

Verklaring verschillen tussen uitkomsten Basisprognoses 2024 en uitkomsten Basisprognoses 2018

bevindingen op basis van een beperkte set van geprioriteerde analyses



Verklaring verschillen tussen uitkomsten Basisprognoses 2024 en uitkomsten Basisprognoses 2018

bevindingen op basis van een beperkte set van geprioriteerde analyses

Auteur(s)

Bennie Minnema
Joost Buitink
Kludia Horváth
Ymkje Huismans
Gijs Janssen
Timo Kroon
Sibren Loos
Marjolein Mens
Guilherme Emidio Horta Nogueira
Janneke Pouwels
Geert Prinsen
Marnix van der Vat
Remi van der Wijk
Teun van Woerkom

Verklaring verschillen tussen uitkomsten Basisprognoses 2024 en uitkomsten Basisprognoses 2018

bevindingen op basis van een beperkte set van geprioriteerde analyses

| | |
|-----------------------|--|
| Opdrachtgever | Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving |
| Contactpersoon | Bas de Jong |
| Referenties | |
| Trefwoorden | Basisprognoses, KWA, watervraag, IJsselmeer, West-Nederland, Nationaal Water Model, LSM, LHM |

Documentgegevens

| | |
|----------------------|-----------------------|
| Versie | 1.0 |
| Datum | 17-03-2025 |
| Projectnummer | 11211164-000 |
| Document ID | 11211164-000-ZWS-0004 |
| Pagina's | 63 |
| Classificatie | |
| Status | definitief |

Auteur(s)

| | | |
|--|--|--|
| | Bennie Minnema Geert Prinsen Gijs Janssen Guilherme Emidio Horta Nogueira Janneke Pouwels Joost Buitink Klaudia Horváth Marjolein Mens Marnix van der Vat Remi van der Wijk Sibren Loos Teun van Woerkom Timo Kroon Ymkje Huisman | |
| | | |

Samenvatting

Wat zijn Basisprognoses?

De Basisprognoses van het Nationaal Water Model hebben als doel inzicht te geven in de veranderingen die Nederland op het gebied van zoetwatervoorziening te wachten staat. Het zijn uitkomsten van de doorrekening met hydrologische en hydrodynamische modellen van de Deltascenario's voor de huidige situatie en de zichtjaren 2050 en 2100. De berekeningen voor de Basisprognoses van 2024 (BP2024) zijn in de eerste helft van 2024 uitgevoerd. Hierbij zijn deltasenario's en afvoerscenario's 2024 gebruikt, gebaseerd op de KNMI scenario's van 2023. De resultaten zijn in juni 2024 beschikbaar gesteld via iplo.nl.

Basisprognoses 2024 niet langer beschikbaar

Sinds 5 november 2024 zijn de Basisprognoses 2024 niet langer beschikbaar via iplo.nl. Tijdens het uitvoeren van analyses in het kader van het Deltaprogramma Zoetwater (DPZW) en KZH (Klimaatbestendige Zoetwatervoorziening Hoofdwatersysteem) en het regionaal toetsen daarvan is namelijk vastgesteld dat een deel van de resultaten van de Basisprognoses 2024 onvoldoende overeenkomt met het beeld van de huidige praktijk. De bevindingen hebben geen betrekking op de KNMI-scenario's, de afvoerscenario's en de Deltascenario's. Deze zijn volledig bruikbaar. De vorige Basisprognoses uit 2018 zijn nog wel beschikbaar.

Wat is er geconstateerd?

Bij de analyses die in het kader van DPZW en KZH zijn uitgevoerd, is een aantal onverwachte afwijkingen in de rekenresultaten van de Basisprognoses 2024 naar voren gekomen. Uit een vergelijking van de uitkomsten van de Basisprognoses 2024 met de vorige Basisprognoses van 2018 (BP2018) en de praktijkervaring van de laatste jaren, is gebleken dat:

- In de gebruikte modellen de Klimaatbestendige Wateraanvoervoorziening (KWA) niet vaak genoeg aan gaat. Dit komt doordat in droge jaren er een te laag chloridegehalte bij Krimpen aan den IJssel berekend wordt.
- De berekende watervraag in het IJsselmeergebied en West-Nederland aanzienlijk lager is dan in de Basisprognoses 2018.
- Het IJsselmeerpeil in droge jaren mogelijk minder ver uitzakt dan verwacht.
- De berekende watervraag en het watertekort van gewassen te klein zijn.

Analyse geconstateerde verschillen

Dit rapport getiteld "*Verklaring verschillen tussen uitkomsten Basisprognoses 2024 en uitkomsten Basisprognoses 2018*" bevat een beschrijving van de uitgevoerde analysestappen en bijbehorende bevindingen. Vanwege een beperkte projectduur zijn *niet alle* relevante hypothesen getest en is in overleg met Rijkswaterstaat hierin (middels dagelijkse stand-ups) een prioritering aangebracht. De hieronder weergegeven bevindingen zijn derhalve mogelijk niet uitputtend.

Focus

De focus van de analyses lag op drie hoofdpunten: 1) de Klimaatbestendige Water Aanvoer (KWA), 2) het IJsselmeerpeil, en 3) de watervraag van het IJsselmeer en West-Nederland; de resterende regio's van Nederland zijn in dit onderzoek niet geanalyseerd.

Veranderingen sinds vorige Basisprognoses

Belangrijke veranderingen sinds de vorige Basisprognoses zijn:

- De overstap naar de nieuwe KNMI'23-klimaatscenario's.
- De overstap van een 101-jarige historische reeks naar 8 x 30 jaar synthetisch weer, waaruit 3 ensembles geselecteerd zijn.
- Afvoerscenario's: de overstap van tijdreeksformatie van de historische afvoerreeks naar wflow_sbm gebaseerde bias-correctie van Rijnafoeren.
- Een update van LSM2 naar LSM3:
 - Actualisatie rivierbodemoogte.
 - Nieuwe dispersieformulering voor zout.
 - Actualisatie sturing.
- Een update van LHM3.4 naar LHM4.3, o.a.:
 - Actualisatie van het onverzadigde zone model (MetaSWAP) en introductie van de koppeling met een gewasgroeimodel (MetaSWAP-WOFOST).
 - Update parameters ontwatering, beregening, landgebruik, onttrekkingen, REGIS-ondergrond, droogtegevoeligheid van kleigronden.
 - Kalibratie van het ondergrondmodel.
 - Verwerken van aanbevelingen uit regionale sessies DP Zoetwater: update doorspoeldebieten, aanpassingen in het waterverdelingsnetwerk, aanpassingen in de verdringingsreeks, streefpeil IJsselmeer/Markermeer, capaciteiten van kunstwerken etc.
- Door een fout in de dampspanningsinvoer is in de BP2024-berekeningen de met MetaSWAP-WOFOST berekende verdamping van landbouwgewassen te laag.

Hypotheses en aanpak analyses

Bij aanvang van de analyses is samen met Rijkswaterstaat en HydroLogic¹ een lijst van meest waarschijnlijke hypothesen opgesteld. Vanwege de beperkte looptijd van het onderzoek is in overleg met Rijkswaterstaat per hoofdpunt (KWA, IJsselmeerpeil, watervraag IJsselmeer en West-Nederland) een selectie gemaakt van de te testen hypothesen. Deze geselecteerde hypothesen zijn getest door het analyseren van de in- en uitvoer van de modellen en het uitvoeren van testberekeningen voor een historisch droog jaar (2003) aangevuld met een enkele 30-jarige run voor het droogste referentie-ensemble. Voor het historische jaar 2003 zijn twee soorten vergelijkingen uitgevoerd:

- 1 BP2024-uitkomsten versus de BP2018-uitkomsten (uit de historische 101-jarige reeks) door het BP2024-model de meteo en debieten van Lobith van het historische droge jaar 2003 op te leggen, en
- 2 LHM4.3 versus LHM3.4, ook met de meteo en debieten van Lobith van het historische droge jaar 2003.

De belangrijkste redenen om in de analyse ook LHM4.3 en LHM3.4 onderling te vergelijken waren dat LHM3.4 en LHM4.3 ten grondslag liggen aan respectievelijk de BP2018- en de BP2024-berekeningen, en omdat aanpassingen in deze modellen technisch gezien veel sneller gerealiseerd konden worden.

Er zijn geen testen uitgevoerd voor gemiddelde of natte historische jaren, noch voor volledige 3 x 30-jarige synthetische ensembles. De uitgevoerde testberekeningen geven derhalve een indruk van hoe het model met zeer droge randvoorwaarden reageert, echter, wat dit betekent voor modeluitkomsten met minder droge randvoorwaarden is in dit onderzoek niet gekwantificeerd.

¹ HydroLogic is betrokken, omdat zij voor KZH en DPZW analyses heeft uitgevoerd.

Analyse van de KWA

De berekende chloridegehalten bij Krimpen aan den IJssel in de BP2024-uitkomsten zijn lager dan in de BP2018-uitkomsten, waardoor de KWA in BP2024 in de referentie niet aangaat. De hoofdoorzaak is dat LSM3 bij lage afvoeren andere afvoerverhoudingen Oude Maas - Nieuwe Maas berekent dan LSM2. Hieronder volgen de belangrijkste bevindingen van de onderzochte voor de KWA relevante hypothesen:

- Afvoerverhoudingen Oude Maas - Nieuwe Maas: de afvoerverdeling tussen Oude en Nieuwe Maas bij lage afvoeren is in BP2024 ongeveer 1/2-1/2 en in BP2018 ongeveer 2/3 – 1/3, wat leidt tot lagere chloridegehalten bij Krimpen aan den IJssel in BP2024. Dit is de hoofdoorzaak van het niet aangaan van de KWA bij lage afvoeren.
- Statistieken van de laagste Lobith-afvoeren:
 - Er is een goede overeenkomst tussen de synthetische en historische 1991-2020 reeks; de laagste afvoeren in de synthetische reeks zijn niet te hoog, maar zelfs iets lager dan de in de historische reeks.
 - Maar, door de keuze voor de referentieperiode 1991-2020 zitten er minder extreem droge jaren (uitschieters zoals 1921 en 1976) in de synthetische afvoerreeks, en dan vooral minder lage afvoerdebieten die in juli plaatsvinden.
 - De reeksen hebben goede overeenkomst tot een herhalingstijd van eens per 20 jaar.
 - Coïncidentie lage afvoerdebieten en hoge benedenstroomse Noordzeewaterstanden: er is geen significant verschil in de coïncidentie van lage afvoeren en hoge waterstanden tussen BP2024 en BP2018.

Geconcludeerd is dat het feit dat de KWA in de referentierun van BP2024 niet aangaat *niet* wordt veroorzaakt doordat t.o.v. BP2018 is overgestapt van een historische reeks van 101 jaar naar synthetische afvoerreeksen.

- Achtergrond-chlorideconcentraties bij Lobith: er is geconstateerd dat de chloride-randvoorwaarden bij Lobith in BP2024 lager zijn door een fout in de implementatie van een nieuwe chloride-formulering, maar dit is *niet* de oorzaak van het niet aangaan van de KWA, omdat dit nauwelijks invloed heeft op hogere concentraties.
- Uit aparte testsommen blijkt dat de andere relevante hypothesen (in LSM een bathymetrie update, andere LSM-sturing, aanpassingen in de verdringingsreeks, de lagere watervraag vanuit West-Nederland (o.a. verondersteld als gevolg van LHM-updates)), in combinatie met de hierboven genoemde fout in de chloride-randvoorwaarden bij Lobith, gezamenlijk niet de oorzaak kunnen zijn van het niet aangaan van de KWA.

Analyse van het IJsselmeerpeil

De verwachting van een groter buffergebruik in BP2024 is gebaseerd op een grotere doorspoelvraag voor de Afsluitdijk, een afname van de aanvoer via de IJssel en een toename van het neerslagtekort. Echter, door een lagere berekende regionale watervraag en ander peilbeheer in de BP2024-berekeningen resulteert dit opgeteld in een buffergebruik dat vergelijkbaar is met het buffergebruik van de BP2018-berekeningen.

Analyse van de verschillen in watervraag IJsselmeer

- De totale watervraag (inlaatbehoefte) aan het IJsselmeer in de BP2018-referentieberekeningen was voor het historische jaar 2003 gelijk aan 1293 Mm³. In de BP2024-testrun voor het historische jaar 2003 is dit gelijk aan 1046 Mm³, een vermindering van 247 Mm³ (19%), waarvan 196 Mm³ minder voor peilbeheer, 44 Mm³ *meer* voor doorspoeling en 95 Mm³ minder voor berekening.
- Het verschil in doorspoeling is gebaseerd op de door regio's aangeleverde nieuwe doorspoeldebieten (die in de berekeningen hard zijn opgelegd).

- Het verschil in watervraag kan worden verklaard aan de hand van LHM-vergelijkingen: de watervraag van LHM4.3 voor 2003 is t.o.v. LHM3.4 zo'n 12% minder. Individuele aanpassingen in LHM4.3-testsommen voor 2003 laten de volgende individuele effecten zien op de watervraag: topsysteem-weerstanden-update: 6.5% minder, topsysteem-peilen-update: 6,4% minder, MetaSWAP-WOFOST: 3.2% minder, nieuwe beregeningskaart: 2.4% minder, fout in dampspanning: 1.8% minder, kalibratie: 0.7% minder.
- Genoemde individuele LHM-effecten mogen niet zomaar bij elkaar worden opgeteld, omdat de individuele aanpassingen elkaar beïnvloeden; om het gezamenlijke effect te kwantificeren zou een combinatie-run uitgevoerd kunnen worden, echter, dit was binnen de beperkte looptijd van dit onderzoek niet mogelijk.
- Uit een recente analyse van de koppeling tussen MODFLOW en MOZART (onderdeel van LHM 4.3) is gebleken dat deze koppeling fouten bevat in het oosten en zuiden van Nederland. Deze fout zit ook in de berekende individuele effecten van de peilen-update en weerstanden-update in het LHM-topsysteem en in de berekende effecten van de kalibratie van de ondergrond. In relatie tot het IJsselmeergebied werkt dit vooral door in de KPA-regio 'Drents plateau'. Het kwantificeren van het effect van deze fout op de watervraag IJsselmeer was binnen de looptijd van dit onderzoek niet mogelijk.

Analyse van de verschillen in watervraag West-Nederland

- De totale watervraag voor West-Nederland is in de BP2024-berekeningen significant lager dan in de BP2018-berekeningen, echter, dit verschil kan op basis van de uitgevoerde analyses slechts gedeeltelijk verklaard worden.
- De totale watervraag voor West-Nederland in de BP2018-referentieberekeningen was voor het historische jaar 2003 gelijk aan 526 Mm³. In de BP2024-testrun voor het historische jaar 2003 is dit gelijk aan 360 Mm³, een vermindering van 166 Mm³ (32%), waarvan 38 Mm³ minder voor peilbeheer, 82 Mm³ minder voor doorspoeling en 46 Mm³ minder voor beregning.
- Het verschil in doorspoeldebieten kan verklaard worden door de update op basis van input van de regio's (waarbij deze nieuwe getallen in de berekeningen hard worden opgelegd).
- De watervraag van LHM4.3 voor 2003 is t.o.v. LHM3.4 zo'n 30% minder. Individuele aanpassingen in LHM4.3-testsommen voor het jaar 2003 laten de volgende individuele effecten zien op de watervraag: update weerstanden in topsysteem: 8% minder, topsysteem-peilen-update: 3% minder, MetaSWAP-WOFOST: 2% minder, nieuwe beregeningskaart: 3% minder, fout in dampspanning: 1% minder. De kalibratie doet de watervraag met 5% stijgen.
- Genoemde individuele LHM-effecten mogen niet zomaar bij elkaar worden opgeteld, omdat de individuele aanpassingen elkaar beïnvloeden; om het gezamenlijke effect te kwantificeren zou een combinatie-run uitgevoerd kunnen worden, echter, dit was binnen de beperkte looptijd van dit onderzoek niet mogelijk.

Voor onderstaande LHM4.3-updates is het effect op de watervraag *niet* onderzocht:

- Een update van de REGIS-ondergrond.
- Een actualisatie van de onttrekkingsgegevens.
- Een actualisatie van de landgebruikskaart.
- Een update van de parameterisatie van kleigronden in MetaSWAP, en overige veranderingen in MetaSWAP tussen LHM 3.4 en LHM 4.3.
- Een aanpassing van de verdringingsreeks.

Het effect van deze updates op de grondwaterstand is beschreven in desbetreffende LHM-veranderingsrapportages. Op basis daarvan wordt het effect van de aanpassing van de parameterisatie van de kleigronden op de watervraag als significant ingeschat, echter, dit is niet getest omdat dit o.a. een aanpassing van de MetaSWAP-parameterisatie vergt hetgeen binnen de beperkte looptijd van dit onderzoek niet mogelijk was.

Effecten van de fout in de dampspanningsinvoer

Naast onderzoek naar de watervraag is ook gekeken naar het effect op de grondwaterstanden. De fout in de dampspanningsinvoer heeft vooral een significant effect op de GLG's, namelijk in de orde van grootte van decimeters (tot 1-2 decimeters in sommige gebieden, met name in Noord-Nederland). Opvallend genoeg vertaalt dit zich voor het droge jaar 2003 niet in een groot effect op de watervraag voor het IJsselmeer en West-Nederland; daarbij is wel geconstateerd dat het effect op deze watervraag toeneemt naarmate de GLG's ondieper zijn. De grootte van de effecten en de omvang van de gebieden met effecten variëren van jaar tot jaar. Hoewel het effect op de watervraag beperkt is, is het effect op de GLG's en daarmee op de berekende watertekorten dusdanig dat de Basisprognose-resultaten niet bruikbaar zijn voor o.a. effectbepalingen voor de landbouw.

Effecten van de LHM-kalibratie

Naast onderzoek naar de watervraag is ook gekeken naar het effect op de grondwaterstanden. Het effect van de LHM-kalibratie in een 2003-testsom op de GxG's is significant, namelijk tot ongeveer 50 cm in zandige gebieden met diepere grondwaterstanden. Het effect varieert van regio tot regio: de kalibratie doet de watervraag voor Friesland/Groningen afnemen terwijl het voor Noord-Holland dan toeneemt waardoor er per saldo vrijwel geen effect is op de watervraag voor het IJsselmeer als geheel.

Gevolgen effectbepaling

De resultaten van BP2024 zijn gebruikt om de maatschappelijke effecten van veranderende zoetwaterbeschikbaarheid en watervraag te bepalen met behulp van de zogenoemde effectmodules. De hierboven geconstateerde tekortkomingen in de resultaten van BP2024 hebben ook gevolgen voor de effecten die afgeleid zijn van resultaten van de modellen, zoals watervraag- en tekort en grondwaterstanden. Geconcludeerd kan worden dat alleen voor scheepvaart het bepaalde economische effect van de scenario's betrouwbaar geacht wordt.

Samenvattende conclusies

- **KWA:** de afvoerverdeling tussen Oude en Nieuwe Maas is anders in BP2024, wat leidt tot lagere chloridegehalten bij Krimpen aan den IJssel. Dit is de hoofdoorzaak van het niet aangaan van de KWA.
- **IJsselmeerpeil:** De verwachting van een groter buffergebruik in BP2024 is gebaseerd op een grotere doorspoelvraag voor de Afsluitdijk, een afname van de aanvoer via de IJssel en een toename van het neerslagtekort. Echter, door een lagere berekende regionale watervraag en ander peilbeheer in de BP2024-berekeningen resulteert dit opgeteld in een buffergebruik dat vergelijkbaar is met het buffergebruik van de BP2018-berekeningen.
- **Watervraag IJsselmeer:** de vergelijking voor het droge jaar 2003 van de BP2018-uitkomsten en een BP2024-testrun met de historische randvoorwaarden van het jaar 2003 laat een afname van de watervraag van 247 Mm³ zien. Deze afname kan op basis van een vergelijking tussen LHM3.4 en LHM4.3 verklaard worden door de update van de peilen en weerstanden van het topsysteem, de introductie van het MetaSWAP-WOFOST-concept en de update van de beregeningskaart. Het effect van de fout in de koppeling tussen MODFLOW en MOZART is niet gekwantificeerd.
- **Watervraag West-Nederland:** de vergelijking voor het droge jaar 2003 van de BP2018-uitkomsten en een BP2024-testrun met de historische randvoorwaarden van het jaar 2003 laat een afname van de watervraag van 167 Mm³ zien.

Deze afname kan op basis van een vergelijking tussen LHM3.4 en LHM4.3 aan de hand van de onderzochte LHM-aanpassingen slechts gedeeltelijk verklaard worden door de updates in het topsysteem. Daarnaast kan de aanpassing van de parameterisatie van de kleigronden ook een belangrijke oorzaak van het verschil zijn, echter, dit kon binnen deze analyse niet onderzocht worden.

- **GxG's:** het effect van de fout in de dampspanningsinvoer op de watervraag is beperkt, echter, het effect op de GxG's is dusdanig significant dat de resultaten van de Basisprognoses niet bruikbaar zijn voor grondwaterstanden-gerelateerde analyses. Daarnaast heeft ook de kalibratie een significant effect op de GxG's gehad.
- **Gevolgen effectbepaling:** Alleen voor scheepvaart wordt het economische effect van de scenario's betrouwbaar wordt geacht.

Inhoud

| | | |
|----------|--|-----------|
| | Samenvatting | 4 |
| 1 | Inleiding | 12 |
| 1.1 | Vraagstelling | 12 |
| 1.2 | Aanpak | 12 |
| 1.3 | Afbakening | 13 |
| 1.4 | Leeswijzer | 14 |
| 2 | Verschillen en hypothesen | 15 |
| 2.1 | Verschillen tussen uitkomsten BP2024 en BP2018 | 15 |
| 2.2 | Nationaal Water Model | 16 |
| 2.3 | Hypothesen | 18 |
| 3 | Klimaatbestendige Water Aanvoer (KWA) gaat niet aan in referentierun | 19 |
| 3.1 | KWA-mechanisme | 19 |
| 3.2 | Relevante hypothesen | 19 |
| 3.3 | Berekende chloridegehalten bij Krimpen aan den IJssel | 21 |
| 3.4 | Statistieken van de laagste Lobith-afvoeren | 22 |
| 3.5 | Coïncidentie lage afvoerdebieten en hoge benedenstroomse Noordzeewaterstanden | 25 |
| 3.6 | Achtergrond chlorideconcentraties bij Lobith | 26 |
| 3.7 | Chlorideverschillen in afvoerverhoudingen Oude Maas / Nieuwe Maas bij lage Q-Lobith-debieten | 28 |
| 3.8 | Verschillen door update LSM-bathymetrie | 30 |
| 3.9 | Verschillen door wijzigingen in sturing van LSM3 t.o.v. NDB-model | 32 |
| 3.10 | Verschillen in regionale watervraag West-Nederland door fout in dampspanningsinvoer en updates van LHM | 33 |
| 3.11 | Cumulatieve effecten met aangepast LSM3-model | 34 |
| 4 | IJsselmeerpeil zakt minder uit dan verwacht | 37 |
| 4.1 | Verwachtingen buffergebruik IJsselmeer in droge zomers | 37 |
| 4.2 | Relevante hypothesen | 37 |
| 4.3 | Buffergebruik BP2024 versus BP2018 | 37 |
| 5 | Watervraag hoofdregio's in BP2024 kleiner dan verwacht | 39 |
| 5.1 | Watervraag hoofdregio's – BP2024 versus BP2018 | 39 |
| 5.2 | Hoe wordt binnen NWM de watervraag berekend en verrekend | 40 |
| 5.3 | Relevante hypothesen | 40 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 5.4 | Effecten LHM-updates en fout in dampspanningsinvoer | 41 |
| 5.4.1 | Beschrijving fout in dampspanningsinvoer | 41 |
| 5.4.2 | Beschrijving LHM-updates | 41 |
| 5.4.3 | Analyse-aanpak | 41 |
| 5.4.4 | Effecten op watervraag voor historisch droog jaar 2003 | 43 |
| 5.4.5 | Effecten van fout in dampspanningsinvoer voor synthetisch 30-jarig ensemble | 50 |
| 5.4.5.1 | Effect op de watervraag | 51 |
| 5.4.5.2 | Effect op GxG's | 54 |
| 5.4.5.3 | Relatie effect op GLG en effect op watervraag | 54 |
| 5.4.5.4 | Conclusies | 55 |
| 5.4.6 | Effect van kalibratie | 56 |
| 5.4.6.1 | Effect op watervraag | 56 |
| 5.4.6.2 | Effect op GxG's | 57 |
| 5.5 | Conclusies t.a.v. de verklaring van de verschillen in watervraag | 58 |
| 6 | Gevolgen effectbepaling | 59 |
| 7 | Aanbevelingen | 60 |
| | Referenties | 62 |

1 Inleiding

1.1 Vraagstelling

In de periode april t/m begin juni 2024 zijn met het Nationaal Water Model (NWM) de 'Basisprognoses 2024'-berekeningen uitgevoerd; tijdens de aansluitende plausibiliteitstestdag medio juni 2024 bleek uit een steekproef van de berekeningsresultaten o.a. dat de KWA (Klimaatbestendige Water Aanvoer) in de referentierun niet was aangegaan. In opdracht van IenW (specifiek het Deltaprogramma Zoetwater (DPZW) en het programma Klimaatbestendige Zoetwatervoorziening Hoofdwatersysteem (KZH)) is door HydroLogic met input van regionale waterbeheerders in de zomermaanden een knelpuntenanalyse uitgevoerd. Hieruit kwam het beeld naar voren dat de uitkomsten van de Basisprognoses-2024 ook voor andere punten afwijken van eerdere modelberekeningen, praktijkbeelden en -ervaring. Rijkswaterstaat heeft eind september 2024 Deltares verzocht op korte termijn te achterhalen wat de oorzaken van deze verschillen zijn, zodat duidelijk is of:

- de uitkomsten van de Basisprognoses 2024 (BP2024) weliswaar afwijken van de vorige Basisprognoses 2018 (BP2018), maar toch plausibel en uitlegbaar zijn, of
- dat de modeluitkomsten op onderdelen gecorrigeerd zullen moeten gaan worden.

De daarbij aangegeven belangrijkste punten zijn dat:

- 1 de Klimaatbestendige Water Aanvoer (KWA) in de referentiesom niet aangaat,
- 2 het IJsselmeerpeil "*minder uitzakt dan verwacht*", en
- 3 de watervraag minder is dan bij de vorige Basisprognoses.

Eventuele verschillen in andere modeluitvoervariabelen (oppervlaktewaterpeilen, grondwaterstanden, etc.) zijn niet de focus van de analyses in dit project geweest.

1.2 Aanpak

Samen met Rijkswaterstaat en HydroLogic is bij aanvang van de analyses een lijst van hypothesen opgesteld van mogelijke oorzaken van de verschillen t.a.v. de hierboven genoemde drie belangrijkste punten (de KWA, het IJsselmeerpeil en watervraag IJsselmeer (in Figuur 1.1 KPA-regio's 1,8,9,15,16 en 17) en West-Nederland (in Figuur 1.1 KPA-regio's 10 en 12)). Deze hypothesen zijn zoveel mogelijk getest door het analyseren van de in- en uitvoer van de modellen en het uitvoeren en analyseren van kortlopende (indien mogelijk eenjarige) testberekeningen voor een historisch droog jaar (b.v. het jaar 2003, zie alinea hieronder). In dagelijkse stand-ups met Rijkswaterstaat (DPZW en KZH) zijn de tussentijdse analyseresultaten besproken en is steeds op basis daarvan gezamenlijk geprioriteerd en zijn besluiten genomen t.a.v. vervolganalyses.

2003

Binnen de analyses is getracht voor een typisch historisch droog jaar testruns uit te voeren en de modeluitkomsten daarvan met elkaar te vergelijken. Hiervoor is het jaar 2003 gekozen, omdat dit droge jaar zowel onderdeel uitmaakt van de historische periode 1990-2020 die het KNMI gebruikt heeft om de synthetische ensembles op te baseren, alsook onderdeel is van de 101-jarige historische reeks van de BP2018-berekeningen (1911-2011).

De BP2024-modellen bevatten de synthetische KNMI-meteo- en afvoerdebieten; voor de 2003-testruns met de BP2024-modellen als uitgangspunt zijn deze synthetische randvoorwaarden vervangen door de historische meteo-randvoorwaarden en de historische afvoerdebieten bij Lobith van het jaar 2003.



Figuur 1.1: Indeling in KPA-regio's. Hoofdreio 'IJsselmeer': KPA-regio's 1,8,9,15,16 en 17. Hoofdreio 'West-Nederland': KPA-regio's 10 en 12, hoofdreio 'Rivierengebied': KPA-regio's 6, 7 en 11, hoofdreio 'Zuidwestelijke Delta zonder aanvoer': KPA-regio 13, en hoofdreio 'Hoge Zandgronden': KPA-regio's 2, 3, 4, 5 en 14. Dit betreft de 'oude' regio-indeling zoals gebruikt voor de KPA 2018. Deze indeling is voor de huidige studie gebruikt.

1.3 Afbakening

Omdat de beschikbare looptijd voor de analyses gelimiteerd was, heeft de analyse zich tot het bovenstaande moeten beperken. De analyse is erop gericht geweest de *belangrijkste* oorzaken van bovenstaande drie punten (zie paragraaf 1.1) te identificeren.

De uitkomsten kunnen ook voor andere uitvoervariabelen verschillend zijn, echter, het identificeren en kwantificeren van die verschillen en het vaststellen van de bijbehorende oorzaken daarvan is geen onderdeel van deze analyse geweest; voorbeelden daarvan zijn b.v. de oorzaken van verschillen in watervraag voor andere regio's dan het IJsselmeer en West-Nederland of verschillen in berekende GxG's².

Daarnaast is Deltares gevraagd aansluitend een beeld te schetsen in hoeverre de uitkomsten van de Basisprognoses 2024 bruikbaar zijn als input voor de zogenaamde effectmodules.

Tevens zijn de huidige versie van QWAST en de huidige Basisprognoseberekeningen vergeleken, de bijbehorende bevindingen zijn beschreven in een apart Deltares-rapport (Mens, 2025).

1.4 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 beschrijft de belangrijkste geconstateerde verschillen tussen de uitkomsten van BP2024 en BP2018. Daarnaast wordt een lijst van mogelijke oorzaken (hypotheses) van deze verschillen gepresenteerd.

In Hoofdstuk 3 wordt ingegaan op het mechanisme van de KWA en de relevante hypothesen die kunnen verklaren waarom de KWA in de referentierun van BP2024 niet aangaat. Verschillende analyses en testberekeningen worden besproken.

Hoofdstuk 4 bevat de beschrijving van de analyse waarom het IJsselmeerpeil in de BP2024-uitkomsten minder uitzakt dan verwacht. De verwachtingen en relevante hypothesen worden geanalyseerd en vergeleken met de BP2018-uitkomsten.

Hoofdstuk 5 bevat een beschrijving van de analyses gericht op de vraag waarom de watervragen van de hoofdregio's IJsselmeer en West-Nederland in de BP2024-uitkomsten lager zijn dan in BP2018.

In hoofdstuk 6 worden de gevolgen van de geconstateerde verschillen voor de maatschappelijke effecten van veranderende zoetwaterbeschikbaarheid en watervraag besproken. De betrouwbaarheid van de resultaten van de effectmodules wordt geëvalueerd.

Hoofdstuk 7 bevat een aantal aanbevelingen ten aanzien van de voorbereiding van eventuele herberekeningen.

² GxG's: afkorting voor GLG, GHG en GVG: Gemiddeld Laagste Grondwaterstand, Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand, Gemiddelde Voorjaars Grondwaterstand.

2 Verschillen en hypothesen

Dit hoofdstuk bevat een beschrijving van:

- 1 de belangrijkste geconstateerde verschillen tussen de uitkomsten van BP2024 en de uitkomsten van BP2018, en
- 2 de bijbehorende lijst van hypothesen van mogelijke oorzaken van deze verschillen.

In de hoofdstukken daarna (hoofdstukken 3, 4 en 5) worden de analyses per focuspunt beschreven die zijn uitgevoerd conform de aanpak zoals beschreven in paragraaf 1.2.

2.1 Verschillen tussen uitkomsten BP2024 en BP2018

Zoals in hoofdstuk 1 aangegeven is dit onderzoek gericht op de drie belangrijkste geconstateerde verschillen, namelijk dat:

- 1 de Klimaatbestendige Water Aanvoer (KWA) in de referentiesom nu niet aangaat,
- 2 het IJsselmeerpeil "*minder uitzakt dan verwacht*", en
- 3 de watervraag minder is dan bij de vorige Basisprognoses.

Tijdens het startoverleg (2 oktober 2024) is eerst een langere lijst van symptomen/verschillen opgesteld:

- 1 **KWA gaat niet aan tijdens Referentie**
- 2 **Uitzakken IJsselmeerpeil: zakt te weinig uit (niet vaak genoeg onder de -0.30 m)**
- 3 **Frequentie/volumes watertekorten is nu veel lager dan bij de vorige Basisprognoses.**
- 4 **Chloride Krimpen / Chloride Bernisse lager dan verwacht.**
- 5 Afvoer van de grens-Maas anders dan verwacht.
- 6 Maximale debieten Prins-Bernard en Irenesluizen lager dan verwacht.
- 7 **Rijnafvoer: laagste afvoer is hoger dan historische reeks; opm. KNMI ijkte op 1991-2020.**
- 8 Referentie nu vs. vorige keer: watervraag ARK-NZK lager dan men had verwacht.
- 9 Berekening vanuit grondwater is lager dan verwacht (Zandgebied Oost-Nederland)

Overig:

- 10 De ruimtelijke verdeling van de verandering van de neerslag vertoont met name in het Ruim2050-scenario een opvallend patroon:
 - a. Valt dit patroon binnen de bandbreedte van de ruis van de klimaatscenario's?
 - b. Is dit patroon zuiver 'toevallig' – en zou de ruimtelijke spreiding ook andersom kunnen zijn – of is er (ook) een fysische verklaring?
- 11 De tekorten in het Stoom2050-scenario zijn nu kleiner dan bij de vorige Basisprognoses.
- 12 Binnen het Kennisprogramma Zeespiegelstijging is geconstateerd dat binnen het Hd-scenario extremen (b.v. van Q-Lobith) van 2100 naar 2150 afnemen.

Wel en niet onderzochte verschillen

De analysetijd was gelimiteerd waarbij in bovenstaande lijst de **vetgedrukte verschillen** binnen deze analyse prioriteit gekregen hebben; de oorzaken van de niet-vetgedrukte verschillen zijn binnen dit project niet onderzocht.

2.2 Nationaal Water Model

Voor de Basisprognose-berekeningen van 2024 is evenals 6 jaar geleden het Nationaal Water Model ingezet. Het Nationaal Water Model bestaat uit een combinatie van:

- Het Landelijk Hydrologisch Model (LHM).
- Het Landelijk Sobek Model (LSM).
- Een FEWS-schil voor de aansturing en interactie tussen LHM en LSM.

Een NWM-berekening bestaat uit de sequentie van:

- 1 een LHM-run zonder zoutbeperking (afgekort: *LHMZ0-run*), met als *output* o.a. berekende regionale watervragen, die vervolgens binnen de LSMZ0-run aan het hoofdwatersysteem als randvoorwaarden worden opgelegd.
- 2 een LSM3-run (afgekort: *LSM3Z0-run*), met als *input* de berekende watervraag van de *LHMZ0-run*, met als *output* o.a. berekende chloridegehalten in het hoofdwatersysteem, maar zonder dat de KWA binnen deze LSM3Z0-run in werking kan treden;
- 3 een LHM-run (afgekort: *LHMZ1-run*), met als *input* de binnen de LSMZ0-run berekende chloridegehalten als randvoorwaarden, en als *output* o.a. een bijbehorende update van de watervraag aan het hoofdwatersysteem, waarbij de KWA wel in werking kan treden.
- 4 een LSM3-run (afgekort: *LSM3Z1-run*), met als *input* de uit de LHMZ1-run afkomstige update van de regionale watervraag, met als *output* o.a. peilen, debieten, chloridegehalten en temperatuur van het hoofdwatersysteem.

Voor de BP2024-berekeningen zijn eerst alle individuele onderdelen, namelijk LHM, LSM en FEWS ge-update naar de laatste versies daarvan, zie Tabel 2.1 en Tabel 2.2.

Voor de BP2024-berekeningen zijn de Deltascenario's 2024 (Van der Brugge en De Winter, 2024) verwerkt in de invoer van het NWM (Janssen et al., 2024). De Deltascenario's bestaan uit een combinatie van een klimaat-as en een socio-economische as. De laatste heeft betrekking op landgebruik, drinkwater en industriële onttrekkingen en lozingen.

De klimaat-as betreft de meteo-invoer en gehanteerde afvoer- en waterstandreeksen als randvoorwaarden. Voor de BP2024-berekeningen is overgestapt naar een nieuwe aanpak:

- BP2018: berekeningen zijn uitgevoerd voor een 101-jarige *historische* reeks van de jaren 1911 t/m 2011 als referentie.
- BP2024: het KNMI heeft 8 ensembles à 30 jaar synthetische meteo- en afvoerreeksen opgesteld (de zogenaamde *volledige reeks* van 240 jaar), waaruit door het KNMI een zogenaamde *optimale set* van 3 ensembles à 30 jaar synthetische reeksen is geselecteerd; voor die 3 x 30 = 90 jaar zijn de BP2024-berekeningen uitgevoerd.

Derhalve kan er naar drie categorieën van oorzaken van verschillen gekeken worden:

- 1 Verschillen als gevolg van de nieuwe en/of uitgebreidere versies van de individuele modellen.
- 2 Verschillen als gevolg van nieuwe / andere randvoorwaarden.
- 3 Verschillen veroorzaakt door implementatiefouten.

Tabel 2.1: Lijst van belangrijkste veranderingen in de aanpak en in de modellen van de Basisprognose-berekeningen 2024 ten opzichte van 2018.

| | BP2018 | BP2024 | Belangrijkste aanpassingen |
|---|---|---|--|
| 1 | Klimaatscenario's KNMI'14-scenario's historische reeks 1910-2011 | KNMI'23-scenario's 8 x 30 jaar synthetisch weer | |
| 2 | Afvoerscenario's tijdreeksformatie historische afvoerreeks | wflow-SBM bias-correctie | |
| 3 | Basisprognoses per scenario een verandering t.o.v. historische reeks van 101 jaar | per scenario een verandering t.o.v. synthetisch referentierun van 3 x 30 jaar | |
| 4 | Deltascenario's | Beleidsarme keuze peilopzet veenweidegebieden | |
| 5 | LSM LSM-light + NDB | LSM3 | van SOBEK2 naar SOBEK3 actualisatie bodemhoogte rivieren nieuwe dispersieformulering actualisatie sturing van 7 naar 2000 lateralen |
| 6 | LHM versie 3.4 | versie 4.3 | update REGIS-ondergrond update oppervlaktewaterpeilen actualisatie onttrekkingsgegevens actualisatie landgebruikskaart actualisatie beregeningskaart toevoeging gewasgroei (WOFOST) update parameterisatie kleigronden actualisatie doorspoelingsdebiëten aanpassing verdringingsreeks kalibratie grondwatermodel |

Tabel 2.2: Referenties bij Tabel 2.1.

| Referenties | |
|-------------|---|
| 1 | https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/achtergrond/knmi-23-klimaatscenario-s |
| 2 | https://publications.deltares.nl/11209265_002_0003.pdf |
| 3 | KNMI - Bepaling van de optimale referentie en de optimale subsets voor de KNMI'23 klimaatscenario's |
| 4 | https://publications.deltares.nl/11209219_hoofdrapport.pdf |
| 5 | https://publications.deltares.nl/1230077_003.pdf Aanpassing, herkalibratie en verificatie SOBEK3 model van de Rijn-Maasmonding, Frans Buschman, Deltares, 2018 |
| 6 | Veranderingsrapportages LHM: https://nhi.nu/documents/102/11209235-000-BGS-0001_Veranderingsrapportage_LHM_4.3_-_voor_publicatie.pdf https://nhi.nu/documents/93/11206816-001-BGS-0002_v0.1-Veranderingsrapportage_LHM_4.2_-_signed_KwLpOHX.pdf https://nhi.nu/documents/92/11205261-000-BGS-0001_-_Veranderingsrapportage_LHM_4.1_-_definitief_2020.pdf https://nhi.nu/documents/91/11203718-000-BGS-0002_Veranderingsrapportage_LHM_4.0-feb_2020-c_eNgzWes.pdf https://nhi.nu/documents/95/11202224-012-BGS-0001_v1.1-Veranderingsrapportage_LHM_3.6.0_juni_2019_DEF.pdf https://nhi.nu/documents/100/11202224-004-BGS-0001-v1-r-Veranderingsrapportage_LHM_3.5.0_-_DEF.pdf https://nhi.nu/documents/99/11202224-003-BGS-0001-v5-r-Veranderingsrapportage_LHM_3.4.0-def_-_aanpassing_n_kVJuPgi.pdf |

2.3 Hypotheses

Het bovenstaande in acht nemende is tijdens het startoverleg van 2 oktober 2024 onderstaande lijst van mogelijke oorzaken / hypothesen opgesteld:

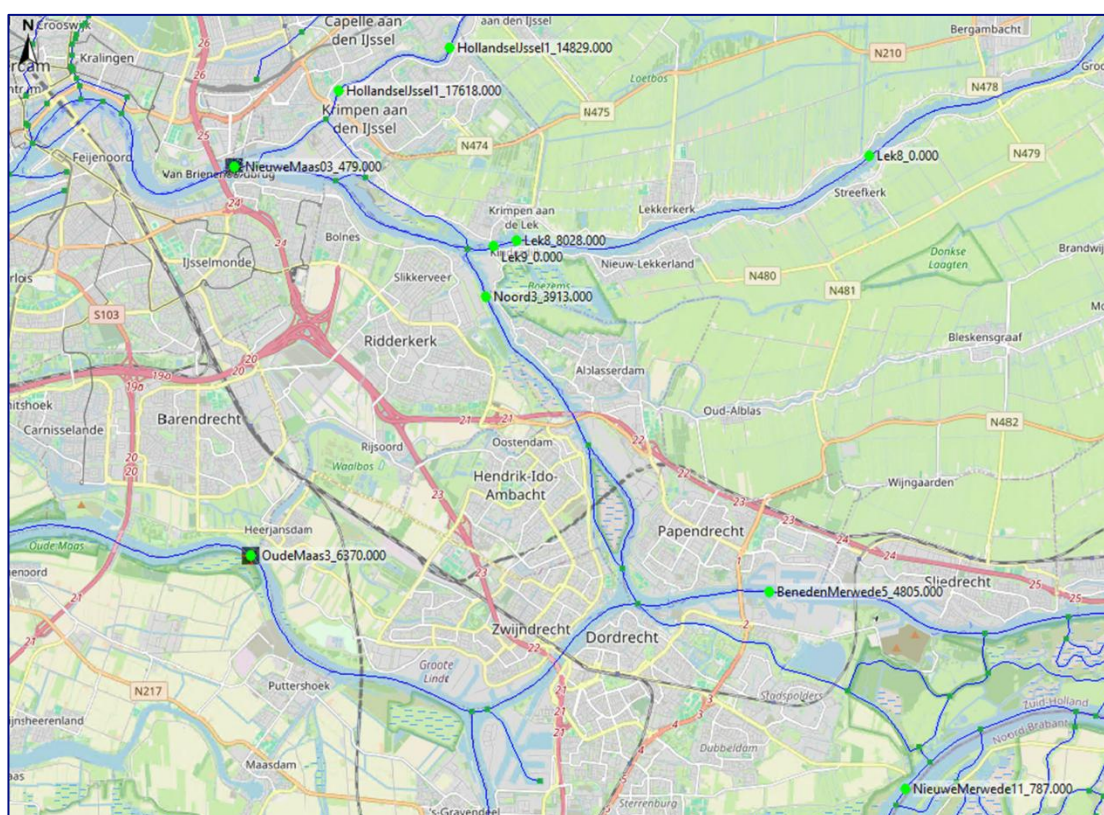
- 1 De onverwachte lagere watervraag wordt veroorzaakt door de synthetische KNMI-meteoreeksen (door KNMI gegenereerd met RACMO, incl. re-sampling, regionale verschillen (in scenario Ruim2050), het voorkomen van dubbele jaren).
- 2 De laagste Lobith-afvoeren zijn hoger dan verwacht omdat de statistieken van de synthetische KNMI-meteoreeksen alleen beantwoorden aan de statistieken van de periode 1991-2020, en niet aan de statistieken van de periode vanaf 1910, waarbij de verwachting in de buitenwereld gebaseerd zijn op laatstgenoemde periode.
- 3 De lage KWA-frequentie wordt veroorzaakt omdat LSM3 bij Krimpen a/d IJssel (systematisch) te lage chloridewaarden simuleert; het ligt aan LSM3: debiet naar noordelijk deel (Nieuwe Maas) is hoger dan in NDB (gebruikt in BP2018). Q_{NWW} -Chloride-relatie laat KWA wel aangaan.
- 4 Doorgevoerde wijzigingen in de verdringingsreeks / prioritering van de categorieën veroorzaken verschillen in uitkomsten.
- 5 Verschillen in sturing binnen LSM3 t.o.v. sturing binnen LSM2/NDB veroorzaken verschillen in uitkomsten.
- 6 Het effect van de fout in de dampspanningsinvoer van MetaSWAP-WOFOST.
- 7 De updates van LHM (updates van LHM 3.4 van 2018 naar LHM 4.3 van 2023) veroorzaken verschillen in uitkomsten.
- 8 Onze perceptie van wat de referentie moet zijn klopt niet.
- 9 Bij de scenario's: de peilopzet in het veenweidegebied heeft een groot effect op de watervraag.

In de dagelijkse stand-ups met Rijkswaterstaat zijn de hypothesen nader uitgewerkt.

3 Klimaatbestendige Water Aanvoer (KWA) gaat niet aan in referentierun

3.1 KWA-mechanisme

In de Basisprognoses 2024 gaat de KWA in de referentiesom niet aan. Of de KWA wel of niet aangaat wordt binnen NWM bepaald aan de hand van het berekende chloridegehalte bij Krimpen aan de IJssel (zie Figuur 3.1), welke in LSM3 berekend worden. Indien in een decade in het zomerhalfjaar 80% van de tijd het chloridegehalte boven de 200 mg/liter gesimuleerd wordt, geldt voor die decade dat de KWA aangezet wordt. In de operationele praktijk worden weersverwachtingen en daarmee verwachtingen t.a.v. de toekomstnabije chlorideontwikkeling meegewogen om de KWA wel of niet na slechts 1 decade te effectueren; een dergelijk anticiperend concept zit niet in het NWM. Verder is de gehanteerde grenswaarde in werkelijkheid 250 mg/l en is deze in de modellen verlaagd naar 200 mg/l om te compenseren voor onderschatting van het zoutgehalte bij Krimpen aan den IJssel.



Figuur 3.1: LSM3-locaties bij Krimpen aan den IJssel, de Oude Maas, de Nieuwe Maas, Noord, Lek en Beneden Merwede.

3.2 Relevante hypothesen

Hieronder is in de lijst van hypothesen van hoofdstuk 2.3 onderscheid gemaakt tussen relevante (zwarte) en minder relevante (lichtgrijze) hypothesen.

- 1 De onverwachte lagere watervraag wordt veroorzaakt door de synthetische KNMI-meteoreeksen (door KNMI gegenereerd met RACMO, incl. re-sampling, regionale verschillen (in scenario Ruim2050), het voorkomen van dubbele jaren).

- 2 De laagste Lobith-afvoeren zijn hoger dan verwacht omdat de statistieken van de synthetische KNMI-meteoreeksen alleen beantwoorden aan de statistieken van de periode 1991-2020, en niet aan de statistieken van de periode vanaf 1910, waarbij de verwachting in de buitenwereld gebaseerd zijn op laatstgenoemde periode.
- 3 De lage KWA-frequentie wordt veroorzaakt omdat LSM3 bij Krimpen a/d IJssel (systematisch) te lage chloridewaarden simuleert; het ligt aan LSM3: debiet naar noordelijk deel is hoger dan in LSM2. Q_{NWW} -Chloride-relatie laat KWA wel aangaan.
- 4 Doorgevoerde wijzigingen in de verdringingsreeks / prioritering van de categorieën veroorzaken verschillen.
- 5 Verschillen in sturing binnen LSM3 t.o.v. sturing binnen LSM2/NDB veroorzaken verschillen in uitkomsten.
- 6 Het effect van de fout in de dampspanningsinvoer van MetaSWAP-WOFOST.
- 7 De updates van LHM (updates van LHM 3.4 van 2018 naar LHM 4.3 van 2023) veroorzaken verschillen in uitkomsten.
- 8 Onze perceptie van wat de referentie moet zijn klopt niet.
- 9 Bij de scenario's: de peilopzet in het veenweidegebied heeft een groot effect op de watervraag.

De belangrijkste hypothese hierbij is hypothese nummer 3. Daarnaast bevat LSM3 een belangrijke update van de bathymetrie van het hoofdwatersysteem, namelijk op basis van het Rijntakken j18 model met de IRM 2018 bodem. Dit heeft invloed op de verhouding tussen de afvoer naar de IJssel en Nederrijn-Lek versus de afvoer naar de Waal, waarbij het debiet naar de Waal groter zal zijn dan in LSM2/NDB, met als gevolg minder verzilting in de Rijn-Maasmonding ten gevolge van een grotere tegendruk van het rivierwater. Daarbij is het van belang te noemen dat de bathymetrie voor de Nieuwe Waterweg gebaseerd is op een schematisatie van 2015. Belangrijk is dat de verdieping van de Nieuwe Waterweg, zoals deze in 2018 en 2019 is uitgevoerd, hierin nog niet verwerkt is. Dit speelt geen rol bij de verklaring van de verschillen tussen BP2024 en de historische situatie en eerdere berekeningen, zoals BP2018. Het is echter wel van belang in de toekomst deze verdieping in de bathymetrie mee te nemen omdat deze tot een toename van de externe verzilting zal leiden.

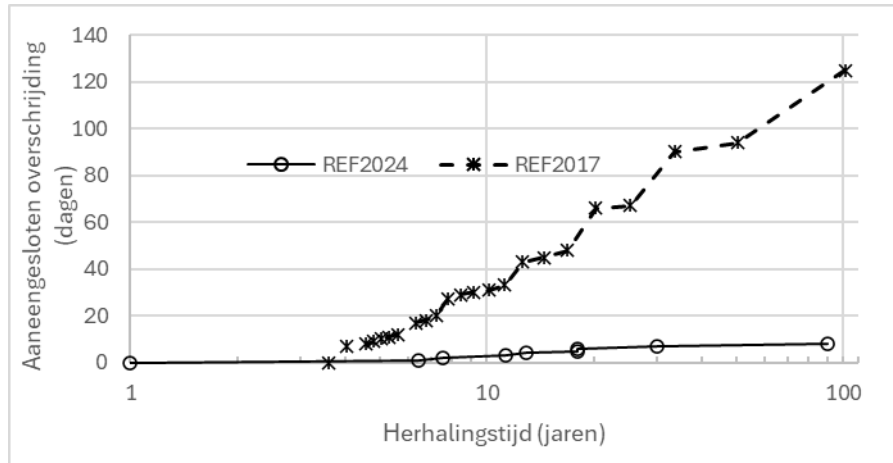
Onder andere vanwege de belangrijke update van de bathymetrie van het hoofdwatersysteem is ten behoeve van de BP2024-berekeningen in het NWM-instrumentarium de overstap van LSM2 naar LSM3 gemaakt, maar ook omdat binnen LSM3 binnen één run zowel waterstanden, chlorideconcentraties alsook de watertemperatuur berekend kunnen worden, hetgeen de NWM-modellentrein aanzienlijk vereenvoudigd. Hierbij dient te worden opgemerkt dat LSM3 gevalideerd is op waterstanden en niet op chloride.

Wanneer de debieten in het hoofdwatersysteem voor de chloridegehalten bij Krimpen aan den IJssel een hoofdrol spelen, zijn ook hypothesen 2 en 5 relevant. Ook kunnen verschillen in de regionale watervraag van West-Nederland van invloed zijn op de debieten in het hoofdwatersysteem bij Krimpen aan de IJssel, daarom is in relatie tot de KWA ook hypothese 6 relevant.

Hieronder volgt per hypothese een beschrijving van de uitgevoerde testen en de resultaten daarvan.

3.3 Berekenende chloridegehalten bij Krimpen aan den IJssel

De frequentie waarmee de berekenende chlorideconcentratie bij Krimpen aan den IJssel de grens van 200 mg/l in een aaneengesloten periode overschrijdt is voor de BP2018- en BP2024-resultaten in Figuur 3.2 weergegeven. Deze vergelijking laat duidelijk zien dat bij gelijke herhalingsstijd de duur van de overschrijding in BP2024 veel korter is dan in BP2018. De maximale berekenende duur van de aaneengesloten overschrijding in BP2024 is 8 dagen en in BP2018 125 dagen.



Figuur 3.2: Frequentieanalyse overschrijding (> 200 mg/l) van berekenende chlorideconcentraties bij Krimpen aan den IJssel; voor BP2018 (REF2017, gebaseerd op data van Figuur 5.6, Mens et al., 2020) en BP2024 (REF2024).

De tabel in Figuur 3.3 toont voor het zomerhalfjaar van 2003 in groen het percentage van de tijd binnen een decade dat de chlorideconcentratie bij Krimpen aan den IJssel de 200mg/l (voor de twee modelberekeningen) en de 250mg/l (de metingen) overschrijdt. Daar waar dit minimaal 80% van de betreffende decade het geval is zal de KWA aangaan in het model. Voor welke decades dit het geval is, is weergegeven in de rechter kolommen (in rood). Met de 2003-randvoorwaarden loopt in beide modellen net als in de metingen het chloridegehalte op, echter, binnen LSM3 pas in oktober, dat is na het 'KWA-zomerhalfjaar'. Ten opzichte van de metingen simuleerde het NDB-model lagere chloridegehalten, maar triggert voor 2003 toch twee maal de KWA. De chloridegehalten binnen LSM3 zijn lager dan in het NDB-model.

| Date | % overschrijding chloride concentratie | | | wel of niet aangaan KWA | | |
|------------|--|------------------------|---------------------|------------------------------------|---------------|------------------|
| | % overschrijding 250mg/l binnen decade | overschrijding 250mg/l | | Boven 80% vd tijd (binnen decade)? | | |
| | NDB (BP2018) | LSM3 (BP2024) | Metingen KrimpenAdJ | NDB (BP2018) | LSM3 (BP2024) | Metingen Krimpen |
| 01/06/2003 | 0% | 0% | 0% | 0 | 0 | 0 |
| 11/06/2003 | 0% | 0% | 0% | 0 | 0 | 0 |
| 21/06/2003 | 0% | 0% | 0% | 0 | 0 | 0 |
| 01/07/2003 | 0% | 0% | 0% | 0 | 0 | 0 |
| 11/07/2003 | 0% | 0% | 0% | 0 | 0 | 0 |
| 21/07/2003 | 0% | 0% | 9% | 0 | 0 | 0 |
| 01/08/2003 | 0% | 0% | 11% | 0 | 0 | 0 |
| 11/08/2003 | 50% | 11% | 80% | 0 | 0 | 1 |
| 21/08/2003 | 82% | 20% | 85% | 1 | 0 | 1 |
| 01/09/2003 | 31% | 4% | 37% | 0 | 0 | 0 |
| 11/09/2003 | 9% | 0% | 3% | 0 | 0 | 0 |
| 21/09/2003 | 88% | 56% | 87% | 1 | 0 | 1 |
| 01/10/2003 | 98% | 81% | 83% | 1 | 1 | 1 |
| 11/10/2003 | 10% | 16% | 0% | 0 | 0 | 0 |
| 21/10/2003 | 14% | 0% | 16% | 0 | 0 | 0 |

Figuur 3.3: Links: Overschrijdingsduur van de 200 mg/l chlorideconcentratie-drempel als percentage van één decade, locatie Krimpen aan den IJssel, periode juni t/m oktober 2003, voor BP2018, BP2024 (met randvoorwaarden van historische jaar 2003), en metingen. Rechts: 0: overschrijdingsduur < 80%, 1: overschrijdingsduur > 80%, blauw: KWA gaat niet aan, rood: KWA gaat aan.

Conclusie

Chloridegehalten in LSM3 bij Krimpen aan den IJssel zijn t.o.v. metingen inderdaad te laag en lager dan in NDB/BP2018; binnen de testrun met 2003-randvoorwaarden wordt binnen het zomerhalfjaar de KWA niet getriggerd.

3.4 Statistieken van de laagste Lobith-afvoeren

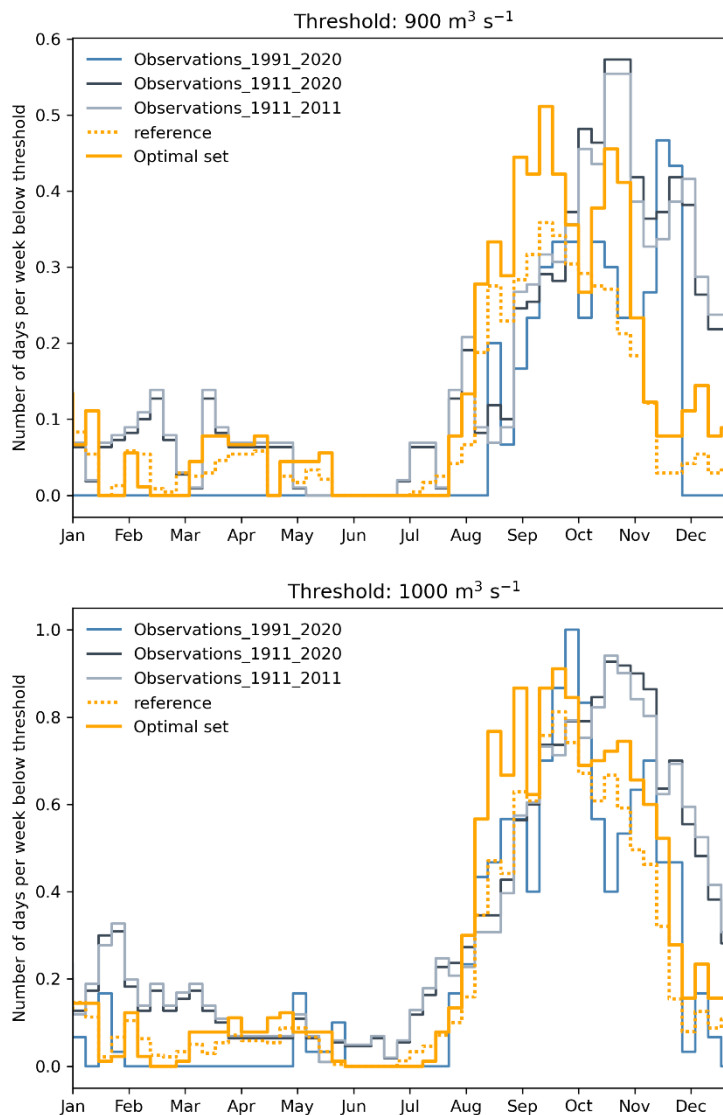
Om de hypothese dat de synthetische Lobith afvoeren te hoog zijn te testen, zijn de synthetische reeksen vergeleken met de geobserveerde afvoeren. Hiervoor zijn drie verschillende periodes voor de afvoerobservaties gebruikt:

- 1991-2020: deze recente historische 30-jarige reeks is relevant omdat de synthetische KNMI'23 scenario's hierop gebaseerd zijn.
- 1911-2011: zijnde de historische periode waarvoor de referentie van de BP2018 is berekend.
- 1911-2020: de reeks met het beginjaar van de historische BP2018-reeks 1911-2011 en het eindjaar van de hierboven eerstgenoemde 1991-2020 reeks.

Voor de eerste analyse is gekeken hoe vaak de afvoer onder een bepaalde drempelwaarde zakt, gegroepeerd per week in het jaar, zie Figuur 3.4. Dit geeft een indruk van hoe vaak lage afvoeren in de reeks zitten, en wanneer deze in het jaar plaatsvinden. Een waarde van (bijvoorbeeld) 1 op de y-as betekent dat de afvoer *gemiddeld* (over de hele lengte van de reeks) 1 dag per week onder de drempelwaarde zit. De maximale waarde op de y-as is daarmee 7 dagen, en de minimale waarde 0 dagen.

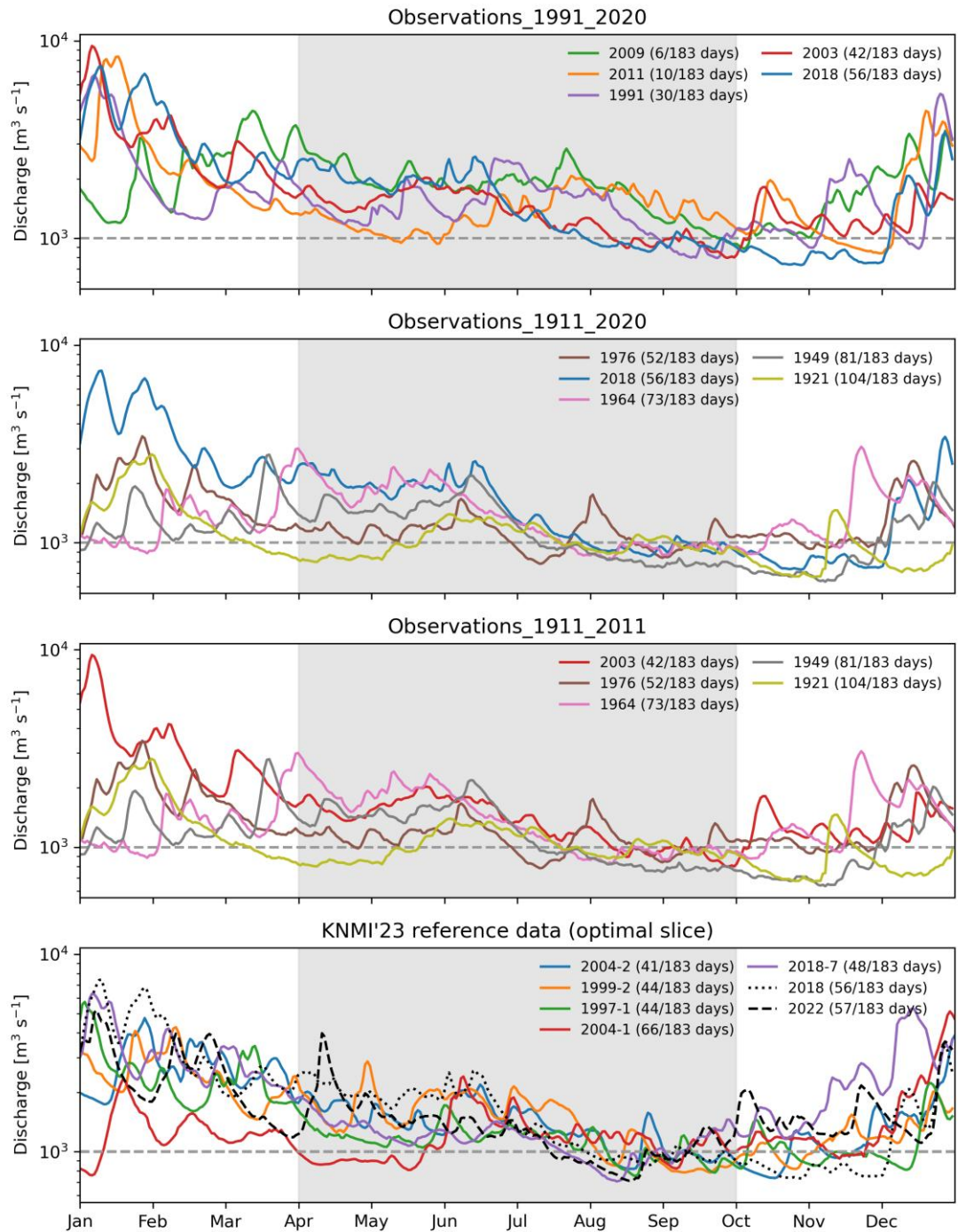
Bij een drempelwaarde van 900 m³/s zakt de afvoer in de 1991-2020 reeks pas halverwege augustus onder de drempel. De afvoerreeksen 1911-2011 en 1911-2020 zakten echter al eind juni onder de drempelwaarde, wat aangeeft dat deze droge jaren in de periode tussen 1911 en 1991 moeten zitten. De volledige observatiereeks (1911-2020) is heel vergelijkbaar met de 1911-2011 reeks: wat in lijn met verwachting is, aangezien de reeksen voor het overgrote deel overlappend zijn. De synthetische afvoerreeks (zie ook paragraaf 2.2) zit wat tussen de observaties in: vanaf eind juli zakt de afvoer onder de drempel van 900 m³/s. Dit is dus eerder dan de 1991-2020 observaties, maar later dan de reeksen die in 1911 beginnen.

Een vergelijkbaar patroon is zichtbaar bij een drempelwaarde van $1000 \text{ m}^3/\text{s}$: de reeksen beginnend in 1911 laten eerder in het jaar een onderschrijding zien, waarbij onderschrijdingen in de 1991-2020 reeks pas later in het jaar (eind augustus) plaatsvinden. De synthetische reeks komt in dit geval overeen met de 1991-2020 observaties. Beide drempelwaardes laten zien dat de synthetische afvoer niet te hoog is ten opzichte van de 1991-2020, maar minder extreem is dan de 1911-2011 (en 1911-2020) reeksen.



Figuur 3.4: Gemiddeld aantal dagen per week dat de afvoer zich onder de drempelwaarde bevindt. Het bovenste paneel laat de waardes zien wanneer de drempelwaarde op $900 \text{ m}^3/\text{s}$ is gezet, en het onderste paneel met een drempelwaarde van $1000 \text{ m}^3/\text{s}$. De gestippelde oranje lijn laat de statistiek op basis van de volledige 240 jaar zien, waarbij de doorgetrokken oranje lijn gebaseerd is op de optimale selectie van 90 jaar.

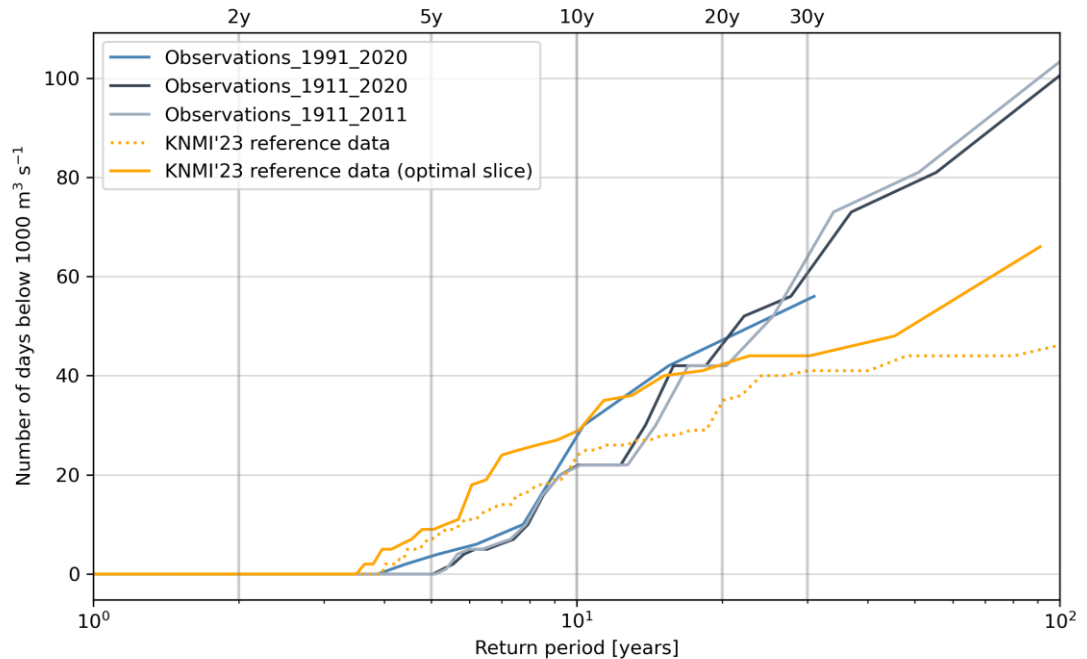
Om beter zicht te krijgen op het gedrag van individuele jaren, zijn ook de 5 droogste jaren uit elke reeks geselecteerd, gebaseerd op het aantal dagen met afvoer onder $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ in het zomerhalfjaar (zie Figuur 3.5). Dit figuur bevestigt dat de periode 1991-2020 minder extreme droge jaren bevat dan de reeksen vanaf 1911, niet alleen qua duur maar ook qua uitzakking onder de drempelwaarde. Daarentegen bevat de synthetische afvoerreeks jaren die een stuk droger zijn dan wat zichtbaar is in de geobserveerde data van 1991-2020, met jaren die voor meer dan 40 dagen onder de drempelwaarde zitten. Echter blijven de meest extreme jaren zoals 1921, 1949 en 1976 droger dan de synthetische reeks.



Figuur 3.5: Vijf droogste jaren in elke reeks, geselecteerd op basis van het aantal dagen onder $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ gedurende het zomerhalfjaar (april tot oktober). In het paneel met de KNMI'23 referentie data zijn de synthetische jaren gelabeld met de jaartal-ensemble combinatie (alleen de 3-optimale ensembles zijn hierin meegenomen). In ditzelfde paneel zijn de afvoerobservaties van 2018 en 2022 toegevoegd ter referentie. De legenda in elk paneel toont ook het aantal dagen dat de afvoer onder de $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ is.

Figuur 3.6 toont het aantal dagen met afvoer lager dan $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ als functie van herhalingstijd, om beter in beeld te krijgen hoe de duur van lage afvoeren zich verhoudt tussen de verschillende reeksen. Dit figuur laat zien dat alle reeksen een goede overeenkomst hebben bij een droogte met een herhalingstijd van 20 jaar.

Voor droge perioden met lagere herhalingsstijden ligt de synthetische reeks zelfs boven de gemeten afvoeren. Ook toont dit figuur dat de synthetische reeks goed overeenkomt met de observaties uit de periode 1991-2020.



Figuur 3.6: Aantal dagen per jaar dat de afvoer zich onder de $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ bevindt als functie van herhalingsstijd, voor alle verschillende reeksen. Door de verschillende lengte van de reeksen, gaat niet elke reeks even ver door tot dezelfde lange herhalingsstijden.

Conclusies:

- Goede overeenkomst synthetische en historische 1991-2020 reeks; synthetische reeks bevat geen “te hoge” laagste afvoeren.
- Maar: meest extreme historische droge jaren zitten buiten deze periode (1921, 1949, 1976), en BP2018 is gebaseerd op 1911-2011. De reeksen hebben goede overeenkomst tot een herhalingsstijd van eens per 20 jaar.
- Door de keuze voor de referentieperiode 1991-2020 zitten er minder extreem droge jaren (uitschieters zoals 1921 en 1976) in de synthetische afvoerreeks, en dan vooral minder laagwaters die in juli plaatsvinden.

Conclusie t.a.v. hypothese nummer 2

Dat de KWA in de referentierun van BP2024 niet aangaat wordt *niet* veroorzaakt doordat t.o.v. BP2018 is overgestapt van een historische reeks van 101 jaar naar synthetische afvoerreeksen.

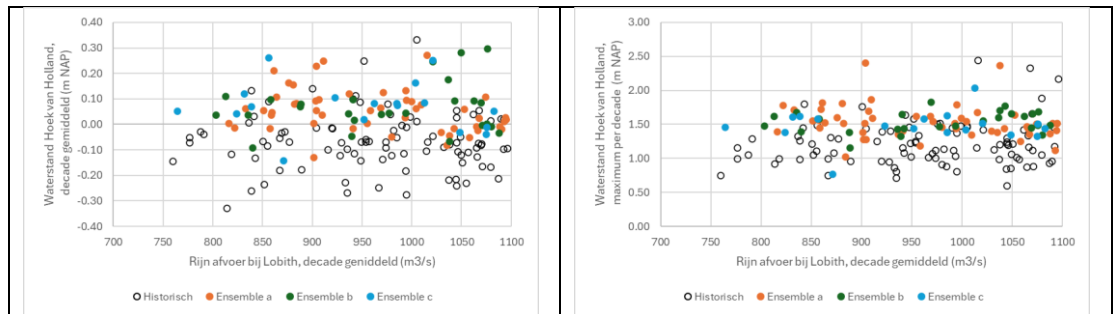
3.5 Coïncidentie lage afvoerdebieten en hoge benedenstroomse Noordzeewaterstanden

Bij de besprekingen van analyse- en modelresultaten met RWS is als nieuwe hypothese ter verklaring van de lage chloride concentraties bij Krimpen aan de IJssel geopperd dat er in de synthetische reeks minder coïncidentie zou zijn tussen lage Rijnafvoeren en hoge waterstanden op de Noordzee. Dat zou kunnen verklaren waarom er minder indringing van zoutwater plaats vindt.

Deze hypothese is getoetst door voor zowel BP2018 als BP2024 de invoer van waterstanden en afvoeren tegen elkaar uit te zetten voor lage afvoeren (zie Figuur 3.7). Hieruit blijkt dat de historische reeks van BP2018 zowel voor de decade gemiddelde als maximale waterstanden wat lagere waarden geeft dan de synthetische BP2024 reeks. Het verschil voor het decade gemiddelde bij afvoeren onder 1100 m³/s bedraagt 13 cm. Dit zou dus eerder moeten leiden tot hogere zoutconcentraties in de Rijn-Maasmond in BP2024 en draagt daarmee dus niet bij aan het verklaren van het verschil dat BP2024 lagere zoutconcentraties berekent dan BP2018.

Conclusie

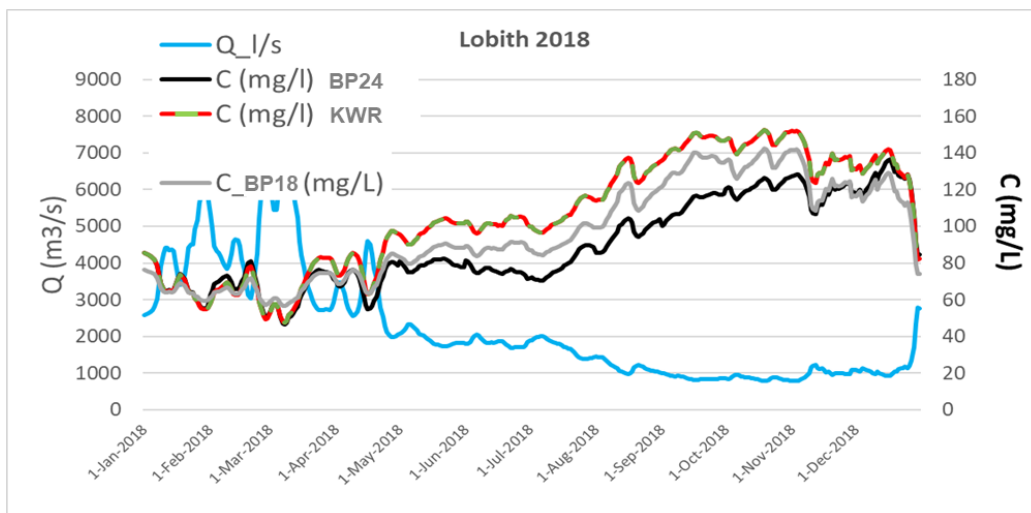
Er is geen sprake van een lagere coïncidentie van lage afvoerdebieten en hoge benedenstroomse Noordzeewaterstanden; dit is daarmee geen verklaring voor het niet aangaan van de KWA.



Figuur 3.7: Waterstand bij Hoek van Holland per decade gemiddeld (links) en maximaal (rechts) versus de decade gemiddelde Rijnafvoer bij Lobith voor afvoeren onder 1100 m³/s.

3.6 Achtergrond chlorideconcentraties bij Lobith

Bij de analyse van de modelinvoer om de lagere gesimuleerde chloride concentraties bij Krimpen aan de IJssel te verklaren, bleken de chloride concentraties die gebruikt worden voor de Rijn bij Lobith gemiddeld lager in BP2024 dan in BP2018. Deze concentraties zijn geen constante waarden maar een functie van de afvoer en de tijd van het jaar. Voor BP2024 is een nieuwe formulering, zoals opgesteld door KWR (Pronk, 2021), gebruikt. Deze had juist tot hogere concentraties moeten leiden, maar door een fout in de implementatie zijn de concentraties lager dan die van BP2018. Figuur 3.8 laat als voorbeeld het concentratieverloop zien voor het jaar 2018. Het is duidelijk te zien dat gedurende de periode met lage afvoer de BP2024-concentraties lager zijn dan de concentraties op basis van de BP2018 formulering. De lijn gelabeld met KWR laat zien dat de concentraties bij juiste implementatie hoger liggen dan die van BP2018. De onjuiste implementatie zorgt voor chlorideconcentraties die tot ongeveer 30 mg/l lager liggen.

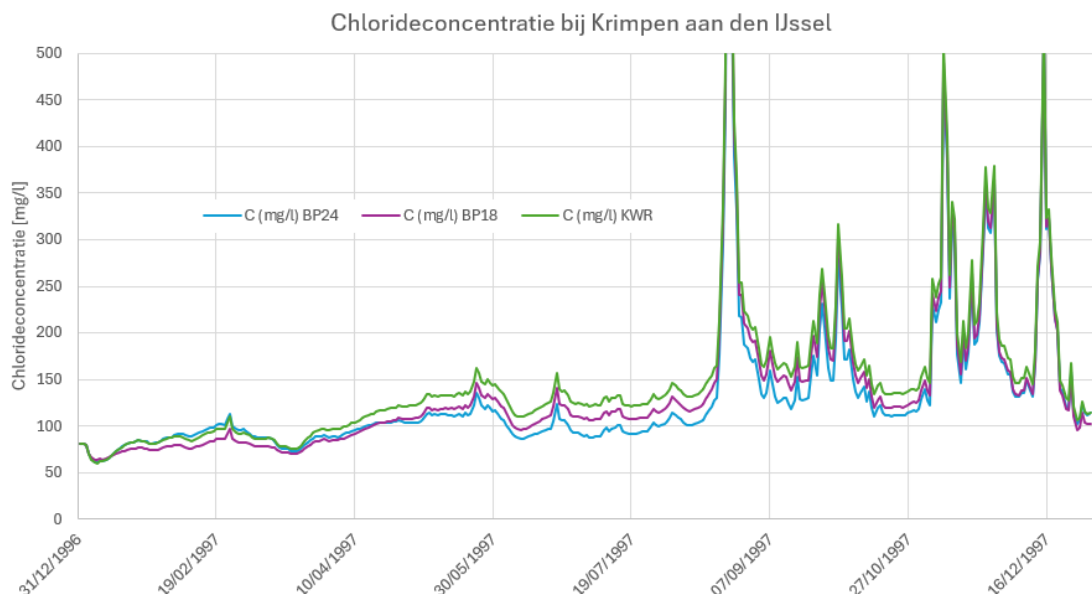


Figuur 3.8: Het verloop over de tijd in het jaar 2018 van de afvoer bij Lobith de berekende chloride concentratie conform de formulering gebruikt in BP2018 (BP18), de in BP2024 onjuist geïmplementeerde KWR formulering (BP24) en de juist geïmplementeerde KWR formule (KWR).

Om te onderzoeken wat het effect hiervan is op de gesimuleerde chlorideconcentratie bij Krimpen aan den IJssel, zijn berekeningen met LSM3 uitgevoerd voor het jaar 2018 met alle drie de verschillende randvoorwaarden. Het resultaat wordt gepresenteerd in Figuur 3.9. De figuur laat zien dat de randvoorwaarde een aanzienlijk effect heeft bij lagere concentraties, tot ongeveer 150 mg/l, waar de gesimuleerde concentraties bij Krimpen vooral bepaald worden door de achtergrondconcentratie. Echter, bij hogere concentraties is het effect minimaal, doordat de concentratie vooral bepaald wordt door het indringende zeewater. Hierdoor is het effect op de overschrijdingsduur van 200 mg/l minimaal en vormt dit geen verklaring voor het feit dat de KWA in de referentie niet aan gaat.

Conclusie

De fout in de implementatie van de nieuwe formulering voor de chloride-achtergrondconcentraties bij Lobith is niet de oorzaak van het niet aangaan van de KWA.

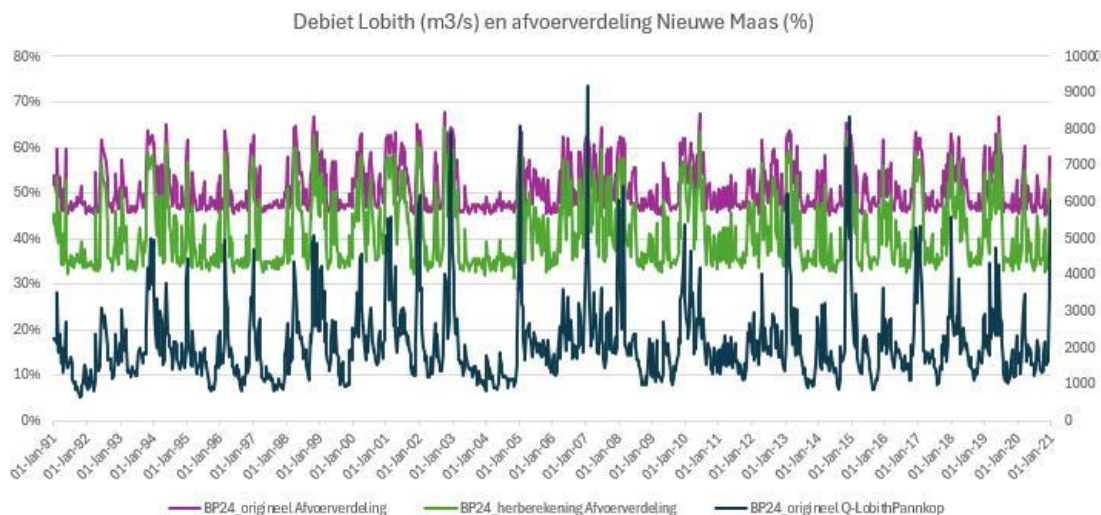


Figuur 3.9: Met LSM3 gesimuleerde chloride concentraties in g/l bij Krimpen aan den IJssel voor het jaar 2018 met drie verschillende formuleringen voor de berekening van de chloride concentratie in de Rijn bij Lobith: conform de formulering gebruikt in BP2018 (BP18), de in BP2024 onjuist geïmplementeerde KWR formulering (BP24) en de juist geïmplementeerde KWR formule (KWR).

3.7 Chlorideverschillen in afvoerverhoudingen Oude Maas / Nieuwe Maas bij lage Q-Lobith-debieten

De debieten door de Oude en Nieuwe Maas van het NDB-model (van BP2018) en LSM3 zijn voor het droge jaar 2003 vergeleken; hiervoor is een testrun met LSM3 (in Figuur 3.10 aangeduid met label [15]) gemaakt met de historische randvoorwaarden van 2003. Bij lage afvoeren < 1000 m³/s bij Lobith is in LSM3 de afvoerverdeling tussen Oude en Nieuwe Maas in de BP2024-berekeningen ongeveer fifty-fifty, terwijl in de BP2018-berekeningen deze verhouding 2/3 Oude Maas, 1/3 Nieuwe Maas was.

In een testrun met LSM3 (gelabeld [26] in Figuur 3.10) is genoemde 2/3 – 1/3 verhouding kunstmatig geforceerd door handmatig de hydraulische weerstand van de Noord (verbinding tussen Oude en Nieuwe Maas) te verhogen; dit heeft bij lage Lobith-debieten in LSM3 veel vaker hogere chloridegehalten bij Krimpen aan den IJssel tot gevolg waardoor in het model de KWA getriggerd zou worden. Uit de vergelijking van de originele BP2024 LSM3 sommen met de sommen met aangepaste weerstand blijkt dat bij lage afvoeren er duidelijk minder over de Nieuwe Maas gaat, terwijl bij hoge afvoeren de fractie over de Nieuwe Maas maar weinig verschilt (Figuur 3.10). De aanpassing van de weerstand op de Noord heeft dus vooral bij lage afvoeren effect op de afvoerverdeling, en daarmee op de berekende chloride concentratie bij Krimpen waardoor de KWA vaker aangaat, zie de tabel in Figuur 3.11.

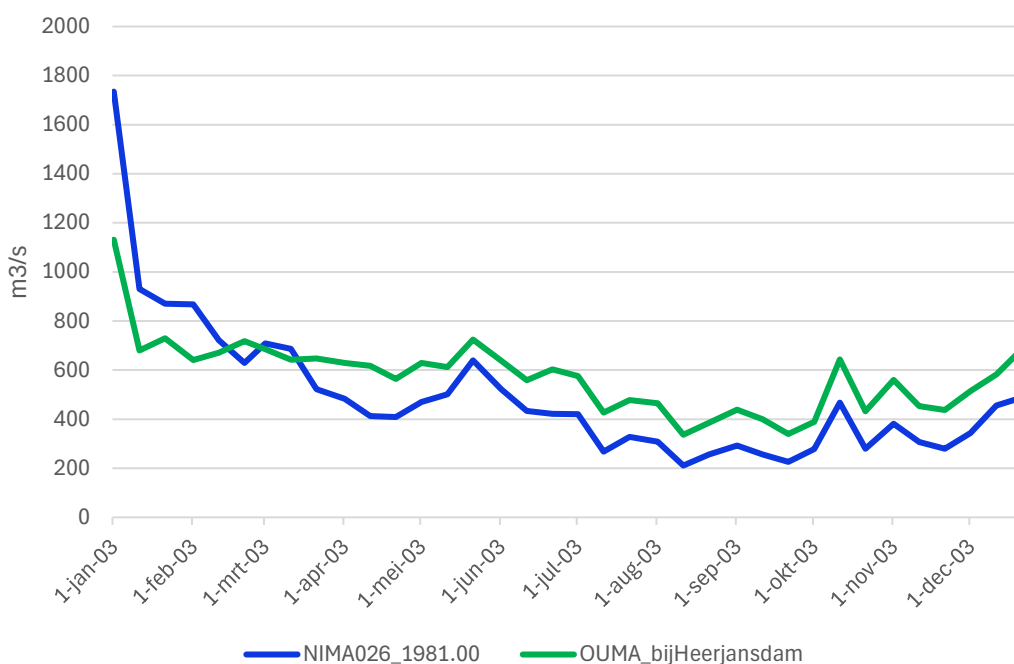


Figuur 3.10: Afvoer­ver­de­ling Nieuwe Maas, in BP2024 origi­ne­le LSM3 som­men (paars) en met aangepaste weer­stand op de Noord waar­door minder water via de Nieuwe Maas gaat (groen).

| Date | [15] LSM3 | [26] LSM3 | Metingen | [15] LSM3 | [26] LSM3 | Metingen |
|------------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|----------|
| 01/06/2003 | 0% | 0% | 0% | 0 | 0 | 0 |
| 11/06/2003 | 0% | 0% | 0% | 0 | 0 | 0 |
| 21/06/2003 | 0% | 0% | 0% | 0 | 0 | 0 |
| 01/07/2003 | 0% | 0% | 0% | 0 | 0 | 0 |
| 11/07/2003 | 0% | 0% | 0% | 0 | 0 | 0 |
| 21/07/2003 | 0% | 0% | 9% | 0 | 0 | 0 |
| 01/08/2003 | 0% | 0% | 11% | 0 | 0 | 0 |
| 11/08/2003 | 14% | 56% | 80% | 0 | 0 | 1 |
| 21/08/2003 | 23% | 91% | 85% | 0 | 1 | 1 |
| 01/09/2003 | 4% | 42% | 37% | 0 | 0 | 0 |
| 11/09/2003 | 1% | 39% | 3% | 0 | 0 | 0 |
| 21/09/2003 | 62% | 93% | 87% | 0 | 1 | 1 |
| 01/10/2003 | 94% | 100% | 83% | 1 | 1 | 1 |
| 11/10/2003 | 18% | 30% | 0% | 0 | 0 | 0 |
| 21/10/2003 | 0% | 0% | 16% | 0 | 0 | 0 |

Figuur 3.11: Links: Overschrijdings­duur van de 200 mg/l chlorideconcentratie­drempel als per­centage van één decade, locatie Krimpen aan den IJssel, periode juni t/m oktober 2003, voor [15] oorspronkelijke afvoer­ver­de­ling BP2024, [26] aangepaste afvoer­ver­de­ling, en metingen (t.o.v. een 250 mg/l chlorideconcentratie­drempel). Rechts: 0 / blauw: overschrijdings­duur < 80%, 1 / rood: overschrijdings­duur > 80%.

NDB BP2018 - 2003, decadegemiddelde afvoer



Figuur 3.12: Afvoer verhouding Oude Maas – Nieuwe Maas in NDB voor het jaar 2003 uit de BP2018-berekeningen in de zomermaanden (OUMA_bijHeerjansdam) / NIMA026_1981 = 58% / 42%.

In Figuur 3.12 zijn de afvoeren voor de Oude en Nieuwe Maas afgebeeld voor het jaar 2003 van de BP2018-berekeningen. Hieruit valt af te leiden dat de verdeling van de afvoer over de Oude Maas en de Nieuwe Maas in de zomermaanden van 2003 ongeveer 58% versus 42% is. In de LSM3-testberekeningen voor het droge jaar 2003 is deze verhouding ongeveer 50%-50%.

Conclusie

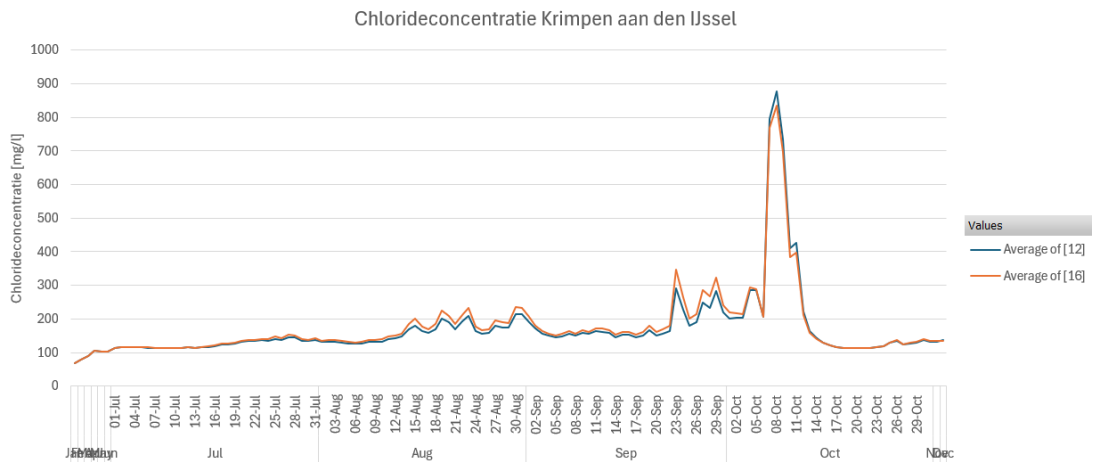
In LSM3 (BP2024) is de debietverhouding Oude Maas - Nieuwe Maas ongeveer 50%-50%, terwijl in het NDB-model (BP2018) deze verhouding ongeveer 67%-33% is; **dit is de reden dat in de BP2024-berekeningen de chloridegehalten bij Krimpen aan den IJssel lager / te laag worden berekend** omdat in het LSM3-model bij lage afvoeren teveel water door de Nieuwe Maas bij Krimpen aan den IJssel stroomt, waardoor de tegendruk tegen het binnendringende zoute water te groot is.

3.8 Verschillen door update LSM-bathymetrie

De LSM3-bathymetrie is voor het hoofdwatersysteem (o.a. Rijntakken, RMM) gebaseerd op de zogenaamde j18-modellen. Voor de Rijntakken is de IRM 2018 bodem opgenomen. Die bodem is anders (lager) dan de bodem van LSM Sobek2 en NDB model. Doordat de bodem van de Waal meer is verlaagd (geërodeerd) dan de bodem van IJssel en Nederrijn, zal met de nieuwe bodem in LSM3 een hogere afvoer via de Waal worden berekend, ten koste van afvoer via Nederrijn en IJssel. Dat heeft effect op de zoutindringing.

Om te onderzoeken wat bij benadering het effect is van een gewijzigde LSM-bathymetrie bovenstrooms van Hagestein (Lek), Tiel (Waal) en Lith (Maas) is een testrun uitgevoerd.

Om tijd te besparen is hiervoor de LSM3-bathymetrie niet teruggebracht naar de LSM2-bathymetrie, maar zijn de afvoeren voor deze drie locaties handmatig aangepast, zodat de bovenstroomse randvoorwaarden ongeveer overeenkomen met de NDB randvoorwaarden: het verschil in afvoer tussen het NDB-model en de LSM3 referentie som [12] is opgedrukt in het LSM3, testrun [16]. De resultaten zijn weergegeven in Figuur 3.13, en de KWA-triggers in Figuur 3.14.



Figuur 3.13: Chlorideconcentratie bij Krimpen aan den IJssel voor de zomermaanden van historisch jaar 2003 met verschillende LSM3 instellingen; [12]: referentieberekening met de BP2024 afvoeren, [16]: testrun met aangepaste afvoeren in de Lek, Waal en Maas ter hoogte van Hagestein, Tiel en Lith.

| Date | [12] LSM3 | [16] LSM3 | Metingen |
|------------|-----------|-----------|----------|
| 01/06/2003 | 0% | 0% | 0% |
| 11/06/2003 | 0% | 0% | 0% |
| 21/06/2003 | 0% | 0% | 0% |
| 01/07/2003 | 0% | 0% | 0% |
| 11/07/2003 | 0% | 0% | 0% |
| 21/07/2003 | 0% | 0% | 9% |
| 01/08/2003 | 0% | 0% | 11% |
| 11/08/2003 | 11% | 26% | 80% |
| 21/08/2003 | 20% | 41% | 85% |
| 01/09/2003 | 4% | 8% | 37% |
| 11/09/2003 | 0% | 2% | 3% |
| 21/09/2003 | 56% | 69% | 87% |
| 01/10/2003 | 81% | 88% | 83% |
| 11/10/2003 | 16% | 16% | 0% |
| 21/10/2003 | 0% | 0% | 16% |

Figuur 3.14: Percentage overschrijding chlorideconcentratie van 200 mg/l bij Krimpen aan den IJssel bij verschillende LSM3 instellingen; [12]: referentieberekening met de BP2024 afvoeren, [16]: testrun met aangepaste afvoeren in de Lek, Waal en Maas ter hoogte van Hagestein, Tiel en Lith. In de rechter kolom is het percentage gebaseerd op gemeten chlorideconcentraties die de grens van 250 mg/l overschrijdt.

Conclusie

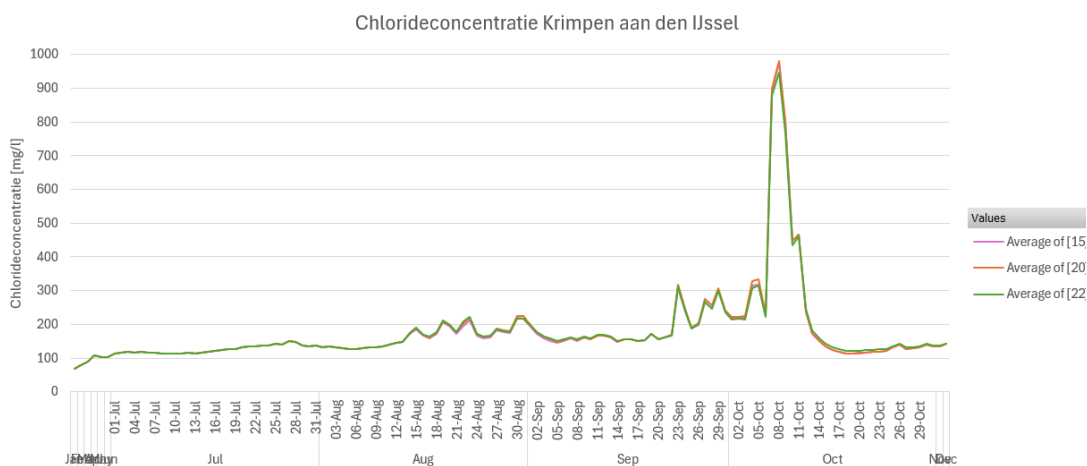
De handmatig aangepaste afvoer op de bovenstroomse rand van het Noordelijk Delta Bekken domein (Hagestein, Tiel en Lith) zorgt er in het LSM3 voor dat de chlorideconcentraties bij Krimpen aan den IJssel in de zomermaanden *hoger* zijn, en kan daarmee niet de oorzaak zijn van het *niet* aangaan van de KWA. Ondanks het effect van de bathymetrie-update gaat de KWA in de BP2024-berekeningen niet aan.

3.9 Verschillen door wijzigingen in sturing van LSM3 t.o.v. NDB-model

De sturing gerelateerd aan de KWA in het LSM3 model verschilt van de sturing in het NDB-model (van BP2018) op twee punten:

- Doorvoer Krimpenerwaardroute: in LSM3 staat deze route standaard aan in de zomerperioden, terwijl het NDB model deze route niet bevat.
- KWA-sturing bij Q-Lobith < 1000 m³/s: het LSM3 model bevat sturing waarbij — ongeacht de chloride concentraties — bij lage Rijnafvoeren bij Lobith de KWA-routes aangezet worden. Het NDB-model bevat deze sturing niet, en berekent chlorideconcentraties voor de situatie waarbij de KWA niet aan staat.

In twee testberekeningen [20 en 22] met LSM3, doorgerekend met de historische randvoorwaarden van 2003, zijn de effecten van het uitzetten van bovenstaande sturingsinstellingen vergeleken met de basisberekening [15]. In de basisrun [15] staan de doorvoer Krimpenerwaard en KWA-sturing beide aan, in testrun [20] is de doorvoer Krimpenerwaard uitgezet en staat de KWA-sturing aan en in testrun [22] staat de KWA-sturing uit en de doorvoer Krimpenerwaard aan. In Figuur 3.15 is het effect op de chlorideconcentratie getoond en is te zien dat het effect zeer beperkt is. Het uitzetten van de doorvoer Krimpenerwaard, waardoor ‘tegendruk’ van zout water in de Hollandsche IJssel afneemt, levert zoals verwacht iets hogere zoutgehalten op in de Hollandsche IJssel. Een vertaling naar het wel of niet aangaan van de KWA, getoond in Figuur 3.16, levert geen noemenswaardige verschillen op in vergelijking met de basisrun.



Figuur 3.15: Chlorideconcentratie bij Krimpen aan den IJssel voor de zomermaanden van historisch jaar 2003 met verschillende LSM3 instellingen; [15]: doorvoer Krimpenerwaard = aan en KWA-sturing = aan, [20]: doorvoer Krimpenerwaard = uit en KWA-sturing = aan, [22]: doorvoer Krimpenerwaard = aan en KWA-sturing = uit.

| Date | [15] LSM3 | [20] LSM3 | [22] LSM3 | Metingen |
|------------|-----------|-----------|-----------|----------|
| 01/06/2003 | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 11/06/2003 | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 21/06/2003 | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 01/07/2003 | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 11/07/2003 | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 21/07/2003 | 0% | 0% | 0% | 9% |
| 01/08/2003 | 0% | 0% | 0% | 11% |
| 11/08/2003 | 14% | 17% | 19% | 80% |
| 21/08/2003 | 23% | 30% | 29% | 85% |
| 01/09/2003 | 4% | 6% | 6% | 37% |
| 11/09/2003 | 1% | 1% | 0% | 3% |
| 21/09/2003 | 62% | 64% | 62% | 87% |
| 01/10/2003 | 94% | 95% | 90% | 83% |
| 11/10/2003 | 18% | 18% | 20% | 0% |
| 21/10/2003 | 0% | 0% | 0% | 16% |

Figuur 3.16: Percentage overschrijding chlorideconcentratie van 200 mg/l bij Krimpen aan den IJssel bij verschillende LSM3 instellingen; [15]: doorvoer Krimpenerwaard = aan en KWA-sturing = aan, [20]: doorvoer Krimpenerwaard = uit en KWA-sturing = aan, [22]: doorvoer Krimpenerwaard = aan en KWA-sturing = uit. In de rechter kolom is het percentage gebaseerd op gemeten chlorideconcentraties die de grens van 250 mg/l overschrijdt

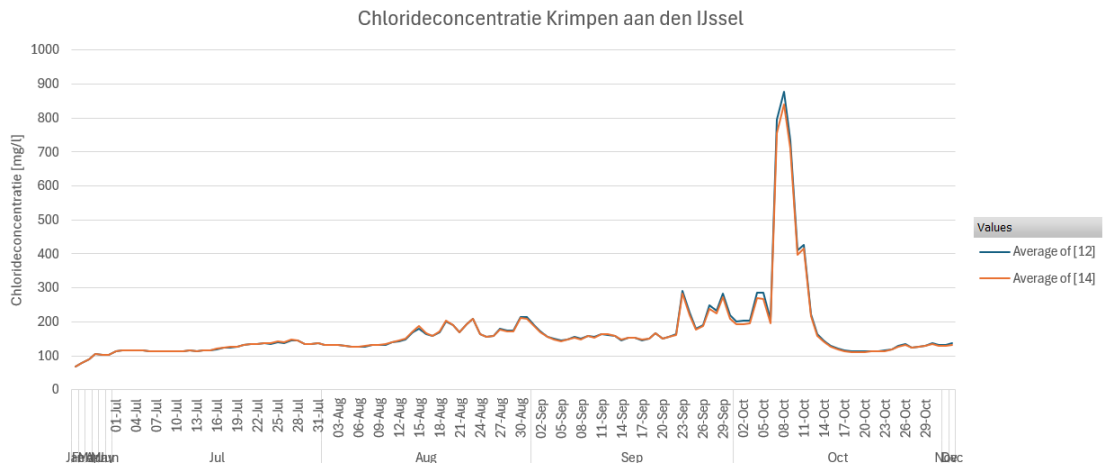
Conclusie

In tegenstelling tot het NDB-model bevat LSM3 een Q-Lobith-gerelateerd KWA-sturingsmechanisme en een Krimpenerwaardroute. In de NWM-modellentrein dient bij de 1^e LSMZ0-run het KWA-mechanisme uit te staan. De testruns laten zien dat de LSM3-KWA-sturing wel een klein chlorideconcentratie-verlagend effect heeft, maar niet de verklarende factor is dat de KWA niet aangaat in de referentierun.

3.10 Verschillen in regionale watervraag West-Nederland door fout in dampspanningsinvoer en updates van LHM

De watervraag voor de hoofdregio West-Nederland (KPA-regio's 10 en 12 in Figuur 1.1) kan invloed hebben op de debieten rondom Krimpen aan den IJssel. De watervraag voor peilbeheer voor de hoofdregio West-Nederland is in de BP2024-berekeningen voor het historische jaar 2003 ongeveer 148 mln m³, terwijl dit in de BP2018-berekeningen ongeveer 187 mln m³ was. Binnen deze paragraaf wordt hieronder een test beschreven van wat de invloed van dit *totale* watervraagverschil van 38 mln m³ kan hebben op de KWA. In paragraaf 5.4 wordt voor het historische jaar 2003 beschreven hoe *individuele* LHM-updates aan dit verschil bijdragen.

Deze lagere BP2024-watervraag voor peilbeheer dat geleverd wordt vanuit de Hollandsche IJssel zou een minder aanzuigende werking vanuit de Nieuwe Maas tot gevolg kunnen hebben, en daarmee lagere chloridegehalten bij Krimpen aan den IJssel, en daarmee het uitblijven van een overschrijding van de KWA-trigger. Dit is getest middels een aparte testrun [14], waarbij de watervraag van de gehele hoofdregio West-Nederland in het model handmatig is opgehoogd met 35% ten opzichte van een referentieberekening [12]. Belangrijk te vermelden dat, omdat alle laterale debieten met eenzelfde factor (1.35) zijn vermenigvuldigd, dit ook betekent dat in periodes van waterlevering (omgekeerde stromingsrichting in vergelijking met watervraag) dit ook met 35% toeneemt. In onderstaande Figuur 3.17 is het effect van de ophoging voor het historische jaar 2003 weergegeven. Hieruit blijkt dat het effect op het chloridegehalte bij Krimpen aan den IJssel zeer beperkt is.



Figuur 3.17: Chlorideconcentratie bij Krimpen aan den IJssel voor de zomermaanden van historisch jaar 2003 met verschillende LSM3 instellingen; [12]: referentieberekening met de lagere BP2024-watervraag, [14]: testrun met de verhoogde BP2024-watervraag (+35%).

| Date | [12] LSM3 | [14] LSM3 | Metingen |
|------------|-----------|-----------|----------|
| 01/06/2003 | 0% | 0% | 0% |
| 11/06/2003 | 0% | 0% | 0% |
| 21/06/2003 | 0% | 0% | 0% |
| 01/07/2003 | 0% | 0% | 0% |
| 11/07/2003 | 0% | 0% | 0% |
| 21/07/2003 | 0% | 0% | 9% |
| 01/08/2003 | 0% | 0% | 11% |
| 11/08/2003 | 11% | 14% | 80% |
| 21/08/2003 | 20% | 19% | 85% |
| 01/09/2003 | 4% | 2% | 37% |
| 11/09/2003 | 0% | 0% | 3% |
| 21/09/2003 | 56% | 51% | 87% |
| 01/10/2003 | 81% | 68% | 83% |
| 11/10/2003 | 16% | 16% | 0% |
| 21/10/2003 | 0% | 0% | 16% |

Figuur 3.18: Percentage overschrijding chlorideconcentratie van 200 mg/l bij Krimpen aan den IJssel bij verschillende LSM3 instellingen; [12] referentieberekening met de lagere BP2024-watervraag, [14]: testrun met de verhoogde BP2024-watervraag (+35%). In de rechter kolom is het percentage gebaseerd op gemeten chlorideconcentraties die de grens van 250 mg/l overschrijdt.

Conclusie

Er kan geconcludeerd worden dat de verschillen in de watervraag voor peilbeheer van de hoofdregio West-Nederland niet de individuele oorzaak lijkt te zijn van dat de KWA in de referentierun niet aangaat.

3.11 Cumulatieve effecten met aangepast LSM3-model

Op basis van alle hierboven beschreven analyses is een beeld ontstaan wat er in het LSM3-model aangepast kan worden zodat de KWA in een referentiesom conform de verwachtingen zal kunnen reageren. De aanpassingen in deze LSM3Z0-run zijn:

- Het handmatig³ aanpassen van de ruwheid van de Noord, zodat de afvoerverhouding van de Oude en Nieuwe Maas in de buurt van 2/3 – 1/3 uit komt. Nota bene: dit is mogelijk voor een testberekening, maar voor een goede modelberekening moeten na aanpassing van de ruwheid op de Noord ook de waterstanden en dispersiewaarden opnieuw worden afgeregeld.
- Het uitzetten van de LSM3-KWA-sturing in de LSM3Z0-run⁴.
- Het opleggen van de correcte chloriderandvoorwaarden bij Lobith.

Om de plausibiliteit van de uitkomsten van dit aangepaste LSM3-model maximaal te kunnen duiden is ervoor gekozen om niet het historische jaar 2003, maar de droogste van de drie beschikbare synthetische 30-jarige ensembles van de referentierun in zijn geheel door te rekenen (REF2024a).

| Jaar | Aantal decades in de zomermaanden waar KWA aan gaat (criteria: >200mg/L overschrijdingsduur >80%) | | Aantal decades waarbij afvoer Lobith (Pannerdense Kop) <1000 m3/s |
|------|--|-----------------------------------|--|
| | LSM3 (BP2024) | LSM3 (aangepaste afvoerverdeling) | LSM3 (BP2024) |
| 1991 | 0 | 2 | 2 |
| 1992 | 0 | 1 | 0 |
| 1993 | 0 | 0 | 0 |
| 1994 | 0 | 0 | 0 |
| 1995 | 0 | 1 | 2 |
| 1996 | 0 | 2 | 1 |
| 1997 | 0 | 4 | 4 |
| 1998 | 0 | 0 | 0 |
| 1999 | 0 | 0 | 0 |
| 2000 | 0 | 0 | 0 |
| 2001 | 0 | 0 | 0 |
| 2002 | 0 | 0 | 0 |
| 2003 | 0 | 0 | 0 |
| 2004 | 0 | 5 | 6 |
| 2005 | 0 | 0 | 0 |
| 2006 | 0 | 0 | 0 |
| 2007 | 0 | 0 | 0 |
| 2008 | 0 | 1 | 1 |
| 2009 | 0 | 0 | 1 |
| 2010 | 0 | 0 | 0 |
| 2011 | 0 | 0 | 0 |
| 2012 | 0 | 0 | 0 |
| 2013 | 0 | 0 | 1 |
| 2014 | 0 | 1 | 1 |
| 2015 | 0 | 3 | 4 |
| 2016 | 0 | 0 | 0 |
| 2017 | 0 | 0 | 0 |
| 2018 | 0 | 0 | 0 |
| 2019 | 0 | 0 | 0 |
| 2020 | 0 | 0 | 0 |

Figuur 3.19: Links: Aantal decades in de zomermaanden (april t/m september) per jaar waar KWA aan gaat (criteria: chlorideconcentratie >200mg/l en overschrijdingsduur >80%), locatie Krimpen aan den IJssel, periode 1991-2020 synthetische KNMI reeks voor BP2024 Referentie ensemble a. Rechts: Aantal decades per jaar met lage afvoer bij Lobith (criteria: bovenstroomse afvoer in de Rijn (Pannerdense Kop) <1000 m3/s en onderschrijdingsduur >70%).

³ deze handmatige aanpassing is een truc om deze afvoerverdeling af te dwingen, het is niet een aanbeveling voor een toekomstige verbetering van LSM3.

⁴ Voor de betekenis van de terminologie 'LHMZ0-run' en 'LSM3Z0-run', zie paragraaf 2.2.

Om na te gaan of de aangepaste ruwheid van de Noord vooral bij lage rivierafvoeren voor verhoogde chlorideconcentraties zorgen, is gekeken naar events/decades waarbij de bovenstroomse afvoer bij Pannerdense Kop minimaal 70% van een decade onder de 1000 m³/s uitkomt. Voor deze events neemt de decadegemiddelde chlorideconcentratie toe met ~111 mg/l (+58% t.o.v. de BP2024 berekening), terwijl dit voor de overige decades, die niet aan dit criteria voldoen, de toename ~21 mg/l (+22% t.o.v. de BP2024 berekening) bedraagt.

Resultaten:

- De aangepaste afvoerverhouding van de Oude en Nieuwe Maas heeft vooral effect op de chlorideconcentraties tijdens lage afvoer events.
- Alle bovenstaande LSM3-aanpassingen gezamenlijk zorgen voor het aangaan van de KWA.

Conclusies:

- Het handmatig opleggen van een 2/3 – 1/3 afvoerverhouding Oude- en Nieuwe Maas doet in LSM3 de KWA aangaan.
- Dat LSM3 bij lage afvoeren een 1/2 - 1/2 afvoerverhouding Oude- en Nieuwe Maas genereert is de hoofdoorzaak voor het niet aangaan van de KWA in de BP2024-berekeningen.

4 IJsselmeerpeil zakt minder uit dan verwacht

4.1 Verwachtingen buffergebruik IJsselmeer in droge zomers

Het uitzakken van het IJsselmeerpeil in droge zomers is het gevolg van de optelsom van:

- Het aanvoerdebiet vanuit de IJssel.
- De afvoer/doorspoeldebieten via de spuilsuizen van de Afsluitdijk.
- De open water verdamping.
- De regionale watervragen vanuit de omringende hoofdregio's.

4.2 Relevante hypothesen

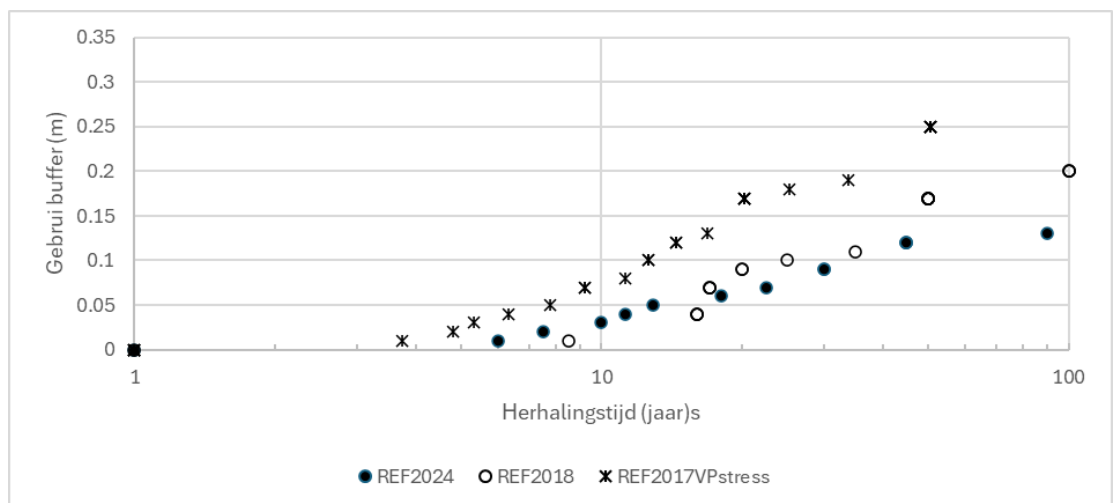
Vooraf was de verwachting dat de BP2024-uitkomsten een groter buffergebruik van het IJsselmeer zouden laten zien dan de BP2018-uitkomsten omdat in de BP2024-berekeningen:

- Een grotere doorspoelvraag bij de Afsluitdijk is opgelegd.
- Door de bathymetrie-update van LSM3 de aanvoer vanuit de IJssel minder is.
- Er in de KNMI'23-scenario's sprake is van een toename van het neerslagtekort.

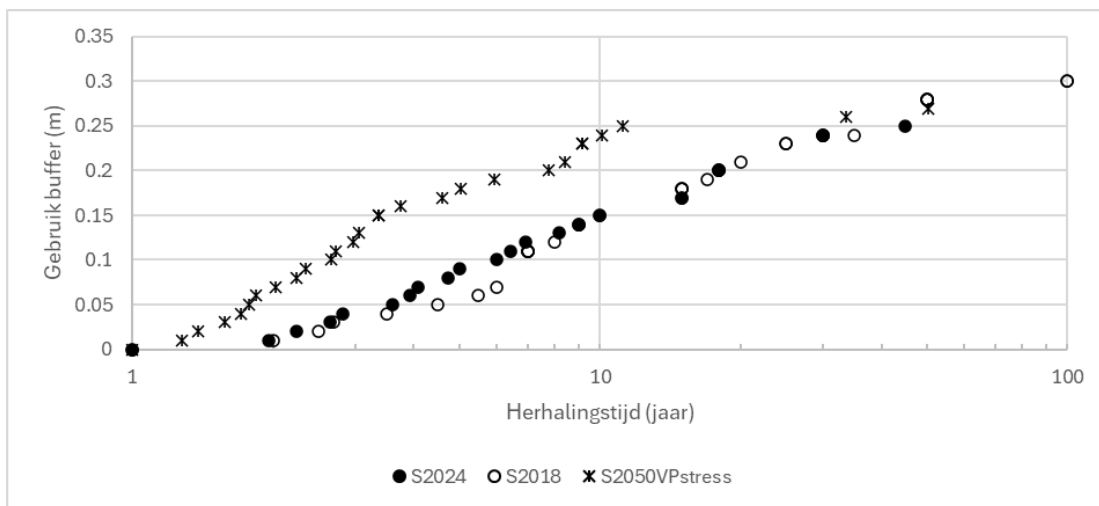
Omdat er in de afgelopen jaren diverse studies omtrent het IJsselmeer zijn uitgevoerd ontstond ook het vermoeden dat hypothese nummer 8 (zie de lijst van hypothesen van paragraaf 2.3) wellicht relevant kon zijn. Hiervoor is gestart met een vergelijking van de BP2018- en BP2024-uitkomsten, zie hieronder paragraaf 4.3.

4.3 Buffergebruik BP2024 versus BP2018

Via een frequentieanalyse van het buffergebruik van het IJsselmeer (berekend als uitzakking onder het streefpeil) zijn de BP2018-uitkomsten en de BP2024-uitkomsten voor de referentierun (Figuur 4.1) en Stoom2050 (Figuur 4.2) met elkaar vergeleken. Daarnaast is ook het buffergebruik van de in 2021 uitgevoerde "Stresstest IJsselmeer" in de figuren hieronder toegevoegd.



Figuur 4.1: Buffergebruik versus herhalingstijd voor de referentierun.



Figuur 4.2: Buffergebruik versus herhalingstijd voor Stoom2050.

De frequentieanalyses laat het volgende zien:

- BP2024 en BP2018 komen redelijk overeen in buffergebruik ondanks ander opgelegd verloop streefpeil en toename van de doorspoelvraag.
- Buffergebruik tot een herhalingstijd van 15 jaar is iets groter in BP2024, bij extremere jaren kleiner.
- 20 cm buffer in alle jaren referentie voldoende voor BP2024 en BP2018.
- Meer extreme jaren in BP2018 dan in BP2024, wat blijkt uit een groter buffergebruik bij de grootste herhalingstijden.

Er was in BP2024 een hoger buffergebruik verwacht vanwege grotere doorspoelvraag Afsluitdijk en minder aanvoer vanuit de IJssel. Daarnaast is er mogelijk beeldvorming ontstaan door de studie *Stresstest IJsselmeer* (uit 2021). Deze gaf een groter buffergebruik door grotere watervraag, onder andere door de wel in de stresstest maar niet in de Referentie van BP2024 opgenomen onderwaterdrainage.

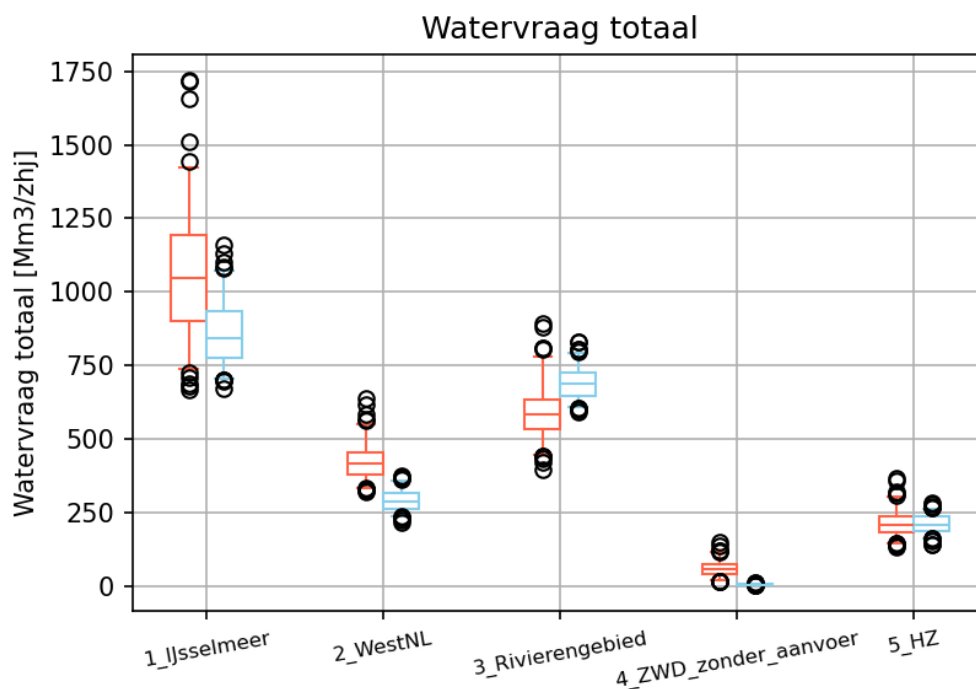
Conclusies:

- Buffergebruik bij BP2024 en B2018 komen redelijk overeen, terwijl een groter buffergebruik verwacht werd op basis van de toename van het neerslagtekort, de afname van de aanvoer via de IJssel en de toename van de doorspoelvraag van de Afsluitdijk (van 10 naar 70 m³/s). Een mogelijke verklaring hiervoor is dat de gesimuleerde regionale watervraag in BP2024 kleiner is dan in BP2018 (zie het volgende hoofdstuk).
- De verwachting t.a.v. het buffergebruik is mogelijk mede beïnvloed door de *Stresstest IJsselmeer* waarin een grotere watervraag t.b.v. onderwaterdrainage is meegenomen.

5 Watervraag hoofdregio's in BP2024 kleiner dan verwacht

5.1 Watervraag hoofdregio's – BP2024 versus BP2018

In onderstaande Figuur 5.1 zijn voor de referentieruns de totale watervragen (exclusief open waterverdamping van IJsselmeer/Markermeer) per hoofdregio van BP2024 en BP2018 in de vorm van boxplots weergegeven.



Figuur 5.1: Totale berekende watervraag per hoofdregio, als uitkomst van de BP2018-berekeningen (rood) en als uitkomst van de BP2024-berekeningen (blauw). Voor de samenstelling van hoofdregio's, zie Figuur 1.1.

Hieruit komt het volgende beeld naar voren:

- Voor de hoofdregio's "IJsselmeergebied" en "West-Nederland" is de totale watervraag in BP2024 significant lager dan in de BP2018-berekeningen.
- De totale berekende watervraag voor de hoofdregio "Rivierengebied" is voor BP2024 significant hoger.
- De totale watervraag voor "Zuidwestelijk Delta zonder aanvoer" is relatief veel lager, maar dit wordt veroorzaakt door een bewuste keuze in schematisering en omvang peilbeheerst gebied.
- Voor de hoofdregio "Hoge Zandgronden" is er weinig verschil tussen totale berekende watervragen van BP2018 en BP2024.

Omdat de analysetijd van dit project beperkt was lag in overleg met Rijkswaterstaat de nadruk op de verschillen voor de hoofdregio's "IJsselmeer" en "West-Nederland".

5.2 Hoe wordt binnen NWM de watervraag berekend en verrekend

Voor zowel de hoofdregio IJsselmeer alsook de hoofdregio West-Nederland wordt binnen NWM de watervraag op een vergelijkbare manier berekend: de totale watervraag wordt per decade als onderdeel van LHM (Landelijk Hydrologisch Model) berekend door MOZART (watervragen vanuit de regionale waterlopen met onderscheid tussen de watervraag voor peilbeheer, berekening voor de landbouw, en het doorspoelen van het watersysteem) en DM (watervragen voor het hoofdwatersysteem, o.a. voor de regionale kanalen en boezemsystemen voor peilhandhaving, doorspoeling en onttrekkingen). Deze totale watervragen worden binnen LHM aan het Distributiemodel (DM) doorgegeven, dat vervolgens via een prioritering binnen de verdringingsreeks de beschikbaarheid van water binnen het hoofdwatersysteem bepaalt en verdeelt. Voor de werking van de NWM-modellentrein, zie paragraaf 2.2.

De watervraag voor het peilbeheer van het IJsselmeer zelf en het Markermeer maakt geen onderdeel uit van de totale watervraag van de 'Hoofdregio IJsselmeer'. Anders gezegd: de watervraag voor de hoofdregio IJsselmeer is de hoeveelheid water die aan het IJsselmeer 'gevraagd' wordt, exclusief de hoeveelheid water die het IJsselmeer zelf 'nodig' heeft voor peilbeheer, en exclusief de netto verdamping van het IJsselmeer zelf.

5.3 Relevante hypotheses

Verschillen in de totale berekende *watervraag* in de BP2024-uitkomsten en de BP2018-uitkomsten kunnen het gevolg zijn van verschillen tussen (invoer van) het LHM dat voor BP2018 werd ingezet (LHM versie 3.4) en voor BP2024 (LHM versie 4.3); daarbij is belangrijk op te merken dat er nog verschillen zijn tussen de officiële, gerapporteerde LHM-release en de voor de Basisprognoses aangepaste LHM-versies daarvan, zie hiervoor "*Verschillen tussen LHM4.3 en de LHM-versie voor de BP2024-berekeningen*" in paragraaf 5.4.3. Daarnaast is in september 2024 een fout in de dampspanningsinvoer (invoer aangemaakt voor de Deltascenario's) geconstateerd. Zoals hierboven beschreven worden de watervragen vervolgens via het Distributiemodel binnen het model doorgegeven, daarmee is er ook een interactie met het LSM-onderdeel van NWM.

Hieronder is in de lijst van hypotheses van paragraaf 2.3 onderscheid gemaakt tussen relevante (zwarte) en minder relevante (lichtgrijze) hypotheses.

- 1 De onverwachte lagere watervraag wordt veroorzaakt door de synthetische KNMI-meteoreeksen (door KNMI gegenereerd met RACMO, incl. re-sampling, regionale verschillen (in scenario Ruim2050), het voorkomen van dubbele jaren).
- 2 De laagste Lobith-afvoeren zijn hoger dan verwacht omdat de statistieken van de synthetische KNMI-meteoreeksen alleen beantwoorden aan de statistieken van de periode 1991-2020, en niet aan de statistieken van de periode vanaf 1910, waarbij de verwachting in de buitenwereld gebaseerd zijn op laatstgenoemde periode.
- 3 De lage KWA-frequentie wordt veroorzaakt omdat LSM3 bij Krimpen a/d IJssel (systematisch) te lage chloridewaarden simuleert; het ligt aan LSM3: debiet naar noordelijk deel is hoger dan in LSM2. Q_{NWW} -Chloride-relatie laat KWA wel aangaan.
- 4 Dorgevoerde wijzigingen in de verdringingsreeks / prioritering van de categorieën veroorzaken verschillen.
- 5 Verschillen in sturing binnen LSM3 t.o.v. sturing binnen LSM2 veroorzaken verschillen in uitkomsten.
- 6 **Het effect van de fout in de dampspanningsinvoer van MetaSWAP-WOFOST.**
- 7 **De updates van LHM (updates van LHM 3.4 van 2018 naar LHM 4.3 van 2023) veroorzaken verschillen in uitkomsten.**
- 8 Onze perceptie van wat de referentie moet zijn klopt niet.

- 9 Bij de scenario's: de peilopzet in het veenweidegebied heeft een groot effect op de watervraag.

De focus van de analyse lag bij de hierboven **vetgedrukte** hypothesen. Hieronder volgt per onderzochte hypothese een beschrijving van de uitgevoerde testen en resultaten daarvan, eerst voor de watervraag van de hoofdregio 'IJsselmeergebied', daarna voor de hoofdregio 'West-Nederland'.

5.4 Effecten LHM-updates en fout in dampspanningsinvoer

5.4.1 Beschrijving fout in dampspanningsinvoer

LHM4.3 bevat de module WOFOST (WORld FOod STudies), t.o.v. LHM3.4 is dit een nieuwe module. WOFOST is een simulatiemodel van WUR (Boogaard et al, 2014) voor de kwantitatieve analyse van de groei en productie van eenjarige veldgewassen. Binnen LHM wordt WOFOST ingezet als module binnen MetaSWAP. Voor de MetaSWAP-WOFOST-module zijn verschillende invoergegevens nodig, waaronder de dagelijkse dampspanning. Binnen de NWM-modellentrein verzorgt de FEWS-schil centraal het binnenhalen en verwerken van alle KNMI-meteogegevens, zodat er consistentie is tussen de meteo die gebruikt wordt binnen LHM en binnen LSM. Echter, bij de implementatie van de verwerking van de dampspanningsgegevens tot MetaSWAP-WOFOST-invoer is binnen de FEWS-schil een implementatiefout opgetreden, waarvan het effect hiervan in de volgende paragrafen wordt beschreven.

5.4.2 Beschrijving LHM-updates

Sinds LHM 3.4 is een aantal belangrijke updates doorgevoerd, die elk zeer gedetailleerd zijn gedocumenteerd (zie Tabel 2.1, inclusief hyperlinks naar de individuele LHM-veranderingsrapportages). De belangrijkste updates betreffen:

- Een update van de ondergrond met REGIS en GeoTOP
- **Een update van de oppervlaktewaterpeilen**
- **Een update van de weerstanden van het topsysteem**
- Een actualisatie van de onttrekkingsgegevens
- Een actualisatie van de landgebruikskaart
- **Een actualisatie van de beregeningskaart**
- **Koppeling van MetaSWAP met het gewasgroeimodel WOFOST**
- Specifieke aanpassingen in de bouwstenen voor zware kleigronden in MetaSWAP
- Een update van de parameterisatie van kleigronden
- Een actualisatie van de doorspoelingsdebieten⁵
- Een aanpassing van de verdringingsreeks
- **Een kalibratie van het grondwatermodel.**

5.4.3 Analyse-aanpak

Naast het effect van de fout in de dampspanningsinvoer is een selectie gemaakt uit het grote aantal LHM-updates, deze zijn in paragraaf 5.4.2 **vetgedrukt** aangegeven. Deze selectie is gebaseerd op het vermoeden dat die updates de grootste impact op de modeluitkomsten gehad zullen hebben.

⁵ Voor de actualisatie van de doorspoeldebieten zijn geen aparte testruns uitgevoerd, omdat deze als randvoorwaarden in de modellen worden opgelegd. In de analyse is echter wel de bijdrage van de actualisatie van de doorspoeldebieten aan de geconstateerde verschillen onderzocht.

2003

Zoals in paragraaf 1.2 reeds beschreven, is voor deze analyses getracht voor een typisch historisch droog jaar testruns uit te voeren en de modeluitkomsten daarvan met elkaar te vergelijken. Hiervoor is het jaar 2003 gekozen, omdat dit droge jaar zowel onderdeel uitmaakt van de historische periode 1990-2020 die het KNMI gebruikt heeft om de synthetische ensembles op te baseren, alsook onderdeel is van de 101-jarige historische reeks van de BP2018-berekeningen (1911-2011).

De BP2024-modellen bevatten de synthetische KNMI-meteo- en afvoerdebieten; voor de 2003-testruns met de BP2024-modellen als uitgangspunt zijn deze synthetische randvoorwaarden vervangen door de historische meteo-randvoorwaarden en de historische afvoerdebieten bij Lobith van het jaar 2003.

Sommige 2003-analyses met LHM4.3 i.p.v. de LHM-versie van BP2024

Om de effecten van individuele updates t.b.v. een testrun snel te kunnen uitvoeren is vanwege technische efficiëntie-redenen voor een aantal testruns de officiële LHM4.3-release als uitgangspunt gebruikt i.p.v. de LHM-versie van de BP2024-berekeningen. In de analysesresultaten is daarom voor de KPA-regio's IJsselmeer en West-Nederland voor het historische jaar 2003 steeds zowel het verschil in watervragen tussen BP2018 en BP2028 alsook tussen LHM3.4 en LHM4.3 weergegeven, zodat een indruk gekregen kan worden van hoe die verschillen zich onderling verhouden.

Verschillen tussen LHM4.3 en de LHM-versie voor de BP2024-berekeningen

Ter voorbereiding van de BP2024-berekeningen (lees: het samenstellen van de Referentie '28) is in de periode 2022 t/m 2023 in LHM4.3 een aantal aanpassingen doorgevoerd. Zie hiervoor het rapport [Modelinvoer Deltascenario's, hoofdstuk 2](#). De voor deze analyse belangrijkste wijzigingen zijn:

- een update van de landgebruikskaart,
- een update van de beregeningskaart,
- KWA+ i.p.v. KWA-light,
- de doorspoeling van de Afsluitdijk is verhoogd van 10 tot 40 m³/s met hoge prioriteit t.b.v. tegengaan zoutopslating en met nogmaals 30 m³/s met lage prioriteit t.b.v. de [Vismigratierivier](#).

Tabel 5.1 bevat een beschrijving van de lijst van testmodellen.

Tabel 5.1: Lijst van testmodellen.

| Bron / naam testmodel | Beschrijving van model en randvoorwaarden |
|---|--|
| BP2018; jaar 2003 | Resultaten uit BP2018 voor 2003, inclusief alle toenmalige BP2018-randvoorwaarden. |
| BP2024; jaar 2003 | Run met BP2024-versie van LHM4.3, maar met meteo en debieten Lobith van het historische jaar 2003. |
| NHI3.4.0; jaar 2003 | NHI 3.4, jaar 2003 uit een run van de jaren 2000 t/m 2004. |
| LHM4.3; jaar 2003 | LHM 4.3, met meteo en debieten Lobith van het historische jaar 2003. |
| LHM4.3; jaar 2003, incorrecte dampspanningsinvoer | LHM 4.3, inclusief fout in dampspanning. Meteo en debieten Lobith van het historische jaar 2003. |
| LHM4.3; jaar 2003, wofost uitgezet | LHM 4.3 zonder MetaSWAP-WOFOST, en meteo en debieten Lobith van het historische jaar 2003. |
| LHM4.3; jaar 2003, ongekalibreerd | LHM 4.3 ongekalibreerd, en meteo en debieten Lobith van het historische jaar 2003. |
| LHM4.3; jaar 2003, vorige beregeningskaart | LHM 4.3 met oude beregeningskaart, en meteo en debieten Lobith van het historische jaar 2003. |
| LHM4.3; jaar 2003, vorig peilen topsysteem | LHM 4.3 met peilen van vorig topsysteem, en meteo en debieten Lobith van het historische jaar 2003. |
| LHM4.3; jaar 2003, weerstanden vorig topsysteem | LHM 4.3 met weerstanden van vorig topsysteem, en meteo en debieten Lobith van het historische jaar 2003. |

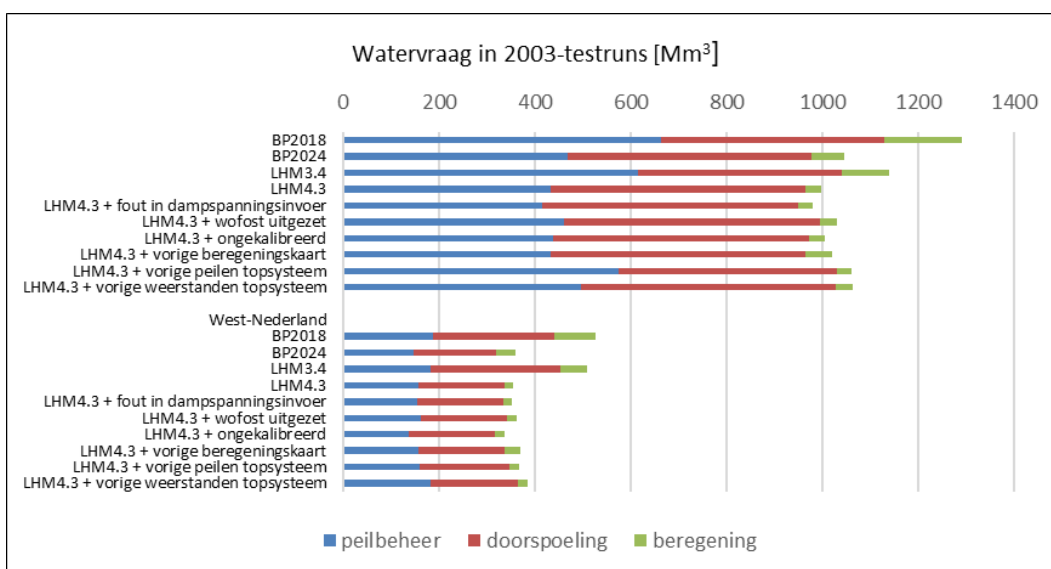
5.4.4 Effecten op watervraag voor historisch droog jaar 2003

Zoals hierboven aangegeven ligt de focus van de analyse op het kunnen verklaren van de verschillen in watervraag voor de hoofdregio's IJsselmeer en Zuidwest Nederland.

In onderstaande tabel worden de watervragen t.b.v. peilbeheer, doorspoeling en berekening per testrun weergegeven. Daarnaast wordt er voor elk van deze 3 categorieën in de 2^e en 3^e kolom van die categorie het verschil (absoluut (Δ) en als percentage ($\Delta\%$)) weergegeven t.o.v. 1) BP2018, jaar 2003, 2) NHI3.4, jaar 2003, en 3) LHM 4.3, jaar 2003.

Tabel 5.2: Watervraag t.b.v. peilbeheer, doorspoeling en berekening voor de hoofdregio's IJsselmeer en West-Nederland voor de verschillende 2003-testrun-modellen zoals beschreven in Tabel 5.1.

| Hoofdregio | bron / naam testmodel | watervraag [mln m3 per jaar] | | | | | | | | | | | |
|----------------|--|------------------------------|------|--------------|------|-----|------|------------|------|--------|-------|-------|------|
| | | peilbeheer | | doorspoeling | | | | berekening | | Totaal | | | |
| | | Δ | Δ(%) | MZ | DM | Tot | Δ | Δ(%) | Δ | Δ(%) | Δ | Δ(%) | |
| IJsselmeer | BP2018 | 664 | | 465 | | | | 164 | | | 1293 | | |
| | BP2024 | 468 | -19% | 509 | -6% | 50 | 44 | 9% | 69 | -9% | 1046 | -24% | -19% |
| | LHM3.4 | 616 | | 426 | | | | 97 | | | 1139 | | |
| | LHM4.3 | 432 | -18% | 533 | | 107 | 25% | 33 | -6% | 998 | -14% | -12% | |
| | LHM4.3 + fout in dampspanningsinvoer | 417 | -16% | 533 | | 0 | 0% | 31 | -2% | 980 | -18% | -2% | |
| | LHM4.3 + wofost uitgezet | 461 | 29% | 533 | | 0 | 0% | 36 | 3% | 1031 | 32% | 3% | |
| | LHM4.3 + ongekalinbreerd | 439 | 6% | 533 | | 0 | 0% | 34 | 1% | 1005 | 7% | 1% | |
| | LHM4.3 + vorige beregeningskaart | 433 | 0% | 533 | | 0 | 0% | 56 | 23% | 1022 | 24% | 2% | |
| | LHM4.3 + vorige peilen topsysteem | 576 | 143% | 454 | | -79 | -15% | 32 | -1% | 1062 | 64% | 6% | |
| | LHM4.3 + vorige weerstanden topsysteem | 496 | 63% | 533 | | 0 | 0% | 34 | 1% | 1063 | 65% | 6% | |
| West-Nederland | BP2018 | 187 | | 254 | | | | 85 | | 526 | | | |
| | BP2024 | 148 | -38% | 172 | -69% | -13 | -82 | -32% | 39 | -46% | 359 | -167% | -32% |
| | LHM3.4 | 182 | | 273 | | | | 55 | | 510 | | | |
| | LHM4.3 | 157 | -25% | 180 | | -93 | -34% | 20 | -36% | 356 | -154% | -30% | |
| | LHM4.3 + fout in dampspanningsinvoer | 154 | -3% | 180 | | 0 | 0% | 19 | -1% | 353 | -4% | -1% | |
| | LHM4.3 + wofost uitgezet | 162 | 6% | 180 | | 0 | 0% | 20 | 1% | 362 | 6% | 2% | |
| | LHM4.3 + ongekalinbreerd | 137 | -20% | 180 | | 0 | 0% | 20 | 0% | 337 | -19% | -5% | |
| | LHM4.3 + vorige beregeningskaart | 157 | 0% | 180 | | 0 | 0% | 33 | 13% | 370 | 13% | 4% | |
| | LHM4.3 + vorige peilen topsysteem | 161 | 4% | 186 | | 6 | 4% | 19 | 0% | 366 | 10% | 3% | |
| | LHM4.3 + vorige weerstanden topsysteem | 183 | 27% | 181 | | 2 | 1% | 20 | 0% | 385 | 29% | 8% | |



Figuur 5.2: Staafdiagram van de watervragen van Tabel 5.2.

In Tabel 5.2 is t.a.v. het verschil in doorspoeldebiet tussen BP2018 en BP2024 voor het testjaar 2003 onderscheid gemaakt tussen MOZART en DM: na het vergelijken van de doorspoeldebieten in de DM-invoer is dit verschil van het totale verschil in watervraag afgetrokken en zo het watervraagverschil voor MOZART bepaald. Hieruit blijkt dat voor de hoofdregio IJsselmeer de toename in doorspoeling vooral in DM (o.a. de Friese Boezem) is gespecificeerd en voor de hoofdregio West-Nederland de afname vooral binnen MOZART (veranderingen in de opgegeven watervraag voor doorspoeling van de local surface waters in MOZART).

Watervraag IJsselmeer

De totale watervraag voor het IJsselmeer in de BP2018-referentieberekeningen was voor het historische jaar 2003 gelijk aan 1293 Mm³. In de BP2024-testrun voor het historische jaar 2003 was dit gelijk aan 1046 Mm³, een vermindering van 247 Mm³, waarvan 196 Mm³ minder voor peilbeheer, 44 Mm³ *meer* voor doorspoeling en 95 Mm³ minder voor beregening.

Door introductie van het MetaSWAP-WOFOST-concept en een update van de beregeningskaart (kleiner areaal beregend) mag voor een droog jaar zoals 2003 een reductie van de watervraag verwacht worden; de vergelijking van de LHM-versies laat opgeteld een afname van 5% zien.

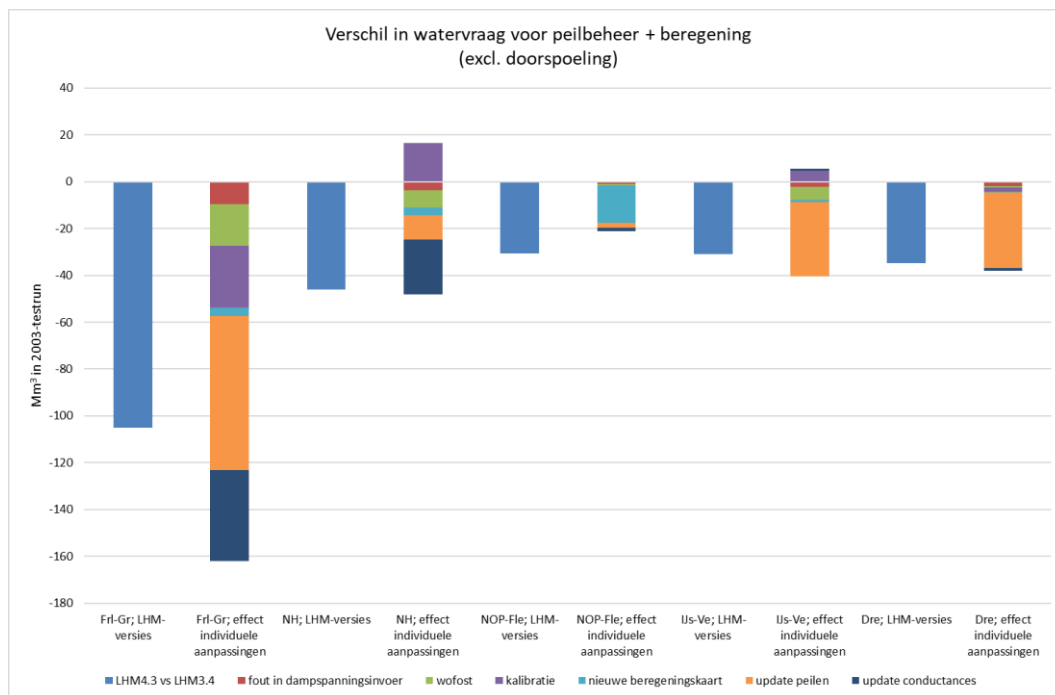
De watervraag voor het IJsselmeer als geheel voor het historische jaar 2003 is met LHM4.3 12% lager dan met LHM3.4, hiervan kan 5% door MetaSWAP-WOFOST en de actualisatie van de beregeningskaart verklaard worden; het resterende verschil van 7% kan worden 'opgeheven' als het vorige topsysteem⁶ (+6%), de correcte dampspanning (+2%) en een ongekalibreerd LHM-model (+1%) gebruikt zou gaan worden, omdat deze drie aanpassingen tezamen de watervraag voor het IJsselmeer in de 2003-testrun met 9% doet toenemen. Bij deze veronderstelling wordt er dan vanuit gegaan dat de effecten van de individuele onderdelen zonder meer bij elkaar opgeteld zouden mogen worden, terwijl ze in werkelijkheid invloed op elkaar hebben.

Hiervoor zou een combinatie-testrun uitgevoerd kunnen worden waarin de hierboven beschreven aanpassingen gelijktijdig zijn doorgevoerd, maar helaas was het uitvoeren van een dergelijke testrun binnen de looptijd van dit onderzoeksproject niet mogelijk.

Een testrun met het droogste 30-jarige referentie-ensemble laat zien dat het effect van de fout in de dampspanningsinvoer op de watervraag van Friesland/Groningen van gemiddeld 2% overeenkomt met het effect voor het historische droge jaar 2003, en jaarlijks fluctueert (1^e – 3^e kwartiel) tussen 1,5% en 3% met een enkele uitschieter naar 6%.

Een testrun voor het jaar 2003 laat zien dat het effect van de kalibratie van LHM een toename van 5% van de watervraag voor Friesland/Groningen veroorzaakt, en voor Noord- en Zuid-Holland een *afname* van de watervraag van 6-8%; voor het jaar 2003 heeft de LHM-kalibratie derhalve voor de watervraag van het IJsselmeer als geheel een zeer beperkt toename van 1% tot gevolg.

⁶ Vorige topsysteem: drainageniveaus, peilen en bodemhoogtes van het drainage- en oppervlaktewatersysteem in MODFLOW, die zijn teruggezet naar LHM 4.2 (= zelfde als in LHM 3.4), en Mozart en DM ook teruggezet naar LHM 4.2.



Figuur 5.3: Verschillen in watervraag voor peilbeheer + berekening (exclusief doorspoeling) voor de KPA-regio's van de hoofdregio IJsselmeer (excl. Waddeneilanden): KPA-regio's Fries Gronings kustgebied (Fri-Gr), Noord-Holland (NH), IJsselmeerpolders (NOP-Fle), IJssel-Vecht (IJs-Ve) en Drents plateau (Dre). Per KPA-regio zijn steeds twee kolommen weergegeven: de 1^e (lichtblauw) geeft het verschil in watervraag voor de 2003-testruns tussen LHM4.3 en LHM3.4, de 2^e geeft de verschillen per individuele aanpassing voor desbetreffende 2003-testrun.

In Figuur 5.3 zijn de verschillen in watervraag van de hoofdregio IJsselmeer uitgesplitst weergegeven per KPA-regio. Hierin valt te zien dat de regio's Fries Gronings kustgebied en Noord-Holland vooral gevoelig zijn voor aanpassingen in het topsysteem (peilen en weerstanden), en de oostelijk gelegen regio's hoofdzakelijk voor alleen de aanpassingen van de peilen van het topsysteem, omdat in LHM4.3 t.o.v. LHM3.4 alleen de topsysteemweerstand in 'Holoceen-Nederland' zijn aangepast. De IJsselmeerpolders zijn alleen gevoelig voor de update van de beregeningskaart; peilen en weerstanden zijn hier namelijk niet aangepast.

Watervraag West-Nederland

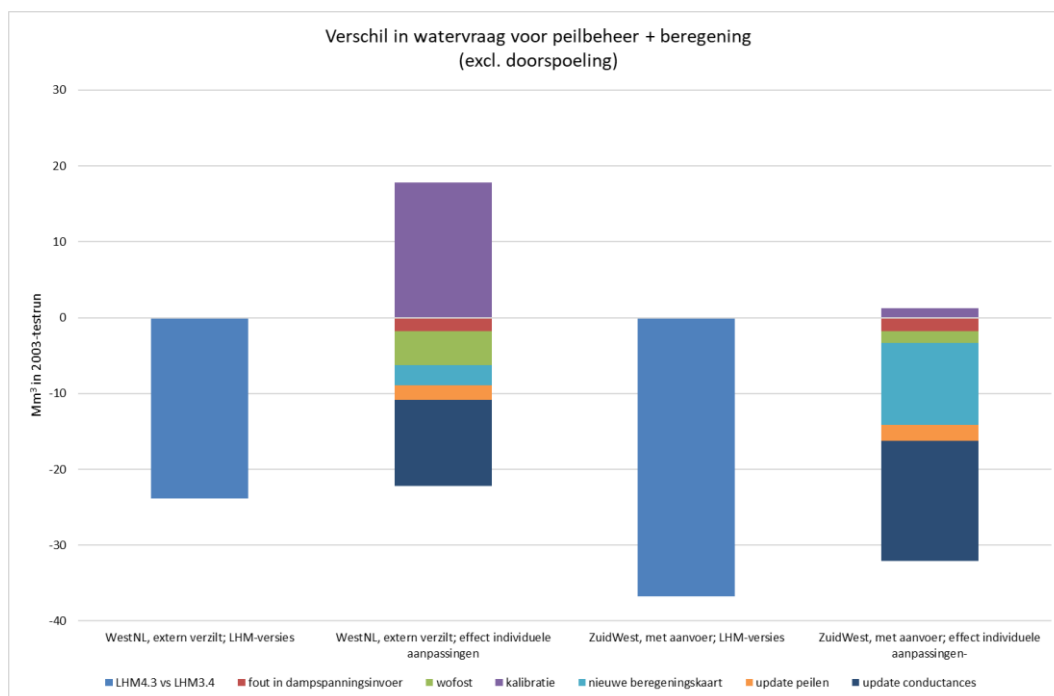
Voor de hoofdregio *West-Nederland* is het beeld complexer: uiteraard zijn de *absolute* verschillen t.o.v. IJsselmeer kleiner, maar procentueel is de BP2024-watervraag 32% kleiner dan in de BP2018-uitkomsten, voor de helft veroorzaakt door een verschil in doorspoelingsvraag⁷ (82 mln m³/jaar), en voor de andere helft door verschillen in watervraag voor peilbeheer (38 mln m³/jaar) en berekening (46 mln m³/jaar).

Net zoals voor de hoofdregio IJsselmeer geldt voor het droge jaar 2003 dat voor de hoofdregio West-Nederland het MetaSWAP-WOFOST-concept en de update van de beregeningskaart een *afname* van de watervraag zouden mogen veroorzaken; de LHM-vergelijking laat een afname van 6 resp. 13 mln m³/jaar zien, t.o.v. LHM3.4 is dat samen 8% minder.

⁷ De doorspoeling is in overleg met de regio aangepast.

Omdat de doorspoeling als *randvoorwaarde* aan de modellen wordt opgelegd en niet, zoals voor peilbeheer en voor beregening, door de modellen berekend wordt, is het verschil in doorspoeling een gevolg van de wijziging van de invoer op aanwijzing van de waterbeheerders en hoeft verder alleen het verschil voor peilbeheer + beregening te worden verklaard. Voor het jaar 2003 is dit resterende verschil (peilbeheer + beregening) tussen LHM3.4 en LHM4.3 gelijk aan een afname van 61 Mm³. Een individuele aanpassing van de weerstanden van het topsysteem veroorzaakt een afname van de watervraag (voor peilbeheer + beregening) van 27 Mm³. Zoals gezegd wordt een afname van 19 Mm³ veroorzaakt door MetaSWAP-WOFOST en de update van de beregeningskaart, en de fout in de dampspanning en de update van de peilen veroorzaken elk een afname van 4 Mm³. De kalibratie doet de watervraag met 19 Mm³ toenemen. Gesommeerd zou daarmee 35 Mm³ van de afname van 61 Mm³ voor peilbeheer en beregening verklaard kunnen worden. Maar ook hier geldt dat de effecten van de individuele aanpassingen niet zomaar bij elkaar opgeteld zouden mogen worden, omdat ze in werkelijkheid invloed op elkaar hebben. Hiervoor zou een combinatie-testrun uitgevoerd kunnen worden waarin de hierboven beschreven aanpassingen gelijktijdig zijn doorgevoerd, maar helaas was het uitvoeren van een dergelijke testrun binnen de looptijd van dit onderzoeksproject niet mogelijk.

Indien de individuele effecten toch bij elkaar opgeteld zouden worden, dus 93 Mm³ minder doorspoeling + 35 Mm³ minder watervraag bij een sommatie van de geteste individuele aanpassingen, dan zou daarmee 84% ((93+35=128)/154) van de afname van de watervraag met 154 Mm³ verklaard zijn.



Figuur 5.4: Verschillen in watervraag voor peilbeheer + beregening (exclusief doorspoeling) voor de twee KPA-regio's van de hoofdregio West Nederland: KPA-regio's Midden West Nederland – extern verzilt (WestNL) en Zuid Westelijk estuariumgebied – met aanvoer (Zuidwest). Per KPA-regio zijn steeds twee kolommen weergegeven: de 1^e (lichtblauw) geeft het verschil in watervraag voor de 2003-testruns tussen LHM4.3 en LHM3.4, de 2^e geeft de verschillen per individuele aanpassing voor desbetreffende 2003-testrun.

Analoog aan de hoofdregio IJsselmeer zijn in Figuur 5.4 voor de hoofdregio West-Nederland de verschillen in watervraag voor de twee KPA-regio's apart weergegeven. Beide regio's zijn vergelijkbaar gevoelig voor de update van de weerstanden van het topsysteem, terwijl de regio Midden West Nederland ook vooral gevoelig is voor de kalibratie en MetaSWAP-WOFOST, en het Zuid Westelijk estuariumgebied vooral voor de nieuwe beregeningskaart.

Bij de analyse van het effect van LHM-updates op de watervraag worden twee kanttekeningen geplaatst:

Ten eerste wordt opgemerkt dat het effect van een aantal LHM-updates op de watervraag in dit onderzoek *niet* onderzocht is omdat dit binnen de beperkte looptijd van de analyses niet mogelijk was:

- Een update van de REGIS-ondergrond.
- Een actualisatie van de onttrekkingsgegevens.
- Een actualisatie van de landgebruikskaart.
- Een aanpassing van de verdringingsreeks.
- Een aanpassing van de parameters in MetaSWAP en in het bijzonder de parameterisatie van kleigronden (de zogenaamde 'kleibouwstenen').

De effecten van bovenstaande updates op de grondwaterstanden zijn beschreven in desbetreffende individuele LHM-veranderingsrapportages. Op basis hiervan wordt ingeschat dat de aanpassing van de parameterisatie van de kleigronden voor de hoofdregio West-Nederland een belangrijke bijdrage geleverd kan hebben aan de vermindering van de watervraag tussen LHM versies 3.4 en 4.3. Dit geldt ook voor de aanpassing van de droogtegevoeligheid in MetaSWAP.

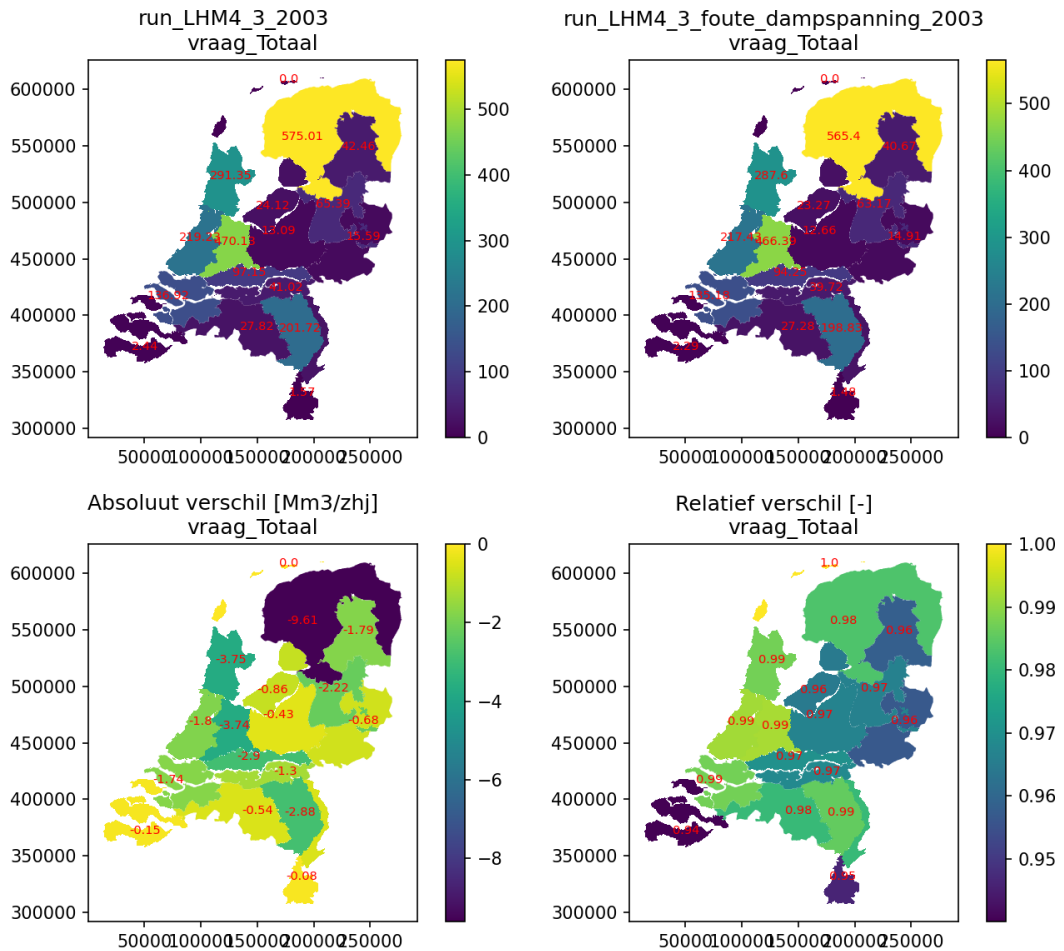
Ten tweede wordt opgemerkt dat na het uitvoeren van de analyses is vastgesteld dat de koppeling tussen MODFLOW en MOZART niet conform verwachting heeft gepresteerd in LHM 4.3. Hierdoor kon in verschillende regio's in Oost en Zuid-Nederland oppervlaktewater naar het grondwater (MODFLOW) blijven infiltreren, ook als dit water niet beschikbaar was in het oppervlaktewatermodel (MOZART). Al bij een eerdere versie van LHM (versie 3.3) is geconstateerd dat dergelijke fouten konden optreden op kleine schaal, maar door recente aanpassingen in de voorbereidingsprogrammatuur van LHM heeft deze fout zich in LHM 4.3 in een veel groter gebied kunnen manifesteren. Ten tijde van het schrijven van voorliggende rapportage wordt in het LHM-project nog gewerkt aan het repareren van de koppeltabellen. De impact van de fout voor het IJsselmeergebied is dan ook nog niet in beeld gebracht. Verwacht wordt dat de impact significant is en dat dit tevens de reden is waarom na kalibratie van de ondergrond in LHM 4.3 en na aanpassing van de peilen in het topsysteem van het LHM het model in delen in het oosten en zuidoosten van Nederland niet naar verwachting heeft gepresteerd in de Basisprognoses (BP2024).

Ruimtelijk beeld van het effect van de fout in de dampspanningsinvoer

In Figuur 5.5 is voor het droge jaar 2003 het effect van de fout in de dampspanningsinvoer op de totale watervraag per regio (volgens de 'oude' indeling van BP2018) ruimtelijk weergegeven, zoals die in de testrun met LHM4.3 is uitgevoerd. Het effect van de fout in de dampspanningsinvoer op de watervraag blijft voor dit droge jaar beperkt tot 1% à 2% (behalve in de Zuidwestelijke Delta, maar daar zijn de absolute waarden zeer klein).

De fout in de dampspanning heeft geen direct effect op de berekende openwaterverdamping, omdat de openwaterverdamping gebruik maakt van andere invoergegevens voor verdamping (op basis van Makkink in plaats van Penman Monteith, die gebruikt is voor de gewasverdamping). Daarmee heeft deze fout in de 2003-testsommen ook niet geleid tot waarneembare verschillen in het uitzakken van het IJsselmeerpeil.

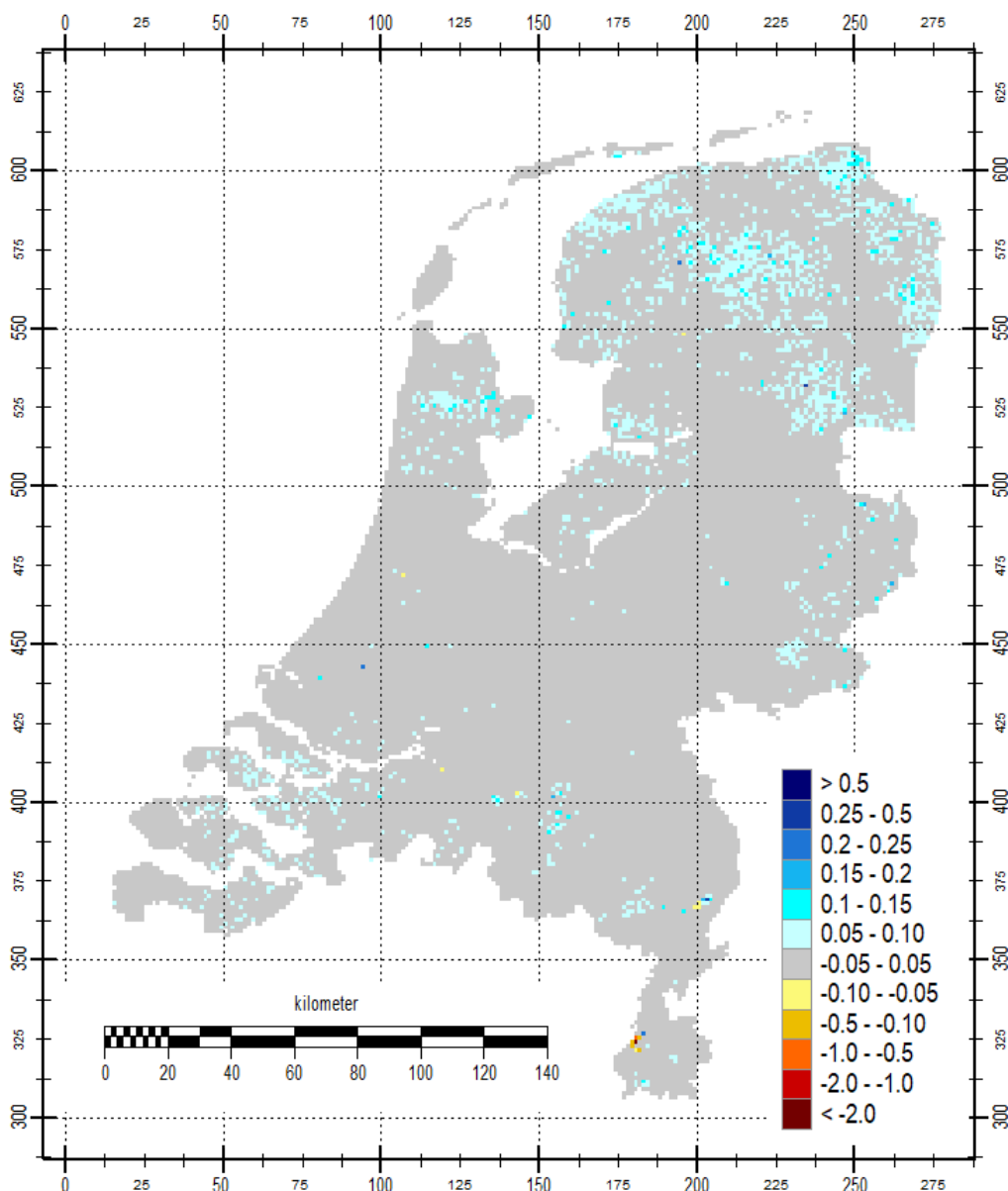
Overigens, de binnen DM berekende watervraag voor het peilbeheer van het IJsselmeer en Markermeer is geen onderdeel van de watervraag voor 'hoofdregio IJsselmeer'.



Figuur 5.5: Linksboven: watervraag per regio berekend met LHM4.3 voor het historische jaar 2003. Rechtsboven: idem, maar dan inclusief de fout in de dampspanningsinvoer. Linksonder: 'rechtsboven' minus 'linksboven'. Rechtsonder: 'rechtsboven' gedeeld door 'linksboven'.

De fout in de dampspanningsinvoer heeft een groot effect op de berekende gewasverdamming en de resulterende berekende grondwaterstanden (en daarmee op de hierop gebaseerde berekende landbouwschade), zoals te zien is in Figuur 5.6 (in de figuur betekent een blauwe kleur dat de foute GLG ondieper/natter is dan de correcte GLG). Voor 2003 is het effect op de LG3⁸ beperkt tot rond de 10 cm met kleinere gebieden tot 15 cm effect. Het is gebleken dat er geen 1-op-1 relatie is tussen het effect op de GLG en het effect op de watervraag voor het jaar 2003, maar dat het effect op de watervraag afneemt naarmate de grondwaterstand dieper is, zie de scatterdiagram in Figuur 5.12 waarin het effect van de fout in de dampspanningsinvoer op de GLG tegen de GLG zelf is afgezet. De effecten van de fout in de dampspanningsinvoer op de GHG en GVG voor het jaar 2003 is qua verbreiding en grootte kleiner dan het effect op de GLG, en zijn daarom niet apart afgebeeld. Het effect van de fout in de dampspanning werkt dus via de hogere grondwaterstanden indirect door in een lager berekende berekende watervraag voor het IJsselmeergebied van 1 à 2% in 2003.

⁸ De GLG is normaliter gebaseerd op de grondwaterstanden van minimaal acht hydrologische jaren, echter, voor deze testrun is het gemiddelde genomen van de drie laagste grondwaterstanden van de éénjarige 2003-testrun van elke 14^e en 28^e dag van de maand. De 'echte' afkorting hiervoor is 'LG3', de VG3 is het éénjarig equivalent van de GVG en de HG3 van de GHG. Omwille van de leesbaarheid wordt in dit document i.p.v. de afkorting 'LG3' de afkorting 'GLG' gehanteerd.



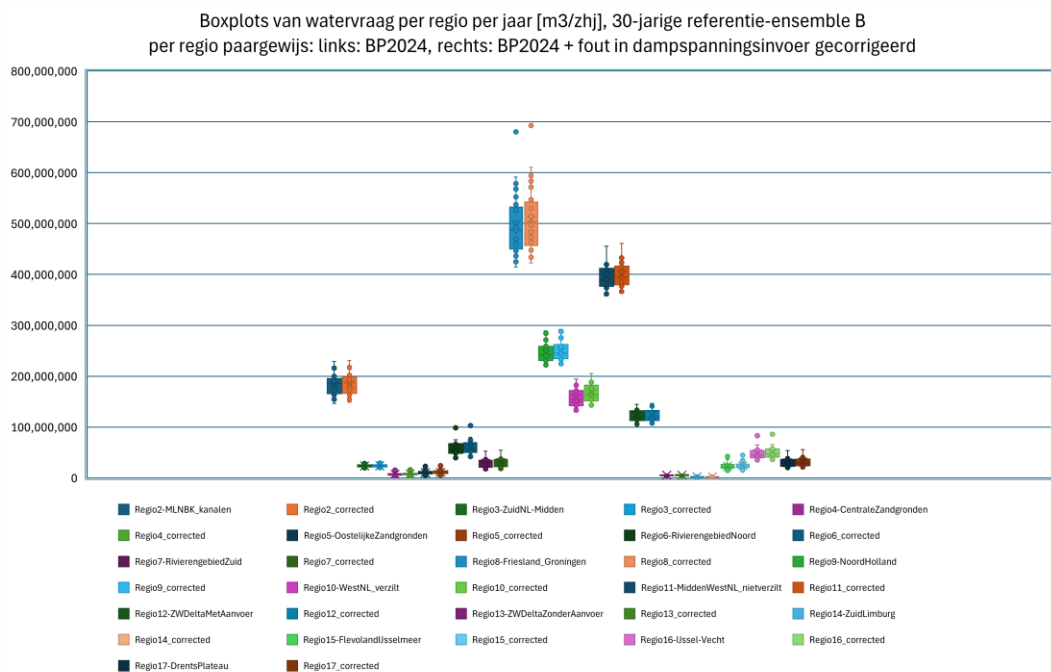
Figuur 5.6: Het effect van de fout in de dampspanningsinvoer op de 'GLG^B' van 2003 (in meters): 'foute' 'GLG in meters t.o.v. NAP' minus correcte 'GLG in meters t.o.v. NAP' van 2003.

5.4.5 Effecten van fout in dampspanningsinvoer voor synthetisch 30-jarig ensemble

Additioneel aan de analyse voor het historische jaar 2003 is t.b.v. het kwantificeren van het effect van de fout in de dampspanningsinvoer een 30-jarige synthetische referentierun gemaakt, en additioneel aan de hoofdregio's IJsselmeer en West-Nederland zijn de effecten ook voor de andere hoofdregio's in beeld gebracht. Het gekozen synthetische 30-jarige ensemble van de referentierun is REF2024b, welke veruit het droogste van de drie referentie-ensembles is. Voor dit 30-jarig ensemble zijn voor twee runs de watervraag en de GxG's met elkaar vergeleken en hieronder weergegeven, namelijk een 30-jarige referentierun inclusief de fout in de dampspanningsinvoer, en een 30-jarige referentierun waarin de fout gecorrigeerd was.

5.4.5.1 Effect op de watervraag

Figuur 5.7 en Tabel 5.3 geven het effect van de fout in de dampspanningsinvoer op de watervraag weer voor ensemble B van de referentierun van BP2024.



Figuur 5.7: Boxplots van de watervraag per regio [m³/zomerhalfjaar], paarsgewijs per regio: linker boxplot: de watervraag van 30-jarig ensemble B van de referentiesom van BP2024, rechter boxplot: idem, maar met correcte dampspanningsinvoer (in legenda ‘_corrected’).

Tabel 5.3: Boxplot-getallen van Figuur 5.7, maar dan uitgedrukt als verschillen per regio, in absolute waarden en als percentage t.o.v. de BP2024-watervragen van desbetreffende regio.

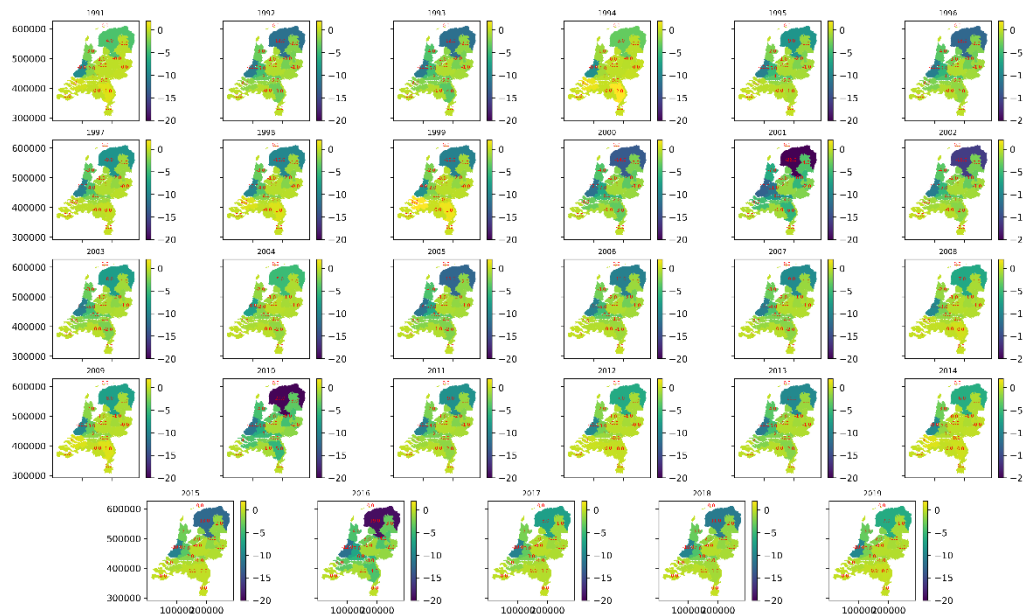
| | Verschil in watervraag met en zonder fout in dampspanningsinvoer, 30-jarige referentierun ensemble B verschil t.o.v. watervraag BP2024 [Mm ³ /zhj] | | | | | verschil in % van regio-watervraag BP2024 [%] | | | | |
|---------------------------------------|--|-------|-------------|-------------|---------|---|-------|-------------|-------------|---------|
| | min | max | 1e kwartiel | 3e kwartiel | mediaan | min | max | 1e kwartiel | 3e kwartiel | mediaan |
| Regio2-MLNBK_kanalen | -2.4 | 5.7 | -0.2 | 2.3 | 1.3 | -1.3% | 3.1% | -0.1% | 1.3% | 0.7% |
| Regio3-ZuidNL-Midden | -0.2 | 1.0 | 0.1 | 0.5 | 0.3 | -0.8% | 4.4% | 0.2% | 2.1% | 1.5% |
| Regio4-CentraleZandgronden | 0.2 | 1.5 | 0.4 | 0.7 | 0.5 | 2.0% | 19.4% | 4.6% | 9.5% | 6.8% |
| Regio5-OostelijkeZandgronden | 0.0 | 2.2 | 0.4 | 1.1 | 0.6 | -0.3% | 20.1% | 3.7% | 9.9% | 6.0% |
| Regio6-RivierengebiedNoord | 0.2 | 8.1 | 1.7 | 3.5 | 2.4 | 0.4% | 13.8% | 2.8% | 5.9% | 4.2% |
| Regio7-RivierengebiedZuid | -0.2 | 3.6 | 0.6 | 1.9 | 1.4 | -0.5% | 11.3% | 1.8% | 6.0% | 4.4% |
| Regio8-Friesland_Groningen | 3.3 | 25.8 | 7.2 | 12.6 | 9.6 | 0.6% | 5.1% | 1.4% | 2.5% | 1.9% |
| Regio9-NoordHolland | 1.2 | 6.6 | 2.4 | 3.7 | 3.0 | 0.5% | 2.7% | 1.0% | 1.5% | 1.2% |
| Regio10-WestNL_verzilt | 7.6 | 13.2 | 9.7 | 10.9 | 10.3 | 4.6% | 8.0% | 5.9% | 6.6% | 6.2% |
| Regio11-MiddenWestNL_nietverzilt | 1.1 | 11.4 | 2.6 | 5.3 | 4.2 | 0.3% | 2.9% | 0.6% | 1.3% | 1.1% |
| Regio12-ZWDeltaMetAanvoer | -2.3 | 4.7 | -0.1 | 2.1 | 0.9 | -1.9% | 3.9% | -0.1% | 1.7% | 0.7% |
| Regio13-ZWDeltaZonderAanvoer | -0.3 | 0.5 | 0.0 | 0.2 | 0.0 | -5.2% | 9.2% | -0.9% | 4.6% | 0.9% |
| Regio14-ZuidLimburg | -0.2 | 0.2 | -0.1 | 0.2 | 0.0 | -10.1% | 10.1% | -2.7% | 6.5% | 0.3% |
| Regio15-FlevolandIJsselmeer | 0.1 | 3.6 | 0.7 | 1.9 | 1.2 | 0.6% | 15.6% | 2.9% | 8.3% | 5.1% |
| Regio16-IJssel-Vecht | 0.2 | 5.6 | 1.1 | 2.7 | 1.7 | 0.4% | 11.7% | 2.2% | 5.7% | 3.5% |
| Regio17-DrentsPlateau | 0.3 | 4.0 | 1.0 | 2.0 | 1.4 | 0.9% | 13.7% | 3.3% | 6.6% | 4.7% |
| Hoofdreio IJsselmeer (1,8,9,15,16,17) | -96.7 | -11.6 | -51.6 | -26.3 | -39.5 | -5.2% | -0.6% | -2.8% | -1.4% | -2.1% |
| Hoofdreio West Nederland (10,12) | -17.9 | -6.7 | -13.0 | -9.2 | -11.1 | -6.3% | -2.4% | -4.6% | -3.3% | -3.9% |

Binnen de hoofdreio IJsselmeer varieert het effect voor de regio Friesland-Groningen hoofdzakelijk (van 1^e t/m 3^e kwartiel) tussen de 1,4% en 2,5% met uitschieters naar beneden en naar boven van 0,6% in het synthetische simulatiejaar 1994 respectievelijk 5,1% in het synthetische simulatiejaar 2001 (zie Figuur 5.8). Voor de regio Noord-Holland is het effect gemiddeld 1,2% en varieert het effect hoofdzakelijk (van 1^e t/m 3^e kwartiel) tussen 1,0% en 1,5%. Voor de hoofdreio IJsselmeer als geheel varieert het effect 2,1%, dit komt overeen met het berekende verschil van 2% in de testrun van het historische jaar 2003 (zie Tabel 5.2). De 30-jarige testrun laat daarmee een additionele fluctuatie van het effect zien van 0,5% voor de hoofdreio IJsselmeer als geheel.

In de hoofdregio West-Nederland is het effect in de 30-jarige run gemiddeld 3.9%; in de éénjarige 2003-testrun bedraagt dit 1%. Dit *grotere* 30-jarige gemiddelde effect zit *niet* in de regio 'Zuid Westelijk estuariumgebied – met aanvoer' (0.9 Mm³, 0.7%), maar in de regio 'Midden West-Nederland verzilt' (10.3 Mm³, 6.2%). De fluctuatie van het effect (3^e kwartiel minus 1^e kwartiel) rondom dit gemiddelde van 6.2% is gelijk aan 0.8%; waarom de totale range van het effect in de 30-jarige run boven het éénjarige 2003-testrun-effect ligt is niet duidelijk.



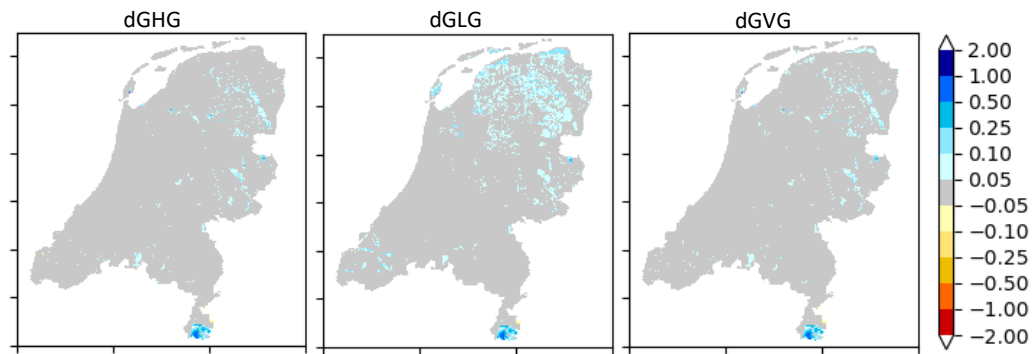
Figuur 5.8: Effect van de fout in de dampspanningsinvoer op de watervraag per jaar uit het 30-jarige droogste referentie-ensemble B uitgedrukt als fractie [-]: de verandering als gevolg van de implementatie van de incorrecte dampspanningsinvoer gedeeld door de omvang van de watervraag uit het model met de correcte dampspanningsinvoer.



Figuur 5.9: Idem aan Figuur 5.8, maar nu als absolute verschillen [Mm3/zomerhalfjaar].

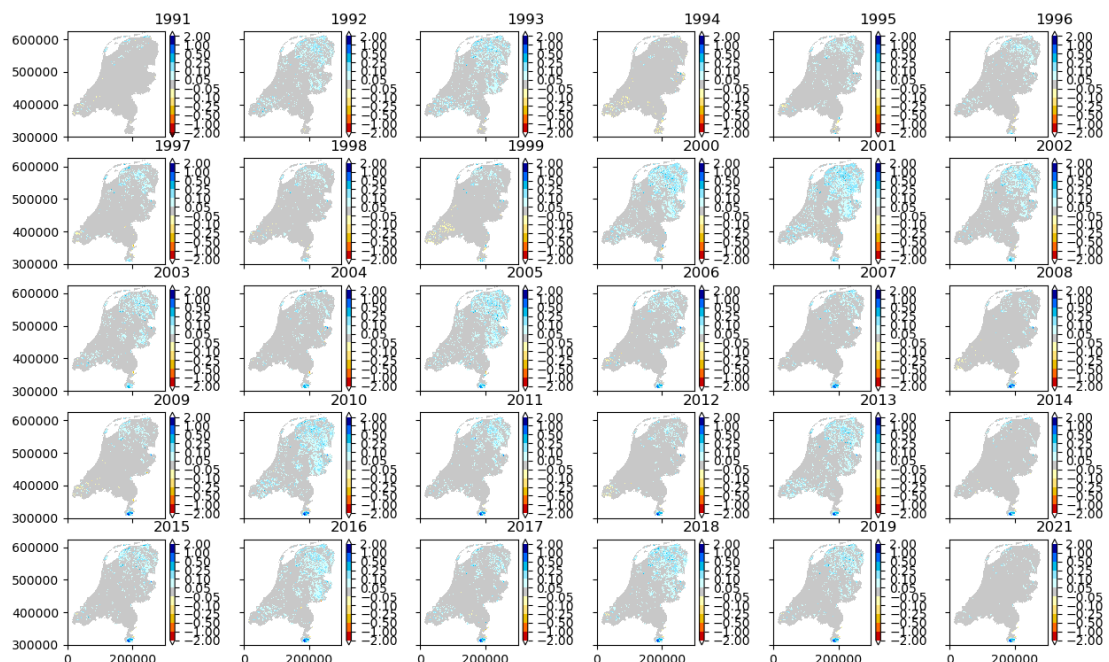
5.4.5.2 Effect op GxG's

Het gemiddelde effect van de fout in de dampspanningsinvoer op de GxG's is in Figuur 5.10 afgebeeld. Het gemiddelde effect op de GLG is qua orde van grootte vergelijkbaar met het effect dat uit de testrun voor het jaar 2003 naar voren kwam, namelijk tot enkele decimeters.



Figuur 5.10: Gemiddeld effect van de fout in de dampspanningsinvoer op de GxG's (in meters) op basis van twee 30-jarige referentieruns (REFb), 'met fout' minus 'zonder fout'.

T.o.v. de 2003-testrun geeft de 30-jarige testrun inzicht in wat de variatie rondom het gemiddelde effect kan zijn, deze effecten zijn per jaar in Figuur 5.11 afgebeeld.



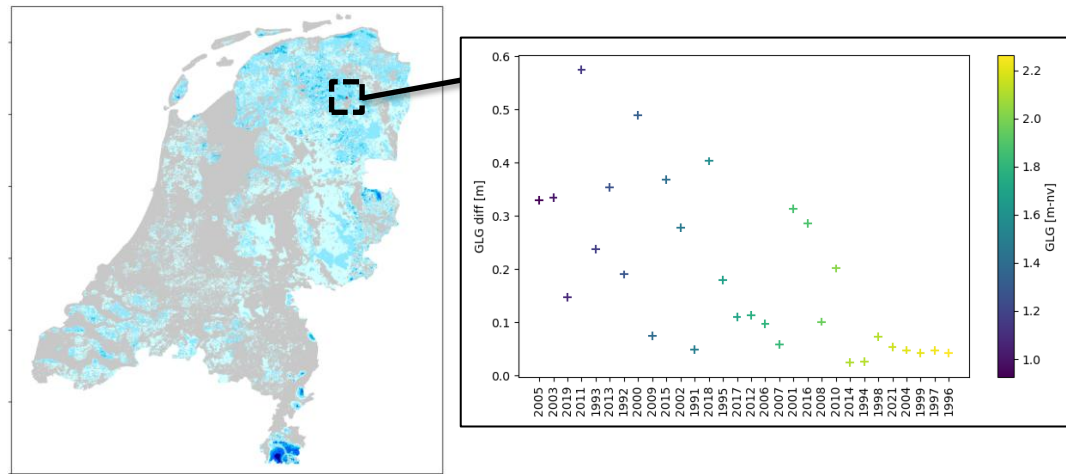
Figuur 5.11: Effect van de fout in de dampspanningsinvoer op de jaarlijkse GLG (in meters) voor alle 30 jaren van de synthetische referentierun B.

In de droogste jaren is het areaal van het effect groter, en is hoofdzakelijk zichtbaar in het noorden en oosten van Nederland, echter, de variatie van de fout in de GLG blijft in de orde grootte van decimeters.

5.4.5.3 Relatie effect op GLG en effect op watervraag

In paragraaf 5.4.4 werd geconstateerd dat het effect van de fout in de dampspanningsinvoer op de GLG niet 1-op-1 een groot effect heeft op de watervraag in Friesland en Groningen, terwijl dat in 1^e instantie wel aannemelijk zou lijken. Daarom is een scatterdiagram gemaakt waarin het effect op de GLG tegen de GLG-zelf is uitgezet voor een klein gebiedje in Noord-Drenthe waar de grootste verschillen in GLG voorkomen in het synthetische jaar 2001 van referentie-ensemble B, zie Figuur 5.12.

Hierin is duidelijk te zien dat het effect op de GLG het kleinst is bij de diepste GLG's, en andersom, dat het effect op de GLG toeneemt bij ondiepere GLG's. Anders gezegd: onder droge omstandigheden met diepe grondwaterstanden heeft de fout in de dampspanningsinvoer nauwelijks een additioneel effect meer. Maar bij ondiepe GLG's kan het effect wel degelijk significant zijn, ook al zie je dat niet 1-op-1 terug in de watervraag.



Figuur 5.12: Scatterdiagram van het effect op de GLG (y-as) van de fout in de dampspanningsinvoer tegen GLG-waarden gesorteerd naar diepte (x-as); de diepte van de GLG (t.o.v. maaiveld) van desbetreffend jaar is weergegeven door gebruik te maken van een kleuren-legenda. De kaart links toont per gridcel het maximale GLG-effect over alle jaren.

5.4.5.4 Conclusies

Conclusies t.a.v. het effect op de watervraag:

- De 30-jarige run laat zien dat de grootte van de effecten van de fout in de dampspanningsinvoer op de watervraag en de omvang van gebieden met effecten op de watervraag van jaar tot jaar varieert.

Hoofdreio IJsselmeer:

- Het gemiddelde effect van 2.1% komt overeen met het effect van de éénjarige 2003-testrun.
- De 30-jarige run laat een fluctuatie (verschil 1^e en 3^e kwartiel) zien van 1.4% rondom dit gemiddelde van 2.1%.

Hoofdreio West-Nederland:

- De 30-jarige run laat een groter gemiddeld effect zien (3.9%) dan de éénjarige 2003-testrun (1%), en met een variatie rondom dat gemiddelde van 1.4%.
- Dit gemiddelde effect komt hoofdzakelijk voor binnen de regio 'Midden West Nederland – verzilt' (6.2%, met een variatie rondom dat gemiddelde van 0.8%).
- De oorzaak van dit hogere gemiddelde effect is vooralsnog onbekend.

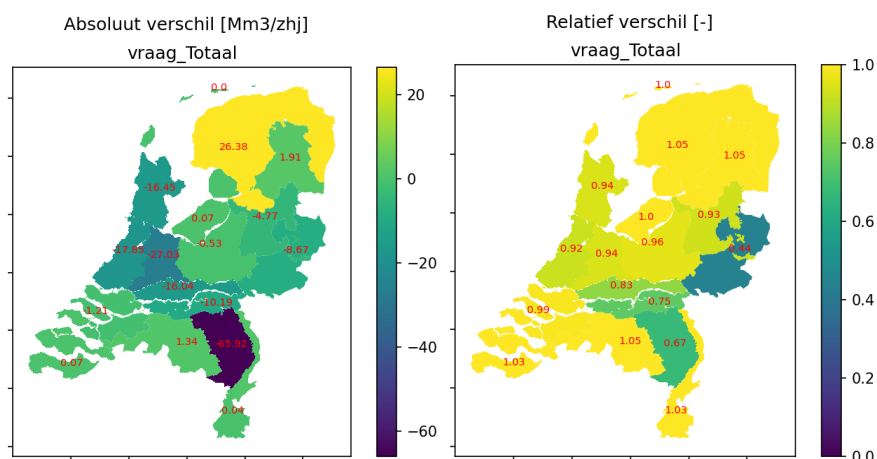
Conclusies t.a.v. het effect op de GxG's:

- Het effect van de fout in de dampspanningsinvoer op de GLG is in de orde van grootte van enkele decimeters, en varieert qua gebiedsomvang van jaar tot jaar; in de droogste jaren is het areaal van het effect op de GLG groter, en is hoofdzakelijk zichtbaar in het noorden en oosten van Nederland, echter, de variatie van de fout in de GLG blijft in de orde grootte van decimeters. Het effect op de GVG en GHG is zowel qua grootte van het effect en qua omvang van het gebied kleiner.
- Er is geen 1-op-1 relatie tussen een effect op de GLG en het effect op de watervraag.
- Hoewel het effect op de watervraag beperkt is, is het effect op de GLG's en daarmee op de berekende watertekorten dusdanig dat de Basisprognose-resultaten niet bruikbaar zijn voor o.a. effectbepalingen voor de landbouw (zie ook hoofdstuk 6).

5.4.6 Effect van kalibratie

5.4.6.1 Effect op watervraag

In Figuur 5.13 is voor het historische jaar 2003 het absolute en relatieve verschil voor de watervraag ruimtelijk afgebeeld voor de regio's in Nederland: de watervraag van het geijkte LHM4.3-model minus de watervraag van het LHM4.3 zonder gekalibreerde modelparameters. Voor Noord- en Zuid-Holland zal bij gebruik van een model zonder gekalibreerde modelparameters de watervraag in heel westelijk Nederland afnemen, terwijl de watervraag als gevolg van het gebruiken van een ongekalibreerd model de watervraag in Friesland en Groningen zal laten toenemen. In paragraaf 5.4.4 werd voor de watervraag van het IJsselmeer voor het historische jaar 2003 geconstateerd dat het effect van de kalibratie minimaal is, echter, mogelijk wordt dit veroorzaakt doordat in de op het IJsselmeer aangesloten regio's zowel een toename (Friesland en Groningen) alsook een afname (Noord- en Zuid-Holland) als gevolg van ongekalibreerd rekenen zal optreden, en deze tegengestelde effecten met betrekking tot de IJsselmeer-watervraag elkaar grotendeels kunnen neutraliseren. Zoals eerder opgemerkt zal er ook een interactie kunnen ontstaan in combinatie met andere LHM-modelaanpassingen, hetgeen het belang van de combinatie benadrukt. Relatief gezien (zie Figuur 5.13) zijn de effect-percentages voor Noord-Nederland 5% en voor westelijk Nederland liggen die tussen 6% en 8%. Voor Oost-Brabant / Noord-Limburg ligt dit percentage hoger (ongeveer 30%). Daarbij wordt opgemerkt dat in het oosten en zuiden van Nederland de berekende effecten kunnen zijn beïnvloed door een recent geconstateerde fout in de koppeltabellen tussen MODFLOW en MOZART. Deze effecten worden nog nader onderzocht (zie paragraaf 5.4.4).



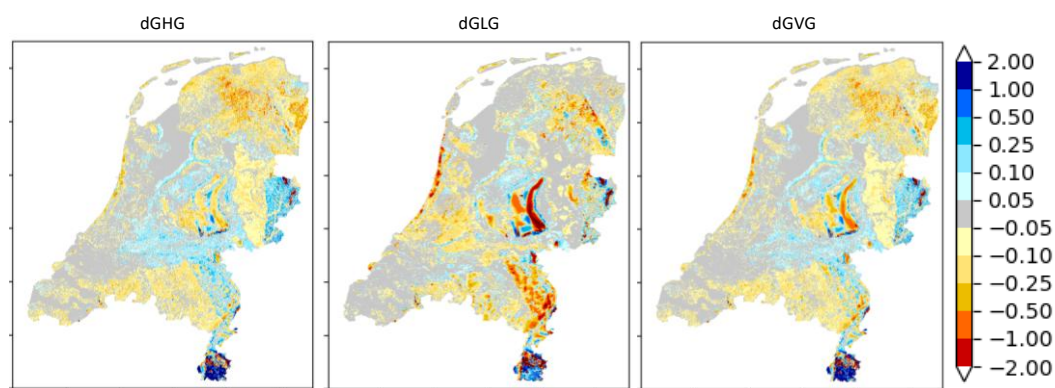
Figuur 5.13: Effect van kalibratie op de watervraag voor historisch jaar 2003. Links: LHM4.3 zonder gekalibreerde modelparameters minus gekalibreerd LHM4.3. Rechts: watervraag van ongekalibreerd LHM4.3-model gedeeld door watervraag van gekalibreerd LHM4.3-model.

Conclusies:

- Het effect van de kalibratie op de watervraag varieert van regio tot regio: de kalibratie doet de watervraag voor Friesland/Groningen afnemen terwijl het voor Noord-Holland toeneemt waardoor er per saldo vrijwel geen effect is op de watervraag voor de hoofdregio IJsselmeer als geheel. Voor de hoofdregio West-Nederland veroorzaakt de kalibratie een hogere watervraag.
- Het effect van een recent geconstateerde fout in de koppeltabellen tussen MODFLOW en MOZART is nog niet apart gekwantificeerd, maar het hierboven beschreven effect van de kalibratie in het oosten en zuiden van Nederland kan hierdoor wel beïnvloed zijn. Het kwantificeren van het effect van deze fout was binnen de looptijd van dit onderzoek niet mogelijk.

5.4.6.2 Effect op GxG's

Analoog aan de effecten op de watervraag zijn in Figuur 5.14 zijn de effecten van de kalibratie op de GxG's voor het historische jaar 2003 weergegeven. De kalibratie heeft het model in delen van het gebied natter gemaakt en in andere delen juist droger om de modelresultaten daar beter overeen te laten komen met de doelfunctie (d.w.z. de DINO-metingen en de grondwaterspiegeldiepte kaart, zie rapportage LHM 4.3, Janssen et al, 2023). De grootste effecten op de GLG bevinden zich in de (buurt van) zandige gebieden waar reeds diepere grondwaterstanden voorkomen, zoals op de Veluwe en de Hondsrug, maar ook het effect in Oost-Brabant/Noord-Limburg valt op; de effecten in sommige delen van deze gebieden zijn een halve meter, maar dit is niet relevant voor de effecten op de watervraag van het IJsselmeer noch van West-Nederland.



Figuur 5.14: Effect van kalibratie op de GxG's voor het historische jaar 2003 [meter]. Positieve waarden (blauw): na kalibratie berekent het model hogere grondwaterstanden.

Conclusies:

- De kalibratie van het model leidt in de 2003-testrun in sommige gebieden tot hogere grondwaterstanden en lagere in andere. De grootste effecten komen voor in zandige gebieden zoals de Veluwe en de Hondsrug, en in Oost-Brabant/Noord-Limburg, met effecten tot een halve meter.
- Het effect van een recent geconstateerde fout in de koppeltabellen tussen MODFLOW en MOZART is nog niet apart gekwantificeerd, maar het hierboven beschreven effect van de kalibratie in het oosten en zuiden van Nederland kan hierdoor wel beïnvloed zijn. Het kwantificeren van het effect van deze fout was binnen de looptijd van dit onderzoek niet mogelijk.

5.5 Conclusies t.a.v. de verklaring van de verschillen in watervraag

Op basis van de resultaten van de uitgevoerde analyses ter verklaring van de verschillen in watervraag kunnen de onderstaande samenvattende conclusies getrokken worden:

Hoofdregio IJsselmeer:

- De kleinere BP2024-watervraag (netto 247 Mm³ minder) is vooral een gevolg van de verandering in de vraag voor peilbeheer (196 Mm³ = 29% minder voor peilbeheer) en beregening (95 Mm³ = 58% minder voor beregening), dit is inclusief een grotere opgelegde doorspoeling (44 Mm³ = 9% meer voor doorspoeling).
- Deze kleinere watervraag wordt veroorzaakt door veranderingen in (de invoer van) het LHM-model: de grootste bijdrage aan deze kleinere watervraag lijkt veroorzaakt door de LHM-update van peilen en weerstanden van het topsysteem; de andere geteste individuele veranderingen in LHM (WOFOST-concept, update beregeningskaart, fout in dampspanningsinvoer) dragen samen ook bij maar minder, daarbij is de bijdrage van de kalibratie regionaal zowel positief als negatief maar per saldo het kleinst.
- De effecten van een recent geconstateerde fout in de koppeling tussen MODFLOW en MOZART zijn nog niet gekwantificeerd. De resultaten in het oosten en zuiden van Nederland kunnen hierdoor beïnvloed zijn. Dit wordt nog nader onderzocht.
- Qua omvang zouden de individuele effecten opgeteld daarmee de kleinere watervraag volledig kunnen verklaren, echter, de interactie tussen de individuele effecten is niet gekwantificeerd; een combinatie-testrun wordt daarom aanbevolen.

Hoofdregio West-Nederland:

- Van de kleinere BP2024-watervraag (167 Mm³ minder) is de helft een gevolg van de verandering in de vraag voor doorspoeling (82 Mm³ = 32% minder voor doorspoeling), en de andere helft een gevolg van de verandering in de vraag voor de combinatie van peilbeheer 38 Mm³ (21% minder voor peilbeheer) en beregening 46 Mm³ (dit is 54% minder voor beregening).
- Deze kleinere watervraag wordt veroorzaakt door veranderingen in (de invoer van) het LHM-model, waarbij de grootste bijdrage aan deze kleinere watervraag – net zoals voor de hoofdregio IJsselmeer - veroorzaakt lijkt te worden door de LHM-update van de peilen en weerstanden van het topsysteem; andere geteste individuele veranderingen in LHM (WOFOST-concept, update beregeningskaart, fout in dampspanningsinvoer) spelen voor deze hoofdregio een kleine rol, en de kalibratie heeft de watervraag in het model doen toenemen.
- Qua omvang kunnen de individuele effecten opgeteld de kleinere watervraag voor 84% verklaren, echter, de interactie tussen de individuele effecten is niet gekwantificeerd; een combinatie-testrun wordt daarom aanbevolen.

Opgemerkt dient te worden dat de uitgevoerde analyses niet uitputtend zijn geweest: het effect van b.v. een aantal LHM-updates op de watervraag is niet getest, o.a. het effect van specifieke aanpassingen in de bouwstenen voor zware kleigronden en aanpassingen van de droogtegevoeligheid in de parameters in MetaSWAP. Van beiden wordt vermoed dat het effect op modeluitkomsten en daarmee op de watervraag significant kunnen zijn.

Het effect van de fout in de dampspanningsinvoer op de watervraag is beperkt, echter, het effect op de GxG's is dusdanig significant dat de resultaten van de Basisprognoses niet bruikbaar zijn voor grondwaterstanden-gerelateerde analyses. Daarnaast heeft ook de kalibratie een significant effect op de GxG's gehad.

6 Gevolgen effectbepaling

Schasfoort et al. (2024) hebben de resultaten van BP2024 gebruikt om de maatschappelijke effecten van veranderende zoetwaterbeschikbaarheid en watervraag te bepalen met behulp van de zogenoemde effectmodules. In dit rapport wordt een overzicht gegeven van de gevolgen van de in dit rapport geconstateerde problemen met de resultaten van BP2024 voor de betrouwbaarheid van de resultaten per effectmodule (Tabel 6.1). Geconcludeerd kan worden dat alleen voor scheepvaart het bepaalde economische effect van de scenario's betrouwbaar geacht wordt.

Tabel 6.1: Overzicht van het verwachte effect van de verschillen in de Basisprognoses op de betrouwbaarheid van de resultaten van de effectmodules, waarbij onderscheid wordt gemaakt tussen betrouwbaarheid van resultaten voor de referentie en de Deltascenario's (Schasfoort et al., 2024, Tabel -1-1).

| Sector | Effectmodules | LHM/LSM uitvoervariable doorslaggevend voor betrouwbaarheid | Betrouwbaarheid Referentie | Betrouwbaarheid Scenario's |
|-------------|---------------------------------|---|----------------------------|----------------------------|
| Landbouw | Droogteschade | Watervraag, Watertekort berekening | - | - |
| | Verziltig | GxG's, kwelflux, berekening | ? | - |
| Scheepvaart | Scheepvaart | Rivierafvoer | + | + |
| Natuur | Aquatisch | Kwelfluxen | - | - |
| | Natuurbranden | Bodemvocht | - | - |
| | Verziltig | GxG's, kwelflux | ? | - |
| Drinkwater | Drinkwater uit oppervlaktewater | Chloride in oppervlaktewater | - | - |
| Bodemdaling | Bodemdaling | GxG's | - | - |
| | Funderingsrisico | GxG's | - | - |

7 Aanbevelingen

Eind 2024 is geconstateerd dat de resultaten van de Basisprognoses 2024 onvoldoende overeenkomen met het beeld van de huidige praktijk. Aansluitend is een onderzoek uitgevoerd bestaande uit de toetsing van een aantal hypothesen ter verklaring van de geconstateerde verschillen tussen de BP2018- en BP2024-uitkomsten; de opzet en de resultaten daarvan zijn in de voorgaande hoofdstukken beschreven. Sinds eind 2024 zijn de Basisprognoses 2024 niet langer beschikbaar, maar op termijn is er wellicht behoefte aan herberekeningen van deze Basisprognoses waarvan de uitkomsten aansluiten bij de beelden van de huidige praktijk. Ter voorbereiding van eventuele herberekeningen worden onderstaande aanbevelingen gedaan.

Combinatierun ter bepaling van gestapeld effect van de individuele modelaanpassingen

In het hierboven beschreven onderzoek zijn effecten van modelaanpassingen individueel ingeschat aan de hand van een droog historisch jaar (2003). Echter, de gebruikte modellen bevatten een stapeling van deze individuele aanpassingen die elkaar beïnvloeden. Om een indruk te krijgen van de orde van grootte van het gezamenlijke effect van de onderzochte aanpassingen wordt daarom het uitvoeren van een combinatie-run aanbevolen, met de volgende componenten:

- Uitvoering van een LHMZ0-testrun, met daarin gelijktijdig de volgende aanpassingen:
 - Met een correcte dampspanningsinvoer
 - Met de update van beregeningskaart
 - Met het MetaSWAP-WOFOST-concept
 - Met ongekalibreerde ondergrondparameters
 - Met de vorige regionale topsysteempeilen
 - Met de update van de weerstanden van topsysteem
 - Correctie van de MODFLOW-MOZART-koppelingstabellen
- Aansluitend de uitvoering van een LSMZ0-testrun:
 - zonder KWA-trigger (zonder Krimpenerwaardroute en zonder KWA-route bij lage Q-Lobith-afvoeren)
 - met verhoogde weerstand tussen Oude en Nieuwe Maas

Binnen deze LSMZ0-testrun kan nagegaan worden in hoeverre het Chloride-gehalte bij Krimpen aan den IJssel boven de 200 mg/l-grens komt.

Stapsgewijze kwaliteitsborging

Aanbevolen wordt om de kwaliteitsborging significant uit te breiden door deze onder te verdelen in een aantal stappen:

- Validatie en acceptatie van de modellen op basis van beleidsrelevante indicatoren, zoals bijvoorbeeld het chloridegehalte bij Krimpen aan den IJssel in het zomerhalfjaar bij lage Rijnafvoer.
- O.a. splitsen van klimaat- en socio-economische scenario's
- Eerst een historische reeks doorrekenen.

Verbetering LHM- en LSM-modellen

Daarnaast dienen de individuele LHM- en LSM-modellen eerst verbeterd te worden:

- Ten behoeve van de berekening van de KWA-trigger dient de berekening van de chlorideconcentraties verbeterd te worden:
 - LSM kalibreren op afvoerverdeling en zout, of:
 - Een nieuwe Q_{NWW} -Chloride-relatie testen en valideren.
- Het uitgebreid testen van een nieuwe LHM-release die de gewenste updates bevat (o.a. WOFOST-concept, update beregeningskaart) en waarin geconstateerde ongewenste updates/aanpassingen zijn teruggedraaid (kalibratie, landelijke harmonisatie regionale peilen, aanpassingen van de MODFLOW-MOZART-koppeling).
- Uitgebreide controle van de aanmaak van de dampspanningsinvoer binnen de FEWS-schil.

Referenties

- Boogaard, H.L., A.J.W. De Wit, J.A. te Roller, C.A. Van Diepen, 2014. WOFOST CONTROL CENTRE 2.1; User's guide for the WOFOST CONTROL CENTRE 2.1 and the crop growth simulation model WOFOST 7.1.7. Wageningen (Netherlands), Alterra, Wageningen University & Research Centre.
- Janssen, Gijs, Paul van Walsum, Peter Vermeulen, Rianne Meeusen, Janneke Pouwels, Geert Prinsen, Ilja America - van den Heuvel, Esmée Mes, Joost Delsman, Hendrik Kok, Timo Kroon.
Veranderingsrapportage LHM 4.3 Actualisatie van het Landelijk Hydrologisch Model in 2022 en 2023. Deltares rapport 11209235-000-BGS-0001.
- Mens, M.J.P., J. Hunink, J. Delsman, J. Pouwels, F. Schasfoort (2020). Geactualiseerde knelpuntenanalyse voor het Deltaprogramma Zoetwater fase II. Deltares rapport 11203734-003-ZWS-0002, Delft.
- Mens, M.J.P., K. Horváth, S. Muurman (2025). QWAST validatie 2025. svn459. Deltares rapport 11211164-004-ZWS-0001, Delft.
- Pronk, T. 2021. Actualisatie regressiemodel voor chlorideconcentraties bij Lobith en Eijsden. KWR rapport 2021.045.
- Schasfoort, F., T. van Woerkom, R. Melman, B. Knaake, M. Korff, N. Nappo, E. Meijers, G. Pijcke, G. Geerling, S. Boerlijst, I. America – van den Heuvel, R. van der Wijk, M. Woning, M. van Marle (2024). Maatschappelijke effecten van veranderende zoetwaterbeschikbaarheid en watervraag. Methode-ontwikkeling en proeftoepassing voor het Deltaprogramma Zoetwater. Deltares rapport 11210039-000-ZWS-0001, Delft.

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

Deltares

www.deltares.nl