50 m³/s) is het huidige zoutbeheer bij de huidige spuisluizen vermoedelijk in grote lijnen nog wel houdbaar.

Wanneer (extra) gemalen nodig zijn en de spuisluizen niet significant meer aan de afvoercapaciteit bijdragen kan verdere zoutlek door de spuisluizen voorkomen worden door deze permanent (waterdicht) af te sluiten. In plaats daarvan komt er mogelijk zoutlek door de nieuwe gemalen. Dit lost het probleem van de zoutlek naar binnen dus niet op.

Een andere verandering is dat bij Den Oever thans 2 nieuwe spuigroepen en 2 gemalen worden aangelegd die naar verwachting in 2025 gereed komen. In de volgende Paragraaf wordt ingegaan op de gevolgen daarvan voor de watervraag.

H.6.3 Invloed nieuwe spuisluizen en gemalen Den Oever

De nieuwe spuisluizen en gemalen bij Den Oever worden in 2025 opgeleverd en moeten daarom meegenomen worden in het Deltascenario voor 2050, zie ook [18]. Dat betekent dat we in de scenario's ook rekening moeten houden met de extra zoutlek door deze nieuwe spuisluizen en pompen en de wijze waarop ze kunnen worden ingezet voor het beheersen van de lokale zoutindringing.

Voornaamste kenmerken van de nieuwe spuisluizen en gemalen:

- De nieuwe spuisluizen van Den Oever bestaan uit 2 spui groepen van 4 kokers. Zie Figuur 8.55 voor een schematische langsdoorsnede van een koker.
- Voor de lekdebieten geldt een eis van maximaal 0,3 m³/s per koker bij een verval van 2 m, zie [19]. Of dit geldt bij 1 of 2 deuren gesloten, is niet gespecificeerd.
- Als we aannemen dat 1 deur gesloten is, volgt $C_d \cdot A_{lek} = 0,048 \text{ m}^2$.
- Voor de berekening van de lekdebieten maakt deze aanname niet uit, mits de enkele deur ook in de afvoerformule wordt meegenomen.
- De nieuwe gemalen bestaan uit 2 maal 3 pompen, gesitueerd op de Afsluitdijk aan weerszijden van het spui complex van Den Oever. Zie Figuur 8.56 voor een schematische langsdoorsnede over een pomp.
- Het diepteverloop van het aanstroom gedeelte aan IJsselmeerzijde is globaal -15 m NAP over de eerste 10 m vanaf het gemaal, gevolgd door een talud van 1:10 naar -5 m NAP op 110 m afstand. De breedte van het aanstroomkanaal is per gemaal van 3 pompen ca. 40 m, zie [19].
- Het lekdebiet is gering in perioden dat er niet gepompt wordt doordat dan tenminste één schuif van het gemaal en de terugslagkleppen dicht zijn. De terugslagkleppen beperken mogelijk de lek naar binnen meer dan de lek naar buiten (afhankelijk van de mate van afdichting in de dagelijkse praktijk). De lekdichtheid van de schuif is volgens RWS vergelijkbaar met de lekdichtheid van de nieuwe spuumiddelen. Het (zoute) lekwater zal zich verzamelen in het diepe aanstroomgedeelte, maar aangezien RWS de pompen de eerste jaren maar eens per maand wil aanzetten (wellicht per pomp verschillend, dan eens per 10 dagen) kan het lekvolume groter zijn dan wat geborgen kan worden in het diepe deel van het aanstroom gedeelte. In dat geval loopt het zoute water naar de spui kom waar het alsnog kan worden weggespuid. In een erg droge zomer zal dat wegspoelen niet lukken als de pompen maar eens per maand of per 10 dagen aan gaan. Dan leveren de gemalen dus ook een bijdrage in de zoutlast¹⁰.



Figuur 8.55 Langsdoorsnede nieuwe spuisluizen bij Den Oever. Bron: <https://deafsluitdijk.nl/nieuws/oplossing-nieuw-ontwerp-voor-nieuwe-spuimiddelen>.

¹⁰ P. Jansen (RWS-GPO), Email dd. 6 november 2023.



Figuur 8.56 Langsdoorsnede over het nieuwe gemaal bij Den Oever. Rechts: aanvoerkanaal, pomp met verticale as, links: terugslagkleppen met daarnaast 2 pompschuiven. Bron: <https://iv-groep.nl/nl/blog/overzicht/nieuwe-pompgemalen-voor-de-afsluitdijk>.

We nemen aan dat werking van de bestaande spuumiddelen (BSM) bij Den Oever niet verandert. Een eventuele reductie van de zoutlek door de aanstaande renovatie wordt dus niet meegenomen. Voor de nieuwe spuumiddelen (NSM) en de twee nieuwe gemalen bij Den Oever zijn eveneens de in- en uitgaande lek volumes per gemiddelde getijcyclus bepaald, zie Tabel A-3 en A-4 in Bijlage A. Deze zijn afgeleid van het gemiddelde getij bij Den Oever Buiten en Kornwerderzand Buiten, een meerpeil van -0,3 m NAP en de gegeven lekoppervlakten voor *enkel* gesloten spuideuren of pompschuiven. Bij de pompen is de eventuele reducerende invloed van de terugslagkleppen op het lekdebiet verwaarloosd. Ook het proefdraaien van de pompen (eenmaal per maand alle pompen, of elke 10 dagen 1 pomp per gemaal) reduceert de zoutindringing via de gemalen enigszins. Omdat ook niet bekend is hoelang de pompen dan draaien, wordt ook deze bijdrage niet meegenomen in de huidige schattingen. De resulterende lekdebieten naar binnen, naar buiten en netto (positief naar binnen) zijn gegeven in Tabel 8.41 hieronder.

Tabel 8.41 Schatting extra gemiddelde lekdebieten voor de Deltascenario's bij huidige zoutbeheer van de nieuwe spuisluizen (NSM) en gemalen bij Den Oever.

Scenario	Gem. zeeniveau (m NAP)	Q _{lek in} NSM (m ³ /s)	Q _{lek uit} NSM (m ³ /s)	Q _{lek netto} NSM (m ³ /s)	Q _{lek in} Gemaal (m ³ /s)	Q _{lek uit} Gemaal (m ³ /s)	Q _{lek netto} Gemaal (m ³ /s)	Q _{lek in netto} extra (m ³ /s)
2005 Ref.	0,03	0,90	-0,29	0,62	0,68	-0,21	0,46	1,08
2050 L	0,27	1,15	-0,15	1,00	0,86	-0,11	0,75	1,75
2050 H	0,30	1,18	-0,13	1,05	0,88	-0,10	0,79	1,83
2100 L	0,47	1,36	-0,05	1,31	1,02	-0,04	0,98	2,29
2100 H	0,85	1,78	0,00	1,78	1,34	0,00	1,34	3,12

Voor de schatting van de spoeldebieten volgens het huidige zoutbeheer (via de spuisluizen) moeten we bij het ingaande lekdebiet voor de bestaande spuisluizen (BSM) bij Den Oever (kolom 3 Tabel 8.40) het ingaande lekdebiet van de nieuwe spuisluizen (NSM kolom 3 Tabel 8.41) en het netto ingaande debiet van de gemalen (kolom 8 Tabel 8.41) optellen. In afwijking van de spuisluizen geldt voor de gemalen namelijk het netto debiet, omdat de lek naar buiten bestaat uit zout water uit het diepe aanstroomgebied, dat eerder naar binnen is gelekt. Voor Kornwerderzand gelden de lekdebieten zoals eerder bepaald (kolom 4 Tabel 8.40).

De resulterende lekdebieten voor de situatie dat de Afsluitdijk is uitgebreid met nieuwe spuisluizen en gemalen bij Den Oever zijn gegeven in Tabel 8.19. Op dezelfde wijze als hiervoor zijn de benodigde spoeldebieten geschat. Opmerkelijk is dat in 2025, als de nieuwe spuisluizen en pompen bij Den Oever gereed zijn, het benodigde spoeldebiet al zou oplopen van 40 naar 53 m³/s (33% hoger). Deze waarde is aangehouden voor de referentiesituatie (2005 Ref). Voor de Deltascenario's lopen de spoeldebieten ook op, met een range van 69 m³/s (37% hoger) tot 109 m³/s (39% hoger). Ook nu geldt dat bij de toenemende lekdebieten en spoeldebieten ook het zoutgehalte in het IJsselmeer zal oplopen.

Tabel 8.19 Schatting spoeldebieten voor de Deltascenario's bij huidige zoutbeheer van de spuisluizen inclusief uitbreiding spuisluizen en gemaal bij Den Oever.

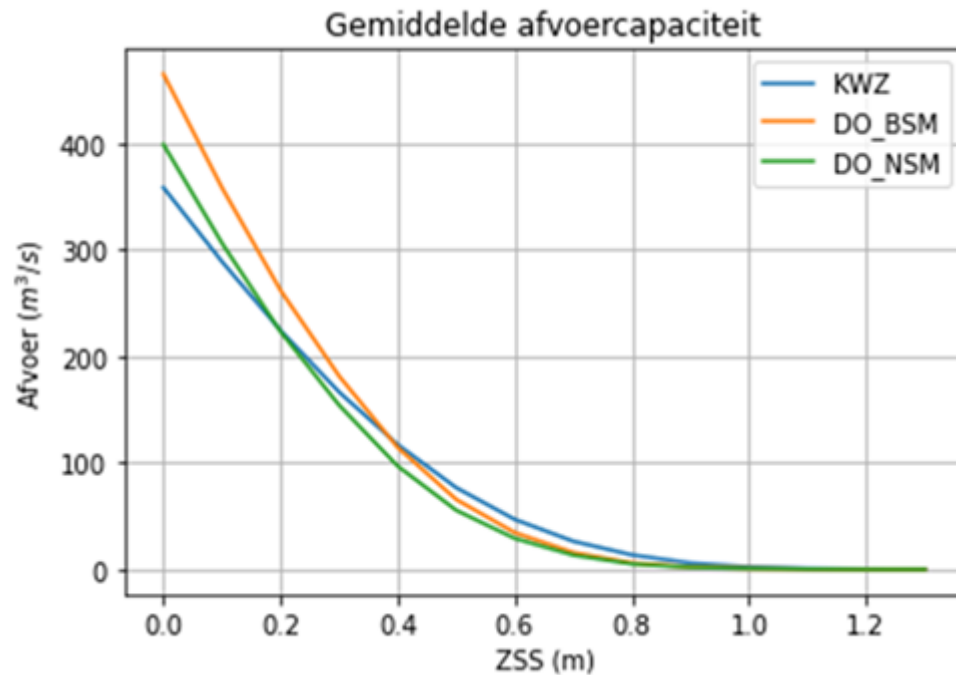
Scenario	Gem. zeeniveau (m NAP)	Q _{lek in} DO (m ³ /s)	Q _{lek in} KWZ (m ³ /s)	Q _{lek in} totaal (m ³ /s)	Q _{spoel} DO (m ³ /s)	Q _{spoel} KWZ (m ³ /s)	Q _{spoel} totaal (m ³ /s)
2005 Ref.	0,03	3,36	2,08	5,44	-33	-20	-53
2050 L	0,27	4,43	2,60	7,04	-44	-26	-69
2050 H	0,30	4,57	2,68	7,24	-45	-26	-71
2100 L	0,47	5,35	3,08	8,42	-53	-30	-83
2100 H	0,85	7,06	4,05	11,11	-69	-40	-109

Deze schatting moeten worden afgezet tegen de beschikbare spuicapaciteit. Daarvoor wordt aan de gemiddelde spuicapaciteit van de bestaande spuisluizen uit Figuur 8.54 de gemiddelde spuicapaciteit van de nieuwe spuisluizen van Den Oever toegevoegd, zie Figuur 8.57.

Ook met het nieuwe spuumiddel van Den Oever is er in scenario 2100 H nagenoeg geen spuicapaciteit meer. Spuien is geen reële beheersoptie voor het zout afkomstig uit de spuisluizen en de gemalen en daarom zijn de bijbehorende schattingen in Tabel 8.19 grijs gemaakt.

- Voor het lage scenario 2100 L (Gemiddeld zeeniveau 0,47 m NAP) is door de nieuwe spuisluizen bij Den Oever ca. 75 m³/s aan extra spuicapaciteit beschikbaar, wat het totaal op 260 m³/s brengt, zie Figuur 8.57. Om het hogere spoeldebiet van 83 m³/s te realiseren in plaats van de huidige 40 m³/s moet ruim twee keer zoveel gespuid worden. Maar de beschikbare gemiddelde spuicapaciteit met 165 m³/s bij Den Oever en 95 m³/s bij Kornwerderzand is veel lager dan wat nodig is om de kuilen schoon te spoelen (namelijk ca. 210 m³/s bij Den Oever en 270 m³/s bij Kornwerderzand). Er zal veel vaker gespuid moeten worden en zonder dat de kuil daarbij geheel kan worden schoongespoeld. Vermoedelijk is het huidige zoutbeheer door spuien dan niet meer houdbaar. Daarom zijn ook de spoeldebieten voor 2100 L in Tabel 8.40 in grijs weergegeven.
- Voor scenario 2050 H (Gemiddeld zeeniveau 0,30 m NAP) is bij Den Oever ca. 175 m³/s extra beschikbaar, wat een totale gemiddelde spuicapaciteit van 565 m³/s geeft, zie Figuur 8.57. Omdat het benodigde spoeldebiet nu wat lager is (71 m³/s) is het huidige zoutbeheer bij de spuisluizen wellicht nog houdbaar, als dit spoeldebiet beschikbaar is.
- Voor scenario 2050 L (Gemiddeld zeeniveau 0,27 m NAP) is bij Den Oever ca. 195 m³/s extra beschikbaar, wat een totale gemiddelde spuicapaciteit van 625 m³/s geeft, zie Figuur 8.57. Aangezien het benodigde spoeldebiet met 69 m³/s nog iets lager is, is het huidige zoutbeheer bij de huidige spuisluizen vermoedelijk in grote lijnen waarschijnlijk nog wel houdbaar.

Als de spuicapaciteit terugloopt zal meer en meer van pompen gebruik gemaakt worden. De invloed daarvan op de spoeldebieten wordt in de volgende paragraaf verkend.



Figuur 8.57 Gemiddelde spuicapaciteit van bestaande (BSN) en nieuwe spuisluizen (NSM) bij Den Oever en de bestaande spuisluizen van Kornwerderzand als functie van zeespiegelstijging.

H.6.4 Invloed inzet gemalen voor zoutbeheer

Door gemalen in te zetten bij het zoutbeheer kan het benodigde spoeldebiet sterk gereduceerd worden. De gemalen bij Den Oever bieden al vanaf 2025 de mogelijkheid om het zoutbeheer bij de spuisluizen en gemalen te veranderen door het zoute water uit de erosiekuilen weg te pompen in plaats van te spuien. De veranderingen bij Den Oever zijn geen oplossing voor de zoutlek door de spuisluizen van Kornwerderzand waar een toenemende zeestand leidt tot een toenemende zoutlek en een afnemende spuicapaciteit. In de scenario's waarin in het geheel niet meer gespuid kan worden bij Kornwerderzand zal ook daar een gemaal nodig zijn, mede door de zoutindringing door de aanwezige schutsluizen en de vismigratierivier. Wel is het zo dat wanneer niet of nauwelijks meer gespuid kan worden, spuisluizen ook afgesloten kunnen worden zodat hun aandeel in de zoutlek nihil wordt. Dan resteert de zoutlek door de aanwezige pompen, en die is mogelijk even groot.

De pompen van de gemalen hebben een diepe inlaat, maar die zijn gezien de vormgeving in Figuur 8.56 niet ontworpen op het selectief onttrekken van een eventueel zoute onderlaag uit de erosiekuilen. Desondanks is aan te nemen dat door pompen er minder water nodig is om het zoute water uit de erosiekuilen af te voeren. Het is daarvoor wel aan te raden de drempels tussen het aanstroom gedeelte van de pompen en de erosiekuilen wat te verlagen. Een factor 5 minder water gebruik om het zout af te voeren lijkt goed haalbaar, en wellicht is zelf een factor 10 mogelijk. Voorzichtigheidshalve kiezen we de eerste waarde wat dan leidt tot een factor 5 lagere spoeldebieten in Tabel 8.20 vergeleken met Tabel 8.19¹¹. Impliciet is daarbij aangenomen dat de lekdebieten van pompen bij Kornwerderzand gelijk zijn aan die

¹¹ NB. 2005 als referentie jaar is in de tabel vervangen door de indicatie 2005 (2025) met oog op de nieuwe spuisluizen en pompen bij Den Oever, echter zonder met 20 jaar zeespiegelstijging rekening te houden (ca. 5,8 cm op basis van de gemiddelde trend van 2,9 mm/jaar uit de Zeespiegelmonitor 2022). Anderzijds, het eerder gebruikte 'referentie' spoeldebiet van 40 m³/s geldt ook pas vanaf 2019.

van de huidige spuisluizen. Voor Den Oever zit de lek van de oude en nieuwe spuisluizen nog in de schatting van het lekdebiet. Die zouden weggelaten kunnen worden als er niet meer gespuid kan worden (en de spuisluizen definitief afgesloten), maar vermoedelijk is ook hier uitbreiding van pompcapaciteit nodig, met bij behorende zoutlek.

Tabel 8.20 laat zien dat door het zoute lekwater met behulp van pompen af te voeren, de benodigde spoeldebieten enorm gereduceerd worden. In het onderhavige voorbeeld worden de spoeldebieten een factor 5 lager waardoor zij nog maar twee keer zo groot zijn als de lekdebieten. De range over alle scenario's is 11 – 22 m³/s, wat significant lager is dan de huidige 40 m³/s. Als blijkt dat het ook mogelijk is om een factor 10 minder water te gebruiken om het zoute water uit de erosiekuilen af te voeren zullen de spoeldebieten nog lager zijn (5 – 11 m³/s). Maar ook nu geldt dat bij de toenemende lekdebieten en spoeldebieten het zoutgehalte in het IJsselmeer oploopt, ondanks het spoelen. Voorstelbaar is dat door meer spoeldebiet te gebruiken bij het pompen de zoutlek over de drempel van de kuilen naar het IJsselmeer nog kan worden gereduceerd. Dit is onderdeel van eventuele mitigerende maatregelen tegen zoutindringing bij spuisluizen en pompen, en dat kon binnen de beschikbare tijd nog niet worden uitgewerkt.

Vanwege de diepe inlaten van de pompen is het niet nodig de aanpak van een 'flinke spui' te handhaven om de kuilen schoon te spoelen. Er kan worden volstaan met een meer gelijkmatige inzet van de pompen, zodat de pompcapaciteit van ca. 6 maal 40 m³/s voor de nieuwe gemalen bij Den Oever ruim voldoende is. We gaan er van uit dat hetzelfde zal gelden voor een nieuw aan te leggen gemaal bij Kornwerderzand.

Zolang er nog geen nieuw gemaal bij Kornwerderzand aanwezig is, is het ook een optie om in 2025 en in de lage zeespiegelstijgingsscenario's 2050 L en 2050 H bij Kornwerderzand nog te spuien, terwijl in Den Oever al zoutbeheer door middel van pompen wordt toegepast. Dit leidt tot totale spoeldebieten van resp. 27, 34 en 35 m³/s. Hiermee kan het totale spoeldebiet onder de 40 m³/s blijven.

De conclusie is dat door te pompen de watervraag significant gereduceerd kan worden om de zoutlek bij de spuisluizen te beheren, ook in de scenario's waarin spuien nog wel mogelijk is. De keuze om het zoutbeheer bij de spuisluizen voortaan door pompen te doen, ligt echter bij de beheerder (RWS).

Tabel 8.20 Schatting spoeldebieten voor de Deltascenario's uitgaande van zoutbeheer door middel van pompen bij Den Oever en Kornwerderzand.

Scenario	Gem. zeeniveau (m NAP)	Q _{lek in} DO (m ³ /s)	Q _{lek in} KWZ (m ³ /s)	Q _{lek in} totaal (m ³ /s)	Q _{spoel} DO (m ³ /s)	Q _{spoel} KWZ (m ³ /s)	Q _{spoel} totaal (m ³ /s)
2005 (2025)	0,03	3,36	2,08	5,44	-7	-4	-11
2050 L	0,27	4,43	2,60	7,04	-9	-5	-14
2050 H	0,30	4,57	2,68	7,24	-9	-5	-14
2100 L	0,47	5,35	3,08	8,42	-11	-6	-17
2100 H	0,85	7,06	4,05	11,11	-14	-8	-22

H.6.5

Resume doorspoeldebieten volgens huidig beheer

Tabel 8.44 geeft een overzicht van de spoeldebieten die in de verschillende Deltascenario's nodig zijn voor het zoutbeheer bij de spuisluizen en pompen in droge perioden, voortbouwend op het huidige beheer. Naast de referentie voor 2005 voor de huidige spuisluizen, is ook de situatie voor 2025 toegevoegd met nieuwe spuisluizen en pompen bij Den Oever. Kolom 3 – 5 geeft de spoeldebieten bij Den Oever en Kornwerderzand als het

beheer alleen met spuien wordt uitgevoerd. Scenario's 2100 L en 2100 H achten we in dit geval niet reëel (grijze cijfers). Merk op dat bij ingebruikneming van de nieuwe gemalen en spuisluizen bij Den Oever in 2025 de water vraag al gelijk 13 m³/s hoger is, vergeleken met de 40 m³/s van nu. Door de beschikbare pompen bij Den Oever in te zetten kan de watervraag direct worden vermindert, zie kolommen 6 – 8 van Tabel 8.44. Ook hier zijn de scenario's 2100 L en 2100 H niet reëel, specifiek van wege de vereiste spuidebieten bij Kornwerderzand. Tenslotte geven kolommen 9 – 11 de spoeldebieten voor spuisluizen en pompen als zowel bij Den Oever als bij Kornwerderzand gemalen aanwezig zijn. Voor 2025 is dit niet van toepassing (grijze cijfers). Voor 2050 zal het afhangen van een besluit over de aanleg van een gemaal bij Kornwerderzand.

Vanuit het Deltaprogramma is aangegeven dat binnen de reële mogelijkheden een keuze wordt gemaakt voor de optie met de laagste watervraag. Deze zijn blauw gemarkeerd in Tabel 8.44:

- Voor de huidige (referentie) situatie 2005 met zoutbeheer bij de bestaande spuisluizen is het spoeldebiet 40 m³/s.
- Voor de situatie vanaf 2025 met zoutbeheer door pompen bij Den Oever en spuien bij Kornwerderzand is het totaal spoeldebiet 27 m³/s.
- Voor scenario 2050 L met zoutbeheer door pompen bij Den Oever en spuien bij Kornwerderzand is het totaal spoeldebiet 34 m³/s.
- Voor scenario 2050 H is dat zoutbeheer door pompen bij zowel Den Oever als Kornwerderzand met een totaal spoeldebiet 35 m³/s.
- Voor scenario 2100 L is dat zoutbeheer door pompen bij Den Oever en Kornwerderzand met een totaal spoeldebiet 17 m³/s.
- Voor scenario 2100 H is dat zoutbeheer door pompen bij Den Oever en Kornwerderzand is het totaal spoeldebiet 22 m³/s.

Tabel 8.44 Schatting spoeldebieten voor de Deltascenario's uitgaande van zoutbeheer door middel van alleen spuien, spuien bij Kornwerderzand en pompen bij Den Oever, of door middel van alleen pompen.

Scenario	Gem. zee-niveau m NAP	Alleen spuien			Spuien KWZ, pompen DO			Alleen pompen		
		Q _{spoel} DO (m ³ /s)	Q _{spoel} KWZ (m ³ /s)	Q _{spoel} totaal (m ³ /s)	Q _{spoel} DO (m ³ /s)	Q _{spoel} KWZ (m ³ /s)	Q _{spoel} totaal (m ³ /s)	Q _{spoel} DO (m ³ /s)	Q _{spoel} KWZ (m ³ /s)	Q _{spoel} totaal (m ³ /s)
2005 Ref.	0,03	-20	-20	-40						
2005 (2025)	0,03	-33	-20	-53	-7	-20	-27	-7	-4	-11
2050 L	0,27	-44	-26	-69	-9	-26	-34	-9	-5	-14
2050 H	0,30	-45	-26	-71	-9	-26	-35	-9	-5	-14
2100 L	0,47	-53	-30	-83	-11	-30	-41	-11	-6	-17
2100 H	0,85	-69	-40	-109	-14	-40	-54	-14	-8	-22

H.6.6 Verzilting IJsselmeer

In de voorgaande paragrafen is gekeken naar wat de voortzetting van het huidige zoutbeheer bij de spuisluizen zou betekenen voor de watervraag. Daarnaast is het van belang om te kijken wat er verder in het IJsselmeer gebeurt. Daarvoor moeten we naar de zoutbalans van het meer zelf kijken (dus exclusief de erosiekuilen). In de voorgaande paragrafen bleek dat bij zeespiegelstijging, en ondanks de toename van de spoeldebieten, er met de huidige beheersstrategie toch ook steeds meer zout over de drempels van de kuilen naar het meer lekt.

In de huidige situatie is het inkomende lekdebiet ca. 4 m³/s (Tabel 8.16). Door de uitbreidingen bij Den Oever neemt dit toe naar ca. 5,4 m³/s en met zeespiegelstijging naar

11 m³/s. (Tabel 8.19). De helft hiervan gaat naar het IJsselmeer en ook deze helft neemt dus toe met ongeveer een factor drie. Deze toename van de verzilting van het IJsselmeer is nog niet vertaald naar een benodigd doorspoeldebiet. (Alleen voor de helft die in de erosiekuilen terecht komt is dat gedaan.)

Daarbij komt nog de invloed van de schutsluizen. Hier zal de invloed van zeespiegelstijging ook relatief groot kunnen zijn omdat de sluizen relatief ondiep zijn. Daarnaast kan er een toename zijn door een toename van de ladingstroom en van de recreatievaart. Hoe zich deze (toenemende) zoutindringing verhoudt tot de (toename van) de zoutindringing via de spuisluizen moet daarbij nog worden vastgesteld. Daarbij moet dan ook bedacht worden of (en zo ja hoe) de vernieuwing van de bellenschermen op de schutsluizen in rekening moet worden gebracht. En tenslotte zijn er plannen omtrent een nieuwe en grotere schutsluis bij Kornwerderzand.

Een verder kwantificering van de toename van de zoutlasten door zeespiegelstijging en benodigde doorspoeling om dit enigszins te mitigeren zou nog mogelijk zijn, maar om wille van de beschikbare tijd is dit niet meer verder uitgewerkt. Wel kunnen we stellen dat een globale verhoging van het zoutgehalte in het IJsselmeer als geheel eigenlijk alleen kan worden bestreden door het vergroten van de doorspoeling van het hele IJsselmeer: deels in de zomer, maar waarschijnlijk ook deels in de winter. Dit zou kunnen vragen om het vergroten van de IJsselafoer als aandeel in de Rijnafoer. Maar als op jaarbasis meer water bij de Afsluitdijk moet worden afgevoerd heeft dat zeer waarschijnlijk consequenties voor de benodigde afvoercapaciteit in de zin dat die verder zal moeten worden vergroot. Dat kost naast veel zoet water ook grote investeringen in spuisluizen en of pompen. Het ligt dan vermoedelijk meer voor de hand dat investeringen gedaan worden in het beheersen van de zoutlek door middel van bronmaatregelen bij de schutsluizen, spuisluizen en pompen. Vanzelfsprekend zullen bronmaatregelen ook zoet water vragen, denk bijv. aan het zoetspoelen bij schutsluizen of bij spuisluizen en gemalen, maar dat is aanzienlijk minder dan wat nodig zou zijn voor het doorspoelen van het hele IJsselmeer. Een reële orde van grootte is +4 m³/s (zowel voor Den Oever als Kornwerderzand elk 2 m³/s) voor 2050 en mogelijk het dubbele voor 2100. Op basis daarvan neemt de doorspoelbehoefte voor de Deltascenario's toe naar:

- 2050 L: 38 m³/s,
- 2050 H: 39 m³/s,
- 2100 L: 25 m³/s,
- 2100 H: 30 m³/s.

Als bronmaatregelen bij spuisluizen en gemalen het lekdebiet direct kunnen reduceren dan kan de watervraag voor het schoonspoelen van de kuilen dalen en ontstaat ruimte om de kuilen extra te spoelen opdat de zoutlek naar het meer (over de drempels van de kuilen) niet hoeft toe te nemen bij zeespiegelstijging. Wellicht is ook winst te behalen door een betere vormgeving van de zoutvangen, die thans bestaan uit autonoom ontstane erosiekuilen. Aspecten voor verbetering zijn de menging bij instroming, het bergend volume voor zoutwater en het waterverbruik bij schoonspoelen.

Gegeven de wijze van schatten zijn de hierboven genoemde spoeldebieten nog steeds vrij globaal van aard. Daarnaast is er een grote afhankelijkheid van nog te nemen maatregelen en toekomstig beleid (o.a. van invloed op meerpeil, maximum toelaatbaar zoutgehalte, verdiepen vaargeulen IJsselmeer). **Om die redenen wordt geadviseerd om de huidige 40 m³/s die beschikbaar is in crisissituaties voorlopig te handhaven in de Deltascenario's, totdat betere informatie beschikbaar is.**

Voor zomerse omstandigheden zonder crisismaatregelen (hierboven niet verder onderzocht) wordt om dezelfde redenen geadviseerd het doorspoeldebiet van **70 m³/s** aan te houden.

H.6.7 Kennisvragen IJsselmeer

In het bovenstaande zijn de vragen omtrent de doorspoeldebieten uiteindelijk slechts gedeeltelijk beantwoord. De kwantificering is noodzakelijkerwijs beperkt gebleven tot een extrapolatie op het huidige beheer waarin de erosiekuilen worden zoet gespoeld als deze geheel gevuld zijn met een hoog zoutgehalte. Ondanks dat zal de toename van de lek door de spuisluizen zich ook vertalen in een snellere toename van het zoutgehalte op het IJsselmeer. Er zal een combinatie van bronmaatregelen en doorspoeling nodig zijn om het zoutgehalte op het IJsselmeer zoveel mogelijk te beperken. Hierbij speelt ook de seizoensvariatie in afvoer en zoutgehalte, die bovendien kan veranderen door een verschuiving in de rivierafvoer over de seizoenen (meer in de winter, minder in de zomer). Tenslotte kunnen er keuzes gemaakt worden in peilbeheer en criteria voor het zoutgehalte.

Al met al zijn er nog belangrijke vragen omtrent het toekomstige beheer van het IJsselmeer. In aanvulling op het werk beschreven in dit memo gaat het om de volgende onderwerpen, waarbij een aanpak wordt voorgesteld.

Over hoeveel zout er ontsnapt aan de erosiekuilen:

Betere schattingen van de hoeveelheid zout die van de spuisluizen en pompen over de drempel van de kuilen naar het IJsselmeer verdwijnt, zijn te verkrijgen door gebruik te maken van 3D simulaties met lokale modellen bij Den Oever en Kornwerderzand, zoals die bijvoorbeeld zijn gebruikt om de lekopeningen voor 2022 te schatten in [15]. In deze modellen kunnen de waterstanden aan de zeezijde van de spuisluizen aangepast worden aan de Deltascenario's. Verder kan de zoutlek en zoutafvoer door de nieuwe spuisluizen en pompen worden toegevoegd, zoals o.a. in de Variantenstudie Zoet-Zout Den Oever gebeurt [19].

Over de zoutlast door de schutsluizen:

De toename van de zoutlast door de schutsluizen onder invloed van zeespiegelstijging (zie Paragraaf H.2.4) kan nader worden geschat door bijvoorbeeld gebruik te maken van (ad hoc) tools waarmee in [15] de zoutlasten bij de schutsluizen zijn bepaald. De zeespiegelstijging kan daarin worden toegevoegd aan de waterstanden op zee, en ook een toename van het scheepvaartverkeer kan verkend worden. Daarbij ook te bepalen welke rol de te renoveren bellenschermen spelen en of er een grotere sluis komt bij Kornwerderzand, zie [22].

Over wat dit betekent voor het IJsselmeer inclusief de variatie over het jaar:

De beide hierboven genoemde bronnen kunnen vervolgens worden gebruikt in een globale beschouwing op basis van seizoensvariaties gedurende (meerdere) jaren met een model bestaande uit een simpel bakje, zoals toegepast in [20], of met de 1D modellen van het IJsselmeergebied. Input daarbij is dan ook de in de toekomst te verwachten verschuiving in de rivierafvoer over de seizoenen.

H.7 Referenties

- [1] "Bouwstenen voor systematisch uitwerken en onderbouwen VenR-opties, Raamwerk, drivers en functionele prestaties", Kennisprogramma Natte Kunstwerken 2021-2024, Deltares, 11207401-009, april 2023

- [2] “Systeemanalyses zoetwater, regio Volkerak-Zoommeer, Kennisprogramma Zeespiegelstijging, januari 2023, Arcadis / Hydrologic
- [3] “Renovatie en ombouw Krammersluizen: de invloed van zeespiegelstijging op de zoutindringing en de operatie”, Otto Weiler, Diederik Vreeken, 11204995-006-HYE-0001, Deltares, oktober 2020
- [4] “Advies omtrent contractstukken renovatie Krammersluizen, Aanvullende analyse nautische aspecten en spoelgebieden”, Arne van der Hout, Otto Weiler, 11204995-005-HYE-0003, Deltares, december 2020
- [5] “Klimaatrobustheid van het waterbeheer van het Volkerak-Zoommeer”, Arno Nolte, Marc Weeber, David Geurts, Sonja Pans, Diederik Vreeken, Otto Weiler, 11203741-001, Deltares, juli 2020
- [6] “Verkeer- en vervoersprognoses binnenvaart Scheldegebied”, ECORYS Nederland BV, Resource Analysis, februari 2009
- [7] “SIVAK-simulatie IZZS Krammersluizen”, TBA, mei 2014
- [8] “Ontwerpnota Compartimenteringswerken, Deelnota 6: Krammersluizen”, Nota Z.BC. 87-20.001, Rijkswaterstaat Directie Zeeland, augustus 1989
- [9] “Toepassing afwegingskader zoutlekbepurende maatregelen, Haringvlietsluizencomplex”, Bas Reijmerink, Judith van Os, 1207941-002, Deltares, juli 2014
- [10] “Zoutindringing IJmuiden, Fase 3: Verdere uitwerking mogelijke bronmaatregelen, Eindrapport”, Arnout Bijlsma, Otto Weiler, 1220309-000, Deltares, oktober 2016
- [11] “Zoutlast IJmuiden bij testen en ingebruikstelling nieuwe zeesluis”, Otto Weiler, Arnout Bijlsma, 11206830-020, Deltares, november 2022
- [12] Waterakkoord Noord Nederland.
- [13] Rijkswaterstaat (2013). Kenmerkende waarden Getijgebied 2011.0. RWS Centrale Informatievoorziening, 22 juli 2013.
- [14] Dillingh (2013). Kenmerkende waarden Kustwateren en Grote Rivieren. Deltares rapport 1207509-000-ZKS-0010, nov. 2013.
- [15] Verbruggen, W., M. Georgiou, A.C. Bijlsma, ... (2024). Validatie 3D model IJsselmeer. Deltares rapport 11209233-008 (in voorbereiding).
- [16] Veenstra, J., B. Domhof, S. Laan, T. Vissen & R. van der Wijk (2021). Kenmerkende waarden Rijn-Maasmonding. Deltares rapport 11205232-007-zks-0003, 4 jan. 2021.
- [17] Uittenbogaard, R.E. & A.C. Bijlsma (2012). Onderzoek beperken zoutlek bij vismigratie via Afsluitdijk. Presentatie 1205719, 16 februari 2012.
- [18] Deltaprogramma 2024 - Nu voor later. Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit en het ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties. September 2023.
- [19] Gradussen, S.J.H.A. & A.L. de Jongste (2023). Variantenstudie Zoet-Zout Den Oever - Operationalisering Zoutmodel (IB-11.2). Witteveen + Bos rapport 133547-2.8/23-015.036, 21 september 2023.
- [20] Bijlsma, A.C., V. Chavarrias & M. Genseberger (2022). 3D modelonderzoek verdieping vaargeul naar Kornwerderzand. Deltares rapport 11208075-002-ZWS-0001, versie 1, november 2022.
- [21] Van Veen, N, (2021). Spuiadvies Afsluitdijk 2021. Rijkswaterstaat memo. 11 mei 2021.

[22] Bijlsma, A.C. & W. Verbruggen (2024). Project Verruiming Sluiscomplex Kornwerderzand - 3D modelonderzoek effect vervolgsenario's vaargeulverdieping voor verzilting IJsselmeer. Deltares rapport in voorbereiding.

H.8 Bijlage: Lekvolumes per gemiddelde getijcyclus en lekdebieten

Tabel 45 Geschatte lekvolumes per gemiddelde getijcyclus en lekdebieten voor de bestaande spuisluizen bij Den Oever.

Scenario	ZSS (m NAP)	V _{lek in} (m ³ /getij)	V _{lek uit} (m ³ /getij)	Q _{lek in} (m ³ /s)	Q _{lek uit} (m ³ /s)	Q _{lek in netto} (m ³ /s)
Referentie (2005)	0,03	89103	-28187	2,00	-0,63	1,36
2050 Ld	0,27	113136	-14390	2,53	-0,32	2,21
2050 Hd	0,30	116159	-12779	2,60	-0,29	2,32
2100 Ld	0,47	134204	-5075	3,01	-0,11	2,89
2100 Hd	0,85	175897	0	3,94	0,00	3,94

Tabel 46 Geschatte lekvolumes per gemiddelde getijcyclus en lekdebieten voor de bestaande spuisluizen bij Kornwerderzand.

Scenario	ZSS (m NAP)	V _{lek in} (m ³ /getij)	V _{lek uit} (m ³ /getij)	Q _{lek in} (m ³ /s)	Q _{lek uit} (m ³ /s)	Q _{lek in netto} (m ³ /s)
Referentie (2005)	0,03	92681	-34277	2,08	-0,77	1,31
2050 Ld	0,27	116284	-19467	2,60	-0,44	2,17
2050 Hd	0,30	119588	-17809	2,68	-0,40	2,28
2100 Ld	0,47	137282	-9315	3,08	-0,21	2,87
2100 Hd	0,85	180926	0	4,05	0,00	4,05

Tabel 47 Geschatte lekvolumes per gemiddelde getijcyclus en lekdebieten voor de nieuwe spuisluizen bij Den Oever.

Scenario	ZSS (m NAP)	V _{lek in} (m ³ /getij)	V _{lek uit} (m ³ /getij)	Q _{lek in} (m ³ /s)	Q _{lek uit} (m ³ /s)	Q _{lek in netto} (m ³ /s)
Referentie (2005)	0,03	40324	-12756	0,90	-0,29	0,62
2050 Ld	0,27	51199	-6512	1,15	-0,15	1,00
2050 Hd	0,30	52567	-5783	1,18	-0,13	1,05
2100 Ld	0,47	60734	-2297	1,36	-0,05	1,31
2100 Hd	0,85	79602	0	1,78	0,00	1,78

Tabel 48 Geschatte lekvolumes per gemiddelde getijcyclus en lekdebieten voor de nieuwe gemalen bij Den Oever (exclusief effect proefdraaien pompen).

Scenario	ZSS (m NAP)	V _{lek in} (m ³ /getij)	V _{lek uit} (m ³ /getij)	Q _{lek in} (m ³ /s)	Q _{lek uit} (m ³ /s)	Q _{lek in netto} (m ³ /s)
Referentie (2005)	0,03	30243	-9567	0,68	-0,21	0,46
2050 Ld	0,27	38399	-4884	0,86	-0,11	0,75
2050 Hd	0,30	39426	-4337	0,88	-0,10	0,79
2100 Ld	0,47	45550	-1722	1,02	-0,04	0,98
2100 Hd	0,85	59701	0	1,34	0,00	1,34

I Aanvullende resultaten testberekeningen

I.1 Stationaire runs

Omwille van consistentiechecks zijn alle scenario's voor 2050 en 2100 stationair doorgerekend en vergeleken met de referentie. In de stationaire runs zijn alleen de MODFLOW aanpassingen meegenomen. Dat zijn de volgende aanpassingen met daarbij behorende analyse:

- Zeespiegelstijging in zee en in hoofdwaterrivieren
- Peilen hoofdwatersysteem
- Buisdrainage aangepast aan landgebruik
- Peilen regionale systeem aangepast aan natte natuur (alle natuur in tertiaire systeem)
- Onttrekkingen drinkwater met factor aangepast

De resultaten worden getoond in Figuur 8-58 en Figuur 8-59 voor respectievelijk zichtjaar 2050 en 2100.

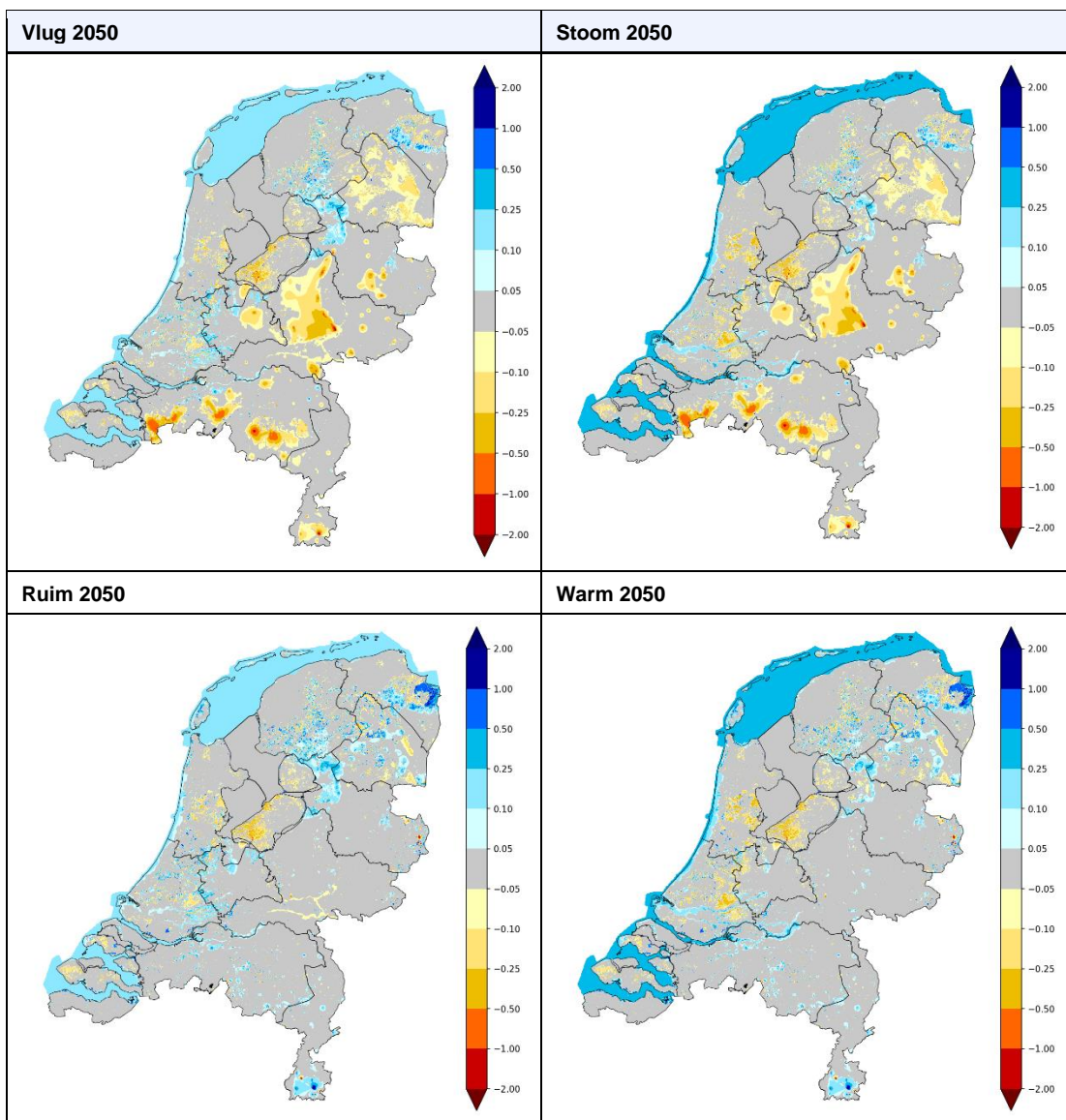
De zeespiegelstijging is in alle scenario's goed terug te zien en verhoudt zich op bedoelde wijze tussen de scenario's en tussen de zichtjaren. De verhoging van de zeespiegel werkt op plausible wijze door in de peilen van het hoofdwatersysteem, logischerwijs vooral te zien in Stoom 2100 (sterkste zeespiegelstijging). De verdroging in scenario's Ruim en Vlug in de Rijn vanaf Lobith en richting de IJssel komt door een verschil in gemiddelde afvoeren.

De aangepaste buisdrainage geeft vooral veranderingen waar deze is weggehaald. Een duidelijke locatie is noordoost Groningen waar in scenario's Ruim en Warm als gevolg van veranderd landgebruik de drainage is verwijderd, wat voor een verhoging van de grondwaterstand zorgt.

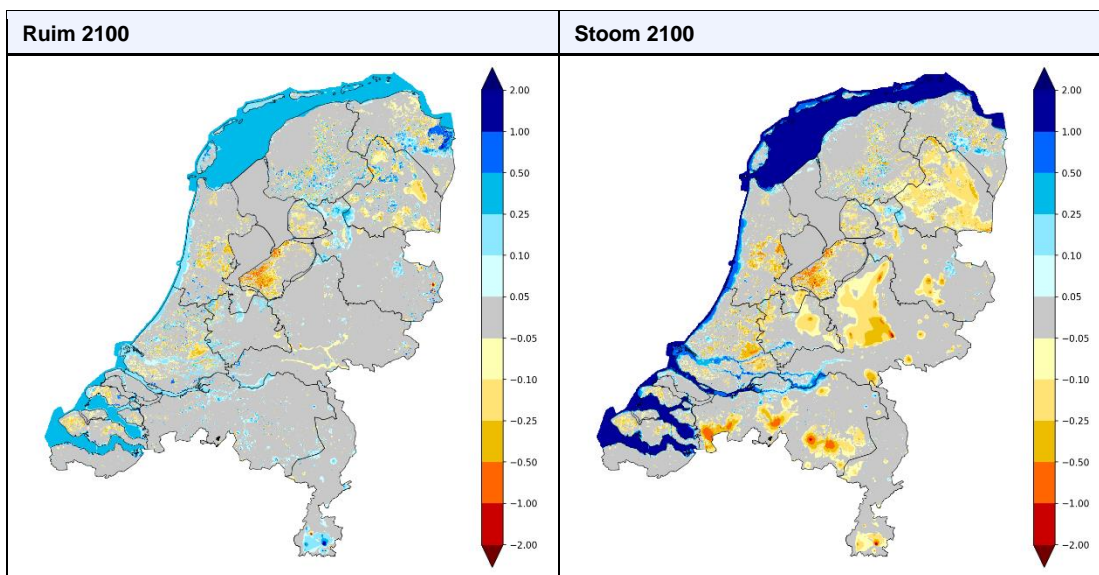
De peilen en buisdrainage zijn deels aangepast aan bodemdaling, ondanks peilfixatie (om peilen boven maaiveld te voorkomen). Dit is voornamelijk terug te zien in Noord Holland, Zuid Holland en Flevoland. Daarnaast zijn er peilaanpassingen gedaan in het veenweidegebied. Ze is de vernatting die in alle scenario's aanwezig is op de rand van Overijssel en Drenthe het gevolg van peilverhogingen in het veenweidegebied.

In scenario's Vlug en Stoom zijn de drinkwateronttrekkingen aangepast met een factor van 1.02 tot 1.27. In scenario Ruim en Warm zijn de drinkwateronttrekkingen juist licht verminderd voor een aantal drinkwaterbedrijven en schommelt de factor tussen de 0.93 en 1.05.

Dit verklaart verlagingen in Drenthe, Brabant, Limburg en de Veluwe in Vlug en Stoom, welke in Ruim en Warm afwezig zijn of zelfs vervangen door lichte verhogingen in de grondwaterstanden, bijvoorbeeld in Drenthe (aanpassingsfactor = 0.95) en Limburg (aanpassingsfactor = 0.93).



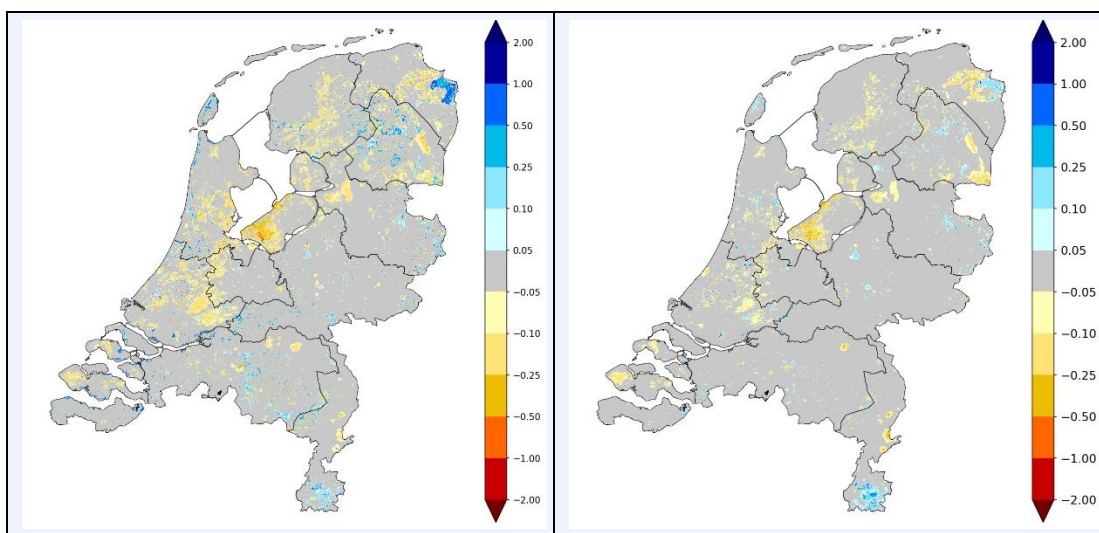
Figuur 8-58 Verandering in stationaire grondwaterstanden door Modflow aanpassingen voor zichtjaar 2050 van elk scenario. Opmerking: deze tussentijdse resultaten zijn verkregen met andere zeespiegelstijgingswaarden dan uiteindelijk gekozen in de Deltascenario's.



Figuur 8-59 Verandering in stationaire grondwaterstanden door Modflow aanpassingen voor zichtjaar 2100 van elk scenario. Opmerking: deze tussentijdse resultaten zijn verkregen met andere zeespiegelstijgingswaarden dan uiteindelijk gekozen in de Deltascenario's.

I.2 Landgebruik gerelateerde ontwateringsaanpassingen en bodemdaling

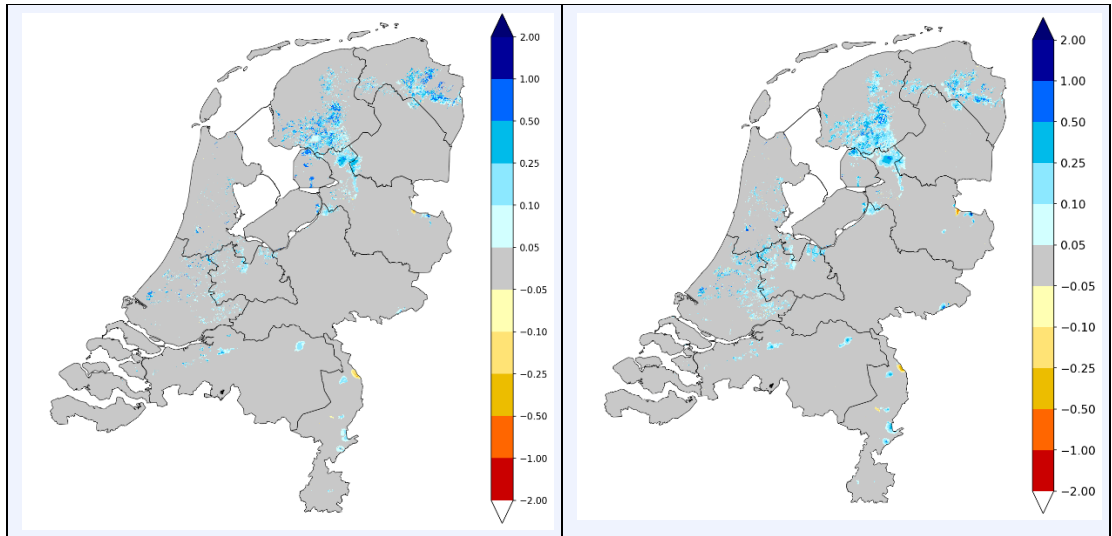
De effecten van bodemdaling zijn eenduidig; ze zorgen voor een verlaging van de grondwaterstanden (Figuur 8-60). Een veranderend landgebruik brengt naast veranderingen in landgebruiksfunctie ook aanpassingen in het ontwateringssysteem met zich mee. Zo is buisdrainage aangelegd en verlegd in landbouwgebieden en in nieuw stedelijk gebied. Ook zijn sloten gedempt en buisdrainage verwijderd in natuurgebieden. Dit kan dus twee kanten opwerken, maar over het algemeen zien we een verhoging van de grondwaterstanden in scenario's Ruim en Warm. Dit is ook het scenario waar veel natuurgebieden zijn gekomen in plaats van landgebieden. In deze gebieden zijn sloten gedempt en buisdrainage verwijderd, waardoor nattere condities ontstaan (zoals de 'hoefijzervorm' in Groningen).



Figuur 8-60 Verandering [m] in gemiddeld hoogste grondwaterstand (HG3; links) en gemiddeld laagste grondwaterstand (LG3; rechts) door landgebruik gerelateerde ontwateringsaanpassingen en bodemdaling in scenario's Ruim en Warm, berekend voor de periode 1992-1993.

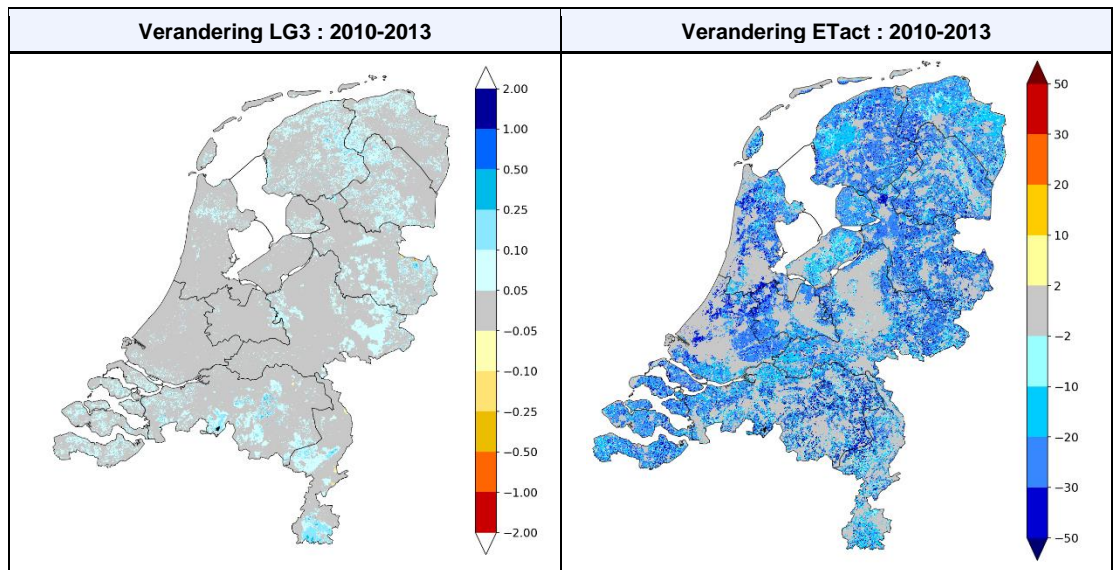
I.3 Peilopzet in veengebieden

In de veengebieden is het peil opgezet tot 20 cm-mv in scenario's A en C en tot 40 cm-mv in scenario's B en D. Het peilopzet in het primair, secundair en tertiair systeem leidt tot grondwaterstandsverhogingen (Figuur 8-61).



Figuur 8-61 Verandering in gemiddeld hoogste grondwaterstand (HG3; links) en gemiddeld laagste grondwaterstand (LG3; rechts) door peilopzet in veengebieden in scenario C, berekend voor de periode 1992-1993.

I.4 Effect van verhoging CO₂-concentratie



Figuur 8-62 Verandering in zomergrondwaterstand [m] (links) en evapotranspiratie [mm/jaar] (rechts) door verhoging CO₂-concentratie van 381.1 ppm naar 999.0 ppm, berekend voor de periode 2010-2013.

J Aangepaste LHM invoerbestanden en daarvoor gebruikte scripts

De modelinvoer voor de Deltascenario's is gescript in een (imod-)Python snakemake workflow. Onderstaande tabel geeft per thema weer welke modelinvoerbestanden aangepast worden en welk(e) script(s) daarvoor wordt / worden gebruikt.

Thema	Subthema	§	Script(s)	Aanpassing bestanden
Meteodata	Alle atmosfeerparameters	3.2	Pre-snakemake script src\1-prepare\KNMI\01_Projection\knmi_projection_to_grid.py	RD1, EV24, FG, TN, TX, TG, Q, UG_baised
	UG_unbaised	3.2	Pre-snakemake script src\1-prepare\KNMI\01_Projection\knmi_projection_to_grid_unpack_unbaised.py	UG_unbaised
CO₂	CO ₂ gehalte	3.3	-	Parameter in .inifile aangepast
Rivierafvoeren	Afvoeren uitpakken.	3.6	Pre-snakemake scripts src\1-prepare\snakemake\afvoeren_klaarzetten.py	Afvoeren_maas.csv Afvoeren_rijn.csv
	Zijrivieren DM-decade	3.6.2	src\1-prepare\snakemake\zijrivieren_DMdecade.py	DMdecadeafvoeren.txt
Rivierpeilen	Peilen	3.8	src\1-prepare\snakemake\peilen_aanmaken_new.py	PEILH_*.idf
Zeespiegelstijging	Zeeniveau	3.4	src\1-prepare\snakemake\zeespiegelstijging_ghb_riv.py	ghb_head_I1.idf
	Rivierpeilen	3.4		PEILH_*.idf
Landgebruik	Landgebruiks-kaarten	4.2.1	src\0-setup\snakemake\0_conversie_landgebruikskaarten_naar_LHM.py src\1-prepare\snakemake\make_MetaSW AP_grid_incl_buitenland.py	LGN250.idf
	Verharding	4.2.2.1	src\1-prepare\snakemake\make_uopp.py src\1-prepare\snakemake\make_MetaSW AP_grid_incl_buitenland.py	UOPP.idf
	Buisdrainage	4.2.2.2	src\1-prepare\snakemake\buisdrainage_aanpassen.py src\2-build\snakemake\topsysteem\11_buisdrainage.py	Bodh_buisdrainage.idf Cond_buisdrainage.idf

	Bosgebied – schalingsfactoren	4.2.2.3	src\1-prepare\snakemake\change_uscl_svat.py	Uscl_svat.inp
	Bosgebied - wortelzone	4.2.2.4	src\1-prepare\snakemake\wortelzone_aanpassen.py	Rootzone.asc
	Glastuinbouw	4.2.2.5	src\1-prepare\snakemake\glastuinbouw.py src\1-prepare\snakemake\change_uscl_svat.py	Rootzone.asc Bassin.asc Bodem.asc Uscl_svat.inp
Bodemdaling	Maaiveldhoogte	3.10	src\1-prepare\snakemake\maaiveld_aanpassen_bodemdaling.py src\1-prepare\snakemake\make_MetaSWAP_grid_incl_buitenland.py	ahn_f250_cm.asc
	Ontwatering	3.10	src\2-build\snakemake\topstysteem\14_bodemdaling_en_natuur.py	Peil_primair_*.idf Peil_secundair_*.idf Bodh_primair_*.idf Bodh_secundair_*.idf
Natuur	Ontwatering weg in natuurgebieden	4.2.2.2	.src\2-build\snakemake\topstysteem\14_bodemdaling_en_natuur.py	Peil_primair_*.idf Peil_secundair_*.idf Bodh_primair_*.idf Bodh_secundair_*.idf Inf_tertiar.idf Cond_tertiar.idf
	Peilopzet in natte natuur	4.2.2.2	.src\2-build\snakemake\topstysteem\14_bodemdaling_en_natuur.py	Peil_primair_*.idf Peil_secundair_*.idf Bodh_primair_*.idf Bodh_secundair_*.idf
Veengebied	Peilopzet veengebied	3.11	src\2-build\snakemake\topstysteem\veengebied.py	Peil_primair_*.idf Peil_secundair_*.idf
Doorspoeling	Polder doorspoeling	3.13.1	src\2-build\snakemake\Polder_doorspoeling.py	Uslsw.dik Uslswdem.dik
	Boezem doorspoeling	3.13.2	src\2-build\snakemake\Boezem_doorspoeling.py	Lnks.txt
	Spui-zeesluizen	5.3	handmatige aanpassingen	Lnks.txt
Berekening	Beregenings-kaart	5.1	Regioscan i.c.m deltasenarios 2017	Beregen.asc
Koppeling TRANSOL	dldrdr	3.12	src\1-prepare\create_dldrdr.py	Dldrdr_svat.inp
Onttrekkingen	Grondwater onttrekkingen	4.3.3	src\2-build\snakemake\adjustment_wel.py	Alle NHI, NON-NHI en buitenland onttrekkingen,
	Alle onttrekkingen – gw tijdreeksen	4.3.3	src\1-prepare\snakemake\Timeseries_well_ipf.py	Alle tijdsafhankelijke onttrekkingen in map Wel

	Drinkwater onttrekkingen - oppervlaktewater	4.3.2	src\2- build\snakemake\ontrekking_opp.py	Fixed.txt
	Onttrekkingen industrie	4.4	src\2- build\snakemake\ontrekking_opp.py	Fixed.txt
	Koelwater	4.4	src\2- build\snakemake\Boezem_doorspo eling.py src\2- build\snakemake\ontrekking_opp.py	Fixed.txt Lnks.txt
Doorspoel- behoefte schut- ten spuisluzen		5.3	Handmatig	Lnks.txt

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