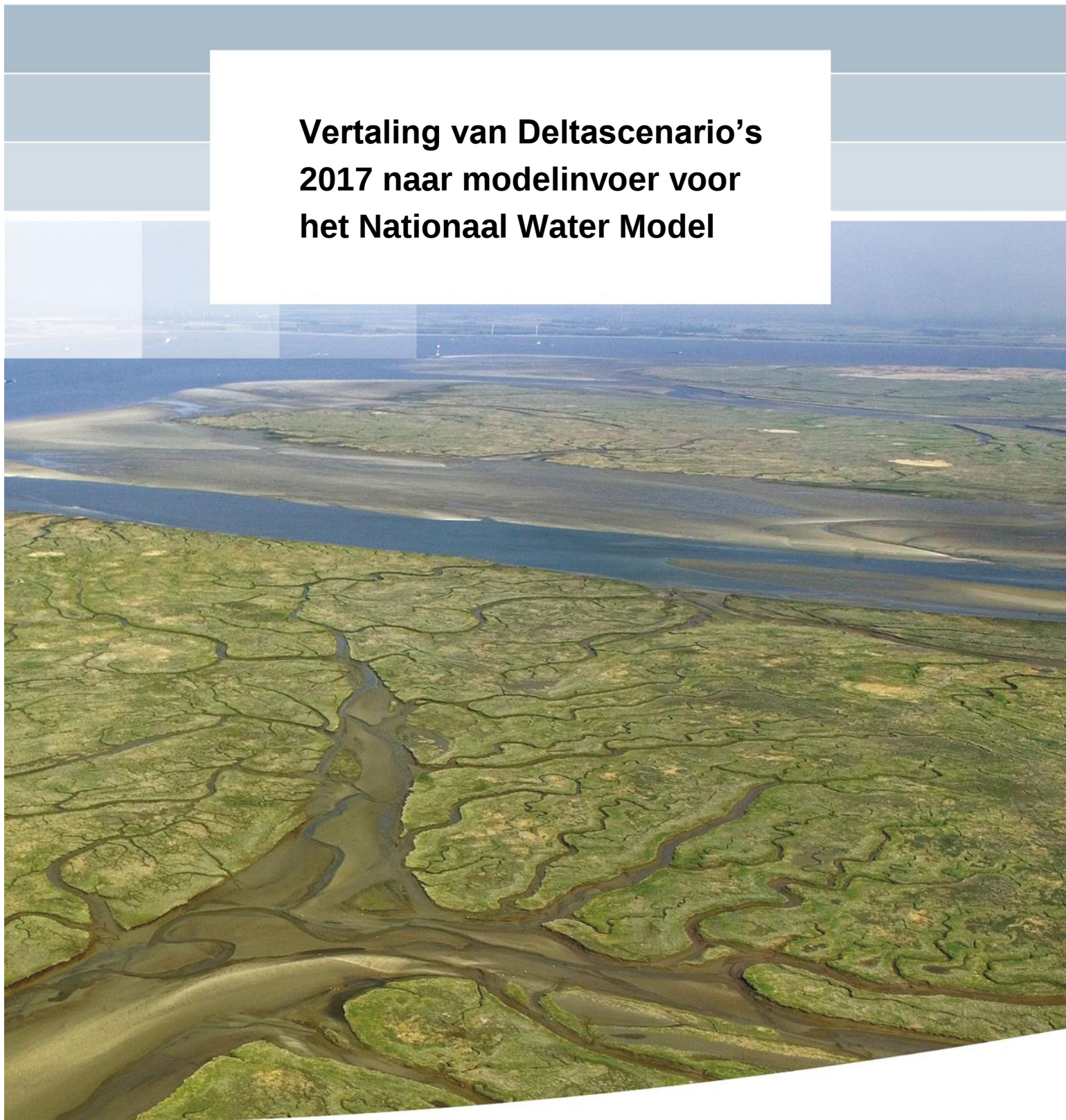


**Vertaling van Deltascenario's
2017 naar modelinvoer voor
het Nationaal Water Model**



**Vertaling van Deltascenario's 2017
naar modelinvoer voor het
Nationaal Water Model**

11202240-009

Titel

Vertaling van Deltascenario's 2017 naar modelinvoer voor het Nationaal Water Model

Opdrachtgever
DP-Zoetwater

Project
11202240-009

Kenmerk
11202240-009-ZWS-0003

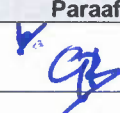
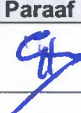
Pagina's
108

Trefwoorden

Deltascenario's; klimaatverandering; sociaal-economische ontwikkeling; Nederland; waterbeheer; Deltaprogramma, Nationaal Water Model, NWM, LHM, NHI, Nationaal Water Model, Landelijk Hydrologisch Model.

Referenties

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.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
1	november 2018	Joachim Hunink		Edwin Snippen		Gerard Blom	
		Joost Delsman					
		Geert Prinsen					
		Liduin Bos - Burgering					
		Niels Mulder					
		Martijn Visser					

Status

definitief

Inhoud

1 Inleiding	1
1.1 Aanleiding	1
1.2 Deltascenario's	2
1.3 Nationaal Water Model (NWM)	3
1.3.1 Inleiding	3
1.3.2 Landelijk Hydrologisch Model (LHM)	4
1.3.3 Landelijk Sobek Model (LSM)	5
1.4 Leeswijzer	6
2 Referentie 2017	7
2.1 Ingrepen	7
2.1.1 Verdieping Nieuwe Waterweg	7
2.1.2 Zeesluis IJmuiden (Selectieve Onttrekking)	7
2.1.3 Noordervaart	8
2.1.4 Gemaalcapaciteiten en doorvoeren	8
2.1.5 Kier Haringvliet.	9
2.1.6 Extra pomp- en spuicapaciteit Afsluitdijk	9
2.1.7 2e sluis Eefde	9
2.2 Maatregelen DP fase 1	10
2.2.1 Flexibel peil IJsselmeer-Markermeer	10
2.2.2 Extra aanvoer via Roode Vaart	13
2.2.3 Uitbreiding Kleinschalige Wateraanvoer (KWA-plus)	14
2.2.4 Regionale maatregelen	15
2.3 Modelaanpassingen/modelverbeteringen	15
2.3.1 Berekening	15
2.3.2 Grondwateronttrekkingen	17
2.3.3 Doorspoeling polders	18
2.3.4 Weurt, Maas-Waalkanaal	19
2.3.5 Schutverlies Weurt naar Waal en lekverlies stuwpand Grave naar stuwpand Lith	19
2.3.6 Nieuw peil bij Grave	19
2.3.7 Update regionale peilen op basis van nieuwe peilvakkenkaart	19
2.3.8 Randvoorwaarden modflow	22
2.3.9 Infiltratie tertiaire waterlopen	22
2.3.10 Buisdrainage	22
2.3.11 Verdamping veenweidegebieden	23
2.3.12 Diverse kleine verbeteringen in de schematisatie van het hoofdwatersysteem (LHM-DM).	25
3 Klimaatverandering	27
3.1 Neerslag/verdamping	27
3.2 Zeespiegelstijging	28
3.3 Buitenwaterstanden LSM	29
3.4 Rivierafvoeren	29
3.5 Kleine zijrivieren	30
3.6 Interne verzilting	31
3.7 Externe verzilting	31

3.8	Peilen hoofdwatersysteem	31
3.9	Gewasgroei	32
4	Socio-economische ontwikkelingen	35
4.1	Landgebruik en verhardingskaart	35
4.2	Bodemdaling, waterpeil natte natuur en onderwaterdrainage.	38
4.3	Drinkwater	42
4.3.1	Onttrekkingen oppervlaktewater	43
4.3.2	Onttrekkingen grondwater	43
4.4	Industrie	43
4.4.1	Onttrekkingen oppervlaktewater	44
4.4.2	Onttrekkingen grondwater	45
4.5	Berekening	45
4.6	Doorspoeling polders	46
4.7	Doorspoeling boezem en hoofdwatersysteem	48
4.7.1	Boezem-doorspoeling	48
4.7.2	Hoofdwatersysteem	48
4.8	Scheepvaart	49
5	Samenvatting	51
5.1	Invoergegevens	51
5.1.1	Klimaatverandering	51
5.1.2	Socio-economische ontwikkelingen	52
6	Aanbevelingen en geparkeerde onderwerpen	55
7	Referenties	57
 Bijlage(n)		
A	Memo: Methode voor het afleiden van een 100- jarige toekomstige afvoerreeks voor Lobith en Monsin	A-1
B	Aanpassingen DM Referentie 2017	B-1
C	Aanpassingen LSM-LT Referentie 2017	C-1
C.1	Stand alone LSMLT	C-1
C.2	Zeesluis IJmuiden	C-2
C.3	Capaciteit Noordervaart	C-3
C.4	Extra spui- en pompcapaciteit Afsluitdijk	C-4
C.5	2 ^e sluis Eefde	C-5
C.6	Gemaal de Pannerling	C-6
C.7	Roode Vaart	C-6
C.8	Schutverlies Weurt en lekverlies Grave	C-6
C.8.1	Schutverlies Weurt	C-6
C.8.2	Lekverlies Grave	C-7
C.9	Weurt, Maas-Waalkanaal	C-8
D	Memo: Doorspoeling in de Deltascenario's	D-1
D.1	Inleiding	D-1

D.2	Doorspoeling in LHM versie 3.3	D-1
D.3	Methode nieuwe referentiesituatie en scenario's	D-2
D.3.1	Nieuwe Referentiesituatie	D-2
D.3.2	Doorspoeling in de toekomstscenario's	D-3
D.3.3	Implementatie in LHM	D-5
D.4	Resultaten	D-6
D.5	Referenties	D-8
D.6	Appendix 1: Resultaten per gebied	D-9
D.7	Appendix 2: Theoretische doorspoelbehoefte	D-12
E	Memo: Berekening in de Deltascenario's	E-1
E.1	Inleiding	E-1
E.2	Methode	E-1
E.3	Resultaten	E-4
E.4	Conclusies	E-6
E.5	Referenties	E-7
F	Memo: Implementatie maatregelen WABES fase II (LHM en LSMLT)	F-1
G	Herkalibratie van gewasfactoren voor het LHM	G-1
G.1	Inleiding	G-1
G.2	Methode en materialen	G-1
G.3	Resultaat	G-2

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

De Deltascenario's zijn scenario's die in het Deltaprogramma worden gebruikt om verkenningen uit te voeren over de ontwikkelingen van het waterbeheer in de toekomst. De Deltascenario's zijn een combinatie van klimaatverandering en socio-economische ontwikkelingen. De eerste versie van de Deltascenario's stammen uit 2013 welke zijn afgeleid van klimaatverandering volgens de KNMI'06-scenario's en socio-economische verandering volgens de WLO'06-scenario's.

In 2014 zijn nieuwe klimaatscenario's (KNMI 2015) en nieuwe socio-economische WLO scenario's beschikbaar gekomen. Dit zijn de 2015 Welvaart en Leefomgeving (WLO) scenario's (CPB/PBL 2015). Deze nieuwe inzichten over klimaatverandering en socio-economische ontwikkelingen hebben aanleiding gegeven tot een actualisatie van de Deltascenario's. In 2017 zijn de verhaallijnen voor de 4 Deltascenario's (Rust, Druk, Warm, Stoom) geactualiseerd voor het zichtjaar 2050 op basis van de KNMI14-klimaatscenario's en de WLO 2015 socio-economische scenario's¹. Om in te kunnen spelen op het klimaatverdrag van Parijs, is tevens een variant Parijs gemaakt. Deze is gebaseerd op het scenario Druk (Wolters *et al*, 2018).

Het Deltaprogramma Zoetwater (DPZW) gebruikt de Deltascenario's om inzicht te krijgen over knelpunten en effectiviteit van maatregelen in de toekomst. De berekeningen worden uitgevoerd met het Nationaal Water Model (NWM). Om met de nieuwe Deltascenario's te kunnen rekenen zijn de verhaallijnen vertaald naar consistente modelinvoer. Hierbij gaat het bijvoorbeeld om neerslag, verdamping, rivierafvoer, landgebruik en watergebruik. Tevens was voor het Deltaprogramma Zoetwater de wens om ook de referentiesituatie te actualiseren aan de meest recente inzichten over te nemen maatregelen en aanpassingen in de sturing van het waterbeheer.

Deze rapportage beschrijft modelinvoer van de modellen die in het NWM zijn opgenomen voor de geactualiseerde Deltascenario's en de nieuwe Referentie voor het Deltaprogramma Zoetwater. Dit is beperkt tot de hydrologische en hydraulische modelcomponenten LHM en LSM-LT. De beschrijving van de uitgangspunten voor temperatuur en zout is beschreven in (Hunink en Hegnauer, 2016).

De modelinvoer is aangemaakt voor de periode 1911-2010. Invoergegevens voor de 100-jarige reeks zijn opgesteld voor zowel de Referentie 2017 als voor de Deltascenario's Rust, Druk, Warm en Stoom en variant Druk-Parijs voor het zichtjaar 2050 (Wolters *et al*, 2018). Per jaar variërende invoergegevens betreffen alleen het weer (neerslag, verdamping, temperaturen), en de rivierafvoeren (afvoer, peil, zoutindringing). Voor de overige invoer (ligging waterlopen, watersysteeminformatie) wordt uitgegaan van de referentiesituatie of voor de Deltascenario's de verwachte toekomstige situatie. De 100-jarige reeks geeft daarmee nadrukkelijk niet de historische situatie weer over de afgelopen honderd jaar. De 100-jarige reeks is uitsluitend bedoeld om de effecten van de weersvariatie op het huidige (of toekomstige) watersysteem in beeld te brengen.

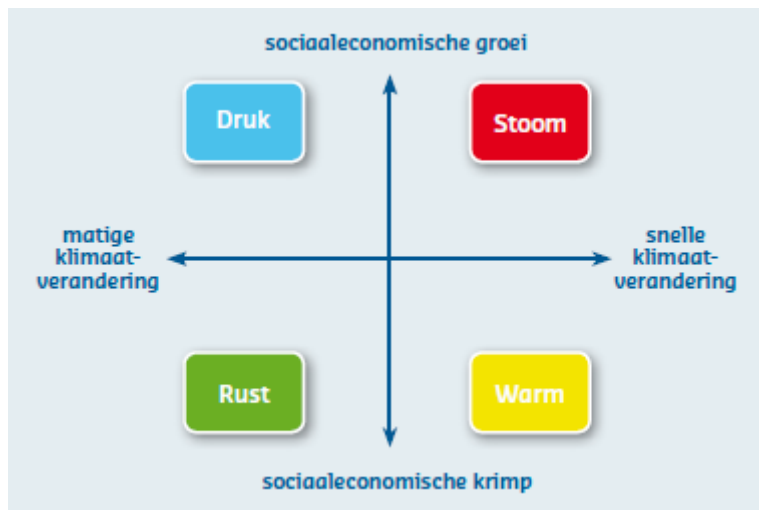
¹ In 2016 heeft al een update van het klimatologische deel plaatsgevonden welke zijn doorgerekend met het Nationaal Water Model voor de basisprognoses 2016.

1.2 Deltascenario's

Het waterbeheer in Nederland is gevoelig voor een aantal onzekere ontwikkelingen in de komende eeuw. Klimaatverandering kan gepaard gaan met meer droogte, maar kan tegelijkertijd ook meer neerslag veroorzaken. Klimaatverandering kan bovendien een sterker fluctuerende afvoer van de rivieren in de hand werken en ook extra zeespiegelstijging teweegbrengen. Als we niets extra's doen, kunnen problemen ontstaan of verergeren zoals een ontoereikende zoetwatervoorziening, wateroverlast of een toenemende kans op overstromingen. Als de economie sterk groeit of als het aantal inwoners stijgt, zouden hogere eisen gesteld kunnen worden aan het beschermingsniveau van dichtbevolkte en dichtbebouwde gebieden en aan een betrouwbare zoetwatervoorziening.

Deze twee ontwikkelingen, klimaatverandering en sociaaleconomische groei, zijn te beschouwen als autonoom: ze zijn sterk afhankelijk van externe krachten waarop Nederland alleen maar weinig invloed heeft. De snelheid van deze ontwikkelingen is zeer onzeker, hoewel de richting (zeker voor klimaatverandering) wel bekend is. We zullen daarom met een bandbreedte rekening moeten houden, zeker als we ver vooruitkijken. De Deltascenario's beschrijven zo goed mogelijk de plausibele bandbreedte in deze ontwikkelingen, in hun onderlinge samenhang en mogelijke consequenties voor ruimtegebruik en waterbeheer.

Figuur 1.1 geeft een overzicht van de uitgangspunten van de Deltascenario's en van de namen die zijn meegegeven aan de vier combinaties van economische groei en mate van klimaatverandering. Dat zijn scenario Druk voor de combinatie van hoge economische groei en trage klimaatverandering, scenario Stoom voor de combinatie van hoge economische groei en snelle klimaatverandering, scenario Rust voor de combinatie van lage economische groei en trage klimaatveranderingen en scenario Warm voor de combinatie lage economische groei en snelle klimaatverandering.



Figuur 1.1 Assenkruis; schematische weergave van de Deltascenario's

De beleidsrijke variant waarin de gevolgen van het akkoord van Parijs voor het waterbeheer zijn uitgewerkt is gekoppeld aan scenario Druk, het scenario met hoge economische groei en met matige klimaatverandering. Deze variant wordt daarom Variant Druk-Parijs genoemd. Deze variant gaat uit van een fors hogere klimaatmitigatie waardoor de maximale mondiale temperatuurstijging uitkomt op 1.5 tot 2.0 graden in 2100. De doorwerking van klimaatverandering in neerslag- en verdampingscijfers en in zeespiegelstijging is in variant Druk-Parijs gelijk verondersteld aan scenario Druk.

Het referentiejaar van de Deltascenario's is het jaar 2017. Het uitgangspunt van de referentie 2017 is dat het de situatie van 2017 inclusief enkele maatregelen en aanpassingen in het hydrologisch systeem waarvoor een definitief besluit is genomen en de financiering is geregeld beschrijft.

1.3 Nationaal Water Model (NWM)

1.3.1 Inleiding

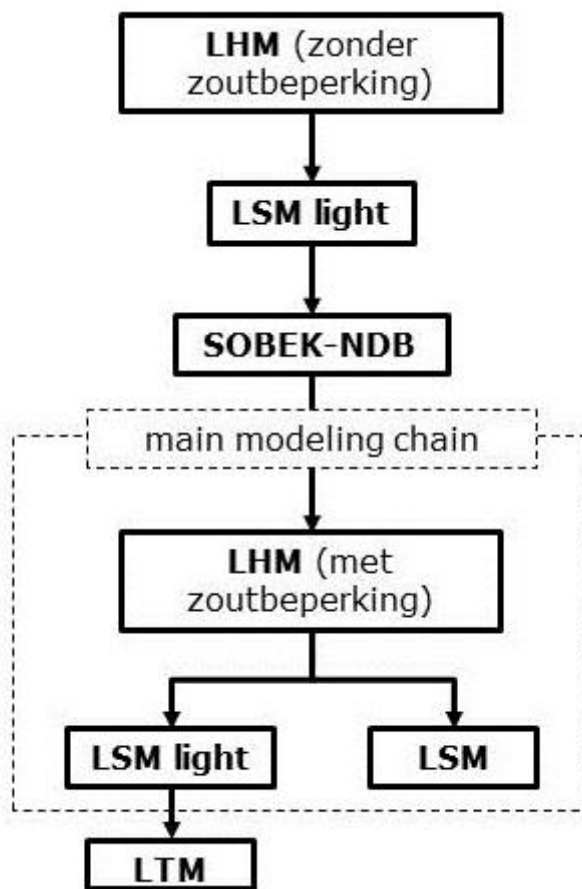
Het Nationaal Water Model bestaat uit een modellentrein voor Veiligheid, Zoetwater en Waterkwaliteit (in voorbereiding).

De Zoetwaterverdelingsvraagstukken die met het Nationaal Water Model doorgerekend kunnen worden zijn vooral beleidsmatige waterverdelings- en waterbeschikbaarheidsvraagstukken. Daarnaast berekenen we de watertemperatuur van zoetwater en is ook het zoutgehalte (chlorideconcentratie) een belangrijke parameter bij zoetwatervraagstukken.

Het modelinstrumentarium voor zoetwater is een modeltrein van meerdere afzonderlijke modellen. De reden dat er verschillende modellen nodig zijn, is dat er voor zoetwatervraagstukken verschillende uitkomsten nodig zijn. Het Nationaal Water Model levert onder meer resultaten over grondwaterstand, waterverdeling, zoutgehalte en temperatuur. Elk model berekent een deel hiervan.

De deelmodellen die we gebruiken zijn:

- LHM
- SOBEK-NDB
- LSM light
- LSM
- LTM



Figuur 1.2 Overzicht samenhang deelmodellen voor het onderdeel Zoetwater in het Nationaal Water Model.

Voor Zoetwater worden de volgende modules doorlopen in de rekentrein. De stappen tot en met SOBEK-NDB zijn in feite een iteratieslag die de benodigde randvoorwaarden leveren voor de resultaten die als basisprognoses Zoetwater zullen worden gebruikt.

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

1.3.2 Landelijk Hydrologisch Model (LHM)

Het Landelijk Hydrologisch Model (LHM, voorheen NHI) omvat geheel Nederland (exclusief de Waddeneilanden). Het LHM is een gekoppeld modelsysteem wat de volgende domeinen in onderlinge samenhang simuleert:

- Hoofdwatersysteem, oppervlaktewater (Distributiemodel);
- Regionaal oppervlaktesysteem (MOZART)
- Onverzadigde zone (METASWAP);
- Grondwater (MODFLOW).

In het NWM is LHM versie 3.3.0 opgenomen. De laatste toetsingsrapportage van het LHM is gedaan op basis van LHM 3.0 (Hoogewoud et al., 2013). Hieruit is gebleken dat het LHM op de volgende onderdelen nog verbetering behoeft:

- Interne verzilting, met name in West-Nederland (beheergebied Rijnland, HHNK) leidt dit tot een watervraag die niet op alle onderdelen logisch verklaarbaar is.
- De kwaliteit van het LHM in Zuid-Limburg is niet goed genoeg voor gebruik voor afweging van de scenario's.

In de LHM release van versie 3.2.0 zijn verbeteringen doorgevoerd voor de berekeningen van de interne verzilting. Deze zijn beperkt getoetst tijdens de ontwikkeling van de nieuwe modelversie.

Een uitgebreide toetsing van de bruikbaarheid van het LHM voor landelijke zoetwatervraagstukken is in 2013 uitgevoerd door Marchand (2013). Hierin wordt geconcludeerd dat het model geschikt is voor het doorrekenen van klimaatscenario's en dat het geschikt is voor het op hoofdlijnen doorrekenen van maatregelen.

De ontwikkeling van de referentie van de Deltascenario's en de ontwikkeling van de LHM release 3.4.0 liep parallel. De modelaanpassingen die te maken hebben met de huidige situatie zijn overgenomen en ook beschreven in de rapportage van de release van LHM 3.4.0 (Bos-Burgering et al, 2017). Additioneel zijn de modellen aangepast om ingrepen en maatregelen en de schematiseren, zie Hoofdstuk 2.

1.3.3 Landelijk Sobek Model (LSM)

Het LSM is een SOBEK-model (Landelijk Sobek Model) waarin de modelschematisaties van RWS en waterschappen zijn samengevoegd. LSM maakt gebruik van de in LHM aan de districten gealloceerde debieten op basis van de verdringingsreeks voor het berekenen van waterstanden en debieten. In LSM vindt de verdeling plaats op basis van de fysica, opgelegde lateralen uit LHM en sturingsregels voor de diverse kunstwerken.

De basis voor het Landelijk SOBEK Model is gelegd in het Deltamodel-project (Prinsen, 2012 en 2015). Sindsdien is er inhoudelijk geen grote update gedaan van de onderliggende modellen. De modelschematisaties zijn dus een weergave van de situatie 2012 of eerder. Wel zijn enkele verbeteringen doorgevoerd om takken en knopen beter te laten aansluiten. Er zijn twee versies van dit model in omloop.

- LSM
- LSM-Light

De Light variant wordt in het Nationaal Water Model gebruikt om jaarreeksen door te rekenen in verband met de rekentijden. De LSM-light versie is een uitsnede uit het LSM basismodel, waarbij de onttrekkingen en lozingen op bepaalde punten zijn samengevoegd i.v.m. met de uitsnede. De Light variant bevat minder detail van het regionale oppervlaktewater (waterschappen). Voor detailanalyse in de regio is het mogelijk om losse jaren met het uitgebreide LSM model te berekenen. Op dit moment wordt in opdracht van Rijkswaterstaat door Deltares gewerkt aan een nieuw Landelijk Sobek Model voor de Rijkswateren op basis van de D-Hydro Software (1D).

De deelmodellen waar LSM uit is opgebouwd hadden veelal de focus op hoogwater toepassingen; dat betekent dat bijvoorbeeld bij kunstwerken aspecten als lekverliezen, vistrappen e.d. die bij laag water belangrijk zijn, niet in de schematisatie van de kunstwerken zijn opgenomen (Weiler en Erdbrink, 2010). Er is geen structurele kalibratie en validatie uitgevoerd. De verschillende achtergrondrapportages bij releases (Prinsen, 2012 en 2015) en de beperkte validatie voor het VONK project (Wesselijs, 2015) geven goed inzicht in de prestaties van het LSM-model.

Hierover kan het volgende worden gezegd:

- Het LSM-model is goed in staat om op basis van een vooraf gedefinieerde strategie te sturen op een gewenst peilniveau. In het model is geen rekening gehouden met het daadwerkelijk beheer waardoor afwijkingen van het reguliere peilbeheer om te kunnen anticiperen op verwachte periode van droogte of neerslag worden door het model niet gerepresenteerd;
- De schematisatie van de kunstwerken in niet op alle locaties in overeenstemming met de werkelijkheid, en het gemodelleerde beheer komt niet op alle locaties overeen met de vigerende sturingsregels. We adviseren om de modellering van de kunstwerken in de nieuwe versie van LSM te verbeteren. Op basis van een vergelijking met metingen voor een natte periode (najaar 1998) en droge situatie (2003) door Wesselijs (2015) bleek dat het model de dynamiek van variaties en trends in waterstanden en debieten redelijk representeert, maar dat met name op locaties langs de grote rivieren (Nijmegen) en kanalen (Julianakanaal) de piekwaarden in hoge en lage afvoersituaties aanzienlijk afwijken van metingen (orde decimeters in piekwaarden).
- Het model is niet goed in staat om uitspraken te doen over waterstanden in wind- of getij gedomineerd gebied:
 - In de gebieden onder invloed van het getij is de gekozen rekenstap (1uur) en uitvoer (daggemiddelde) te grof;
 - Op het IJsselmeer (en ook Markermeer en de Veluwe-Randmeren) wordt het effect van de wind niet meegenomen in het model en ontstaan er afwijkingen tussen de berekende en gemeten waterstanden;

1.4 Leeswijzer

Deze rapportage beschrijft modelinvoer voor het NWM van de nieuwe Referentie (hoofdstuk 2), de geactualiseerde Deltascenario's, klimaat (hoofdstuk 3) en socio-economische veranderingen (hoofdstuk 4). Dit is beperkt tot de hydrologische en hydraulische modelcomponenten LHM en LSM-LT. De beschrijving van de uitgangspunten voor temperatuur en zout is beschreven in (Hunink en Hegnauer, 2016).

Het is bedoeld als naslagwerk voor inhoudelijk betrokkenen bij het Deltaprogramma Zoetwater, bij de analyse en duiding van NWM-modelresultaten die naar verwachting in najaar 2018 beschikbaar komen. Per alinea is tevens aangegeven op welke modelfiles wijzigingen betrekking hebben.

2 Referentie 2017

Dit hoofdstuk beschrijft hoe het watersysteem geschematiseerd is voor de referentie 2017 (Ref2017). Dit omvat de huidige situatie inclusief enkele maatregelen en aanpassingen in het hydrologisch systeem waarvoor een definitief besluit is genomen voor december 2017 en de financiering is geregeld. Dit betekent dat er enkele aanpassingen in de modelschematisatie zijn doorgevoerd die nu nog niet in de praktijk zijn geïmplementeerd. Dit betekent dat de schematisaties van de modellen niet op alle vlakken overeen komen met de schematisaties zoals ze in het beheer en onderhoud van de modellen zijn vastgesteld.

2.1 Ingrepen

Er zijn verschillende ingrepen in het hoofdwatersysteem gepland: de verdieping van de Nieuwe Waterweg, de selectieve onttrekking bij de zeesluis IJmuiden ter compensatie van de nieuwe sluis, De Kier, extra pomp- en spuicapaciteit Afsluitdijk en een 2^e sluis bij Eefde. Hiernaast is uit de regio nog een verbetering voorgesteld omtrent de capaciteit van de Noordervaart.

2.1.1 Verdieping Nieuwe Waterweg

Op basis van analyse van de schematisatie van de verdieping van de Nieuwe Waterweg is besloten om deze ingreep niet mee te nemen in de deze referentie.

De eerdere schematisatie van de verdieping van de Nieuwe Waterweg in het SOBEK-NDB model gaat uit van ruimere dwarsprofielen dan in de werkelijkheid. Hierdoor lijken de chloride concentraties in de huidige situatie voldoende voorspeld te worden. Het is echter onduidelijk wat voor consequenties deze schematisatie heeft op de berekende afvoeren en of deze schematisatie ook voor de situatie 2050 met lagere afvoeren de chloride concentraties voldoende goed berekend. Door deze onzekerheden is besloten deze schematisatie niet mee te nemen en de effecten van de verdieping van de Nieuwe Waterweg door maatwerk (zoals extra nabewerkingen of maatwerk sommen) in te schatten.

2.1.2 Zeesluis IJmuiden (Selectieve Onttrekking)

Het uitgangspunt bij de selectieve onttrekking is dat er gemiddeld geen effecten op de zoutindringing zijn. Ook heeft de selectieve onttrekking geen extra water nodig, dus de gemiddelde watervraag van het Noordzeekanaal blijft gelijk als gevolg van de selectieve onttrekkingen. In droge situaties is wel een effect op de zoutconcentraties in het Noordzeekanaal mogelijk. De effecten van de nieuwe Zeesluis bij IJmuiden in combinatie met de selectieve onttrekking kan met een 1D-zoutmodel nog niet goed worden gemodelleerd. Hierom is gekozen om geen aanpassingen als gevolg van deze ingreep.

Bij de hotspot analyse van het Noordzeekanaal/Amsterdam Rijnkanaal (Mens *et al*, 2018) is wel aangegeven dat de huidige beheersregels niet overeen komen met de beheersregels in het LHM. Het Amsterdam Rijnkanaal (ARK) is verwijd ter hoogte van Zeeburg. Hierdoor is de zoutindringing stroomopwaarts in het ARK makkelijker. In het LHM wordt een minimaal debiet van 10 m³/s op het ARK ter hoogte van Weesp aangehouden (conform Waterakkoord), terwijl de huidige beheersregels uit gaan van 25 m³/s om droge jaren als 2003 aan te kunnen. Hierom is het minimaal gewenst debiet in het ARK bij Weesp aangepast van 18 m³/s naar 25 m³/s naar aanleiding van de laatste inzichten.

De schematisatie is aangepast:

LHM-DM

- Inks.txt

2.1.3 Noordervaart

In een regio overleg ten behoeve van het project Waterbeschikbaarheid (WABES) is benoemd dat de huidige capaciteit van de Noordervaart in het model niet overeenkomt met de huidige situatie. De huidige capaciteit moet worden aanpast van 4.0 m³/s naar 5.4 m³/s per 2020. Dit is doorgevoerd in het model DM en LSMLT.

De volgende modelbestanden zijn aangepast:

LHM-DM

- Inks.txt

LSMLT

2.1.4 Gemaalcapaciteiten en doorvoeren

De gemaalcapaciteiten en doorvoeren kunnen mogelijk in de referentie een knelpunt veroorzaken. Uitgangspunt bij het definiëren van de referentie is dat alleen de aanpassingen aan de capaciteiten worden doorgevoerd waarvan de financiering in 2017 is geregeld en waarvan de implementatie gepland staat voor 2021.

In de vorige referentie van de Deltascenario's is de peilafhankelijke inlaat van de Kromme Rijn aangepast naar een niet peilafhankelijke inlaat. Deze maatregel is nog niet gepland en nog geen financiële reservering voor gedaan. Hierom wordt deze niet doorgevoerd in de referentie maar kan deze wel als Fase 2 maatregel worden meegenomen.

Het waterschap Rivierenland heeft aangegeven een deel van de capaciteiten te vergroten. De volgende aanpassingen zijn doorgevoerd:

- Pannerling
- Kuijkgemaal
- Inlaatcapaciteiten Districten Waterschap Rivierenland (volgens opgave van het waterschap)

De details van de modelaanpassingen in bijlage C (LHM-DM) en bijlage D (LSM-LT).

De schematisatie is aangepast:

LHM-DM

- nds.txt
- Inks.txt

LSM-LT

2.1.5 Kier Haringvliet.

Per 15 november 2018 zal het Kierbesluit in werking treden. Dit betekent dat het Haringvlietssluisen bij vloed “op een kier” zullen gaan. Momenteel openen de Haringvlietssluisen alleen als het eb is en de afvoer bij Lobith meer dan 1100 m³/s bedraagt, er wordt dus alleen gespuid en het Haringvliet blijft zoet. Als de sluisen “op een kier gaan”, zullen ze ook in beperkte mate open gaan tijdens vloed, zodat visintrek weer mogelijk wordt. Hierdoor zal het Haringvliet ook weer gedeeltelijk zout worden. Hoe het nieuwe stuurprogramma voor de Haringvlietssluisen er precies uit zal zien is nog niet bekend. Middels het “Lerend Implementeren” principe zal men de sluisen voorzichtig open gaan zetten tijdens vloed en de zoutconcentraties monitoren. Zout mag hierbij niet voorbij de lijn Middelharnis-Spui komen. Afhankelijk van hoe de zoutverspreiding gaat, kunnen de sluisen verder of minder ver open tijdens vloed.

Hoewel deze maatregel de zoutconcentraties aan zowel de zuid- als noordrand zal beïnvloeden, is deze maatregel niet opgenomen in de nieuwe modelinvoer van de Referentie 2017 voor het Nationaal Watermodel. Hier zijn twee redenen voor:

1. Zoutverspreiding op het Haringvliet wordt beïnvloed door de aanwezigheid van diepe geulen en wind en kent daarmee een sterk driedimensionaal karakter. Er bestaan geen dispersieformuleringen die deze zoutverspreidingsprocessen vertalen naar wat er in een 1D model gebeurt. Van bestaande dispersieformuleringen kan bovendien niet worden nagegaan of deze – voor de beoogde toepassing – de zoutverspreiding voldoende goed kunnen representeren, omdat er geen metingen beschikbaar zijn;
2. Het uiteindelijke stuurprogramma is nog niet bekend.

2.1.6 Extra pomp- en spuicapaciteit Afsluitdijk

De zeespiegel zal gaan stijgen waardoor extra capaciteit nodig is om water uit het IJsselmeer naar de Waddenzee te pompen. Op basis van navraag bij de regio is gebleken dat verwacht wordt dat de nieuwe pompen 31-12-2022 operationeel zijn met een minimale pompcapaciteit van 260 m³/s. Besloten is om de capaciteit van 260 m³/s mee te nemen in de referentie 2017. Dit is ingebouwd in het LSM-LT. Het LHM-DM model gaat uit dat al het wateroverschot altijd geloosd kan worden, hierom zijn geen aanpassingen LHM-DM doorgevoerd.

De schematisatie is aangepast:
LSM-LT

2.1.7 2e sluis Eefde

Bij de sluis van Eefde is een tweede sluis gepland. Een tweede sluis kan zorgen voor extra schutverlies. Het schutverlies zoals nu opgenomen in het NWM bedraagt voor LHM en LSMLT: 1.7 m³/dag.

Naar aanleiding van overleg met de regio worden de volgende schutverliezen ingebouwd voor de huidige en de 2^e sluis.

Huidige sluis:

Oppervlak sluis: 1717 m²

Gemiddelde hoogte: 6m ==> **2,5 m³/s schutverlies**

Gemiddeld aantal schuttingen/dag: 21 (uit tabel IWP)

Nieuwe sluis

Oppervlak sluis: 1254 m²

Gemiddelde hoogte: 6m ==> **1.0 m³/s schutverlies**

Gemiddeld aantal schuttingen/dag: 12

Het schutverlies treedt op in westelijke richting.

Totaal is een schutverlies van 3.5 m³/s ingebouwd in de Ref2017.

De schematisatie is aangepast:

LHM-DM

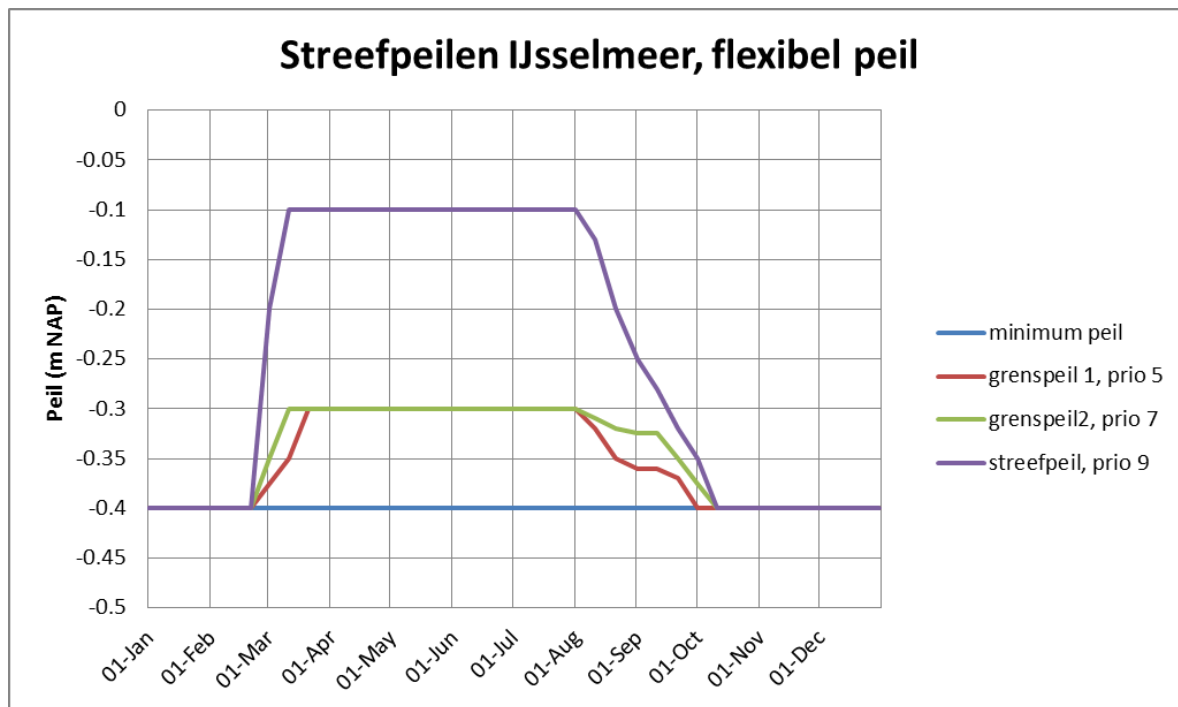
- nds.txt
- lnks.txt

LSM-LT

2.2 Maatregelen DP fase 1

2.2.1 Flexibel peil IJsselmeer-Markermeer

Het flexibel IJsselmeer-Markermeer is in eerdere berekeningen al geïmplementeerd in het NWM ten behoeve van WABES berekeningen (Deltares, 2016). Naar aanleiding recente onderzoeken, het nieuwe peilbesluit (Kolen 2017, Staveren en Wouder 2017), en inzichten opgedaan in de hotspotanalyse (Mens et al., 2018) is de implementatie van flexibel peil in DM aangepast. Het nieuwe verloop is weergegeven in Figuur 2.1.



Figuur 2.1 Implementatie peilbeheer IJsselmeer+Markermeer

De peilopzet naar -0,10 m NAP, die in de praktijk alleen wordt gedaan als er een droogte wordt verwacht, wordt in het model altijd toegepast, ook als het niet nodig is. In het model is het namelijk niet mogelijk om vooruit te kijken. Het peil zal hierdoor in natte jaren te hoog zijn, maar in droge jaren ervoor zorgen dat er extra buffer beschikbaar is. In de periode augustus-september zakt het peil eerder uit naar winterpeil, in vergelijking met huidig peilbeheer. De grenspeilen en prioriteiten die het uitzakken in het model regelen zijn zoveel mogelijk ongewijzigd gelaten. Alleen in de periode augustus-september, waarin het nieuwe streefpeil al lager is, moeten de grenspeilen wegens interne modelconsistentie ook lager worden gedefinieerd.

Verder is uit consistentieoverwegingen een kleine aanpassing gedaan voor het streefpeil van de Randmeren-Oost (Veluwemeer-Wolderwijd). Het streefpeil is hier in de huidige situatie (-0.30 m NAP winter, -0.05 m NAP zomer) altijd hoger dan het streefpeil van IJsselmeer/Markermeer. Er wordt vanuit gegaan dat dit zo blijft. Daarom is voor Randmeren Oost een iets snellere peilopzet in maart toegestaan (verhoging van het streefpeil in het model op 11 maart met 5 cm naar -0.15 m NAP), zodat het streefpeil van de Randmeren Oost altijd tenminste gelijk is aan het streefpeil IJsselmeer.

De beschreven aanpassingen zijn zowel in het LHM als in het LSMLT verwerkt. De eerder aangemaakte invoer (Deltares, 2016) is aangepast naar de actuele modelversie van het LHM en het LSM-LT.

De schematisatie is aangepast:

LHM-DM

- nds.txt
- lns.txt

LSM-LT

Tabel 2.1 Implementatie flexibel peil IJsselmeer

	minimum peil	grenspeil 1, prio 5	grenspeil2, prio 7	streefpeil, prio 9
01-Jan	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4
11-Jan	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4
21-Jan	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4
01-Feb	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4
11-Feb	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4
21-Feb	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4
01-Mar	-0.4	-0.375	-0.35	-0.2
11-Mar	-0.4	-0.35	-0.3	-0.1
21-Mar	-0.4	-0.3	-0.3	-0.1
01-Apr	-0.4	-0.3	-0.3	-0.1
11-Apr	-0.4	-0.3	-0.3	-0.1
21-Apr	-0.4	-0.3	-0.3	-0.1
01-May	-0.4	-0.3	-0.3	-0.1
11-May	-0.4	-0.3	-0.3	-0.1
21-May	-0.4	-0.3	-0.3	-0.1
01-Jun	-0.4	-0.3	-0.3	-0.1
11-Jun	-0.4	-0.3	-0.3	-0.1
21-Jun	-0.4	-0.3	-0.3	-0.1
01-Jul	-0.4	-0.3	-0.3	-0.1
11-Jul	-0.4	-0.3	-0.3	-0.1
21-Jul	-0.4	-0.3	-0.3	-0.1
01-Aug	-0.4	-0.3	-0.3	-0.1
11-Aug	-0.4	-0.32	-0.31	-0.13
21-Aug	-0.4	-0.35	-0.32	-0.2
01-Sep	-0.4	-0.36	-0.325	-0.25
11-Sep	-0.4	-0.360	-0.325	-0.28
21-Sep	-0.4	-0.370	-0.35	-0.32
01-Oct	-0.4	-0.4	-0.375	-0.35
11-Oct	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4
21-Oct	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4
01-Nov	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4
11-Nov	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4
21-Nov	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4
01-Dec	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4
11-Dec	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4
21-Dec	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4
31-Dec	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4

2.2.2 Extra aanvoer via Roode Vaart

In LHM is tak 50211 toegevoegd tussen het Hollandsch Diep en het Mark-Vliet boezemsysteem van waterschap Brabantse Delta (knoop 515=6015 Hollandsch Diep, knoop 5088 Mark). De aanvoerroute via Roode Vaart is toegevoegd aan de Mark (knoop 5088).

In LHM 3.3.0 schematisatie worden watervragen vanaf het samenvloeiingspunt RoodeVaart/Mark-Dintel (DM knoop 5088) in DM doorgesluisd als vraag aan Oosterhout. In de Ref2017 schematisatie kan ook water aangevoerd worden via de Roode Vaart. De watervragen worden dan volgens een fractie deel via de Roode Vaart, deels via Oosterhout gevraagd.

Voor wat betreft de aanvoerfractie zijn meerdere mogelijkheden onderzocht.

- Bij een debietafhankelijke aanvoerfractie zou de Roode Vaart alleen gebruikt worden als er een grote watervraag is.
- Bij een niet-debietafhankelijke aanvoerfractie zal in principe een vaste fractie van de vraag via de Roode Vaart aangevoerd worden.
- In de schematisatie voor de huidige situatie is de capaciteit voor de aanvoer via Oosterhout ook in droge jaren voldoende, omdat voorzien is dat niet alleen water uit het Wilhelminakanaal bij Oosterhout naar het westen gevoerd kan worden, maar dat vanuit de Maas/Amer tot max. 20 m³/s naar Oosterhout aangevoerd kan worden.
- Voor sommen met zout Volkerak Zoommeer (VZM) zijn binnen het project DPZW eerder sommen gemaakt met fractie 0.45 via Oosterhout en fractie 0.55 via de Roode Vaart (uitgebreid tot capaciteit 10 m³/s). Dit is echter nog niet aan de orde in voor DPZW omdat de huidige situatie een zoet VZM is.

Dit alles overwegende is nu een fractie 0.4 voor aanvoer via Roode Vaart genomen. De resultaten van testsommen worden in paragraaf 3.2 toegelicht.

In het LSM is in de huidige situatie de pomp in de Roode Vaart (pomp 104) aangepast, zodat deze in de zomerperiode tijdens lage afvoeren (<6,5 m³/s bij Dintelsas) een debiet van maximaal 3,3 m³/s kan pompen.

De eerder aangemaakte invoer (Deltares, 2016) is aangepast naar de actuele modelversie van het LHM en het LSM-LT. Voor het zichtjaar 2050 zijn aanpassingen in de invoer gedaan om de sturingsregels in LSM-LT goed te krijgen. Deze zijn doorgevoerd in het LSM-LT model wat ook voor de referentie draait. Deze aanpassingen zijn beschreven in bijlage D.7.

De schematisatie is aangepast:

LHM-DM

- nds.txt
- lnks.txt

LSM-LT

2.2.3 Uitbreiding Kleinschalige Wateraanvoer (KWA-plus)

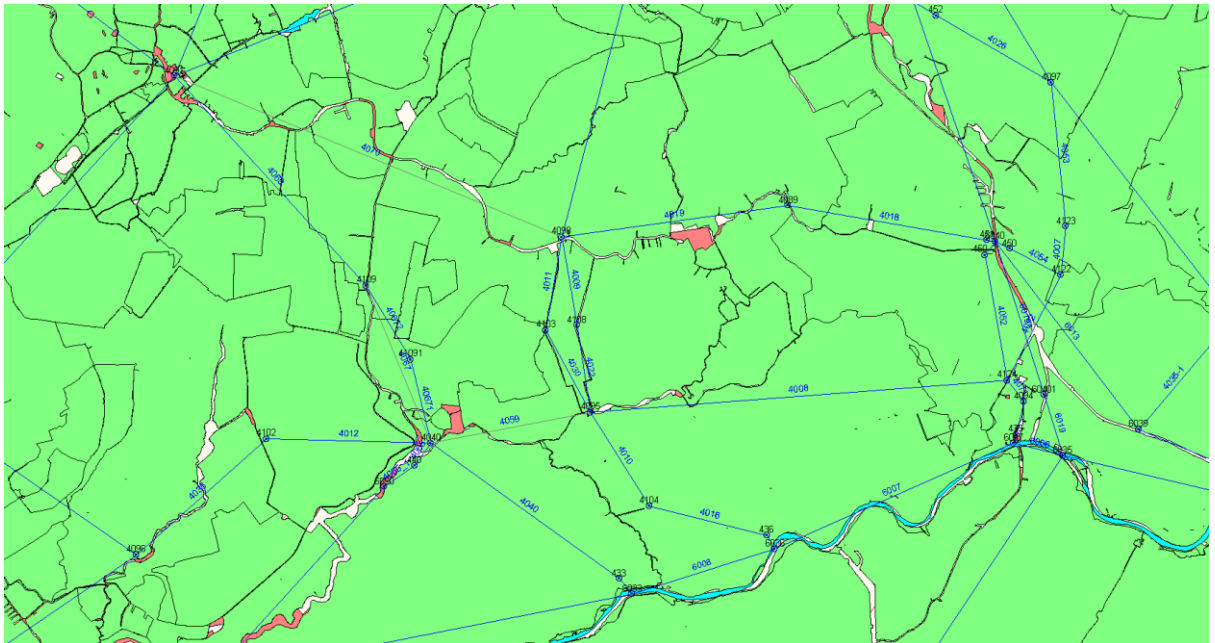
Het gaat om de KWA-15 (stap 1 van de voorkeursstrategie Deltaprogramma Zoetwater) zoals aangegeven in de informatie van HDSR. Ten opzichte van de standaard invoer (huidige KWA) is aangepast:

1. Takcapaciteiten in de file LNKS.TXT
 - a. Doorslag (tak 4008, capaciteit 9.6 i.p.v. 7.0 m³/s)
 - b. Gemaal de Koekoek en Keulevaart (tak 4010 en 4016, capaciteit 8.5 i.p.v. 4.9 m³/s)
 - c. Gemaal de Aanvoerder (tak 4018, capaciteit 7.0 i.p.v. 6.9 m³/s)
 - d. De capaciteit van de Waaiersluis richting Gouda is op 4.0 m³/s gesteld. Dit is het gewenste maximum voor wateraanvoer naar Rijnland. Voor afvoer van overtollig water uit HDSR zou de capaciteit hoger mogen zijn (14.0 m³/s volgens de invoer huidige situatie), maar het blijkt dat in die capaciteit bij de schematisatie van de huidige situatie niet gebruikt wordt omdat overtollig water zoveel mogelijk naar het ARK wordt afgevoerd.
2. Verdeelsleutels in de file NDS.TXT
 - a. Rijnland (knoop 4091): zonder chlorideproblemen alles via de Gouwe (knoop 4109) inlaten via Gouda, bij te hoog chloride gehalte niet meer alles via Bodegraven (4090), maar 27% via de Gouwe en 73% via Bodegraven
 - b. Bodegraven (knoop 4090): relatief meer aanvoer via de Aanvoerder (knoop 4089) dan via de Wierickes (knoop 4103): streefverdeling 65%-35%.
 - c. Waaiersluis (knoop 4095) relatief meer aanvoer via Keulevaart en Koekoek (knoop 4104) dan via Doorslag (knoop 4124), en geen aanvoer meer vanaf Hollandse IJssel – Gouda maar juist afvoer naar Hollandse IJssel (juist in KWA)
 - d. Gouda (knoop 4040): standaard onttrekken via Hollandse IJssel, maar bij hoog chloride gehalte via Waaiersluis (knoop 4095) onttrekken.

Extra gewenst debiet op de Lek (3 m³/s) of als doorvoer via de Krimpenerwaard naar de Hollandse IJssel om **voor een zoetwaterbel** (voldoende tegendruk) bij Gouda te zorgen, is niet opgenomen in de nieuwe referentie. Dit is namelijk geen onderdeel van de aangegeven stap 1 variant in de door HDSR gegeven informatie (in de stap 2 varianten is die doorvoer door de Krimpenerwaard wel opgenomen).

Er is **geen aanpassing** in het moment waarop de KWA getriggerd wordt, die blijft zoals het is in het referentiemodel (namelijk bij overschrijding van chlorideconcentratie 200 mg/l bij Krimpen volgens de SOBEK-RE berekeningen². Ook zijn er in Rijnland, Delfland en Schieland geen aanpassingen.

² Zoals bekend is die kritieke waarde in LHM iets lager ingesteld dan de officiële waarde van 250 mg/l omdat de berekende concentraties met het SOBEK-RE model iets lager zijn.



Figuur 2.2 knoop/taknummers relevant voor KWA

In het LSM laat in de huidige situatie de pomp in de Roode Vaart (104) aangepast, zodat deze in de zomerperiode tijdens lage afvoeren (<6,5 m³/s bij Dintelsas) een debiet van maximaal 3,3 m³/s kan pompen.

De eerder aangemaakte invoer (Deltares, 2016) is aangepast naar de actuele modelversie van het LHM en het LSM-LT.

De schematisatie is aangepast:

LHM-DM

- nds.txt
- lns.txt

LSM-LT

2.2.4 Regionale maatregelen

Op basis van de pilot rivierenland (Schimmel, 2017) is geconstateerd dat de meeste regionale maatregelen alleen tijdelijk of lokaal effect hebben op de watervraag. Daarnaast is kunnen niet alle regionale maatregelen goed in een landelijk model worden meegenomen. Daarom is besloten dat het niet effectief is om regionale maatregelen mee te nemen in de Ref2017.

2.3 Modelaanpassingen/modelverbeteringen

2.3.1 Berekening

In de Regionale Verkenning Zoetwater Rivierengebied (Witteveen+Bos, 2016) is gekeken naar de berekening zoals in het regionale model en in het LHM (versie 3.0) is geschematiseerd. Hierin wordt geconcludeerd dat het beregeningsregime in het model niet goed aansluit bij de praktijk.

In het Rivierengebied vinden er drie soorten berekening plaats:

- 1 Ten gevolge van droogte
- 2 Ter voorkoming van bevroering
- 3 Ter voorkoming van zonnebrand.

Berekening type 2 en 3 komt alleen voor ten behoeve van de fruitteelt. In de modellen als LHM en MORIA vindt alleen berekening plaats als gevolg van droogte. Aangezien de periode van nachtvorstberekening (tot half mei) waarschijnlijk niet samenvalt met het moment van een lage waterbeschikbaarheid, is het voor een knelpuntenanalyse ten behoeve van droogte niet erg om deze term niet mee te nemen. De berekening ter voorkoming van zonnebrand vindt wel plaats tijdens droge periode en wordt ingeschat op 2.6 mm/d voor het areaal fruitteelt (Acacia, 2016).

De huidige beregeningsgift per periode bedraagt nu 25 mm/periode. De beregeningsperiode in het LHM voor fruitteelt is nu 7 dagen wat neerkomt op 3.6 mm/dag.

Er zijn geen registraties of andere metingen bekend bij het Waterschap over de hoeveelheid berekening. Wel wordt aangegeven dat het huidige beregeningsregime niet aan sluit bij de praktijk en dat het LHM hierom een te lage vraag voor berekening berekend. In onderstaande tabel is de berekende beregeningshoeveelheden met het LHM voor de huidige situatie weergegeven.

Tabel 2.2 Met het model berekende berekening uit grondwater en oppervlaktewater voor de beregende percelen binnen het beheersgebied van het Waterschap Rivierenland.

Jaar	1998	2000	2001	2003	2005
bereg uit gw (mm/jaar)	1.4	0.7	2.07	3.07	1.25
bereg uit oppw (mm/jaar)	7.39	4.05	10.82	20.47	7.32
som (mm/jaar)	8.79	4.75	12.89	23.54	8.57
som (Mm3/jaar)	17.6	9.5	25.8	47.1	17.1

Tabel 2.3 Vergelijking van het beregeningsregime in de praktijk en de modellen MORIA en LHM (versie 3.0) uit Acacia 2016.

Landgebruik berekening REFERENTIE, HUIDIGE SITUATIE	Model Moria en NHI REFERENTIE, HUIDIGE SITUATIE	Praktijk REFERENTIE, HUIDIGE SITUATIE	Correctiefactor
Fruitteelt - droogte	25 mm/7 dagen = 3,6 mm/dag op 36% areaal	5 (4-8) mm/dag op 100% areaal	ja, factor 3,8
Fruitteelt - zonnebrand	niet meegenomen	30 m ³ /ha per uur = 3 mm/uur 7 uur in 2 dagen op 25% areaal = 2,6 mm/dag 7 uur/dag op 100% areaal = 21 mm/dag	ja, factor 5,9 (samen met factor voor droogte)
Boomteelt - droogte	25 mm/7 dagen = 3,6 mm/dag op 36% areaal	6 mm/dag op 100% areaal	ja, factor 1,7
Glastuinbouw - droogte	25 mm/7 dagen = 3,6 mm/dag op 36% areaal	6 mm/dag op 100% areaal	geen
Tuinbouw - droogte	25 mm/7 dagen = 3,6 mm/dag op 36% areaal	niet meegenomen	geen
Akkerbouw - droogte	25 mm/7 dagen = 3,6 mm/dag op 15% areaal	15 mm per keer, zo'n 2 keer per week = 4,3 mm/dag	geen
Gras - droogte	25 mm/10 dagen = 2,5 mm/dag op 20% areaal	40 mm per keer, 2 à 3 keer per jaar op geringer areaal	geen

Bovenstaande gegevens over berekening zijn afkomstig van een studie van Acacia, (2016). Hieruit blijkt dat het beregeningsregime verschilt tussen model en praktijk.

LHM 3.2.0 bevat een update van het landgebruik en de bijbehorende potentiële beregeningskaart. In deze beregeningskaart wordt de klasse 'fruitteelt' (klasse 21) voor 100% beregend, boomteelt (klasse 7) 100% beregening en boomgaard 90% beregend. De intensiteit en de herhalingstijden zijn niet gewijzigd.

De percentages beregend areaal voor de fruitteelt en de boomteelt zijn door de update van LHM 3.2.0 al consistent gemaakt aan de praktijk cijfers. Er is nog wel een verschil in het beregeningsregime. Regionaal aanpassen van deze regimes is mogelijk in het LHM maar dit is wel complex. Ook zijn er geen metingen beschikbaar waarmee de berekende beregeningshoeveelheden gevalideerd kunnen worden.

Op basis van regionale studies en expert kennis door onder andere het waterschap Rivierenland is de beregeningsintensiteit voor boomgaard (landgebruik klasse 9), fruitteelt (landgebruik klasse 21) en boomteelt (landgebruik klasse 7) verhoogd van 3.6 naar 5.0 mm/dag (= 35mm/7 dagen).

Het advies is om het beregeningsregime op de ontwikkelagenda te zetten van het LHM zodat voor een landelijke toepassing geschikt beregeningsregime kan worden afgeleid. Regionale modellen kunnen vervolgens werken met regio-specifieke regimes.

Om de beregeningsintensiteit aan te passen is de volgende modelinvoer aangepast:

LHM-MetaSWAP

- luse_svat.inp

2.3.2 Grondwateronttrekkingen

In de regionale sessies van het Deltaprogramma Zoetwater in het najaar van 2016 is opgemerkt dat er in Brabant een aantal pompstations inmiddels gesloten zijn. De grondwateronttrekkingen zijn het LHM geschematiseerd als vaste waarde. De in het LHM gebruikte onttrekkingsdebieten zijn gebaseerd op een inventarisatie voor het jaar 2010. Er wordt momenteel gewerkt aan een database die het updaten van de drinkwater onttrekkingsgegevens in de grondwatermodellen makkelijker moet maken. Dit is echter momenteel nog niet afgerond. Voorgesteld wordt om in deze fase alleen een correctie uit te voeren op de actieve pompstations in Brabant, en geen actualisatie in de onttrokken hoeveelheden water door te voeren.

Na overleg met Brabant Water (Jelle van Sijl) blijkt dat de winning Vierlingsbeeks is gesloten in juli 2012 en Boxmeer in december 2012. De winning Macharen zal gesloten medio 2018. Deze drie winningen zijn verwijderd uit de modelinvoer.

Tabel 2.4 Gesloten pompstations die nog wel in het LHM zijn geschematiseerd.

Pompstation	Sluiting	Onttrekking LHM 3.3.0 Mm3/jaar (gebaseerd op situatie 2010)
Boxmeer	December 2012	1.35
Vierlingsbeek	Juni 2012	1.97
Macharen	Medio 2018	2.79
	Som	6.11

Totale onttrekking van Brabant Water in het LHM 3.3.0 bedraagt 183.7 Mm³/jaar. Het water wat gewonnen werd uit de gesloten pompstations zal in praktijk worden onttrokken uit de andere stations. De afname van de totale onttrekking uit het grondwater voor drinkwater als gevolg van bedraagt 3%. Dit kleine getal geeft geen aanleiding om het minder onttrokken water te verdelen over de andere pompstations. In het licht van de afname van de totale onttrekkingen ten behoeve van drinkwater is een afname van 3% ten opzichte van 2010 niet onwaarschijnlijk (Verhagen *et al*, 2017). Hierom zijn er geen andere correcties uitgevoerd.

De locaties van de putten van de pompstations Boxmeer, Vierlingsbeek en Macharen zijn verwijderd uit de volgende bestanden:

LHM-MODFLOW:

- *wel_bw_l2_cor.ipf*
- *wel_bw_l3_cor.ipf*
- *wel_bw_l4_cor.ipf*
- *wel_bw_l5_cor.ipf*
- *wel_bw_l6_cor.ipf*
- *wel_bw_l7_cor.ipf*

2.3.3 Doorspoeling polders

Sinds de inventarisatie waar de bestaande gegevens van het LHM op zijn gebaseerd, is er meer informatie gekomen over doorspoeling in verschillende regio's. (Stuyt *et al.*, 2011) hebben de doorspoelpraktijk geïnterviewd bij de betreffende waterschappen, en vormt een belangrijke gegevensbron voor deze herziening. (Kramer *et al.*, 2017) hebben recent de doorspoeling in de Haarlemmermeer bepaald. In de Zuidwestelijke Delta is in verschillende studies gekeken naar de waterbehoefte, waaronder doorspoeling (Baltissen *et al.*, 2014; De Vries *et al.*, 2009; Schipper *et al.*, 2014; Water uit de Wal, 2012; Witteveen + Bos, 2005). (De Louw *et al.*, 2011) geven doorspoelgetallen voor de polder Noordplas.

Met verschillende waterbeheerders is gericht contact geweest over het doorspoelbeleid van polders in hun beheersgebied.

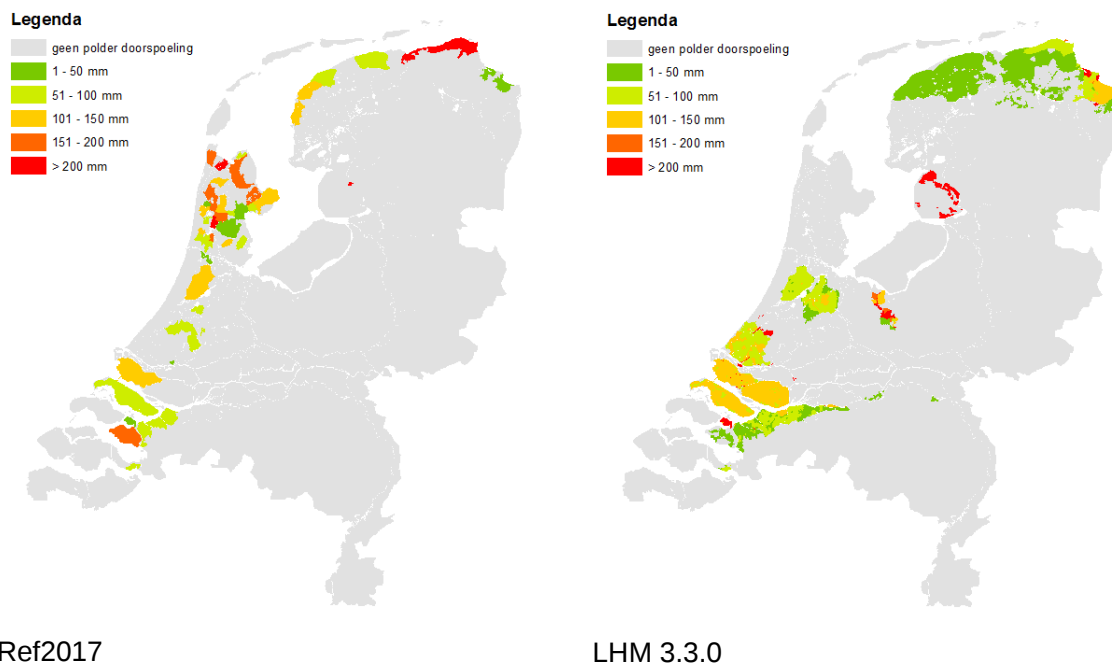
De doorspoeling van polderwateren is opgenomen in het model MOZART, onderdeel van het LHM. In onderstaand figuur is de doorspoeling van het regionaal watersysteem weergegeven voor Ref2017 en voor LHM 3.3.0. De doorspoelhoeveelheden (in mm) zijn vertaald naar doorspoelhoeveelheden in m³/s, en zo opgenomen in de MOZART schematisatie (bestanden *uslsw.dik* en *uslswdem.dik*). De doorspoeling van de boemenwateren is opgenomen in het DM model van LHM. Deze is voor de referentiesituatie niet aangepast.

Achtergronden zijn opgenomen in bijlage E.

De schematisatie is aangepast:

LHM-MOZART:

- *uslswdem.dik*
- *uslsw.dik*



Figuur 2.3 Doorspoeling van het regionale watersysteem in het LHM (deelmodel MOZART) voor Ref 2017 en het LHM 3.3.0.

2.3.4 Weurt, Maas-Waalkanaal

Voor het stuwpand bij Weurt in het Maas-Waalkanaal werd nog een oud gebruikt. Het peil van +7.70 is aangepast naar de huidige situatie van +7.95. Dit is aangepast in de modellen LHM-DM en LSM-LT.

2.3.5 Schutverlies Weurt naar Waal en lekverlies stuwpand Grave naar stuwpand Lith

Het schutverlies bij Weurt naar de Waal en het lekverlies over het stuwpand Grave naar het stuwpand Lith is aangepast naar de meest actuele inzichten. De details zijn beschreven in bijlage D.

2.3.6 Nieuw peil bij Grave

Bij het stuwpand bij Grave heeft een peilopzet van 30 cm plaatsgevonden. Het oude streefpeil was 7,60 m en dat is aangepast naar 7,95 m met als uiterste peilgrenzen: 7,75 - 8,20 m. In LHM-DM was dit al correct. Het juiste peil is doorgevoerd in de schematisatie van LSM-LT. De details zijn beschreven in bijlage D.

2.3.7 Update regionale peilen op basis van nieuwe peilvakkenkaart

Op basis van de een update van de peilenkaarten worden de regionale peilen van Mozart en Modflow opnieuw aangemaakt. De peilenkaarten zijn in het kader van aangrenzende projecten deels beschikbaar en deels verzameld.

In Figuur 2.3 zijn de verzamelde peilvakgegevens weergegeven. Er waren verschillende extreme waarden in de peilen aanwezig. Deels veroorzaakt door nodata waarden of door typefouten zoals een verkeerde plek van een komma. De uitschieters zijn gecorrigeerd of verwijderd. Voor de gebieden waar geen peilgegevens beschikbaar was, is teruggevallen op de oude peilvakinformatie die gebruikt was voor de bouw van het LHM.

De workflow van het regionale peil voor LHM (modelonderdelen Modflow en Mozart) bestaat uit meerdere onderdelen. Op basis van de beschikbare data wordt een beslissing gemaakt welke basisdata wordt gebruikt voor het bepalen van een peil in een gebied. Naast informatie uit de peilvakken, wordt ook informatie van de regionale grondwatermodellen gebruikt. Dit geldt voor de gebieden van het regionale grondwatermodel MIPWA, het gebied van HDSR en Rivierenland. Deze informatie uit het grondwatermodel heeft een hogere prioriteit in het bepalen van het peil dan de peilvakinformatie. Hierom geeft het aanpassen van het peilvakpeil in dit gebied geen verandering in het modelpeil van het LHM. Het MIPWA model wordt nu voorzien van een update. In de eerste week van januari vindt de definitieve oplevering van de modelinvoer plaats. Bij het aanmaken van de nieuwe modelinvoer voor alle Deltascenario's inclusief de bodemdaling zal de modelpeilinformatie van MIPWA 3.0 worden meegenomen. Voor het regionale model MORIA zal worden aangesloten bij de modelgegevens van MORIA 2.2 (release 2016).

Voor het gebied van HDSR zijn ook modelgegevens beschikbaar. Hiervoor zijn dus twee opties: (1) terugstappen naar peilvakinformatie en de regionale modelgegevens negeren, (2) geen aanpassingen doorvoeren voor dit deelgebied. Op basis van de peil verschillen in de peilvakkenkaart is besloten de peilvakinformatie te gebruiken en de regionale modelinformatie van HDSR niet te gebruiken.

De verandering van de modelpeilen voor het primaire, en secundaire en het tertiaire systeem zijn weergegeven in Figuur 2.4. De grote veranderingen zijn gecontroleerd met de verschillen in de gebruikte peilvakpeilen.



Figuur 2.4 Ligging nieuwe peilvakken in shape formaat

a. verschil primaire drooglegging (zomer)



b. verschil primair peil zomer (m NAP)



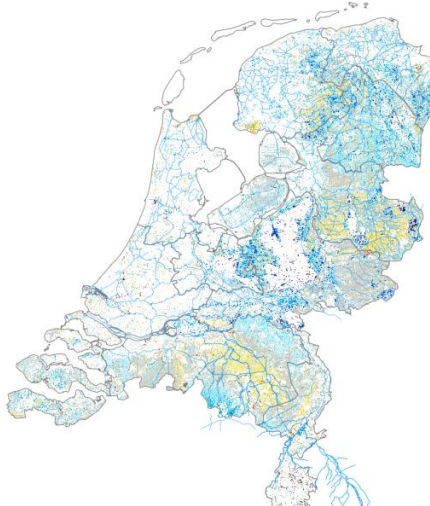
c. verschil secundaire drooglegging (zom.)



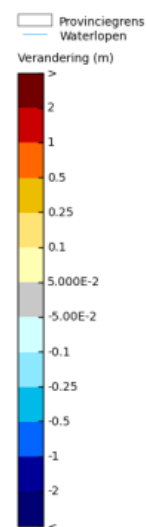
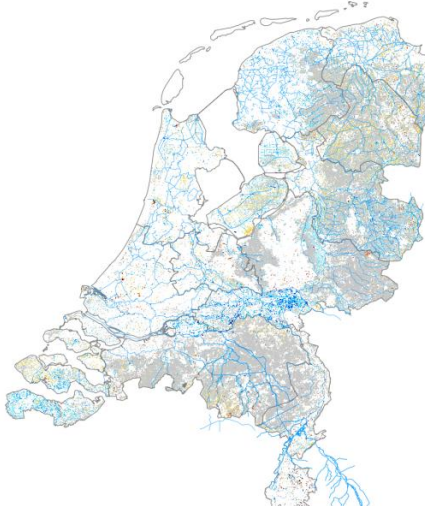
d. verschil secundair peil (+m NAP)



e. verschil tertiaire drooglegging (zomer)



f. verschil tertiair peil (m NAP)



Figuur 2.5 (vorige bladzijde) Verschil in modelinvoer MODFLOW-peilen voor LHM 3.4.0 en LHM 3.3.0 voor het primaire, secundaire en tertiaire systeem (zomersituatie). Blauwe kleuren corresponderen met hogere peilen in t.o.v. LHM 3.3.0; rode/gele kleuren met lagere peilen.

De volgende modelinvoer zijn aangepast:

LHM-MODFLOW:

- BODH_P1W_250.IDF
- BODH_P1Z_250.IDF
- BODH_S1W_250.IDF
- BODH_S1Z_250.IDF
- bodh_wel.idf
- PEIL_P1W_250.IDF
- PEIL_P1Z_250.IDF
- PEIL_SW_250M_ADJ.IDF
- PEIL_SZ_250M_ADJ.IDF
- PEIL_T1W_250.IDF
- PEIL_T1Z_250.IDF
- PEIL_TW_250M_ADJ.IDF
- PEIL_TZ_250M_ADJ.IDF
- peilw_wel.idf
- peilz_wel.idf

2.3.8 Randvoorwaarden modflow

In de LHM 3.3.0 update zijn de randvoorwaarden in het modflow model geüpdatet. Bij deze aanpassing is een deel van de oude randvoorwaarde niet volledig verwijderd. Deze correctie is doorgevoerd. Hierbij zijn de flux-randvoorwaarde onttrekkingen in de modelinvoer verwijderd.

De volgende modelinvoer is aangepast:

LHM-MODFLOW:

- wel_I02_NHI.ipf

2.3.9 Infiltratie tertiaire waterlopen

De tertiaire waterlopen zouden alleen maar mogen draineren. Bij de aanpassing van de peilen in LHM 3.3.0 is ook de mogelijkheid van infiltratie vanuit dit systeem aangepast waarna infiltratie mogelijk was. Deze fout is gecorrigeerd.

2.3.10 Buisdrainage

In mei 2017 is de laatste versie van basiskaart van de ligging van de buisdrainage beschikbaar gekomen. In deze laatste update is de ligging van de buisdrainage in het beheersgebied van Aa en Maas verbeterd. De achtergronden van deze update staan beschreven in Massop en Schuiling 2017.

De volgende modelinvoer is aangepast:

LHM-MODFLOW:

- bodh_b_250.idf

2.3.11 Verdamping veenweidegebieden

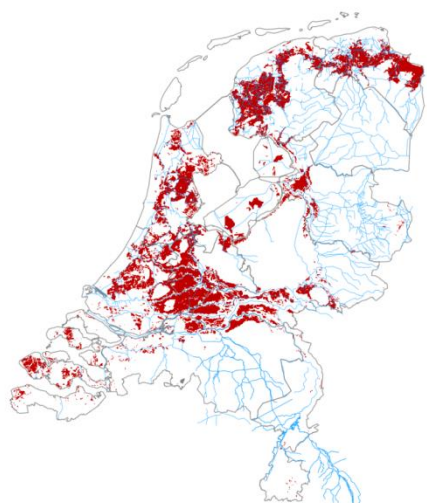
In opdracht van STOWA is door Wageningen Environmental Research (Alterra) in 2017 een analyse uitgevoerd naar de verdampingsreductie in voornamelijk de veenweidegebieden in het LHM. In deze paragraaf worden de aanpassingen kort toegelicht, meer details zijn beschreven in de veranderingsrapportage van LHM 3.4.0 (Bos-Burgering *et al*, 2018). In 2014 is geconcludeerd (Caljé, *et al*, 2014) dat er verschillen optreden in actuele verdamping zoals geschat met de Eddy-correlatie methoden en het LHM. In LHM werd een hoge verdampingsreductie berekend, die niet optreedt in Eddy-correlatie metingen en ook niet in satellietbeelden (ETlook-data). Uit vergelijking van de ruimtelijke beelden kwam naar voren dat de verschillen vooral optreden in grotere delen van het veenweidegebied. Dit was de belangrijkste aanleiding om te laten onderzoeken wat de oorzaak was van de hoge verdampingsreductie en wat er met een korte verbeterslag aan kan worden gedaan.

Uit ruimtelijke analyse is gebleken dat grotere verdampingsreductie vooral optreedt in zwaardere typen kleigronde. In figuur 2.11 is weergegeven waar deze kleigronden voorkomen.

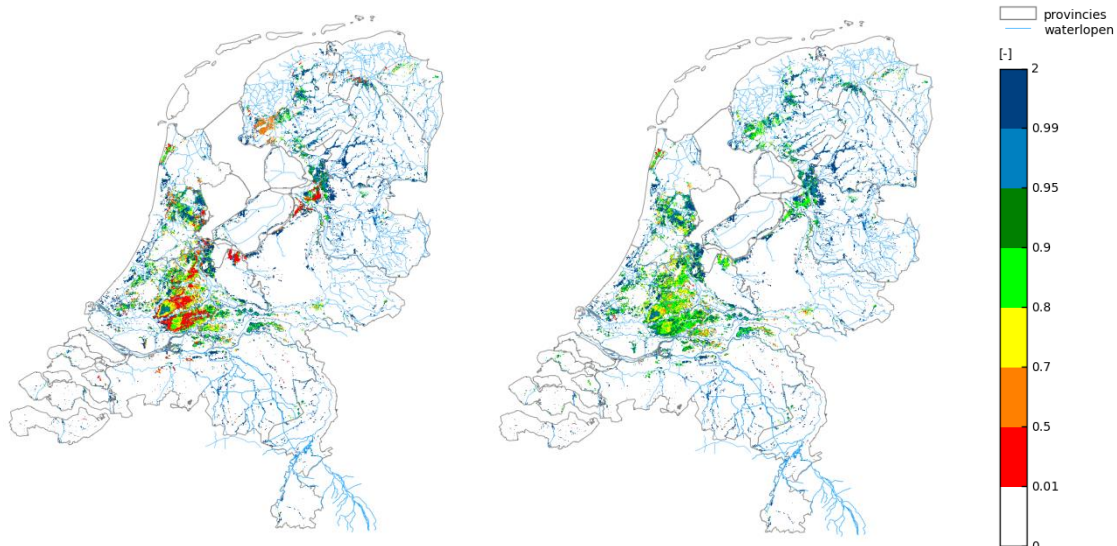
Eerst is onderzocht of er een correlatie optreedt tussen de verdampingsreductie bij ondiepe grondwaterstanden en resp. de wortelzonedikte, het landgebruik en het bodemtype. Op basis van de analyseresultaten is uiteindelijk besloten om de zware klei te 'verlichten'. Hierdoor komt de verdampingsreductie in de maand juli 2006 (de maand waar de grootste afwijkingen met de metingen werden geconstateerd door Caljé *et al*.) aanzienlijk dichterbij de buurt van de metingen.

Uit Figuur 2.7 is een ruimtelijk beeld gegeven van de verdampingsreductie in juli 2006 voor gebieden met een lage grondwaterstand (ondieper dan 1 meter beneden maaiveld), voor en na de aanpassing. Voor de aanpassing wordt in grote gebieden een verdampingsreductie van meer dan 50% berekend, dit wordt niet ondersteund door de satellietbeelden. Na het verlichten van de klei is de verdampingsreductie aanzienlijk lager geworden. In Figuur 2.8 is een voorbeeld weergegeven van de verdampingsreductie in de tijd voor zowel het uitgangsmodel als voor het verbeterde model. Duidelijk is te zien dat er nog wel verdampingsreductie optreedt (tot wel 30 %), maar dat dit aanzienlijk minder is dan de eerder berekende reductie van ca 75%.

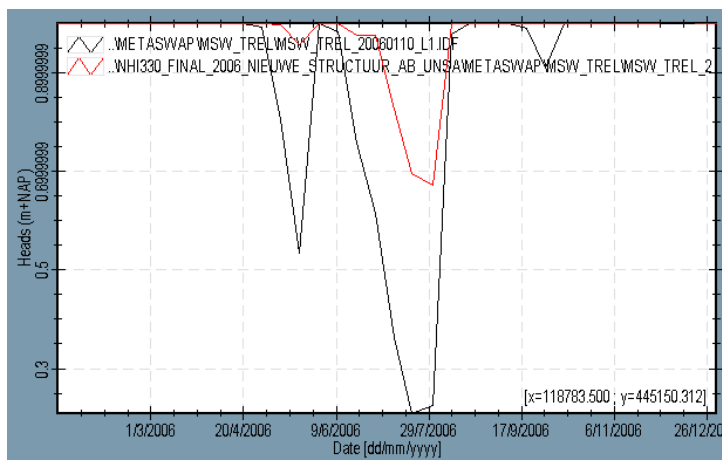
Het effect van de wijziging is doorgerekend met het LHM, in dit geval voor het jaar 2006 zodat een vergelijking kon worden gemaakt met de eerdere studie door Caljé *et al* (2014). Het effect is voornamelijk zichtbaar in de LG3, aangezien het effect op de berekende verdamping zich voornamelijk afspeelt in de zomermaanden. De lagere verdampingsreductie in de zomer betekent dat er meer water verdampt, wat leidt tot verdere uitzakking van de grondwaterstanden.



Figuur 2.6 Ligging zware klei gronden



Figuur 2.7 Relatieve verdamping in de maand juli 2006 voor gronden met een ondiepe grondwaterstand, in LHM 3.3.0 (links) en na het 'verlichten' van de klei (rechts). Rood geeft een hoge verdampingsreductie (lage verdamping) weer, blauw een lage verdampingsreductie.



Figuur 2.8 Voorbeeld van het tijdsverloop van de relatieve verdamping in het jaar 2006 voor (zwart) en na (rood) het 'verlichten' van de klei.

Deze aanpassing is verwerkt in de METASWAP database.

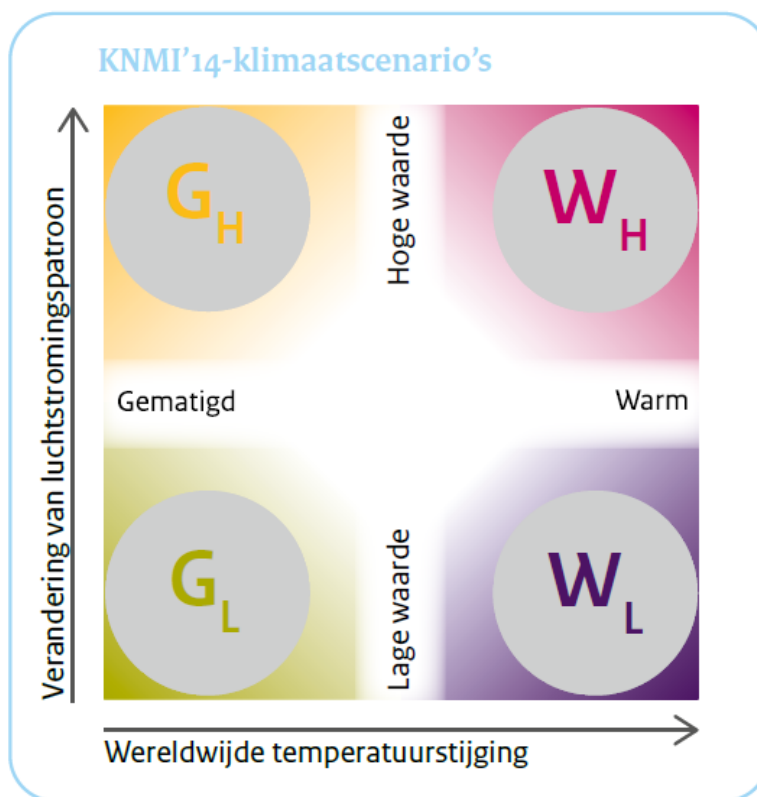
- 2.3.12 Diverse kleine verbeteringen in de schematisatie van het hoofdwatersysteem (LHM-DM). Naast bovengenoemde aanpassingen zijn nog enkele kleine verbeteringen doorgevoerd in de schematisatie van DM. Deze zijn beschreven in bijlage C.

3 Klimaatverandering

3.1 Neerslag/verdamping

In het NWM wordt gewerkt met de meest recente klimaatscenario's van het KNMI (KNMI, 2015). Deze KNMI'14 scenario's bevatten vier scenario's voor de toekomstige klimaatverandering. In KNMI'14 zijn dit de scenario's G_L , G_H , W_L en W_H (zie Figuur 3.1). Naast deze scenario's wordt er ook een referentie situatie doorgerekend. Hier wordt uitgegaan van de historische meetgegevens.

Ieder scenario geeft een samenhangend beeld van veranderingen in twaalf klimaatvariabelen, waaronder temperatuur, neerslag, zeespiegel en wind. Het gaat om veranderingen niet alleen in het gemiddelde klimaat, maar ook in de extremen, zoals de koudste winterdag en de maximum uurneerslag per jaar. De veranderingen gelden voor het klimaat rond 2050 en 2085 ten opzichte van het klimaat in de referentieperiode 1981-2010. De KNMI'14-scenario's zijn de vier combinaties van twee uiteenlopende waarden voor de wereldwijde temperatuurstijging, 'Gematigd' en 'Warm', en twee mogelijke veranderingen van het luchtstromingspatroon, 'Lage waarde' en 'Hoge waarde'. Samen beschrijven ze de hoekpunten waarbinnen de klimaatverandering in Nederland zich, volgens de nieuwste inzichten, waarschijnlijk zal voltrekken (KNMI, 2015).



Figuur 3.1 Uitgangspunten KNMI'14 scenario's [KNMI, 2015]

Het KNMI heeft voor de vier nieuwe klimaatscenario's grid-bestanden op dagbasis aangemaakt voor de neerslag en de potentiële Makkink verdamping voor de periode 1-1-1981 t/m 31-12-2010, zichtjaren 2050 en 2085 voor Nederland. Deze data is te downloaden op het KNMI DataCentrum met de zoekterm KNMI14 (<https://data.knmi.nl/portal/KNMIDataCentre.html#term=KNMI14>). De klimaatscenario's voor het zichtjaar 2050 en 2085 beschrijven respectievelijk het klimaat in de 30-jarige perioden 2035-2064 en 2070-2099.

Voor de scenario's G_L en W_H zijn 100-jarige grid reeksen samengesteld (periode 1910-2015) (Kroon et al, 2015). Deze worden gebruikt in het NWM. De gebruikte referentie verschilt iets ten opzichte van de lopende referentie reeks omdat het aantal stations waarop de grids van de scenario's zijn gebaseerd anders zijn dan bij de lopende reeks van de huidige situatie. Het overzicht van de gebruikte KNMI'14 scenario's en gebruikte parameters voor de neerslag en verdamping is in onderstaande tabel opgenomen.

Tabel 3.1 Gebruikte parameters voor neerslag en verdamping per scenario.

Scenario	KNMI14 scenario	Parameter neerslag	Parameter verdamping
Referentie	Referentie	RDH	EVH
Rust 2050	G_L	RDH50GL	EVH50GL
Druk 2050	G_L	RDH50GL	EVH50GL
Warm 2050	W_H	RDH50WH	EVH50WH
Stoom 2050	W_H	RDH50WH	EVH50WH

3.2 Zeespiegelstijging

In onderstaande tabel is de zeespiegelstijging beschreven voor de vier klimaatscenario's en de twee zichtjaren. De KNMI'14 scenario's beschrijven per scenario een bandbreedte in plaats van een vaste waarde. Voor de G scenario's wordt gebruik gemaakt van de onderkant van de bandbreedte (15 cm +NAP 2050), voor de W scenario's wordt gebruikt gemaakt van de bovenkant van de bandbreedte (40 cm +NAP 2050).

Tabel 3.2 Zeespiegelstijging in de KNMI'14 scenario's (KNMI, 2014). De scenario's GH en WL worden binnen het NWM niet gebruikt

Scenario	Zoetwater
Basisperiode	1980-2006 ³
Ref2017	-
2050 G_L	+ 15 cm
2050 W_H	+ 40 cm

De zeespiegel is in meerdere onderdelen van het NWM gedefinieerd:

- LHM MODFLOW GHB package
- LHM MODFLOW RIV package
- NDB randvoorwaarde
- LSM randvoorwaarde

³ Voor de KNMI14 scenario's in NL zijn neerslag, temperatuur en verdampingsgrids afgeleid voor de periode 1980-2010. De afvoerreeksen worden voor Lobith en Monsin zijn bepaald met GRADE op basis van een dataset (HYRAS) voor de neerslag en temperatuur in het Rijn stroomgebied. Deze dataset is opgebouwd uit meetreeksen van vele meteorologische stations in Duitsland en omliggende landen over de periode van 1951-2006.

3.3 Buitenwaterstanden LSM

Voor de buitenwaterstanden worden de zeewaterstanden gehanteerd zoals in Tabel 3.2 zijn weergegeven. Hiervoor zijn zowel de Sobek files (boundary.dat, Boundlat.dat) als de in FEWS gebruikte csv files (17 stuks: Bath, Brouwershavensche Gat, Delfzijl, Den Helder, Den Oever, Haringvliet-10, Harlingen, IJmuiden Buitenhaven, Kornwerderzand, Lauwersoog, Maasmond, Nieuwe Statenzijl, Noordwijk, Roompot Buiten, Scheveningen, Stavenisse en Vlissingen) aangepast met de tool AdjustBoundary.exe.

Behalve de genoemde tabellen moeten in de LSM schematisatie nog een aantal vaste waterstandsranden worden opgegeven. Het betreft in alle gevallen dummy randen met een fictieve waterstand, bijvoorbeeld voor lozingen van districten direct op het buitenwater (Westerschelde, Oosterschelde, Noordzee, Waddenzee) die voor het (zoete) LSM niet relevant zijn, dan wel dummy randen voor de afvoer van de Maas naar België (Albertkanaal, kanaal Bocht-Herentals) of voor districtslozingen van de Dinkel die via Duitsland uiteindelijk weer via de afvoer van de Overijsselse Vecht terugkomen.

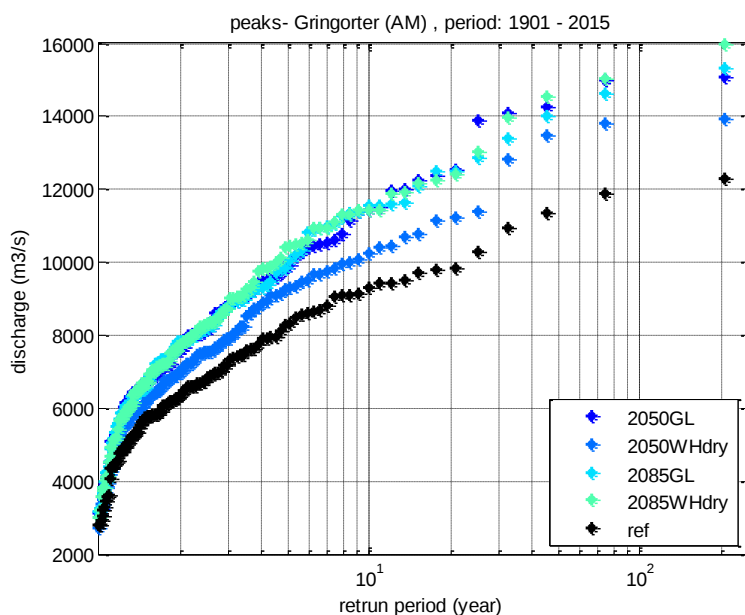
De onderstaande tabel geeft een overzicht van de locaties en de id's in DM en LSM, en in welke Sobek file van LSM de afvoer is opgenomen.

Omschrijving	DM knoop	LSM	LSM file
Rijn bij Lobith	104	N_RT_001	Boundary.dat
Maas bij Monsin	111	N_MS_001	Boundary.dat
Vecht (Emmlichheim)	1001	N_YSV_P_0	Boundary.dat
Niers (Goch)	103	773	Lateral.dat
Swalm (grens)	102	774	Lateral.dat
Roer	101	221	Lateral.dat
Dommel en Tongelreep (samen)	5102	-	-
Dommel	-	776	Lateral.dat
Tongelreep	-	777	Lateral.dat
Bovenmark	5101	775	Lateral.dat
Zeeuws Vlaanderen	5098	-	-

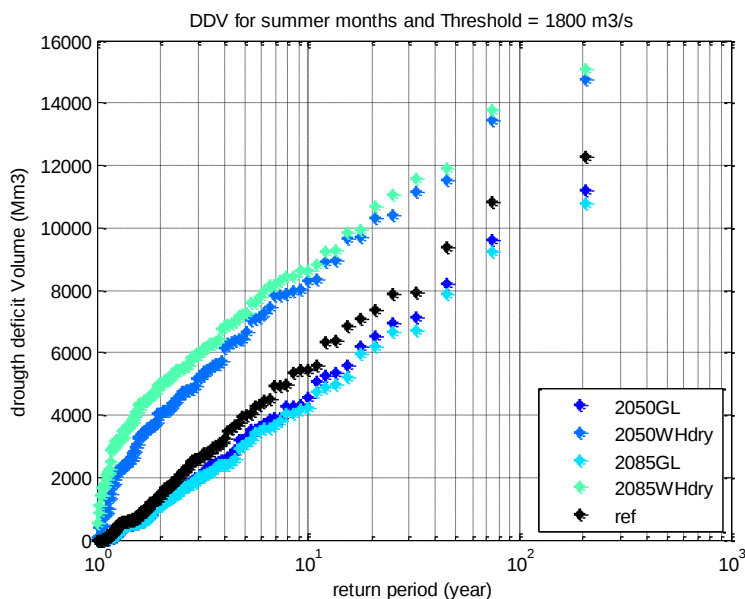
3.4 Rivierafvoeren

Voor NWM zijn de KNMI'14 scenario's vertaald naar invoer voor LHM en LSM. Net als de eerdere versie van de Deltascenario's vindt een transformatie plaats van de gemeten waarden naar een scenario op basis van berekende afvoeren zoals bepaald als onderdeel van GRADE (Hegnauer, 2014). De methode staat beschreven in Kramer en Mens (2016).

Figuur 3.1 en Figuur 3.2 geven de frequentielijnen weer voor de criteria welke zijn bepaald uit de getransformeerde 100-jarige reeks voor Lobith. In bijlage B zijn de figuren voor Monsin weergegeven. Meer resultaten zijn in te vinden in Kramer en Mens (2016).



Figuur 3.1 Frequentielijnen van piekafvoeren bepaald uit de getransformeerde 100-jarige tijdreeksen ($Q_{climate}$).



Figuur 3.2 Frequentielijn jaarlijks afvoer tekort bepaald uit de getransformeerde 100-jarige tijdreeks ($Q_{climate}$).

3.5 Kleine zijrivieren

De afvoeren van de kleine rivieren zijn afgeleid door middel van correlatie van de afvoer met de afvoer van Lobith en Monsin. Op basis van deze correlatie wordt de afvoer van zowel de referentie als voor de scenario's bepaald. Deze methode staat beschreven in Kroon, (2015).

3.6 Interne verzilting

Interne verzilting beschrijft het proces van verzilting vanuit het grondwater naar het oppervlaktewater. Voor de bestaande Deltascenario's zijn berekeningen gemaakt met het NHI zoet-zout model (Oude Essink, 2010). Voor de Deltascenario's 2013 zijn voor de KNMI'06 klimaatscenario's G en W+ en de zichtjaren 2050 en 2100 berekeningen gedaan over ontwikkeling van de diepte van het zoet-zout grensvlak (Hunink *et al*, 2013). Aangezien het NHI zoet-zout model verouderd is, zijn geen nieuwe berekeningen uitgevoerd met de nieuwe klimaatscenario's maar zijn de oude resultaten gebruikt. Hierdoor is de zoutbelasting van de polders niet goed afgestemd op KNMI'14 scenario's.

De concentratie aan de onderkant van de deklaag uit het NHI zoet-zout model zijn overgenomen in het LHM zoals gebruikt in het NWM. Voor de nieuwe scenario's zijn er geen aanpassingen doorgevoerd en zijn de bestanden opnieuw gebruikt. Daarbij speelt o.a. ook dat het zoet-zout model geactualiseerd dient te worden om de zoutbelasting in de nieuwe situatie te kunnen doorrekenen.

De zoutconcentratie wordt in het model in 2 bestanden gebruikt:

- solute_bnd.csv.inp: Chloride concentratie onderkant deklaag.
- solute_coliii.csv.inp: Verdeling chloride concentratie in het bodemprofiel.

De chlorideconcentratie aan de onderkant van de deklaag is gebaseerd op de LHM zout-zout modellering en is klimaatscenario afhankelijk. De verdeling van de chlorideconcentratie in het bodemprofiel is een evenwicht tussen de concentratie aan de onderkant van de deklaag en de processen in de onverzadigde zone. Dit evenwichtsprofiel is niet beschikbaar voor de verschillende scenario's. Om het profiel in te spelen is het volgende gedaan. De NWM berekeningen bevatten 2 LHM berekeningen. De eerste zonder externe verzilting en een tweede met externe verzilting. De LHM som zonder externe verzilting is gebruikt om een ingespeeld bodemprofiel te maken die bij de tweede som als initiële verdeling is toegepast. Hiermee is de zoutconcentratie aan het begin van de berekeningen goed ingespeeld op de aangepaste modelinvoer.

3.7 Externe verzilting

Externe verzilting is het verzilten van delen van de rivier door indringen van zout vanuit de zee door hoge zeespiegels, lagere rivierafvoeren en/of windopzet. In het LHM worden verziltingsberekeningen met het NDB model als randvoorwaarde opgelegd.

3.8 Peilen hoofdwatersysteem

Binnen het LHM heeft het MODFLOW model waterstanden nodig voor uitwisseling tussen het grondwater en het oppervlaktewater. In het deelmodel MODFLOW zijn deze mede bepalend voor het berekenen van de uitwisseling tussen het grondwatersysteem en de betreffende waterloop (rivieren, kanalen, etc) en meren. Het Distributiemodel (DM) berekent op basis van de afvoeren aan de grens, watervraag en verdeelsleutels de waterverdeling over de hoofdtakken in Nederland. Het DM rekent voornamelijk in debieten en niet in waterstanden. Voor een juiste berekening van de waterstanden kan het Sobek model LSM worden gebruikt. Aangezien er geen koppeling is tussen het MODFLOW model en het LSM model

In het NWM is er momenteel geen koppeling beschikbaar van LSMLT naar peilen voor het hoofdwatersysteem van MODFLOW. Hierom zijn de peilen afgeleid op basis van eerdere MODFLOW peilen uit eerdere LSMLT berekeningen en regressie. Voor in de periode vanaf 1 januari 1911 is per maand per locatie (met een zeker invloedsgebied op basis van expert judgement) bepaald door welk peil op die locatie uit de beschikbare reeks deze het beste wordt benaderd. Dit betekent concreet dat per locatie q/h relaties zijn gemaakt, op basis van de dagafvoeren bij Lobith en Borgharen, waarmee gemiddelde maandelijkse peilen zijn gegenereerd. Deze methode is ontwikkeld en verder beschreven in Kroon *et al* 2015.

3.9 Gewasgroei

In het LHM worden in het deelmodel MetaSWAP gewasfactoren gebruikt om de gasontwikkeling te simuleren. De gewasfactoren in LHM zijn aangepast door de factoren te herkalibreren voor drie gewastypen, namelijk gras, aardappel en mais. Daarbij is ervoor gezorgd dat ze beter aansluiten op de recente ontwikkelingen van de modellen SWAP en WOFOST, in het kader van de Waterwijzer Landbouw. Daarnaast zijn ze apart afgeleid voor de klimaatscenario's KNMI'14 G en WH. De toegepaste methode is beschreven in bijlage H en uitgebreid beschreven door Van Walsum en Supit (2012). De resultaten van de kalibratie voor de referentiesituatie zijn samengevat in tabel 2.2. Aanvullende resultaten zijn te vinden in bijlage H.

Tabel 3.3 Vergelijking van de verschillende balanst termen voor gras, mais en aardappel bij gebruik van de gewasfactoren uit LHM 3.3.0 en referentie 2017. E_{Topt} = totale verdamping bij optimale watervoorziening; E_{act} = actuele bodemverdamping; T_{pot} = potentiële transpiratie; E_{ic} = interceptieverdamping.

	LHM 3.3.0			Ref2017		
	gras	mais	aardappel	gras	mais	aardappel
E_{Topt}	548	534	498	549	520	481
E_{act}	92	257	190	147	191	171
T_{pot}	325	211	242	324	274	263
E_{ic}	132	66	66	79	54	47

Voor grasland blijft de totale verdamping voor de beschouwde periode gelijk ten opzichte van de kalibratie van 2012, maar zijn er grote verschuivingen in de termen van de evapotranspiratie (bodemverdamping, interceptie, transpiratie) waarneembaar. In de nieuwe parameterisatie neemt de bodemverdamping met een factor van ruim anderhalf toe, als gevolg van de veel lagere Leaf Area Index (LAI) en bodembedekkingsgraad. Deze toename wordt gecompenseerd door een afname van de interceptieverdamping en de transpiratie. De potentiële transpiratie blijft ondanks de daling van de LAI op peil, als gevolg van het wegvallen van een deel van de interceptie die de transpiratie onderdrukt. De gewasfactor voor kale grond is na herkalibratie voor grasland veel lager dan voorheen. Dit komt doordat nu rekening is gehouden met het "mulch effect" van grasland. Dit geldt ook op het moment dat het gras net gemaaid is. Behalve de stoppels, blijven er altijd dode sprietten op de grond liggen die de bodemverdamping temperen.

Voor maïs wordt de totale verdamping een kleine 3% lager, maar is er een grote verschuiving tussen transpiratie en bodemverdamping. Als gevolg van de grotere gewasbedekking wordt namelijk een 30% hogere transpiratie en een 25% lagere bodemverdamping berekend.

Bij aardappelen zijn de veranderingen beperkter. De LAI komt weliswaar significant hoger uit (20%), maar dat wordt opgevangen door de kalibratie. De verschuivingen tussen de termen zijn veel kleiner dan bij gras en maïs.

De verandering van de gewasparameters in de KNMI'14 klimaatscenario's GL en WH zijn weergegeven in onderstaande tabel. In zowel het GL als het WH scenario neemt de potentiële verdamping toe (parameters ET_{opt} en T_{pot}). In de actuele verdamping (parameters E_{act} en E_{ic}) is een afname zichtbaar die wordt veroorzaakt door een watertekort in de berekeningen.

Tabel 3.4 Vergelijking van de verschillende balanstermen voor de gras, mais en aardappel voor de referentie en de KNMI'14 klimaatscenario's GL en WH. ET_{opt} = totale verdamping bij optimale watervoorziening; E_{act} = actuele bodemverdamping; T_{pot} = potentiële transpiratie; E_{ic} = interceptieverdamping.

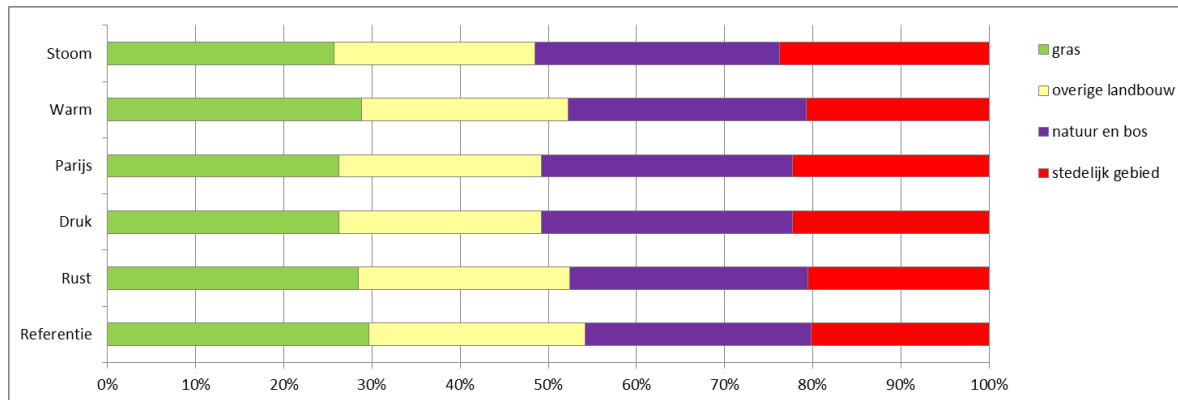
	Ref2017			KNMI'14 GL			KNMI'14 WH		
	gras	mais	aardappel	gras	mais	aardappel	gras	mais	aardappel
ET_{opt}	554	524	486	569	524	493	581	528	495
E_{act}	150	190	171	148	196	186	146	203	194
T_{pot}	304	256	241	322	261	244	337	265	245
E_{ic}	100	77	74	99	68	63	98	60	57

30	water_rivieren_exorivierenbestaandzoetwater	16	water
31	water_overig_exooverigwaterbestaandzoetwater	16	water
32	water_boezem_exoboezemwater	16	water
33	buitenland	0	

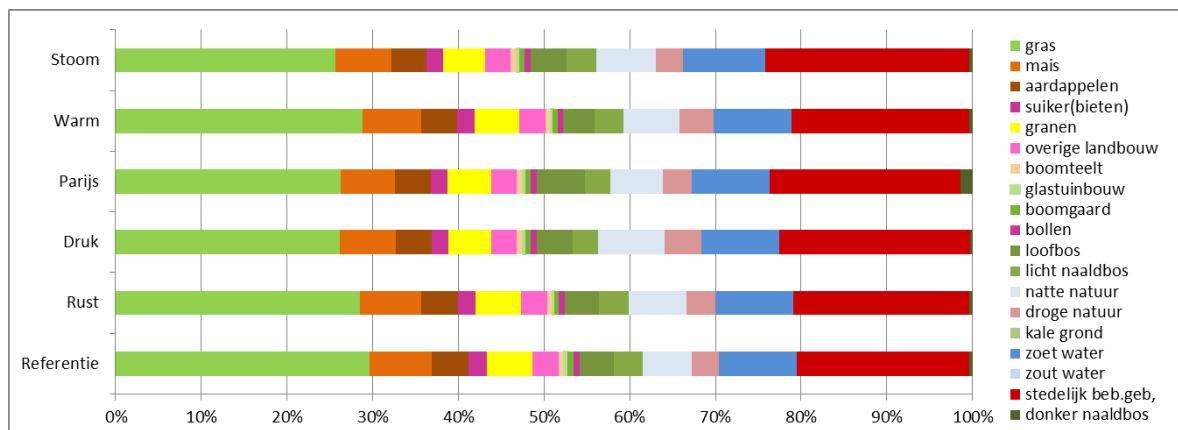
In onderstaand histogram is de verdeling van de verschillende landgebruikstypes weergegeven voor de verschillende scenario's. Het areaal landbouw (gras en overige landbouw) neemt in alle scenario's af. De grootste afname is zichtbaar in het scenario Stoom. De afname van het landbouwareaal komt ten goede van de arealen natuur en stedelijk gebied. De grootste toename van het stedelijk gebied is te zien in het scenario Druk en Stoom. In Figuur 4.3 is te zien dat in de variant Parijs er een significante toename is van het areaal donker naaldbos. Het totaal areaal natuur en bos is in de variant Parijs niet anders dan voor het scenario Druk waar de variant Parijs op gebaseerd is.

Tabel 4.2 Verandering van de arealen van vier hoofdklassen in de verschillende Deltascenario's.

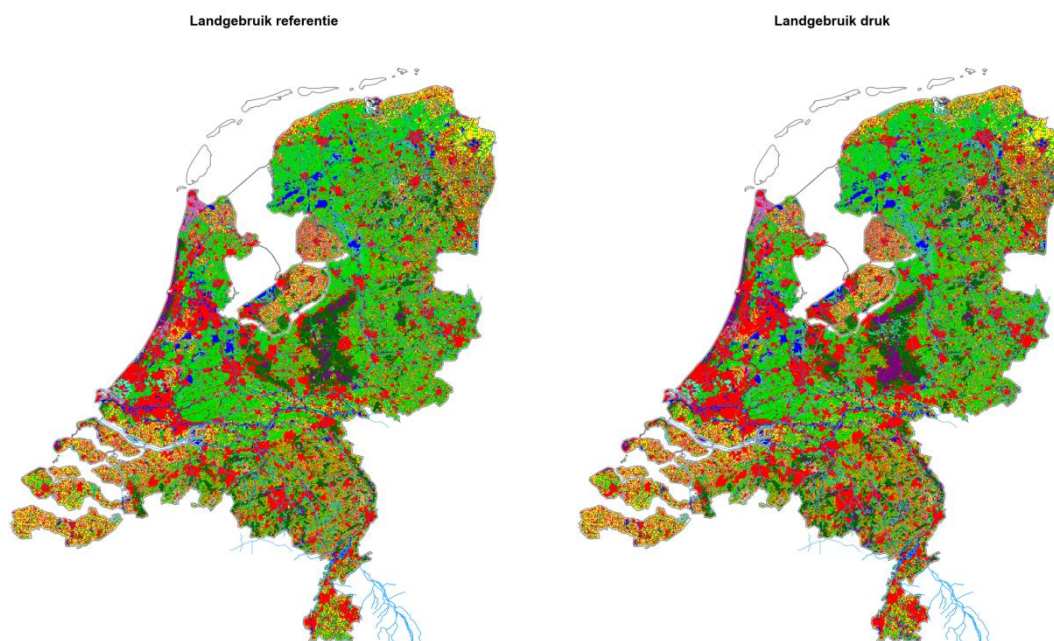
	Ref2017	Rust	Druk	Parijs	Warm	Stoom
gras	1097	-3.8%	-11.5%	-11.2%	-2.6%	-13.3%
overige landbouw	909	-2.5%	-6.4%	-6.7%	-4.7%	-7.1%
natuur en bos	951	5.3%	11.3%	11.2%	5.3%	8.0%
stedelijk gebied	747	2.0%	10.4%	10.5%	2.8%	18.1%



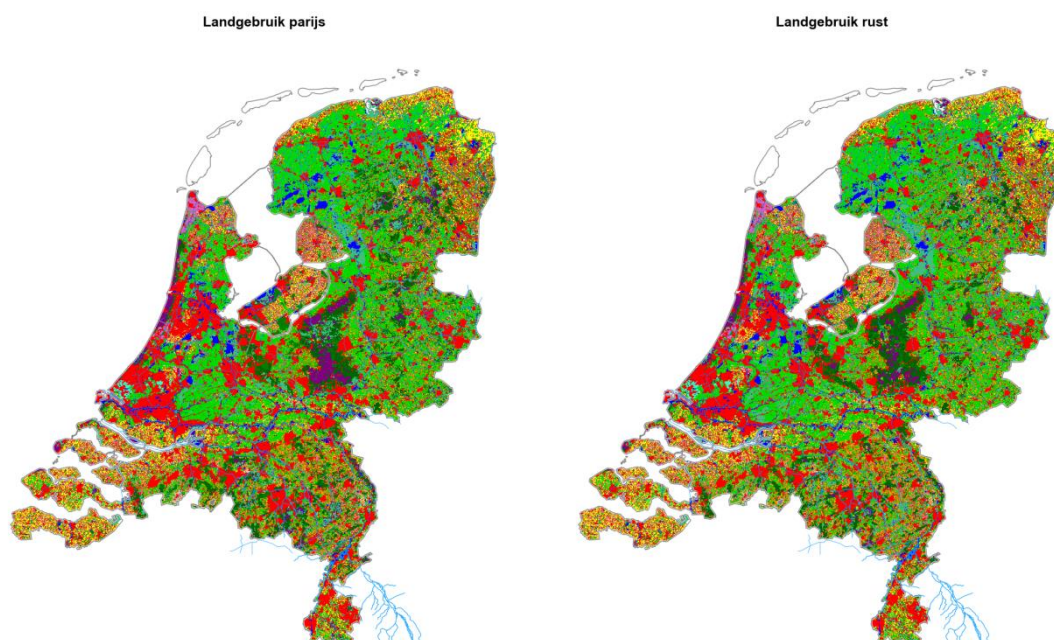
Figuur 4.1 Verdeling van de verschillende landgebruikstypen in hoofdklassen voor de referentie (Ref2017) en de verschillende Deltascenario's.



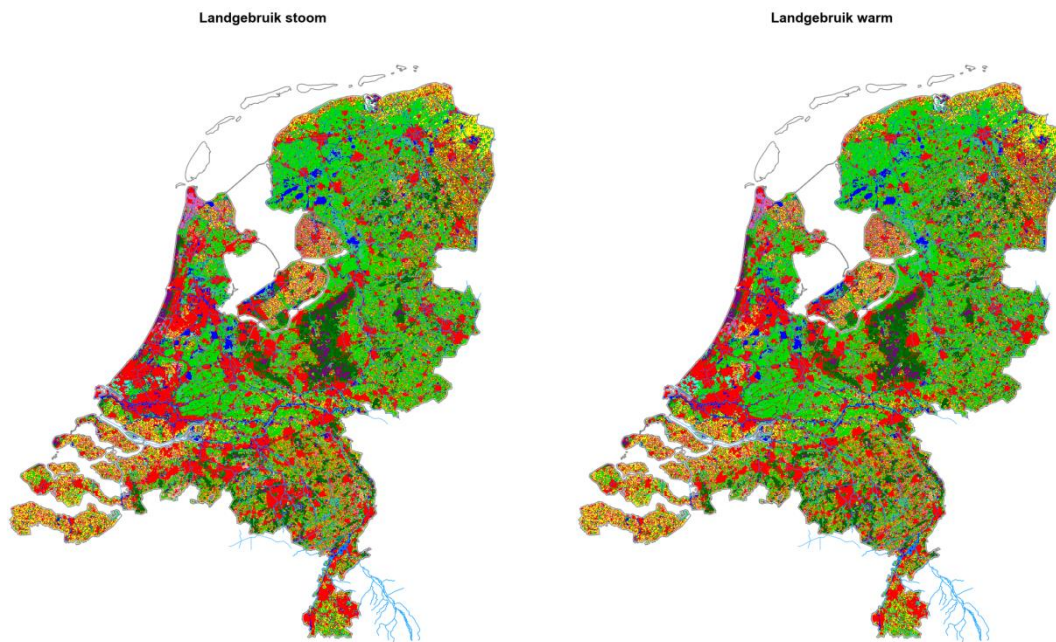
Figuur 4.2 De verdeling van de verschillende landgebruikstypen voor Ref2017 en de verschillende Deltascenario's.



Figuur 4.3 Landgebruik voor Ref2017 en voor het scenario Druk 2050 zoals gebruikt in LHM.



Figuur 4.4 Landgebruik voor de variant Druk-Parijs 2050 en voor het scenario Rust 2050 zoals gebruikt in LHM



Figuur 4.5 Landgebruik in de scenario's Stoom 2050 en Warm 2050 zoals gebruikt in LHM.

De volgende modelinvoer is aangepast naar aanleiding van het aangepast landgebruik en verhard oppervlak:

MetaSWAP:

- bassin.asc
- rootzone.asc
- uopp.asc
- lgn250.asc

4.2 Bodemdaling, waterpeil natte natuur en onderwaterdrainage.

Bodemdaling, de waterpeilen van de natte natuur en de onderwaterdrainage hebben een directe verbinding met elkaar. Er is gebruik gemaakt van een landsdekkende bodemdalingskaart die vervolgens scenario specifiek is gemaakt door het toepassen van 2 uitgangspunten:

- In natte natuur wordt een maximale ontwateringsdiepte gehandhaafd wat de bodemdaling met 50% reduceert.
- In de variant Druk-Parijs is in een deel van de veenweidegebieden onderwaterdrainage mogelijk wat de bodemdaling met 50% reduceert.

De bodemdalingkaart, de waterpeilen voor de natte natuur en de onderwaterdrainage wordt in deze paragraaf verder uitgewerkt.

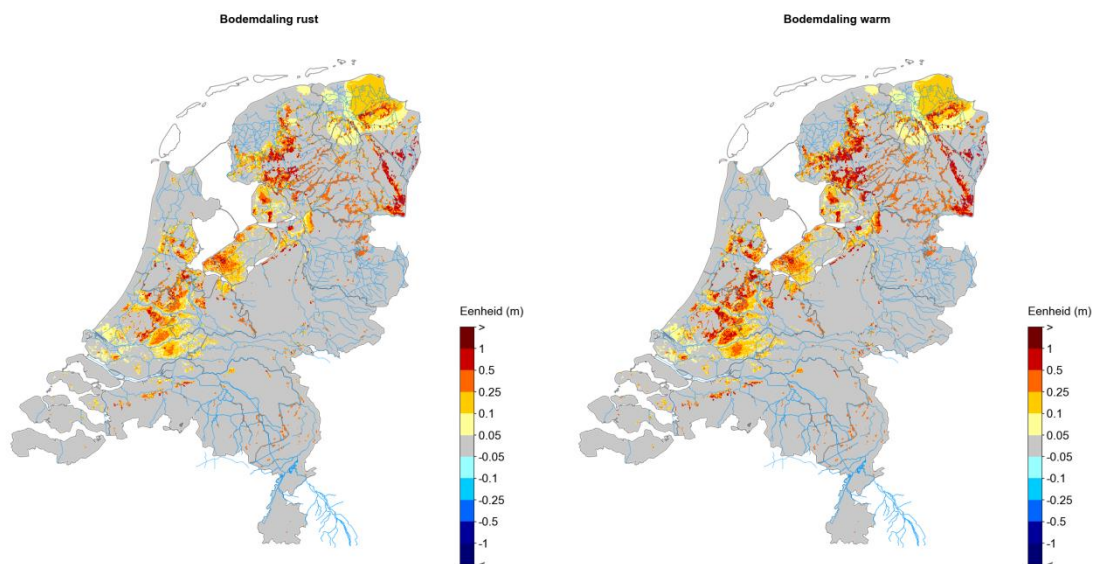
Bodemdaling

In deze update is gebruik gemaakt van de bodemdalingkaart die beschikbaar is in de Klimateffectatlas (CAS, 2017). Deze bodemdalingkaart is ontwikkeld door Deltares, TNO-GDN en WEnR. De kaart vormt een update van de kaarten van de bodemdalingkaart uit de klimateffectatlas van 2011 (De Lange et al., 2011; Jansen et al., 2010). De update omvat een aantal verbeteringen in de invoerdata en berekeningsmethoden.

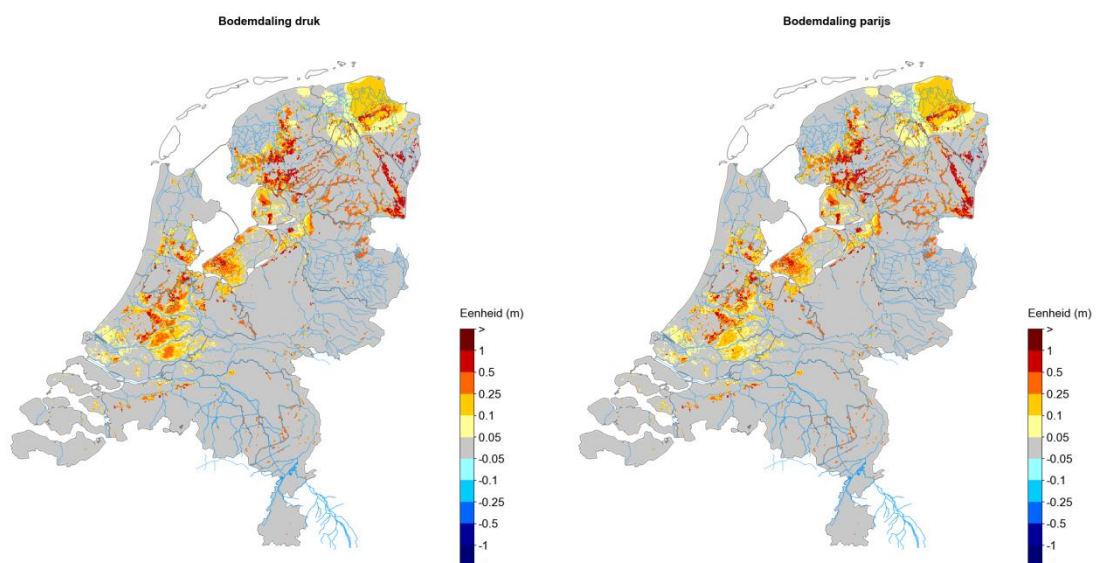
Voor de toepassing van de bodemdalingkaart in het LHM is de kaart op een aantal punten aangepast:

- 1 De bodemdalingskaart bevat ook bodemdaling in de beekdaling in Pleistoceen Nederland. Deze berekende bodemdaling hier kan oplopen tot meer dan 1 cm/jaar. Op basis van expert judgement is in pleistoceen Nederland een maximale bodemdaling aangehouden van 1 cm/jaar (maximaal 33 cm tot 2050).
- 2 De bodemdaling is voor het landgebruik natte natuur (klasse 13) gecorrigeerd. Hier is aangenomen dat de bodemdalingsnelheid met 50% wordt gereduceerd.
- 3 Voor gebieden met onderwaterdrainage in de variant Parijs is aangenomen dat de bodemdalingsnelheid met 50% wordt gereduceerd.

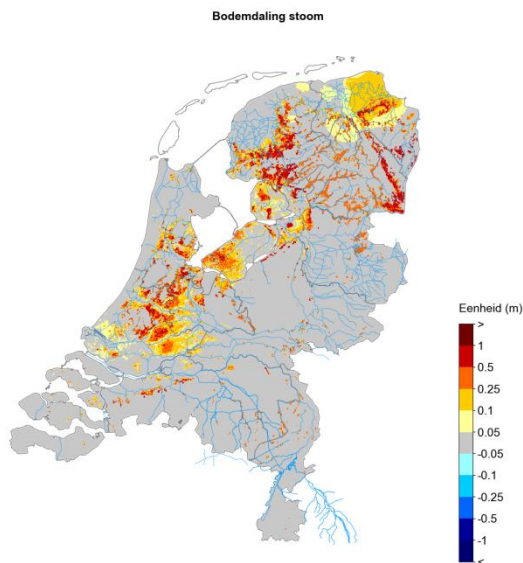
De berekende bodemdalingskaarten per scenario zijn weergegeven in Figuur 4.6 t/m Figuur 4.8.



Figuur 4.6 Bodemdaling voor de scenario's Rust 2050 en Warm 2050.



Figuur 4.7 Bodemdaling voor het scenario Druk 2050 en de variant Druk-Parijs 2050.



Figuur 4.8 Bodemdaling volgens het scenario Stoom 2050

De bodemdaling is in het model geïmplementeerd vertaald naar de peilen van het oppervlaktewater en het maaiveld. De oppervlaktewaterpeilen van het regionaal systeem zijn aangepast waarbij is aangenomen dat de ontwateringsdiepte gelijk blijft. Er is aangenomen dat de peilen van het hoofdwatersysteem niet beïnvloed worden door de bodemdaling. Hierom zijn deze peilen niet aangepast als gevolg van de bodemdaling.

Natte natuur

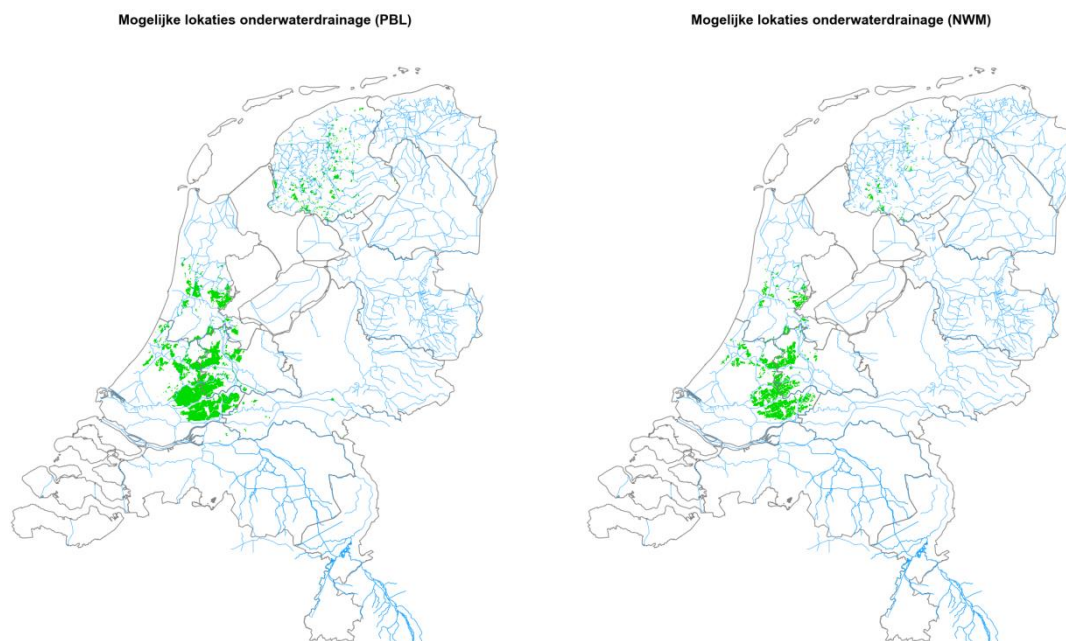
Voor de natte natuur (klasse 13 in landgebruikskaart) is voor de referentie en de scenario's een ontwateringsdiepte aangehouden van 20cm –mv. De berekende ontwateringsdiepte is gebaseerd op het gemiddelde maaiveld van een cel met een resolutie van 250m.

Onderwaterdrainage

Alleen in de in de variant Druk-Parijs is vernatting als gevolg van onderwaterdrainage in het model opgenomen. De locaties waar vernatting van onderwaterdrainage in het model is opgenomen is gebaseerd op een kaart van het PBL waar onderwaterdrainage in Nederland mogelijk is (Born *et al*, 2016). Deze kaart is gebaseerd op kosteneffectiviteit. Bij diepe ontwatering zijn de kosten van aanleg hoog met weinig effect op de bodemdaling. Bij een ondiepe ontwatering zijn de kosten van aanleg wellicht niet hoog, maar het effect op de bodemdaling is door hoge grondwaterstanden in de situatie voor de aanleg beperkt. Hierom bij de selectie van de locaties geselecteerd de gebieden met een ontwatering tussen de 30 en 60 cm. In het model is onderwaterdrainage geschematiseerd wanneer er sprake is van:

- 1 Mogelijke onderwaterdrainage volgens de basiskaart van PBL
- 2 Er treedt bodemdaling op voor het zichtjaar 2050
- 3 Het aaneengesloten oppervlak is groter dan 10 hectare.

In Figuur 4.9 zijn de locaties aangegeven waar onderwaterdrainage mogelijk is en de locaties waar vernatting als gevolg van onderwaterdrainage in het model is geïmplementeerd.



Figuur 4.9 Locaties waar onderwaterdrainage mogelijk is (links) (naar Born *et al*, 2016) en waar onderwaterdrainage in het model is geïmplementeerd (rechts).

De schematisatie van de onderwaterdrainage in de variant Druk-Parijs is nog niet afgrond en zal later worden gerapporteerd.

De volgende modelinvoer is aangepast als gevolg van de bodemdaling, natte natuur en bodemdaling:

LHM-MODFLOW

- peil_t1z_250.idf
- peil_t1w_250.idf
- peil_t1j_250.idf
- peil_s1z_250.idf
- peil_s1w_250.idf
- peil_s1j_250.idf
- peil_p1z_250.idf
- peil_p1w_250.idf
- peil_p1j_250.idf
- bodh_t1z_250.idf
- bodh_t1w_250.idf
- bodh_t1j_250.idf
- bodh_sof_250.idf
- bodh_s1z_250.idf
- bodh_s1w_250.idf
- bodh_s1j_250.idf
- bodh_p1z_250.idf
- bodh_p1w_250.idf
- bodh_p1j_250.idf
- bodh_b_250.idf
- bodh_wel.idf
- peilw_wel.idf
- peilz_wel.idf
- BODH_BRP2012_MVGREP_250.IDF
- COND_BRP2012_MVGREP_250.IDF

LHM-Mozart

- lswattr.csv
- waattr.csv

LHM-MetaSWAP

- ahn_f250_cm.asc

4.3 Drinkwater

In de verhaallijnen van de Deltascenario's zijn de veranderingsfactoren voor de drinkwatersector bepaald. Deze zijn weergegeven in onderstaande tabel.

Tabel 4.3 Veranderingsfactoren voor de drinkwateronttrekkingen uit oppervlaktewater en grondwater ten opzichte van Ref2017.

Scenario	Verandering drinkwateronttrekkingen
Rust 2050	-10%
Druk 2050	+10%
Druk Parijs 2050	+10%
Warm 2050	0%
Stoom 2050	+35%

4.3.1 Onttrekkingen oppervlaktewater

De drinkwateronttrekkingen uit het oppervlaktewater zijn in het LHM geschematiseerd in DM. Dit is aangepast in de LHM file 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.

Tabel 4.4 Drinkwateronttrekkingen uit het oppervlaktewater in het model DM.

DM knoop	omschrijving	Prioriteit	Lozing (d) of onttrekking (e)	Debiet Ref2017
6004	Roosteren oeverinfiltratie	2	e	0.2
6006	WML Heel	2	e	0.5
6013	Dunea Brakel	2	e	2.5
6014	Evides Gat vd Kerkslot	2	e	6.2
6016	Evides Scheelhoek	2	e	0.2
6026	Oeverinfiltratie Dordrecht e.o	2	e	0.2
6029	onbekend -Spui	2	e	0.1
6033	Oeverinfiltratie Schoonhoven e.o.	2	e	1.0
60401	Waternet/PWN-Nieuwegein	2	e	3.2
6041	DW Loosdrecht/Nieuwersluis ARK	2	e	2.89
1153	DW de Punt	2	e	0.15
6057	Andijk	2	e	4.0
1153	Waterbedrijf Groningen, de Punt	2	e	0.47
1131	Waterbedrijf Groningen, Veendam	2	e	0.34
1105	WMO Vechterweerd	2	e	0.15

De volgende modelbestanden zijn aangepast:

LHM-DM:

- Fixed.txt

LSM-LT

4.3.2 Onttrekkingen grondwater

De onttrekkingsdebieten uit het grondwater ten behoeve van drinkwater zijn vermenigvuldigd met de factoren uit Tabel 4.3. De volgende modelbestanden zijn aangepast:

LHM-MODFLOW:

- wel_bw_l*_cor.ipf
- wel_evides_l*.ipf
- wel_oasen_l*.ipf
- wel_pwn_l*.ipf
- wel_vitens_l*.ipf
- wel_wbgr_l*.ipf
- wel_wmd_l*.ipf
- wel_wml_l*_cor.ipf

4.4 Industrie

In de verhaallijnen van de Deltascenario's zijn de veranderingsfactoren voor de industrie bepaald. Deze zijn weergegeven in onderstaande tabel.

Tabel 4.5 Veranderingsfactoren voor de onttrekkingen ten behoeve van de industrie uit oppervlaktewater en grondwater.

Scenario	Verandering industrie onttrekkingen
Ref2017	-
Rust 2050	-40%
Druk 2050	-30%
Druk Parijs 2050	-30%
Warm 2050	-10%
Stoom 2050	+15%

4.4.1 Onttrekkingen oppervlaktewater

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. Voor industrie betreft het de volgende lozingen en onttrekkingen:

Tabel 4.6 Lozingen en onttrekkingen voor industrie in het oppervlaktewater in het model DM.

DM knoop	omschrijving	Prioriteit	Lozing (d) of onttrekking (e)	Debiet Ref2017
6001	M1 Arcadis Bijlage 3 4.4	4	d	2.0
6001	M1 Arcadis Bijlage 3 4.4	4	e	1.9
6004	M2 Arcadis Bijlage 3 4.4	4	d	2.2
6008	M3 Arcadis Bijlage 3 4.4	4	e	0.3
6009	M4 Arcadis Bijlage 3 4.4	4	e	0.8
6003	JK Arcadis Bijlage 3 4.4	4	e	3.0
6003	JK Arcadis Bijlage 3 4.4	4	d	0.3
5068	ZWV2 Arcadis Bijlage 3 4.4	4	e	0.3
5068	ZWV2 Arcadis Bijlage 3 4.4	4	d	0.3
5070	NV Arcadis Bijlage 3 4.4	4	e	0.1
6006	Niet bekend	1	d	1.1
6014	Niet bekend	1	d	0.4
6027	Niet bekend	1	d	0.6
6022	Niet bekend	1	d	0.2
6025	Niet bekend	1	d	0.2
6033	Niet bekend	1	d	0.3
6035	Niet bekend	1	d	0.3
6036	Niet bekend	1	d	0.1
6037	Niet bekend	1	d	0.7
6015	Niet bekend	1	d	0.6
6030	Niet bekend	1	d	0.3
6016	Niet bekend	1	d	0.2
6038	Niet bekend	1	d	1.4
6039	Niet bekend	1	d	1.1
6017	Niet bekend	1	d	0.1
6018	Niet bekend	1	d	1.0
6019	Niet bekend	1	d	0.1
6042	Niet bekend	1	d	1.0
6043	Niet bekend	1	d	0.2
6057	Niet bekend	1	d	0.1

6058	Niet bekend	1	d	0.2
6059	Niet bekend	1	d	0.4
6051	Niet bekend	1	d	0.1
6054	Niet bekend	1	d	2.3
6055	Niet bekend	1	d	0.7
6053	Niet bekend	1	d	6.6
4401	Brielse Meer	1	e	2.0
1137	Avebe, ter Apel kanaal	1	e	0.5
1137	Avebe, Gasselternijveen	1	e	0.08
1130	Kappa Sappemeer	1	e	0.03
1135	Nedmag Veendam	1	e	0.15
1100	Industriewater Twentekanaal	1	e	0.1
1101	Industriewater Twentekanaal	1	e	0.1
6032	Parenco	2	e	1.0
6032	Hydron, Buitenwaard/Steenwaard	1	e	0.5

De volgende modelbestanden zijn aangepast:

LHM-DM:

- Fixed.txt

LSM-LT

4.4.2 Onttrekkingen grondwater

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 4.5 zijn toegepast voor de onttrekkingen groter dan 100.000 m³/dag voor de verschillende scenario's.

De volgende bestanden zijn aangepast:

LHM-MODFLOW:

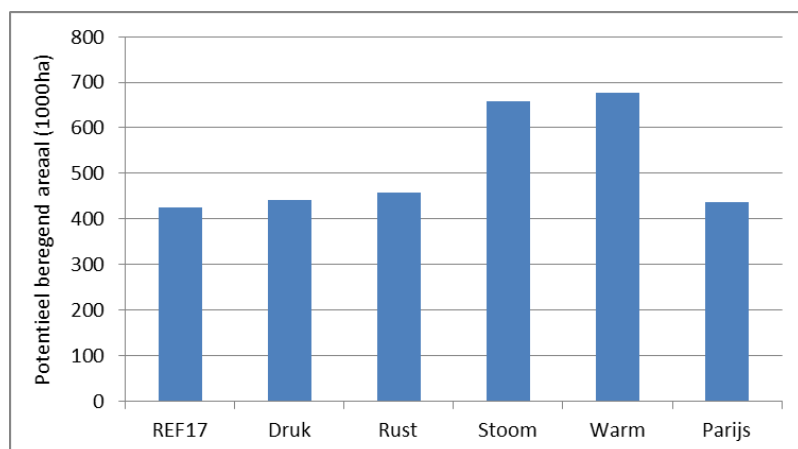
- wel_l*_nhi.ipf

4.5 Berekening

Met behulp van de Regioscan (STOWA, 2018) zijn voor de Deltascenario's nieuwe kaarten van de potentiële beregeningslocaties afgeleid. Dit is gedaan voor de referentiesituatie en voor het zichtjaar 2050 (scenario afhankelijk). Voor het bepalen van de ligging van de potentiële beregeningslocaties is als uitgangspunt genomen dat voor Ref2017 het totale areaal ongeveer gelijk is in LHM 3.3.0. Er is hiermee aangenomen dat er geen verandering is opgetreden ten opzichte van 2010. De beregeningskaart van het LHM 3.3.0 is voor het laatst geactualiseerd in 2012 op basis van landbouwtellingen uit 2010 (Massop *et al*, 2013).

Voor het bepalen van de ligging van de potentiële beregeningslocaties voor het zichtjaar 2050 zijn initiële modelruns van de scenario's gebruikt met aanpaste neerslag en verdamping en landgebruik. Deze runs zijn gebruikt als input voor de Regioscan. Het potentieel beregend areaal per scenario is weergegeven in Figuur 4.9 en Tabel 4.7.

De methode voor het bepalen van de ligging van de potentiële beregeningslocaties en de kaarten voor de verschillende scenario's zijn beschreven in bijlage F.



Figuur 4.10 Verandering van het potentieel beregend areaal voor de Deltascenario's.

Tabel 4.7 Verandering van het potentieel beregend areaal voor de Deltascenario's.

Scenario	Potentieel beregend areaal (1000 ha)	Verandering (%)
Ref2017	424	
Rust 2050	458	8%
Druk 2050	441	4%
Druk Parijs 2050	438	3%
Warm 2050	677	60%
Stoom 2050	657	55%

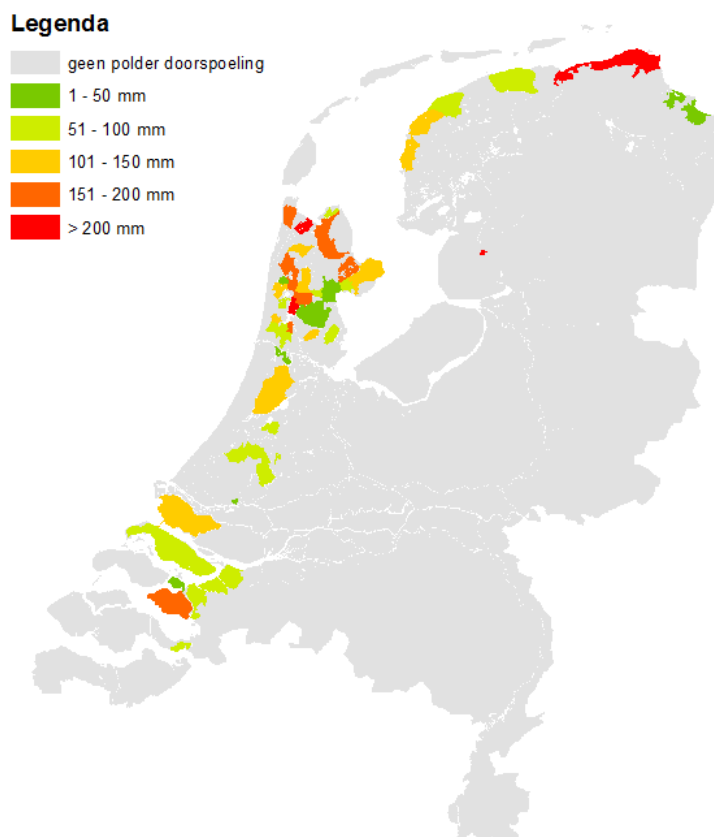
De volgende bestanden zijn aangepast:

LHM-METASWAP:

- beregen.asc

4.6 Doorspoeling polders

In het kader van de Deltascenario's is de doorspeling van de polders opnieuw afgeleid voor de huidige situatie. Hierbij is een actualisatie van de doorspoeldebieten maar ook van de polders die doorgespoeld worden uitgevoerd. De doorspoeling van de polders zoals deze in Ref2017 in het model is opgenomen is weergegeven in Figuur 4.11.



Figuur 4.11 Herziene polder-doorspoelhoeveelheden in mm/jaar voor Ref2017.

De doorspoeldebieten voor de scenario's zijn aangepast volgens de factoren die zijn geschat in de verhaallijnen van de Deltascenario's. In onderstaande tabel zijn de gebruikte factoren per scenario opgenomen.

Tabel 4.8 Veranderingsfactoren doorspoeling.

Scenario	Verandering polderdoorspoeling
Ref2017	-
Rust 2050	-10%
Druk 2050	-25%
Druk Parijs 2050	-25%
Warm 2050	+20%
Stoom 2050	+100%

De volgende bestanden zijn aangepast:

LHM-Mozart:

- uslswdem.dik
- uslsw.dik

4.7 Doorspoeling boezem en hoofdwatersysteem

4.7.1 Boezem-doorspoeling

De doorspoeling van boezemwateren is, via een zogeheten 'gewenst debiet', opgenomen in het Distributiemodel, onderdeel van het LHM. Voor de referentiesituatie is de bestaande schematisatie van het Distributiemodel niet aangepast. Wel zijn de verschillende scenario's geïmplementeerd door het gewenste debiet van geselecteerde boezemtakken met de factoren uit paragraaf 4.6 te vermenigvuldigen. Het gaat hierbij om gewenste debieten die worden gehanteerd voor doorspoeling ten behoeve van chloridebestrijding.

De volgende takken zijn op deze wijze aangepast:

Tabel 4.9 Takken waarvan boezemdoorspoeling in Deltascenario's is aangepast

Taknummer	Omschrijving
1063	Electraboezem
10451	Eemskanaal
1036	Boezem Oldambt
1044	Westerwoldse Aa
10481	Friese Boezem, Dokkum
10551	Friese Boezem, Van Harinxmakanaal
20031	Schermerboezem, Zaangemaal
20041	Schermerboezem, Helsdeur
2005	VRNK-boezem
40561	Boezem Delfland
40251	Boezem Rijnland, Spaarndam, Halfweg
4028	Boezem Rijnland, Katwijk
4062	Zuiderdiepboezem
5025	Mark, Dintel

De volgende bestanden zijn aangepast:

LHM-DM:

- Inks.txt

4.7.2 Hoofdwatersysteem

Voor energie (koelwater) zijn de doorspoelvragen op het ARK bij Utrecht en het Lateraalkanaal verlaagd met 80% in alle scenario's. Omdat tevens watervragen zijn gedefinieerd voor doorspoeling voor respectievelijk zoutbestrijding bij Weesp en waterkwaliteit Lateraalkanaal zal het effect hiervan gering zijn. Aanpassing is gedaan in de file LNKS.txt.

Tabel 4.10 Aangepaste doorspoeldebieten hoofdwatersysteem

DM tak	Omschrijving	Prioriteit	Gewenst debiet in Ref2017
6014	ARK Utrecht	4	10.0
6079	Lateraalkanaal	3	6.0

Verder is in de Fixed.txt de onttrekking voor ECN Petten en de Clauscentrale een energie (koelwater) vraag. Deze is ook in alle scenario's met 80% verminderd.

Tabel 4.11 Aangepaste onttrekkingen energie (koel) watervraag.

DM knoop	Omschrijving	Prioriteit	Lozing (d) of onttrekking (e) In Ref2017	Debiet Ref2017
2125	ECN Petten	3	e	0.9
6006	Clauscentrale	3	e	0.6

De volgende bestanden zijn aangepast:

LHM-DM:

- fixed.txt

LSM-LT

4.8 Scheepvaart

Geen aanpassingen doorgevoerd.

5 Samenvatting

5.1 Invoergegevens

Invoergegevens voor de 100-jarige reeks zijn opgesteld voor zowel de referentie situatie Ref2017, als de Deltascenario Rust, Druk, Warm en Stoom en variant Druk-Parijs voor het zichtjaar 2050 (Wolters *et al*, 2017). Per jaar variërende invoergegevens betreffen alleen het weer (neerslag, verdamping, temperaturen), en de rivierafvoeren (afvoer, peil, zoutindringing). Voor de overige invoer (bijvoorbeeld landgebruik, watersysteeminformatie) wordt uitgegaan van de huidige situatie (of voor de Deltascenario's de verwachte toekomstige situatie). De 100-jarige reeks geeft daarmee nadrukkelijk niet de historische situatie weer over de afgelopen honderd jaar. De 100-jarige reeks is uitsluitend bedoeld om de effecten van de weersvariatie op het huidige (of toekomstige) watersysteem in beeld te brengen.

De invoergegevens ten behoeve van de 100-jarige reeks zijn in verschillende rapporten beschreven. Hier worden de invoergegevens samengevat en wordt verwezen naar deze onderliggende rapporten.

5.1.1 Klimaatverandering

Tabel 5.1 geeft een overzicht van de klimaat-gerelateerde invoergegevens die voor de 100-jarige berekening zijn opgesteld.

Tabel 5.1 Overzicht van de klimaat-gerelateerde invoergegevens

	Referentiesituatie	Deltascenario's 2017	Bron	Referentie
Neerslag ¹	RDH_REF_oper_v000 2_1910_2015	RDH_50WH_oper_v000 2_1910_2015	KNMI	Deze rapportage
Verdamping ¹	EVH_REF_oper_v000 2_1910_2015	EVH_50WH_oper_v000 2_1910_2015	KNMI	Deze rapportage
Zeespiegelstijging	+ 0 cm	Conform rapportage	KNMI	Deze rapportage
Rivierafvoeren	Historische reeks aangevuld met behulp van regressie voor Lobith (1901-2014) en Monsin (1911-2014)	Afvoerreeks verkregen door transformatie o.b.v. HBV simulaties huidig en toekomstig klimaat en toegepast op gemeten reeksen Lobith en Monsin	RWS	Deze rapportage, Wesselijs, 2017
Afvoer zijrivieren	Gemeten waarden aangevuld met regressierelatie voor ontbrekende waarden	Afgeleid o.b.v. regressierelatie met Maas/Rijn toegepast op scenario afvoeren	Deltares	Deze rapportage, Kroon, 2015 Wesselijs, 2017
Interne verzilting	Grensvlak op basis van metingen en landelijk en regionale modellen	Berekeningen NHI-zz met KNMI06 2050 G W+	modelberekening o.b.v. NHI (submodel Zoet-zout)	Oude Essink & Verkaik, 2010

Externe verzilting	Chloride concentraties o.b.v. SOBEK-RE NDB berekening referentie	Chloride concentraties o.b.v. SOBEK-RE NDB berekening	NWM (berekend)	Deze rapportage, Buschman, 2016
Peilen hoofdwatersysteem	Gebaseerd op basis van QH-correlatie (o.b.v. 30 jarige reeks) met afvoeren Lobith en Monsin	Gebaseerd op basis van QH-correlatie (o.b.v. 30 jarige reeks) met afvoeren Lobith en Monsin	relatie afgeleid door Deltares	Deze rapportage en Kroon, 2015
Watertemperatuur	de meetlocaties Lobith en Eijsden ponton deels aangevuld met MWTL-data	Afgeleid door transformatie op referentiedata o.b.v. regressierelatie variabelen TG en Q	RWS	Wesselius, 2017
Luchttemperatuur (TG)	TGH_REF_v0001	TGH_50WH_v0001	KNMI	Wesselius, 2017
Relatieve luchtvochtigheid (UG)	UGH_REF_v0001	transformatie o.b.v. veranderingsvectoren brochure knmi2014	KNMI	Wesselius, 2017 Hunink, 2016
Straling (Q)	QH_REF_v0001	QH_50GL_v0001 QH_50WH_v0001	KNMI	Wesselius, 2017
Bewolgingsgraad (NG)	scalaire tijdreeksen voor de beschikbare KNMI stations. aangevuld met default waarden voor ontbrekende waarden	transformatie o.b.v. veranderingsvectoren brochure knmi2014	KNMI	Wesselius, 2017 Hunink, 2016
Windsnelheid (FG)	scalaire tijdreeksen voor de beschikbare KNMI stations. aangevuld met default waarden voor ontbrekende waarden	transformatie o.b.v. veranderingsvectoren brochure knmi2014	KNMI	Wesselius, 2017 Hunink, 2016

¹ Voor alle griddata geldt dat deze beschikbaar zijn op de volgende opendap-locatie: <http://opendap-dm2.knmi.nl:8080/thredds/deltamodel-aggregations.html>

5.1.2 Socio-economische ontwikkelingen

Tabel 5.2 geeft een overzicht van de invoergegevens gerelateerd aan socio-economische ontwikkelingen die voor de 100-jarige berekening zijn opgesteld.

Tabel 5.2 Invoergegevens gerelateerd aan socio-economische ontwikkelingen

	Referentiesituatie	Deltascenario's 2017	Bron	Referentie
Landgebruik en verhardingskaart	Referentie 2017 (VU)	Landgebruik en verhardingkaarten zoals deze horen bij de verhaallijnen	Delta scenario 2017	Deze rapportage
Bodemdaling	0	Bodemdalingkaarten	Delta scenario 2017	Deze rapportage
Onttrekkingen oppervlaktewater	Onttrekkingen oppervlaktewater o.b.v. LHM release 3.3.0	Onttrekkingen oppervlaktewater o.b.v. Deltascenario's	Delta scenario 2017	Deze rapportage
Onttrekkingen grondwater	Onttrekkingen grondwater o.b.v. LHM release 3.3.0 en correctie Brabant	Onttrekkingen grondwater Deltascenario's	Delta scenario 2017	Deze rapportage
Berekening	Referentie o.b.v. Regioscan	Deltascenario's o.b.v. Regioscan	Delta scenario 2017	Deze rapportage
Doorspoeling	Referentie op basis van nieuwe inzichten huidige situatie	Deltascenario's	Delta scenario 2017	Deze rapportage
Warmtelozingen	constructie historische reeks van warmtelozingen voor de periode 1911-2015 o.b.v. E-productie NL	geen wijzigingen	CBS	Hunink, 2016

6 Aanbevelingen en geparkeerde onderwerpen

1. De zoutconcentratie in de onverzadigde zone is in de initiële modelinvoer nog niet ingespeeld omdat er geen langjarig evenwichtsprofiel voor LHM 3.3.0 beschikbaar was voor de referentie en de klimaatscenario's. Aanbevolen wordt om naar de eerste LHM berekening (LHM zonder zout) de cold-state files van metaswap wat betreft de zout-concentraties te updaten op basis van de uitvoer van het laatste berekende jaar. De volgende modelinvoer moet worden aangepast voor de referentie, de 4 scenario's en variant Parijs:
 - solute_coliii.csv.inp: Verdeling chloride concentratie in het bodemprofiel.
2. Nader onderzoek naar de locaties en debieten van de industriële winningen uit het oppervlaktewater. Het is onduidelijk of deze onttrekkingen volledig zijn. Dit issue is relevant voor de modellen LHM, LSM-LT en LTM.
3. Meenemen lozingen rwzi's.
Er zijn veel lozingen in de Maas die relevant kunnen zijn. Deze zijn nu waarschijnlijk niet in het model gezet. Dit issue wordt geparkeerd voor de ontwikkeling van LHM.
4. Spuicapaciteit Afsluitdijk
Tijdens de testdag (september 2018) is gebleken dat de spuicapaciteit van de Afsluitdijk in het LSM-LT model niet voldoende is de winter waardoor de waterstand in de winter te hoog kan uitvallen. Dit issue zal nader onderzocht moeten worden.
5. Onderwaterdrainage in variant Druk-Parijs
Tijdens de eerste beoordeling van de berekende effecten van de scenario's in het kader van de knelpuntenanalyse van het Deltaprogramma Zoetwater is gebleken dat het effect van de onderwaterdrainage zoals in deze schematisatie is gebruikt niet een plausibel effect berekenen. Het effect van de onderwaterdrainage op de verdamping en de watervraag is in deze berekeningen hierom zeer beperkt. Geadviseerd wordt om de berekeningen opnieuw te doen met een aangepaste schematisatie. Hiervoor kan gebruikt worden van de schematisatie van de onderwaterdrainage die wordt ontwikkeld en getest in een regionaal project (opdrachtgevers STOWA en waterschappen) waar de effecten van de onderwaterdrainage op de watervraag worden onderzocht.

7 Referenties

- Acacia, 2016, L.F. Tolk, S. Burger, J. Velstra, T. Drost, Achtergrond document Watermaat: een maat voor Waterbeschikbaarheid. Acacia rapport 16635, november 2016.
- Baltissen, J., Vries, I. de, Meer, E.J. van der, 2014. Joint Fact Finding zoet water - Eindrapportage voor de Rijksstructuurvisie Grevelingen en Volkerak-Zoommeer, Ministerie Infrastructuur en Milieu.
- L.M.T. Bos-Burgering, J.C. Hunink, A.A. Veldhuizen, G. Prinsen, P.E.V. van Walsum, J.R. Pouwels en T. Kroon. 2018. Veranderingsrapportage LHM 3.4.0; ontwikkelingen ten behoeve van landelijke analyse van de zoetwatervoorziening 2018. Deltares rapport 1120224-000-BGS-0001.
- CAS, 2017, <http://www.climateadaptation-services.com/nl/klimaat-effect-atlas>
- Caljé, R., F. Schaars, J. Heijkers, 2018, Vergelijking van enkele schattingsmethoden voor de actuele verdamping. STOWA rapport 2014-18.
- CPB/PBL, 2015, Toekomstverkenning Welvaart en Leefomgeving, Nederland in 2030 en 2050: twee referentiescenario's. PBL rapportage, publicatienummer 1689.
- Daniels, Jeroen. 2016. "Dispersion and Dynamically One-Dimensional Modeling of Salt Transport in Estuaries." Master thesis, Delft: Delft University of Technology and National University of Singapore.
- De Lange et al., 2011 aanvullen
- De Louw, P.G.B., Van der Velde, Y., Van der Zee, S.E.A.T.M., 2011. Quantifying water and salt fluxes in a lowland polder catchment dominated by boil seepage: a probabilistic end-member mixing approach. Hydrol. Earth Syst. Sci. 15, 2101–2117.
- De Vries, A., Veraart, J., De Vries, I., Oude Essink, G.H.P., Zwolsman, G., Creusen, R., Buijtenhek, H., 2009. Vraag en aanbod van zoetwater in de Zuidwestelijke Delta, Kennis voor Klimaat rapport.
- Gao, Q., 2014. Afleiding zeerandvoorwaarden op basis van lineaire regressie, Deltares memo 1209387-000-ZWS-0012
- Huismans, Y., Buschman, F.A., Wesselius, C.M., Daniëls, J., Kuijper, C. Modelleren van Zoutverspreiding Met SOBEK 3 En SOBEK-RE." Deltares rapport 1230077-003.
- Huismans, Y., 2017, 1D schematisatie en modellering van de verdieping Nieuwe Waterweg. Deltares memo 11200589-001-ZWS-0005-v2.
- Hunink, J., M. Hegnauer, 2016, Update Deltascenario's Nationaal Water model. Deltares rapport 1220056-000-ZWS-0015-v4
- Hegnauer, M., Beersma, J.J., Van den Boogaard, H.F.P., Buishand, T.A. and R.H. Passchier. 2014. Generator of Rainfall and Discharge Extremes (GRADE) for the Rhine and Meuse basins; Final report of GRADE 2.0. Document extern project: 2014, Project under commission of the Ministry of Infrastructure and the Environment: Rijkswaterstaat Water, Transport and Environment (RWS-WVL), Deltares, Delft, Netherlands. Jansen et al., 2010 aanvullen
- Hydrologic. 2015. "Verziltting Door Verdieping Nieuwe Waterweg En Botlek." Eindrapport P716. Deelonderzoek MER Havenbedrijf Rotterdam.
- KNMI, 2015, KNMI'14 klimaatscenario's voor Nederland. Herziene uitgave van de Brochure.

- Kollen, J., 2017, Ontwerp-Peilbesluit IJsselmeergebied. Sweco rapport SWNL-0186380, versie D1.0
- Kramer, M., Delsman, J., Reitsma, J.J., Wateren, B. van de, 2017. Slimmer doorspoelen Haarlemmermeerpolder, Rijnland rapport 16.045775.
- Kramer, N., M. Mens, 2016, Methode voor afleiden van een 100-jarige toekomstige afvoerreeks voor Lobith en Monsin. Deltares memo 1230078-000-BGS-0001
- Kroon, T., G. Prinsen, J. Hunink, M. Visser en H. van den Boogaard (2015). 100 Jaar reeks LHM en LSM; beschrijving van de invoer. Deltares rapport 1220108-000-BGS-0005.
- Massop, H, Th, L., C. Schuiling, A.A. Veldhuizen, 2013, Potentiele beregeningskaart 2012, Update landelijke potentiele beregeningskaart voor het NHI op basis van landbouwtellingen 2010. Alterra-rapport 2382.
- Massop, H.Th.L, en C. Schuiling (2017). Toelichting update buisdrainagekaart 2017 (www.nhi.nu)
- Mens, M., R. van der Wijk, N. Kramer, J.C. Hunink, J. de Jong, B. Becker, P. Gijsbers, C. ten Velden , 2018. Hotspotanalyses voor het Deltaprogramma Zoetwater - Inhoudelijke rapportage. Deltares rapport 11202240-004
- Oude Essink, G., J. Verkaik, 2010, NHI zoet-zout: grondwater in het Nederlandse kustgebied. Deltares memo 12022733-00-BGS-005-m-resultaten_NHI2.0_zoetzout_nov2010.
- Prinsen, G. 2012. 1205954-003-ZWS-0016. Achtergronddocument LSM 1.0
- Prinsen, G. 2015. Achtergronddocument LSM 1.04. Deltares rapport 1207765-004-ZWS0001, Deltares, Delft
- Prinsen, G., C. Wesselius. 2015. LSM achtergronddocument. KPP2015 Hydraulica Schematisaties - Zoet. Deltares rapport 1220072-015-ZWS-0002, aug 2015
- Schimmel, B., Verslag Conclusies Rivierenland en andere Waterschappen. RWS verslag, datum 27 februari 2017.
- Schipper, P.N.M., Janssen, G.M.C.M., Polman, N.B.P., Linderhof, V.G.M., Van Bakel, P.J.T., Massop, H.T.L., Kselik, R.A.L., Stuyt, L.C.P.M., 2014. Effect zout Volkerak-Zoommeer op de zoetwatervoorziening van de landbouw; Berekening droogte- en zoutschade met Ecoreyeopener 2.1 voor Tholen, St. Philipsland, Oostflakkee, Reigersbergsche en PAN-polders [in Dutch], Alterra-rapport 2511. Wageningen, Netherlands.
- Staveren, G. van, J. van der Wouder, 2017, OPERATIONALISEREN FLEXIBEL PEILBEHEER IJSSELMEERGEBIED. INFRAM rapport 17i301.
- STOWA, 2018, Regioscan Zoetwatermaatregelen. Verkennen van het perspectief van kleinschalige zoetwatermaatregelen voor de regionale zoetwateropgave. STOWA rapport 2018-13
- Stuyt, L.C.P.M., Bakel, P.J.T. van, Massop, H.T.L., 2011. Basic Survey Zout en Joint Fact Finding effecten van zout. Naar een gedeeld beeld van het zoetwaterbeheer in laag Nederland, Alterra rapport 2200.
- VU, 2017, Actualisering landgebruiksimulatie Deltascenario's; Achtergronddocument bij Ruimtescanner inzet. Spinlab Research Memorandum SL-12.
- Walsum, P.E.V. van en Supit, I. (2012) Influence of ecohydrologic feedbacks from simulated crop growth on integrated regional hydrologic simulations under climate scenarios; in: Hydrol. Earth Syst. Sci., vol. 16, pag 1577-1593

- Water uit de Wal, 2012. Watersituatie Reigersbergsche polder, Rapport Stuurgroep Water uit de Wal.
- Wesselius, CM., Boderie, P., Kramer, N. (2017). Deltascenario's, de randvoorwaarden voor de 100-jarige reeks. Deltares rapport 11200554-000-ZWS-0011.
- Witteveen + Bos, 2005. Zoetwatervoorziening Reigersbergsepolder - een maatschappelijke kosten-batenanalyse, Wi+Bo rapport STO112-6-1.
- Wittenveen+Bos, 2016, Regionale Verkenning Zoetwater Rivierengebied, Fase 4. Wittenveen+Bos rapport TL248-1/16-020.108.
- Wolters, H.A., G.J. van den Born, E. Dammers, S. Reinhard, 2018, Deltascenario's voor de 21^e eeuw, actualisering 2017.

A Memo: Methode voor het afleiden van een 100- jarige toekomstige afvoerreeks voor Lobith en Monsin

B Aanpassingen DM Referentie 2017

Aanpassingen LHM oppervlaktewater huidige situatie ten behoeve van Referentie 2017. Uitgangsversie: LHM versie 3.3.0

- Extra aanpassingen maatregelen DP fase 1:
 - o Flexibel peilbeheer, op basis van definitief concept peilbesluit (dikke groene lijnen op blz. 9 e.v. op basis van het OFP Infram rapport). Dit is iets aangepast t.o.v. de eerdere Ref2015S2 WABES implementatie
 - o KWA 15 m3/s conform de eerdere Ref2015S2 WABES implementatie
 - o Roode Vaart 3.5 m3/s conform eerdere Ref2015S2 WABES implementatie
 - o Noordervaart capaciteitsuitbreiding tot 5.4 m3/s
 - Tevens enkele district inlaatcapaciteiten voor knoop 5070 en 50701 aangepast omdat anders vergroting van de capaciteit van de Noordervaart geen effect heeft. Tevens verdeelsleutels district 63 aangepast (meer uit Noordervaart/Peelkanaal Zuid 50701)
 - o Kromme Rijn inlaat niet meer peilafhankelijk (conform eerdere WABES Ref2015 S2 implementatie)

Extra aanpassingen:

- Eefde – Twentekanaal schut-lekverlies van 2.5 naar 3.5 m3/s
- Weesp monding ARK gewenst debiet 25 i.p.v. 10 m3/s (in IWP geïmplementeerd)
- Buggenum: geen elektriciteitscentrale meer
- DIW Twentekanaal Enschede gestopt na brand Vredestein in 2003, maar zat nog wel in model en is nu verwijderd.
- Verschillende aanpassingen capaciteiten gemalen en inlaten Rivierenland
- enkele nog niet aangepaste zaken uit eerder memo voor LHM 3.3.0
- takcapaciteit op takken met gewenst debiet
- ARK-NZK doorspoeling meer via Irenesluizen, minder via Oranjesluizen
- lozingscapaciteit districten (zie LHM RWS prestatieindicatoren sommen)

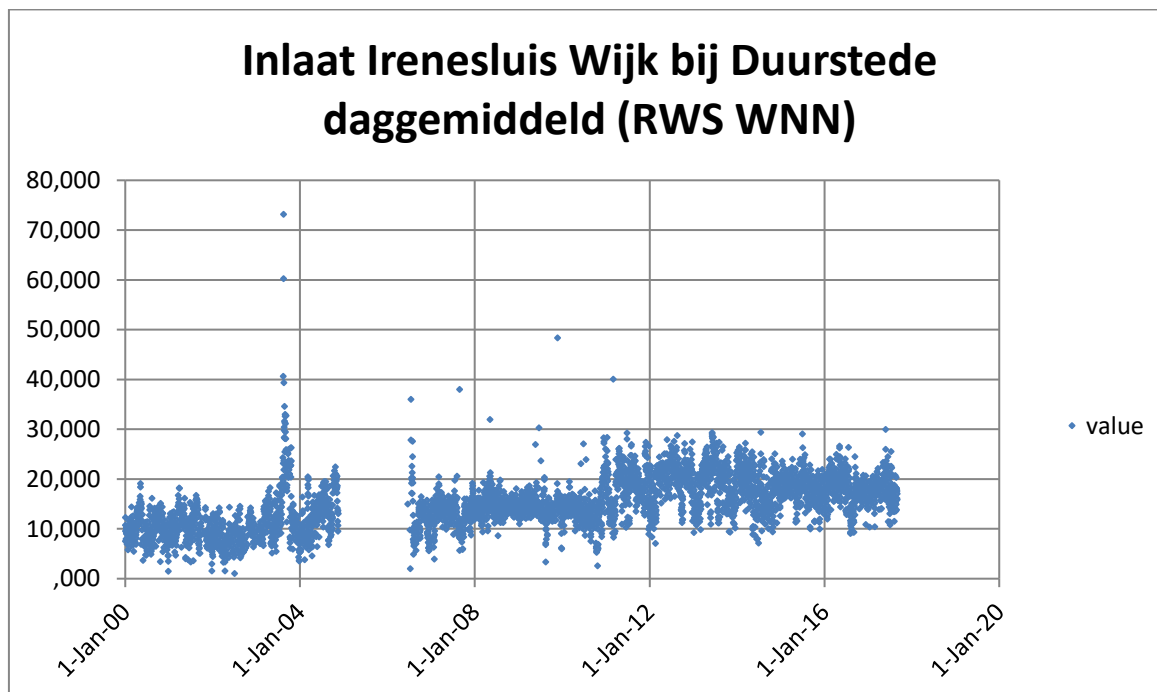
Bij de analyse van de testruns voor RWS-Prestatiemanagement en voorbereiding van processing daarvan, bleek dat DM balansfouten rapporteert op erg natte dagen bij locaties zoals als Spaarndam. Qua schematisatie bij de knoop Spaarndam is de situatie als volgt:

- Een tak met capaciteitsbeperking / waterlozing (tak Leiden-Spaarndam, afvoer van Rijnland naar NZK)
- Een gewenst debiet (zoutlek) naar binnen
- Een parallelle tak met gewenst debiet (doorspoeling) naar buiten, met afvoercapaciteit gelijk aan de capaciteit aanvoerende tak vanuit de boezem (=tak Leiden-Spaarndam)
- Door neerslag en/of lozingen op de knoop Spaarndam kan het te realiseren debiet naar buiten groter worden dan de opgegeven capaciteit, en dat leidt tot balansfouten op de tak met gewenst debiet naar buiten
Het gebeurt alleen op takken met gewenst debiet, omdat DM daar speciale dingen doet (er wordt een extra artificial tak, en daar treedt die balansfout dan op)

- Aanpassing in nieuwe versie: vergroten van de takcapaciteit (tak 40251 in dit geval, ook bij tak 40561 Parksluizen speelt dit maar in mindere mate)
- Hoogwaterbeheer Loozen (geen inlaat ZWLM uit België als hoogwater in Brabant); niet in LHM opgenomen
- Lekverlies Grave en Lith niet in model opgenomen, niet gekwantificeerd

LNKS.txt

- Gewenst debiet Weesp is gezet op tak 6016. Verder opgehoogd van 10 via 18 (huidig) naar 25 (Ref2017)
- In 3.3.0 is het gewenst debiet nog steeds 10 m³/s. Voor 2003 e.d. is correct. Na weghalen van sluiseland Zeeburg is doorspoeling via ARK verhoogd, en via Oranjesluizen verlaagd. Blijkt uit data inlaat Irenesluizen geleverd door Arjen Kikkert (RWS-WNN), zie figuur hieronder. Vanaf 2008 is de inlaat Irenesluis duidelijk groter geworden. Gewenst debiet ARK Weesp daarom gezet op 18 m³/s, bij Oranjesluizen gewenst debiet met 8 m³/s verminderd.
- Zeeburg inlaat op nul gezet (reeds in 3.3.0 gedaan), gewenst debiet tak 4041 verwijderd
- gewenst debiet Muiden tak 4006 niet aangepast (nog steeds 7 m³/s bij max. capaciteit van 10 m³/s)
- Pannerling tak 3001, inlaatcapaciteit 8 m³/s (reeds in 3.3.0) (info Rivierenland)
- Kuijkgemaal tak 3008, inlaatcapaciteit 6.0 m³/s i.p.v. 4.6 m³/s (info Rivierenland)
- Spaarndam tak 40251: capaciteit 999
- Parksluizen tak 40561: capaciteit 999



NDS.txt

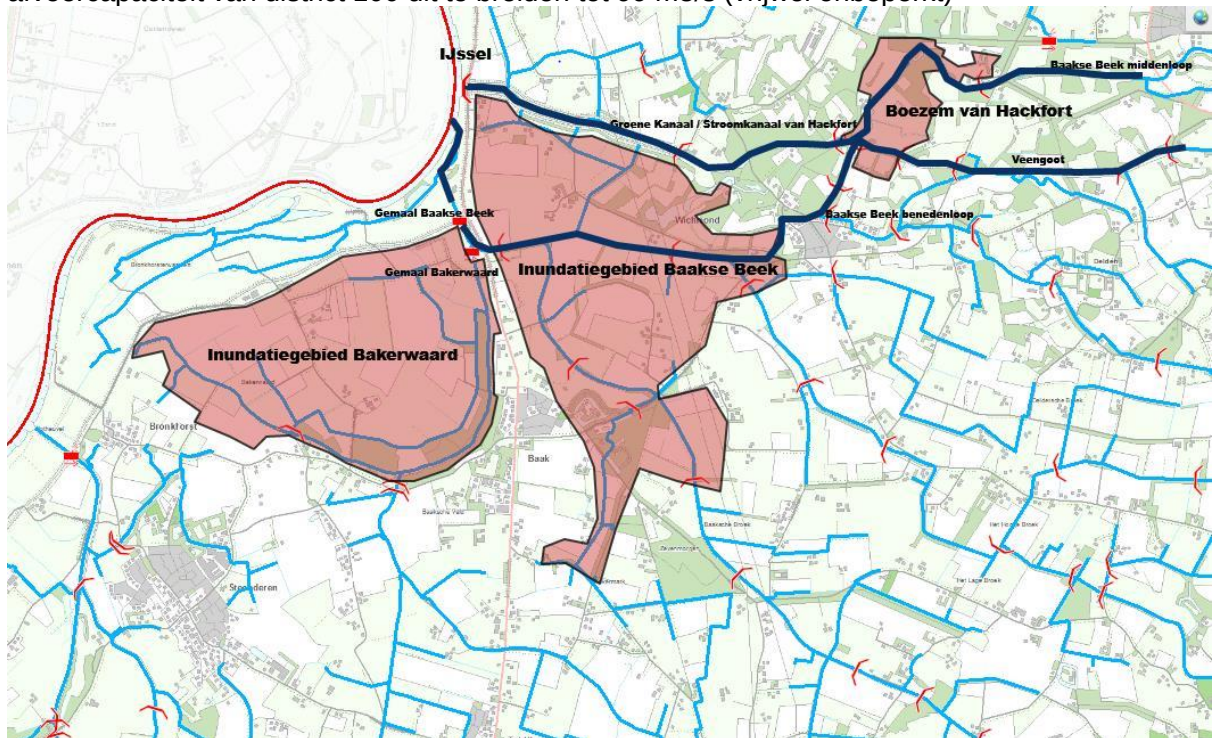
- Verdeelsleutels Linge aangepast: relatief meer aanvoeren uit Pannerling omdat die capaciteit is uitgebreid. Verdeelsleutels knoop 3087 aanvoer ook via 3085 uit Pannerling. Idem district inlaat district 95 meer uit Pannerdens Kanaal vanuit Pannerling dan uit Kuijkgemaal Nederrijn voorzien.

Fixed.txt

- Onttrekking Buggenum op knoop 607 (Lateraalkanaal) verwijderd, want de centrale is inmiddels gesloten
- Eefde schut-lekverlies huidige situatie 2.5 m³/s i.p.v. 1.7 m³/s
Is opgegeven in fixed.txt rekening houdend met de schut-lekverliezen bij Delden/Hengelo

DWKeys.txt

- Lozingscapaciteit district 100 Beekse Beek-Veengoot stond op 5.2 m³/s. Dat is alleen de capaciteit van gemaal Baakse Beek dat bij IJsselwaterstanden > 6.20 m wordt ingezet. Bij lagere peilen is afvoercapaciteit van de beek 10.3 m³/s. Veel belangrijker is echter dat door bovenstroomse sturing er de mogelijkheid tot vrije afwatering via het Groene Kanaal (Stroomkanaal van Hackfort) is zolang de IJsselwaterstand beneden de +9.20 m blijft. Berekeningen in LSM laten zien dat (bij de gebruikte lagere lozingscapaciteit) de IJsselwaterstand ook in najaar 1998 beneden de +9m bleef. Daarom is besloten de afvoercapaciteit van district 100 uit te breiden tot 99 m³/s (vrijwel onbeperkt)



Volgens Rijn en IJssel site (<http://www.wrij.nl/statisch/baakse-beek/kopie-2/peilbeheer/>):

“In de Boezem van Hackfort (ofwel de Boezem van Pardijs) komen de Baakse Beek en de Veengoot samen en wordt het water weer verdeeld tussen de Baakse Beek en het Groene Kanaal, ook wel Stroomkanaal van Hackfort genoemd (zie kaart). Bij een lage afvoer en lage IJsselstand (peil IJssel bij gemaal Baakse Beek < 6,20 m+ NAP) stroomt na het verdeelwerk circa 0,7 m³/s richting de Baakse Beek. Als de aanvoer groter is dan 0,7 m³/s, wordt het overige deel naar het Groene Kanaal gestuurd. Deze regeling geldt vanaf 2014. Gemaal Baakse Beek treedt in werking bij een waterstand boven de 6.20 m+NAP op de IJssel. Als het gemaal in werking is, wordt het verdeelwerk in de Boezem van Hackfort omgezet. Het water uit het bovenstrooms gelegen gebied kan onder vrij verval blijven lozen op de IJssel via het Groene Kanaal.

Er wordt geen water meer afgevoerd naar de Baakse Beek. Hiermee voorkomen we dat het water uit het hoger gelegen delen van het stroomgebied eerst in het lage gebied rondom Wichmond en Baak terecht komt en daar dan vervolgens weer moet worden uitgepompt. Tot een waterstand in het Groene Kanaal van 9.50 m+NAP bij de IJssel en 9.65 m+NAP bij de Boezem van Hackfort blijven de Baakse Beek en de Veengoot onder vrij verval afvoeren via het Groene Kanaal. Boven genoemde waterstanden komt de stabiliteit van de kades langs het Groene Kanaal in gevaar en mag er niet meer geloosd worden. Ondanks de hoge IJsselstand zal dan toch water via de Baakse Beek afgevoerd moeten worden naar de IJssel: bij het verdeelwerk in de Boezem van Hackfort wordt de afvoer naar het Groene Kanaal geblokkeerd. Ook aan de IJsselzijde kan het Groene Kanaal worden afgesloten. Bij de mogelijke combinatie van hoog water op de IJssel (>9,50 m+NAP) en veel binnenwater is de kans groot dat de afvoercapaciteit van de benedenloop van de Baakse Beek en zeker die van het gemaal Baakse Beek, waarvan de afvoercapaciteit door de hoge IJsselstand gehalveerd is, tekort schieten. Op dat moment zullen inundatiegebieden Baakse Beek (463 ha.) en Bakerwaard (402 ha.) ingezet worden. Tussen de Baakse Beek en de Bakerwaard ligt een kade (zie ook waterveiligheid). Het moment van inzetten van het inundatiegebied Bakerwaard kan daarmee iets worden uitgesteld. Er kan echter ook worden besloten om inundatie in het inundatiegebied Baakse Beek iets uit te stellen. In dat geval moeten de vrije lozingskleppen van gemaal Bakerwaard omhoog worden getrokken. Het water uit de Baakse Beek stroomt dan onder gemaal Bakerwaard de Bakerwaard in. Op den duur zullen beide gebieden echter onder water stromen. In de Bakerwaard kan, uitgaande van een maximum peil van 8.00 m+NAP, 3.362.000 m³ worden geborgen en in de Baakse Beek 1.391.000 m³. Geen van beide heeft overigens een formele status als retentiegebied. Inundatie gebeurt pas bij uitzonderlijke situaties met grote afvoeren en hoge IJsselstanden. Sinds de aanleg in de jaren vijftig zijn de inundatiegebieden Bakerwaard en Baakse Beek nog niet ingezet. Terug naar de Boezem van Hackfort. In dit 61 ha grote gebied treden regelmatig inundaties op. Deze inundaties hebben niet als doel om water tijdelijk te bergen. De Boezem van Hackfort dient primair om voldoende waterhoogte (drukhoogte) te creëren zodat vrije lozing via het Groene Kanaal kan plaatsvinden. Inundatie van de gronden in de boezem beginnen bij een waterstand van 8.30 m+NAP.

- District 19
 - o gemaal Linterzijl 100 m³/min volgens www.gemalen.nl (nu volgens de HKV rapportage 1 m³/minuut, dat is nihil). Totale lozingscapaciteit district 19 opgehoogd met 1.66 m³/s (100 m³/min) van 14.39 naar 16.06 m³/s.
 - o Ankersmit lozingscapaciteit zit bij district 107, dus niet nog eens bij district 19 opnemen!
- pm district 11: geen grotere gemaalcapaciteiten gevonden op www.gemalen.nl. De reden van de hoge berekende afvoeren in de RWS-prestatiesommen (groter dan de gemaalcapaciteit) is nog niet helemaal duidelijk (Modflow-MetaSwap, buitenlandse aanvoer?)
- District 521 en 861 lozingscapaciteit iets uitgebreid:
 - o Land van Poortugaal 140 i.p.v. 90 m³/min (naar Nieuwe Maas)
 - o Breeman 600 i.p.v. 540 m³/min (naar Oude Maas)
- District 53 Alblasserwaard lozingscapaciteit was in model 54 m³/s, volgens www.gemalen.nl 1500 (Smit) + 15000 (Kok) + 435 (Overwaard/Wisboom) + 750 (Elshout) m³/min, dus opgehoogd tot 68.9 m³/s

- District 45 Krimpenerwaard
 - o lozingscapaciteit Lek: Gemaal Krimpenerwaard/Hoekse Sluis Bergambacht 500 m3/min (i.p.v. 400 m3/min in model, en 206.5 m3/min volgens rapportage HKV 2009 pag.10-2)
 - o Lozingscap. Holl. IJssel via Verdoold i.p.v. 314 m3/min volgens www.gemalen.nl 450 m3/min
 - o Gemaal Veurink 330 m3/min staat niet in de HKV rapportage genoemd
- Krimpenerwaard district 45 inlaatcapaciteit totaal 5.6 m3/s waarvan 4.0 uit de Lek, iets aangepaste verdeelsleutels conform capaciteit. Reeds in 3.3.0 gedaan.
- Inlaat Lochem uit Twentekanaal knoop 1100 voor benedenstroomse deel van het gesplitste district 24 (district 241=D24 NW) nu 1.3 m3/s i.p.v. 1.0 m3/s volgens IMPREX
- Inlaat district 23 en district 231 uit knoop 6045 verplaatst naar knoop 6044; geen effect want capaciteit is nul (maar nu geografisch wel beter)
- Aanvoersleutel district 63, Aa, te veel afhankelijk van afvoer district 631 (Aa zuid) op knoop 50731 (want afvoer is er vaak niet of te weinig), daarom fractie verlaagd.
- Rivierenland district inlaatcapaciteit Ref2017 (zie spreadsheet Ton Drost 21 sept 2017 kolom AE)
 - o District 54 Heusden/Altena uit DM knoop 6013 6.29 i.p.v. 5.48 m3/s
 - o District 54 Heusden/Altena uit DM knoop 6023 1.92 m3/s
 - o District 91 Noordwaard uit DM knoop 6013 1.56 m3/s
 - o District 53 Alblasserwaard uit DM knoop 6037 (bij Kinderdijk) cap. 6.36 m3/s
 - o District 55 Tielerwaard uit 3088 inlaatcap 22 m3/s
 - o District 93 Maurikse Wetering uit Nederrijn Bontemorgen 3.88 m3/s i.p.v. 1m3/s
 - o District 93 Maurikse Wetering uit ARK Drielandenpunt 0.72 m3/s i.p.v. 0.35 m3/s
 - o District 112 inlaatcap. 8.42 m3/s Rietschoof de Jongh
 - o District 113 inlaatcap. 0.70 m3/s van Dam van Brakel
 - o District 114 inlaatcap. MaasWaalkanaal 5.08 m3/s (i.p.v. 2.8)
 - o District 115 verlaagd van 1.0 naar 0.5 conform info WS Rivierenland
 - o District 116 en 117 Citters ieder inlaat 0.97 m3/s toegevoegd uit Maas – pand Grave (6011)
 - o District 118 inlaat 0.19 m3/s toegevoegd uit Maas (6013)
 - o District 115 Groesbeek/Ooijpolder inlaat uit Rijn (DM knoop 6020) blijft nul.
 - o inlaatfracties bij aanpassingen waar van toepassing aangepast conform capaciteiten

DMMZSobekid.txt

Dmknoop	Type	Orde grootte (m3/s)	Analyse	Actie in DMMZSobekids.txt
1125	E	1	Inlaat D14 NOP ontbreekt	Inlaat gezet op NO_SN_ST_130_30_585 met fractie 1; de lozing die op dit punt stond verplaatst naar NO_SN_ST_130_10_1880, die krijgt fractie 0.1666 van de 6057 D14 E
200	D	veel	Lozing op Westerschelde	Lozing knoop 200 District 271 moet zijn knoop 201 district 271 (vgl. DWKeys)
2124	E	0.1	Inlaat D321 mist	Inlaat 2124 321 'FLBR'=HN_7701in met fractie 1; inlaat uit knoop 2124 van D31 helemaal gezet op HN_WG_200 (fractie 1 i.p.v. 0.5)
5068	E	15	Alleen Desired extraction	Desired extraction van D685 is absurd hoog (modelfout in MzMMS?), ook D684 vrij hoog. Inlaatcapaciteit slechts 0.2 m3/s
5070	E	0.2	Inlaat D682 mist	Toevoegen: 5070 682 'E' 'FLBR' =PKZ_Snep_1 fraction 1.0 d.w.z. op lateral PKZ_Snep_1 gezet;
5079	E	0.1	Inlaat D512 mist	Inlaat D512 op ZWLM_GP_H_OH; Die werd gebruikt als lozing van D73 maar fractie op andere punten verhoogd
6004	D	5 - 50	Lozing D513 en D514 mist	D513 loost op knoop 6004 i.p.v. 60013; D514 loost op 6004 i.p.v. 6001
6013	D	0.5 - 7	Lozing D73 mist	Lozing D73 op 5079 en 6013 op nu gebruikte punten voor knoop 5079 zetten. 6013 73 'D' 'FLNO' =ZWLM_GP_ZK_D fraction 1.0 5079 73 'D' 'FLBR' =ZWLM_GP_L_BD fraction 1.00
6018	D	0.2 - 6	D952 en D509 mist	D509 van 5084 op 6018 gezet in DMMZids, conform DWKeys D952 op dezelfde laterals als D953; is voor WQ niet prettig maar voor nu het beste
6018	E	0.2 - 2	D952 en D509 mist	D509 van 5084 op 6018 gezet in DMMZids, conform DWKeys

				D952 op dezelfde laterals als D953; is voor WQ niet prettig maar voor nu het beste
6019	E	0-30	Alleen desired extraction	D950 en D951 inlaatcapaciteit nul maar in MzMMS wel grote vraag berekend (modelfout?).
6028	D	0 - 6	Lozing D862 mist	Samen met de D862 knoop 6090 lozing genomen, voor WQ niet prettig maar nu het beste
6028	E	0 – 0.4	Onttrekking D862 mist	Samen met de D862 knoop 6090 onttrekking genomen, voor WQ niet prettig maar nu het beste
6032	E	0.1	Onttrekking D28 D281 mist	Gebruik laterals van D28 in Valleien Eem; pas fracties aan 6032 28 'E' 'FLNO' =VEBV_vkM0800 fraction 1.0 60581 28 'D' 'FLBR' =VEBV_M0060 fraction 0.03922 60581 28 'D' 'FLBR' =VEBV_M0100 fraction 0.03922 6032 281 'E' 'FLBR' =VEBV_M0140 fraction 1.0
6044	D	0.2-6	Lozing D231 mist	D231 lozing op 6044 i.p.v. 6045 zetten (vgl. DWKeys)
6057	D	0.3	Lozing D321	D321 lozing op 6057 i.p.v. 2124 (vgl. DWKeys)
6057	E	1-3	Onttrekking D516 mist	1 van de lozingspunten van D516 op 6057 vervangen door de onttrekking, lozingsfracties aanpassen 6057 516 'D' 'FLBR' =NO_SN_ST_200_30_520 fraction 0.6660 6057 516 'E' 'FLNO' =NO_KNP_171 fraction 1.0000

C Aanpassingen LSM-LT Referentie 2017

In de memo [Hunink, 2017] worden de uitgangspunten van de referentie 2017 voor de berekeningen van KPA en WABES beschreven. In onderstaande tabel worden deze kort weergegeven. Tevens wordt aangegeven of het uitgangspunt wordt opgenomen in het LSMLT.

Tabel 1: Uitgangspunten van de referentie 2017 voor de berekeningen van KPA en WABES

Soort aanpassing	Beschrijving	In LSMLT
Ingrepen	Verdieping Nieuwe Waterweg	
	Zeesluis IJmuiden	X
	Capaciteit Noordervaart	X
	Gemaalcapaciteiten en doorvoeren	
	Kier Haringvliet	
	Extra spui- en pompcapaciteit Afsluitdijk	X
	2 ^e sluis Eefde	X
	Capaciteiten en doorvoeren	
	Gemaal de Pannerling	X
	Spijkenisse	
Maatregel DP fase 1	Flexibel peil IJsselmeer en Markermeer	
	Roode Vaart	X
	KWA+	
	Regionale maatregelen	
Trends	Berekening	
	Energietransitie	
	Datacentra	
	Stedelijk gebied	
	Voorkomen bodemdaling veenweide	
Modelaanpassingen	Watertechnologie, drinkwater en industrie	
	Berekening	
	Grondwateronttrekkingen	
	Industriële onttrekkingen en (koel)waterlozingen	X?
	Meenemen lozingen RWZI's	
	Weurt, Maas-Waalkanaal	X
	Schutverlies Weurt en lekverlies Grave	X
	Nieuw peil Grave	X
	Kleine onttrekkingen	
	Debiet benedenstrooms Loozen	
	Update regionale peilen	

C.1 Stand alone LSMLT

Voor het klaarmaken van de referentie 2017 wordt gebruik gemaakt van de LSMLT schematisatie welke aanwezig is in de repository van het NWM (september 2017). Er is gekozen om uit te gaan van de S2 schematisatie, waar de maatregelen flexibel peil IJsselmeer, KWA en Roode Vaart reeds zijn opgenomen. Om deze schematisatie ook stand

alone te kunnen rekenen, moeten er nog enkele aanpassingen gedaan worden. Deze worden hieronder beschreven.

- Control.def vervangen
- Trigger.def vervangen
- Boundlat.dat (zeeranden), hierbij worden de randen bij de Oosterschelde niet weergegeven. Hier een nieuwe tabel aangemaakt met een waterstand van 0 m NAP (id 97, ZW_N_P_Volk_47 en ZW_N_P_Volk_38)
- Juiste runtime aangeven (1-1-2003 tot 1-1-2004)

C.2 Zeesluis IJmuiden

Het uitgangspunt bij de selectieve onttrekking is dat er gemiddeld geen effecten op de zoutindringing zijn. Ook heeft de selectieve onttrekking geen extra water nodig, dus de watervraag van het Noordzeekanaal blijft gelijk als gevolg van de selectieve onttrekkingen. Dit betekent dat er geen aanpassingen in de modellen nodig zijn.

Bij de hotspot analyse van de selectieve onttrekking is wel aangegeven dat de huidige beheersregels niet overeen komen met de beheersregels in het LHM. Momenteel wordt een minimaal debiet van 10 m³/s op het ARK ter hoogte van Weesp aangehouden, terwijl de huidige beheersregels uit gaan van 16 m³/s om droge jaren als 2003 aan te kunnen.

Ook is het ARK verwijd ter hoogte van Zeeburg. Hierdoor is de zoutindringing stroomopwaarts in het ARK makkelijker.

De huidige beheersregels zijn nog niet scherp geformuleerd. Binnen dit project zal in overleg met de waterbeheerders de huidige waterbeheersregels worden vergeleken met de beheersregels in het model.

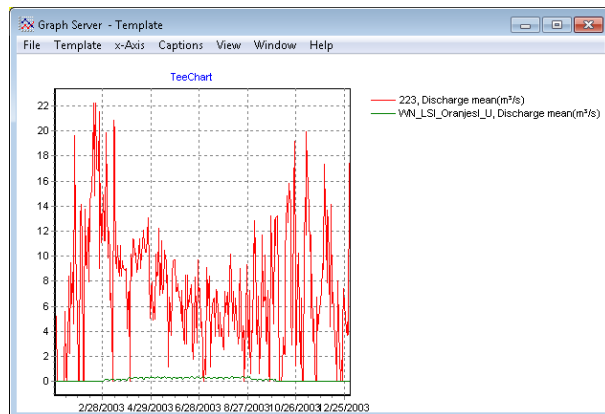
Aanpassingen model

Om voldoende water beschikbaar te hebben moet het ingekomen debiet en de debietverdeling bovenstrooms correct zijn. Daarom zijn er aanpassingen gedaan aan de Irenesluizen en de Oranjesluizen.

Allereerst is gekeken wat er in de huidige besturing door de sluizen gaat. Dit is weergegeven in de figuren hieronder.



Figuur C.1 huidige debieten ter hoogte van de Irenesluizen (rood, Irenesluizen en groen Irenesluizen_KWA)



Figuur: huidige debieten ter hoogte van de Oranjesluizen (rood, Oranjesluizen en groen schutdebet Oranjesluizen)

De aanpassing is geïnterpreteerd dat er 13 m³/s meer (dus in totaal 25 m³/s) door de Irenesluizen zal gaan en 13 m³/s minder door de Oranjesluizen. Om dit mogelijk te maken zijn de controllers voor beide sluizen aangepast. Het gaat om de volgende controllers:

- Irenesluizen: startinlaten
- Irenesluizen: startKWA
- Oranjesluizen: startinl
- Oranjesluizen: startloz

Bij deze controllers is een hydraulische controller ingebouwd waar wordt gekeken naar de head difference. Hier wordt in een tabel de head difference weergegeven en welke “gate lower edge

level” (opening) hier bij hoort. Om de 13 m³/s verschil te krijgen is bij de opening 0.05 m opgeteld of afgetrokken. In de figuren hieronder is het nieuwe debiet voor de verschillende sluizen weergegeven.

P.M

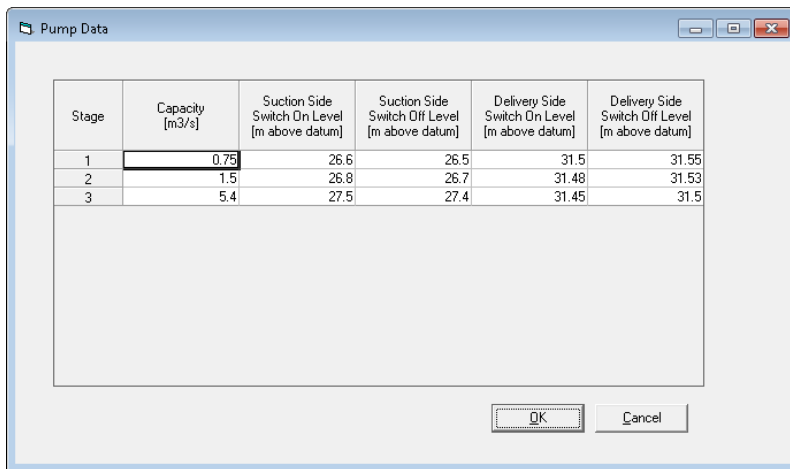
Figuur: nieuwe debieten ter hoogte van de Irenesluizen (blauw, Irenesluizen en grijs Irenesluizen_KWA)

C.3 Capaciteit Noordervaart

In het regio overleg ten behoeve van WABES is benoemd dat de huidige capaciteit van de Noordervaart in het model niet overeenkomt met de huidige situatie. De huidige capaciteit moet worden aangepast van 4.0 m³/s naar 5.4 m³/s per 2020.

Stage	Capacity [m ³ /s]	Suction Side Switch On Level [m above datum]	Suction Side Switch Off Level [m above datum]	Delivery Side Switch On Level [m above datum]	Delivery Side Switch Off Level [m above datum]
1	0.75	26.6	26.5	31.5	31.55
2	1.5	26.8	26.7	31.48	31.53
3	3.5	27.5	27.4	31.45	31.5

Figuur C.2 Originele instellingen pomp Noordervaart



Stage	Capacity [m3/s]	Suction Side Switch On Level [m above datum]	Suction Side Switch Off Level [m above datum]	Delivery Side Switch On Level [m above datum]	Delivery Side Switch Off Level [m above datum]
1	0.75	26.6	26.5	31.5	31.55
2	1.5	26.8	26.7	31.48	31.53
3	5.4	27.5	27.4	31.45	31.5

Figuur C.3 Aangepaste instellingen pomp Noordervaart

C.4 Extra spui- en pompcapaciteit Afsluitdijk

Het peil zal gaan stijgen waardoor extra capaciteit nodig is. Op basis van navraag bij de regio is gebleken dat verwacht wordt dat de nieuwe pompen 31-12-2022 operationeel zijn met een minimale pompcapaciteit van 260 m3/s. Besloten is om de capaciteit van 260 m3/s mee te nemen in de referentie 2017.

Aanpassingen model

Aan de hand van het peilbesluit [INFRAM, 2017] is een nieuw sluitregime opgelegd op de verschillende triggers. Deze zijn hieronder beschreven.

- aanpassen trigger table YSV_wltak19_open en ..._sluit

01/01/2003	00:00:00	-1	-1	<	-0.4
01/03/2003	00:00:00	-1	-1	<	-0.4
15/03/2003	00:00:00	-1	-1	<	-0.1
01/04/2003	00:00:00	-1	-1	<	-0.1
15/04/2003	00:00:00	-1	-1	<	-0.2
15/08/2003	00:00:00	-1	-1	<	-0.2
01/09/2003	00:00:00	-1	-1	<	-0.3
01/10/2003	00:00:00	-1	-1	<	-0.3
15/10/2003	00:00:00	-1	-1	<	-0.4
31/12/2003	23:00:00	-1	-1	<	-0.4
- aanpassen Trigger table Mak_meerpeil-neg en ...-pos

01/01/2003	00:00:00	-1	-1	<	-0.4
01/03/2003	00:00:00	-1	-1	<	-0.4
01/04/2003	00:00:00	-1	-1	<	-0.1
15/04/2003	00:00:00	-1	-1	<	-0.2
15/08/2003	00:00:00	-1	-1	<	-0.2
01/09/2003	00:00:00	-1	-1	<	-0.3
01/10/2003	00:00:00	-1	-1	<	-0.3
15/10/2003	00:00:00	-1	-1	<	-0.4
31/12/2003	23:00:00	-1	-1	<	-0.4

- aanpassen trigger RND_Nijkerk-wl-pos en ...-neg

Date	Time	Capacity	Trigger	Value
01/01/2003	00:00:00	-1	-1	< -0.3
08/03/2003	00:00:00	-1	-1	< -0.3
01/04/2003	01:00:00	-1	-1	< -0.05
15/10/2003	00:00:00	-1	-1	< -0.05
01/11/2003	00:00:00	0	0	< -0.3
31/12/2003	23:00:00	-1	-1	< -0.3

Daarnaast is er een extra pomp geplaatst bij Den Oever die 130 m3 die aan gaat wanneer er niet gespuid kan worden (negatief verval en boven streefpeil IJM).

C.5 2^e sluis Eefde

Dit is een verzoek uit de regio. Een extra sluis kan zorgen voor extra schutverlies. Het schutverlies zoals nu opgenomen in het NWM bedraagt voor LHM: xx en LSM-LT: 1.7 m3/s. Naar aanleiding van overleg met de regio worden de volgende schutverliezen ingebouwd voor de huidige en de 2^e sluis.

Huidige sluis:

Oppervlak sluis: 1717 m2

Gemiddelde hoogte: 6m ==> **2,5 m3/s schutverlies**

Gemiddeld aantal schuttingen/dag: 21 (uit tabel IWP)

Nieuwe sluis

Oppervlak sluis: 1254 m2

Gemiddelde hoogte: 6m ==> **1.0 m3/s schutverlies**

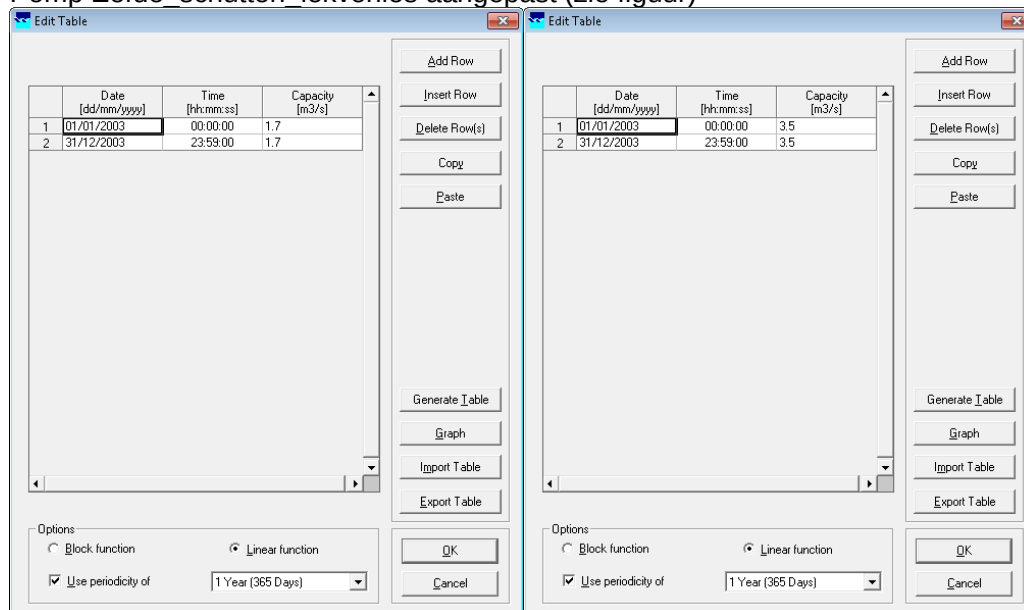
Gemiddeld aantal schuttingen/dag: 12

Het schutverlies treedt op in westelijke richting.

Totaal zal er dus een schutverlies van 3.5 m3/s worden ingebouwd voor de referentie 2017.

Aanpassing LSM

Pomp Eefde schutten lekverlies aangepast (zie figuur)



Figuur C.4 originele instellingen pomp Eefde_schutten_lekverlies (links) en aangepaste instellingen (rechts)

C.6 Gemaal de Pannerling

Volgens opgave van het Waterschap Rivierenland is aangegeven dat er een gewenst debiet van 8 m³/s voor de Pannerling is. In de huidige situatie is er een deel dat onder vrij verval de Linge op gaat en er is een pomp met een debiet van 2.5 m³/s. In de figuur is de verhouding van beide weergegeven.



Aanpassingen model

Om tot een debiet van 8 m³/s te komen is het debiet van de pomp op 8 m³/s gezet.

C.7 Roode Vaart

Er zijn geen aanpassingen voor referentie 2017, wel aanpassing sturingregels 2050. Er komt hierbij meer debiet over Rode Vaart en minder over Oosterhout.

Aanpassingen model

Door Waterschap Brabantse Delta is een schematisatie aangeleverd voor de Roode vaart. Deze schematisatie is overgenomen in het LSM. Hierbij zijn uit de oude schematisatie de WQ nodes teruggezet.

Bij het terugzetten van de WQ nodes kwam naar boven dat er in de oude nodes leestekens worden gebruikt die niet geaccepteerd worden door SOBEK. Deze zijn opnieuw toegevoegd.

C.8 Schutverlies Weurt en lekverlies Grave

Schutverlies Weurt naar Waal en lekverlies stuwpand Grave naar stuwpand Lith
Er zal gekeken worden of dit mogelijk is in de modellen.

Aanpassingen model

Deze aanpassing is opgedeeld in 2 delen; schutverlies Weurt en Lekverlies Grave. Deze worden hieronder afzonderlijk beschreven.

C.8.1 Schutverlies Weurt

Om het schutverlies bij Weurt te kunnen modelleren is er een extra takje toegevoegd, waarin een pomp (id 374) is gelegen. De pomp heeft een constante capaciteit van -1.8 m³/s (zie berekening tekstblok, negatief i.v.m. takrichting).

Omschrijving	Afmeting
Totale lengte (kolk en sluishoofden)	280 m.
Kolklengte	240 m.
Doorvaartbreedte	16 m.
Niveau kolkvloer	N.A.P. +2,5 m.
Niveau bovenzijde bovenhoofd (Waal)	N.A.P. +15,28 m.
Niveau bovenzijde deur bovenhoofd (Waal)	N.A.P. +15,20 m.
Niveau bovenzijde middenhoofd	N.A.P. +13,00 m.
Niveau bovenzijde deur middenhoofd	N.A.P. +12,96 m.
Niveau bovenzijde benedenhoofd (Maas-Waalkanaal)	N.A.P. +13,00 m.
Niveau bovenzijde deur benedenhoofd (Maas-Waalkanaal)	N.A.P. +12,96 m.

Gegevens sluiscomplex Weurt, oostsluis (bron: Toetsing sluiscomplexen Weurt, Heumen en Sint-Andries, 2006)

Omschrijving	Afmeting
Totale lengte (kolk en sluishoofden)	290 m.
Kolklengte	255 m.
Doorvaartbreedte	16 m.
Niveau kolkvloer	N.A.P. +1,5 m.
Niveau bovenzijde bovenhoofd (Waal)	N.A.P. +15,10 m.
Niveau bovenzijde deur bovenhoofd (Waal)	N.A.P. +15,10 m.
Niveau bovenzijde middenhoofd	N.A.P. +14,55 m.
Niveau bovenzijde deur middenhoofd	N.A.P. +14,55 m.
Niveau bovenzijde benedenhoofd (Maas-Waalkanaal)	N.A.P. +14,55 m.
Niveau bovenzijde deur benedenhoofd (Maas-Waalkanaal)	N.A.P. +14,55 m.

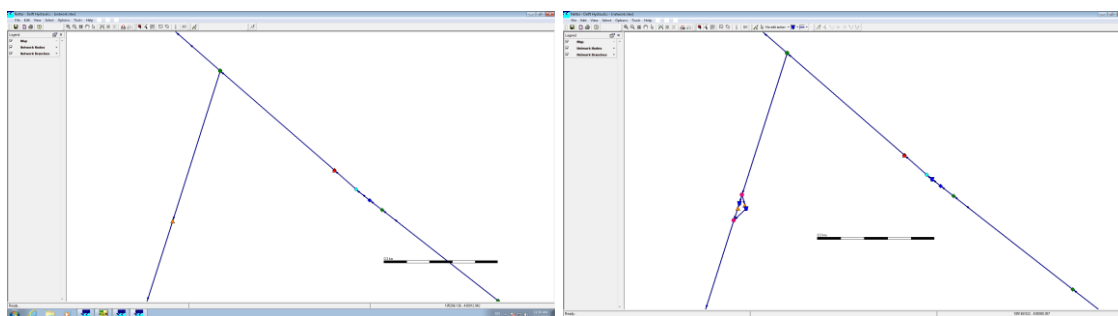
Gegevens sluiscomplex Weurt, westsluis (bron: Toetsing sluiscomplexen Weurt, Heumen en Sint-Andries, 2006)

$$240 \cdot 16 + 255 \cdot 16 = 7920 \text{ m}^2$$

Hoogteverschil ca 2 m (gemiddeld waterpeil Waal 6 m +NAP en Maas 7.95 m +NAP)

Bij 10 schuttingen per dag: $(7920 \cdot 2 \cdot 10) / 86400 = 1.8 \text{ m}^3/\text{s}$

Om het model correct te krijgen zijn er ook 2 profielen toegevoegd. Deze nieuwe profielen zijn gelijk aan het profiel MS_MA-WA-ka_0.000

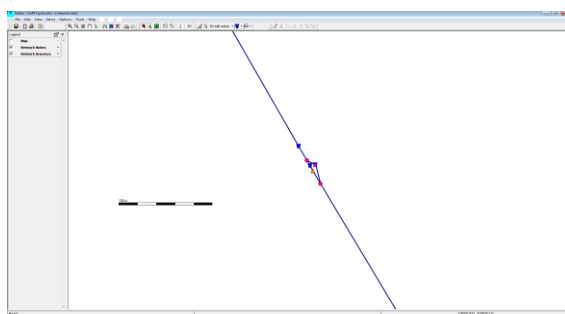


Figuur C.5 originele situatie bij Weurt (links) en aangepaste situatie (rechts)

C.8.2 Lekverlies Grave

Ook bij de stuw Grave is een pomp (id 194) toegevoegd op een extra takje. Hier heeft de pomp een constante capaciteit van 0 m³/s meegekregen.

Om het model correct te krijgen zijn er ook 2 profielen toegevoegd. Deze nieuwe profielen zijn gelijk aan het profiel MS_Zandmas7__175.52.

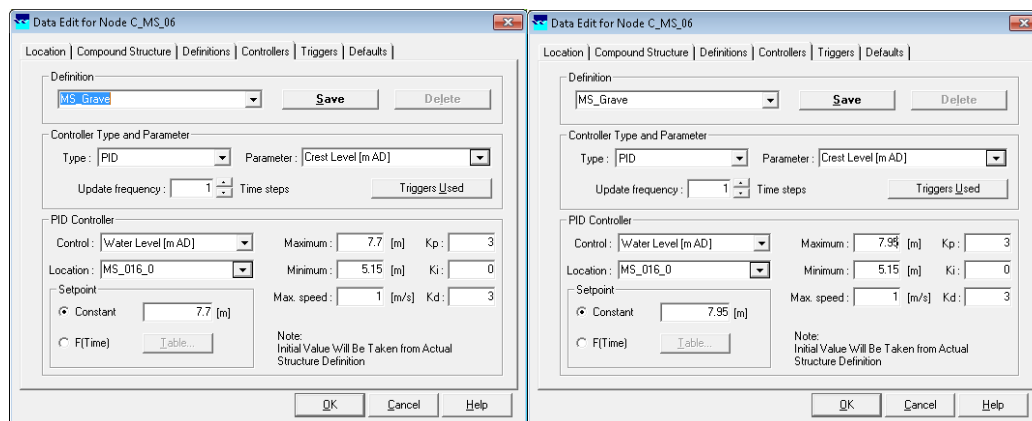


C.9 Weurt, Maas-Waalkanaal

Er wordt nog een oud peil gebruikt. Momenteel wordt een peil van +7.70 toegepast, huidige situatie is +7.95. Dit zal worden aangepast.

Aanpassingen model

Bij Heumen staat de sluis altijd open, waardoor het peil wordt bepaald bij de stuw Grave. Het inzetpeil bij stuw Grave is hierom aangepast (zie figuur hieronder).



Figuur C.6 originele instellingen stuw Grave (links) en aangepaste instellingen (rechts)

D Memo: Doorspoeling in de Deltascenario's

D.1 Inleiding

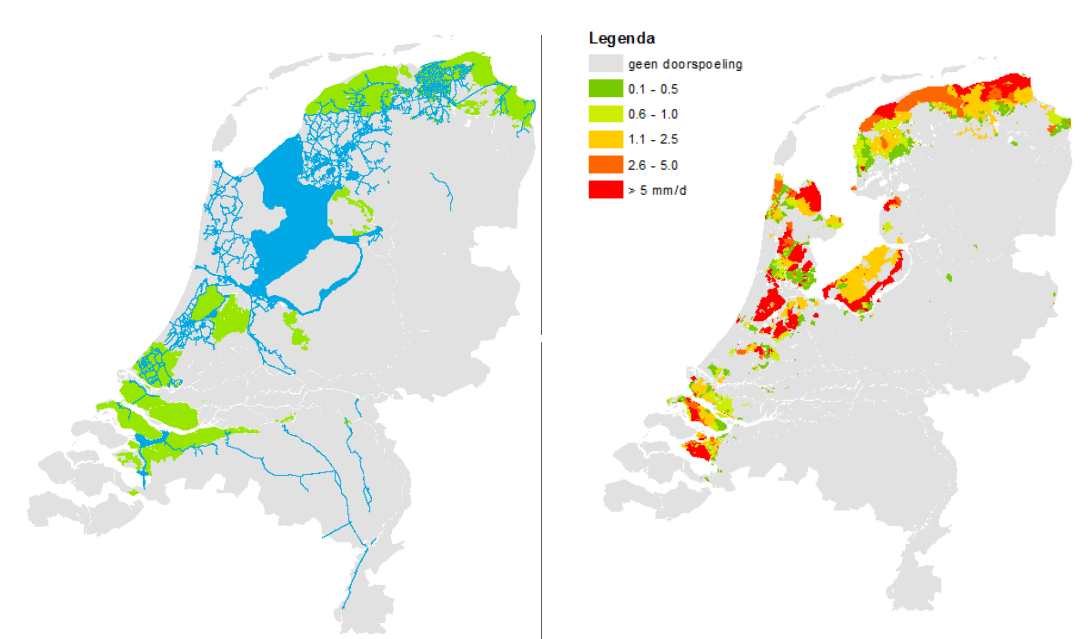
De Deltascenario's Zoetwater zijn, naast de referentiesituatie, vijf consistente verhaallijnen, die de ruimte aangeven waarbinnen de toekomst zich zal kunnen ontwikkelen. Belangrijk gegeven hierbij zijn verwachte klimaat- en socio-economische veranderingen. De verhaallijnen gaan over hoe het waterbeheer op deze ontwikkelingen zal inspelen. Onderdeel van een veranderend waterbeheer zijn veranderingen in doorspoelhoeveelheden. In dit memo wordt beschreven hoe de Deltascenario's zijn vertaald in doorspoelhoeveelheden, als invoer voor het Nationaal Watermodel.

De praktijk van doorspoelen, het in- en vervolgens weer uitlaten van water om de waterkwaliteit te verbeteren, is een belangrijke watervrager in West-Nederland. Het overgrote deel van de doorspoeling is gerelateerd aan de aanwezigheid van brakke kwel, en eisen aan de chlorideconcentratie van het oppervlaktewater vanuit de landbouw. In dit memo wordt eerst beschreven hoe een nieuwe referentiesituatie is afgeleid voor doorspoelhoeveelheden. Vervolgens worden de Deltascenario's vertaald in veranderingen in doorspoelhoeveelheden.

D.2 Doorspoeling in LHM versie 3.3

In het Landelijk Hydrologisch Model (LHM), als onderdeel van het NWM, wordt doorspoeling toegepast binnen de modellen MOZART (regionaal klein oppervlaktewater) en DM (hoofdwatersysteem en boezemwateren). In het geval van MOZART gaat het om vooraf gedefinieerde waterhoeveelheden, dus onafhankelijk van optredende chlorideconcentraties. Deze doorspoeling is zowel een in- als een uitterm in de waterbalans van een zogeheten 'local surfacewater'. In DM is niet sprake van doorspoeling, maar wordt voor watergangen een 'gewenst debiet' gedefinieerd. Wanneer dit debiet door de overige waterfluxen niet wordt gehaald, wordt hiervoor extra water aangevoerd en is sprake van doorspoeling.

De gegevens in het LHM (Figuur D.1) zijn gebaseerd op inventarisaties bij de betreffende waterbeheerders, en zijn, met name voor de kleine oppervlaktewateren, niet (langer) volledig en / of accuraat. Wanneer waterbeheerder precieze hoeveelheden bijvoorbeeld niet paraat had ten tijde van de inventarisatie, is in het LHM geen doorspoeling opgenomen. Wanneer de gegevens in het LHM worden vergeleken met een eerdere rekenoefening, waarbij met behulp van de water- en zoutbalans is bepaald welke gebieden zouden moeten worden doorgespoeld om een streefconcentratie van 250 mg/l te handhaven (Klijn et al., 2012), komen grote verschillen aan het licht. Bekende voorbeelden zijn de polders in Noord-Holland, Flevoland, en delen van Zuid-Holland. De benadering houdt echter geen rekening met het lokaal gevoerde beleid van de betreffende waterschappen, dat van waterschap tot waterschap, en van polder tot polder sterk verschilt (Stuyt et al., 2011).



Figuur D.1 Links: Doorspoeling opgenomen in het LHM. Groen: doorgespoelde local surfacewaters in MOZART, blauw: wateren met een gewenst minimumdebiet in DM. Rechts: Berekende theoretische doorspoelbehoeften bij een streefconcentratie van 250 mg/l in het oppervlaktewater (Klijn et al., 2012)

D.3 Methode nieuwe referentiesituatie en scenario's

D.3.1 Nieuwe Referentiesituatie

Omdat de in LHM 3.3 opgenomen polder-doorspoelhoeveelheden teveel afwijken van de huidige bekende praktijk is besloten de polder-doorspoelhoeveelheden (doorspoeling in model MOZART) te herzien voor de referentiesituatie. Dit is gedaan in een relatief snelle actie, waarbij gebruik is gemaakt van literatuurgegevens en gericht contact met waterbeheerders.

D.3.1.1 Inventarisatie beschikbare gegevens literatuur

Sinds de inventarisatie waar de bestaande gegevens van het LHM op zijn gebaseerd, is er meer informatie gekomen over doorspoeling in verschillende regio's. (Stuyt et al., 2011) hebben de doorspoelpraktijk geïnterpreteerd bij de betreffende waterschappen, en vormt een belangrijke gegevensbron voor deze herziening. (Kramer et al., 2017) hebben recent de doorspoeling in de Haarlemmermeer bepaald. In de Zuidwestelijke Delta is in verschillende studies gekeken naar de waterbehoefte, waaronder doorspoeling (Baltissen et al., 2014; De Vries et al., 2009; Schipper et al., 2014; Water uit de Wal, 2012; Witteveen + Bos, 2005). (De Louw et al., 2011) geven doorspoelgetallen voor de polder Noordplas.

D.3.1.2 Gericht contact met waterbeheerders

Met verschillende waterbeheerders is gericht contact geweest over het doorspoelbeleid van polders in hun beheersgebied. Ion overleg met Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (Marcel Boomgaard) is besloten bestaande waterbalansen van de verschillende polders in Hollands Noorderkwartier te gebruiken om doorspoelgegevens af te leiden. Deze waterbalansen worden beschreven in (Boekel et al., 2015).

Door Hoogheemraadschap van Rijnland (Mark Kramer) is een shapefile aangeleverd met doorgespoelde polders. Waar doorspoelhoeveelheden onbekend waren is een doorspoeldebiet aangenomen van 50 of 100 mm in het zomerhalfjaar.

Met Waterschap Hunze en Aas (Jan den Besten) is contact geweest over de doorspoeling van polders in de kustregio.

D.3.2 Doorspoeling in de toekomstscenario's

In de toekomstscenario's wordt een veranderende doorspoelhoeveelheid opgelegd. Deze verandering is gebaseerd op de verhaallijn die bij het toekomstscenario hoort, en de veranderende omstandigheden. Er is geprobeerd de verandering mede te baseren op de berekening van theoretische doorspoelbehoefte (zie Appendix 2). Deze methode gaf echter geen plausibele resultaten, het was daarom ook niet mogelijk scenario's ruimtelijk te differentiëren. Op basis van onderstaande redeneringen zijn op basis van expert-oordeel uniforme aanpassingsfactoren gedefinieerd.

Scenario Druk
Bepalende externe ontwikkelingen
Beperkte klimaatverandering, hoge economische groei.
Veronderstelde aanvullende beleidsmaatregelen
Geen
Veronderstelde autonome adaptatiemaatregelen
Implementatie van efficiëntere doorspoelsystemen. In de landbouw aanpassingen van de gewaskeuze aan brakke omstandigheden; inzet van alternatieve zoetwaterbronnen; invoering van precisielandbouw
Verhaallijn (laatste stuk: uit PvA; voorlaatste: uit DS2013)
Door autonome verzilting neemt de verzilting in de laaggelegen gebieden in West- en Noord-Nederland toe. Dat kan leiden tot een grotere behoefte aan doorspoeling met zoetwater op plekken waar landbouw of natuur nog sterk afhankelijk zijn van een laag zoutgehalte in het oppervlaktewater. Op veel plaatsen in Nederland wordt de behoefte aan doorspoeling daarentegen minder omdat de landbouw daar minder afhankelijk wordt van zoet oppervlaktewater. Sterke peilregulering is hier eveneens minder hard nodig.
Regionale differentiatie
Alleen in de laaggelegen delen van Nederland
Effecten op de wateropgave
Resultaat is een sterk teruglopende behoefte aan doorspoeling, halvering (zie Haarlemmermeerstudie). Geen doorspoeling voor grasland.
Doorvertaling naar modelinvoer, kentallen
Uniforme factor van 0.75 op de huidige doorspoeldebieten.

Scenario Stoom
Bepalende externe ontwikkelingen
Sterke en snelle klimaatverandering, hoge economische groei, toenemende verstedelijking
Veronderstelde aanvullende beleidsmaatregelen
Geen
Veronderstelde autonome adaptatiemaatregelen
In de landbouw geen maatregelen ter verhoging van de efficiëntie van het watergebruik, wel in toenemende mate inzet van beregening.
Verhaallijn
Door autonome verzilting en afnemende verdunning door regenwater nemen zoutconcentraties in laaggelegen West- en Noord-Nederland sterk toe, wat vooral in droge zomers de behoefte aan doorspoeling met zoet water sterk doet stijgen. Omdat de landbouwsector weinig investeert in waterefficiëntie en steeds meer overstapt op beregening neemt de behoefte aan doorspoeling nog sterker toe. De afname van het landbouwareaal leidt niet tot vermindering van de doorspoelbehoefte, omdat het bebouwde gebied dat ervoor in de plaats komt in verband met recreatief gebruik minstens even strenge eisen stelt.
Regionale differentiatie
Alleen in de laaggelegen delen van Nederland
Effecten op de wateropgave
Grotere waterbehoefte vanwege verzilting bij snelle klimaatverandering.
Doorvertaling naar modelinvoer, kentallen
Uniforme factor van 2.0 op de huidige doorspoeldebieten

Scenario Rust
Bepalende externe ontwikkelingen
Beperkte klimaatverandering, beperkte economische groei
Veronderstelde aanvullende beleidsmaatregelen
Geen
Veronderstelde autonome adaptatiemaatregelen
Geen
Verhaallijn
De verzilting in het laaggelegen West- en Noord-Nederland neemt slechts in beperkte mate toe. De behoefte aan doorspoeling met zoetwater vermindert doordat de grondgebonden landbouw minder afhankelijk wordt van zoet oppervlaktewater en van sterke peilregulering.
Regionale differentiatie
Alleen in de laaggelegen delen van Nederland
Effecten op de wateropgave
Weinig verandering. Eventueel plaatselijk minder doorspoeling
Doorvertaling naar modelinvoer, kentallen
Uniforme factor van 0.9 op de huidige doorspoeldebieten

Scenario Warm
Bepalende externe ontwikkelingen
Snelle en sterke klimaatverandering, beperkte economische groei
Veronderstelde aanvullende beleidsmaatregelen
Geen
Veronderstelde autonome adaptatiemaatregelen
Geen
Verhaallijn
Overwegend klassieke landbouw wil overal doorspoeling voortzetten om het chloridegehalte zo laag mogelijk te houden (zoals nu de praktijk is). Adaptatie aan zilttere omstandigheden verloopt traag. Er is geleidelijk steeds meer water nodig om de doelstellingen te handhaven vanwege klimaatverandering en toenemende verzilting.
Regionale differentiatie
Dit onderwerp speelt in de laag gelegen delen van NL
Effecten op de wateropgave
Geleidelijk toenemende watervraag
Doorvertaling naar modelinvoer, kentallen
Uniforme factor van 1.2 op de huidige doorspoeldebieten

D.3.3 Implementatie in LHM

D.3.3.1 Polder-doorspoeling

De doorspoeling van polderwateren is opgenomen in het model MOZART, onderdeel van het LHM. De in Tabel 7.3 opgenomen doorspoelhoeveelheden (in mm) zijn vertaald naar doorspoelhoeveelheden in m³/s, en zo opgenomen in de MOZART schematisatie (bestanden uslsw.dik en uslswdem.dik). De doorspoeling is alleen opgenomen voor de in Tabel 7.3 aangegeven periode.

D.3.3.2 Boezem-doorspoeling

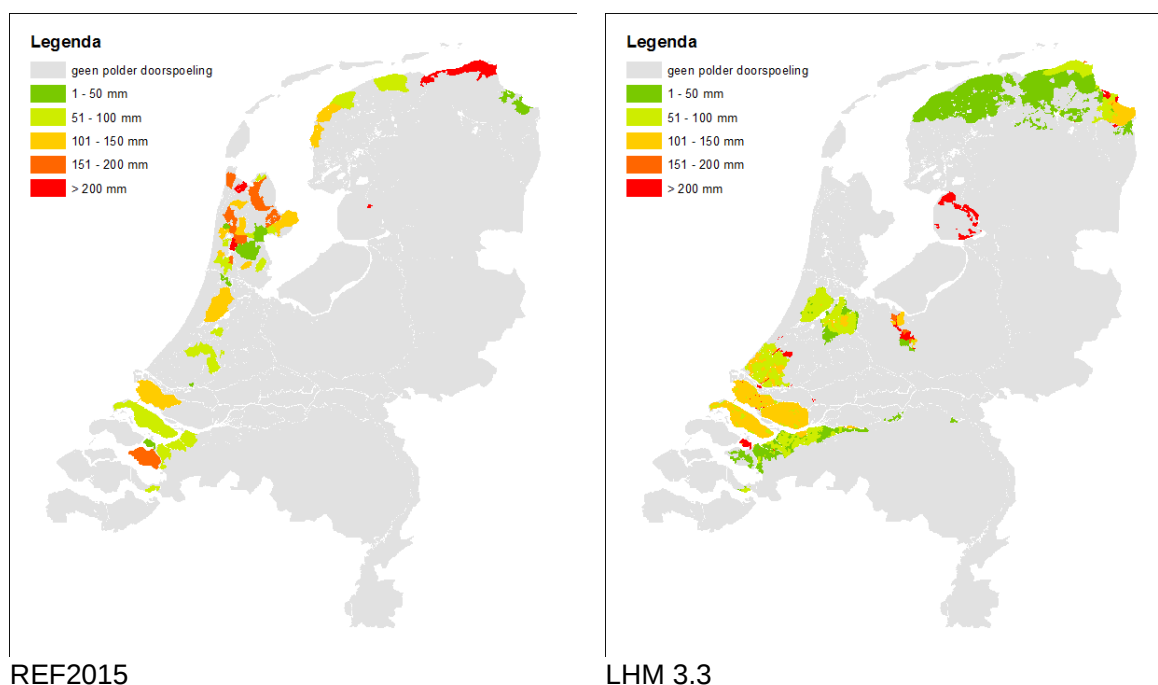
De doorspoeling van boezemwateren is, via een zogeheten 'gewenst debiet', opgenomen in het Distributiemodel, onderdeel van het LHM. Voor de referentiesituatie is de bestaande schematisatie van het Distributiemodel niet aangepast. Wel zijn de verschillende scenario's geïmplementeerd door het gewenste debiet van geselecteerde boezemtakken met de factoren uit paragraaf 0 te vermenigvuldigen. Het gaat hierbij om gewenste debieten die worden gehanteerd voor doorspoeling ten behoeve van chloridebestrijding. De volgende takken zijn op deze wijze aangepast:

Tabel 7.1 Takken waarvan boezemdoorspoeling in Deltascenario's is aangepast

Taknummer	Omschrijving
1063	Electraboezem
10451	Eemskanaal
1036	Boezem Oldambt
1044	Westerwoldse Aa
10481	Friese Boezem, Dokkum
10551	Friese Boezem, Van Harinxmakanaal
20031	Schermerboezem, Zaangemaal
20041	Schermerboezem, Helsdeur
2005	VRNK-boezem
40561	Boezem Delfland
40251	Boezem Rijnland, Spaarndam, Halfweg
4028	Boezem Rijnland, Katwijk
4062	Zuiderdiepboezem
5025	Mark, Dintel

D.4 Resultaten

De herziening van polder-doorspoelhoeveelheden heeft geleid tot de volgende wijzingen, per waterschap samengevat. Precieze hoeveelheden en bronvermelding zijn opgenomen in Appendix 1.



Figuur D.2 Herziene polder-doorspoelhoeveelheden (REF2015, links) en in LHM 3.3 opgenomen polder-doorspoelhoeveelheden (rechts).

Wetterskip Fryslân

Dongerdielen, Zwarte Haan (het Bildt), Ropta en Lytse Bouhoeke. Gegevens gebaseerd op (Stuyt et al., 2011)

Noorderzijlvest

Zoetwaterplan Oost en West. Gegevens gebaseerd op (Stuyt et al., 2011)

Hunze en Aas

Kustgebied Hunze Aas. Gebaseerd op contact met Jan den Besten.

Zuiderzeeland

Doorspoeling beperkt tot klein gebied Noordoostpolder, gebaseerd op (Stuyt et al., 2011)

Hollands Noorderkwartier

Doorspoeling voor meerdere polders opgenomen, gebaseerd op contact met Marcel Boomgaard. Waterbalansen gebaseerd op Achtergrondstudie (Boekel et al., 2015). Sterke uitbreiding ten opzichte van LHM 3.3.

Rijnland

Contact met Mark Kramer, doorgespoelde polders aangewezen. Hoeveelheden niet bekend; 100 of 50 mm aangehouden. Voor Haarlemmermeer vooralsnog 150 mm aangehouden (Kramer et al., 2017) aangehouden, hoewel deze hoeveelheid naar verwachting de komende jaren teruggebracht gaat worden als gevolg van Waterbeschikbaarheid Haarlemmermeer (Kramer et al., 2017). In LHM 3.3 werd alleen de Haarlemmermeer doorgespoeld.

Amstel, Gooi en Vecht

Geen doorspoeling polders opgenomen, gebaseerd op (Stuyt et al., 2011). In LHM 3.3 werden grote delen van AGV doorgespoeld.

Delfland

Gebaseerd op aangegeven door Fincent van Woerden tijdens regiobijeenkomst LHM: geen doorspoeling van polders, alleen boezem. In LHM 3.3 werd Delfland ook nog polders doorgespoeld.

Schieland en Krimpenerwaard.

Alleen Rotterdam en Zuidplaspolder (Stuyt et al., 2011). Zuidplas gesteld op 100 mm

Hollandse Delta

Doorspoeling van Goeree Overflakkee en Voorne Putten, gebaseerd op (Baltissen et al., 2014; De Vries et al., 2009; Stuyt et al., 2011). In LHM 3.3 was ook doorspoeling Hoeksche Waard opgenomen.

Scheldestromen

Doorspoeling van Tholen, st. Philipsland en Reigersbergse polder, gebaseerd op (De Vries et al., 2009; Schipper et al., 2014; Water uit de Wal, 2012).

Brabantse Delta

Doorspoeling van PAN polders en Mark-Vlietpolders, gebaseerd op (Schipper et al., 2014)

Vallei en Veluwe

Doorspoeling Amersfoort verwijderd.

D.5 Referenties

- Baltissen, J., Vries, I. de, Meer, E.J. van der, 2014. Joint Fact Finding zoet water - Eindrapportage voor de Rijksstructuurvisie Grevelingen en Volkerak-Zoommeer, Ministerie Infrastructuur en Milieu.
- Boekel, E.M.P.M. van, Roelsma, J., Massop, H.T.L., Mulder, H.M., Jansen, P.C., Renaud, L. V, Hendriks, R.F.A., Schipper, P.N.M., 2015. Achtergrondconcentraties in het oppervlaktewater van HHNK. Alterra Rapp. 2475.
- De Louw, P.G.B., Van der Velde, Y., Van der Zee, S.E.A.T.M., 2011. Quantifying water and salt fluxes in a lowland polder catchment dominated by boil seepage: a probabilistic end-member mixing approach. Hydrol. Earth Syst. Sci. 15, 2101–2117.
- De Vries, A., Veraart, J., De Vries, I., Oude Essink, G.H.P., Zwolsman, G., Creusen, R., Buijtenhek, H., 2009. Vraag en aanbod van zoetwater in de Zuidwestelijke Delta, Kennis voor Klimaat rapport.
- Klijn, F., van Velzen, E.H., Ter Maat, J., Hunink, J.C., 2012. Zoetwatervoorziening in Nederland [in Dutch]. Deltares, Delft, Netherlands.
- Kramer, M., Delsman, J., Reitsma, J.J., Wateren, B. van de, 2017. Slimmer doorspoelen Haarlemmermeerpolder, Rijnland rapport 16.045775.
- Schipper, P.N.M., Janssen, G.M.C.M., Polman, N.B.P., Linderhof, V.G.M., Van Bakel, P.J.T., Massop, H.T.L., Kselik, R.A.L., Stuyt, L.C.P.M., 2014. Effect zout Volkerak-Zoommeer op de zoetwatervoorziening van de landbouw; Berekening droogte- en zoutschade met €ureyeopener 2.1 voor Tholen, St. Philipsland, Oostflakkee, Reigersbergsche en PAN-polders [in Dutch], Alterra-rapport 2511. Wageningen, Netherlands.
- Stuyt, L.C.P.M., Bakel, P.J.T. van, Massop, H.T.L., 2011. Basic Survey Zout en Joint Fact Finding effecten van zout. Naar een gedeeld beeld van het zoetwaterbeheer in laag Nederland, Alterra rapport 2200.
- Water uit de Wal, 2012. Watersituatie Reigersbergsche polder, Rapport Stuurgroep Water uit de Wal.
- Witteveen + Bos, 2005. Zoetwatervoorziening Reigersbergsepolder - een maatschappelijke kosten-batenanalyse, Wi+Bo rapport STO112-6-1.

D.6 Appendix 1: Resultaten per gebied

Tabel 7.2 Bron herziene doorspoelhoeveelheden per polder / gebied

Waterbeheerder		Polder / gebied	Gebaseerd op
Hoogheemraadschap Amstel, Gooi en Vecht		Alle polders	Stuyt et al., 2011
Hoogheemraadschap Delfland		Alle polders	regiobijeenkomst LHM
Hoogheemraadschap Noorderkwartier	Hollands	Eilandspolder	Balansen HHNK
Hoogheemraadschap Noorderkwartier	Hollands	Polder Westerkogge	Balansen HHNK
Hoogheemraadschap Noorderkwartier	Hollands	Verenigde Polders	Balansen HHNK
Hoogheemraadschap Noorderkwartier	Hollands	Beemster	Balansen HHNK
Hoogheemraadschap Noorderkwartier	Hollands	Wieringen	Balansen HHNK
Hoogheemraadschap Noorderkwartier	Hollands	Uitgeester-Heemskerkerbroekpolder en	Balansen HHNK
Hoogheemraadschap Noorderkwartier	Hollands	Purmer	Balansen HHNK
Hoogheemraadschap Noorderkwartier	Hollands	Polder Assendelft	Balansen HHNK
Hoogheemraadschap Noorderkwartier	Hollands	Oosterpolder	Balansen HHNK
Hoogheemraadschap Noorderkwartier	Hollands	Oosterzijpolder	Balansen HHNK
Hoogheemraadschap Noorderkwartier	Hollands	Polder Ursem	Balansen HHNK
Hoogheemraadschap Noorderkwartier	Hollands	Bergermeer	Balansen HHNK
Hoogheemraadschap Noorderkwartier	Hollands	Polder Heerhugowaard	Balansen HHNK
Hoogheemraadschap Noorderkwartier	Hollands	Castricumerpolder	Balansen HHNK
Hoogheemraadschap Noorderkwartier	Hollands	Polder Grootslag	Balansen HHNK
Hoogheemraadschap Noorderkwartier	Hollands	Wijde Wormer	Balansen HHNK
Hoogheemraadschap Noorderkwartier	Hollands	Egmondermeer	Balansen HHNK
Hoogheemraadschap Noorderkwartier	Hollands	Polder Schagerkogge	Balansen HHNK
Hoogheemraadschap Noorderkwartier	Hollands	Schermer-Noord	Balansen HHNK
Hoogheemraadschap Noorderkwartier	Hollands	Vier Noorderkoggen Laag	Balansen HHNK
Hoogheemraadschap Noorderkwartier	Hollands	Wieringermeer-West	Balansen HHNK
Hoogheemraadschap Noorderkwartier	Hollands	Krommenieer Woudpolder	Balansen HHNK
Hoogheemraadschap	Hollands	Polder Geestmerambacht	Balansen HHNK

Noorderkwartier			
Hoogheemraadschap Noorderkwartier	Hollands	Koegraspolder	e-mail Boomgaard
Hoogheemraadschap Noorderkwartier	Hollands	Anna Paulownapolder Laag	Balansen HHNK
Hoogheemraadschap Noorderkwartier	Hollands	Schermer-Zuid	Balansen HHNK
Hoogheemraadschap van Rijnland		Noord-Spaarndammerpolder	e-mail Kramer
Hoogheemraadschap van Rijnland		Houtrakpolder	e-mail Kramer
Hoogheemraadschap van Rijnland		Zuid-Spaarndammerpolder	e-mail Kramer
Hoogheemraadschap van Rijnland		Polder Noordplas	De Louw et al., 2011, e-mail Kramer
Hoogheemraadschap van Rijnland		Oostbroekpolder	e-mail Kramer
Hoogheemraadschap van Rijnland		Polder Oudendijk	e-mail Kramer
Hoogheemraadschap van Rijnland		Polder Vierambacht	e-mail Kramer
Hoogheemraadschap van Rijnland		Zwet- en Grote Blankaartpolder	e-mail Kramer
Hoogheemraadschap van Rijnland		Drooggemaakte Geer- en Kleine Blankaartpolder	e-mail Kramer
Hoogheemraadschap van Rijnland		Nieuwe Driemanspolder	e-mail Kramer
Hoogheemraadschap van Rijnland		Drooggemaakte Grote Polder	e-mail Kramer
Hoogheemraadschap van Rijnland		Zoetermeerse Meerpolder	e-mail Kramer
Hoogheemraadschap van Rijnland		Middelburg en Tempelpolder	e-mail Kramer
Hoogheemraadschap van Rijnland		Haarlemmermeer	Kramer et al., 2017
HH van Schieland en de Krimpenerwaard		Rotterdam	HKV, 2006
HH van Schieland en de Krimpenerwaard		Zuidplaspolder	HKV, 2006; schatting
Waterschap Brabantse Delta		Mark-Vlietpolders	De Vries et al., 2009
Waterschap Brabantse Delta		PAN-polders	Schipper et al., 2014
Waterschap Hollandse Delta		Hoeksche Waard	Stuyt et al., 2011
Waterschap Hollandse Delta		GoereeOverflakkee	Baltissen et al., 2014
Waterschap Hollandse Delta		Oostflakkee	aanname gelijk Goeree
Waterschap Hollandse Delta		Voorne Putten	De Vries et al., 2009
Waterschap Hunze en Aa's		Kustgebied Hunze Aas	e-mail Den Besten
Waterschap Noorderzijlvest		Zoetwaterplan Oost	Stuyt et al., 2011
Waterschap Noorderzijlvest		Zoetwaterplan West	Stuyt et al., 2011
Waterschap Scheldestromen		St. Philipsland	Schipper et al., 2014
Waterschap Scheldestromen		Reigersbergsche polder	Water uit de Wal, 2012
Waterschap Scheldestromen		Tholen	De Vries et al., 2009
Waterschap Zuiderzeeland		Noordoostpolder	Stuyt et al., 2011
Waterschap Zuiderzeeland		Noordoostpolder - Kuinre	Stuyt et al., 2011
Wetterskip Fryslân		Dongerdielen	Stuyt et al., 2011
Wetterskip Fryslân		Zwarte Haan (het Bildt)	Stuyt et al., 2011
Wetterskip Fryslân		Ropta	Stuyt et al., 2011
Wetterskip Fryslân		Lytse Bouhoeke	Stuyt et al., 2011

Tabel 7.3 Opgenomen doorspoelhoeveelheid en doorspoelperiode per polder / gebied

Waterbeheerder	Polder / gebied	Doorspoeling (mm)	Periode
AGV	Alle polders	0	nvt
Delfland	Alle polders	0	nvt
Hollands Noorderkwartier	Eilandspolder	25	1 april - 1 oktober
Hollands Noorderkwartier	Polder Westerkogge	25	1 april - 1 oktober
Hollands Noorderkwartier	Verenigde Polders	50	1 april - 1 oktober
Hollands Noorderkwartier	Beemster	50	1 april - 1 oktober
Hollands Noorderkwartier	Wieringen	75	1 april - 1 oktober
Hollands Noorderkwartier	Uitgeester-Heemskerkerbroekpolder en	75	1 april - 1 oktober
Hollands Noorderkwartier	Purmer	75	1 april - 1 oktober
Hollands Noorderkwartier	Polder Assendelft	75	1 april - 1 oktober
Hollands Noorderkwartier	Oosterpolder	75	1 april - 1 oktober
Hollands Noorderkwartier	Oosterzijpolder	100	1 april - 1 oktober
Hollands Noorderkwartier	Polder Ursem	100	1 april - 1 oktober
Hollands Noorderkwartier	Bergermeer	125	1 april - 1 oktober
Hollands Noorderkwartier	Polder Heerhugowaard	125	1 april - 1 oktober
Hollands Noorderkwartier	Castricumerpolder	125	1 april - 1 oktober
Hollands Noorderkwartier	Polder Grootslag	125	1 april - 1 oktober
Hollands Noorderkwartier	Wijde Wormer	125	1 april - 1 oktober
Hollands Noorderkwartier	Egmondermeer	150	1 april - 1 oktober
Hollands Noorderkwartier	Polder Schagerkogge	150	1 april - 1 oktober
Hollands Noorderkwartier	Schermer-Noord	175	1 april - 1 oktober
Hollands Noorderkwartier	Vier Noorderkoggen Laag	175	1 april - 1 oktober
Hollands Noorderkwartier	Wieringermeer-West	175	1 april - 1 oktober
Hollands Noorderkwartier	Krommenieer Woudpolder	175	1 april - 1 oktober
Hollands Noorderkwartier	Polder Geestmerambacht	200	1 april - 1 oktober
Hollands Noorderkwartier	Koegraspolder	200	1 april - 1 oktober
Hollands Noorderkwartier	Anna Paulownapolder Laag	225	1 april - 1 oktober
Hollands Noorderkwartier	Schermer-Zuid	250	1 april - 1 oktober
Rijnland	Noord-Spaarndammerpolder	50	1 april - 1 oktober
Rijnland	Houtrakpolder	50	1 april - 1 oktober
Rijnland	Zuid-Spaarndammerpolder	50	1 april - 1 oktober
Rijnland	Polder Noordplas	100	1 april - 1 oktober
Rijnland	Oostbroekpolder	100	1 april - 1 oktober
Rijnland	Polder Oudendijk	100	1 april - 1 oktober
Rijnland	Polder Vierambacht	100	1 april - 1 oktober
Rijnland	Zwet- en Grote Blankaartpolder	100	1 april - 1 oktober
Rijnland	Drooggemaakte Geer- en Kleine Blankaardpolder	100	1 april - 1 oktober
Rijnland	Nieuwe Driemanspolder	100	1 april - 1 oktober
Rijnland	Drooggemaakte Grote Polder	100	1 april - 1 oktober

Rijnland	Zoetermeerse Meerpolder	100	1 april - 1 oktober
Rijnland	Middelburg en Tempelpolder	100	1 april - 1 oktober
Rijnland	Haarlemmermeer	150	1 april - 1 oktober
HHSK	Rotterdam	20	1 april - 1 oktober
HHSK	Zuidplaspolder	100	1 april - 1 oktober
Waterschap Brabantse Delta	Mark-Vlietpolders	76	1 april - 1 oktober
Waterschap Brabantse Delta	PAN-polders	85	1 april - 1 oktober
Waterschap Hollandse Delta	Hoeksche Waard	0	nvt
Waterschap Hollandse Delta	GoereeOverflakkee	100	1 april - 1 oktober
Waterschap Hollandse Delta	Oostflakkee	100	1 april - 1 oktober
Waterschap Hollandse Delta	Voorne Putten	139	jaarrond
Waterschap Hunze en Aa's	Kustgebied Hunze Aas	50	1 april - 1 oktober
Waterschap Noorderzijlvest	Zoetwaterplan Oost	300	1 april - 1 oktober
Waterschap Noorderzijlvest	Zoetwaterplan West	300	1 april - 1 oktober
Waterschap Scheldestromen	St. Philipsland	5	1 april - 1 oktober
Waterschap Scheldestromen	Reigersbergsche polder	60	1 april - 1 oktober
Waterschap Scheldestromen	Tholen	200	1 april - 1 oktober
Waterschap Zuiderzeeland	Noordoostpolder	0	nvt
Waterschap Zuiderzeeland	Noordoostpolder - Kuinre	950	1 april - 1 oktober
Wetterskip Fryslân	Dongerdielen	60	1 april - 1 oktober
Wetterskip Fryslân	Zwarte Haan (het Bildt)	100	1 april - 1 oktober
Wetterskip Fryslân	Ropta	110	1 april - 1 oktober
Wetterskip Fryslân	Lytse Bouhoeke	140	1 april - 1 oktober

D.7 Appendix 2: Theoretische doorspoelbehoefte

Om de doorspoelhoeveelheden in de polderwateren landelijk consistent te maken, wordt de theoretische doorspoelbehoefte bepaald voor een streefconcentratie opgegeven door de waterschappen (studie Basic Survey Zout, (Stuyt et al., 2011)).

Voor elk *local surfacewater*' (oppervlaktewatereenheid in MOZART) worden de volgende vergelijkingen opgelost om dit theoretische doorspoeldebiet te bepalen:

$$Q_{in} = Q_p + Q_{dr} + Q_b + Q_{lm} + E \quad (1)$$

$$C_{in} = \frac{(Q_p C_p + Q_{dr} C_{dr} + Q_b C_b + Q_{lm} C_{lm})}{Q_{in}} \quad (2)$$

$$Q_{fl} = \frac{Q_{in} (C_{in} - C_{tg})}{C_{tg} - C_{fl}} \quad (3)$$

Hierbij zijn Q en C respectievelijk de flux/afvoer en de concentratie van de verschillende balansposten die met het subscript zijn aangegeven, E is de verdampingsterm uit oppervlaktewater. De verschillende subscripten staan voor: *in*, de som van de 'gebiedseigen'

balanstermen, vóór doorspoeling, p neerslag direct op oppervlaktewater, dr drainage, b kwel via wellen, lm aanvoer voor peilbeheer, tg streefconcentratie, en fl doorspoeling. De meeste termen voor deze berekening zijn afkomstig van een berekening met LHM versie 3.3, 1980 – 2010. De afleiding van vergelijking 3 is als volgt:

$$\begin{aligned}
 Q_{out}C_{tg} &= Q_{in}C_{in} + Q_{fl}C_{fl} \\
 Q_{in}C_{tg} + Q_{fl}C_{tg} &= Q_{in}C_{in} + Q_{fl}C_{fl} \\
 Q_{fl}C_{tg} - Q_{fl}C_{fl} &= Q_{in}C_{in} - Q_{in}C_{tg} \\
 Q_{fl}(C_{tg} - C_{fl}) &= Q_{in}(C_{in} - C_{tg}) \\
 Q_{fl} &= \frac{Q_{in}(C_{in} - C_{tg})}{C_{tg} - C_{fl}}
 \end{aligned} \tag{4}$$

Merk op dat in deze afleiding wordt uitgegaan van een volledig gemengd systeem, zonder geheugen (het volume en de concentratie op tijdstip $t-1$ speelt geen rol). Dit is verdedigbaar doordat in veruit de meeste poldersystemen maar een beperkt deel van het systeem daadwerkelijk wordt doorgespoeld, en de bijdrage van het 'geheugen' daarmee navenant klein is. Ter vergelijking: in peilvak 9 in de Haarlemmermeer was na start van doorspoeling de streefconcentratie binnen vier dagen bereikt.

E Memo: Berekening in de Deltascenario's

E.1 Inleiding

In het LHM is het potentiële beregeningsareaal gebaseerd op Massop et al, 2012. Massop et al (2012) hebben de in de landbouwtelling van 2010 ge-enquêteerde arealen die potentieel beregend worden op bedrijfsniveau toegekend. Voor agrarische bedrijven die niet hun hele areaal beregenen is een toekenningprocedure toegepast gebaseerd op karteerbare kenmerken (vochtbeschikbaarheid en economische gewaswaarde). Bij implementatie veroorzaakte deze toekenning een sterke toename van beregening. Het beregende areaal is daarom in een kalibratiestap met 40% verkleind (Hoogewoud et al., 2013). In volgende LHM-versies zijn verdere kleine aanpassingen aan het beregeningsareaal toegepast (beregemen van sportvelden, etc) (Burgering et al., 2016; Hoogewoud et al., 2015; Kroon et al., 2017).

Voor de verschillende Deltascenario's (Warm, Druk, Rust, Stoom en Druk-Parijs) moet een inschatting worden gemaakt hoe het potentieel beregend areaal zich aanpast aan zowel de landgebruiksveranderingen als de klimaatverandering in de verschillende scenario's. Hiervoor is de methode waarmee de huidige beregeningskaart is opgesteld niet geschikt, omdat deze geen mechanisme biedt waarmee veranderingen in landgebruik en beregeningsbehoefte worden vertaald naar het potentieel beregend areaal.

Om deze vertaling te kunnen maken gaan we uit van de kosten-batenafweging van de agrariër: de rekencellen waar dit het meeste oplevert worden beregend. Voor de verschillende scenario's wordt de huidige kosten-batenafweging gehandhaafd (er wordt in de scenario's beregend vanaf eenzelfde baten-kostenratio als in de huidige situatie). De invloed van klimaat en landgebruiksveranderingen komen zo impliciet tot uiting in de potentiële beregening. Deze aanpak vergt het berekenen van zowel de kosten als de potentiële baten van beregening voor elke cel, voor alle scenario's. Hiervoor kan de recent ontwikkelde Regioscan Zoetwatermaatregelen (Delsman et al., 2018) worden toegepast.

E.2 Methode

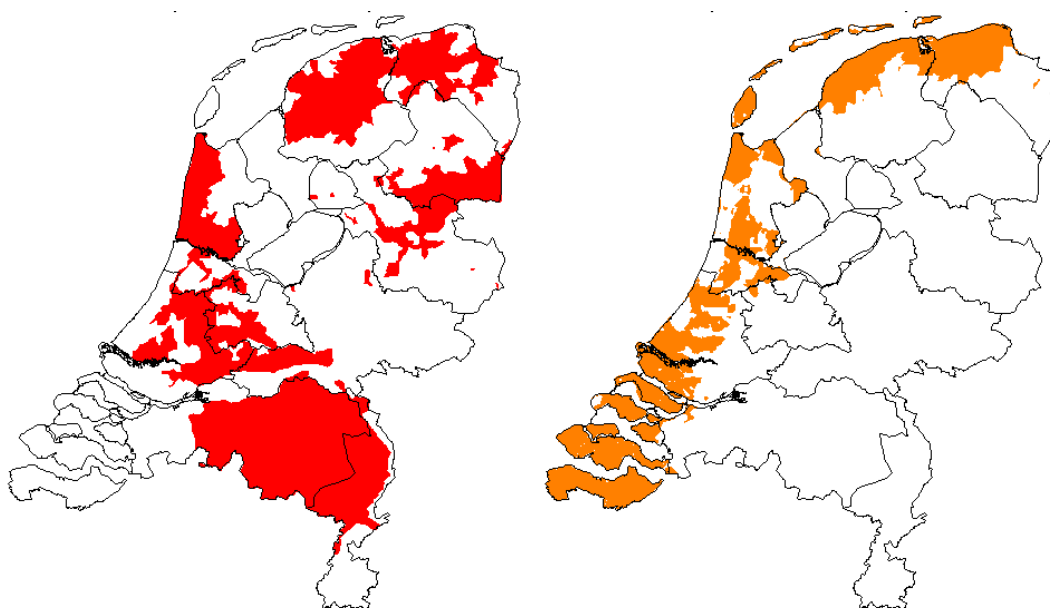
De gevolgde methode bestaat uit de volgende stappen:

- 1 LHM berekeningen 1996 – 2006 voor de verschillende Deltascenario's (Warm, Druk, Rust, Stoom en Parijs) en het referentiescenario (REF2015). Hierbij zijn vanwege de planning alleen de veranderde meteorologie en het veranderde landgebruik meegenomen. Beregening is in alle berekeningen verondersteld **niet** plaats te vinden.
- 2 De uitkomsten van deze hydrologische berekeningen dienden als invoer voor de Regioscan Zoetwatermaatregelen. In de Regioscan zoetwatermaatregelen wordt elke LHM rekencel als apart *modelbedrijf* beschouwd. In de Regioscan 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.
- 3 Per LEI-66 gebied (Figuur E.1) is vanuit de **landbouwtelling 2016** het potentieel beregend areaal bekend. NB: in (Massop et al., 2012) is de landbouwtelling 2010 als basis genomen.

- 4 De potentiële arealen per LEI-gebied zijn vermenigvuldigd met een factor 0.73, de verhouding tussen het beregeningsareaal in LHM 3.3 en het areaal op basis van de landbouwtellint 2016. Dit om het totale areaal in Nederland gelijk te houden aan modelversie LHM 3.3.0.
- 5 Wegens bruinrot mogen een aantal teelten, waaronder aardappel, niet langer vanuit oppervlaktewater worden beregend (Figuur E.2, links). In delen van Nederland, waar brak grondwater voorkomt, is beregening uit grondwater ook geen optie (Figuur E.2, rechts). Cellen met landgebruik aardappelen binnen het bruinrot gebied, die niet uit grondwater kunnen worden beregend (zoute gebieden), worden daarom verondersteld niet te worden beregend, ongeacht de baten-kostenratio.
- 6 Per LEI-66 gebied worden de rekencellen in de Regioscan gesorteerd op afnemende baten-kostenratio. Vervolgens is de laagste baten-kostenratio bepaald waarbij het potentieel beregende areaal per LEI-66 gebied overeenkomt voor het REF2015 scenario.
- 7 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.
- 8 Het areaal van een aantal hoogwaardige landgebruiksklassen wordt volledig beregend. Het gaat om de klassen 'boom- en fruitkwekerijen', 'boomgaarden', 'golfterreinen', sportterreinen' en 'kassen' (Agricom/LHM klassen 7, 8, 9, 21, 22). Dit is analoog aan (Massop et al., 2012).
- 9 Toekennen beregening aan grond- danwel oppervlaktewater, volgens de volgende procedure (Massop et al., 2012; Veldhuizen and Van Bakel, 2008):
 - Per LEI-66 gebied percentage grond- / oppervlaktewaterberegening vastleggen uit huidige beregeningskaart
 - De overblijvende beregende cellen op basis van slootdichtheid primaire en secundaire waterlopen toekennen aan oppervlaktewater (hoge slootdichtheid) danwel grondwater (lage slootdichtheid), tot wordt voldaan aan het vastgelegde percentage beregening uit oppervlaktewater / grondwater. Dit percentage wordt constant verondersteld over de scenario's.
 - Waar volgens het bruinrotbesluit niet uit oppervlaktewater mag worden beregend (aardappel) beregening vastzetten op grondwater (cellen waar dit niet mogelijk is zijn eerder al uit de procedure verwijderd)



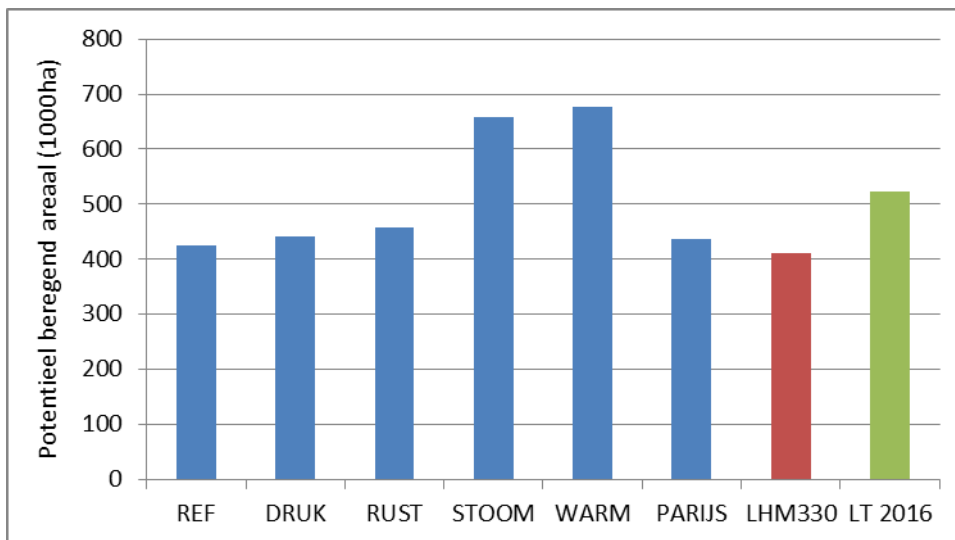
Figuur E.1 Ligging LEI-66 landbouwgebieden, onderscheiden door WUR Economic Research



Figuur E.2 Gebieden waar wegens bruinrot niet uit oppervlaktewater mag worden beregend (links), en gebieden waar het grondwater te brak is om als beregeningswater te gebruiken (rechts)

E.3 Resultaten

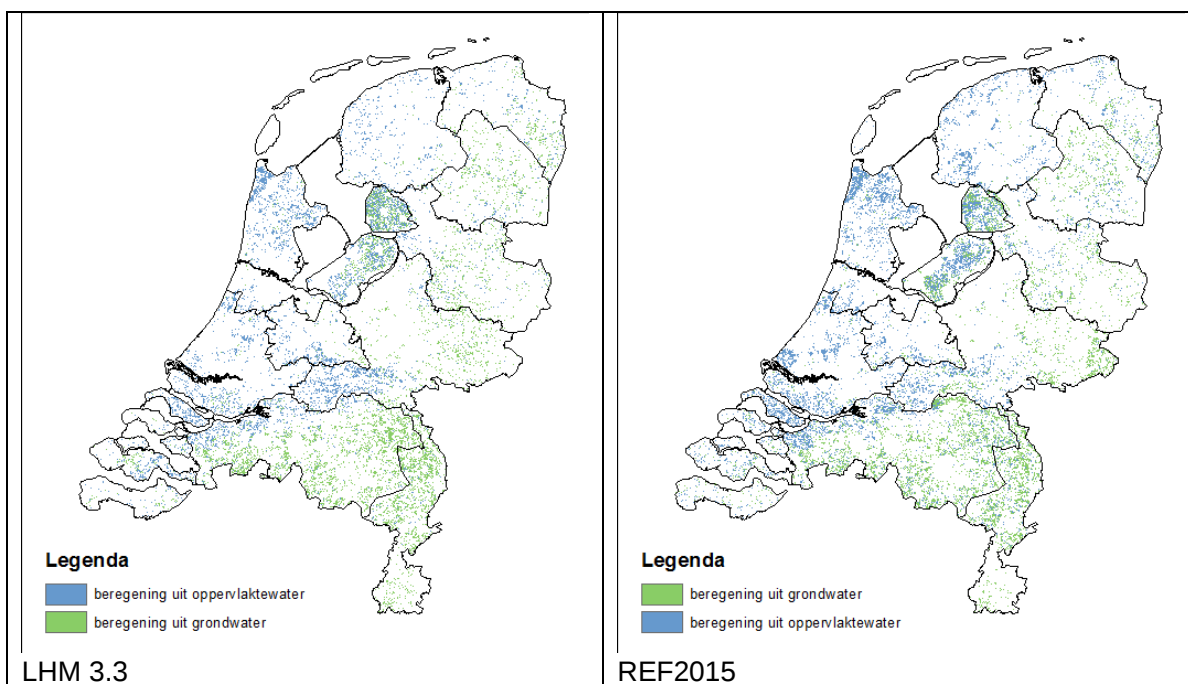
In Figuur E.3 staan het berekende totale potentieel beregende areaal voor de referentie en de verschillende Deltascenario's, en ter vergelijking het huidige in het LHM opgenomen areaal, en het totale areaal volgens de landbouwtelling. Het totale areaal in de referentiesituatie is 424306.25 ha. Het resultaat voor de referentie wijkt duidelijk af van het areaal volgens de landbouwtelling. Dit is het gevolg van de keuze om het potentiële beregeningsareaal te laten aansluiten bij het huidige gehanteerde areaal in LHM (stap 4 in methode). De verdere kleine afwijking ten opzichte van LHM 3.3.0 komt door de additionele toekenning van beregening aan enkele hoogrenderende gewascategorieën. Met name de glastuinbouw kent volgens de landbouwtelling weinig beregening, voor het LHM modelconcept moeten deze cellen wel beregening worden toegekend. Eenzelfde toename tussen de toenmalige landbouwtelling (2010) en het potentieel beregende areaal wordt ook gerapporteerd door (Massop et al., 2012).



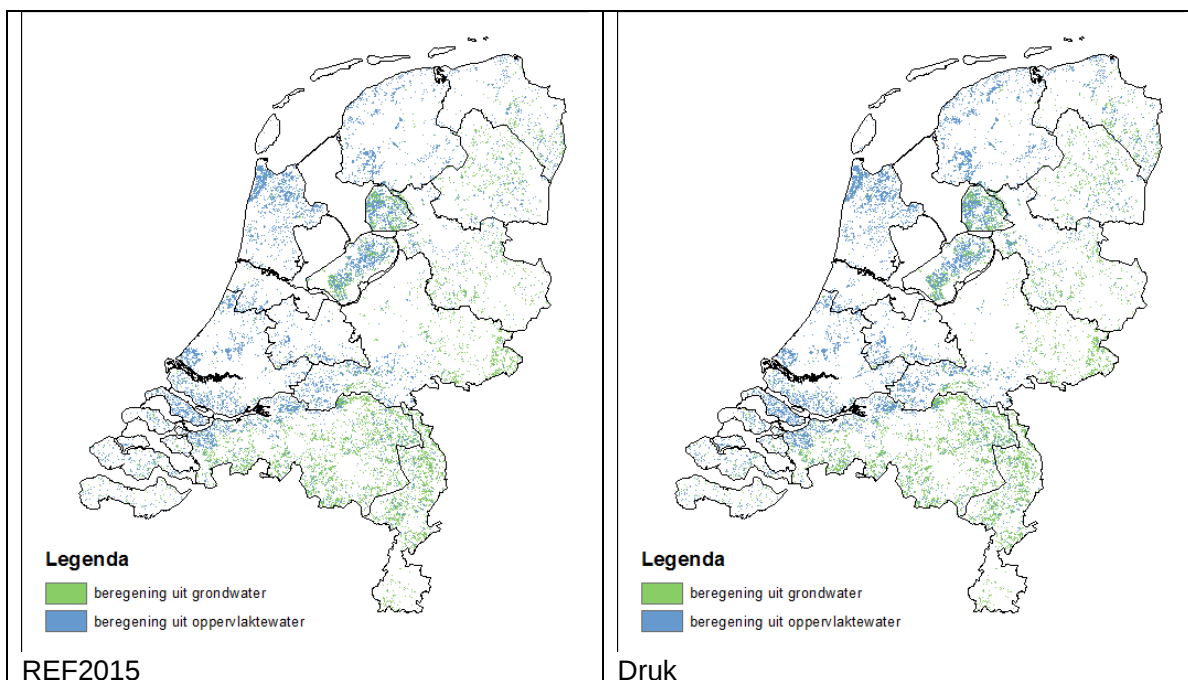
Figuur E.3 Potentieel beregend areaal in de verschillende scenario's, het huidige LHM 3.3.0 (rood) en de landbouwtelling (LT 2016, groen)

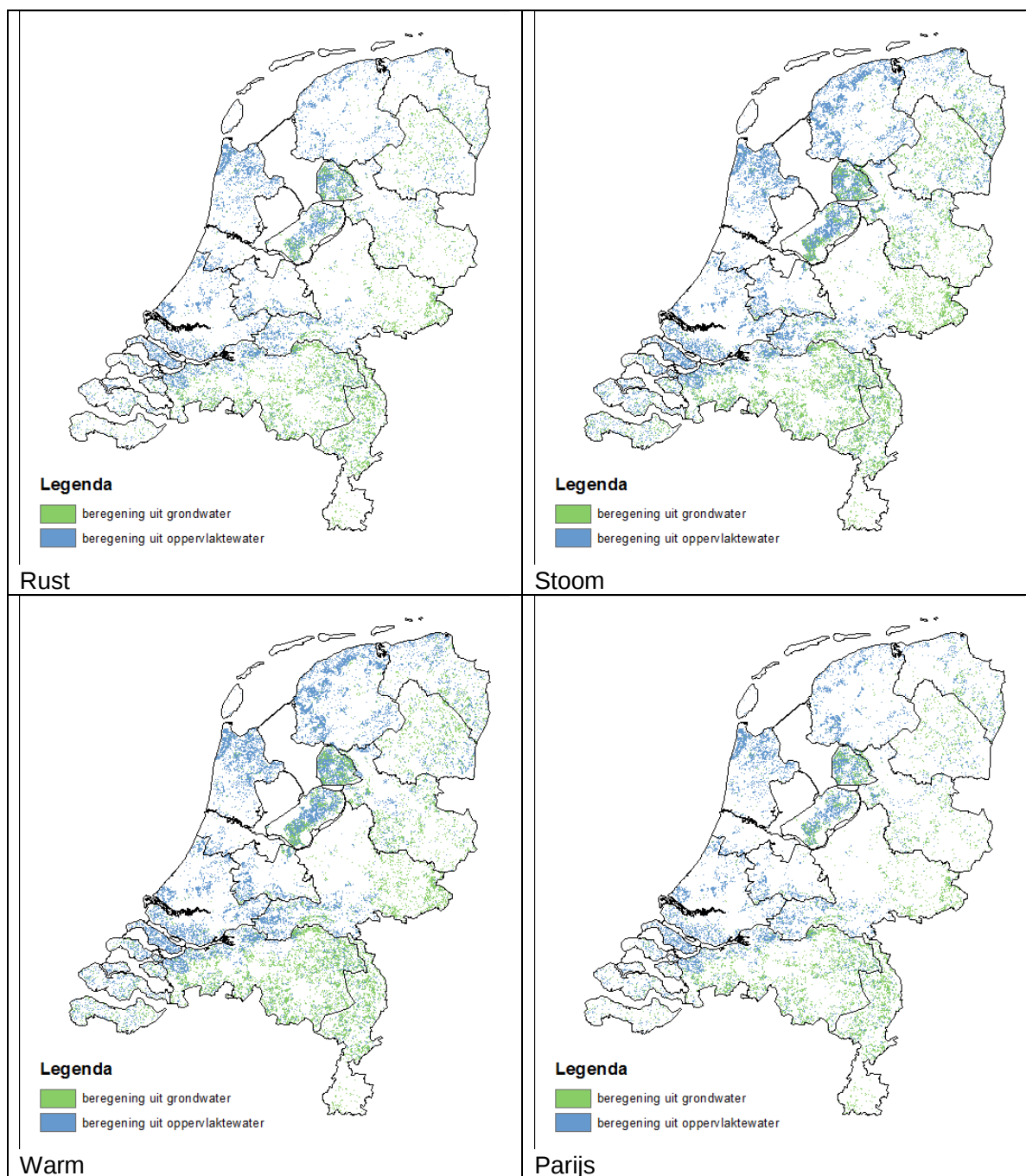
In Figuur E.4 zijn de huidige beregeningskaart (LHM 3.3.0) en de berekende beregeningskaart voor de referentiescenario weergegeven. Er lijkt sprake van meer clustering dan in de LHM 3.3 kaart. Dit laatste kan een gevolg zijn van de grotere rol die de hydrologie speelt in de toekenning van beregening, waardoor meer aaneengesloten droge gebieden naar voren komen. Tenslotte is de beregening in Zuid-Limburg wat afgenomen, dit is conform de veranderingen in het door de landbouwtelling gerapporteerde areaal.

Figuur E.5 geeft de opgestelde potentiële beregeningskaarten voor alle Deltascenario's. Zoals ook al duidelijk naar voren komt in Figuur E.3, neemt het beregende areaal met name toe in de scenario's Stoom en Warm. Deze twee scenario's worden gekenmerkt door het KNMI WH klimaat, met een overgang naar drogere zomers. In deze omstandigheden wordt het voor meer agrariërs financieel aantrekkelijk om een beregeningsinstallatie aan te schaffen. Klimaatverandering speelt een kleinere rol in de overige drie scenario's, hier worden veranderingen in het beregeningsareaal met name gestuurd door veranderingen in het landgebruik. Het Rust scenario heeft hierbij meer areaal dan Druk, omdat het landbouwareaal in dit scenario toeneemt.



Figuur E.4 De huidige beregeningskaart in LHM 3.3, links, en de opgestelde beregeningskaart voor het referentiescenario, rechts.





Figuur E.5 Opgestelde potentiële beregeningskaarten voor de verschillende Deltascenario's.

E.4 Conclusies

Met behulp van de Regioscan Zoetwatermaatregelen zijn onderling consistente beregeningsarealen afgeleid voor de verschillende Deltascenario's. De arealen zijn gebaseerd op beschikbare arealen uit de Landbouwtelling 2016, en zijn ruimtelijk toegekend op basis van kosten en baten. De aanname hierbij was 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.

E.5 Referenties

- Burgering, L., Walsum, P. van, Veldhuizen, A., Massop, H., Hunink, J., Prinsen, G., Verkaik, J., Bolt, F. van der, Kroon, T., 2016. Veranderingsrapportage LHM 3.2.0 - Ontwikkeling, beheer en onderhoud van de landelijke toepassing van het NHI, Deltares rapport 1230075.
- 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-?
- Hoogewoud, J., Hunink, J., Prinsen, G., Veldhuizen, A., Verkaik, J., 2013. Veranderingsrapportage NHI 3.0, Deltares rapport 1206107-000.
- Hoogewoud, J., Walsum, P. van, Louw, P. de, Hunink, J., Prinsen, G., Verkaik, J., Veldhuizen, A., Kroon, T., Bolt, F. van der, Burgering, L., Groenendijk, P., Wal, B. van de, 2015. Veranderingsrapportage LHM 3.1.0; Ontwikkeling, beheer en onderhoud van de landelijke toepassing van het NHI, Deltares rapport 1220076.
- Kroon, T., Veldhuizen, A.A., Burgering, L.M.T., Walsum, P.E.V. van, Janssen, G., Bolt, F.J.E. van der, Verkaik, J., 2017. Veranderingsrapportage LHM 3.3.0; Ontwikkelingen ten behoeve van de waterkwaliteit, Deltares rapport 11200573,.
- Massop, H.T.L., Schuiling, C., Veldhuizen, A.A., 2012. Potentiele berekeningkaart 2012, Alterra rapport 2382.
- Veldhuizen, A.A., Van Bakel, P.J.T., 2008. NHI deelrapport berekening, NHI deelrapport.

F Memo: Implementatie maatregelen WABES fase II (LHM en LSMLT)

G Herkalibratie van gewasfactoren voor het LHM

Notitie

Paul van Walsum, Alterra (WER)

28 februari 2018

G.1 Inleiding

De gewasparameters van het NHI zijn gekalibreerd op basis van de WOFOST-versie uit 2012 en de toen gebruikte bestanden (Van Walsum en Supit, 2012). Sindsdien is er veel veranderd aan de gebruikte modellen, met name van het gewasgroeimodel WOFOST en de daarin gebruikte parameters. Deze ontwikkelingen hebben met name plaatsgevonden in het kader van het project Waterwijzer Landbouw.

In het kader van het Waterwijzer Landbouw project is een variant van Penman-Monteith ontwikkeld die geschikt is voor niet-volledige bodembedekking (Van Dam en Van Walsum, 2017). De kalibratie van gewasweerstand is gedaan op basis van het langjarig gemiddelde van de totale verdamping berekend met de gewasfactoren van Feddes (1987). De werkwijze is beschreven in Van Walsum (2017); daarbij is voor de ijking op de huidige situatie de rekenreeks 1971-2008 gebruikt, zoals gebruikelijk in het project Waterwijzer. Maar dat is alleen voor de ijking. Voor de 'klimaatrun' van de huidige situatie wordt de gebruikelijk klimaatreeks 1981-2010 gebruikt.

Toen in 2012 voor het eerst de gewasparameters van NHI werden gekalibreerd was de verdamping van SWAP nog niet op een correcte manier geijkt op Feddes (1987). Maar in die situatie is nu verandering gekomen door de nieuwe Penman-Monteith variant, waardoor het niet meer nodig is om de NHI-parameters rechtstreeks op Feddes (1987) te ijken. De beschikbaarheid van de nieuwe Penman-Monteith methode in SWAP biedt nu de mogelijkheid om op de deeltermen van SWAP-simulaties te ijken, zoals hieronder beschreven.

Het zuiver ijken van de interceptieverdamping werd evenwel gehinderd doordat bij deze update een verandering van concept en rekencode niet mogelijk was vanwege beheerstechnische redenen. Het probleem met het NHI-concept is dat het eigenlijk niet geschikt is in combinatie met dag neerslagen. Het gebruikte Rutter concept komt pas tot zijn recht bij tijdstappen van de neerslag van maximaal 1 uur.

G.2 Methode en materialen

Van de SWAP-WOFOST berekeningen worden voor de tijdreeks 1971-2008 onder meer de volgende uitkomsten van de Penman-Monteith rekenwijze gebruikt

- T_{direct} , de potentiële transpiratie van een droog gewas;
- $T_{\text{directwet}}$, de potentiële transpiratie van een nat gewas;
- LAI, de Leaf Area Index, het bladoppervlak in verhouding tot het bodemoppervlak;
- LAI_{eff}, de effectieve LAI gebruikt in de Penman-Monteith weerstandsberekeningen;
- V_{cover} , de gewasbedekkingsgraad, afgeleid van de fractie van het licht dat het bodemoppervlak bereikt (het complement daarvan).

De eerste stap in de verwerking betreft het berekenen van de gemiddelde LAI en gewasbedekkingsgraad per kalenderdag van het jaar. Vervolgens wordt binnen een raamwerk van wiskundige optimalisering de gewasfactor als functie van de LAI bepaald met een variant op Van Walsum en Supit (2012). In het kort komt de methode op het volgende neer:

- De gewasfactor wordt berekend op basis van de effectieve LAI, LAI_{eff} , met een tabelfunctie die tijdens de ijking moet worden bepaald, $fT_{tab}(LAI_{eff})$. Deze functie begint bij 0, is monotoon stijgend, met een eerste afgeleide die gelijk blijft of afneemt (zoals bij de wet van afnemende meeropbrengsten);
- in het optimalisatiemodel voor de ijking van de tabelfunctie wordt als eis gesteld dat het langjarig gemiddelde van de totale transpiratie plus interceptie gelijk is aan de waarde die uit de SWAP-berekeningen komt;
- de som van de absolute waarden van de afwijkingen per simulatie-dag worden in de doelfunctie van de optimalisering geminimaliseerd.

Bij grasland is ervoor gekozen om – in afwijking van de methode uit 2012 – net als bij de bouwlandgewassen per kalenderdag de LAI te middelen. In 2012 werd het LAI-verloop van een mediaan jaar gebruikt, maar dat had als nadeel dat bij vergelijking met metingen de toevalsfactor van de tijd (wel of niet net gemaaid) een te grote verstoring kon geven.

Voor de gewasfactor van kale grond en van inundatiewater wordt geen variatie tijdens het seizoen verondersteld. De waarden worden rechtstreeks gekalibreerd op SWAP door de betreffende parameters in MetaSWAP te variëren.

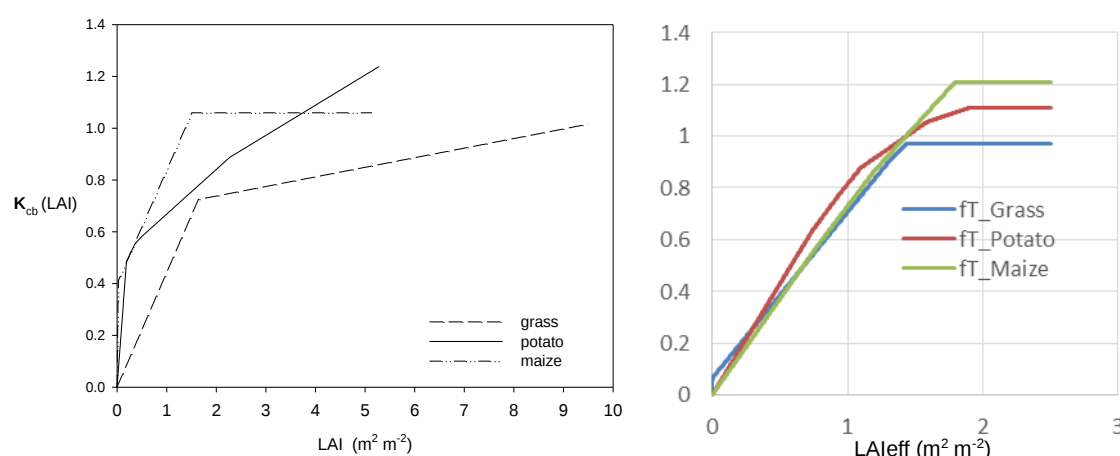
De 'basis' verdampingstermen (T_{direct} , enz.) worden in de SWAP-simulatie verder bewerkt. Zo wordt T_{direct} aangepast om rekening te houden met het feit dat een deel van de tijd de transpiratie stil komt te liggen als gevolg van actieve interceptieverdamping. De uiteindelijke toetsing geschiedt op basis van totalen van

- T_{pot} , de potentiële transpiratie
- E_{ic} , de interceptieverdamping
- E_{act} , de actuele bodemverdamping

G.3 Resultaat

Huidig klimaat

De voor het huidige klimaat berekende tabelfuncties van $fT_{tab}(LAI_{eff})$ zijn uitgebeeld in Fig. 1, naast de relaties die in 2012 zijn bepaald. Bedacht moet worden dat in 2012 de LAI is gebruikt, en hier de effectieve LAI die veel lager is met een maximale waarde van ca. 2, terwijl de LAI tot boven de 5 kan gaan.



Figuur G.1 Kalibratie van tabelfuncties van de LAI voor de gewasfactor $f_T(LAI)$ zoals berekend door Van Walsum en Supit (2012) en de functies na herkalibratie. De functies na herkalibratie zijn gebaseerd op de LAI_{eff} , de 'effectieve' LAI, die berekend wordt met $LAI_{eff} = LAI / (0.3 \cdot LAI + 1.2)$

Interpretatie van de verschillen tussen de nieuwe gekalibreerde parameters en die van 2012 vraagt tevens om inzicht in de overige parameters die de totale verdamping bepalen, rekening houdend met verschuivingen. Een overzicht van die verschuivingen is opgenomen in Tabel 1.

Tabel G.1 Overzicht van verdampingstermen berekend met de parameters van Van Walsum en Supit (2012, "2012" in de tabel, "H" is voor huidig klimaat) en parameters gekalibreerd op Waterwijzer Landbouw (SWAP-WOFOST versie 4.0.10, "2018H" in de tabel). Verklaring van symbolen: T_{pot} = potentiële transpiratie; E_{ic} = interceptieverdamping; E_{act} = actuele bodemverdamping; ET_{opt} = totale verdamping bij optimale watervoorziening. Langjarig gemiddelden voor de periode 1971-2008, in mm per jaar.

Model	Gewas	T_{pot}	E_{ic}	E_{act}	ET_{opt}
SWAP	Grass_2018H	321	78	146	545
MetaSWAP	Grass_2018H	301	98	148	547
MetaSWAP	Grass_2012	325	132	92	549
SWAP	Maize_2018H	276	53	189	518
MetaSWAP	Maize_2018H	255	74	189	518
MetaSWAP	Maize_2012	211	66	257	534
SWAP	Potato_2018H	265	46	171	482
MetaSWAP	Potato_2018H	239	71	169	480
MetaSWAP	Potato_2012	242	66	190	498

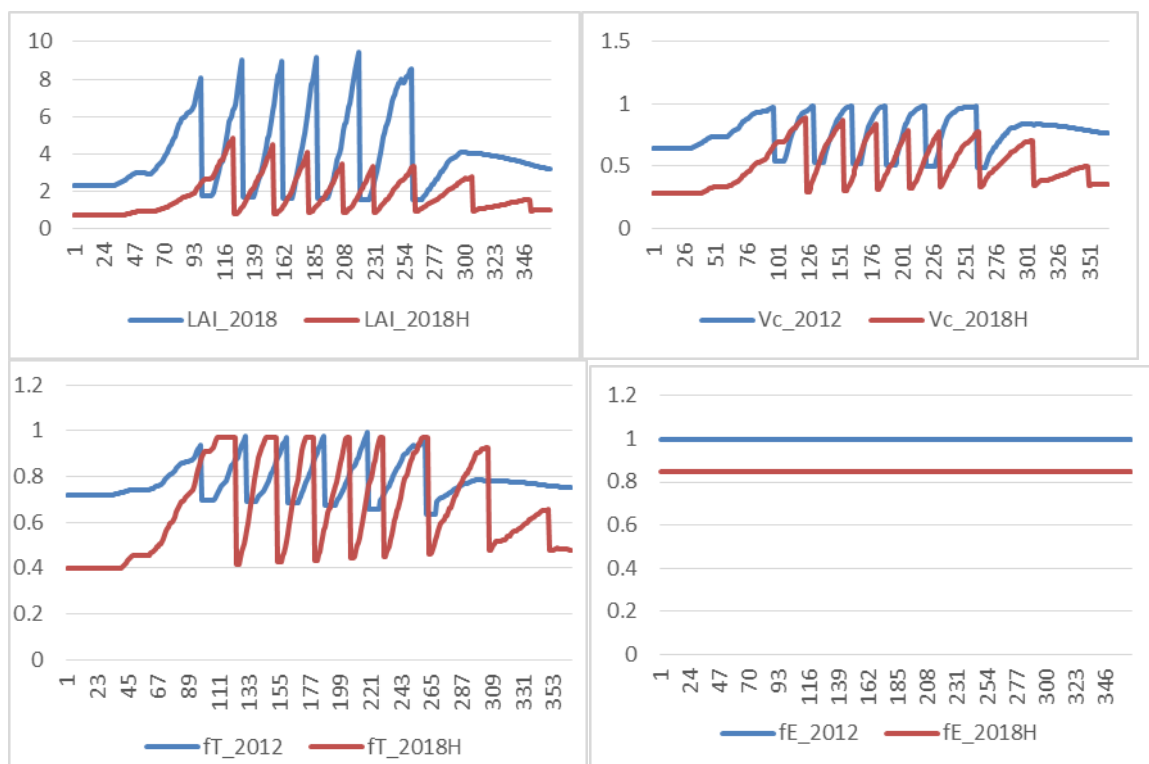
Voor grasland blijft de totale verdamping voor de beschouwde periode gelijk ten opzichte van de kalibratie van 2012, maar er zijn grote verschuivingen in de termen. In de nieuwe parameterisering neemt de bodemverdamping met een factor van ruim anderhalf toe als gevolg van de veel lagere LAI en lagere bodembedekkingsgraad. Deze toename is gecompenseerd door afname van de interceptieverdamping en de transpiratie. De potentiële transpiratie blijft ondanks de daling van de LAI redelijk op peil als gevolg van het wegvallen van een deel van de interceptie die de transpiratie onderdrukt.

Binnen het interceptieconcept van het NHI was het niet mogelijk om de waarden overeen te laten komen met die van SWAP. Dat geldt ook voor de andere gewassen. Maar op de uiteindelijke berekende actuele verdamping zal het vermoedelijk een beperkte invloed hebben.

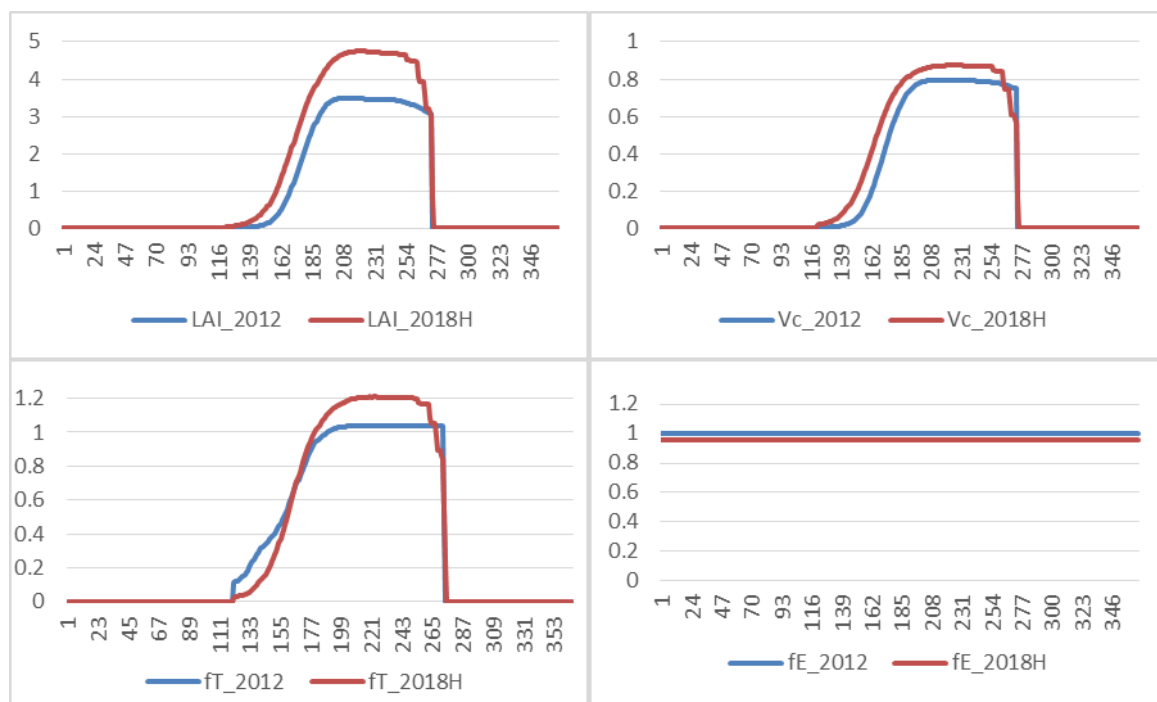
De gewasfactor voor kale grond is na herkalibratie voor grasland veel lager dan eerder. Dat komt doordat nu rekening is gehouden met het *mulch* effect van grasland, ook wanneer het gras net gemaaid is. Behalve de stoppels blijven er altijd dode sprietten op de grond liggen die de bodemverdamping temperen.

Voor maïs wordt de totale verdamping een kleine 3% lager, maar is er een grote verschuiving tussen transpiratie en bodemverdamping: als gevolg van de grotere gewasbedekking wordt een 30% hogere transpiratie berekend en een 25% lagere bodemverdamping.

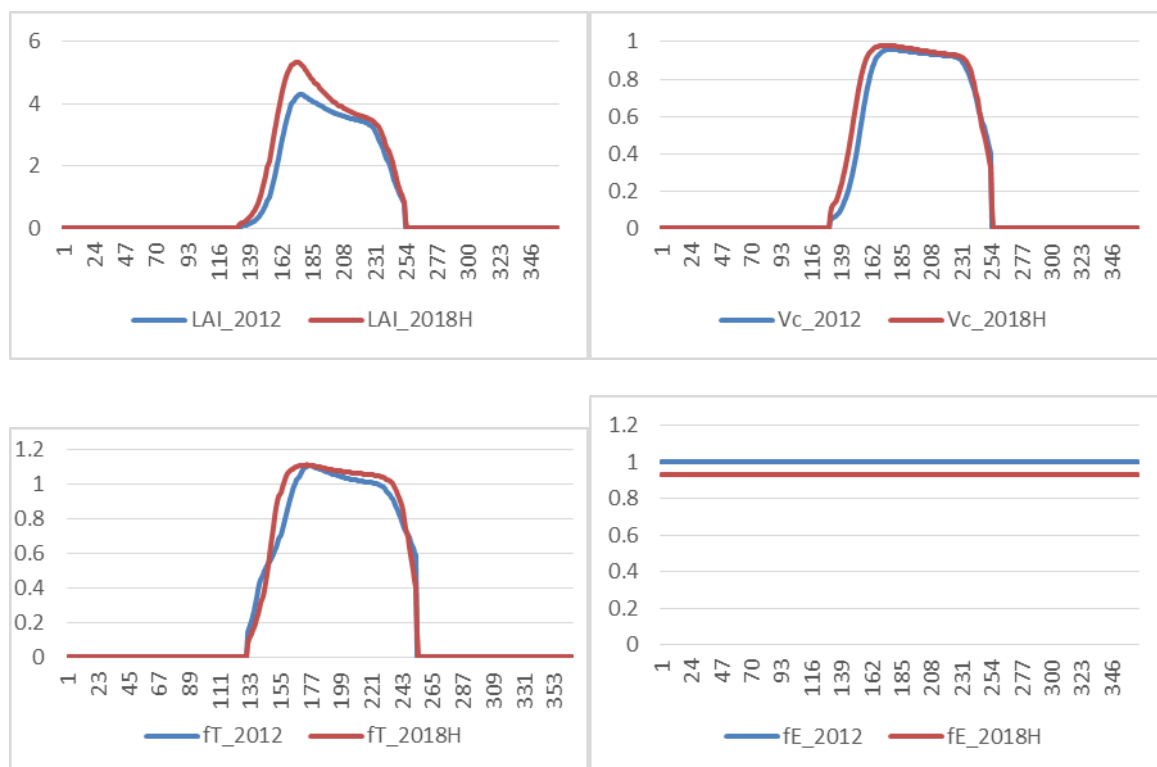
Bij aardappelen zijn de veranderingen beperkt. De LAI komt weliswaar significant hoger uit (20%), maar dat wordt opgevangen door de kalibratie van de gewasfactor als functie van de LAI. De verschuivingen tussen de termen zijn veel kleiner dan bij de andere gewassen.



Figuur G.2 Gewasparameters van grasland. Voor de vergelijking met de parameterisering uit 2012 is ook voor 2018H het verloop voor het mediaan jaar 2000 uitgebeeld. Verklaring van symbolen: LAI = Leaf Area Index; Vc = gewas-bedekkingsgraad (vegetation cover); fT = verdampingsfactor voor transpiratie; fE = verdampingsfactor voor kale grond verdamping



Figuur G.3 Gewasparameters van maïs. Verklaring van symbolen: LAI = Leaf Area Index; Vc = gewasbedekkingsgraad (vegetation cover); fT = verdampingsfactor voor transpiratie; fE = verdampingsfactor voor kale grond verdamping



Figuur G.4 Gewasparameters van aardappelen. Verklaring van symbolen: LAI = Leaf Area Index; Vc = gewasbedekkingsgraad (vegetation cover); fT = verdampingsfactor voor transpiratie; fE = verdampingsfactor voor kale grond verdamping

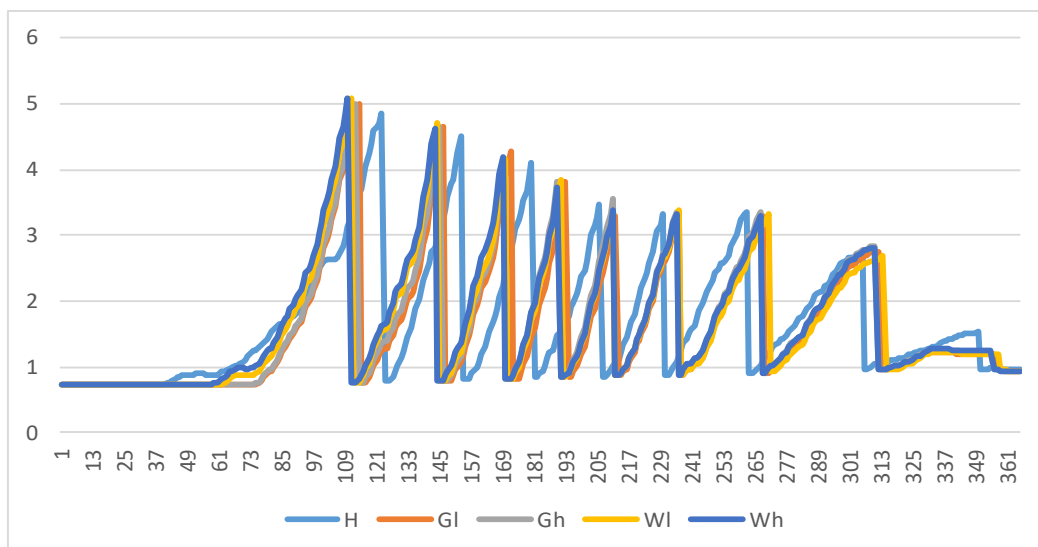
Klimaatscenario's

De modelkalibratie is opnieuw uitgevoerd voor de vier klimaatscenario's van KNMI2014, Gl, Gh, WI en Wh, met als 'zichtjaar' 2050. Bij grasland vertaalt de opwarming van het klimaat zich naar een extra snede, zoals te zien is in Fig. 5: in de klimaatscenario's zijn er acht sneden en in het huidige klimaat zijn het er zeven in het rekenjaar 2000. Dat rekenjaar komt in de klimaatreeks (2036-2065) terug in getransformeerde vorm.

Bij de bouwland gewassen is de invloed van het klimaat nog duidelijker te zien in de vorm van een korter groeiseizoen. In het Wh scenario is de verkorting ongeveer een maand voor maïs. Het opkomstmoment van het gewas is (net als in Van Walsum en Van der Bolt, 2013) voor alle scenario's gelijk genomen omdat het simuleren van de kieming bodem-afhankelijk is. Het effect daarvan is niet eenduidig te vertalen naar een aanpassing van de groeicurven en zou dus buiten de randvoorwaarden van deze dataherziening vallen. Het simuleren van de ontwikkeling in het voorjaar kan wel met een online gekoppeld WOFOST model.

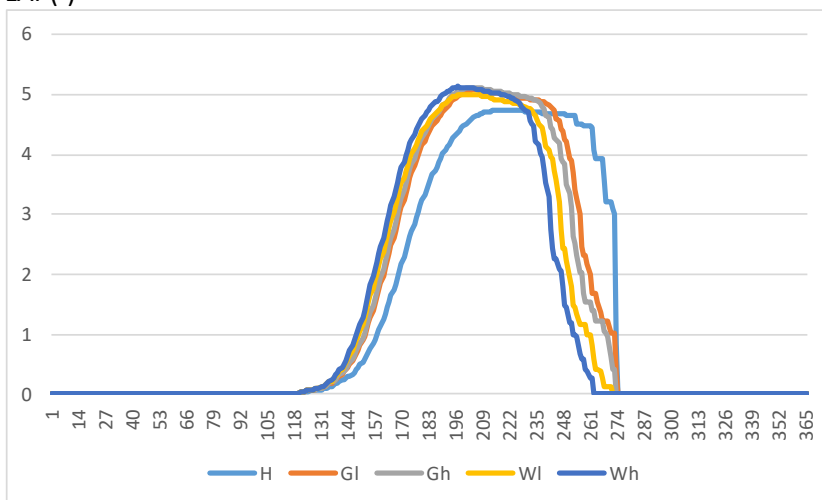
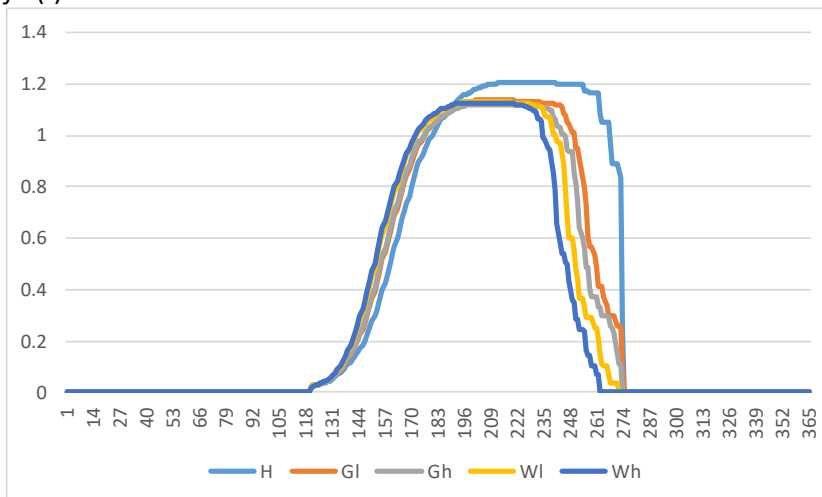
De doorvertaling van de gewasontwikkeling naar de waterbalans wordt mede bepaald door het CO₂-effect op de gewasverdamping. Voor het zichtjaar 2050 zijn die effecten op de gewasverdamping respectievelijk een factor 0.97 voor grasland, een factor 0.91 voor maïs, en een factor 0.97 voor aardappelen. Deze factoren hebben een verlagend effect op de totale verdamping. Anderzijds veroorzaken de hogere pieken van de gewasontwikkeling vooral bij maïs een hogere verdamping juist in een periode dat de referentieverdamping de hoogste waarden bereikt. Dat zet extra aan. Mede daardoor blijven de totale effecten van de gewasparameter-update beperkt indien ze worden toegepast in combinatie met het huidig klimaat, zoals te zien is in Tabel 2.

In Tabel 3 zijn de nieuwe gewasfactoren gecombineerd met de weerreeksen van de klimaatscenario's, met ten opzichte van Tabel 2 verhoogde waarden. Maar ten opzichte van het huidige klimaat vertoont alleen grasland een significant hogere totale verdamping in de W-scenario's.



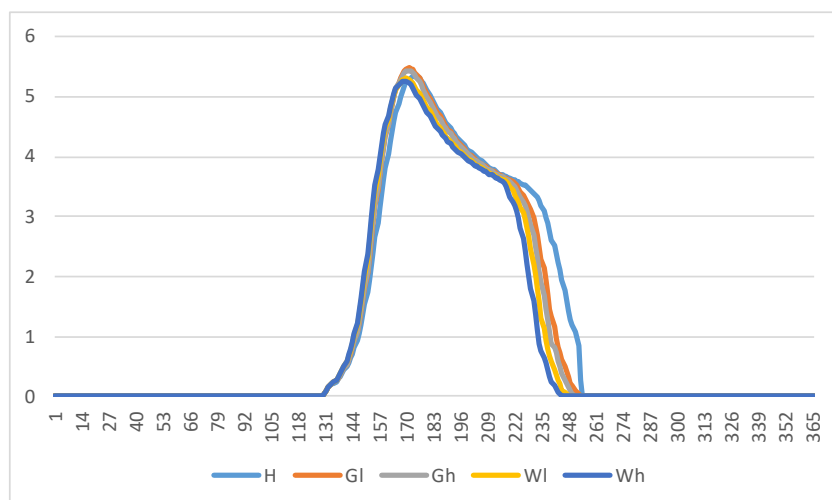
Figuur G.5 Ontwikkeling van de Leaf Area Index LAI voor grasland in het rekenjaar 2000, in 5 klimaatscenario's (H= Huidig, Gl, Gh, WI en Wh van KNMI2014 scenario's).

LAI (-)

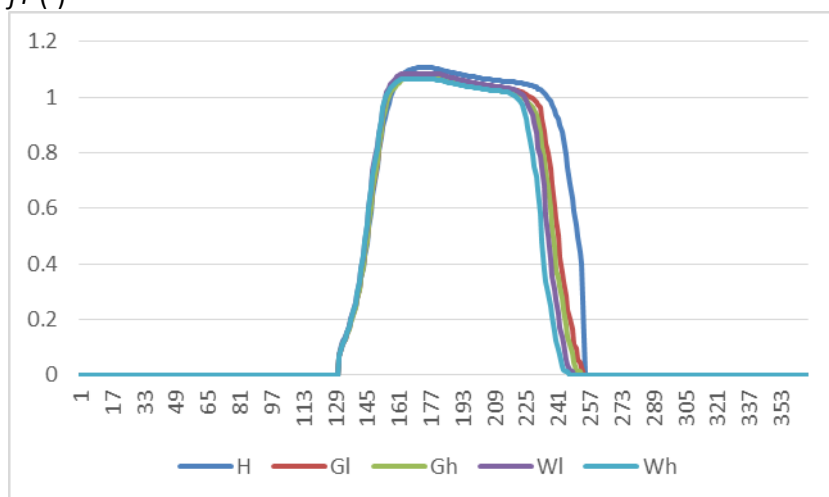
 fT (-)

Figuur G.6 Voor **maïs** de ontwikkeling van de Leaf Area Index (boven) en de gewasfactor fT (onder), langjarig gemiddeld per kalenderdag, in 5 klimaatscenario's (H= Huidig, Gl, Gh, Wl en Wh van KNMI2014 scenario's). Maïs heeft een aanpassingsfactor van 0.91 voor het CO₂-effect in het jaar 2050.

LAI (-)



fT (-)



Figuur G.7 Voor **aardappelen** de ontwikkeling van de Leaf Area Index (boven) en de gewasfactor fT (onder), langjarig gemiddeld per kalenderdag, in 5 klimaatscenario's (H= Huidig, Gl, Gh, Wl en Wh van KNMI2014 scenario's). Aardappelen heeft een aanpassingsfactor van 0.91 voor het CO₂-effect in het jaar 2050.

Tabel G.2 Deeleffecten van alleen de gewasfactoren van KNMI2014 klimaatscenario's op de verdamping bij optimale watervoorziening (ET_{opt}), voor grasland, maïs en aardappelen.
 Verklaring van symbolen: H= Huidig, 1981-2010; Gl, Gh, Wl en Wh zijn KNMI2014 scenario's; T_{pot} = potentiële transpiratie; E_{ic} = interceptieverdamping; E_{act} = actuele bodemverdamping; ET_{opt} = totale verdamping bij optimale watervoorziening. Langjarig gemiddelden voor de weerreeks 1981-2010, in mm per jaar.

Gewas	Klimaat	T_{pot}	E_{ic}	E_{act}	ET_{opt}
Grasland	H	304	100	150	554
Grasland	Gl	299	100	148	547
Grasland	Gh	300	100	147	547
Grasland	Wl	304	102	146	553
Grasland	Wh	303	102	146	551
Maïs	H	256	77	190	524
Maïs	Gl	240	73	190	504
Maïs	Gh	234	71	192	498
Maïs	Wl	234	70	197	502
Maïs	Wh	227	67	200	493
Aardappelen	H	241	74	171	486
Aardappelen	Gl	225	69	180	474
Aardappelen	Gh	219	67	182	468
Aardappelen	Wl	220	66	187	473
Aardappelen	Wh	211	63	190	464

Tabel G.3 **Totale** effecten (gewasfactoren plus klimaatfiles) van KNMI2014 klimaatscenario's op de verdamping bij optimale watervoorziening (ET_{opt}), voor grasland, maïs en aardappelen. Verklaring van symbolen: H= Huidig, 1981-2010; Gl, Gh, Wl en Wh zijn KNMI2014 scenario's; T_{pot} = potentiële transpiratie; E_{ic} = interceptieverdamping; E_{act} = actuele bodemverdamping; ET_{opt} = totale verdamping bij optimale watervoorziening. Langjarig gemiddelden in mm per jaar.

Gewas	Klimaat	T _{pot}	E _{ic}	E _{act}	ET _{opt}
Grasland	H	304	100	150	554
Grasland	Gl	310	102	151	564
Grasland	Gh	322	99	148	569
Grasland	Wl	318	104	150	572
Grasland	Wh	337	98	146	581
Maïs	H	256	77	190	524
Maïs	Gl	252	74	195	522
Maïs	Gh	261	68	196	524
Maïs	Wl	249	70	204	523
Maïs	Wh	265	60	203	528
Aardappelen	H	241	74	171	486
Aardappelen	Gl	236	70	185	491
Aardappelen	Gh	244	63	186	493
Aardappelen	Wl	231	67	192	490
Aardappelen	Wh	245	57	194	495