

Advies

Keuzes rondom afvoerstatistieken voor het programma Ruimte voor de Rivier 2.0

Advies nummer 25-08 van 17 juli 2025

Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat
Directeur-generaal Water en Bodem
De heer drs. J.H. Sloodmaker
Postbus 20901
2500 EX Den Haag

Geachte heer Sloodmaker,

Het programma Ruimte voor de Rivier 2.0 (RvdR2.0) werkt onder andere aan de voorbereiding van een beleidskeuze over maatregelen voor (toekomstige) uitbreiding van de afvoercapaciteit van de Rijntakken en de Maas. De wijze waarop klimaatverandering en andere onzekerheden worden meegenomen is, naast andere factoren zoals dijkversterking, van grote invloed op de binnendijkse ruimtevraag voor de bovengenoemde rivieren. DG Water en Bodem (DGWB) heeft advies aan het ENW gevraagd over de afvoerstatistieken van de extreme, hoge rivierafvoeren voor Lobith en Borgharen.

Een belangrijk aspect in Ruimte voor de Rivier 2.0 is de keuze voor de lange-termijn ruimtereserveringen in het kader van het *Besluit Kwaliteit Leefomgeving* (de zogenaamde BKL-reserveringen). Deze BKL-reserveringen zijn de opvolger van de reserveringen die voorheen in het kader van het *Besluit Algemene Regels Ruimtelijke Ordening* (de zogenaamde BARRO-reserveringen) plaatsvonden. Het programma RvdR2.0 bereidt onder andere beslissingen voor op het gebied van ruimtelijke reserveringen, met het oog op de lange termijn (> 100 jaar).

Het ENW vindt bij de beantwoording van de gestelde vragen over de onzekerheden in de afvoerstatistieken het volgende van belang (zie de bijlage voor meer achtergrondinformatie):

- a. Naast de onzekerheid in de klimaatontwikkeling zijn er ook nog andere onzekerheden, zoals de onzekerheid in het modelinstrumentarium GRADE. Het ENW vindt het van belang om op een goede manier met onzekerheden om te gaan en onzekerheden niet zomaar te stapelen.
- b. Het ENW vindt het van belang om mogelijke trends in de rivierafvoer en de effecten van de verschillende onzekerheden op de rivierafvoer te kennen en ook mee te nemen bij de beslissing hoe met de onzekerheden om te gaan.
- c. Het is essentieel om er, bij de doorvertaling van de afvoer bij Lobith en Borgharen naar waterstanden op het Nederlandse deel van de rivier en mogelijke maatregelen, rekening mee te houden dat: (a) keuzes in de modellen consistent moeten zijn (bijvoorbeeld ten aanzien van de Duitse en Nederlandse delen van de rivier, maar ook de verschillende klimaatscenario's), (b) de waterverdeling op de splitsingspunten aan het veranderen is, (c) deze waterverdeling anders kan reageren op een extreem hoogwater dan verwacht, en (d) er beperkingen zijn ten aanzien van de maakbaarheid van het systeem (bijvoorbeeld het effectief kunnen stoppen van de bodemerrosie).



- d. Oog te houden voor de effecten van keuzes op waterstanden en de impact op de aangrenzende waterkeringen op specifieke locaties.

Beantwoording van de aan ENW gestelde vragen

Het ENW beantwoordt de vragen uit de adviesaanvraag als volgt:

1. *Ondersteunt het ENW het voorstel om voor de RvdR2.0-onderzoeken naar de benodigde afvoercapaciteit voor de Rijntakken en de Maas gebruik te maken van het hoge en het gematigde klimaatscenario en (onderbouwd) af te wijken van het scenario dat door HWBP wordt gebruikt?*

Ja, het ENW ondersteunt de keuze om voor deze verkenningen het hoge en gematigde klimaatscenario te gebruiken. Door beide scenario's te gebruiken wordt inzicht verkregen in de gevoeligheid ten aanzien van beide scenario's.

Het doel van RvdR2.0 (en de daaraan gekoppelde eventuele binnendijkse ruimtereserveringen) betreft de lange termijn, en het gebruik van de benodigde ruimte voor andere functies is mogelijk niet omkeerbaar. In dit soort verkenningen ligt het gebruik van het hoge scenario (naast het gematigde scenario) in de rede.

Het ENW vindt het geen probleem om mogelijk af te wijken van het scenario dat door het hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP) wordt gebruikt, omdat het een ander type afweging betreft, met een andere tijdshorizon. Het ENW heeft recent geadviseerd (advies 25-05) om voor de versterking van waterkeringen uit te gaan van het gemiddelde tempo van veranderingen in ontwerpwaterstanden door klimaatverandering. Dit advies blijft voor planning en ontwerp van waterveiligheidsmaatregelen nog steeds van kracht.

Bij de uitwerking van (eventuele) ruimtelijke reserveringen in de toekomst adviseert het ENW allereerst de ruimtelijke impact vanuit waterveiligheid van verschillende klimaatscenario's en zichtjaren (2100, 2150) in beeld te brengen, alvorens te komen tot keuzes. Tot slot benadrukt het ENW dat ruimtereservering een bredere integrale afweging moet zijn waar ook andere functies en doelen dan waterveiligheid een rol spelen (bijvoorbeeld woningbouw, natuur en economische ontwikkeling).

2. *Ondersteunt het ENW het voorstel om daarbij expliciet rekening te houden met beleidsonzekerheden als gevolg van mogelijke dijkversterking in Duitsland?*

Het ENW wil allereerst benadrukken dat rekening houden met de gevolgen van mogelijke dijkversterking in Duitsland op de afvoeren in Nederland slechts één van de onzekerheden is waarmee rekening gehouden kan worden.

Het ENW beveelt aan om voor alle onzekerheden goed in kaart te brengen (bijvoorbeeld als een gevoeligheidsanalyse) wat de impact is van de keuze op de afvoer, de waterstanden en de waterkeringen en dit niet direct als een hard uitgangspunt te gebruiken in RvdR2.0. RvdR2.0 zou van alle mogelijke keuzes en onzekerheden in kaart kunnen brengen wat de effecten zijn op de afvoer, waterstanden en waterkeringen, om zo informatie te genereren waarna er keuzes gemaakt kunnen worden voor eventuele ruimtereserveringen, maatregelen, enzovoort. Overigens kunnen er voor ruimtereserveringen andere uitgangspunten gekozen worden dan bij het nemen van maatregelen, zie ook vraag 1.



Deze vraag betreft eventuele toekomstige beleidsveranderingen ten aanzien van maatregelen die bovenstrooms van Nederland worden genomen. Extreme gebeurtenissen kunnen zich al aankondigen via, bijvoorbeeld, hogere afvoeren van frequente hoogwaters ($T = 5 - 10$ jaar), en/of via waarnemingen van een substantiële toename van de neerslag. Het ENW zou graag meer inzicht willen hebben over de huidige trends in waarnemingen van temperatuur (met invloed op sneeuw- en gletsjersmelt) en neerslag nuttige informatie, evenals mogelijke trends in waarnemingen van de afvoeren van (de belangrijkste zijrivieren van) Rijn en Maas.

Uiteraard is het een politiek-bestuurlijke keuze van waterbeheerders in Duitsland wat te doen ten aanzien van dijkversterking, en een politiek-bestuurlijke keuze hoe de Nederlandse waterbeheerders met eventuele dijkversterkingen langs het Duitse deel van de Rijn omgaan in de (huidige) Nederlandse waterbeheerpraktijk.

3. *Ondersteunt ENW het voorstel om uit te gaan van de werklijn waarbij hydraulische onzekerheden niet zijn uitgeïntegreerd?*

Nee, het ENW ondersteunt dit niet, en adviseert om modelonzekerheden in het GRADE instrumentarium via uitintegratie mee te nemen. Het is belangrijk om hierin een constante systematiek te hanteren en deze niet van de beleidsvraag af te laten hangen. In elk model worden keuzes gemaakt over de modelstructuur en waarden van parameters die onzeker zijn. Het ENW vindt het van belang om naast de 'meest aannemelijke' uitkomst ook de onzekerheden mee te nemen in de modelstructuur en -parameters. Het vinden van de meest aannemelijke waarde is vaak een uitdaging, omdat er de neiging kan zijn om daarvoor al 'voorzichtige' waarden te kiezen.

Aanbevelingen

Het ENW adviseert om binnen de uitwerking van het RvdR 2.0 programma ook aandacht te hebben voor de volgende vragen, die volgens het ENW van invloed zullen zijn op de antwoorden die het RvdR2.0 programma wil opleveren:

1. *Zijn er temporele trends zichtbaar in temperatuur en extreme neerslaggebeurtenissen in het stroomgebied van de Rijn en de Maas, en de verschillende karakteristieken in de afvoer van Rijn en Maas?*

Het ENW vindt het belangrijk dat er aandacht is voor 'kanaries in de kolenmijn', zoals informatie over mogelijke temporele trends in temperatuur, die invloed hebben op sneeuw- en gletsjersmelt, en trends in het optreden van extreme neerslag in het stroomgebied. Het is belangrijk om te onderzoeken of verschillende kenmerken van de rivierafvoer (zoals jaarmaxima, jaargemiddelden en wintergemiddelden) in de afgelopen decennia trends vertonen. Dit geldt zowel voor de afvoer bij de grens als voor de belangrijkste zijrivieren van de Rijn en de Maas. Daarbij dient gekeken te worden naar de volledige meetreeks.

2. *In hoeverre biedt de statistiek van (extreme) gebeurtenissen uit het verleden nog een betrouwbare basis voor voorspellingen over de toekomst?*

Een belangrijk inzicht is dat het weersysteem verandert, waardoor historische gegevens niet langer automatisch representatief kunnen zijn voor toekomstige omstandigheden. Deze veranderingen verlopen niet altijd geleidelijk en kunnen gepaard gaan met zogenoemd kantelgedrag (tipping points). Het is belangrijk om te onderzoeken welke implicaties deze potentiële transitie hebben voor de



methoden die momenteel worden gebruikt om extreme rivierafvoeren te voorspellen.

3. *Worden de keuzes in het GRADE-instrumentarium op een consistente manier meegenomen in de vervolgstappen voor het Nederlandse deel van de Rijn?*

Het ENW vraagt zich af of bij keuzes ten aanzien van bijvoorbeeld de bodemruwheid in de Duitse Rijn, deze aannames op een consistente wijze worden toegepast in de vervolgstappen voor het Nederlandse deel van de Rijn, zie ook het ENW-advies over GRADE uit 2015.

4. *Wat betekenen de klimaatscenario's en andere onzekerheden voor maatregelen in Nederland?*

Het ENW vindt het van belang om de rivierafvoeren aan de grens op een inzichtelijke manier te vertalen naar Nederlandse maatregelen, dus op een zodanige manier dat deze goed worden begrepen door alle belanghebbenden. Bij de uitwerking van (eventuele) ruimtelijke reserveringen in de toekomst adviseert het ENW allereerst de ruimtelijke impact van verschillende klimaatscenario's en andere onzekerheden en zichtjaren (2100, 2150) in beeld te brengen, alvorens te komen tot keuzes.

5. *Wat betekenen de afvoerstatistieken bij Lobith en Borgharen voor de overgangsgebieden?*

Het is van groot belang de Benedenrivieren en IJsseldelta voldoende aandacht te geven: de vertaling naar waterstanden in de overgangsgebieden (Schoonhoven-Krimpen aan de Lek, Zaltbommel-Hollands Diep, Lith-Keizersveer-Amer, en Kampen-Olst) ontbreekt in de tot nu toe gedeelde analyses van IRM en Ruimte voor de Rivier 2.0.

Het ENW adviseert tenslotte om de onzekerheid ten aanzien van het effect van klimaatverandering en (model)onzekerheden op de ontwerpwaterstanden langs de rivieren op korte termijn in beeld te brengen met een multidisciplinaire aanpak. Hiervoor kan kennis van klimaat, neerslag, hydrologie, rivieren én van het ontwerpen van waterkeringen én van onzekerheids- en risicoanalyses bij elkaar worden gebracht. De focus kan daarbij in het bijzonder liggen op de invloed van modelschematisaties en de wijze waarop onzekerheden worden gemodelleerd. Op deze manier kan a) een betere kwantitatieve duiding gegeven worden van de onzekerheden b) ook een doorbraak geforceerd worden in het kennisniveau, en dit is van groot belang om een goede onderbouwing te verkrijgen van de mogelijke maatregelen in het rivierengebied. Het ENW is gaarne bereid hierin mee te denken en resultaten en methoden van de hydraulische (onzekerheids-) analyses voor rivieren te reviewen.

We hopen met dit advies u van dienst te zijn geweest en zien uw reactie met veel belangstelling tegemoet.

Met vriendelijke groeten,

ir. H.C. Klavers

Voorzitter van het Expertise Netwerk Waterveiligheid



Bijlage – Toelichting op het ENW-advies

In deze bijlage wordt achtergrondinformatie weergegeven die het ENW gebruikt heeft bij het formuleren van de antwoorden op de adviesvragen.

Geen stapeling van alle onzekerheden

Er zijn vele manieren hoe met onzekerheden kan worden omgegaan. Daarom wordt in deze paragraaf geschetst hoe het ENW tegen onzekerheid aankijkt.

In Nederland wordt de risicobenadering gebruikt voor het onderbouwen van beslissingen op het gebied van waterveiligheid. Deze benadering is anders dan het 'voorzorgprincipe', waarin altijd het 'zekere voor het onzekere' wordt genomen. In een risicobenadering worden de verschillende bronnen van onzekerheid in samenhang beschouwd, zodat de kans op spijt van een beslissing wordt beperkt. Spijt kan op twee manieren ontstaan, namelijk door te weinig te doen (waardoor de gevolgen zich daadwerkelijk manifesteren) of door te veel te doen (waardoor er maatregelen genomen worden die niet of minder effectief bijdragen aan het beperken van risico). En hierbij geldt dat het gevoel van spijt niet helemaal symmetrisch hoeft te zijn: soms is er meer spijt voor te weinig investeren dan te veel investeren. Bij het schatten van risico's wordt rekening gehouden met verschillende soorten onzekerheid: (1) natuurlijke variabiliteit, zoals zeewaterstand, meerpeil, afvoer en wind; (2) kennisonzekerheden, zoals invoerparameters van modellen, statistische onzekerheid. Daarnaast is de toekomst ook onzeker, zoals bijvoorbeeld de economische groei en de ontwikkeling van het klimaat.

Voor het onderbouwen van de kans op extreme afvoeren bij de grens wordt voor de Rijn en de Maas het modelsysteem GRADE gebruikt. Daarin worden synthetische neerslag-gebeurtenissen in het stroomgebied vertaald naar afvoeren bij de grens, door een neerslag-afvoermodel met een hydraulisch model te combineren. Hierbij worden ook onzekerheden in rekening gebracht, zoals de hydraulische ruwheid en de hoogte van dijken. Idealiter worden in een dergelijke modellentrein onzekerheid-verdelingen gebruikt voor de verschillende onzekere parameters ('stochasten'), die vervolgens in een probabilistische analyse worden meegenomen. Voor klimaatonzekerheid is dat niet mogelijk, omdat er geen kansen zijn toegekend aan de verschillende klimaatscenario's. Voor waterbeheer zou het verbinden van kansen aan de klimaatscenario's inzichtelijk zijn om zo te komen tot inzicht in de totale bandbreedte (zie ook het recente ENW-advies over onzekerheden in klimaatveranderingen, ENW 25-05).

Naast bovenstaande overwegingen is ook de vraag van belang in welke mate componenten van het systeem aanpasbaar (of flexibel) zijn. In waterveiligheid zien we dat volop: bij kustsuppleties, die later aangevuld kunnen worden, kan er minder robuust gewerkt worden dan bij het aanleggen van kostbare kunstwerken waarbij aanpassingen vrijwel onmogelijk zijn. In het kader van het Programma Ruimte voor de Rivier 2.0 is er veel aandacht voor reserveringen van de ruimte die in de toekomst mogelijk nodig is voor het afvoeren van water of voor berging van water. Vaak wordt terecht gesteld dat reserveringen nodig zijn, want zodra het gebied volgebouwd is met woningen, is deze ruimte niet meer beschikbaar voor het afvoeren van water. En de beslissing om deze ruimte niet te reserveren is dan niet meer aanpasbaar. Bij dergelijke niet- of lastig-aanpasbare beslissingen is het dus verstandig om robuust te werk te gaan.

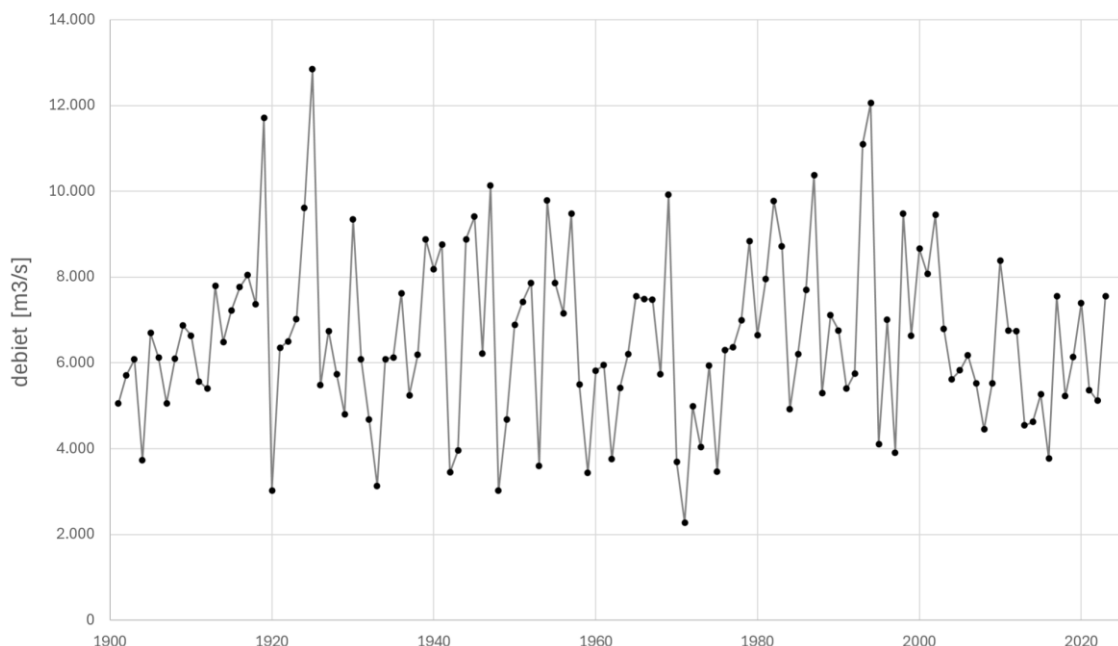


Wat is bekend over de verschillende onzekerheden?

Een beslissing over de lange-termijn onzekerheden kan volgens het ENW alleen genomen worden als de effecten van de verschillende onzekerheden op de rivierafvoer enigszins bekend zijn. Daarnaast is het belangrijk om -indien mogelijk- aan te sluiten bij de metingen in de praktijk, bijvoorbeeld: is er al een waargenomen trend in de neerslag in het stroomgebied en in de rivierafvoeren? Sluit dit aan bij de modelresultaten? En als er geen trend is, wat betekent dat dan?

Voor de klimaatscenario's verschillen zeespiegel-scenario's en rivierafvoer-scenario's in een belangrijk opzicht: bij de zeespiegel is de gemiddelde dagelijkse zeespiegel van belang, die zich vervolgens vertaalt naar extreme waterstanden. Bij rivierafvoeren kan dit anders liggen: de gemiddelde dagelijkse rivierafvoer hoeft niet te stijgen terwijl de extremen mogelijk wel toenemen.

Allereerst wordt ingegaan op de jaarlijkse maximale afvoeren van Rijn en Maas. In Figuren 1 en 2 zijn de afvoeren voor respectievelijk Rijn en Maas weergegeven voor de periode 1901-2024 en 1910-2024. De hoogst gemeten jaarafvoer in de Rijn heeft plaatsgevonden in 1926 (ca 12.600 m³/s), en recente hoge afvoeren zijn die van december 1993 en januari 1995 (respectievelijk 10.940 m³/s en 11.885 m³/s). De hoogst gemeten jaarafvoeren in de Maas hebben plaatsgevonden in 1926 en 2021 (ca 3.000 m³/s).

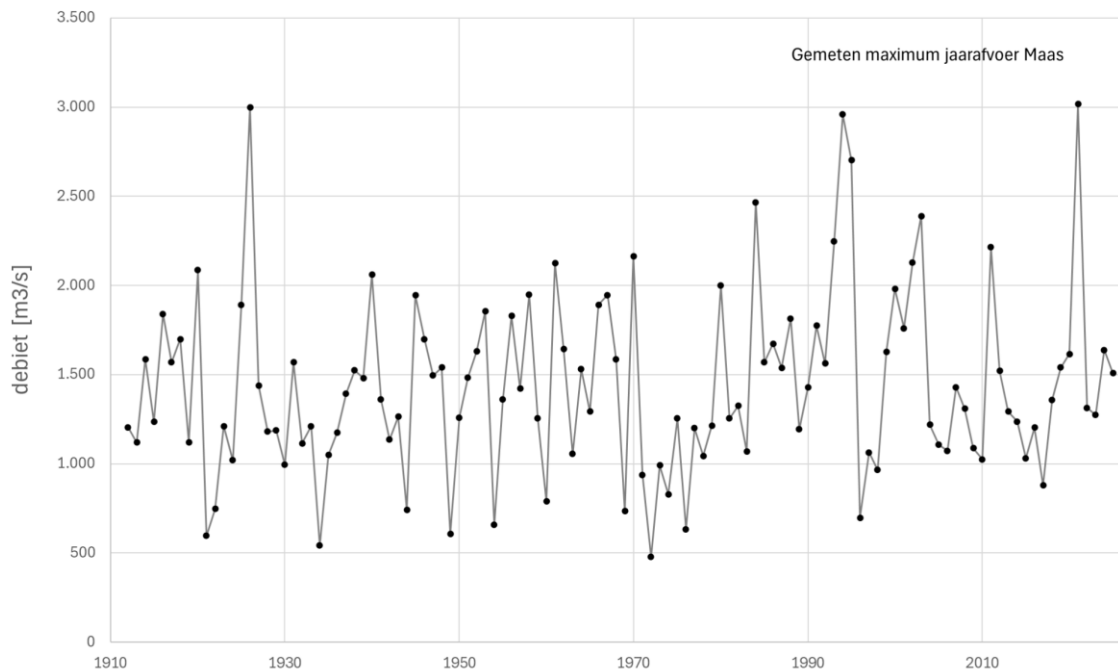


Figuur 1. Jaarlijkse maximale afvoeren bij Lobith in de periode 1901-2024.

We kunnen geen statistisch significante trend vaststellen in de jaarlijkse maximale afvoeren van Rijn en Maas. Het ENW vindt het echter wel van belang om de statistische betekenis van opgetreden afvoeren (zowel bij Lobith en Borgharen, als bij de zijrivieren van Rijn en Maas) goed te duiden. Een Europese studie van rivierafvoeren laat zien dat de trend niet eenduidig is: sommige rivieren laten een dalende trend zien, en andere een stijgende (zie Blöschl et al., 2019). De auteurs geven aan dat er duidelijke regionale verschillen zijn: in Oost-Europa lijkt er een dalende trend te zijn, in een aantal rivieren in West-Europa een stijgende trend. Ook de omvang van het stroomgebied lijkt van belang te zijn, omdat relatief kleine gebieden sneller reageren dan relatief grote gebieden.



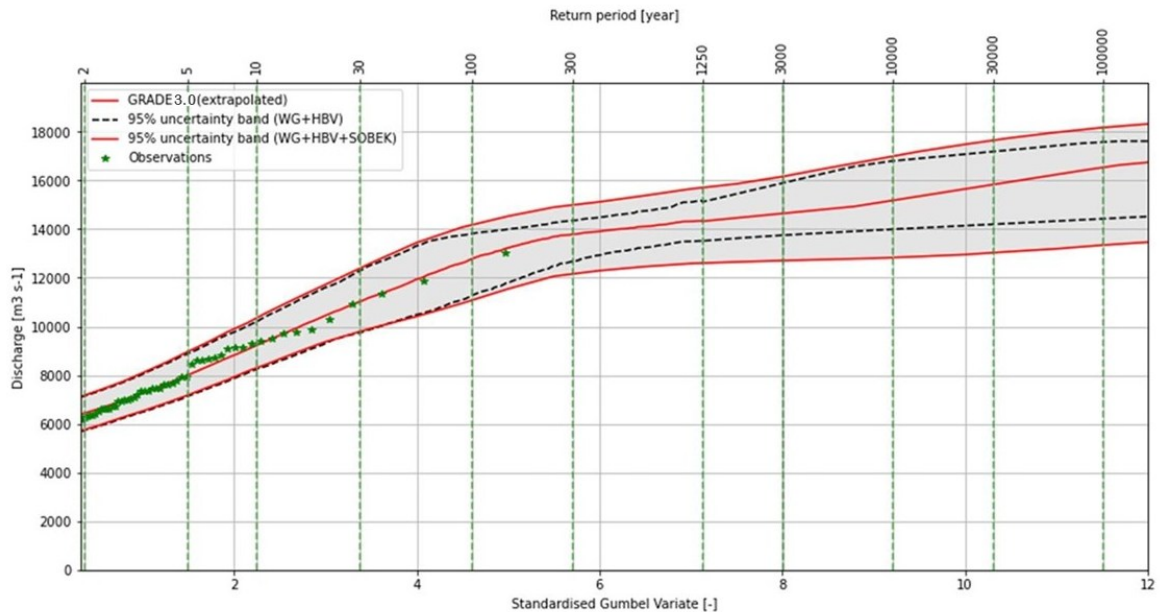
Een extreme rivierafvoer wordt immers veroorzaakt door een grootschalige neerslaggebeurtenis in het stroomgebied. Het is het ENW niet bekend of er informatie beschikbaar is over een eventuele toename van grootschalige neerslaggebeurtenissen in het stroomgebied van Rijn en Maas.



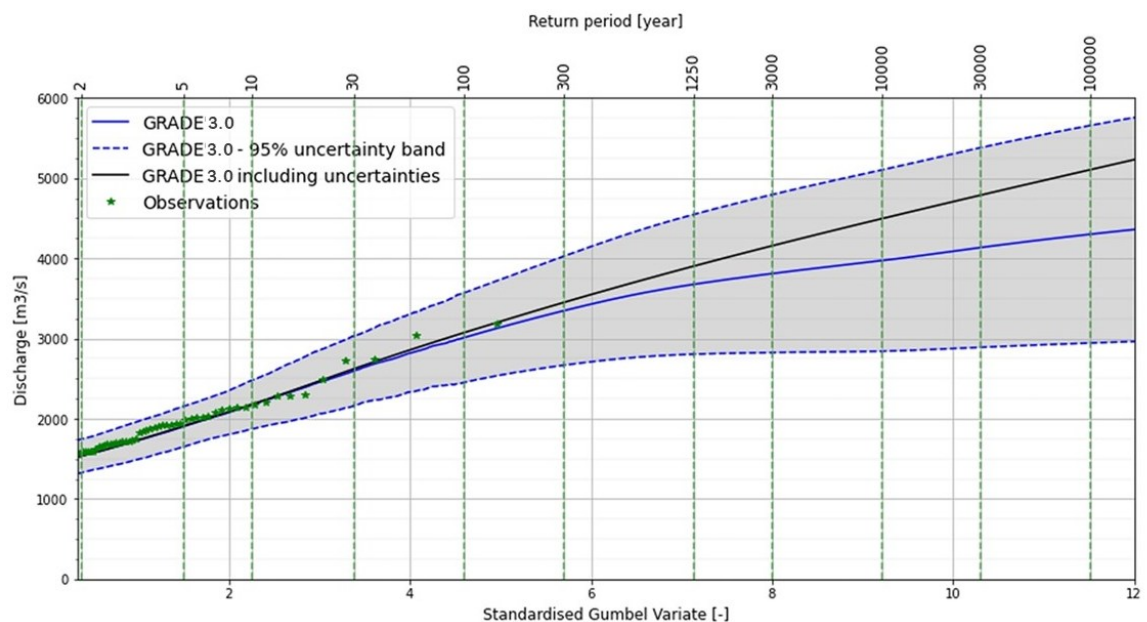
Figuur 2. Jaarlijkse maximale afvoeren bij Borgharen in de periode 1910-2024.

Bij het bespreken van onzekerheden in modellen zoals GRADE is het van belang om te kijken naar de aannemelijkste uitkomst (oftewel verwachte waarde) van deze modellen. Voor Rijn en Maas is deze verwachte waarde weergegeven in respectievelijk Figuren 3 en 4. In deze figuren is op de x-as de overschrijdingskans te zien en op de y-as de rivierafvoer.

Om deze figuren beter te kunnen duiden zijn in Tabel 1 de uitkomsten uit GRADE3.0 opgenomen voor 2 overschrijdingskansen: 1/1.000 en 1/10.000. Deze kansen zijn het meest relevant voor de Rijn en het bedijkte deel van de Maas, maar de gehele frequentielijn blijft van belang voor het onderbouwen van besluiten. Aandachtspunt is dat de keuzes die gemaakt worden ten aanzien van het modelinstrumentarium tot significante verschillen kunnen leiden in de afvoeren die horen bij de overschrijdingskansen.



Figuur 3: GRADE3.0 Afvoerstatistieken voor de **Rijn** met onzekerheden (rode lijn) met 95% onzekerheidsband (buitenste twee rode lijnen) en de onzekerheidsband met alleen onzekerheid van de weergenerator en het HBV-model (gestippelde zwarte lijn). Bron: Deltares (2023). **NB:** Resultaten onder voorbehoud van definitieve vaststelling in het BOI-programma.



Figuur 4: GRADE3.0 Afvoerstatistieken voor de **Maas** bij Borgharen, gebaseerd op SOBEK3-1D2D zonder onzekerheden (blauwe lijn), 95% onzekerheidsband (blauw gestippelde lijn) en afvoerstatistieken met onzekerheden (zwarte lijn). Bron: Deltares (2022). **NB:** Resultaten onder voorbehoud van definitieve vaststelling in het BOI-programma.



Tabel 1. Afvoeren voor twee overschrijdingskansen: 1/1.000 en 1/10.000 bij toepassing van GRADE3.0 uit Deltares (2022) en Deltares (2023). **NB:** Resultaten onder voorbehoud van definitieve vaststelling in het BOI-programma.

Watersysteem	Afvoer (m ³ /s) bij T = 1/1.000	Afvoer (m ³ /s) bij T = 1/10.000
Rijn (zonder onzekerheden)	14.140	15.060
Rijn (met onzekerheden, via uitintegreren)	14.590	15.760
Maas (zonder onzekerheden)	3.640	3.970
Maas (met onzekerheden, via uitintegreren)	3.830	4.490

Invloed van klimaatverandering en onzekerheid

Het ENW heeft informatie ontvangen over de invloed op de afvoeren van (1) de klimaatscenario's, (2) het meenemen van onzekerheden binnen GRADE, en (3) de invloed van dijkversterking in het buitenland (waardoor de afvoeren in Nederland toenemen). Voor het jaar 2100 is de invloed van deze onzekerheden weergegeven in Tabellen 2 en 3, voor respectievelijk Rijn en Maas.

Tabel 2. Toeslagen (in m³/s) op uitkomsten (afvoeren) voor het huidige klimaat voor de klimaatscenario's M-nat en H-nat voor het jaar 2100 voor de **Rijn**. Bronnen: ENW (2025) en Deltares (2025a). **NB:** Concept resultaten – onder voorbehoud van definitieve vaststelling in het BOI-programma.

	Afvoer (m ³ /s) bij T = 1/1.000	Afvoer (m ³ /s) bij T = 1/10.000
Klimaatscenario M-nat-2100	+ 1.050	+ 1.400
Klimaatscenario H-nat-2100	+ 2.350	+ 2.035
Onzekerheden GRADE (uitintegratie) bij huidig klimaat	+ 450	+ 700
Onzekerheden GRADE (uitintegratie) bij M-nat-2100	+ 425	+ 875
Onzekerheden GRADE (uitintegratie) bij H-nat-2100	+ 450	+ 1.140
Dijkverhoging (1m) buitenland bij huidig klimaat	+ 605	+ 655
Dijkverhoging (1m) buitenland bij M-nat-2100	+ 580	+ 750
Dijkverhoging (1m) buitenland bij H-nat-2100	+ 790	+ 2.300

Tabel 3. Toeslagen (in m³/s) op uitkomsten (afvoeren) voor het huidige klimaat voor de klimaatscenario's M-nat en H-nat voor het jaar 2100 voor de **Maas**. Bronnen: ENW (2025) en Deltares (2025b). **NB:** Concept resultaten – onder voorbehoud van definitieve vaststelling in het BOI-programma.

	Afvoer (m ³ /s) bij T = 1/1.000	Afvoer (m ³ /s) bij T = 1/10.000
Klimaatscenario M-nat-2100	+ 220	+ 370
Klimaatscenario H-nat-2100	+ 700	+ 970
Onzekerheden GRADE (uitintegratie) bij huidig klimaat	+ 190	+ 520
Onzekerheden GRADE (uitintegratie) bij M-nat-2100	+ 280	+ 505
Onzekerheden GRADE (uitintegratie) bij H-nat-2100	+ 240	+ 470
Dijkverhoging (1m)	Niet doorgerekend	Niet doorgerekend

De toeslagen in Tabellen 2 en 3 komen bovenop de afvoeren (zonder onzekerheden) voor de overschrijdingskansen 1/1.000 en 1/10.000 die in Tabel 1 zijn opgenomen. Uit Tabellen 2 en 3 blijkt dat de onzekerheid van klimaatverandering dominant is.



Box 1. Het **uitintegreren van onzekerheden** betekent dat een berekening of model rekening houdt met de onzekerheid van een variabele door niet één vaste waarde aan te nemen, maar door alle mogelijke waarden en hun waarschijnlijkheden mee te nemen. Dit doen we door een integraal te nemen over die onzekerheid: we middelen het effect van al die mogelijke waarden op het eindresultaat.
Dus: door uit te integreren, vertalen we de onzekerheid in de invoer naar een correcte verwachting in de uitvoer.

De effecten van klimaatverandering in Tabellen 2 en 3 zijn afkomstig uit het achtergrondrapport bij het ENW-advies: "Omgaan met klimaatverandering in de hydraulische ontwerpbelastingen voor waterkeringen" (ENW, 2025). Hierin staat als toelichting:

"Voor de rivierafvoeren zijn door het KNMI per KNMI'23-uitstootscenario twee varianten beschouwd: een 'nat' scenario waarin de winters sterk vernatten en de zomers licht verdrogen. En een 'droog' scenario waarin de winters licht vernatten en de zomers sterk verdrogen. De neerslagreeksen die volgen uit 'nat' voor het hoge (H) en gematigde uitstootscenario (M) zijn doorgerekend in GRADE om te komen tot statistiek van rivierafvoeren voor H-nat en M-nat. In deze achtergrondrapportage is een verkenning uitgevoerd naar de verandering van afvoeren en de ontwerpwaterstanden in de tijd voor deze scenario's."

Het ENW is verheugd dat er gewerkt wordt aan scenario's voor zichtjaren voorbij 2100 zoals 2150. Een belangrijke vraag daarbij is of het aannemelijk is dat ook na 2100 verwacht kan worden dat de rivierafvoeren nog blijven toenemen. Daarbij is de ontwikkeling en trend van neerslag van cruciaal belang. Naast klimaat is het ook van belang om de model- en parameteronzekerheid in de modellentrein van GRADE mee te nemen. In Tabel 1 zijn de meest aannemelijke waarden gepresenteerd, met en zonder de uitgeïntegreerde onzekerheden. In de onzekerheidsanalyse zijn de volgende onzekerheden meegenomen: (a) neerslag-generator, onzekerheid van wel of niet aanwezig zijn van extreme gebeurtenissen in basisreeks (Jackknife analyse); (b) hydrologisch model, onzekerheid ten aanzien van waarden voor de modelparameters; (c) hydrodynamisch model, onzekerheid ten aanzien van ruwheden, dijkhoogtes en dijkdoorbraaklocaties. De uitkomsten van de onzekerheidsanalyse zijn opgenomen in Tabellen 2 en 3. Deze toeslag is berekend met een probabilistische analyse via kansverdelingen en het samenvoegen van deze kansverdelingen (het zogenaamde 'uitintegreren', zie Box 1). Deze aanpak is volgens het ENW de beste manier om de onzekerheden te verwerken, en dit resulteert dan veelal in een toeslag op de meest aannemelijke uitkomst, die in Tabel 1 is weergegeven.

Een andere belangrijke vraag is welke onzekerheid het meest bijdraagt aan de onzekerheidstoeslag. Het ENW ziet graag dat de invloed van de verschillende onzekerheden op de uitgeïntegreerde werklijn duidelijk is. Dat is nu nog niet het geval. Het beschouwen van ook de afzonderlijke onzekerheden voorkomt dat uitintegreren ervoor zorgt dat er geen zicht meer is op welke onzekerheden er het meest toe doen.

Het is niet ondenkbaar dat er in het buitenland maatregelen worden genomen die de extreme afvoeren kunnen verminderen, of juist kunnen laten toenemen. Daarbij kan worden opgemerkt dat grootschalige maatregelen die in het verleden in het buitenland zijn genomen, al in de reeks zijn meegenomen via het 'homogeniseren' van de meetreeks. Hiermee wordt bedoeld dat de grootschalige veranderingen in het stroomgebied vertaald worden naar afvoeren die opgetreden zouden zijn na deze veranderingen.



Doorvertaling naar waterstanden in Nederland

Bij de doorvertaling van afvoeren naar waterstanden langs de Rijnakken en Maas spelen ook andere onzekerheden een rol, namelijk de verdeling van water bij de splitsingspunten en hoe deze verdeling zich in de toekomst ontwikkelt, de toekomstige bodemligging, en hoe het systeem reageert op extreme condities. Daarnaast zijn in deze doorvertaling van afvoeren naar waterstanden ook mogelijke beleidswijzigingen en maatregelen in het Nederlandse deel van het stroomgebied van belang.

Een splitsingspunt zoals de Pannerdensch Kop en IJsselkop heeft een specifieke dynamiek: er kunnen meerdere stabiele evenwichtssituaties zijn, dit in tegenstelling tot een systeem met een enkele riviertak. Dit kan ertoe leiden dat het systeem en daarmee de verdeling van water over de benedenstroomse riviertakken met de tijd verandert. We zien dat er geleidelijk een steeds groter aandeel van de afvoer bij Lobith naar de Waal gaat, en de hoogwaters van 1993 en 1995 lijken deze geleidelijke verandering te hebben geïnitieerd (Chowdhury et al., 2023, Blom et al., 2024). De toenemende afvoer in de Waal kan zorgen voor meer erosie in het bovenstroomse deel van de Waal, wat dan weer meer afvoer naar de Waal trekt, et cetera.

Tijdens extreme afvoeren kan de bodemruwheid veranderen door verandering van de geometrie van bodemvormen (primaire en secundaire duinen, alternerende banken). Dit kan binnen en tussen riviertakken verschillen opleveren, en ook leiden tot verandering van de afvoerverdeling (Gensen et al., 2020). De Regelwerken Pannerdensch Kop en Hondsbroeksche Pleij kunnen onvoldoende sturing bieden aan de verdeling van water op de splitsingspunten over de benedenstroomse takken. Ook kan het gebeuren dat sediment zich tijdens extreme afvoeren afzet in het bovenstroomse deel van het Pannerdensch Kanaal (Chowdhury et al., 2023, Blom et al., 2024), wat onder extreme condities meer afvoer (dan verwacht) naar de Waal zou kunnen sturen.

Daarnaast is een belangrijk en algemeen punt dat we geen meetgegevens hebben die representatief zijn voor zeer extreme condities omdat deze simpelweg niet recent (in de afgelopen 100 jaar) zijn voorgekomen. Om die reden kunnen we de modellen niet goed kalibreren voor die zeer extreme condities en moeten we (de best mogelijke) aannames doen ten aanzien van de modelparameters en fysische relaties die onderdeel zijn van de modellen.

Het ENW wil ook het belang benadrukken van consistentie in keuzes zoals voor

- (A) de bodemruwheid in de Duitse versus de Nederlandse Rijn
- (B) de klimaatscenario's voor de verschillende modelranden

Ad (A). Keuzes voor bodemruwheid

Hiervoor verwijst het ENW naar de volgende tekst uit het ENW-advies over GRADE uit 2015:

“Een speciaal punt van aandacht is de samenhang tussen de wijze waarop onzekerheid in de ruwheid is benaderd in GRADE (dus in het Duitse deel van de Rijn) en de manier waarop hiermee wordt omgegaan in het Nederlandse deel (via een onzekerheidstoetsing).” Het zou fysisch niet realistisch zijn om bijvoorbeeld een lage ruwheid in het Duitse deel te combineren met een gemiddelde tot hoge ruwheid in het Nederlandse deel. Er treedt immers op de grens van Nederland en Duitsland niet een discontinuïteit in de bodemruwheid op.

Ad (B). Keuzes voor klimaatscenario's

Bij de keuze van de vertaling van klimaatscenario's naar informatie voor de modelranden, zoals de hydrograaf en de zeespiegel, is het belangrijk dat de keuze consistent is. Een extreem klimaatscenario dat leidt tot een bovenstroomse hydrograaf willen we wellicht niet combineren met een zeer mild scenario voor de benedenstroomse zeespiegel.



Doorvertaling naar maatregelen in Nederland

Bij de doorvertaling van afvoeren en waterstanden naar maatregelen zoals binnendijkse ruimtereserveringen spelen ook andere vraagstukken, namelijk de ruimtevraag vanuit de verschillende belanghebbenden, de resulterende ruimtedruk, beleidsbeslissingen, internationale regelgeving (bijvoorbeeld voor de scheepvaart), en de internationale samenhang van beleid. Daarnaast is het belangrijk wat de impact op de waterkeringen is, want deze keringen zorgen nu voor bescherming, en het is de verwachting van ENW dat dit in de toekomst niet zal veranderen.

Daarbij is het voor de dijken niet alleen van belang om te kijken naar de hoogte-opgave van de waterkeringen (wat logischerwijs ook effect heeft op de breedte van de dijk) maar ook naar de breedte-opgave van de dijken als gevolg van de sterkte-mechanismen zoals macrostabiliteit en piping. Ook dit vergt immers ruimte, en reservering van deze ruimte lijkt hiervoor nodig.

Ook speelt de vraag hoe we met de afvoerdeling over de Rijntakken omgaan: dat is aan de ene kant een beleidsvraag (waarvoor kiezen we?), maar aan de andere kant zijn de maakbaarheid van het riviersysteem en technische haalbaarheid van oplossingen ook essentiële aandachtspunten. Dit geldt ook voor de bodemerosie; in hoeverre zijn we in staat met maatregelen het beoogde effect te bewerkstelligen? Het ENW realiseert zich ook dat binnendijkse ruimtereservering bestuurlijk, vanuit de regio gezien, ingewikkeld is. In de regio kan er ergernis ontstaan rondom de BKL-reserveringen omdat definitieve keuzes ten aanzien van deze gebieden uitblijven en gebiedsontwikkeling daarom niet kan plaatsvinden. Een goede inhoudelijke onderbouwing is daarom noodzakelijk, en betreft ruimtereservering een bredere integrale afweging waar ook andere functies en doelen dan waterveiligheid een rol spelen (bv. woningbouw, natuur en economische ontwikkeling).

Verantwoording

Dit ENW-advies is opgesteld door een adviesgroep samengesteld met leden uit de ENW-werkgroep Rivieren en de ENW-werkgroep Veiligheid. Conceptversies van dit advies zijn besproken in de ENW-Rivieren-werkgroepvergadering van juni 2025 en de ENW-Kerngroepvergadering van juni 2025. Opmerkingen vanuit deze besprekingen zijn na beoordeling van de adviesgroep al dan niet verwerkt. ENW-leden die vanuit hun functie inhoudelijk betrokken zijn bij het onderwerp, hebben zich afzijdig gehouden bij het opstellen van het advies.



Referenties

Blom, A., Ylla Arbós, C., Chowdhury, M.K., Doelman, A., Rietkerk, M., & Schielen, R. M. J. (2024). Indications of ongoing noise-tipping of a bifurcating river system. *Geophysical Research Letters*, 51, e2024GL111846. doi:10.1029/2024GL111846

Blöschl et al, 2019. Changing climate both increases and decreases European river floods.
https://gfzpublic.gfz-potsdam.de/rest/items/item_4546889_4/component/file_4608888/content

Chowdhury, M. K., Blom, A., Ylla Arbós, C., Verbeek, M. C., Schropp, M. H. I., & Schielen, R. M. J. (2023). Semicentennial response of a bifurcation region in an engineered river to peak flows and human interventions. *Water Resources Research*, 59, e2022WR032741. doi:10.1029/2022WR032741

Deltares, 2022. Generator of Rainfall and Discharge Extremes for the Meuse - Final report of GRADE-Meuse version 3.0, 11205237-003-ZWS-0016, 15 juli 2022

Deltares, 2023. Generator of Rainfall and Discharge Extremes for the Rhine - Final report of GRADE-Rhine version 3.0, 11205237-003-ZWS-0016, 26 mei 2023

Deltares, 2025a. Implications of the KNMI'23 climate scenarios for the extreme discharge statistics of the Rhine, 11211569-000-ZWS-0001, 23 juni 2025

Deltares, 2025b. Implications of the KNMI'23 scenarios for the discharge extremes of the Meuse, 11210368-006-ZWS-0002, 4 april 2025

ENW, 2015. Advies GRADE en afvoerstatistiek. Gericht aan Directoraat-Generaal Ruimte en Water, 1 mei 2015

ENW, 2025. Omgaan met klimaatverandering in de hydraulische ontwerpbelastingen voor waterkeringen, Achtergrondrapport Verkenning effect KNMI'23 scenario's H-nat en M-nat op rivierafvoeren en waterstanden, mei 2025

Gensen, M.R.A., Warmink, J.J., Huthoff, F. Hulscher, S.J.M.H. (2020). Feedback mechanism in bifurcating river systems: the effect on waterlevel sensitivity. *Water* 12 (7), p1918 <https://doi.org/10.3390/w12071915>