

Methode voor het afleiden van de afvoerscenario's voor de KNMI'23 scenario's voor de Vecht



Methode voor het afleiden van de afvoerscenario's voor de KNMI'23 scenarios voor de Vecht

Auteur(s)

Frederiek Serna Weiland

Corine ten Velden

Joost Buitink

Methode voor het afleiden van de afvoerscenario's voor de KNMI'23 scenarios voor de Vecht

Opdrachtgever	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
Contactpersoon	de heer R. Schielen
Referenties	
Trefwoorden	

Documentgegevens

Versie	1.0
Datum	03-07-2024
Projectnummer	11210368-000
Document ID	11210368-000-ZWS-0002
Pagina's	23
Classificatie	
Status	definitief

Auteur(s)

	Frederiek Sperna Weiland Corine ten Velden Joost Buitink	

Samenvatting

Binnen het GRADE project is enkele jaren terug de keuze gemaakt om voor de Vecht aan te sluiten bij de bestaande HBV en SOBEK modellen die zijn ontwikkeld voor het operationele voorspelsysteem voor de waterschappen Drents-Overijsselse Delta en Vechtstromen. Afgelopen jaren zijn de modellen verbeterd en geïntegreerd in GRADE. Dit heeft geresulteerd in een modelopzet die voor de historische hoogwatercondities een goede performance gaf.

In 2023 is deze combinatie van HBV en SOBEK Vecht ingezet om de KNMI'23 toekomstige klimaatprojecties door te rekenen en te bepalen wat de resulterende toekomstige veranderingen in de afvoeren van de Vecht zijn. Uit de klimaatanalyse voor de Vecht kwamen voor de lagere afvoeren onverwachte resultaten naar voren. Ondanks een toekomstige toename in potentiële verdamping en een afname in zomerneerslag over het Vecht stroomgebied, gaven de klimaatprojecties voor de Vecht afvoer aan dat deze (vrijwel) niet afnam. Waterbalans technisch gezien zijn de verkregen projecties onlogisch. Ook wijken de klimaatprojecties voor de Vecht voor laagwater sterk af van de projecties die zijn verkregen voor de Maas ondanks gelijkenissen in het klimaatsignaal tussen beide stroomgebieden. Om de model combinatie te beoordelen is ook een korte historische validatie uitgevoerd. Deze liet zien dat de gesimuleerde zomerafvoeren te hoog zijn en dat deze veel te geleidelijk dalen en in de zomerperiode nauwelijks reageren op neerslagextremen.

Een verdere analyse van het HBV model liet zien dat de model parameterisatie ervoor zorgt dat de actuele verdamping sterk beperkt wordt zodra het bodemvocht afneemt in droge periodes. Het model staat nog wel toe dat water naar de diepere lagen kan stromen. In deze diepere bodemlagen is geen verdamping meer mogelijk, en hierdoor kan het water alleen maar als afvoer het model verlaten. Hierdoor zien we vooral bij de meest extreme scenario's dat een toename in potentiële verdamping zorgt voor een beperkte verandering in actuele verdamping en soms zelfs een toename in afvoer. Naar aanleiding van die resultaten is besloten de combinatie van HBV en SOBEK niet in te zetten voor lage en gemiddelde afvoercondities.

In tegenstelling tot de lage afvoeren lijken de klimaatprojecties voor de hoge afvoeren (maximale jaarafvoeren) voor de Vecht wel sterk op de projecties die voor de Maas zijn verkregen. Dit is in lijn met de verwachtingen, aangezien de modellen zijn geoptimaliseerd voor hoogwatercondities. We concluderen dat de modellen wel ingezet kunnen worden voor het afleiden van klimaatprojecties voor hoge afvoeren.

In overleg met Rijkswaterstaat en Deltares is besloten om voor het afleiden van de toekomstige afvoerstatistiek voor laagwater en gemiddelde afvoercondities voor de Vecht vooralsnog gebruik te maken van een eenvoudige tijdreeksformatie van de geobserveerde afvoerreeks van de Vecht op basis van het klimaatsignaal dat is afgeleid voor de Maas. Voor de langere termijn zullen we werken aan een gedegen oplossing. Net als voor de Maas en de Rijn wordt in 2024 – 2025 een wflow_sbm model ontwikkeld voor de Vecht, zodat in 2025 de KNMI'23 afvoerprojecties voor de Vecht goed afgeleid kunnen worden om zo de methodiek ook weer in overeenstemming te brengen met de methode voor Rijn en Maas.

Inhoud

	Samenvatting	4
1	Introductie	6
1.1	Inleiding	6
1.2	Leeswijzer	6
2	Methoden	7
2.1	Hydrologische en hydraulische modellering	7
2.2	HBV Vecht	7
2.3	SOBEK	8
2.4	KNMI'23 klimaatscenario's korte introductie	9
3	Resultaten: Evaluatie afvoerprojecties HBV Vecht laagwater	10
3.1	Historische validatie HBV-SOBEK Vecht	10
3.2	Validatie toekomstige afvoerprojecties Vecht versus Maas	12
3.3	Neerslag- en verdampingprojecties Vecht en Maas	14
3.4	Gedrag HBV Vecht voor laagwatercondities voor het huidige klimaat	17
3.5	Conclusie gebruik HBV Vecht voor laagwatercondities	19
4	Resultaten: Evaluatie afvoerprojecties HBV Vecht hoogwater	20
4.1	Conclusie gebruik HBV Vecht voor hoogwatercondities	21
5	Vervolgstappen voor het genereren van afvoer projecties voor de Vecht voor laagwater	22
5.1	Tijdreeksformatie op basis van de afvoerveranderingen voor de Maas	22
5.2	Lange termijn oplossing: wflow_sbm simulaties voor de Vecht	22

1 Introductie

1.1 Inleiding

In 2023 is de bestaande modelcombinatie van HBV-SOBEK voor de Vecht ingezet om de KNMI'23 toekomstige klimaatprojecties door te rekenen en te bepalen wat de resulterende toekomstige veranderingen in de afvoeren van de Vecht zijn. Een soortgelijke analyse is ook uitgevoerd en inmiddels gerapporteerd voor de Rijn en Maas¹. Uit de klimaatanalyse voor de Vecht kwamen voor de lagere afvoeren onverwachte resultaten naar voren die in dit rapport worden geanalyseerd en toegelicht.

Naar aanleiding van deze resultaten is door Rijkswaterstaat in overleg met Deltares besloten om de resultaten van de SOBEEK3 simulaties op basis van de KNMI'23 klimaatdata niet in te zetten voor lage en gemiddelde afvoercondities. Voor de hoge afvoerextremen zijn de resultaten als basis wel bruikbaar voor de bepaling van de hoogwater afvoerstatistieken. *Dit besluit wordt in dit rapport verder gemotiveerd en toegelicht.*

Daarnaast wordt in dit rapport *een gedegen lange-termijn aanpak* gepresenteerd voor het afleiden van toekomstige lage en gemiddelde afvoercondities voor de Vecht. Als tijdelijk alternatief wordt op dit moment voor het Deltaprogramma Zoetwater in de knelpuntenanalyse als randvoorwaarde gebruik gemaakt van het klimaatsignaal voor de Maas om tot toekomstige reeksen voor de Vecht te komen. Hierbij wordt de geobserveerde tijdreeks getransformeerd naar reeksen voor de toekomstige scenario's op basis van het klimaatsignaal.

1.2 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt het SOBEEK3 model voor de hydrologische en hydraulische modellering van de Vecht kort toegelicht. Daarna volgt een overzicht van de KNMI'23 scenario's die zijn doorgerekend. In hoofdstuk 3 wordt de kwaliteit van het model voor laagwatersimulaties geëvalueerd en de tekortkomingen beschreven. Hoofdstuk 4 gaat in op de kwaliteit van het model voor hoogwatersimulaties. In hoofdstuk 5 worden tot slot de korte en lange termijn aanpak voor het afleiden van toekomstige afvoeren voor de Vecht gepresenteerd.

Meer informatie over het afleiden van de afvoerscenario's voor de KNMI'23 scenario's kan gevonden worden in Buitink et al. (2023).

¹ Buitink et al., 2023. https://publications.deltares.nl/11209265_002_0003.pdf

2 Methoden

2.1 Hydrologische en hydraulische modellering

Voor het berekenen van de afvoeren op de Vecht op basis van de KNMI'23-scenario's wordt het SOBEK3-1D model voor de Vecht gebruikt (Geertsema et al. 2023²). Dit model is een combinatie van een hydrologisch model (SOBEK3-RR module met het HBV-concept) en een hydrodynamisch model (SOBEK3-1D module). Het hydrologische model vertaalt de neerslag en verdamping boven het stroomgebied naar afvoeren die weer gebruikt worden als invoerdata voor het hydrodynamische model. Hierbij wordt in GRADE Vecht onderscheid gemaakt tussen vier componenten:

- 1 De modellering van de neerslag-afvoerrelatie in de deelstroomgebieden van de Vecht: Hiervoor wordt gebruik gemaakt van het HBV-concept in SOBEK-RR.
- 2 De modellering van berging op maaiveld in de sub-stroomgebieden als gevolg van een beperkte afwateringscapaciteit in de deelstroomgebieden van de Vecht: Dit wordt gemodelleerd met een open-waterreservoir in de SOBEK3-module Channel Flow (CF).
- 3 De modellering van het terugstuweffect in de zijrivieren als gevolg van een hoge waterstand op de Vecht: Dit wordt gemodelleerd met behulp van een open-waterreservoir in SOBEK3 CF.
- 4 De modellering van de afvoer uit de deelstroomgebieden naar een afvoer bij Dalfsen: Hiervoor wordt een 1D hydrodynamisch model van de Vecht in SOBEK3 ingezet.

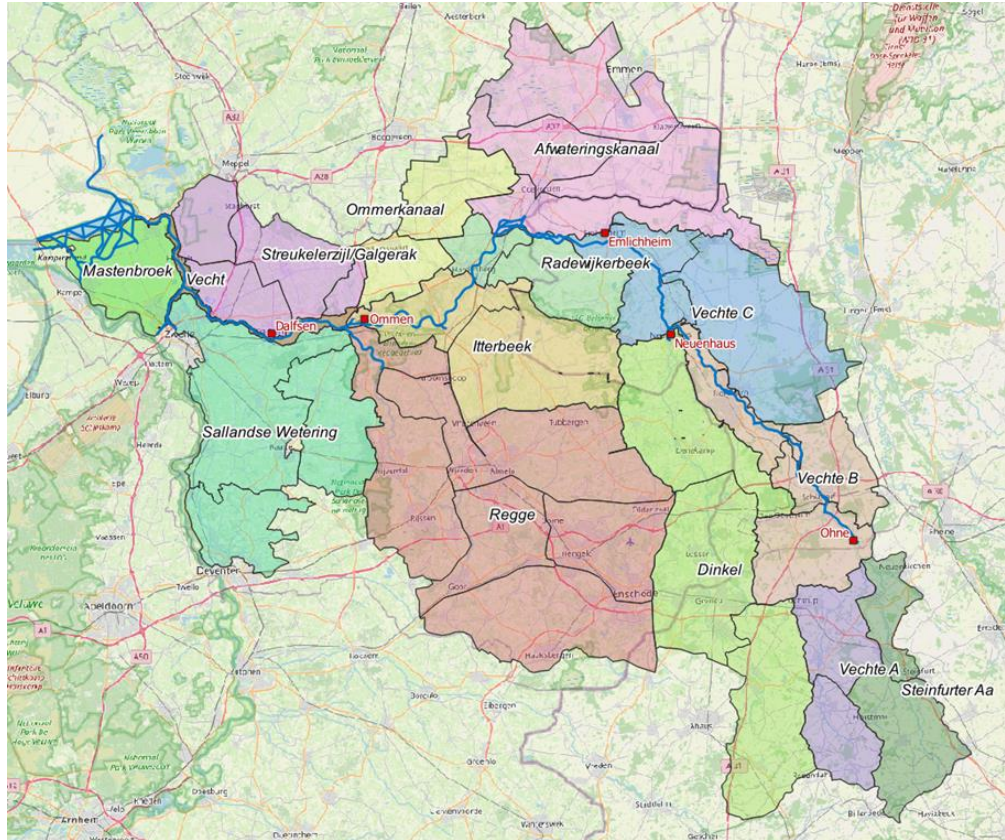
2.2 HBV Vecht

Het HBV model voor de Vecht is een semi-gedistribueerd model, dat bestaat uit 15 deelstroomgebieden welke zijn onderverdeeld in 36 sub-deelstroomgebieden, zoals weergegeven in Figuur 2-1. Deze deelstroomgebieden omvatten het gehele afvoergebied van de Vecht. Voor ieder van deze 15 deelmodellen worden de volgende stappen doorlopen:

- 1 Eerst wordt het HBV-model gedraaid (SOBEK3 Rainfall Runoff-module);
- 2 Vervolgens worden de jaarmaxima geselecteerd voor Dalfsen. Hiervoor wordt met een simpele routingmodule (ook wel timeshift-model genoemd) de afvoer uit de deelstroomgebieden omgerekend naar een grove schatting van de afvoer bij Dalfsen (zie Hegnauer et al. 2023³);
- 3 Daarna wordt voor elk van de jaarmaxima de bijbehorende afvoergolf (20 dagen voor en 15 dagen erna) doorgerekend met het hydrodynamische model (SOBEK3-1D; zoals beschreven in Geertsema et al., 2023).

² Geertsema, T., Hegnauer, M. and A. Becker (2023). Technische documentatie GRADE Vecht – Modellen Vecht, Deltares rapport 11206796-003-ZWS-0007, 25 september 2023.

³ Hegnauer, M., Becker, A., ten Velden, C. and T. Geertsema (2023) Kwaliteitscontrole GRADE-Vecht. Deltares rapport 11206796-003-ZWS-0008, 4 december 2023.

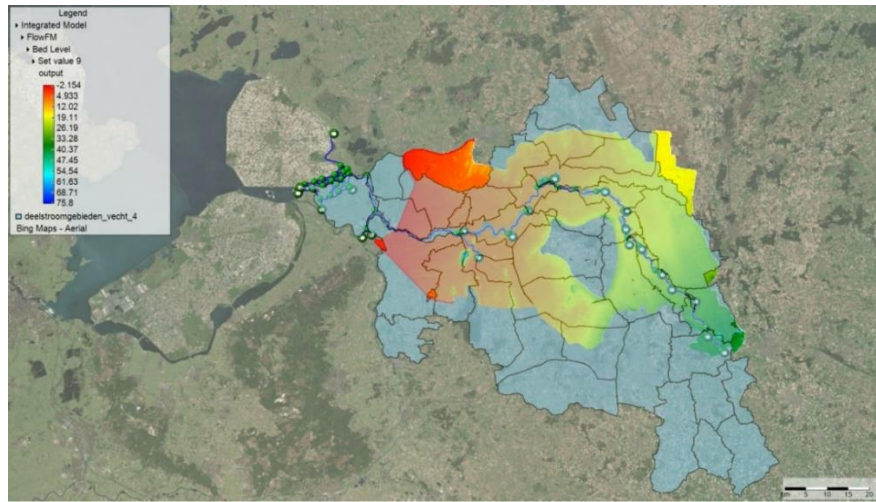


Figuur 2-1: Overzichtskaartje van de deelstroomgebieden voor de Vecht. De gekleurde vlakken geven de 15 deelstroomgebieden weer. De zwarte lijnen binnen de vakken geven de deelstroomgebieden weer.

2.3 SOBEK

Het hydrologische HBV model geeft als uitvoer een afvoertijdreeks per deelstroomgebied. Het hydrodynamische SOBEK3 1D-model gebruikt deze afvoertijdreeksen als randvoorwaarden en bepaalt de afvoer op elke locatie langs de rivier (Geertsema et al., 2023).

Voor de klimaatanalyse zijn we met name geïnteresseerd in de afvoertijdreeksen bij Dalfsen. Hiervoor is voor de Overijsselse en de Duitse Vecht tussen Ohne (Duitsland) en Zwolle (Nederland) het voor GRADE gebouwde hydrodynamisch SOBEK3 1D-model gebruikt (zie Figuur 2-2).



Figuur 2-2: Modelgebied van het hydraulische (SOBEK3 1D-model van de Vecht: blauwe lijnen en groene stippen, de groene met witte stippen geven de locaties van de randvoorwaarden weer; 2D-model van het binnendijs gebied: gekleurd oppervlak) en het hydrologische model (transparant licht blauwe onderwerpen).

2.4 KNMI'23 klimaatscenario's korte introductie

In 2023 presenteerde het KNMI de nieuwe Nederlandse nationale klimaatscenario's. De klimaatscenario's voor de Rijn, Maas en Vecht, die onderdeel uitmaken van deze set klimaatscenario's, houden rekening met drie toekomstige emissiescenario's. Namelijk een ontwikkeling naar hoge emissies (H; SSP5-8.5), gematigde emissies (M; SSP2-4.5) en lage emissies (L; SSP1-2.6). Er zijn datasets ontwikkeld voor de referentieperiode 1991-2020 en voor de toekomstige tijdshorizonten: 2050, 2100, 2150 en 2033 (wat overeenkomt met de temperatuurstijging van 1,5 graden uit het Akkoord van Parijs). Tenslotte heeft het KNMI voor elke scenario zowel een natte (n) als een droge (d) scenariovariant geconstrueerd. Tabel 2-1 geeft een overzicht van alle combinaties van scenario's die doorgerekend zijn met HBV en SOBEK voor de Vecht en wflow voor de Rijn en Maas om de toekomstige afvoerveranderingen te bepalen. In het lage-emissiescenario (L) is de variatie in klimaatcondities tussen 2050, 2100 en 2150 verwaarloosbaar en worden ze allemaal weergegeven in één enkele simulatie voor de toekomstige tijdshorizon 2100. Voor meer achtergrondinformatie over de KNMI'23 scenario's en de afvoerprojecties van de Rijn en Maas zie Buitink et al. (2023)

Tabel 2-1: Overzicht van de toekomstige klimaatscenario's

Time horizon	Low	Moderate	High
2033	2033L (Paris)		
2050	2100Ln / 2100Ld	2050Mn / 2050Md	2050Hn / 2050Hd
2100		2100Mn / 2100Md	2100Hn / 2100Hd
2150		2150Mn / 2150Md	2150Hn / 2150Hd

Voor elk van de scenario's kijken we naar de verandering in het afvoer regime en naar de verandering in onderstaande afvoerstatistieken voor Dalfsen:

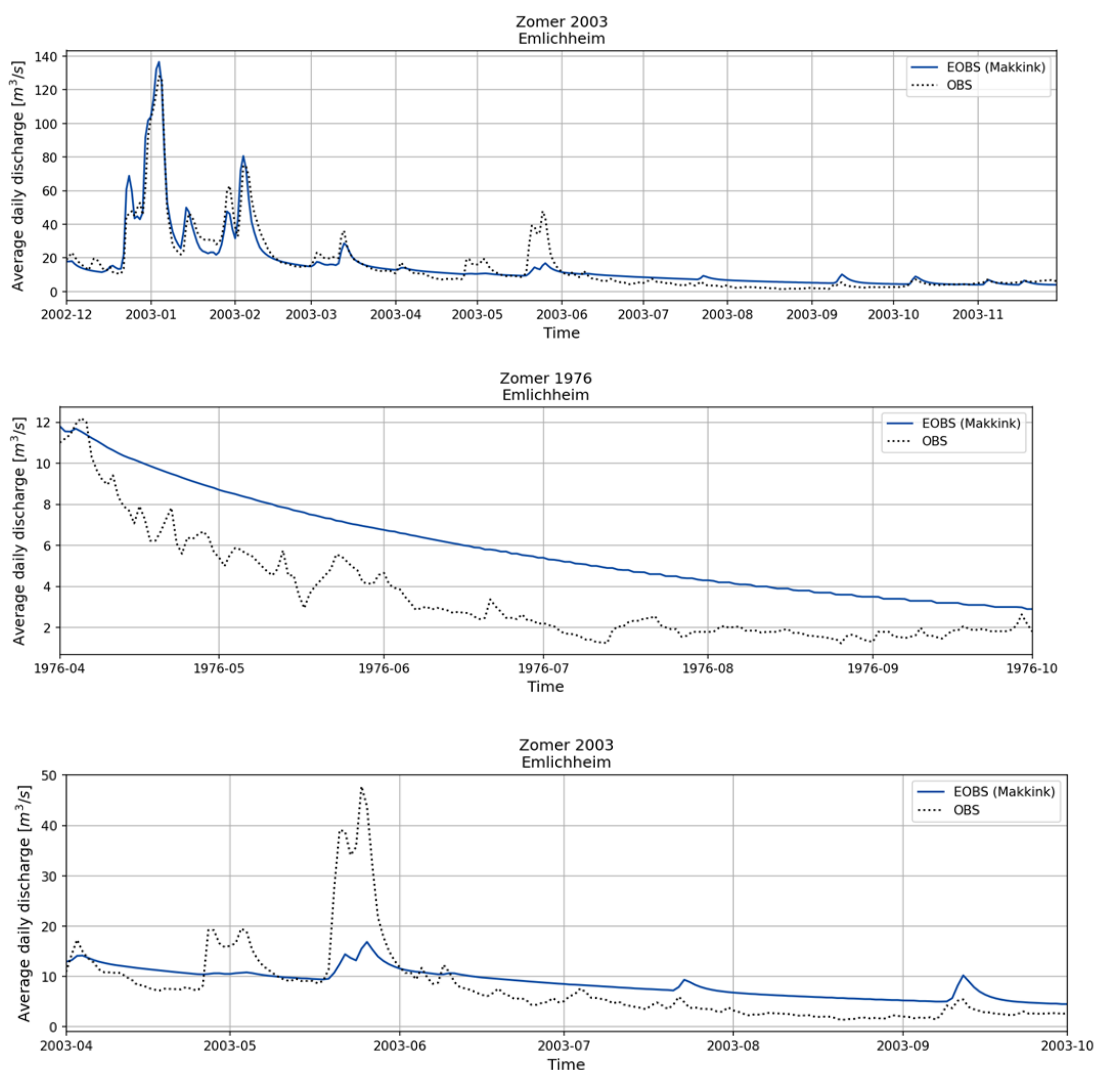
- Het jaarlijkse afvoer regime
- Gemiddelde jaarlijkse afvoer
- Gemiddelde jaarlijkse 7-daagse minimale afvoer
- Gemiddelde jaarlijkse maximale afvoer

3 Resultaten: Evaluatie afvoerprojecties HBV Vecht laagwater

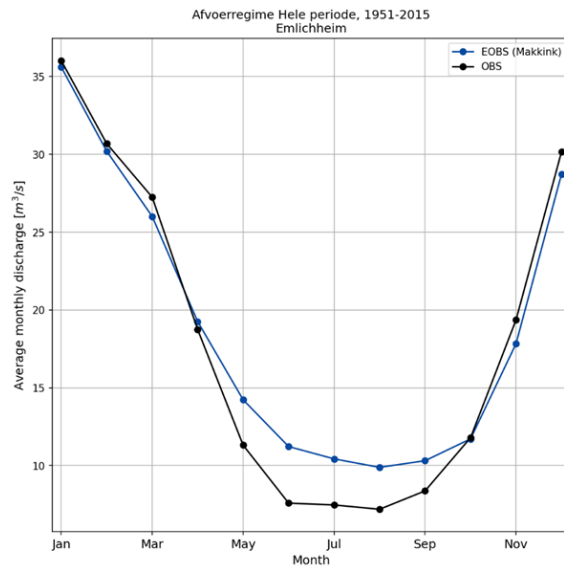
3.1 Historische validatie HBV-SOBEK Vecht

In deze eerste stap kijken we naar de kwaliteit van de combinatie van HBV-SOBEK voor het simuleren van de historische afvoeren van de Vecht. De analyse is uitgevoerd voor Emlichheim omdat bij Dalfsen de afvoer teveel wordt beïnvloed door stuwen en de meetreeks bij Dalfsen relatief onbetrouwbaar is voor lage afvoeren.

De bovenste grafiek (Figuur 3-1) laat zien dat op jaarbasis de hydrograaf er redelijk uitziet. Als we echter specifiek naar een droge zomer periode kijken (1976 en 2003) dan zien we dat het model heel geleidelijk leegloopt en dat de respons op neerslag minimaal is. De gesimuleerde afvoer is de hele zomer periode te hoog.



Figuur 3-1: Historische afvoeren, gesimuleerd (blauwe lijn) en geobserveerd (zwart, gestippeld). Voor het hele kalenderjaar 2003 (boven), de zomer van 1976 (midden) en de zomer van 2003 (onder).



Figuur 3-2: Langjarig gemiddelde maandelijkse afvoer voor Emlichheim, gesimuleerd (blauw) en geobserveerd (zwart).

In Figuur 3-2 wordt het langjarig gemiddelde gesimuleerde afvoerregime vergeleken met het regime op basis van observaties. De vorm is vergelijkbaar en gedurende de herfst en winter komen de gemiddelde maandwaarden redelijk goed met elkaar overeen. In de zomerperiode (mei-september) liggen de gesimuleerde afvoerwaarden echter een stuk hoger dan de observaties⁴.

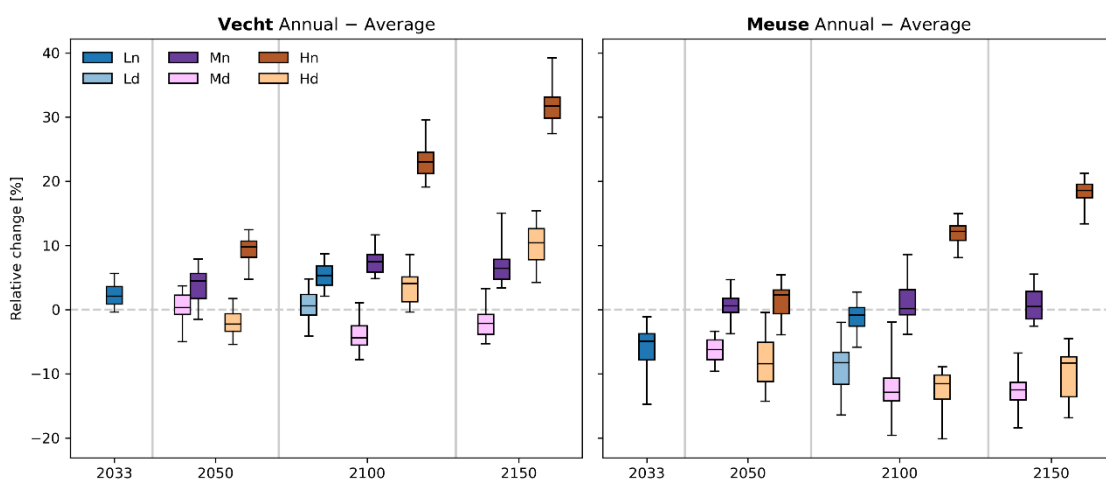
Deze figuren tonen aan dat het huidige model niet goed in staat is om periodes met laagwater goed te simuleren: de afvoer blijft over het algemeen te hoog, en reageert maar beperkt op neerslagbuien tijdens deze periodes. Dit geeft de indruk dat het model de processen die tijdens de droge (zomer) periodes relevant zijn (zoals de interactie tussen bodemvocht, verdamping en geproduceerde afvoer) niet goed beschreven worden in het model.

⁴ Hierbij moet wel opgemerkt worden dat de afvoeren in deze periode laag zijn en de metingen het minst betrouwbaar.

3.2 Validatie toekomstige afvoerprojecties Vecht versus Maas

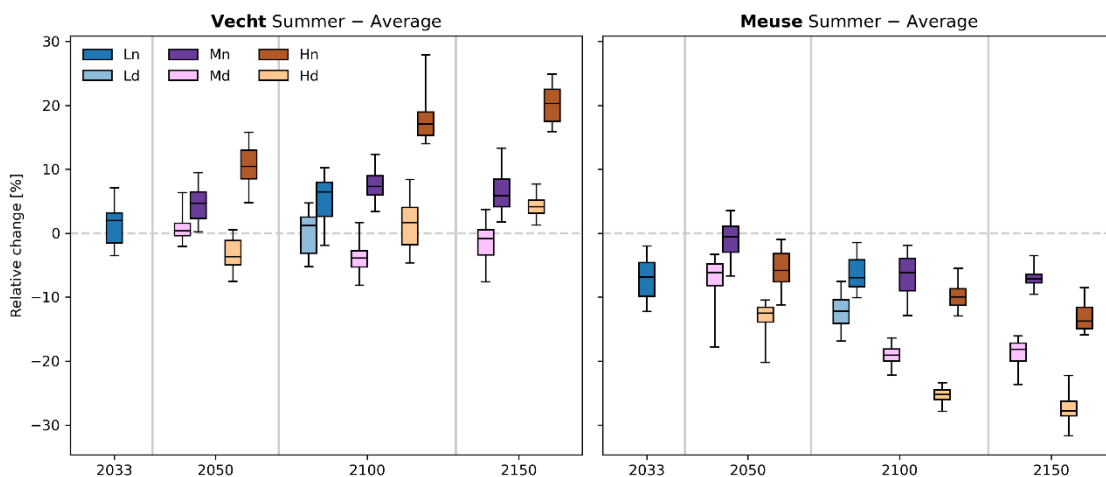
De eerste afwijkingen in de afvoerprojecties voor de Vecht kwamen naar voren bij de vergelijking van de afvoerstatistieken van de Vecht met de afvoerstatistieken van de Maas. Beide rivieren hebben een afvoer die hoofdzakelijk door regen beïnvloed wordt. De Maas is een langere rivier, namelijk 950 km terwijl de Vecht een lengte van 165 km heeft. Ook is het hoogteverschil in het bovenstroomse deel van de Maas groter. Maar beide stroomgebieden grenzen aan Nederland en zullen door hun ligging en de relatief grove resolutie van de klimaatmodellen een soortgelijk klimaatsignaal ervaren.

Als we kijken naar de toekomstige veranderingen in de **gemiddelde afvoer** zijn de resultaten voor de Vecht en Maas (Figuur 3-3) redelijk vergelijkbaar. Voor het Hn scenario zien we voor beide rivieren een grote toename. De posities van de verschillende scenario's zijn ook redelijk vergelijkbaar. Het eerste wat opvalt is dat ook het hoge droge (Hd) scenario voor de Vecht lijkt te resulteren in een toekomstige toename van de gemiddelde afvoer. Voor de Maas is dit niet het geval. Ook zijn er voor de Maas meer scenario's die een afname van de afvoer projecteren, terwijl voor de Vecht het merendeel van de scenario's een toename projecteert.



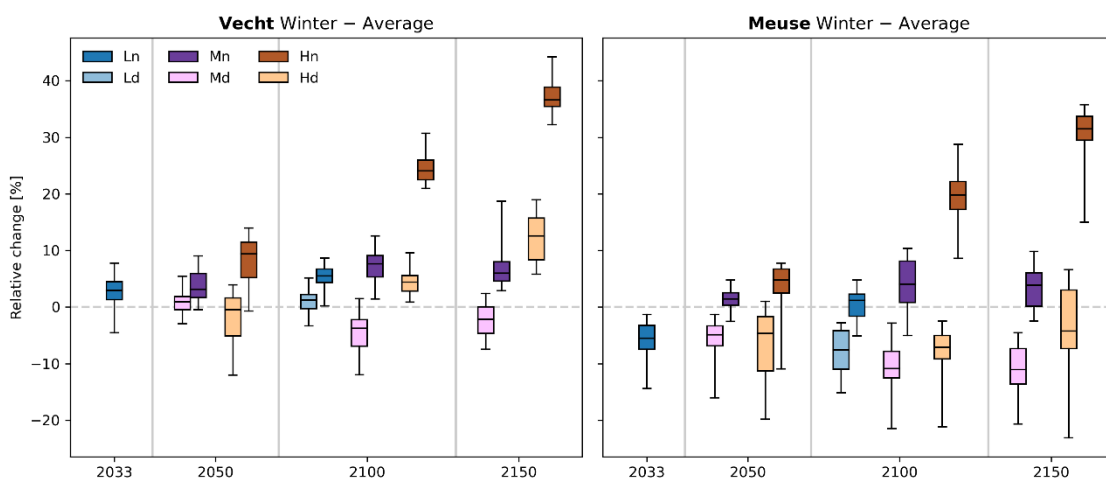
Figuur 3-3: Verandering in de jaargemiddelde afvoer van de Vecht (bij Dalfsen, links) en Maas (nabij de Nederlandse grens, rechts) voor de toekomstige klimaatscenario's (toekomstige tijdhorizons op de x-as). Blauwe boxplots presenteren de lage klimaatveranderingsscenario's (Ln = nat en Ld = droog), paarse boxplots presenteren de gematigde scenario's (Mn = nat en Md = droog) en bruine boxplots presenteren de hoge scenario's (Hn = nat en Hd = droog).

Kijken we naar de **zomerafvoeren** dan zijn de verschillen veel groter. Voor de Vecht (Figuur 3-4, links) projecteren de meeste scenario's een toename, waarbij de Maas (Figuur 3-4, rechts) alle klimaatscenario's een afname projecteren. Dit signaal voor de Vecht is niet in lijn met de verwachtingen. Ten eerste hadden we meer gelijkenis tussen de Vecht en de Maas verwacht. Ten tweede is een afname van de zomerafvoer bij toekomstige hogere temperaturen meer waarschijnlijk.



Figuur 3-4: Verandering in de gemiddelde zomerafvoer van de Vecht (bij Dalfsen, links) en Maas (nabij de Nederlandse grens, rechts) voor de toekomstige klimaatscenario's (toekomstige tijdhorizonten op de x-as). Blauwe boxplots presenteren de lage klimaatveranderingsscenario's (Ln = nat en Ld = droog), paarse boxplots presenteren de gematigde scenario's (Mn = nat en Md = droog) en bruine boxplots presenteren de hoge scenario's (Hn = nat en Hd = droog).

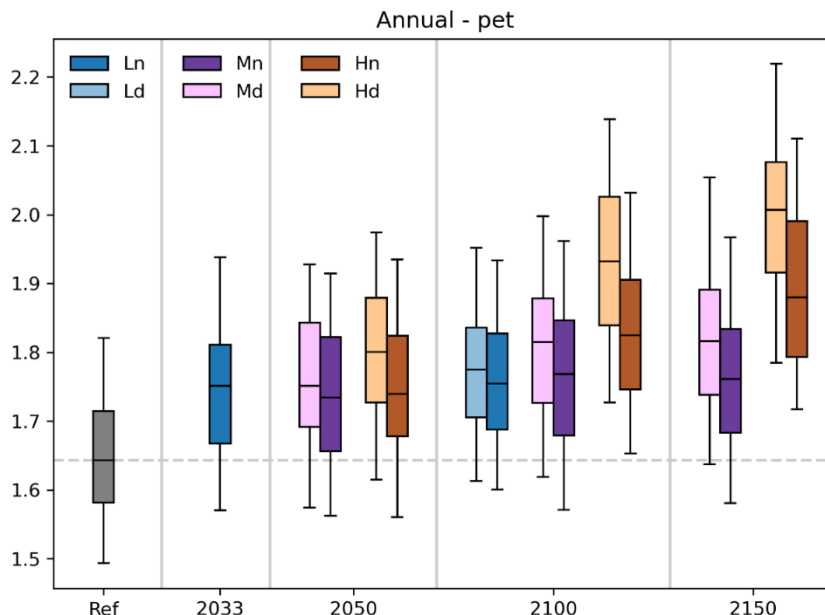
Kijken we naar de **winterafvoeren** dan zien we ook daar dat voor de Maas meer scenario's een afname projecteren. De verdeling van de scenario's is ongeveer gelijk. De Hn scenario's laten in beide rivieren een grote toename zien. Maar voor de Vecht geeft ook het Hd scenario een toename, terwijl voor de Maas alle droge scenario's een afname projecteren. De verschillen zijn echter lang niet zo groot als voor de zomerperiode.



Figuur 3-5: Verandering in de gemiddelde winterafvoer van de Vecht (bij Dalfsen, links) en Maas (nabij de Nederlandse grens, rechts) voor de toekomstige klimaatscenario's (toekomstige tijdhorizonten op de x-as). Blauwe boxplots presenteren de lage klimaatveranderingsscenario's (Ln = nat en Ld = droog), paarse boxplots presenteren de gematigde scenario's (Mn = nat en Md = droog) en bruine boxplots presenteren de hoge scenario's (Hn = nat en Hd = droog).

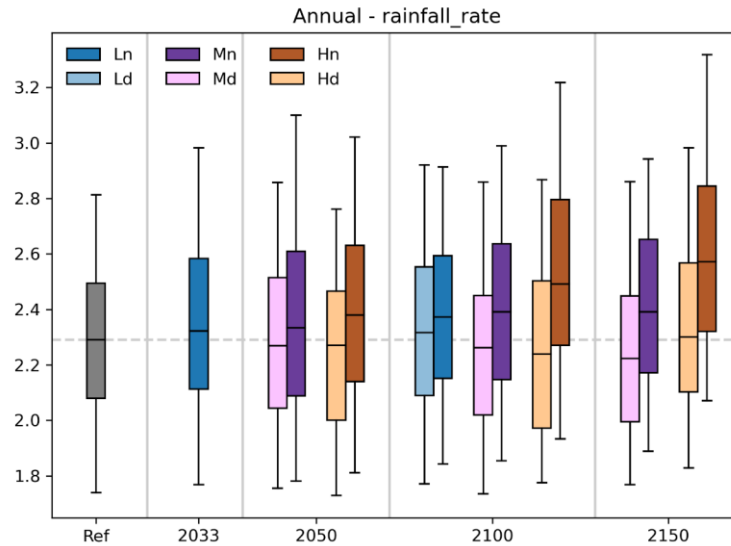
3.3 Neerslag- en verdampingprojecties Vecht en Maas

Om te kijken of we het signaal in de afvoerandering voor de Vecht kunnen begrijpen, hebben we ook naar de verandering in neerslag en potentiële verdamping voor de Vecht gekeken. Zoals verwacht neemt de gemiddelde potentiële verdamping over het Vecht stroomgebied inderdaad toe met de tijd, met name voor de hogere emissie scenario's (Figuur 3-6). Als we alleen kijken naar de verandering in verdamping zouden we dus eerder een afname van de afvoer dan een toename voor de Vecht verwachten met de tijd.



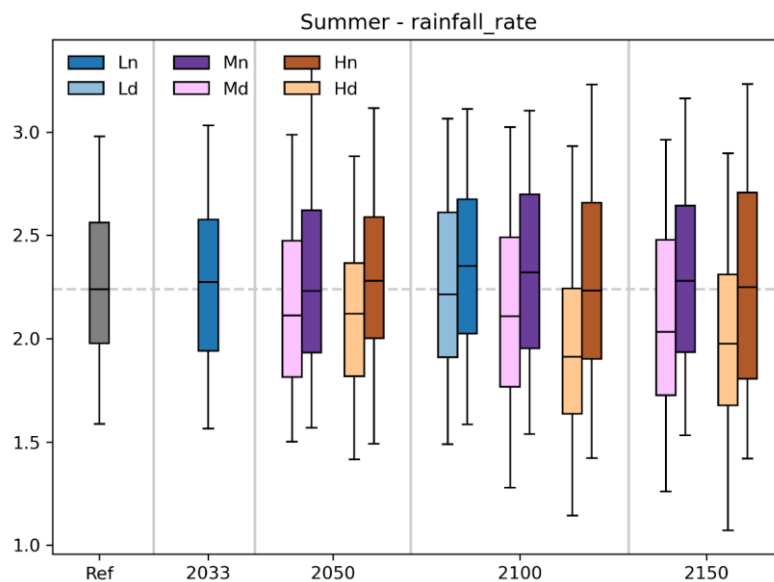
Figuur 3-6: Verandering (mm) in de jaargemiddelde potentiële verdamping over het Vecht stroomgebied voor de toekomstige klimaatscenario's (toekomstige tijdshorizon op de x-as). Blauwe boxplots presenteren de lage klimaatveranderingsscenario's (Ln = nat en Ld = droog), paarse boxplots presenteren de gematigde scenario's (Mn = nat en Md = droog) en bruine boxplots presenteren de hoge scenario's (Hn = nat en Hd = droog). De grijze boxplot en de grijze stippellijn geven de historische waarden weer.

De klimaatscenario's geven voor de jaargemiddelde neerslag over het Vecht stroomgebied relatief kleine veranderingen (Figuur 3-7). De natte scenario's geven allemaal een gemiddelde toename van ongeveer 0,3 mm/d op een jaargemiddelde dag neerslag van 2,3 mm/d (ca. 13%), de droge scenario's wijzen eerder in de richting van een afname. Als voorbeeld zien we voor het Hd scenario voor 2150 de grootste toename in potentiële verdamping (Figuur 3-6) en nagenoeg geen verandering in de jaarlijkse neerslag (Figuur 3-7). Het is niet in lijn met de verwachtingen dat die combinatie resulteert in een toename van de afvoer van ca. 4 % zoals we die verkrijgen uit de HBV-simulaties (Figuur 3-4).



Figuur 3-7: Verandering (mm d-1) in de jaargemiddelde neerslag over het Vecht stroomgebied voor de toekomstige klimaatscenario's (toekomstige tijdshorizon op de x-as). Blauwe boxplots presenteren de lage klimaatscenario's (Ln = nat en Ld = droog), paarse boxplots presenteren de gematigde scenario's (Mn = nat en Md = droog) en bruine boxplots presenteren de hoge scenario's (Hn = nat en Hd = droog). De grijze boxplot en de grijze stippellijn geven de historische waarden weer.

Kijken we vervolgens specifiek naar de verandering in zomerneerslag (Figuur 3-8) dan zien we dat alle droge scenario's een afname in neerslag projecteren. Die is het grootst voor het Hd scenario en de afname wordt groter met de tijd. Dit bevestigt dat een toename van de zomerafvoer van de Vecht zeker voor het Hd scenario onwaarschijnlijk is. Maar ook voor de M scenario's lijkt een toename van de afvoer in de toekomst niet waarschijnlijk. Toch worden deze toenames voor het Hd en Mn scenario wel berekend.



Figuur 3-8: Verandering (mm) in de gemiddelde zomer neerslag over het Vecht stroomgebied voor de toekomstige klimaatscenario's (toekomstige tijdshorizon op de x-as). Blauwe boxplots presenteren de lage klimaatscenario's (Ln = nat en Ld = droog), paarse boxplots presenteren de gematigde scenario's (Mn = nat en Md = droog) en bruine boxplots presenteren de hoge scenario's (Hn = nat en Hd = droog). De grijze boxplot en de grijze stippellijn geven de historische waarden weer.

Een mogelijke verklaring voor de berekende toename van de zomerafvoer zou nog de toename in de winterneerslag kunnen zijn. In Figure 3-9 is te zien dat voor de Vecht alle scenario's een kleine toename in winterneerslag projecteren. Een deel hiervan zal worden opgeslagen in de bodem en zorgen voor een buffer aan het begin van de zomer. Vervolgens verdwijnt een deel echter ook weer door de toegenomen actuele verdamping.

Voor de Maas resulteerde het Hn scenario in een afvoertoe name in de winter, maar voor de zomer zagen we een afname van de afvoer. Voor de zekerheid vergelijken we de verandering in winterneerslag ook voor de Vecht en de Maas (Figure 3-10). Voor de Maas projecteren alleen de M en H scenario's een toename in de winterneerslag. Deze toenames lijken iets kleiner (voor Hd voor de Vecht van 2.3 naar 2.9 mm/d en voor de Maas van 2.5 naar 2.9 mm/d). Toch zal de neerslag ook voor de Maas voor een buffer in de bodem zorgen. In de uiteindelijke verandering in de zomerafvoer van de Maas is dit effect echter niet waarneembaar.

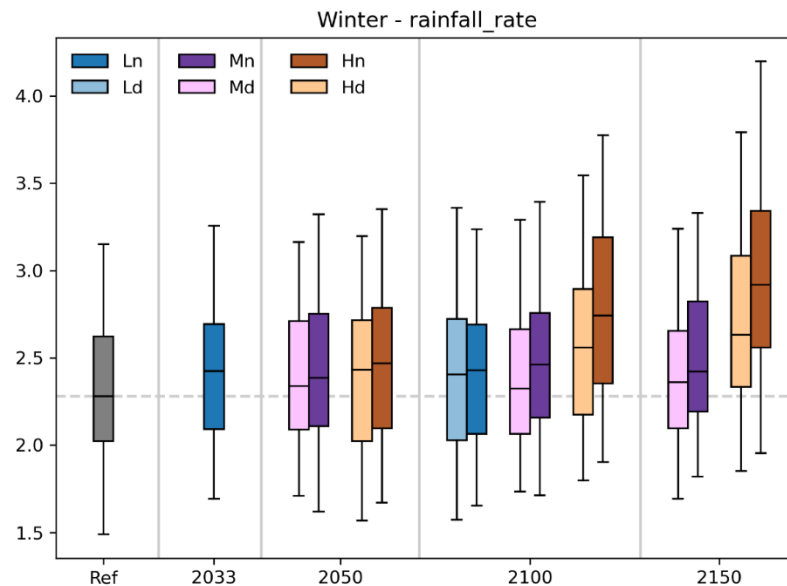


Figure 3-9: Verandering (mm) in de gemiddelde winter neerslag over het Vecht stroomgebied voor de toekomstige klimaatscenario's (toekomstige tijdshorizon op de x-as). Blauwe boxplots presenteren de lage klimaatveranderingsscenario's (Ln = nat en Ld = droog), paarse boxplots presenteren de gematigde scenario's (Mn = nat en Md = droog) en bruine boxplots presenteren de hoge scenario's (Hn = nat en Hd = droog). De grijze boxplot en de grijze stippellijn geven de historische waarden weer.

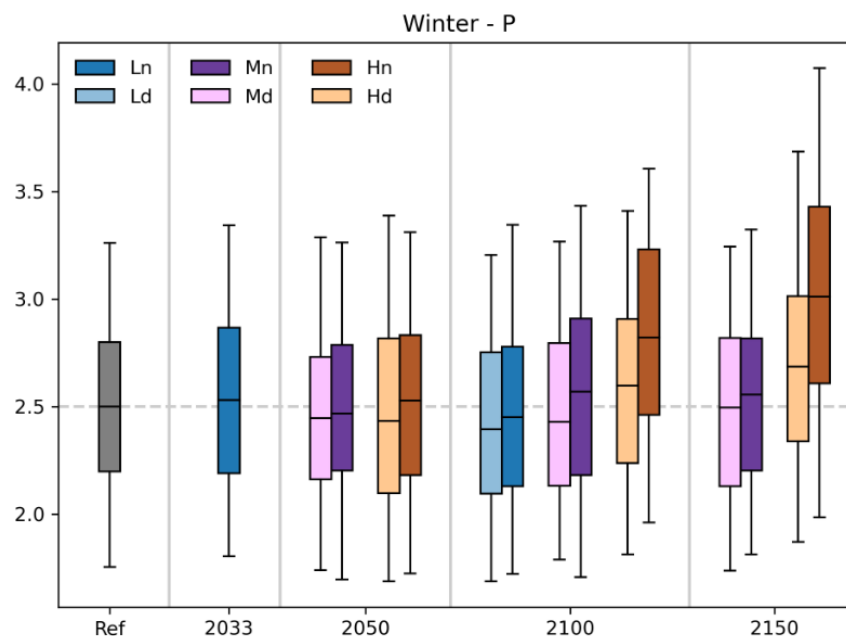
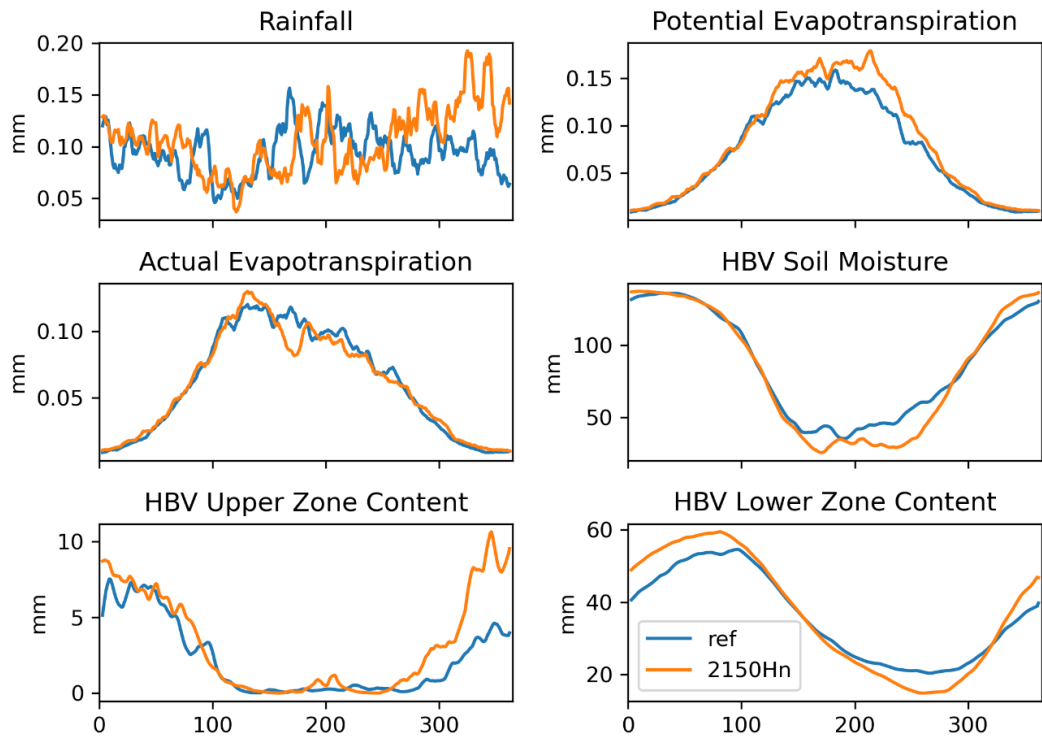


Figure 3-10: Verandering (mm) in de gemiddelde winter neerslag over het Maas stroomgebied voor de toekomstige klimaatscenario's (toekomstige tijdshorizon op de x-as). Blauwe boxplots presenteren de lage klimaatveranderingsscenario's (Ln = nat en Ld = droog), paarse boxplots presenteren de gematigde scenario's (Mn = nat en Md = droog) en bruine boxplots presenteren de hoge scenario's (Hn = nat en Hd = droog). De grijze boxplot en de grijze stippellijn geven de historische waarden weer.

3.4 Gedrag HBV Vecht voor laagwatercondities voor het huidige klimaat

Het verschil in afvoergedrag tussen de Vecht en de Maas is opmerkelijk, zeker in combinatie met de sterke toename van potentiële verdamping, en kleine verschillen (tot beperkte afname) in (zomer-)neerslag. In de winter zagen we echter wel een toename van de neerslag die iets groter is dan de neerslag toename over het Maasstroomgebied. Ook zagen we voor de Vecht sterkere toenames in winterafvoer dan voor de Maas. Om de verschillen beter te begrijpen en te verklaren, hebben we naar de interne structuur en het gedrag van het HBV model van de Vecht gekeken.

Het HBV model bestaat uit verschillende lagen: een bodemvocht laag ("HBV Soil Moisture"), met daaronder een "upper zone" (HBV Upper Zone Content), en daaronder een "lower zone" ("HBV Lower Zone Content"). De bodemvocht laag speelt een belangrijke rol voor de verdamping (en is de enige laag waar water uit kan verdampen), de "upper zone" een belangrijke rol voor de "snelle" afvoer (snelle pieken na neerslag events) en de "lower zone" een belangrijke rol voor de "langzame" afvoer (ofwel de baseflow). In Figuur 3-11 is voor het stroomgebied van de Regge de hoeveelheid water per laag zichtbaar, evenals de neerslag, potentiële verdamping en actuele verdamping.



Figuur 3-11: Gedrag van het HBV model voor het Regge sub-stroomgebied, voor het huidige klimaat (ref, blauwe lijn) en het 2150Hn scenario (oranje lijn). De waarden voor neerslag, potentieel verdamping en actuele verdamping zijn in mm/h. Waarden zijn gemiddelde waarden per dag in het jaar (van 1 tot 365), gemiddeld over 30 jaar aan data, om zicht te krijgen op het typische gedrag van het HBV model.

Dit figuur is gebaseerd op het Regge sub-stroomgebied, maar het gedrag is consistent met de andere sub-stroomgebieden binnen het HBV model voor de Vecht. We zien een vergelijkbare dynamiek voor de neerslag voor het huidige klimaat en het 2150Hn scenario, zeker voor de eerste driekwart van het jaar. Richting het einde van het jaar zien we een toename in de neerslag ten opzichte van het huidige klimaat. Gemiddeld zien we ongeveer dezelfde hoeveelheid neerslag; wat ook in de boxplots hierboven zichtbaar was. Belangrijk is om hier te zien dat er tijdens de zomermaanden (en in de periode daarvoor) weinig substantieel verschil zit tussen het klimaatscenario en het huidige klimaat.

We zien wel een duidelijk verschil in de potentiële verdamping (PET), met een sterke toename tijdens de zomerperiode, wat overeenkomt met de boxplots van de secties hierboven. Echter wordt dat verschil niet doorvertaald naar de actuele verdamping. Dit is te verklaren door te kijken naar de drie lagen in het HBV model. In de eerste laag (bodemvocht, soil moisture in het figuur) zien we tijdens de zomerperiode maar een kleine verdroging. Dit gedrag, in combinatie met een beperkte reactie in de actuele verdamping op een toename in PET, geeft aan het HBV maar beperkt kan reageren op droge / verdrogende condities. De parameterisatie van het HBV model zorgt ervoor dat de actuele verdamping sterk beperkt wordt zodra het bodemvocht afneemt in droge periodes. Het model staat nog wel toe dat water naar de diepere lagen kan stromen.

In deze diepere lagen (Upper Zone en Lower Zone) is geen verdamping meer mogelijk, en hierdoor kan het water alleen maar als afvoer het model verlaten. Hierdoor zien we (vooral bij 2150Hn) dat een toename in PET zorgt voor een beperkte verandering (en soms zelfs een afname) in actuele verdamping en een toename in afvoer.

Zoals eerder aangegeven, is dit het gevolg van de parameterisatie van het HBV model. Deze is vermoedelijk gekalibreerd met een focus op piekafvoeren, waarbij dit gedrag ofwel niet naar voren is gekomen, ofwel nodig was om te zorgen dat die pieken goed gesimuleerd worden.

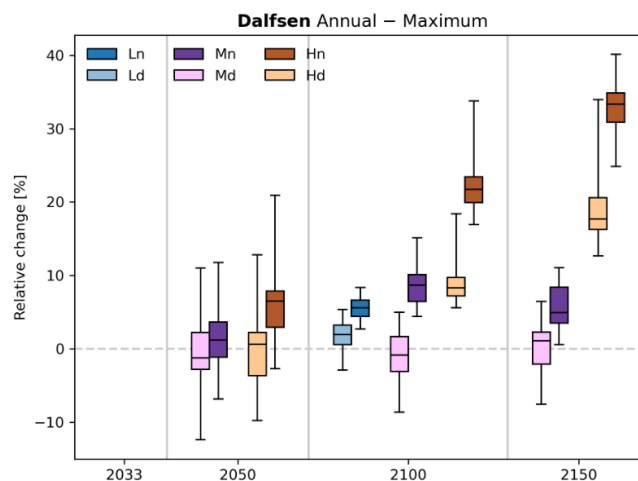
3.5 Conclusie gebruik HBV Vecht voor laagwatercondities

Concluderend, vanuit hydrologisch perspectief zijn de klimaatprojecties verkregen met het HBV model voor de Vecht onwaarschijnlijk voor de laagwatercondities. Dit wordt bevestigd in de vergelijking met de resultaten van de Maas op basis van wflow_sbm. Dit is vooral een resultaat van de optimalisatie van HBV Vecht die zowel voor het overstromingsvoorspelsysteem Delft-FEWS als voor de toepassing in GRADE focuste op performance voor hoogwater.

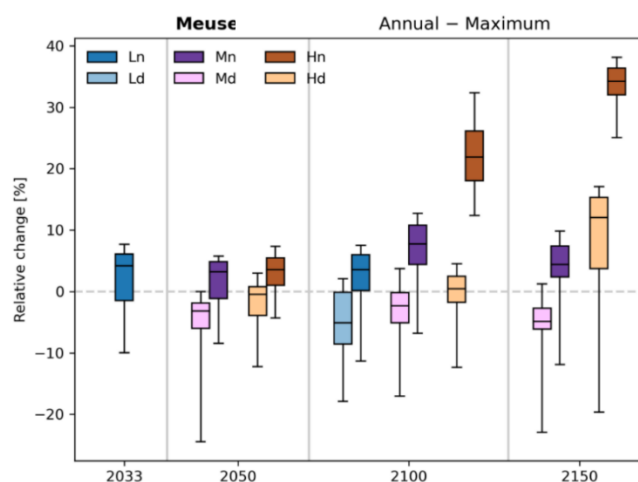
Het resultaat is bij nader inzien niet verrassend. Een vergelijking tussen wflow_sbm en HBV voor de Maas heeft ook eerder al laten zien dat wflow_sbm veel beter in staat is om laagwatercondities te simuleren dan het HBV model (Bouaziz & Buitink, 2022).

4 Resultaten: Evaluatie afvoerprojecties HBV Vecht hoogwater

De parameterisatie van het HBV model kan ook effect hebben op hoogwatercondities. De verdamping wordt zoveel mogelijk beperkt tijdens droge zomers waardoor de bodem relatief vochtig blijft. Dit zal ervoor zorgen dat bij hoogwatercondities na de zomer meer water direct tot afvoer kan komen en dus mogelijk ook de piekafvoeren hoger uit kunnen vallen. Dit is vooral het geval voor de droge klimaat scenario's en in beperktere mate voor de nattere scenario's. Voor de hoogwateranalyse voor BOI zullen deze niet meegenomen worden. In de rest van dit hoofdstuk kijken we naar de verandering in toekomstige maximale afvoeren op jaarbasis voor de Vecht en vergelijken deze met de veranderingen die zijn afgeleid voor de Maas.



Figuur 4-1: Verandering (%) in de maximale jaarafvoer voor de Vecht voor de toekomstige klimaatscenario's (toekomstige tijdshorizon op de x-as). Blauwe boxplots presenteren de lage klimaatveranderingsscenario's (Ln = nat en Ld = droog), paarse boxplots presenteren de gematigde scenario's (Mn = nat en Md = droog) en bruine boxplots presenteren de hoge scenario's (Hn = nat en Hd = droog).



Figuur 4-2: Verandering (%) in de maximale jaarafvoer voor de Vecht voor de toekomstige klimaatscenario's (toekomstige tijdshorizon op de x-as). Blauwe boxplots presenteren de lage klimaatveranderingsscenario's (Ln = nat en Ld = droog), paarse boxplots presenteren de gematigde scenario's (Mn = nat en Md = droog) en bruine boxplots presenteren de hoge scenario's (Hn = nat en Hd = droog).

We zien voor de Vecht dat de verandering in jaarmaxima sterk lijkt op het gedrag voor de Maas. Voor de Vecht worden iets meer toenames geprojecteerd. De grootste toenames worden geprojecteerd door het Hn scenario. Voor 2150 bedragen deze voor beide rivieren ca. 35% en voor 2100 iets meer dan 20%. Ook door het Hd scenario wordt op de lange termijn voor beide rivieren een toename in de afvoer geprojecteerd. De projecties voor het Mn scenario zijn heel vergelijkbaar. Voor het Ld en Md scenario zijn voor beide rivieren de veranderingen klein. Voor de Vecht neigen de scenario's iets sterker naar een toename van een paar procent dan naar de afname van een paar procent die we voor de Maas zien, maar de verschillen blijven beperkt.

De toenames in de afvoermaxima voor de Vecht zijn ook in lijn met de geprojecteerde neerslag toenames. De maximale jaarlijkse 3-daagse neerslagsom neemt toe met ca. 15% (zie Figure 4-3). Dat extra neerslagvolume komt vrijwel volledig direct tot afvoer aangezien alle berging al vol zat bij de eerdere hoge afvoeren geobserveerd voor het huidige klimaat.

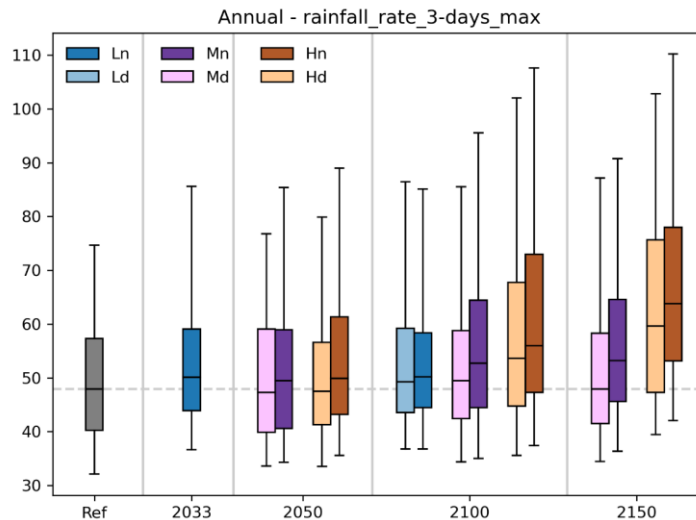


Figure 4-3: Maximale 3-daagse neerslag som (mm) gemiddeld per jaar voor de toekomstige klimaatscenario's en referentie (toekomstige tijdshorizon op de x-as). Blauwe boxplots presenteren de lage klimaatveranderingsscenario's (Ln = nat en Ld = droog), paarse boxplots presenteren de gematigde scenario's (Mn = nat en Md = droog) en bruine boxplots presenteren de hoge scenario's (Hn = nat en Hd = droog).

4.1 Conclusie gebruik HBV Vecht voor hoogwatercondities

Bovenstaande analyse van de jaarmaxima berekend met het HBV Vecht model geven een veel sterker vertrouwen in het HBV model voor hoogwater- dan voor laagwatercondities. De projecties lijken sterk op de projecties die we ook verkregen voor de Maas. Op basis hiervan concluderen we dat we de combinatie van HBV en SOBEK voor de Vecht wel in kunnen zetten voor het afleiden van de toekomstige verandering van de werklijnen voor het BOI instrumentarium.

5 Vervolgstappen voor het genereren van afvoer projecties voor de Vecht voor laagwater

In hoofdstuk 3 concludeerden we dat we het bestaande HBV-SOBK model niet in willen zetten voor de Vecht voor laagwatercondities. Tegelijkertijd is er de wens om ook voor de Vecht de toekomstige afvoerveranderingen te bepalen en de toekomstige afvoeren te gebruiken als invoer voor o.a. Deltaprogramma Zoetwater. Hiervoor is gezocht naar een pragmatische korte termijnoplossing en een gedegen lange termijnoplossing.

5.1 Tijdreeksformatie op basis van de afvoerveranderingen voor de Maas

Op de korte termijn stellen we voor gebruik te maken van een tijdreeksformatie van de geobserveerde afvoerreks van de Vecht. Deze transformatie staat weergegeven in vergelijking 1. Op deze historische afvoerreks (Q_{hist}) wordt een langjarige gemiddelde verandering in de afvoer geprojecteerd. Deze verandering wordt steeds bepaald tussen het huidige klimaat ($hist$) en één specifiek toekomstig klimaatscenario (fut, CC) voor een gegeven toekomstige tijdshorizon. De veranderingen worden bepaald en toegepast per kalendermaand (m) om zo de toekomstige reeks (Q_{fut}) te genereren.

$$Q_{fut_Vecht} = Q_{hist_Vecht} * \frac{\bar{Q}_{fut,m,CC,Maas}}{\bar{Q}_{hist,m,Maas}} \quad (\text{vergelijking 1})$$

Hiermee volgen we dezelfde aanpak die ook gevolgd werd voor de KNMI'14 scenario's. Destijds waren er geen klimaatsimulaties uitgevoerd voor de Vecht en werd het klimaatsignaal van de Maas gebruikt. Deze aanpak is inmiddels ook voor de KNMI'23 scenario's opgepakt door Deltaprogramma Zoetwater om de klimaatinvloed voor de Vecht voor het Nationaal Watermodel te genereren.

5.2 Lange termijn oplossing: wflow_sbm simulaties voor de Vecht

Voor de langere termijn zullen we werken aan een gedegen oplossing. Net als voor de Maas en de Rijn wordt een wflow_sbm model ontwikkeld voor de Vecht. Tabel 5-1 geeft de tijdlijn voor de voorziene werkzaamheden weer. Een eerste modelversie kan in 2024 voorbereid worden. In 2025 kan het model verder geoptimaliseerd worden. We verwachten dat we ook in 2025 de KNMI'23 scenario's opnieuw door kunnen rekenen voor de Vecht als daar belangstelling voor is, maar dan met het nieuw ontwikkelde wflow_sbm model.

Tabel 5-1: Schematische tijdlijn voor het afleiden van de KNMI'afvoerprojecties voor de Vecht

	2024				2025			
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
Ontwikkeling sflow_sbm v1								
Optimalisatie wflow_sbm								
Afleiden KNMI'23 Afvoerscenario's								

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