

## De consequenties van de KNMI'23 scenario's voor de Rijn en Maas

In 2021 publiceerde het klimaatpanel van de Verenigde Naties (IPCC) de nieuwe versie van het internationale klimaat rapport (het zesde Assessment Report, AR6). In dit rapport zijn de nieuwe prognoses van klimaatverandering voor de hele wereld gepresenteerd. De prognoses zijn gebaseerd op de laatste wetenschappelijke kennis en meest recente klimaatmodellen. 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.

Deze projecties voor Nederland en de landen bovengestroomd in het Rijn en Maas stroomgebied heeft het KNMI doorgerekend met haar eigen globale en regionale klimaatmodellen. De vier scenario's geven als het ware de hoekpunten waarbinnen het Nederlandse klimaat in de toekomst waarschijnlijk zal veranderen. De scenario's zijn klaar om gebruikt te worden voor o.a. het Nederlandse klimaatadaptatiebeleid en voor toepassingen gerelateerd aan waterbeheer. De KNMI'23 scenario's vervangen daarmee de KNMI'14 scenario's.

Deltares heeft op verzoek van het ministerie van I&W in samenwerking met Rijkswaterstaat-WVL en KNMI een analyse gemaakt van de effecten van de KNMI'23 scenario's op de afvoerregimes van de Rijn en Maas<sup>1</sup>. In deze rapportage ligt de focus op de seizoenscyclus, de gemiddelde afvoer, de maximale jaarafvoeren en de lage rivierafvoer. In 2024 zal een tweede rapport uitkomen waar ook de resultaten voor extreem hoogwaterstatistiek worden gepresenteerd.



<sup>1</sup> Deltares (2023). Implications of the KNMI'23 climate scenarios for the discharge of the Rhine and Meuse, Deltares report.

**Figuur 1** Schematische weergave van 4 KNMI'23 klimaatscenario's en de doorvertaling naar afvoerprojecties voor Rijn en Maas.

## De KNMI'23 scenario's

De KNMI'23 klimaatscenario's omvatten nieuwe scenario's voor het klimaat in Nederland zoals het zich rond 2050, 2100 en 2150 kan manifesteren. De mate van klimaatverandering wordt bepaald door de hoeveelheid broeikasgassen die wereldwijd nog zal worden uitgestoten. Hiervoor koos het KNMI twee uitgangspunten (zie ook Figuur 1):

- 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 vermindert en broeikasgassen actief 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 in dat geval nagenoeg gelijk.

Anders dan in de KNMI'14 scenario's, wordt in de nieuwe KNMI'23 het laagste internationale uitstootscenario<sup>3</sup> wel meegenomen. De nu gekozen uitstootscenario's spannen dus een grotere bandbreedte in emissies op en daarmee in klimaatverandering. Hiermee kan een meer volledige en robuuste risicoafweging gemaakt worden. Voor specifieke toepassingen, waaronder deze afgeleide afvoerscenario's, ontwikkelde het KNMI naast het hoge en lage scenario ook klimaatprojecties behorend bij een matig uitstootscenario.

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

Volgens alle KNMI'23 scenario's zal de temperatuur verder stijgen. Deze stijging zal leiden tot drogere zomers en nattere winters. Over hoeveel natter of droger het zal worden verschillen de klimaatmodellen. Daarom maakte het KNMI per uitstootscenario twee varianten (zie ook Figuur 1):

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

Samenvattend betekent dit dat in totaal 15 klimaat-scenario's zijn geanalyseerd op hun effecten op de afvoeren van Rijn en Maas (zie Tabel 1).

Tabel 1: Overzicht van de doorgerekende scenario's

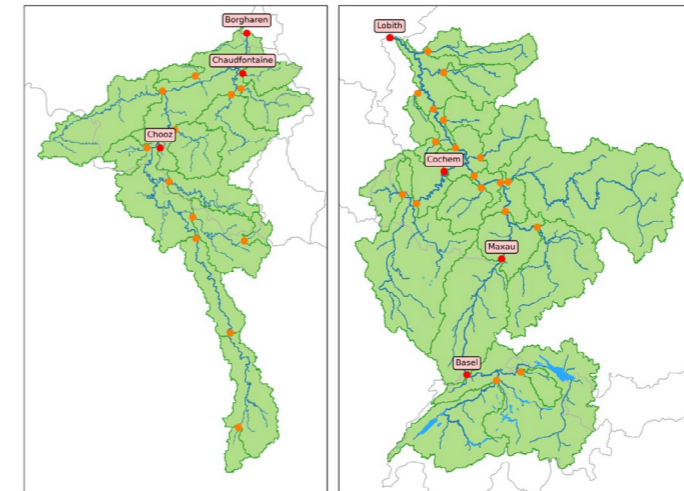
Tijds-horizon	Laag	Gematigd	Hoog
2033	2033L (Parijs)		
2050		2050Mn / 2050Md	2050Hn / 2050Hd
2100	2100Ln / 2100Ld	2100Mn / 2100Md	2100Hn / 2100Hd
2150		2150Mn / 2150Md	2150Hn / 2150Hd

## Hoe zijn de effecten van de KNMI'23 scenario's op de afvoeren van de Rijn en Maas bepaald?

De klimaatscenario's zijn door KNMI afgeleid voor het hele internationale stroomgebied van de Rijn en de Maas en voor Nederland.

Afvoertijdreeksen voor het huidige en toekomstige klimaat (2050, 2100 en 2150) zijn berekend met het hydrologische model wflow\_sbm (hierna aangeduid als Wflow). Afgelopen jaren heeft Deltares de modellen voor de Rijn en Maas (zie Figuur 2) voor Rijkswaterstaat-WVL ontwikkeld en gevalideerd. 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 gegeridde wflow model wordt veel beter gebruik gemaakt van de hoge-resolutie werelddekkende datasets van satellieten en klimaatmodellen die steeds meer beschikbaar komen. In een dergelijk gridmodel wordt daarnaast de ruimtelijke variatie in hoogte, landgebruik en bodemsoorten beter meegenomen.

Wflow gebruikt neerslag, temperatuur en verdamping als randvoorwaarden op dagelijkse basis. KNMI leverde deze data voor alle hierboven beschreven KNMI'23



Figuur 2 Stroomgebieden van de Maas (links) en de Rijn (rechts) zoals meegenomen in de hydrologische wflow modellen gebruikt voor deze analyses met de belangrijkste meetstations en het rivierennetwerk.

scenario's aan. In wflow kan neerslag vallen als sneeuw of regen, afhankelijk van de luchttemperatuur. Ook smelt van sneeuw en gletsjers zit in het model. Voor elke toekomstige tijdshorizon zijn de initiële gletsjervolumes met zorg bepaald, aangezien deze als gevolg van de temperatuurstijging afnemen met de tijd. Op deze wijze berekent wflow voor elk van de klimaatscenario's hoeveel water tot afvoer komt in de stroomgebieden en wat klimaatverandering voor het afvoerregime op de hoofdrijvers van de Rijn en Maas bij de Nederlandse grens betekent.

Met de veel hogere resoluties is het wflow-model in staat om te rekenen met veel realistischere 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 afwijkingen tussen de gesimuleerde en historisch geobserveerde afvoeren. Om de berekende afvoeren bruikbaar te maken voor het (laag)waterbeheer in Nederland, is voor de Rijn een afvoercorrectie uitgevoerd. Hierbij is de gesimuleerde



historische afvoerverdeling op maandbasis in overeenstemming gebracht met de daadwerkelijk opgetreden afvoerverdeling. Eenzelfde correctie is vervolgens uitgevoerd voor de toekomstige afvoersimulaties van de Rijn. Voor de Maas waren de modelafwijking minimaal en hier waren geen correcties nodig.

## Hoe lijken de afvoeren te gaan veranderen?

Klimaatverandering zal leiden tot een verdere temperatuurstijging in beide stroomgebieden. Deze kan volgens de hoge scenario's in 2150 met wel 6 graden oplopen, gemiddeld over de stroomgebieden van de Rijn en Maas. De temperatuurstijging leidt tot een toename in waterverliezen door verdamping. Daarnaast voorzien de klimaatscenario's ook veranderingen in neerslag. Deze veranderingen verschillen per seizoen en per deelstroomgebied. Hieronder worden de verwachte afvoer- verandering per rivier verder toegelicht. Deze analyses zijn gedaan op basis van 8 tijdreeksen van elk 30 jaar representatief voor de referentie en voor de zichtjaren 2050, 2100 en 2150.

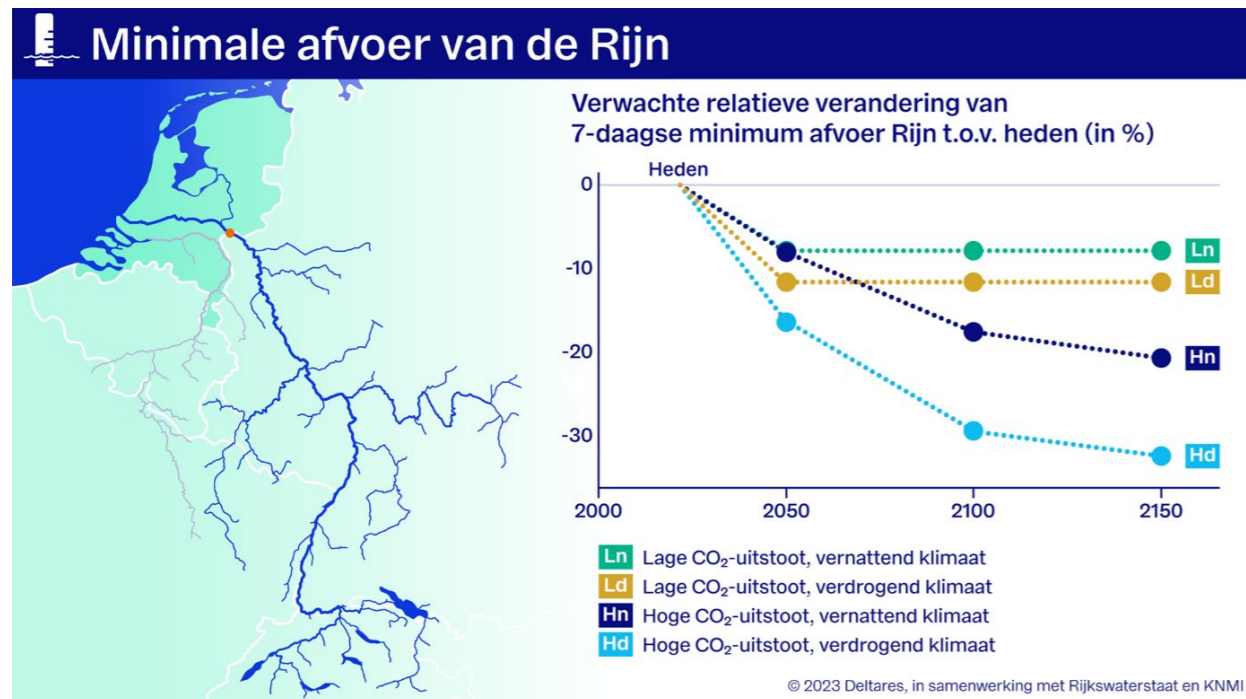
### De Rijn

De rivier de Rijn wordt deels gevoed uit neerslag die over het gehele stroomgebied valt. Daarnaast is sneeuwsmelt in de Alpen een belangrijke bron. In de wintermaanden wordt de neerslag in de Alpen tijdelijk opgeslagen als sneeuw die vervolgens in het voorjaar en begin van de zomer tot afvoer komt. Met de stijgende temperatuur zal het sneeuwvlak steeds minder dik en minder uitgestrekt worden. Er komt dan meer neerslag in de winter direct tot afvoer wat op jaarbasis tot hogere winterafvoeren leidt. Ook is er minder aanvoer van smeltwater van sneeuw in het begin van de zomer waardoor de afvoer in de zomer juist afneemt. De Alpine gletsjers vormen met name aan het eind van de zomer een bron van water voor de Rijn. De gletsjers nemen echter snel af in volume en zullen tegen het eind van de eeuw nagenoeg verdwenen zijn.

Veranderingen in de bijdrage uit verschillende bronnen zien we terugkomen in de afgeleide afvoerprojecties. De verandering in de jaargemiddelde afvoer is onzeker. De trend hangt vooral af van de droge en natte opdeling in scenario's. De kans op voorkomen van deze varianten wordt met de kennis van nu als even groot ingeschat. De jaarlijkse winterafvoeren worden in alle scenario's duidelijk groter en de jaarlijkse zomerafvoeren kleiner. De prognose van alle gematigde en hoge scenario's wijzen op een toename van de maximale jaarafvoeren van 5 tot 25% in 2100. De minimale afvoer over 7 dagen (een indicator voor periodes van droogte), zal volgens zowel de vernattende als verdrogende scenario's afnemen. De afname varieert tussen de 10 en 30% voor 2100 (zie Figuur 3).

<sup>2</sup> 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.

<sup>3</sup> SSP1-2.6 / RCP2.6; A proposal for a new scenario framework to support research and assessment in different climate research communities - ScienceDirect



Figuur 3 Verandering in de minimale afvoer voor de Rijn bepaald voor de vier KNMI'23 scenario's

## De Maas

De Maas wordt grotendeels direct gevoed door neerslag. Enkele weken per jaar ligt er met name in het hogere deel van het stroomgebied (Ardennen) sneeuw. De sneeuw kan voor een tijdelijke verhoging van de afvoer zorgen, maar de invloed is veel geringer dan in de Rijn.

De scenario's zijn niet eenduidig over de verandering in de maximale jaarafvoer (zie Figuur 4). Er zijn meer scenario's waarin een afname van de gemiddelde jaarafvoer van de Maas wordt voorzien dan een toename. De meeste scenario's projecteren een toename van de jaarlijkse winterafvoer en alle scenario's projecteren een afname van de jaarlijkse zomerafvoer. Voor de minimale 7-daagse afvoer projecteren ook alle scenario's een afname. De grootste afname van 30% wordt voorzien in 2150 door het droge H scenario.

## Wat zijn de verschillen ten opzichte van de KNMI'14 scenario's?

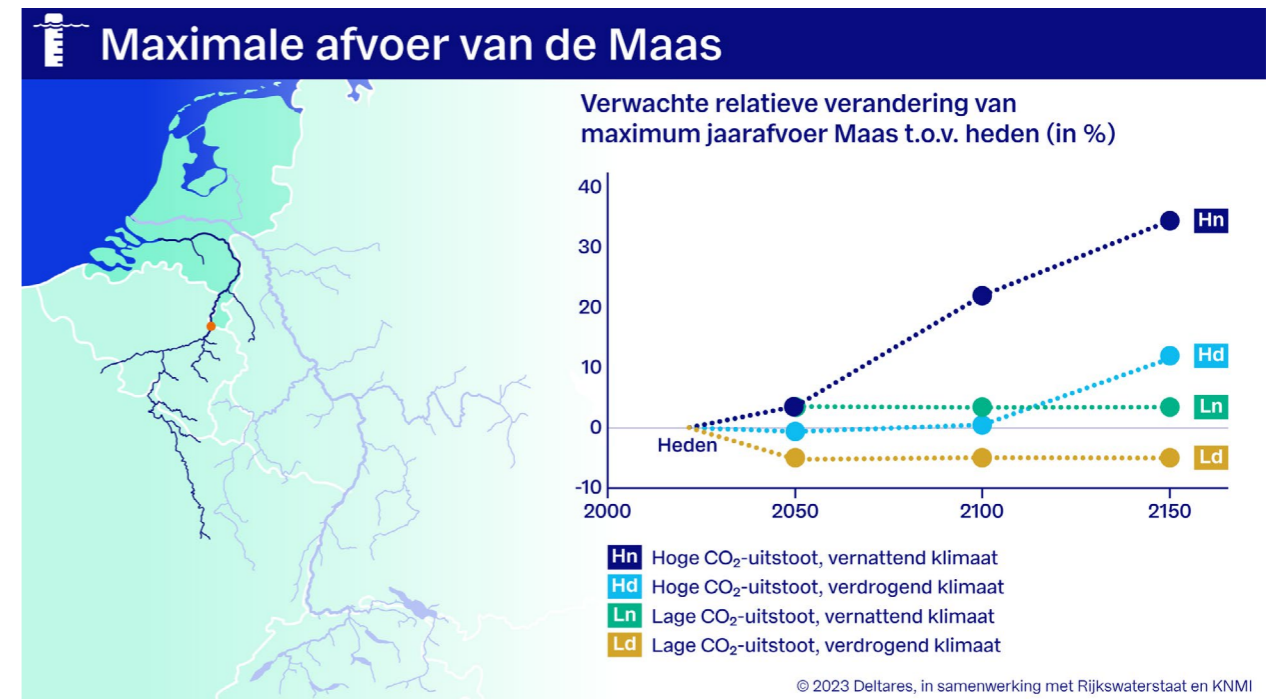
Om te begrijpen wat de consequenties van de nieuwe scenario's voor het waterbeheer kunnen zijn, vergelijken we de afvoerprojecties volgens de KNMI'23 scenario's met de eerdere projecties volgens de KNMI'14 scenario's. Zoals ook besproken in de introductie zijn er sinds het opstellen van de klimaatprojecties voor de KNMI'14 scenario's meerdere stappen 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 kan de trend, snelheid van de verandering en de samenhang van de set scenario's vergeleken worden.

## De Rijn

Zowel de KNMI'14 als de KNMI'23 scenario's projecteren vrijwel geen verandering in de gemiddelde jaarafvoer van de Rijn.

Voor de minimale 7-daagseafvoer zagen we in de KNMI'14 scenario's zowel toenames als afnames, afhankelijk van welk scenario toegepast werd. In de nieuwe berekeningen zal de minimale 7-daagseafvoer daarentegen voor alle KNMI'23 scenario's afnemen (zie Figuur 5). De grootste afname volgens de KNMI'23 scenario's (30% voor 2100) blijft wel van dezelfde ordegrrootte als volgens de KNMI'14 scenario's.

Voor de maximale jaarafvoer zien we dat de toenames in 2100 volgens de KNMI'23 scenario's kleiner zijn dan de toenames volgens de KNMI'14 scenario's in 2085. Deze



Figuur 4 Verandering in de maximale afvoer voor de Maas bepaald voor de vier KNMI'23 scenario's

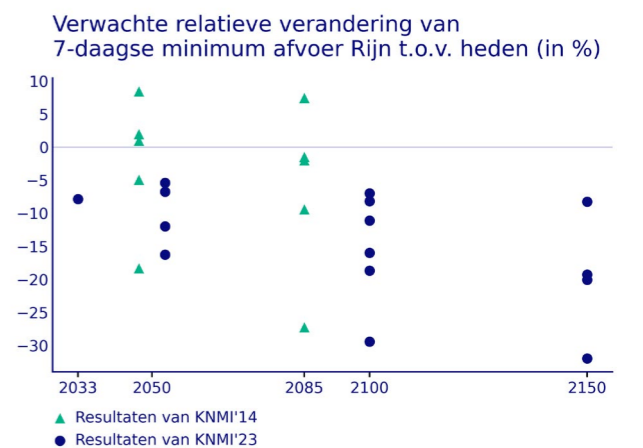
toenames worden volgens de KNMI'23 scenario's pas in 2150 bereikt. De scenario's zijn echter beleidsneutraal, dat wil zeggen dat ervan uit wordt gegaan dat in het internationale stroomgebied niet wezenlijk wordt ingegrepen in het waterbeheer (zoals het aanleggen van nieuwe stuwmeren). Bovendien beschrijven de hier gepresenteerde resultaten nog niet de trends in extreme hoogwaterstatistiek en zijn ook trends in de fluctuaties van afvoeren gedurende het jaar en tussen de jaren tussen KNMI'14 en KNMI'23 verschillend. Uit het hier benoemde verschil in jaarlijks maximale afvoer ten opzicht van KNMI'14 kunnen dus geen conclusies getrokken worden over de opgave voor klimaatadaptatie-beleid.

## De Maas

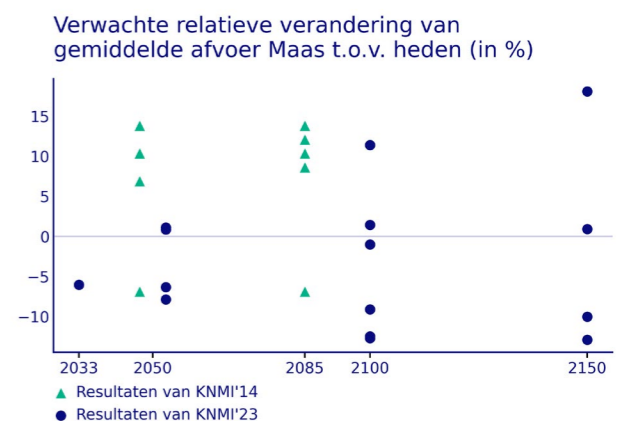
De KNMI'14 scenario's leidden merendeels tot een toename in de gemiddelde jaarafvoer van de Maas. De nieuwe KNMI'23 scenario's zijn hierover minder eenduidig, er is onderling verschil in zowel de richting van de verandering als de omvang (zie Figuur 6).

Meer eenduidigheid is er in de projecties voor de lage afvoeren. In tegenstelling tot de KNMI'14 scenario set, leiden nu alle KNMI'23 scenario's tot een afname in de minimale 7-daagseafvoer. De afname van 30% is volgens de KNMI'23 scenario's wel kleiner dan hetgeen het meest droge scenario van de KNMI'14 scenario's aangaf (55%). Omdat de afvoer van de Maas bij laagwater al klein is, zijn dit wel kleine absolute veranderingen.

Tot slot geven de KNMI'23 scenario's een lagere toename in de maximale jaarafvoer van de Maas dan de KNMI'14 scenario's.



Figuur 5 Verandering in de minimale afvoer voor de Rijn volgens de KNMI'14 en KNMI'23



Figuur 6 Verandering in de gemiddelde afvoer voor de Maas volgens de KNMI'14 en KNMI'23

## Hoe kunnen de KNMI'23 afvoerscenario's gebruikt worden?

Deze studie vat de effecten van de KNMI'23 scenario's samen in de gemiddelde afvoer, de 7-daagse minimale afvoer, en maximale jaarafvoer. De volledige rapportage en de onderliggende gesimuleerde tijdreeksen van de dagafvoeren voor het huidige klimaat en alle toekomstige scenario's zijn toegankelijk via onderstaande link:

<https://waterinfo-extra.rws.nl/projecten/@287051/knmi-23-afvoerscenario-rijn-maas/>

De reeksen kunnen gebruikt worden voor verdere analyses naar klimaat-impact en klimaatadaptatie, bijvoorbeeld in kader van het Deltaprogramma.

Bij het verdere gebruik van de uitkomsten moet rekening worden gehouden met de volgende aandachtspunten:

- In deze toekomstige scenario's is alleen klimaatverandering (neerslag, temperatuur, verdamping) meegenomen. Er is niet gekeken naar het effect van klimaatadaptatie of socio-economische veranderingen, zoals bijvoorbeeld veranderd rivierbeheer (stuwmeren) en watergebruik bovenstrooms;
- De afvoersimulaties die beschikbaar zijn gesteld voor de Rijn zijn in een nabewerking gecorrigeerd. Voor de Rijn zijn zowel de gecorrigeerde als ongecorrigeerde reeksen zijn beschikbaar. Voor toepassingen gerelateerd aan waterbeheer raden we het gebruik van de gecorrigeerde reeksen aan, voor onderzoek kunnen de ongecorrigeerde reeksen interessanter zijn.
- De reeksen zijn bedoeld voor analyses voor gemiddelde en laagwater-condities. Voor hoogwaterstatistiek zijn aparte berekeningen nog in voorbereiding. Deze hoogwater-berekeningen zullen in voorjaar 2024 gepubliceerd worden.

