

Hoe verandert het afvoerregime van de Rijn in de toekomst, en welke impact heeft dit op zoetwaterbeschikbaarheid, waterveiligheid, natuur en bevaarbaarheid?



Hoe verandert het afvoerregime van de Rijn in de toekomst, en welke impact heeft dit op zoetwaterbeschikbaarheid, waterveiligheid, natuur en bevaarbaarheid?

Verslaglegging hackathon over de implicaties van de KNMI'23-scenario's

Auteur(s)

Judith ter Maat

Nathalie Asselman

Marjolein Mens

Ellis Penning

Frederiek Sperna Weiland

Hoe verandert het afvoerregime van de Rijn in de toekomst, en welke impact heeft dit op zoetwaterbeschikbaarheid, waterveiligheid, natuur en bevaarbaarheid?

Verslaglegging hackathon over de implicaties van de KNMI'23-scenario's

Opdrachtgever	Deltares – Sito-IS Programme River basins and Estuaries / Moonshot 3
Contactpersoon	Judith ter Maat
Referenties	-
Trefwoorden	hackathon, Rijn, grensoverschrijdende rivier, zoetwaterbeschikbaarheid, waterveiligheid, natuur, scheepvaart

Documentgegevens

Versie	1
Datum	09-02-2024
Projectnummer	11210275-004
Document ID	11210275-004-BGS-0001
Pagina's	36
Classificatie	
Status	definitief

Auteur(s)

	Judith ter Maat, Nathalie Asselman, Marjolein Mens, Ellis Penning, Frederiek Sperna Weiland	

Samenvatting

Dit rapport doet verslag van de 'hackathon Rijnstroomgebied' die experts van Deltares in samenwerking met experts van Staf Deltacommissaris, DGWB en RWS in het laatste kwartaal van 2023 hebben gehouden. Centrale vraag was: Hoe verandert het afvoerregime van de Rijn in de toekomst volgens de KNMI'23-scenario's? Welke impact heeft dit op de zoetwaterbeschikbaarheid, waterveiligheid, natuur en bevaarbaarheid in Nederland?

KNMI'23-scenario's

Aanleiding voor de hackathon waren de nieuwe KNMI'23-scenario's die recent zijn uitgekomen. De KNMI'23-scenario's omvatten vier nieuwe scenario's voor het klimaat in Nederland zoals het zich rond 2050, 2100 en 2150 kan manifesteren. Deze vier zijn gebaseerd op:

- Een hoog uitstootscenario ('H') waarin de uitstoot in gelijke mate blijft toenemen tot 2080 en daarna afvlakt. De mondiale opwarming rond 2100 wordt dan bijna + 5°C;
- Een laag uitstootscenario ('L') waarin de uitstoot snel afneemt en broeikasgassen worden verwijderd uit de atmosfeer, in lijn met het Klimaatakkoord van Parijs. De mondiale opwarming rond 2100 wordt dan + 1,7°C. De opwarming is voor 2050, 2100 en 2150 nagenoeg gelijk.

Voor specifieke toepassingen, waaronder het afleiden van de afvoerscenario's voor Rijn en Maas, ontwikkelde het KNMI naast het hoge en lage scenario nog een derde scenario:

- Een gematigd uitstootscenario ('M') waarin de uitstoot na aanvankelijke stijging geleidelijk afneemt. De mondiale opwarming rond 2100 wordt dan + 2,8 °C.

Voor elk van deze drie uitstootscenario's is vervolgens een nat (n) en een droog (d) scenario afgeleid:

- een 'nat' scenario ('n') waarin de winters veel natter worden en de zomers licht verdrogen.
- een 'droog' scenario ('d') waarin de winters wat natter worden en de zomers sterk verdrogen.

Voor de zo samengestelde klimaatscenario's heeft Deltares in opdracht van het ministerie afvoerreksen voor de Rijn en Maas afgeleid.

Uit de studie blijkt dat de nieuwe scenario's gemiddeld een vergelijkbaar beeld geven als de 'oude' KNMI'14-scenario's. De kans op extreme laagwaters is iets kleiner dan eerder gedacht. Maar, waar bij de gematigde KNMI'14-scenario's nog sprake leek te kunnen zijn van ook een kleine toename van de afvoer in de zomer, wijzen alle KNMI'23-scenario's nu op een afname van de lage afvoeren in de zomer. De kans op extreme droogtes (circa 300 mm neerslagtekort, zoals in de droge jaren 2018 en 2022) neemt wel veel sneller toe dan eerder gedacht. Voor extreem hoge afvoeren worden nog analyses uitgevoerd. De resultaten daarvan worden later dit jaar verwacht.

Hackathondag

Na een presentatie van de KNMI'23 klimaatscenario's en afvoerscenario's, is op basis van expertoordeel verkend wat de gevolgen van de nieuwe KNMI'23-scenario's voor

verschillende thema's zijn: zoetwaterbeschikbaarheid, waterveiligheid, natuur en grondwater, en bevaarbaarheid en morfologie.

Aanvullende analyse zoetwatervoorziening

Na de hackathondag is nog een aanvullende analyse uitgevoerd. Dit betrof een korte studie, op basis van beschikbare kennis en eenvoudige effectrelaties, waarin een eerste duiding van de nieuwe KNMI'23-scenario's voor droogte en zoetwatervoorziening in Nederland is gegeven. Uit de analyses blijkt dat we ons moeten voorbereiden op frequenter droge zomers die we nu nog als uitzonderlijk beschouwen. Hierdoor krijgen we mogelijk vaker met watertekorten te maken dan de eerdere knelpuntenanalyses van het Deltaprogramma Zoetwater aangaven. Of droogte ook tot watertekort leidt, hangt mede af van de beschikbaarheid van water uit de grote rivieren, dus van het samenvallen van droogte met lage afvoeren.

Doordat het verdampingstekort in de zomer groter wordt dan eerder gedacht, zullen bovendien de zomergrondwaterstanden in de ontwaterde zandgebieden naar verwachting iets verder uitzakken, en zullen zomergrondwaterstanden in de infiltratiegebieden minder stijgen dan in de vorige scenario's.

Voor de bevaarbaarheid van de grote rivieren moet rekening worden gehouden met een daling van de afvoer die 5% van de tijd wordt onderschreden (als maat voor de OLA). In het meest extreme scenario komt de 5% afvoer wel iets hoger uit dan eerder gedacht, rond 915 m³/s in zichtjaar 2050, en in het lage-uitstoot scenario stabiliseert de daling na 2050 rond 960 m³/s.

Reflectie en hoe verder

We benoemen hier een tweetal aandachtspunten die uit dit onderzoek naar voren zijn gekomen die bij het versterken van de kennisbasis belangrijk zijn:

- 1 Aandacht voor het goed laten landen van de inzichten uit de KNMI'23-scenario's in studies voor beheer en beleid.
- 2 Aandacht voor het vergroten van systeemkennis vanuit het perspectief van het gehele (internationale) stroomgebied

De hackaton heeft laten zien dat het goed laten landen van de nieuwe KNMI'23-scenario's in studies voor beleid en beheer (Deltaprogramma, PAGW, etc.) geen sinecure is. Welk scenario (hoog, laag of midden) wanneer toe te passen vraagt volgens de deelnemers van de hackathon nog nadere studie en advies. Ook de scenariomethode zelf vraagt de komende jaren nog om doorontwikkeling of verdieping, bijvoorbeeld: hoe zeker zijn we van de verwachte (veranderingen in) de kans van voorkomen van zeer extreme gebeurtenissen (droogte en hoogwater)? En: hoe vertalen we historische extremen naar de toekomst? Welke risico's (kans x gevolg) kunnen we nog goed berekenen en wanneer moeten we overgaan op alternatieve aanpakken zoals stresstesten of verhalen vertellen ('storytelling')?

Verder heeft de hackathon laten zien dat aanwezige (parate) kennis vooral Nederlands grondgebied en/of de hoofdrivier van de Rijn betreft, terwijl veel toekomstige maatregelen naar verwachting ook in de kleinere zijrivieren en haarvaten van het systeem genomen zullen worden. Denk aan aanpassingen in landgebruik onder klimaatverandering, toenemende landbouwirrigatie of 'sponsmaatregelen'. Een goede brede kennisbasis van het gehele stroomgebied en van het hele watersysteem (incl. grondwater, watergebruik, impact droogte en/of overstromingen, etc.), die nodig is voor goede beleidsondersteuning, ontbreekt. Aanbevolen wordt de huidige kennisbasis te verbreden naar het gehele watersysteem vanuit het perspectief van het gehele Rijnstroomgebied.

Samenwerking met de verschillende Rijncommissies, overheden en kennisinstututen in het Rijnstroomgebied is essentieel om de huidige kennisbasis te verbreden.

Inhoud

	Samenvatting	4
1	Aanleiding, doel en opzet van de hackathon	8
1.1	Aanleiding	8
1.2	Doel en opzet	9
1.3	Invulling dag van de hackathondag	9
2	De consequenties van de KNMI'23-scenario's voor de afvoer van de Rijn	11
2.1	Inleiding	11
2.2	Van de nieuwe IPCC AR6 scenario's naar scenario's voor het Rijnstroomgebied	11
2.3	De KNMI'23-scenario's	11
2.4	Verschillen tussen de KNMI'14 en KNMI'23 afvoerscenario's	12
2.5	Hoe lijken de afvoeren te gaan veranderen?	14
2.6	Belangrijkste verschillen ten opzichte van de KNMI'14 afvoerscenario's	16
3	Hackathondag: bevindingen per thema	19
3.1	Inleiding	19
3.2	Natuur & grondwater	19
3.2.1	Veranderen de opgaven en bedachte oplossingen als gevolg van de nieuwe KNMI'23-scenario's?	19
3.2.2	Hoe moeten we met deze nieuwe scenario's omgaan? (in beleid/beheer/toetsing)	20
3.2.3	Kennisvragen	20
3.3	Waterveiligheid	21
3.3.1	Veranderen de opgaven en bedachte oplossingen als gevolg van de nieuwe KNMI'23-scenario's?	21
3.3.2	Hoe moeten we met deze nieuwe scenario's omgaan? (in beleid/beheer/toetsing)	22
3.3.3	Kennisvragen	22
3.4	Zoetwaterbeschikbaarheid	23
3.4.1	Veranderen de opgaven en bedachte oplossingen als gevolg van de nieuwe KNMI'23-scenario's?	23
3.4.2	Hoe moeten we met deze nieuwe scenario's omgaan? (in beleid/beheer/toetsing)	23
3.4.3	Kennisvragen	24
3.5	Bevaarbaarheid & morfologie	25
3.5.1	Veranderen de opgaven en bedachte oplossingen als gevolg van de nieuwe KNMI'23-scenario's?	25
3.5.2	Hoe moeten we met deze nieuwe scenario's omgaan? (in beleid/beheer/toetsing)	25
3.5.3	Kennisvragen	26
4	Aanvullende analyse: eerste duiding van de gevolgen van de KNMI'23-scenario's voor zoetwatervoorziening in Nederland	27
4.1	Inleiding	27

4.2	Ontwikkeling van de waterbeschikbaarheid uit de Rijn	27
5	Reflectie en hoe verder?	34

1 Aanleiding, doel en opzet van de hackathon

1.1 Aanleiding

Toekomstige veranderingen in het Rijnstroomgebied kunnen grote invloed op de waterbeschikbaarheid in de Rijn hebben. Dit heeft invloed op alle gebruiksfuncties in het gehele stroomgebied, en zeker in Nederland noopt dit tot keuzes over hoe met het beschikbare water om te gaan en hoe het water te verdelen over de verschillende watergebruiksfuncties. Bijvoorbeeld: laten we het water in de rivier met het oog op voldoende waterdiepte voor de scheepvaart of kan meer zoetwater naar het regionale watersysteem ingelaten worden voor peilbeheer, doorspoeling en landbouw? Ook met betrekking tot hoogwater zullen keuzes moeten worden gemaakt: pareren we de gevolgen van klimaatverandering met aanvullende dijkversterking of kiezen we voor een combinatie met rivierversuiming?

Tijdens de extreem droge zomers van 2018 en 2022 hebben we de gevolgen van laagwater in Nederland al ervaren. De verwachting is dat het droogterisico in de toekomst als gevolg van klimaatveranderingen (zie o.a. Stahl et al (2022)¹ en Ligtvoet et al (2018)²) en toegenomen watergebruik bovenstrooms van Lobith (zie Ruijgh, E.³, (2020)) alleen maar verder zal toenemen.

Tegelijkertijd hebben we de invloed van bovenstroomse ontwikkelingen op deze hoeveelheid water niet goed in kaart:

- Welke doelen willen we in Nederland halen gerelateerd aan hoog- en laagwater? Zijn er tegenstrijdigheden in die doelen?
- Onder welke scenario's wordt waterbeschikbaarheid een knelpunt in Nederland voor zowel gebruiksfuncties als natuur?
- Wat als bovenstrooms van Nederland... de gletsjers gesmolten zijn, er bovenstrooms veel water wordt vastgehouden, natuur wordt hersteld, landbouwveranderingen worden doorgevoerd, we meer afhankelijk worden van rivierwater voor drinkwaterproductie, koelwaterinname door temperatuurverandering niet meer mogelijk is, scheepvaart vaker gestremd wordt, vismigratie door nieuwe stuwen wordt belemmerd? Etc. etc.
- Wat is het effect van maatregelen op verschillende sectoren. Welke maatregelen kunnen in Nederland genomen worden en welke zouden we bovenstrooms graag zien?

Momenteel wordt er binnen/vanuit Nederland wel aan deelvragen gewerkt (bijv. binnen de verschillende werkgroepen van de drie Rijncommissies of in EU horizonprojecten), maar ontbreekt het aan overzicht. Ook vanuit de kennisagenda rivieren en Integraal Riviermanagement (IRM) is hier geen onderzoek naar gestart, al is op verzoek van Staf DC eind 2023 wel begonnen met een inventarisatie van de huidige stand van de kennis voor de grensoverschrijdende rivieren Maas en Rijn.

¹ Stahl, K., Weiler, M., van Tiel, M., Kohn, I., Häsler, A., Freudiger, D., Seibert, J., Gerlinger, K., Moretti, G. (2022): Impact of climate change on the rain, snow and glacier melt components of streamflow of the river Rhine and its tributaries. CHR report no. I 28. International Commission for the Hydrology of the Rhine basin (CHR), Lelystad

² Ligtvoet et al. (2018): The Geography of Future Water Challenges. ISBN: 978-94-92685-04-9. PBL publication number: 2920. Environmental Assessment Agency (PBL), The Hague.

³ Ruijgh, E. (2020). Integrated Overview of the effects of socio-economic scenarios on the discharge of the Rhine. Deltares publication number 11201722-000-ZWS-0005. International Commission for the Hydrology of the Rhine basin (CHR), Lelystad.

Daarom heeft Deltares het initiatief genomen, als onderdeel van Sito-Instituut subsidie onderzoek, om een Hackathon te organiseren in samenwerking met Ministerie Infrastructuur en Waterstaat met als centrale vraag 'Hoe verandert het afvoerregime van de Rijn in de toekomst volgens de KNMI'23-scenario's? Welke impact heeft dit op de zoetwaterbeschikbaarheid, waterveiligheid, natuur en bevaarbaarheid in Nederland?'

1.2 Doel en opzet

Het doel van de Hackathon is:

1. Samenbrengen van experts van Staf DC, DGWB, RWS en Deltares uit verschillende disciplines om zo al samen in gesprek op basis van *expert judgement* het overzicht te schetsen van de verschillende doelen, scenario's en maatregelen die we verwachten in het Rijnstroomgebied.
2. Het met alle experts gezamenlijk evalueren van de eerste gekwantificeerde resultaten voor de te verwachten veranderingen in de afvoer van de Rijn in 2050 en daarna, en te bespreken wat deze veranderingen betekenen voor de belangrijkste rivierfuncties (zoetwaterbeschikbaarheid, bevaarbaarheid, natuur en waterveiligheid).
3. Het, waar mogelijk, op hoofdlijnen doorrekenen van de gevolgen van de KNMI'23 afvoerscenario's op per functie geïdentificeerde doelen.
4. Bijdragen aan bewustwording rondom de maatschappelijke en ecologische impact van frequenter hoogwater en van verminderende waterbeschikbaarheid in de Rijn op de middellange (ca 2040-2060) en langere termijn (ca 2070-2100) en, de integraliteit van het vraagstuk. En een impuls geven aan gezamenlijk onderzoek op Rijnstroomgebiedsniveau.

We hebben de volgende stappen in de hackathon gevolgd:

- Een samenvatting van de studie naar de **consequenties van de KNMI'23-scenario's voor het afvoerregime van de Rijn**. Dit was de aftrap voor de discussie op de hackathondag (zie Hoofdstuk 2 van dit rapport).
- Een **hackathondag**: een bijeenkomst met gemengde groep van 27 experts (juniores t/m specialisten, medewerkers Ministerie Infrastructuur en Waterstaat en Deltares, verschillende thema's), waarbij op basis van expert oordeel de gevolgen van de nieuwe KNMI'23-scenario's op verschillende thema's zijn besproken (zie hoofdstuk 3).
- Een **aanvullende analyse**: een studie naar de impact op droogte en zoetwatervoorziening in Nederland, door de kentallen van KNMI'23 en de vertaling hiervan naar Rijn- en Maasafvoeren te vergelijken met de informatie en data van de vorige KNMI'14-scenario's. Voor hoogwaterveiligheid zijn nog geen aanvullende analyses uitgevoerd, omdat de studie naar de effecten van de KNMI'23-scenario's op de extreem hoge afvoeren nog loopt (zie hoofdstuk 4).
- **Reflectie en hoe verder?** Eigen reflectie van de auteurs op de bevindingen (zie hoofdstuk 5).

1.3 Invulling dag van de hackathondag

Centrale activiteit van de hackathon was de gedachtenwisseling met experts. Na een uitgebreide kennismaking tussen de deelnemers, verzorgde de expert die betrokken is bij het project dat gaat over het genereren van tijdseries van de Rijnafvoer de inhoudelijke aftrap door te vertellen over wat de KNMI'23 klimaatscenario's betekenen voor de Rijnafvoer te Lobith.

In groepjes is per thema (natuur & grondwater, waterveiligheid, zoetwaterbeschikbaarheid en bevaarbaarheid & morfologie) vervolgens van gedachten gewisseld over de doorvertaling van de verwachte veranderingen in rivierafvoerregime op deze thema's/functies.

Aan de thematafels stonden de volgende vragen centraal:

1. Veranderen de Nederlandse opgaven en de nu bedachte oplossingen (voor Integraal Rivier Management (IRM), Deltaprogramma, etc.) als we naar de nieuwe toekomstscenario's (IPCC6, KNMI'23) en naar het Rijnstroomgebied kijken?
2. Hoe moeten we met deze nieuwe scenario's omgaan?
3. Waar staan we momenteel met onze kennis en wat zijn belangrijke kennisvragen?

De bevindingen van de discussies per thematafel zijn plenair teruggekoppeld, waarna gediscussieerd is over mogelijke raakvlakken tussen de functies en over de belangrijkste kennisleemten.

Voor de functies zoetwaterbeschikbaarheid, bevaarbaarheid en natuur zijn na afloop van de hackathon nog aanvullende analyses uitgevoerd. Deze zijn niet besproken tijdens de hackathon, maar maken wel deel uit van dit verslag.

2 De consequenties van de KNMI'23-scenario's voor de afvoer van de Rijn

2.1 Inleiding

Dit hoofdstuk geeft een samenvatting van de studie naar de consequenties van de nieuwe KNMI'23-scenario's voor de afvoer van de Rijn. Tussentijdse resultaten van deze studie zijn gepresenteerd aan het begin van de hackathon, als inleiding voor de discussie aan de thematafels. Inmiddels is de studie afgerond en gerapporteerd in Buitink et al. (2023)⁴.

2.2 Van de nieuwe IPCC AR6 scenario's naar scenario's voor het Rijnstroomgebied

In 2021 publiceerde het klimaatpanel van de Verenigde Naties (IPCC) het zesde Assessment Report (AR6). Op 9 oktober jl. presenteerde het KNMI de nieuwe Nederlandse klimaatprojecties: de KNMI'23-scenario's, die een vertaling zijn van de wereldwijde klimaatprojecties van het IPCC naar Nederland en de stroomgebieden van de Rijn en Maas. Het KNMI heeft de scenario's doorgerekend met haar globale en regionale klimaatmodel, EC-EARTH en RACMO.

2.3 De KNMI'23-scenario's

De KNMI'23 klimaatscenario's omvatten vier nieuwe scenario's voor het klimaat in Nederland zoals het zich rond 2050, 2100 en 2150 kan manifesteren. Die vier zijn gebaseerd op:

- Een hoog uitstootscenario ('H') waarin de uitstoot in gelijke mate blijft toenemen tot 2080 en daarna afvlakt. De mondiale opwarming rond 2100 wordt dan bijna +5°C;
- Een laag uitstootscenario ('L'⁵) waarin de uitstoot snel afneemt en broeikasgassen worden verwijderd uit de atmosfeer, in lijn met het Klimaatakkoord van Parijs. De mondiale opwarming rond 2100 wordt dan +1,7°C. De opwarming is voor 2050, 2100 en 2150 nagenoeg gelijk.

Anders dan in de KNMI'14-scenario's, wordt in de nieuwe KNMI'23-scenario's het lage uitstootscenario⁶ wel meegenomen. Het lage scenario is erg optimistisch, terwijl er in het hoge scenario vrijwel geen reductie van de groei in CO₂ uitstoot is wat juist erg pessimistisch is. De nu gekozen uitstootscenario's spannen dus een grotere bandbreedte in emissies op en daarmee in klimaatverandering, zodat ze niet een op een vergeleken kunnen worden met de KNMI'14-scenario's. Opgemerkt wordt dat bij de ontwikkeling van deze scenario's geen rekening is gehouden met de uitstoot van broeikasgassen uit andere bronnen, zoals het ontdooien van permafrost.

Voor specifieke toepassingen, waaronder het genereren van de afvoerscenario's voor Rijn en Maas, ontwikkelde het KNMI naast het hoge en lage scenario ook een gematigd scenario:

- gematigd uitstootscenario ('M') waarin de uitstoot na aanvankelijke stijging geleidelijk vermindert. De mondiale opwarming rond 2100 wordt dan 2,8 °C.

⁴ Buitink et al., 2023. Implications of the KNMI'23 climate scenarios for the discharge of the Rhine and Meuse, Deltares Report 11209265-002-ZWS-0003.

⁵ Voor het L scenario is alleen de afvoerverandering voor 2100 bepaald. De verandering voor 2050 en 2150 is nagenoeg gelijk en we nemen aan dat de verandering voor 2100 ook representatief is voor deze zichtjaren.

⁶ SSP1-2.6 / RCP2.6;

Volgens deze uitstootscenario's zal de temperatuur verder stijgen. Deze stijging zal leiden tot drogere zomers en nattere winters. Maar over hoeveel natter of droger het zal worden verschillen de klimaatmodellen. Daarom onderscheidde het KNMI per uitstootscenario twee varianten:

- een 'nat' scenario ('n') waarin de winters veel natter worden en de zomers licht verdrogen.
- een 'droog' scenario ('d') waarin de winters wat natter worden en de zomers sterk verdrogen.

Samengevat betekent dit dat in totaal 15 klimaatscenario's zijn geanalyseerd op hun effecten op de afvoeren van Rijn en Maas (zie Tabel 2.1).

Tabel 2.1 Overzicht van de doorgerekende scenario'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

2.4 Verschillen tussen de KNMI'14 en KNMI'23 afvoerscenario's

Tabel 2.2 geeft een overzicht van de belangrijkste verschillen in de gebruikte methodes voor het afleiden van de afvoeren horende bij de KNMI'23 en KNMI'14-scenario's.

Tabel 2.2 Overzicht van de verschillen in de modelketens die gebruikt zijn voor het bepalen van de afvoeren horende bij de KNMI'14 en de KNMI'14-scenario's

Component	KNMI'14	KNMI'23
Klimaatscenario's		
IPCC generatie	AR5	AR6
Klimaatmodel	GCM (alle simulaties beschikbaar via het IPCC)	GCM + RCM (EC-EARTH – RACMO)
Lengte van de individuele scenario's	66 jaar	8 ensembles van 30 jaar
Time-series correctie	Time-series transformatie	Bias-correctie (quantile mapping)
Toekomstige tijdshorizons	2050, 2085	2050, 2100, 2150
Referentieperiode	1961-1995	1991-2020
Referentie time-series	1950-2006 (op basis van meteo observaties)	1991-2020 (op basis van RACMO)
Aantal scenario's	4 per tijdshorizon + extra droog scenario (WHdry)	6 per tijdshorizon
Afvoer scenario's		
Hydrologisch model	HBV – lumped	Wflow_sbm – distributed
Initiële condities hydrologische model	Zelfde voor alle toekomst jaren	Op basis van pseudo-continue tijdreeksen, representatief voor het gegeven toekomstjaar

Wflow_sbm

Afvoertijdreeksen voor het huidige en toekomstige klimaat (2050, 2100 en 2150) zijn nu berekend met het hydrologische **model wflow_sbm**. Deltares heeft dit model voor de Rijn (zie Figuur 2.1) in de afgelopen jaren voor Rijkswaterstaat-WVL ontwikkeld en gevalideerd (Bouaziz en Buitink, 2022⁷). Voor de KNMI'14-scenario's werden de rivierafvoeren nog berekend met het hydrologische model HBV, hierin werden de zijrivieren met één punt geschematiseerd. Met het grid-gebaseerde wflow_sbm model wordt veel beter gebruik gemaakt van de hoge resolutie van werelddekkende datasets van satellieten en klimaatmodellen die steeds meer beschikbaar komen. In een dergelijk grid-model wordt de ruimtelijke variatie in hoogte, landgebruik en bodemsoorten beter meegenomen. Wflow_sbm gebruikt neerslag, temperatuur en verdamping als randvoorwaarde. Het KNMI leverde deze gegevens voor alle hierboven beschreven KNMI'23-scenario's, op dagelijkse basis aan vanuit RACMO. In wflow_sbm kan neerslag vallen als sneeuw of regen, afhankelijk van de luchttemperatuur. Ook het smelten van sneeuw en gletsjers zit in het model. Met de veel hogere resoluties is wflow_sbm in staat om te rekenen met veel gedetailleerdere randvoorwaarden dan het oude HBV model. Daarmee achten we de uitkomsten betrouwbaarder. In de validatie van het model zien we desondanks voor de Rijn nog aanzienlijke afwijkingen tussen de gesimuleerde en historisch geobserveerde afvoeren.

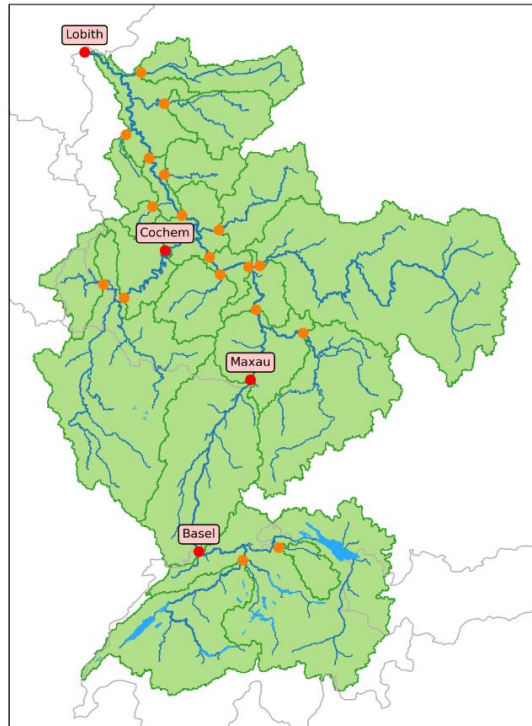
Initiële condities

Voor elke toekomstige tijdshorizon zijn de initiële gletsjervolumes bepaald, aangezien deze als gevolg van de temperatuurstijging afnemen met de tijd. Zo is met wflow_sbm voor elk van de klimaatscenario's bepaald hoeveel water tot afvoer komt in de deelstroomgebieden en wat klimaatverandering voor het afvoerregime van de Rijn bij de Nederlandse grens betekent.

Bias-correctie

Om de berekende afvoeren bruikbaar te maken voor het (laag)waterbeheer in Nederland is voor de Rijn een correctie op de berekende afvoeren uitgevoerd. Hiertoe is voor het verleden op basis van quantile mapping (afvoerdistributie-verschillen) de gesimuleerde afvoerverdeling op maandbasis in overeenstemming gebracht met de gemeten afvoerverdeling. Dezelfde maandelijkse correctiefactoren zijn toegepast om de berekende toekomstige afvoeren van de Rijn te corrigeren.

⁷ Bouaziz L en Buitink J (2022) Developments of the wflow Meuse and Rhine hydrological models. Deltares rapport 11208037-002-ZWS-0005



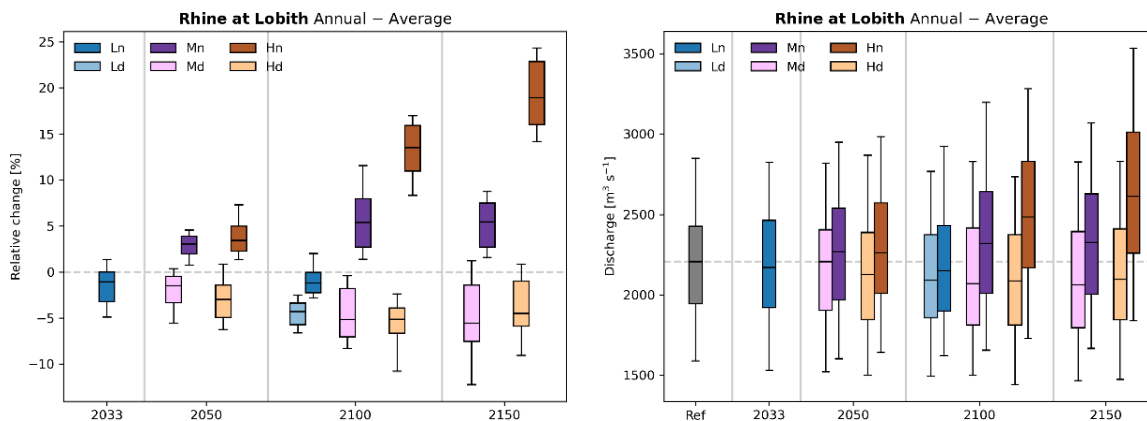
Figuur 2.1 Stroomgebied van de Rijn zoals dit in het wflow_sbm model gebruikt wordt met de belangrijkste meetstations langs de Rijn en het wflow_sbm rivierennetwerk.

2.5 Hoe lijken de afvoeren te gaan veranderen?

Volgens alle scenario's zal de temperatuur in het Rijnstroomgebied stijgen. Deze kan in de hoge uitstaatscenario's in 2150 met wel 6 graden oplopen. De temperatuurstijging leidt tot meer verdamping. De veranderingen in neerslag zijn onzekerder en verschillen per seizoen en per deelstroomgebied. De neerslagveranderingen werken een niet lineair door op de Rijnafvoer.

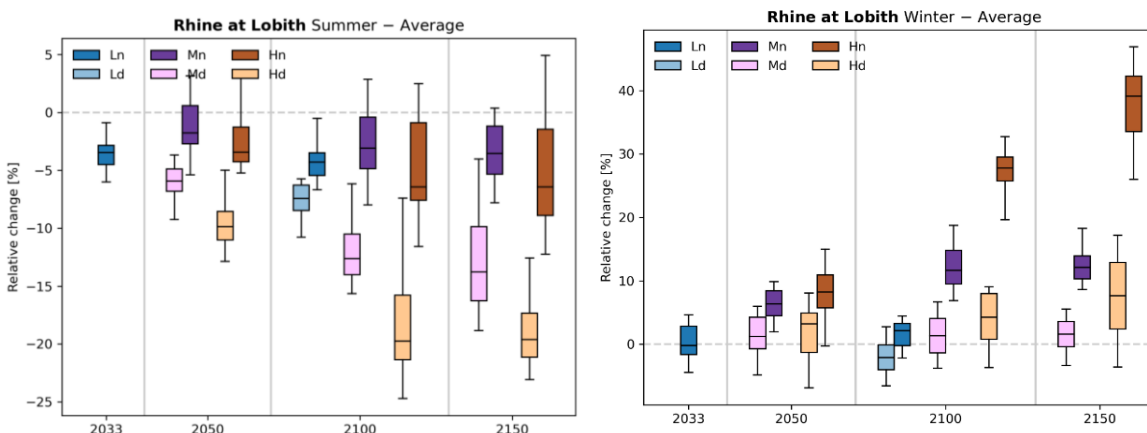
Deze analyses zijn steeds gedaan op basis van 8 tijdreeksen van elk 30 jaar (totaal dus 240 jaar) representatief voor de referentie en voor de zichtjaren 2050, 2100 en 2150. Elk van de 8 tijdreeksen is berekend met het klimaatmodel en geeft een mogelijke realisatie van het klimaat voor het gegeven jaar. Met de set van 8 reeksen kan de onzekerheid in de projecties beter gerepresenteerd worden en ook levert het meer gegevens voor de verdere analyses.

De toekomstige verandering in de *jaargemiddelde afvoer* is onzeker, want hangt vooral af of de droge dan wel natte scenario's zich zullen ontwikkelen (Figuur 2.2). De kans op het voorkomen van deze varianten wordt met de kennis van nu als even waarschijnlijk ingeschat. De meeste scenario's behalve Mn en Hn leiden tot een afname van de gemiddelde jaarafvoer van ongeveer 5% (voor alle tijdshorizonts).

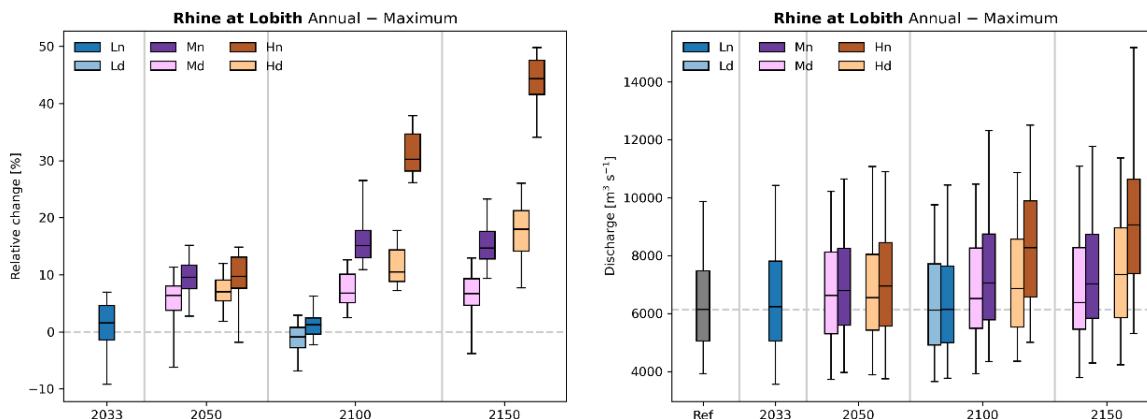


Figuur 2.2 Verandering in de jaarlijkse gemiddelde afvoer bij Lobith voor het huidige (Ref = grijs) en toekomstige klimaat (toekomstige tijdhorizons op de x-as). De linker figuur toont de relatieve veranderingen, de rechter figuur de absolute waarden. Blauwe boxplots presenteren de lage scenario's (Ln = 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 zomerafvoeren nemen in alle scenario's af. De winterafvoeren worden in alle scenario's juist duidelijk groter (Figuur 2.3). De prognose van alle gematigde en hoge scenario's wijzen op een toename van de gemiddeld jaarlijks *hoogste seizoen- en jaarafvoeren* (Figuur 2.4). Voor 2100 variëren de veranderingen van een stijging van ~5% (Md) tot een stijging van wel 25% (Hn). De drie L-scenario's voorspellen weinig verandering.

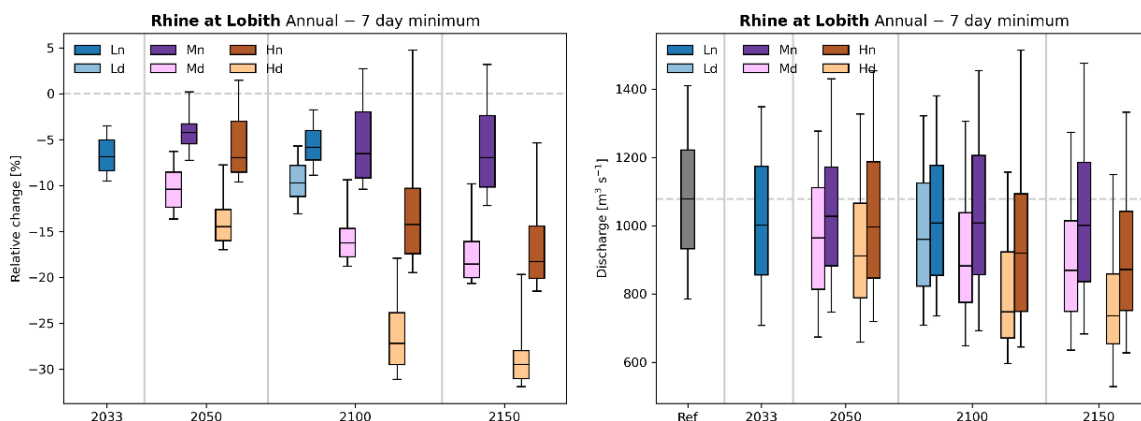


Figuur 2.3 Verandering in de gemiddelde zomer- en winterafvoer bij Lobith (legenda gelijk aan Figuur 2.2)



Figuur 2.4 Verandering in de hoogste jaarafvoeren bij Lobith (legenda gelijk aan Figuur 2.2)

De laagste afvoer over 7 dagen (een indicator voor periodes van droogte), zal volgens alle – zowel natte als droge scenario's afnemen. De afname varieert tussen de 5 en 30% voor 2100 (zie Figuur 2.5).

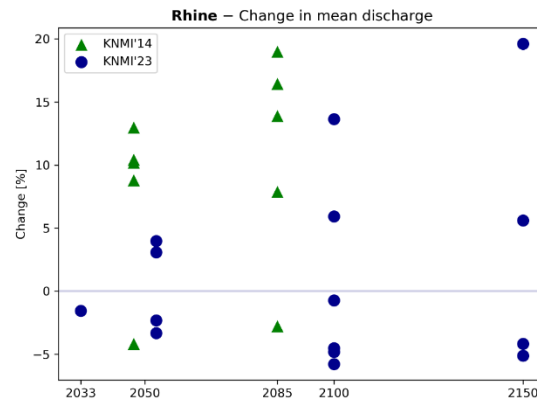


Figuur 2.5 Verandering in de jaarlijkse gemiddelde laagste 7-daagse afvoeren bij Lobith

2.6 Belangrijkste verschillen ten opzichte van de KNMI'14 afvoerscenario's

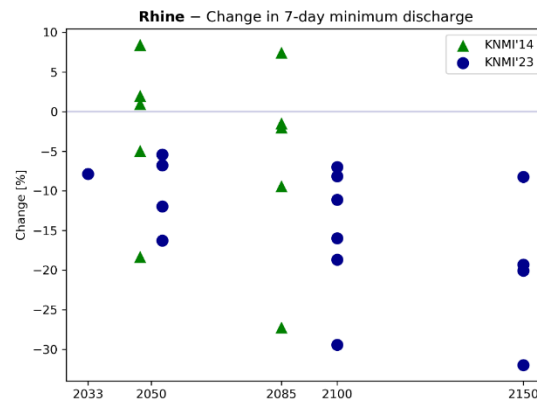
Om de consequenties van de nieuwe scenario's voor het waterbeheer te kunnen duiden, vergelijken we de afvoerprojecties volgens de KNMI'23-scenario's met de eerdere projecties volgens de KNMI'14-scenario's. Zoals hiervoor beschreven zijn er sinds het opstellen van de klimaatprojecties voor de KNMI'14 scenario's echter veel zaken gewijzigd en dat geldt ook voor het afleiden van de afvoerscenario's. Daardoor kunnen de prognoses van de KNMI'14 en KNMI'23 niet één op één met elkaar vergeleken worden. Wel kunnen de richting, snelheid van de verandering en de spreiding binnen de set scenario's vergeleken worden.

Zowel de KNMI'14 als de KNMI'23-scenario's projecteren een consistente verandering in de jaargemiddelde afvoer van de Rijn. De variatie is groot, maar lijkt bij de KNMI'23-scenario's iets kleiner dan bij de KNMI'14-scenario's. De geprojecteerde toenames zijn groter dan de geprojecteerde afnames (zie Figuur 2.6), maar daar staat tegenover dat slechts twee KNMI'23-scenario's leiden tot een toename en de andere juiste tot een afname (zie Figuur 2.2). Dat is een opvallend verschil met de KNMI'14-scenario's. .

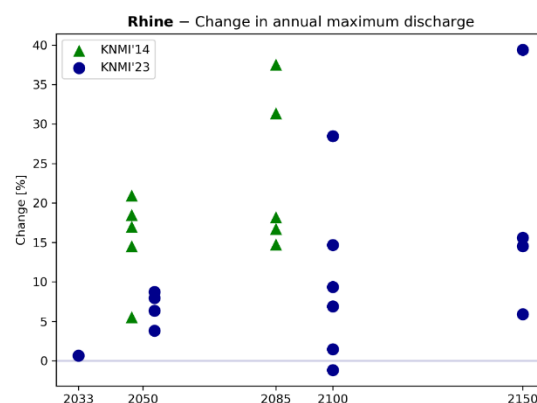


Figuur 2.6 Geprojecteerde veranderingen (%) in de jaargemiddelde afvoer voor de Rijn bij Lobith volgens de KNMI'14-scenario's (groen) en KNMI'23-scenario's (blauw) voor de betreffende tijdshorizon.

Voor de laagste 7-daagseafvoer zagen we in de KNMI'14-scenario's nog verschillen in de richting van de verandering (volgens een aantal scenario's zou de laagste 7-daagseafvoer toenemen, terwijl andere scenario's een afname verwachtten). Volgens alle KNMI'23-scenario's zal de laagste 7-daagseafvoer echter afnemen (zie Figuur 2.7). De grootste afname volgens de KNMI'23 scenario's (30% voor 2100) blijft wel van dezelfde ordegrrootte als die volgens de KNMI'14-scenario's.



Figuur 2.7 Geprojecteerde veranderingen (%) in de laagste zevendaagse afvoer voor de Rijn bij Lobith volgens de KNMI'14-scenario's (groen) en KNMI'23-scenario's (blauw) voor de betreffende tijdshorizon.



Figuur 2.8 Geprojecteerde veranderingen (%) in de jaarlijkse gemiddelde hoogste afvoer voor de Rijn bij Lobith volgens de KNMI'14-scenario's (groen) en KNMI'23-scenario's (blauw) voor de betreffende tijdshorizon.

Voor de jaarlijks gemiddelde hoogste afvoer zien we dat de toenames in 2100 volgens de KNMI'23 scenario's significant kleiner zijn dan de toenames volgens de KNMI'14-scenario's in 2085. Zeer forste toenames worden volgens de KNMI'23-scenario's pas in 2150 mogelijk bereikt.

3 Hackathondag: bevindingen per thema

3.1 Inleiding

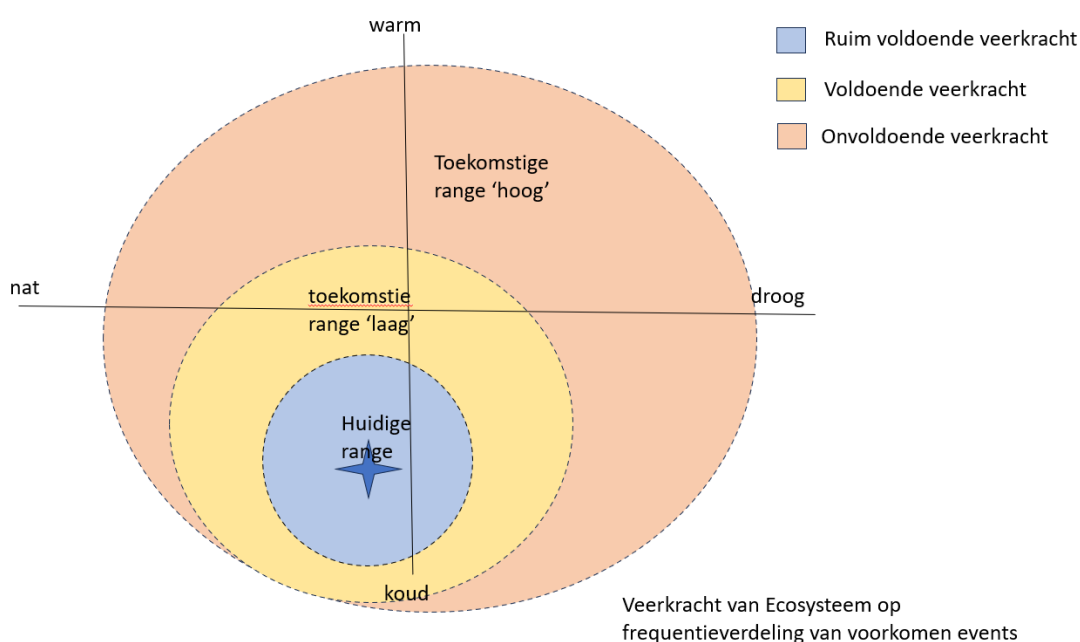
Dit hoofdstuk doet verslag van de uitkomsten van de gesprekken aan de vier thematafels tijdens de hackathondag:

- Natuur & grondwater
- Waterveiligheid
- Zoetwaterbeschikbaarheid
- Bevaarbaarheid & morfologie

3.2 Natuur & grondwater

3.2.1 Veranderen de opgaven en bedachte oplossingen als gevolg van de nieuwe KNMI'23-scenario's?

Kijkend naar de nieuwe KNMI'23-scenario's verwachten we dat voor de natuur- en grondwateropgaven de richting van de impact als gevolg van klimaatverandering niet verandert, maar wel dat de grootte van de impact kan veranderen. Hierbij is het belangrijk om rekening te houden met de **veerkracht van het natuurlijke ecosysteem**: dit is de potentie van de natuur om zich te herstellen van mogelijke extreme omstandigheden. Deze veerkracht is voldoende voor de huidige variabiliteit in weer en rivierafvoeren, maar kan bij toenemende klimaatverandering kan deze onder druk komen te staan (Figuur 3.1).



Figuur 3.1 Conceptuele weergave van de veerkracht van de natuur in het rijnstroomgebied onder verschillende klimaatscenario's.

Wanneer we echter kijken naar de huidige set aan voorgestelde KRW-maatregelen om natuurwaarden te borgen of te vergroten dan zien we dat deze nog nauwelijks rekening houdt met klimaatverandering. Tegelijkertijd weten we dat het nodig is om hierop te herijken.

Kijkend naar de nieuwe klimaatscenario's is het belangrijk dat er in de uitwerking van deze nieuwe scenario's niet alleen wordt gekeken naar bijv. een jaargemiddelde of zomer- of winter waarde, maar dat juist naar de fluctuaties gedurende het jaar wordt gekeken. Belangrijke 'kentallen' voor natuur hebben baat bij een gedetailleerde uitwerking per maand omdat **seizoenspatronen** en fluctuaties tussen maanden/jaren belangrijk zijn om mee te nemen, aangezien ze ingrijpen op belangrijke natuurlijke processen zoals reproductieperiode, groeiseizoenen en rustfases.

Er moet een verdere koppeling worden gelegd tussen de verschillende afvoer-scenario's en de watertemperatuur-scenario's voor een beter beeld van de respons van aquatische natuur op veranderingen hierin. **Temperatuur** kan in sommige gevallen de uiteindelijke bottleneck vormen in de respons van natuur, aangezien veel nu karakteristieke riviersoorten (bijv. specifieke vissoorten) gevoelig zijn voor juist de hoge temperaturen die in de zomermaanden kunnen optreden. Ook werkt de toename aan lage afvoeren naar verwachting negatief door op de **waterkwaliteit in brede zin**. Naar verwachting zal de kwaliteit onder lage afvoeren sterker onder druk staan doordat er minder verdunning is, en stofconcentraties omhoog gaan.

Naast evaluaties voor **aquatische** natuur op de verschillende biologische kwaliteitsparameters vanuit de KRW (vis, macrofauna, macrofyten en fytoplankton/ fyto bentos) moeten er ook verdere evaluaties komen voor de **terrestrische** natuur. Hierbij is het belangrijk om te benadrukken dat de respons van de natuur ook wordt beïnvloedt door andere ontwikkelingen en keuzes in beheer en beleid (bijv. socio-economische scenario's', invloed van exoten en regelgeving over bijv. nieuwe stoffen en stikstof).

Specifiek voor grondwater werd tijdens de hackathon nog de vraag gesteld in hoeverre we moeten specificeren hoe de klimaatscenario's invloed hebben op **grondwater** in het **buitendijkse** gebied, en of dat we ook meer inzicht in de doorwerking hiervan op het **binnendijks** gebied willen hebben; deze vraag moet nog verder worden beantwoord.

3.2.2 Hoe moeten we met deze nieuwe scenario's omgaan? (in beleid/beheer/toetsing)

De nieuwe scenario's moeten ook worden uitgewerkt op de daaraan verbonden consequenties voor N2000/KRW beoordelingen, waarin ook waterkwaliteit in bredere zin moet worden meegenomen.

Dat vraagt dat we ons verder moeten buigen over de vraag of de typen/ en de dimensies van inrichtingsmaatregelen tegen verdroging nog toereikend zijn om onder deze scenario's de gestelde doelen te halen, of dat het nodig is om deze doelen te veranderen zodat de natuurambities beter aansluiten bij het verwachte toekomstige klimaat. Een grote vraag hierbij is in hoeverre het juridisch kader hierin sturend is/kan zijn.

Een belangrijke aanbeveling is om de inzichten over de nieuwe scenario's goed te betrekken in lopende projecten zoals Deltaprogramma Zoetwater, PAGW, ResiRivers en te zorgen voor een goed systeembegrip en koppeling met de respons van hydrologie en morfologie, samen met de rol van inrichtingsmogelijkheden (bijv. langsdammen versus traditionele kribben).

3.2.3 Kennisvragen

Een aantal kennisvragen heeft te maken met verdere detaillering van de afvoerscenario's zodat ze beter gebruikt kunnen worden om de effecten op de natuur inzichtelijk te maken:

- Vertaling van de jaargemiddelde veranderingen naar extreme situaties en maandelijkse gegevens en dit relateren aan de vraag tot op welke hoogte natuur voldoende veerkrachtig om met een toename aan extremen om te gaan

- Vertaling van de afvoergegevens naar veranderingen in rivierpeilen (per riviertak/-traject), overstromingsduur, nat/droog; stromend/stilstaand en duur van gebeurtenissen om de effecten op natuur beter te kunnen analyseren.

Er zijn nog veel kennisvragen over de invloed van klimaatverandering op natuurwaarden. Bijvoorbeeld:

- Hoe reageert natuur op een opeenvolging van extreme situaties?
- Wanneer treedt onherstelbare schade op (*tipping point*)? En hoe kunnen we dat voorkomen bijv. met herinrichtingsmaatregelen?
- Gaan we bepaalde soorten blijvend verliezen?
- Wat is het gekoppelde effect van lage waterstand en hoge temperatuur op natuur?
- Hoe sterk is de verzilting en heeft natuur de ruimte om op te schuiven of verliezen we daardoor bepaalde type natuur?
- Hoe werken effecten door in verschillende deelgebieden?
- Tot waar/wanneer kunnen we de huidige natuur behouden, en waar zal een totaal nieuwe natuur verschijnen – hoe ziet die er uit in relatie tot de wettelijke doelen en blijven die doelen dan haalbaar?

Een eerste stap om deze kennisvragen te beantwoorden is het doorvertalen van de klimaatscenario's naar ecologische stuurvariabelen en voor deze stuurvariabelen inzichtelijk maken hoe die veranderen.

3.3 Waterveiligheid

3.3.1 Veranderen de opgaven en bedachte oplossingen als gevolg van de nieuwe KNMI'23-scenario's?

Met betrekking tot de waterveiligheidsopgave waren de belangrijkste conclusies:

- Langs de Rijntakken 'lijkt' meer tijd beschikbaar te zijn dan tot nu toe gedacht. De veranderingen in de jaargemiddeld hoogste afvoer die bij het KNMI'14 klimaatscenario W_{Hdry} rond 2100 werden verwacht treden nu bij het hoge scenario pas op rond 2150. Hierbij is echter een aantal kanttekeningen te plaatsen. Zo is bij de KNMI'23 een ander referentiejaar gebruikt (dat scheelt mogelijk een paar decennia klimaatverandering en kan een vertekend beeld geven). Bovendien zijn voor hoogwaterveiligheid vooral de veranderingen in zeer hoge afvoeren van belang (in plaats van de jaargemiddeld hoogste afvoer over de beperkte reeks). Deze gegevens zijn nog niet beschikbaar.
- Meer informatie is nodig over hoogwaters en de kans op overstromingen in regionale rivieren. Bij de deelnemers heerste het gevoel dat hier meer rekening mee moet worden gehouden. Met de nieuwe beschermingsnormen en de lopende dijkversterkingen in het kader van het HWBP mag worden verondersteld dat het overstromingsrisico vanuit de Rijn in 2050 'op orde' is. Dit geldt mogelijk niet voor de vele regionale rivieren die niet bedijkt zijn en waar het overstromingsrisico in de toekomst sterk toe kan nemen.
- Ook moet er meer rekening worden gehouden met een kans op hoogwater in de zomer. Het hoogwater van juli 2021 heeft laten zien dat die kans niet 'nul' is. Hoe groot de kans op een zomerhoogwater is, is nog niet te zeggen op basis van de scenario's die er nu liggen (daarvoor zijn de GRADE-resultaten nodig, die volgens planning in 2024 beschikbaar zouden moeten komen).

De KNMI'23-scenario's lijken geen gevolgen te hebben voor de waterveiligheidsmaatregelen die nu in beeld zijn:

- Dijkversterking is sowieso nodig om in 2050 aan de nieuwe normen te voldoen. Omdat de bijdrage van klimaatverandering aan de versterkingsopgave beperkt is (de opgave is vooral groot door nieuwe inzichten in de sterkte van waterkeringen en de strengere normen), hebben de nieuwe klimaatscenario's waarschijnlijk weinig effect op deze oplossing.
- Deelnemers stellen wel vragen over hoe en wanneer dijken versterkt kunnen worden als blijkt dat de kans op zomerhoogwaters inderdaad groter wordt; dan wordt 'versterken buiten het hoogwaterseizoen' wel lastig.
- IRM onderzoekt welk deel van de waterveiligheidsopgave met rivierverruiming zou kunnen worden opgelost. Als de klimaatopgave kleiner wordt, is het eenvoudiger om dit deel van de totale opgave met rivierverruiming op te lossen. Rivierverruiming kan ook worden ingezet om te komen tot een robuuster riviersysteem, waar de waterstanden minder snel stijgen met een toename van de afvoer.

3.3.2 Hoe moeten we met deze nieuwe scenario's omgaan? (in beleid/beheer/toetsing)

De deelnemers achten het denkbaar dat het hoge (H) of het midden-scenario (M) werkelijkheid wordt. Het lage (L) scenario wordt als niet realistisch gezien onder andere omdat de uitstoot van andere bronnen (zoals het ontdooien van permafrost) nog niet is mee genomen in de KNMI klimaatscenario's.

Uit eerder onderzoek voor het W+ en G scenario bleek dat 'te veel' maatregelen treffen voor waterveiligheid langs de rivieren in Nederland tot minder spijt leidt dan 'te weinig' (als hierbij spijt wordt uitgedrukt in €). De hogere kosten voor maatregelen worden dan vrijwel geheel terugverdiend door extra risicoreductie⁸.

Daarom wordt voorgesteld om waterveiligheidsmaatregelen bij voorkeur te ontwerpen op het hoge scenario, maar te zoeken naar co-benefits om de kans op spijt nog verder te verkleinen. Extra reden om op een hoog scenario te ontwerpen is dat de waterveiligheidsopgave slechts voor een beperkt deel bepaald wordt door klimaatverandering. Dit leidt dus naar alle waarschijnlijkheid maar tot een beperkte toename van de kosten.

3.3.3 Kennisvragen

De volgende kennisvragen (en acties) zijn besproken:

- Uitzoeken of '*hope for the best, prepare for the worst*' inderdaad tot de minste kans op spijt leidt (in €).
- Uitzoeken wat het ontwerpen van dijken op het hoge klimaatscenario extra kost t.o.v. ontwerpen op het midden (of lage) scenario (absoluut in € en als % van de totale kosten).
- Uitzoeken welke maatregelen de landen bovenstrooms van Nederland zouden kunnen treffen en wat het effect daarvan is op de extreme rivierafvoeren in Nederland (denk aan het vol laten lopen van de bruinkoolmijnen of het verhogen van dijken)
- Onderzoek naar hydraulische systeemwerking in bredere zin (ook positieve en negatieve systeemwerking)
- Uitzoeken hoeveel reservoirs met piekbergingscapaciteit aanwezig zijn in het Rijnstroomgebied en hoe het beheer daarvan van invloed kan zijn op hoogwaterafvoeren.
- Hoe krijgen we een beter beeld van de neerslag (en sneeuwsmelt) in Zwitserland (dit lijkt nog niet goed in de KNMI-scenario's te zitten)?

⁸ het begrip spijt moet breder bekeken worden dan €

3.4 Zoetwaterbeschikbaarheid

3.4.1 Veranderen de opgaven en bedachte oplossingen als gevolg van de nieuwe KNMI'23-scenario's?

Algemeen kan opgemerkt worden dat de nieuwe scenario's als voordeel hebben dat er verder in de toekomst gekeken kan worden (voorbij 2100), al wordt dit nog niet direct gebruikt in het Deltaprogramma (daar kijkt men naar zichtjaren 2050 met een doorkijk naar eind van de eeuw). Wat nog ontbreekt in de afvoerscenario's voor de Rijn is het effect van bovenstroomse socio-economische ontwikkelingen (gebruik/onttrekkingen) en het beheer van reservoirs voor seizoensberging en energieproductie. Tot slot valt op dat met een andere referentie is gewerkt. Dit geeft een vertekend beeld als men kijkt naar relatieve veranderingen ten opzichte van het huidige klimaat.

De opgave voor de zoetwatervoorziening in Nederland is niet alleen afhankelijk van de aanvoer van water via de grote rivieren, maar hangt ook samen met de watervraag. Die watervraag wordt beïnvloed door neerslagtekort, zeespiegelstijging en keuzes omtrent land- en watergebruik. Ook is een deel van Nederland vrij-afwaterend en daardoor niet aangesloten op de rivieren. De opgave in dat (hogere) deel van Nederland staat grotendeels los van de ontwikkeling van het afvoerregime van de Rijn en de Maas.

Op basis van de scenario's van rivierafvoeren krijgen we inzicht in de toekomstige waterbeschikbaarheid voor het peilbeheerste deel van (laag) Nederland. In alle scenario's neemt de 7-daagse lage afvoer af. In vergelijking met KNMI'14 is het scenario met sterke klimaatverandering (Hd) vergelijkbaar met Whdry, maar de bandbreedte tussen de verschillende scenario's is kleiner geworden. Er is geen 'misschien valt het wel mee' scenario meer ten aanzien van droogte.

Kijkend naar de kentallen van KNMI'23 voor het neerslagtekort (een maat voor de ontwikkeling van de watervraag van landbouw en natuur) is het beeld bij herhalingstijden van circa 10 jaar extremer geworden. Het neerslagtekort is in scenario Hd (bij T=10 jaar) groter dan in het oude scenario Wh. Dit betekent dat er vaker en meer wateraanvoer gewenst is vanuit de grote rivieren.

Overall is het beeld dat uit de hackathon discussie naar voren kwam als volgt:

- Omdat de verschillen tussen de scenario's kleiner zijn, is ook de kans op spijt van maatregelen die nu genomen worden kleiner. Maatregelen zullen in meer scenario's kosteneffectief zijn, ook als ze met de oude scenario's alleen in het extreemste scenario effectief waren. Dit kan betekenen dat maatregelen uit het lange-termijn adaptatiepad van DPZW al eerder in beeld komen.
- Omdat het extreme scenario voor lage Rijnafvoeren niet veel anders is dan die op basis van KNMI'14, zal de frequentie van inzet van de Klimaatbestendige Wateraanvoer (West-Nederland) en operationele maatregelen om zoutindringing tegen te gaan ongeveer evenveel toenemen als eerder gedacht. De hoeveelheid water die aangevoerd moet worden tijdens deze situaties kan wel groter zijn, omdat het neerslagtekort wel verder toeneemt.

3.4.2 Hoe moeten we met deze nieuwe scenario's omgaan? (in beleid/beheer/toetsing)

Het KNMI heeft een hoog, een laag en een midden-scenario geleverd. Het midden-scenario (Md/Mn) is echter nog niet eerder door DPZW gebruikt. Voor zoetwater is gekozen om met Hd (Hoog – droog) en Ld (Laag – droog) te werken voor het in beeld brengen van de opgave voor zoetwater.

Hiermee is de bandbreedte qua emissies en temperatuurtoename wel groter dan toen KNMI'14 werd gebruikt. Het lage scenario gaat immers uit van minder uitstoot dan het oude GI-scenario. Om de parallel te trekken met hoogwaterveiligheid: daar wordt overwogen scenario's M en H te gebruiken, mede op advies van ENW, maar er is nog niets besloten. Het zou interessant kunnen zijn om ook voor zoetwater **advies in te winnen bij een expertgroep zoals ENDZ** (Expertisenetwerk droogte en zoetwater), voordat besloten wordt welke klimaatscenario's voor Deltaprogramma Zoetwater te gebruiken.

Over te gebruiken bandbreedte werd gesteld dat het voor de ontwikkeling van maatregelen in Deltaprogramma Zoetwater belangrijk is om helder te communiceren over de andere bandbreedte ten opzichte van de KNMI'14-scenario's. Welke argumenten waren hiervoor? Er is gesuggereerd om een **toepassingsadvies te vragen aan het project Deltascenario's**.

Over de omgang met droogte extremen is gesteld dat er **aandacht nodig is voor meerjarige droogtes** (denk aan grondwater dat jaar na jaar verder wegzakt, maar ook aan sectoren die een aantal jaren op rij te maken krijgen met beperkingen). Vragen die naar voren kwamen in de discussie:

- wat kan ons systeem aan?
- in hoeverre is dit gedomineerd door de inrichtingskeuzes die we al gemaakt hebben?
- kan het ook anders (denk: NL2120)?

Voor het overbrengen van de boodschap wat de gevolgen kunnen zijn van extreme droogte, zijn verhalen ('*storylines*') nodig. Om deze storylines vorm te geven kan het handig zijn om, aanvullend op de synthetische reeksen van het KNMI, ook historische jaren te transformeren naar een toekomstig klimaat. Ook kan gedacht worden aan **het selecteren van extreme droogtes uit de database met klimaatmodelsimulaties** en vervolgens te analyseren hoe deze droogtes zich doorvertalen in het hydrologisch systeem en het maatschappelijk systeem.

3.4.3 Kennisvragen

Voor het in beeld brengen van de relevante lage-afvoerveranderingen in toekomstige scenario's wordt meestal gebruik gemaakt van de laagste 7-daagse afvoer. Voor een eerste inschatting van de gevolgen voor zoetwatervoorziening zijn echter **aanvullende indicatoren** nodig. In de hackathon-discussie is daarom een eerste lijst gemaakt met aanvullende indicatoren op basis waarvan experts in staat zouden moeten zijn om duiding te geven aan de mogelijke doorwerking van toekomstige droogte:

- T=10 of T=50 lage afvoerperiode; hoe laag kan het worden?
- OLA (overeengekomen lage afvoer (afpraak met Duitsland)); 95% van de tijd overschreden; hierbij moeten vaardieptes gegarandeerd worden;
- Ecologische indicatoren, zoals voorjaarsafvoer, watertemperatuur
- Duur van lage afvoeren, bv $Q < 700 \text{ m}^3/\text{s}$
- Koelcapaciteit: combinatie van 2percentiel Q en 2percentiel temperatuur

Deze lijst aanvullende indicatoren voor zoetwater is na de Hackathon uitgebreid en uitgerekend, en de uitkomsten zijn vervolgens vergeleken met die van de KNMI'14-scenario's. Op basis hiervan is nog meer duiding gegeven aan de mogelijke gevolgen van de nieuwe scenario's op het beeld van de zoetwateropgave. De resultaten zijn in Hoofdstuk 4 van dit verslag toegevoegd.

Overige kennisvragen die zijn genoemd:

- Wat is het effect van bovenstroomse natuurontwikkelingen (bossen aanplanten, vegetatieveranderingen als gevolg van klimaatverandering) op de afvoer van de Rijn en de Maas? Voor de Maas is dit recent onderzocht in een PhD onderzoek, maar voor de Rijn is nog weinig bekend.
- Wat zijn effecten van morfologische ontwikkelingen en aanpassingen in de vaarweg op de zoetwaterbeschikbaarheid?
- Wat zijn de mogelijkheden en consequenties van maatregelen in de Nieuwe Waterweg?
- In hoeverre leidt een stijging van watertemperatuur tot andere soorten en brengt dit de KRW-doelen in gevaar?

3.5 Bevaarbaarheid & morfologie

3.5.1 Veranderen de opgaven en bedachte oplossingen als gevolg van de nieuwe KNMI'23-scenario's?

De opgave voor de bevaarbaarheid wordt vooral bepaald door een grotere kans op lage afvoeren en de daarmee samenhangende beperkte waterdieptes. De eis die gesteld wordt vanuit internationale verdragen is dat een bepaalde vaardiepte moet worden gegarandeerd bij een afvoer die 5% van de tijd (ongeveer 20 dagen per jaar) wordt onderschreden: de Overeengekomen Lage Afvoer (OLA). De OLA zal in de toekomst afnemen. Maar de mate waarin dit gebeurt lijkt in de nieuwe scenario's niet wezenlijk anders dan al voorzien. Het tot nu gebruikte KNMI'14 scenario W_{ndry} , lijkt qua laagwaterproblematiek sterk op verscheidene KNMI'23-scenario's. De nieuwe scenario's onderstrepen/bevestigen wat we al doen. Omdat de opgave niet wezenlijk verandert, veranderen de oplossingen evenmin. De verwachting blijft dat we internationale afspraken moeten herzien, omdat deze op den duur niet meer realiseerbaar zijn (het voldoen aan voldoende vaardiepte bij OLA levert nu al problemen op).

Het blijft nodig om oplossingen op alle fronten te zoeken en uit te werken. Men kan daarbij denken aan aanpassingen in de vaarweg (versmalling, stuwen,), maar ook aan aanpassingen in de vloot (kleinere schepen), de logistiek (multi-modaliteit) en voorraadbeheer (minder *just in time delivery*).

Aanpassingen in de vaarweg moeten integraal worden bekeken (i.i.g. in samenhang met zoetwatervoorziening en natuur), omdat ze mogelijk gunstig zijn voor de bevaarbaarheid maar niet voor de andere functies of waarden.

3.5.2 Hoe moeten we met deze nieuwe scenario's omgaan? (in beleid/beheer/toetsing)

Met betrekking tot het gebruik van de nieuwe scenario's is het volgende opgemerkt:

- Er moeten meer adaptieve maatregelen bedacht en geïmplementeerd worden om beter om te kunnen gaan met onzekerheden.
- Mogelijk kan de vaardiepte gedurende bepaalde tijd niet worden gegarandeerd. Het kan nodig zijn om afspraken te maken over de vaardiepte bij bepaalde afvoeren in plaats van over het aantal dagen in de tijd (dus een vaardiepte garanderen bij een vaste afvoer te Lobith, in plaats van bij mettertijd afnemende OLA).
- Kunstwerken moeten ontworpen worden voor de toekomst uitgaande van het extreme scenario.
- Het lage klimaatscenario lijkt minder relevant, want is nog nauwelijks haalbaar

- Voor scheepvaart lijken frequent voorkomende droogtegebeurtenissen belangrijker dan de laagte-extremen (in Q); ook de duur is zeer relevant.

3.5.3 Kennisvragen

De volgende kennisvragen zijn besproken:

- Er is meer inzicht nodig in het samenvallen van de laagste afvoer en de duur van laagwaterperioden.
- Meer zicht nodig op watervraag bovenstrooms en het effect daarvan op de laagwaterafvoer bij Lobith (men is gestart met het inventariseren hiervan).
- Ook is meer kennis nodig over het beheer van stuwmeren en het effect daarvan op lage afvoeren.
- Uitzoeken hoe we toe kunnen werken naar nieuwe internationale afspraken
- Beslismomenten in kaart brengen + beslisinformatie: integraal beeld voor alle functies (wanneer moeten we nieuwe maatregelen implementeren? En welke maatregelen zijn dat? Bezien vanuit alle functies).
- Alternatieven ontwikkelen voor de toekomst van de rivieren op de lange-termijn (tegenhanger KP ZSS). Hoe ziet de rivier er op de lange-termijn mogelijk uit, en wat is effect op scheepvaart?

4 Aanvullende analyse: eerste duiding van de gevolgen van de KNMI'23-scenario's voor zoetwatervoorziening in Nederland

4.1 Inleiding

Dit hoofdstuk geeft een eerste duiding van de KNMI'23-scenario's voor droogte en zoetwatervoorziening in Nederland, door de kentallen van het KNMI en de vertaling hiervan naar Rijn- en Maasafvoeren te vergelijken met de kennis over en uitkomsten van de analyses met de KNMI'14-scenario's. Deze studie is uitgevoerd in de maanden na de hackathondag.

Door Deltares-experts zijn de volgende indicatoren berekend en zijn de uitkomsten hiervan geduid:

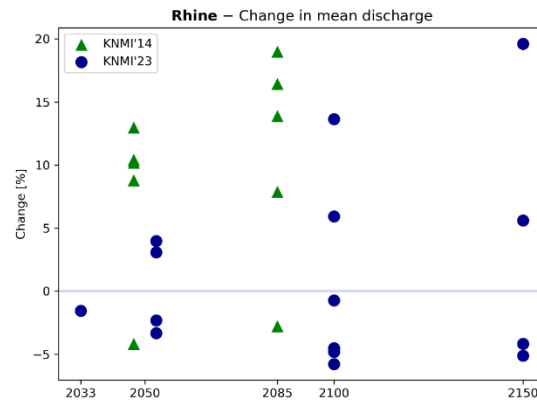
- Als indicatie voor waterbeschikbaarheid: laagste 7-daagse afvoer, Rijnafvoerregime en Rijnafvoertekort over het zomerhalfjaar;
- Als indicatie voor watervraag: neerslagtekort;
- Als indicatie voor grondwateraanvulling: verdampingstekort in de drie zomermaanden juni, juli, augustus;
- Als indicatie voor de doorwerking op scheepvaart: 5-percentiel Rijnafvoeren.

Deze vergelijking is opgesteld naar aanleiding van de hackathondag én om te voorzien in een algemene behoefte vanuit verschillende projecten die zich met de toekomst van zoetwatervoorziening in Nederland bezighouden en tot nu gebruik maakten van de oude KNMI'14-scenario's (en Deltascenario's) en de doorrekening hiervan met het Nationaal Water Model (NWM). De hier gepresenteerde bevindingen betreffen een samenvatting van een eerste verkennende analyse⁹. In het najaar van 2024 wordt de nieuwe Knelpuntenanalyse Zoetwater verwacht, op basis van modelberekeningen met de nieuwe KNMI'23-scenario's.

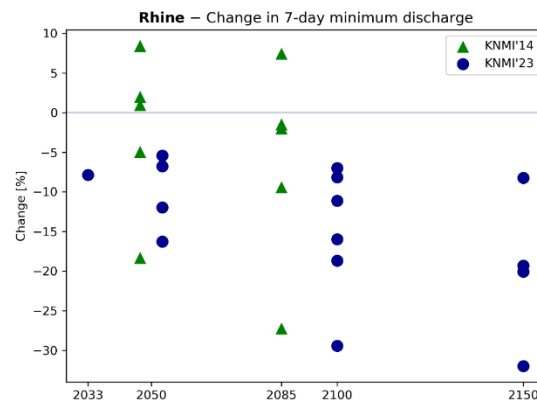
4.2 Ontwikkeling van de waterbeschikbaarheid uit de Rijn

Zowel de KNMI'14 als de KNMI'23-scenario's projecteren een consistente verandering in de *gemiddelde jaarafvoer* van de Rijn. De verschillen tussen de scenario's zijn echter groot, waarbij de geprojecteerde toename van de gemiddeld afvoer groter is dan de geprojecteerde afname (zie Figuur 4.1). Gemiddeld voorspellen alle scenario's behalve Mn en Hn een daling van ongeveer 5% (voor alle tijdshorizonten). Voor de *laagste 7-daagseafvoer* zagen we in de KNMI'14-scenario's nog verschillen in de richting van de verandering. Dit beeld is veranderd. Volgens alle KNMI'23-scenario's zal de laagste 7-daagseafvoer afnemen (zie Figuur 4.2). De grootste afname volgens de KNMI'23-scenario's (~30% voor 2100) blijft wel van dezelfde orde van grootte als volgens de KNMI'14-scenario's.

⁹ De verslaglegging van de verkennende analyse (uitgevoerd binnen Sito-IS Programma Water Resources) komt naar verwachting later deze maand beschikbaar.

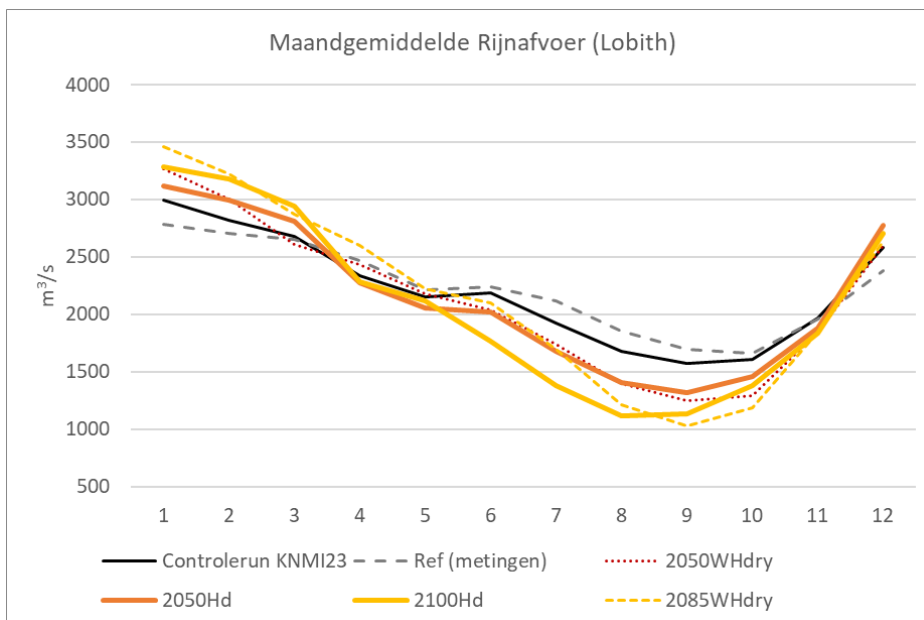


Figuur 4.1 Geprojecteerde veranderingen (%) in de jaargemiddelde afvoer voor de Rijn bij Lobith volgens de KNMI'14-scenario's (groen) en KNMI'23-scenario's (blauw) voor de betreffende tijdshorizon. (N.B. Deze figuur is identiek aan Figuur 2.6)



Figuur 4.2 Geprojecteerde veranderingen (%) in de laagste zevendaagse afvoer voor de Rijn bij Lobith volgens de KNMI'14-scenario's (groen) en KNMI'23-scenario's (blauw) voor de betreffende tijdshorizon. (N.B. Deze figuur is identiek aan Figuur 2.7)

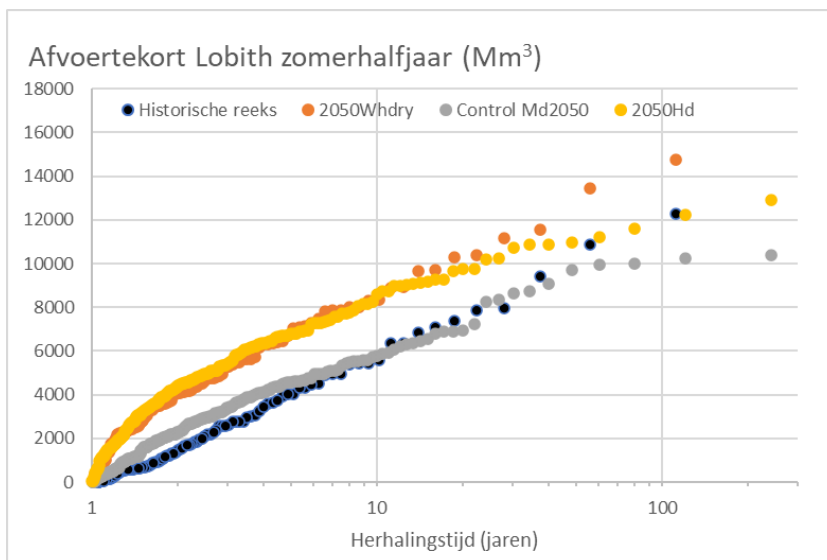
Het geprojecteerde afvoerregime van de Rijn in zichtjaar 2050 lijkt in het KNMI'23 Hd scenario veel op dat van het KNMI'14 Whdry scenario (Figuur 4.3), beide de meest extreme scenario's in termen van droogte. De referentie is echter ook veranderd. De nieuwe (synthetische) referentie ('controlerun KNMI23') lijkt al te zijn verschoven ten opzichte van de oude (gemeten) referentie: de zomerafvoeren liggen iets lager en de winterafvoeren iets hoger dan die in de oude referentie. Het is aannemelijk dat er in de afgelopen 100 jaar veranderingen in het afvoerregime zijn opgetreden (al dan niet door klimaatverandering) en in dat opzicht is het geen 'eerlijke vergelijking'. Het is wel belangrijk om die oude referentie erbij te houden, omdat het mede bepalend is voor ons begrip van de veranderingen in de scenario's. De *relatieve* veranderingen ten opzichte van de beide referenties *lijken* met de nieuwe scenario's kleiner dan met de oude scenario's. Maar in absolute zin komt het regime vergelijkbaar extreem uit, al dalen de afvoeren in juni en juli verder richting 2100 (Hd) in vergelijking met 2085 Whdry, en in september komen ze juist iets hoger uit.



Figuur 4.3 Afvoerregime van de Rijnafvoer bij Lobith (m^3/s) voor oude en nieuwe KNMI-scenario's behorende bij sterke opwarming (KNMI'14 Whdry en KNMI'23 Hd). De nieuwe referentie 'Controlerun KNMI23' is op basis van de synthetische reeks voor het huidige klimaat (1991 – 2020). De oude referentie 'Ref' is op basis van metingen in de periode 1911 – 2015. Merk op dat er in die historische metingen een trend zit (al dan niet door klimaatverandering), waardoor die niet meer representatief is voor het huidige klimaat en het huidige systeem.

Het afvoertekort van de Rijn bij Lobith, berekend als het volumetekort onder een drempelwaarde van $1800 m^3/s$ over het zomerhalfjaar, is een maat voor beperkingen in de waterbeschikbaarheid vanuit de grote rivieren tijdens droogte. De frequentieverdeling van dit afvoertekort geeft met de KNMI'23 scenario's deels een ander beeld, met name in het extreme bereik (Figuur 4.4). Wat opvalt is dat het afvoertekort in de KNMI'14-scenario's veel groter was bij een frequentie van minder dan eens in de 40 jaar, ook in de referentie. Dit is opvallend, omdat de oude referentie gebaseerd is op metingen. De meest extreme jaren uit de afgelopen eeuw (1921 en 1976) worden dus niet gereproduceerd in de nieuwe (synthetische) reeksen. Dit kan betekenen dat die historische jaren nog extremer waren dan we dachten (minder vaak dan eens in de 100 jaar), of dat extreem lage afvoeren niet goed gerepresenteerd worden in de (nieuwe) modellen.

Samengevat geven de KNMI'23-scenario's *gemiddeld* een vergelijkbaar beeld als de KNMI'14-scenario's, maar de kans op extreme laagwaters lijkt kleiner dan eerder gedacht.

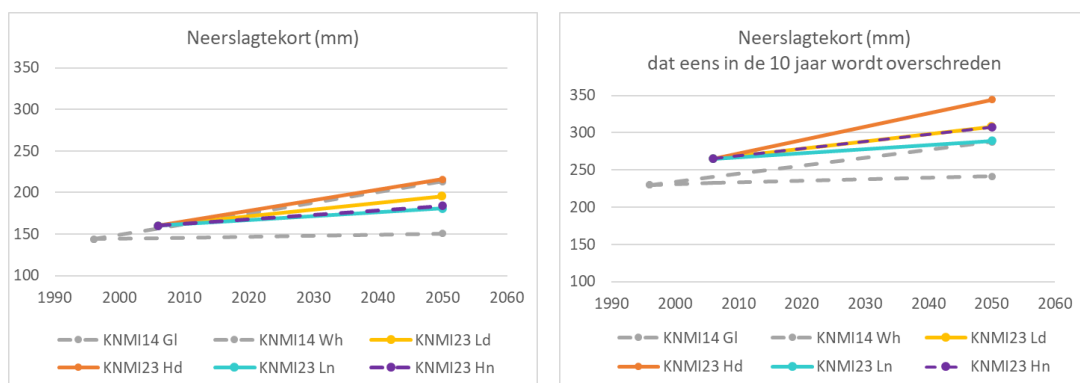


Figuur 4.4 Het afvoertekort per zomerhalfjaar optredend bij Lobith onder verschillende herhalingstijden voor de KNMI'14 en KNMI'23-scenario's. Bron gegevens: Buitink et al. (2023)

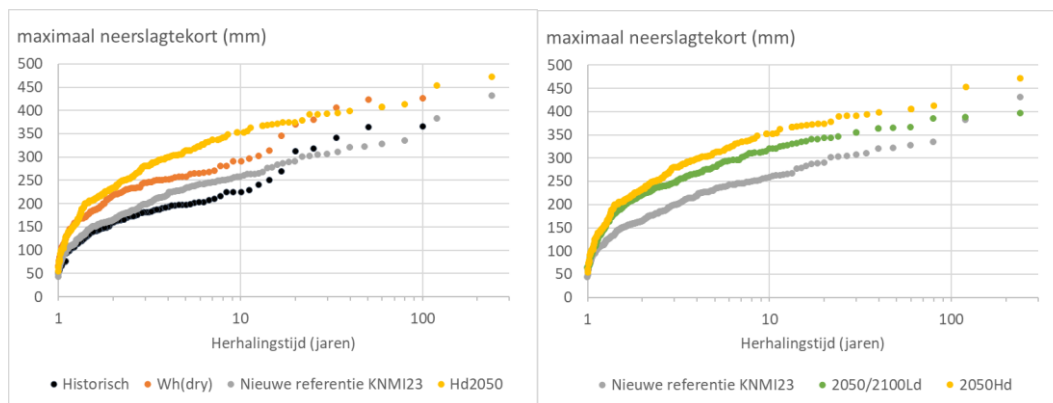
Ontwikkeling van de watervraag: neerslagtekort

Neerslagtekort is een goede indicator voor de hoeveelheid water die aan het hoofwatersysteem wordt gevraagd door de laaggelegen/peilbeheerste gebieden, voor onder andere peilbeheer, doorspoeling en beregening. Volgens de KNMI'23-scenario's gaat droogte in de toekomst vaker optreden (net als in de KNMI'14-scenario's). De zekerheid over deze verandering is groter geworden, aangezien de bandbreedte tussen de scenario's kleiner is geworden in KNMI'23. Het neerslagtekort dat eens in de 10 jaar wordt overschreden wordt in alle KNMI'23-scenario's groter (Figuur 4.5). Zo was volgens het KNMI'14-Wh2050-scenario het T=10 neerslagtekort circa 300 mm (in de referentie: 220 mm) en wordt dit circa 350 mm volgens KNMI'23-Hd2050 (referentie: 260 mm).

Uit de frequentieverdelingen (Figuur 4.6) blijkt dat de kans op extreme droogtes (circa 300 mm neerslagtekort of meer, zoals in de droge jaren 2018 en 2022) veel harder toeneemt dan eerder gedacht (Figuur 4.6). **Dit betekent dat we ons moeten voorbereiden op regelmatig droge zomers die we nu nog als uitzonderlijk beschouwen. Hierdoor krijgen we mogelijk vaker met watertekorten te maken dan eerdere knelpuntenanalyses uitwezen.**



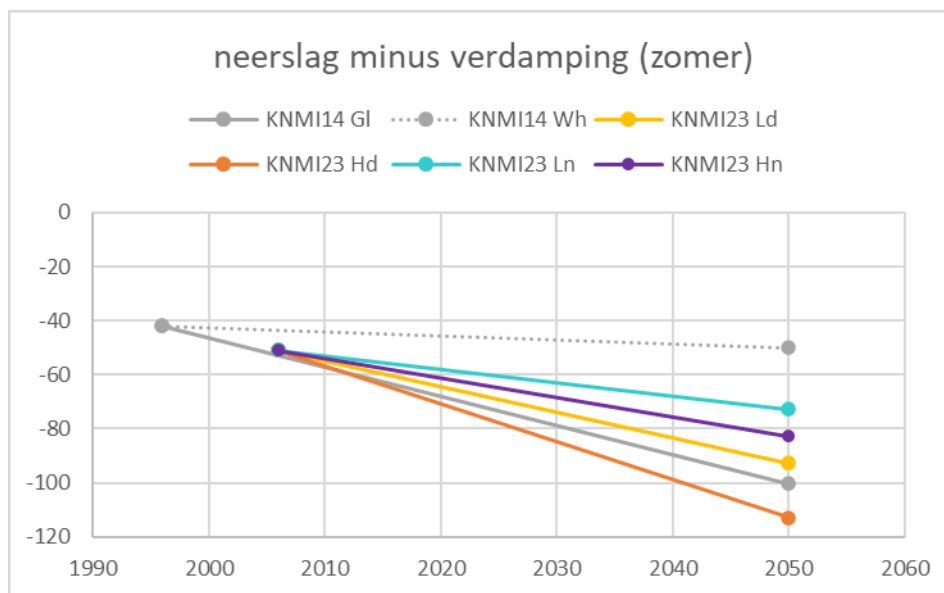
Figuur 4.5 Het gemiddelde neerslagtekort (links) en het neerslagtekort dat eens in de 10 jaar wordt overschreden (rechts) voor de KNMI'14 en KNMI'23-scenario's. Bron data: KNMI (2014) en KNMI (2023)



Figuur 4.6 Herhalingstijd van het maximaal neerslagtekort (mm) volgens de KNMI'14 en KNMI'23-scenario's. Zwarte puntjes geven de referentie passend bij KNMI'14, en grijze puntjes de referentie passend bij KNMI'23. Links: vergelijking tussen Hd2050 en Wh2050, Rechts: vergelijking tussen Hd2050 en Ld2050. Bron data: invoerbestanden Nationaal Water Model

Ontwikkeling van het grondwaterregime in de zomer: verdampingstekort zomermaanden

In de droge KNMI'23-scenario's (Hd en Ld) verandert de winterneerslag nauwelijks tussen nu en 2050 en neemt de zomerverdamping meer toe richting 2050 dan eerst (van 295 mm in KNMI14-Wh naar 317 mm in KNMI23-Hd). Figuur 4.7 laat zien dat het verdampingstekort (neerslag min verdamping) in de zomer de komende 30 jaar toeneemt van 50 mm tekort naar 73 tot 113 mm tekort. Hiermee ligt de projectie van het oude Wh scenario ongeveer tussen die van de twee droge KNMI'23-scenario's. **Doordat het verdampingstekort in de zomer groter wordt dan eerder gedacht, zullen de zomergrondwaterstanden naar verwachting iets verder uitzakken in de ontwaterde zandgebieden, en zullen zomergrondwaterstanden in de infiltratiegebieden minder stijgen dan ze in de analyses met de KNMI'14-scenario's deden.**



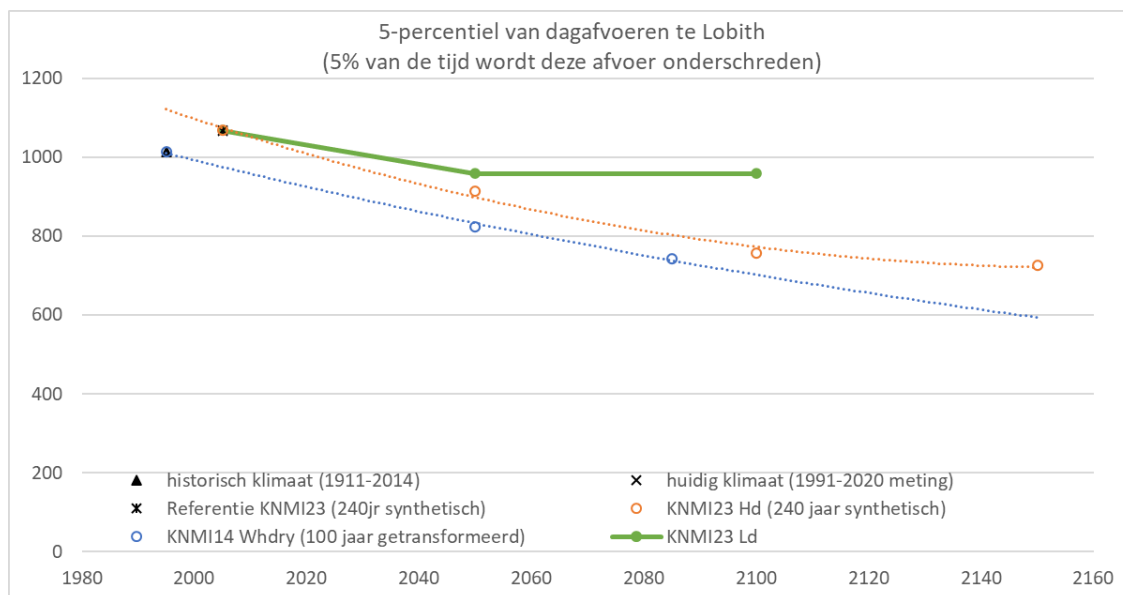
Figuur 4.7 Ontwikkeling van verdampingstekort (neerslag minus verdamping) in de zomer (juni-juli-augustus) volgens de KNMI'14-scenario's (grijs) en de KNMI'23-scenario's (kleuren)

Doorwerking scheepvaart

Een door de scheepvaart veelgebruikte maat voor lage afvoeren waarbij vaarbependingen optreden, is de afvoer die gemiddeld 5% van de tijd wordt onderschreden. Deze lijkt op de OLA (Overeengekomen Laagste Afvoer) die volgens afspraak met de Centrale Commissie Rijnvaart (CCR) berekend wordt als de afvoer die over een 100-jarige periode gemiddeld 20 dagen per jaar (5% van de tijd) wordt onderschreden. Bij deze afvoer moeten vaardieptes gegarandeerd worden, wat steeds lastiger wordt bij lagere afvoeren. Het 5-percentiel van de verschillende afvoerrekenen is berekend en weergegeven in Figuur 4.8.

De huidige OLA is 1020 m³/s. De 5%-afvoer van nieuwe (synthetische) referentie is met 1070 m³/s dus 50 m³/s hoger dan de oude (gemeten) referentie. Dit is opvallend, maar deze nieuwe referentie komt wel goed overeen met de recente meetreeks van 1991 – 2020 (x in de figuur), want de laatste decennia is het merkbaar natter geworden op jaarbasis. In beide droge KNMI'23-scenario's is de 5%-afvoer in zichtjaar 2050 lager. Volgens het meest extreme KNMI'14-Whdry scenario daalt de 5%-afvoer naar 825 m³/s en volgens het KNMI'23-Hd scenario naar 914 m³/s in 2050. In het lage scenario Ld stabiliseert het 2050, en in het hoge scenario Hd daalt het verder.

Het lijkt dus met de nieuwe scenario's 'mee te vallen'. Tegelijkertijd zien we in de vergelijking tussen de twee referenties dat een deel van de verschillen te verklaren is door methodische veranderingen. De dalingssnelheid van de 5% afvoer is wel vergelijkbaar. De projectie voor 2100 komt in het KNMI'23-Hd scenario dicht bij het KNMI'14-Whdry scenario: 758 m³/s (nieuw) en 743 m³/s (oud). Op de lange termijn (zichtjaar 2150) lijkt de daling af te vlakken, wat deels kan worden verklaard door het verminderen of zelfs verdwijnen van de sneeuwbedekking en gletsjers in de Alpen.



Figuur 4.8 Rijnafvoer die 5% van de tijd wordt onderschreden, als indicator voor de Overeengekomen Lage Afvoer (OLA). De blauwe lijn geeft de projectie volgens het KNMI'14-scenario Whdry; de oranje lijn geeft de projectie volgens het KNMI'23-scenario Hd. Voor de volledigheid is ook het nieuwe KNMI'23-scenario Ld (in groen) geplott.

Conclusie over de lange-termijn zoetwatervoorziening

Uit deze eerste verkennende analyses blijkt het volgende:

- Het wordt in alle KNMI'23-scenario's droger. In de set KNMI'14-scenario's zaten ook twee scenario's waarin droogte nauwelijks veranderde ten opzichte van het huidige klimaat (de oude scenario's G1 en G2). De bandbreedte tussen alle KNMI'23-scenario's is bovendien kleiner dan die tussen de KNMI'14-scenario's G1 en G2.
- De referentie is veranderd. In KNMI'14 gold de periode 1981 - 2010 als referentie voor het huidige klimaat. Inmiddels is de referentie 10 jaar opgeschoven naar de periode 1991-2020, waardoor de kentallen van de referentie veranderd zijn. Dit is deels door klimaatverandering, maar deels ook door de verandering in de methode voor het afleiden van klimaatscenario's en afvoerscenario's. Hierdoor kunnen relatieve veranderingen in een scenario, die worden uitgedrukt ten opzichte van de referentie, niet zomaar met de oude scenario's vergeleken worden.
- Over de waterbeschikbaarheid vanuit de Rijn geven de nieuwe scenario's gemiddeld een vergelijkbaar beeld als de oude scenario's, maar de kans op extreme laagwaters lijkt iets kleiner te zijn dan eerder gedacht.
- We krijgen volgens het nieuwe scenario Hd veel vaker te maken met droogtes zoals 2018 (in 300 mm neerslagtekort – in het huidige klimaat een herhalingstijd van circa 30 jaar), en daardoor *mogelijk* vaker watertekorten dan de eerdere knelpuntenanalyses aangaven. Of meteorologische droogte ook tot watertekort leidt hangt mede af van de beschikbaarheid van water uit de grote rivieren, dus het samenvallen van neerslagtekort in NL met lage afvoeren. De extreme droogtes (herhalingstijd van 50-100 jaar) nemen ook toe in ernst, maar die verandering verschilt nauwelijks tussen Hd en G2.
- De zomergrondwaterstanden (GLG) zullen in de nieuwe scenario's, zowel die met hoge uitstoot (Hd) als die met lage uitstoot (Ld), naar verwachting verder uitzakken in de ontwaterde zandgebieden, en de GLG in de infiltratiegebieden zal minder stijgen dan in de oude scenario's. Het verschil tussen de hoge en lage scenario is veel kleiner geworden.
- Voor de bevaarbaarheid van de grote rivieren moet rekening worden gehouden met een daling van de 5% afvoer (als maat voor de OLA). In het meest extreme scenario komt de 5% afvoer wel iets hoger uit dan eerder gedacht, rond 915 m³/s, en in het lage-uitstoot scenario stabiliseert de daling na 2050 rond 960 m³/s.

5 Reflectie en hoe verder?

Dit hoofdstuk reflecteert op een tweetal aandachtspunten die bij het verbeteren van de kennisbasis belangrijk zijn en uit dit onderzoek naar voren zijn gekomen, nl:

1. Aandacht voor het goed laten landen van de KNMI'23-scenario's in studies voor beheer en beleid.
2. Aandacht voor het vergroten van systeem kennis vanuit het perspectief van het gehele (internationale) stroomgebied

Deze aanbevelingen zijn aanvullend op de eerder genoemde kennisvragen en aanbevelingen per thema (zie hoofdstuk 2 t/m 4).

Aandachtspunt 1: Hoe laten we de KNMI'23 afvoerscenario's goed landen in studies voor beleid en beheer? Hoe zeker zijn we van de verwachte (veranderingen in) de kans van voorkomen van zeer extreme gebeurtenissen (droogte en wateroverlast)?

De hackaton heeft laten zien dat het goed laten landen van de nieuwe KNMI'23-scenario's in studies voor beleid en beheer (Deltaprogramma, PAGW, etc.) geen sinecure is. Voor droogte gaat men bijvoorbeeld uit van het lage en hoge scenario, terwijl voor waterveiligheid voorsnog vooral van het hoge scenario is uit gegaan. Welk scenario (hoog, laag of midden) wanneer toe te passen vraagt volgens de deelnemers van de hackathon nog nadere studie en advies.

Verder vraagt de scenariomethode zelf ook nog verdieping. Het is bekend dat meetreeksen doorgaans te kort zijn om uitspraken te doen over de kans van voorkomen van zeer extreme gebeurtenissen. Wanneer we de synthetische reeks van 240 jaar (gebaseerd op 30 klimatologische jaren - gebruikt in hoofdstuk 4) vergelijken met de metingen van de afgelopen 100 jaar, dan zien we dat extreem droge jaren zoals 1921 en 1976 niet voorkomen in deze relatief korte synthetische reeks (zie Figuur 4.4). Het zou goed zijn om te verkennen of langere synthetische reeksen, en dus in de toekomst een aanpassing van de methode, zouden resulteren in een betere inschatting van extreme droogte.

In het verleden waren de synthetische reeksen voor hoogwater ook niet altijd in lijn met de verwachtingen. Voor het waterveiligheidsbeleid moeten uitspraken worden gedaan over rivierafvoeren met een overschrijdingskans van 1:1.000 tot wel 1:100.000 per jaar. Om deze reden wordt gewerkt met een synthetische reeks van 50.000 jaar 'weer' gegenereerd met het GRADE-instrumentarium (Generator of Rainfall and Discharge Extremes), waarbij uit gemeten weersomstandigheden situaties geselecteerd en weer gecombineerd worden om een nieuwe – veel langere – reeks van 'mogelijk weer' te genereren. We zien echter dat eerder ontwikkelde synthetische reeksen in het extreme bereik soms afwijken van de waarnemingen. Zo komt de afvoer van de Maas in de zomer nooit boven de 3000 m³/s uit in de 50.000 jarige afvoerreeks die in 2006 en 2014 met GRADE bepaald werden, terwijl in juli 2021 een recordafvoer van 3.310 m³/s is gemeten. Op dit moment zijn de nieuwe GRADE resultaten voor de KNMI'23 resultaten nog niet beschikbaar en kunnen geen uitspraken worden gedaan over de kwaliteit van de nieuwe reeksen.

Al met al vraagt bovenstaande komende jaren om doorontwikkeling of verdieping van de gebruikte scenariomethoden, waarbij in ieder geval aandacht moet zijn voor het genereerde weer en voor verdere optimalisatie van de uitkomsten van het neerslag-afvoer model. Deze verdieping is nodig om antwoord te kunnen geven op vragen als: hoe zeker zijn we van de

verwachte (veranderingen in) de kans van voorkomen van zeer extreme gebeurtenissen (droogte en hoogwater)? En: hoe vertalen we historische extremen naar de toekomst? Welke risico's (kans x gevolg) kunnen we nog goed berekenen en wanneer moeten we overgaan op alternatieve aanpakken zoals stresstesten of verhalen vertellen ('storytelling')?

Aandachtspunt 2: Hoe kunnen we het systeemdenken vanuit het gehele stroomgebied verbeteren?

Oorspronkelijk was het de ambitie om tijdens de hackathon ook nadrukkelijk te kijken naar ontwikkelingen en ingrepen in het Rijnstroomgebied bovenstrooms van Lobith. Achteraf hebben we moeten constateren dat dit maar ten dele is gelukt. De parate expert-kennis over zoetwaterbeschikbaarheid, waterveiligheid, natuur en scheepvaart heeft in de praktijk vooral betrekking op het Nederlandse grondgebied. De afvoer bij Lobith wordt daarbij als randvoorwaarde genomen. Hetzelfde gold/geldt voor de aanvullende analyse middels indicatoren en eenvoudige relaties, die ook alleen voor Nederland beschikbaar zijn. Tegelijkertijd hebben de nieuwe KNMI'23-scenario's laten zien dat we voor het beheersen van de waterrisico's ook steeds meer zullen moeten samenwerken met onze buurlanden. Als de frequentie van laagwaters in Duitsland toeneemt en de Duitsers zelf maatregelen zullen nemen, bestaat het risico dat de frequentie van laagwaters in Nederland nog verder toeneemt.

Belangrijke vraag daarom is: In hoeverre hebben we ontwikkelingen bovenstrooms goed in beeld? Denk aan:

- Wat is de impact van veranderend watergebruik en nieuwe infrastructuur bovenstrooms in het Rijnstroomgebied op de Rijnafvoer? Denk aan aanpassingen in landgebruik, toename in landbouwirrigatie, etc.
- Wat gebeurt er in de kleinere zijrivieren, haarvaten onder veranderend klimaat? Een groot deel van de maatregelen, bijvoorbeeld gericht op het vergroten van de sponswerking, worden juist daar genomen.
- Hoe zit het met de bevaarbaarheid van de rivier in Duitsland? Hetzelfde geldt voor de sedimentbalans. Effectiviteit van maatregelen rondom deze thema's in Nederland zijn sterk verbonden met ontwikkelingen bovenstrooms.
- De rol van grondwater in grensoverschrijdend waterbeheer. Dit thema is nog onderbelicht in de grensoverschrijdende aanpak. Denk aan de impact van het vullen bruinkoolmijnen op de grondwaterstroming of het overschakelen van de stedelijke zoetwatervoorziening van grondwater op rivierwater in Duitsland, etc.

Los van de inzichten, kennisvragen en aanbevelingen zoals die verder gerapporteerd worden in dit rapport, is daarom de aanbeveling om in de komende jaren de kennisbasis te verbreden door de kennisontwikkeling over het *gehele* stroomgebied en gehele watersysteem (dus niet beperken tot de hoofdrijver alleen) te versnellen i.s.m. kennisinstituten in het stroomgebied. De CHR en de expert werkgroepen van de ICBR en de EU horizon projecten vormen hier een goede eerste ingang, maar aanbeveling is dit verder uit te bouwen.

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