



RWS INFORMATIE

Generieke uitgangspunten hydraulische belastingen BOI

Generieke uitgangspunten bij de hydraulische belastingen BOI2023 uitleveringen in 2026 en 2027

Datum	13 juli 2026
Versie	1.0
Status	Definitief

Colofon

Uitgegeven door	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
Auteur	BOI
Informatie	Carlijn Bus
Telefoon	
Mobiel	
E-mail	carlijn.bus@rws.nl
Datum	13 juli 2026
Versie	1.0
Status	Definitief

Inhoud

1	Inleiding 5
1.1.	Aanleiding 5
1.2.	Doelstelling 5
1.3.	Scope 6
1.4.	Totstandkoming 7
2	Beleidsuitgangspunten 8
2.1.	Zichtjaren 8
2.2.	Klimaatscenario's waterveiligheid 8
2.3.	Afvoerverdeling 9
2.4.	Systeemwerking 9
2.5.	Hydromorfologische systeemkenmerken 9
2.5.1.	Bodemligging 10
2.5.2.	Begrenzing winterbed 10
2.5.3.	Vegetatie 10
2.5.4.	Obstakels 10
3	Statistiek en correlaties 12
3.1.	Afvoerstatistiek 12
3.2.	Wind- en zeewaterstandstatistiek 13
3.3.	Meerpeilstatistiek 15
3.4.	Seiches 15
3.5.	Correlaties 15
4	Fysica 17
4.1.	Wind 17
4.1.1.	Afkapping winddragcoëfficiënt 17
4.1.2.	Correctie voor beschutting 18
4.2.	Waterbeweging 18
4.2.1.	Schematisaties en software 18
4.2.2.	Zijdelingse toestroming 18
4.2.3.	Stormvloedkeringen 18
4.2.4.	Modelonzekerheden waterstand 19
4.3.	Golven 20
4.3.1.	Schematisaties en software 20
4.3.2.	Modelonzekerheden golven 20
5	Probabilistisch instrumentarium 21
5.1.	Software en rekeninstellingen 21
5.2.	Fysische databases 21
5.2.1.	Uitvoerlocaties 21
5.2.2.	Knip tussen watersystemen 22
5.2.3.	Vullingsgraad 22
5.3.	Stormvloedkeringen 23

Referenties 24

Bijlage A - Beleidsmatige randvoorwaarden hydraulische belastingen Waterveiligheid 26

Bijlage B - Keuze klimaatscenario voor dijkontwerpen in BOI 35

Bijlage C - Uitwerking toepassing KNMI'23 klimaatscenario Gematigd(M) voor BOI2023 36

Bijlage D – Seiches Rijn-Maasmonding 37

Bijlage E - Afvoerstatistiek Rijn en Maas en 1-op-1-relaties 38

Bijlage F - Advies update wind- en zeewaterstandstatistiek voor de kust 39

Bijlage G - Windreductie Veluwerandmeren 40

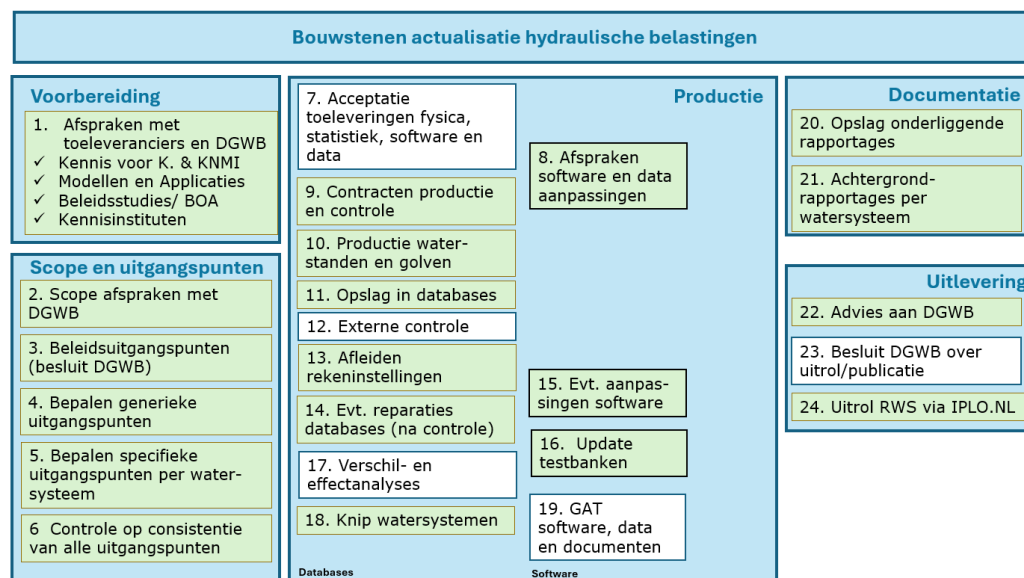
Bijlage H – Modelonzekerheden golfcondities en correlaties 41

1 Inleiding

1.1. Aanleiding

De Omgevingsregeling vraagt van het Rijk de regels te geven voor het uitvoeren van de veiligheidsbeoordeling van de primaire waterkering en leidraden beschikbaar te stellen voor het ontwerp en het beheer van primaire keringen. In de praktijk geeft het Rijk hier invulling aan met het Beoordelings- en ontwerpinstrumentarium (BOI). Het BOI bestaat uit procesinstrumenten en uit basisinstrumenten. In het kader van het BOI stelt het Rijk de benodigde databases ter beschikking om hydraulische belastingen nabij de te beoordelen waterkering af te leiden. Voorliggend document betreft de generieke uitgangspunten die zijn gehanteerd bij het actualiseren van de hydraulische belastingen in het kader van BOI2023.

De algemene scope van de actualisatie van de hydraulische belastingen voor BOI2023 betreft het produceren en uitleveren van databases met hydraulische belastingen voor het hoofdwatersysteem, voor zowel beoordelen als ontwerpen. De bouwstenen voor deze actualisatie zijn opgenomen in Figuur 1-1.



Figuur 1-1: Samenhang en volgorde bouwstenen actualisatie hydraulische belastingen.

Alvorens aan de productie van databases fysica (Hydraulic Region Databases), statistiek (HLCD) en rekeninstellingen (config-databases) te kunnen beginnen, dienen afspraken te worden gemaakt met toeleveranciers van modellen, technieken en benodigde kennis en dienen een groot aantal keuzes gemaakt te worden. Deze keuzes zijn inhoudelijk van aard, maar kunnen ook beleidsmatig zijn. Tussen DGWB en Rijkswaterstaat – WVL is veel overleg gevoerd over zowel de scope en beleidsuitgangspunten als technische uitgangspunten. Zowel de beleids- als de technische uitgangspunten zijn vastgelegd in vele notities en rapporten.

1.2. Doelstelling

In voorliggend document is een overzicht gegeven van zowel beleids- als technische uitgangspunten. Dit is met name gedaan op hoofdlijnen en voor de onderwerpen die watersysteemoverstijgend zijn. Voor details wordt verwezen naar onderliggende besluiten, memo's en rapporten.

1.3.**Scope**

Welke bouwstenen uit Figuur 1-1 zijn aangepast, verschilt per watersysteem. In het Programmaplan van BOI (Programmateam BOI, 2019) is beschreven welke bouwstenen uit het WBI2017 aangepast zouden worden per watersysteem. Daarbij is de volgende categorisering aangehouden:

- Eenvoudig: alleen statistiek van bedreigingen aanpassen, met hooguit een beperkte aanpassing van de vertaling daarvan naar lokale belastingen (fysica).
- Gemiddeld: naast statistiek van bedreigingen ook de fysica aanpassen.
- Uitgebreid: naast statistiek en fysica ook het belastingmodel actualiseren.

Hoe uitgebreider het pakket per watersysteem, hoe hoger de kosten zijn. Uiteindelijk is een keuze op basis van kosten, baten en risico-inschatting gemaakt. De keuzes over de watersystemen heen zijn vastgelegd in het Programmaplan BOI (Programmateam BOI, 2019) en in detail in het Afweegkader (bijlage 4 van datzelfde Programmaplan). Op hoofdlijnen komt het per watersysteem neer op de aanpassingen genoemd in Tabel 1-1.

Tabel 1-1. Aanpassing van bouwstenen qua statistiek, fysica en belastingmodel voor de verschillende watersystemen, vastgelegd in projectplan BOI.

Watersysteem	Statistiek	Fysica	Belastingmodel
Kust ¹	Zeewaterstand, wind		Alleen bij duinen aanpassingen voor de overstap naar XBeach
IJsselmeer ²	Meerpeil		
Markermeer, Grevelingen, Veluwerandmeer	Meerpeil	Waterstand, golven	
Rijntakken	Afvoer Lobith	Waterstand, golven	
Maas	Afvoer Borgharen	Waterstand, golven	
Benedenrivieren ³	Afvoer Lobith/Borgharen, zeewaterstand, meerpeil Volkerak-Zoommeer, seiches, voorspelfout	Waterstand, golven (apart: Hollandse IJssel en Volkerak-Zoommeer voor golven)	Volkerak-Zoommeer, Hollandse IJssel toevoegen
Oosterschelde	Zeewaterstand, wind		Oosterschelde aanpassen

¹ Dit is de verzameling van de watersystemen Hollandse Kust Noord, Midden en Zuid, Waddenzee, Westerschelde

² Inclusief Ketelmeer en Vossemeer

³ Inclusief Europoort, Volkerak-Zoommeer en Hollandse IJssel

IJssel-Vechtdelta ⁴	Afvoer Olst (impliciet via afvoer Lobith) en Dalfsen Meerpeil IJsselmeer		
--------------------------------	---	--	--

1.4. Totstandkoming

Zoals hierboven aangegeven, staat in het programmaplan BOI (Programmateam BOI, 2019) beschreven voor welke watersystemen de databases - die voor WBI2017 zijn ontwikkeld - worden geactualiseerd. Voor het ontwikkelen van iedere database en voor ieder watersysteem moeten keuzes gemaakt worden. De verzameling van alle uitgangspunten zijn in eerste instantie vastgelegd in een uitgangspunten-document (Slomp, 2021). Voor ieder watersysteem zijn deze uitgangspunten verder uitgewerkt in een watersysteemspecifieke uitgangspuntendocumenten. Zo zijn de keuzes die gemaakt zijn voor bijvoorbeeld de productieberekeningen voor de meren vastgelegd in een apart document (Stijnen et al., 2022). Dit vormde het startpunt voor de productieberekeningen voor de meren.

In Groeneweg et al. (2024) is een update gegeven van de belangrijkste uitgangspunten. Per uitgangspunt is aangegeven welke besluiten destijds nog genomen moesten worden, welke mogelijke keuzes er waren en welke impact deze hadden. Dit vormde de basis voor vele discussies tussen RWS en DGWB die hebben geleid tot de nodige besluiten op beleidsmatig en technisch vlak. De besluiten van beleidsmatige aard zijn grotendeels samengevat in I&W (2025). De technische keuzes zijn voornamelijk vastgelegd in memo's. In voorliggend document wordt dit samengebracht. Deels zijn deze ook benoemd in het uitgangspuntendocument van de verschil- en effectanalyse (Stijnen et al., 2026).

Voorliggend uitgangspuntendocument is opgesteld door het RWS-team van BOI-Hydraulische Belastingen.

⁴ Dit is de verzameling van de watersystemen IJsseldelta en de Vechtdelta

2 Beleidsuitgangspunten

De belangrijkste beleidsuitgangspunten voor de hydraulische belastingen in BOI2023 betreffen een nadere invulling van de omgevingsregeling, waar ingegaan wordt op de klimaatscenario's, de afvoerverdeling tussen de Waal, Lek en IJssel, systeemwerking en hydromorfologische systeemkenmerken. De beleidsuitgangspunten voor hydraulische belastingen voor waterveiligheid zijn opgenomen in bijlage A. Generiek is afgesproken met DGWB dat in BOI zoveel mogelijk de fysica gevolgd wordt. Dit kan betekenen dat een beleidskeuze een iets andere uitwerking heeft dan beleidsmatig was gewenst. In paragraaf 2.2 wordt een voorbeeld gegeven.

2.1. Zichtjaren

Het BOI2023 richt zich voor beoordelen op zichtjaar 2035 (LBO-2, tweede landelijke beoordelingsronde). Dit uitgangspunt heeft consequenties voor bijvoorbeeld de hoeveelheid zeespiegelstijging waarmee rekening is gehouden, de ligging van de bodem van de rivier, en de uitwerking van maatregelen die tussen 2023 (LBO-1) en 2035 zijn of nog worden uitgevoerd.

Voor ontwerpen worden de zichtjaren 2075 en 2125 gehanteerd. Voor het afleiden van gegevens voor een ander zichtjaar of klimaatscenario wordt een handreiking opgesteld.

2.2. Klimaatscenario's waterveiligheid

In 2023 heeft het KNMI nieuwe klimaatscenario's gepubliceerd. Keuzes in de totstandkoming van deze klimaatscenario's zijn geaccordeerd door het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW, 2025). In BOI2023 is overgestapt naar de nieuwste KNMI'23-klimaatscenario's. Het Ministerie van IenW hanteert, in lijn met het ENW-advies om het standaard het middentempo te hanteren, het middenscenario Midden Nat (afgekort Mn) uit de meest recente KNMI'23-scenario's. Hierbij heeft DGWB nog wel gekozen voor enige robuustheid. Dit leidt tot de volgende uitgangspunten (IenW, 2025, bijlage 2), welke zijn gebaseerd op het advies vanuit BOI (zie bijlage B):

- voor de verificatie van ontwerpen is in BOI2023 voor de rivierafvoer het scenario Mn gehanteerd (het SSP2-4.5 scenario),
- voor de zeespiegelstijging is bij dit scenario Mn (SSP2-4.5) een onzekerheidsband gehanteerd die overeenkomt met de 83%-waarde binnen de bandbreedte, en
- binnen de klimaatscenario's voor rivierafvoeren is geen bandbreedte beschikbaar. Per scenario wordt daarom één representatieve waarde geleverd. Wel is het effect van noodmaatregelen in Duitsland verdisconteerd.

Voor unieke of complexe versterkingen, zoals stormvloedkeringen, grote kunstwerken en funderingen van kunstwerken, wordt geadviseerd om maatwerk toe te passen bij de keuze van het te hanteren klimaatscenario. Voor eenvoudige kunstwerken volstaat het toepassen van een langere levensduur (bijvoorbeeld 100 jaar) in combinatie met het scenario Mn. Voor beleidsstudies of systeemverkenningen kunnen andere, of meer conservatieve klimaatscenario's worden toegepast. Ook voor ruimtelijke reserveringen zal worden uitgegaan van een conservatiever scenario om een robuuste inschatting te maken voor de veel langere tijdshorizon.

2.3. Afvoerverdeling

Voor de afvoerverdeling tussen Waal, Lek en IJssel is aangesloten bij de huidige beleidsmatige afspraken (uit Ruimte voor de Rivier (1.0) en de beleidskeuze 'Lek ontzien') en fysieke mogelijkheden van de regelwerken bij de verschillende zichtjaren. Het concrete besluit betreft dat de Lek wordt ontzien tot een rivierafvoer van 16.000 m³/s voor zichtjaar 2035 en 17.000 m³/s voor zichtjaren 2075 en 2125. Dit is gerealiseerd door de regelwerken zodanig in te stellen dat op basis van een stationaire som zonder laterale afvoeren de genoemde beleidsmatig vastgestelde afvoerverdeling bij genoemde rivierafvoeren wordt weergegeven.

De keuze over de toekomstige afvoerverdeling die binnen Ruimte voor de Rivier 2.0 (RvdR2.0) in 2026 wordt gemaakt, kan ertoe leiden dat de huidige beleidskeuzes moeten worden aangepast. Dit zal in een volgende actualisatie van hydraulische belastingen worden meegenomen.

2.4. Systeemwerking

Met systeemwerking wordt bedoeld de gevolgen van overstromingen bovenstrooms op de waterafvoer benedenstrooms. Hier is alleen rekening mee gehouden waar de gevolgen eenduidig en groot zijn voor beoordelen en ontwerpen. Dit heeft specifiek betrekking op het effect van overstromingen in Duitsland/België op de hoeveelheid water die ons land bij Lobith en Borgharen binnenstroomt en op de waterafvoer in de Brabantse/Gelderse Maas als gevolg van overstromingen bovenstrooms op de Maas in Nederland. In andere gevallen wordt verondersteld dat de keringen niet-overstroombaar zijn.

Concreet betekent dit dat:

- Voor het bepalen van hydraulische belastingen zowel positieve als negatieve systeemwerking binnen Nederland niet wordt meegenomen, met uitzondering van onderstaande.
- Voor de Maas onderscheid wordt gemaakt tussen de Limburgse Maasvallei en de Brabantse/Gelderse Maas, hetgeen leidt tot twee verschillende databases:
- Binnen de Limburgse Maasvallei wordt voor het bepalen van hydraulische belastingen geen rekening gehouden met systeemwerking binnen Nederland.
- Voor de Brabantse/Gelderse Maas wordt voor het bepalen van hydraulische belastingen wel rekening gehouden met positieve systeemwerking binnen de Nederlandse zijde van de Limburgse Maasvallei. Dit betekent in de praktijk dat bij extremere afvoeren het overlopen van de waterkeringen aan Nederlandse zijde van de Limburgse Maasvallei wordt meegenomen. De dijkhoogten van deze keringen zijn realistisch ingeschat voor de beschouwde zichtjaren.
- Systeemwerking in het buitenland wel wordt meegenomen in het afleiden van de afvoerstatistiek (bij de grens), middels GRADE (Generator of Rainfall And Discharge Extremes). Voor bepaling van de hydraulische belastingen van de Rijn worden de actuele dijkhoogtes in Duitsland meegenomen voor zowel het beoordelen als het ontwerpen. Het ophogen van de Duitse dijken wordt hierin niet meegenomen, het meenemen van 0,5 m noodmaatregelen wel. Hoe hiermee binnen GRADE mee omgegaan wordt, is verder toegelicht in paragraaf 3.1.

2.5. Hydromorfologische systeemkenmerken

Voor bodemligging, winterbed en vegetatie is gebruik gemaakt van de actuele fysieke bodemgegevens, met als doel een realistische gebiedsschematisatie te genereren. De gehanteerde uitgangspunten om tot een gebiedsschematisatie te komen zijn weergegeven in De Lange (2026).

2.5.1. *Bodemligging*

De meest actuele bodemligging wordt als randvoorwaarde gehanteerd bij de bepaling van de hydraulische belastingen, (morfologische) veranderingen in de tijd worden niet meegenomen. Het bodemhoogtemodel is gebaseerd op de meest recente gegevens van het zomerbed en de uiterwaarden (2018), aangevuld met maatregelen die voor 2023 zijn uitgevoerd en maatregelen waarvoor vóór 1 januari 2022 een MIRT-projectbesluit (fase 3) is genomen en die vóór 2035 worden gerealiseerd.

Bodemdaling, inclusief de verzakking van de dijk, dient de beheerder zelf in de schematisatie te verwerken als invoer voor de BOI-modellen.

2.5.2. *Begrenzing winterbed*

Voor de begrenzing van het winterbed is uitgegaan van de fysische begrenzing van het winterbed van de rivieren, ook als deze afwijkt van de begrenzing die in de legger 'waterstaatswerken' staat. Dat betekent ook dat modelbegrenzingsen zodanig moeten worden gekozen dat ze aansluiten bij de fysieke werkelijkheid.

Modelbegrenzingsen mogen de juiste afleiding van hydraulische belastingen in het systeem niet belemmeren.

2.5.3. *Vegetatie*

De vegetatie in BOI2023 is bepaald op basis van het handboek vegetatiekartering en de afspraken in de vegetatielegger (2020), waarin de vergunde natuur is vastgelegd. In WBI2017 is de kennis van het handboek vegetatiekartering niet gebruikt, dit was een beleidskeuze. Veranderingen in de vegetatie in de tijd zijn niet meegenomen bij het beoordelen en ontwerpen. De actualisatie van de vegetatielegger rond 2024, is niet meegenomen.

2.5.4. *Obstakels*

Voor alle gebieden waarvoor nieuwe productieberekeningen zijn gemaakt, zijn in overleg met de beheerders expliciete keuzes gemaakt over in het model aanwezige obstakels/keringen. Voor schematisaties die zowel in een golfmodel als waterbewegingsmodel zijn gebruikt, is dat in samenhang gedaan. In watersysteemgroepen is met waterkeringbeheerders en watersysteembeheerders pragmatisch gekozen of objecten als dammen, maar ook voorlanden onder alle relevante omstandigheden blijven staan. Er is niet per terugkeertijd een onderscheid gemaakt, kortom de schematisatie ligt vast. Dit is vastgelegd in de specifieke uitgangspunten per watersysteem (Stijnen et al, 2022, Oerlemans et al, 2022, Van Lente et al, 2023a, 2023b).

Een belangrijk uitgangspunt voor de modelschematisaties is de overstroombaarheid (de kering/het obstakel gaat niet stuk, er kan wel water overheen stromen) van voorliggende keringen en de beweegbare kunstwerken in die voorliggende keringen, zoals toegelicht in De Lange (2026). In het algemeen mag een obstakel overstromen, omdat er immers nog een primaire kering achter ligt. Een voorliggende kering op de rand van het modeldomein kan niet overstromen.

Om binnen Nederland op een vergelijkbare wijze om te gaan met de overstroombaarheid van voorliggende keringen, en niet afhankelijk te zijn van

gekozen modelgrenzen, en om een aantal van deze keringen toch te kunnen beoordelen, zijn de keuzen voor overstroombaarheid van voorliggende keringen gebaseerd op de onderstaande uitgangspunten:

- Voorliggende keringen zijn in de modelschematisaties niet overstroombaar, uitgezonderd het oostelijk deel van de Europoortkering (Dijktraject 209, Rozenburg-Hartelkering) en Ramspol-IJsselmuiden (Dijktraject 225). De overstroombaarheid van Dijktraject 225 is onderdeel van het watersysteem IJssel-Vecht delta. Voor watersysteem Rijntakken vormt Dijktraject 225 de rand van het modeldomein en is daarom niet overstroombaar.
- De bewegende delen van de stormvloedkeringen (Maeslant-, Hartel-, Haringvliet-, Hollandse IJssel-, Ramspol-, Oosterscheldekering) zijn wel overstroombaar.
- Overige beweegbare keringen, die een onderdeel van de primaire kering zijn of van een verbindende kering, sluiten volgens de geldende regels en zijn niet overstroombaar.
- Alle keringen en obstakels worden in de modelschematisaties standzeker verondersteld.
- Havendammen zijn geen primaire en/of voorliggende keringen en zijn wel overstroombaar.

3 Statistiek en correlaties

De bedreigingen die leiden tot overstromingen zijn onveranderd een hoge rivierafvoer, sterke wind, verhoogd meerpeil en zeewaterstand, en eventueel een falende stormvloedkering. Deze bedreigingen definiëren de basisstochasttypen in de belastingmodellen die zijn gedefinieerd voor de verschillende watersystemen. De basisstochasttypen van BOI023 veranderen niet. De belastingmodellen worden dan ook niet (significant) aangepast, de onderliggende statistiek van de basisstochasten en de vertaling daarvan naar statistiek van de lokale hydraulische belasting voor een groot aantal watersystemen wel.

Voor BOI2023 is nieuwe statistiek afgeleid voor de basisstochasten (afvoeren, zeewaterstand, meerpeil, windrichting en windsnelheid) in verschillende watersystemen, zowel voor beoordelen als ontwerpen. De keuzes voor de statistiek sluiten aan bij de beleidsuitgangspunten van het ministerie van IenW, conform de beslisnota BOI (IenW, 2025), zie voorgaand hoofdstuk. In onderstaande paragrafen wordt onderscheid gemaakt tussen de statistieken voor de verschillende zichtjaren 2035 (beoordelen) en 2075 en 2125 (ontwerpen).

Alleen onderzoeksprojecten die afgerond zijn en van voldoende kwaliteitsborging zijn voorzien, zijn meegenomen bij de updates van de statistiek. Kennis opgedaan na het zomerhoogwater van 2021 in Limburg is nog niet stabiel, en heeft invloed op zowel de Rijntakken als de Vecht, waar nog geen soortgelijk onderzoek is gedaan.

3.1. Afvoerstatistiek

Binnen BOI2023 is gebruik gemaakt van statistiek die afkomstig is uit GRADE. Dit is een combinatie van een stochastische neerslaggenerator, een hydrologisch model en een hydrodynamisch model, en is gebruikt voor het simuleren van extreme afvoeren in de Rijn bij Lobith, de Maas bij Borgharen. Voor de afvoerstatistiek van de Vecht bij Dalfsen is alleen het effect van overstromingen uit GRADE 3.0 gebruikt.

Beoordelen (zichtjaar 2035)

Binnen BOI2023 is voor beoordelen gebruik gemaakt van GRADE 3.0, met daarin een nieuwe versie van de neerslaggenerator en betere fysieke modellering van overstromingen in Duitsland en België dan in GRADE 2.0, dat de basis was voor WBI2017.

De uitwerking verschilt subtiel per riviertak:

1. In de afvoerstatistiek van de Rijntakken is rekening gehouden met overstromingen in Duitsland. Op die manier worden hoge afvoergolven gedempt (en in het uiterste geval 'afgetopt') via de fysische modellering in het GRADE-instrumentarium (Buitink en Sperna Weiland, 2026). Een afvoer groter dan 18.000 m³/s bij klimaatscenario Mn is alleen aan de orde bij herhalingstijden groter dan 20.000 jaar, en dan nog alleen bij een zeer lange ontwerphorizon (2125). Hiermee wordt met de fysische modellering invulling gegeven aan beleidsuitgangspunt om de Rijnafvoer af te toppen (bijlage A). Handmatig aftoppen van de Rijnafvoer is niet nodig bij gebruik van klimaatscenario Mn. Het beleidsuitgangspunt om het effect van noodmaatregelen mee te nemen is vertaald naar een keuze voor de afvoerstatistiek inclusief inzet van 0,5 m zandzakken op groene keringen en kademuren in Duitsland (Buitink en Sperna Weiland, 2026). De afgeleide

statistiek is beschreven in bijlage E en opgenomen in Kuijper en Caspers (2026).

2. Voor de afvoerstatistiek van de Maas is rekening gehouden met het onderlopen van de mijnverzakkingsgebieden in België bij Luik, maar niet met de inzet van noodmaatregelen. Ook hier worden hoge afvoergolven gedempt via de fysische modellering in het GRADE-instrumentarium (Buitink en Sperna Weiland, 2026). De afgeleide statistiek is beschreven in bijlage E en opgenomen in Kuijper en Caspers (2026).
3. Langs de Vecht is als startpunt gebruik gemaakt van de afvoerstatistiek van Geerse (2016) zonder het effect van overstromingen, met vervolgens daarop een correctie voor het effect van overstromingen uit GRADE 3.0, zie (Buitink et al. 2026). De afgeleide statistiek is opgenomen in Kuijper et al. (2026)
4. De afvoer bij Olst op de IJssel is afgeleid op basis van de statistiek van de Rijnaafvoer en de afvoer-afvoerrelatie tussen Lobith en Olst, die volgt uit de productieberekeningen met het D-Hydro-model voor de Rijntakken (Kuijper en Caspers, 2026).

Ontwerpen (zichtjaren 2075 en 2125)

Voor de Maas en de Rijntakken zijn voor ontwerpen de resultaten uit GRADE 3.0 gebruikt, met daarop een klimaattoeslag op basis van GRADE 3.1, om zo de werklijnen te transformeren naar afvoerstatistiek die past bij de toekomstige zichtjaren (Buitink en Sperna Weiland, 2026). Voor de Vecht worden de afvoerstatistiek van Geerse (2016) zonder overstromingen en de effecten van GRADE voor overstromingen en klimaatverandering (Buitink et al. 2026) gebruikt. Daarnaast is voor ontwerpen voor de Rijntakken rekening gehouden met de inzet van 0,5 m aan noodmaatregelen in Duitsland. Hierbij zijn scenario's met 0,5 m integrale dijkverhoging gebruikt als pseudo voor een scenario met 0,5 m noodmaatregelen (zie bijlage E). Voor de Maas en de Vecht spelen, conform de beleidsuitgangspunten, noodmaatregelen geen rol. De afvoerstatistiek voor de Rijn en Maas en de hieruit afgeleide 1-op-1-relatie tussen de Rijnaafvoer bij Lobith en de Maasafvoer bij Borgharen staan vermeld in bijlage E (Oosterlo, 2026). De afvoerstatistiek voor Rijn, Maas, Vecht en IJssel is opgenomen in het rapport basisstochasten (Kuijper en Caspers, 2026).

3.2. Wind- en zeewaterstandstatistiek

De statistiek van extreme wind en zeewaterstanden voor de Kust is in BOI2023 gebaseerd op een combinatie van modelsimulaties en meetgegevens. De hiervoor toegepaste modelsimulaties vormen een synthetische reeks van ca. 9.000 jaar, waaruit de statistiek is afgeleid. Meetgegevens zijn gebruikt om systematische fouten in modelsimulaties van de zeewaterstanden te corrigeren. De gehanteerde aanpak komt voort uit langjarig onderzoek van het KNMI in opdracht van Rijkswaterstaat en is naar aanleiding van expertgroepadviezen uit 2025 nog herzien. De methode en de resultaten staan beschreven in De Valk en Van den Brink (2026).

Daar waar nieuwe productiesommen zijn uitgevoerd, wordt uitgegaan van 16 windrichtingen. De keuzen uit het verleden van 12 windrichtingen zijn komen te vervallen. Alleen voor de kust wordt nog uitgegaan van 12 windrichtingen.

De windstations, waarvoor de windstatistiek is afgeleid, veranderen niet, met uitzondering van Vlissingen dat voor de Westerschelde vervangen is door Vlake van de Raan. Wel hebben De Valk & Van den Brink (2026) de windstatistiek afgeleid op basis van gegevens die niet op de oorspronkelijke locatie liggen, maar verder buiten de kust op de Noordzee. Details zijn beschreven in Kuijper en Caspers (2026).

Beoordelen (zichtjaar 2035)

De KNMI-update omvat qua scope de volgende basisstochasten en watersystemen (zie bijlage F):

1. de zeewaterstandstatistiek voor de Hollandse en Zeeuwse Kust, de Waddenzee, de Ooster- en Westerschelde, de Rijn-Maasmonding en de Hollandse IJssel. De bijbehorende statistische onzekerheid is ook geactualiseerd op basis van de nieuwe synthetische reeksen van het KNMI (De Valk & Van den Brink, 2026).
2. de windstatistiek, inclusief statistische onzekerheden, voor de Hollandse en Zeeuwse Kust, de Waddenzee, de Ooster- en Westerschelde, maar nog niet voor de overige systemen. Voor de watersystemen waarvoor de overstap naar de nieuwe statistiek niet is gemaakt, blijft de WBI2017-statistiek op basis van meetreeksen van de twee KNMI-landstations Schiphol en Deelen gebruikt worden. Voor de overstap naar de nieuwe windstatistiek in de kustgebieden zijn voor de estuaria aanvullende correcties doorgevoerd op de statistiek van de windsnelheid, om de beschutting van naast- en omliggende landmassa's in rekening te brengen (Kuijper en Caspers, 2026). Voor de Westerschelde is de wind op zee geschaald naar het KNMI-station Vlake van Raan in de monding van de Westerschelde en voor de Oosterschelde naar het beschutte KNMI-station Vlissingen, waarvoor in de productieberekeningen op de Oosterschelde al is gecorrigeerd (Stijnen et al., 2018).

Ontwerpen (zichtjaren 2075 en 2125)

Direct gekoppeld aan de statistiek van de zeewaterstand, is de mate van zeespiegelstijging. Ook deze verandert binnen BOI2023 op basis van de laatste inzichten voor zowel beoordelen (zichtjaar 2035) als ontwerpen (zichtjaren 2075 en 2125). Binnen BOI2023 is in de statistiek⁵ het volgende aangehouden, zie uitwerking in bijlage C:

Tabel 3-1 In BOI zeewaterstandstatistiek gehanteerde waarden voor zeespiegelstijging voor de zichtjaren 2075 en 2125 t.o.v. 2011 en 2035.

Doel	Zichtjaar	Zeespiegelstijging (in m)	
		t.o.v. 2035	t.o.v. 2011
Beoordelen	2035	+ 0,00 (BOI2023)	+0,072
Ontwerpen	2075	+ 0,414 (BOI2023)	+ 0,486
	2125	+ 0,962 (BOI2023)	+ 1,034

Dus het effect is 40-50 cm verhoging in 2075 en ongeveer 1 meter in 2125 afhankelijk van het referentiejaar 2011 of 2035.

Binnen BOI2023 zijn ruimtelijke uniforme representatieve waarden voor zeespiegelstijging voor de gehele Nederlandse kust gehanteerd voor de zichtjaren 2075 en 2125. De Hollandse IJssel vormt binnen BOI2023 een uitzondering. Voor dit watersysteem worden de (binnen KP Zeespiegelstijging) gegenereerde databases met zeespiegelstijging 0,5 m en 1 m t.o.v. 1995 gebruikt. Daarmee gaat geïnterpoleerd/geëxtrapoleerd worden voor BOI-ontwerpen. Dit geeft een

⁵ In de fysica zijn iets andere getallen aangehouden. Ten opzichte van 2011: 0,05 m, 0,50 m, 1,05 m. Het effect hiervan op de resultaten van de hydraulische belastingen is zeer beperkt.

inconsistentie met het uitgangspunt voor de overige watersystemen, zij het met beperkte impact.

3.3. Meerpeilstatistiek

Voor de statistiek van het IJssel- en Markermeer is in BOI2023 aangesloten bij het vigerende beleid conform het Nationaal Waterprogramma (RWS-IenW, 2022):

- Het meerpeil is 'vastgehouden' met gematigde meerpeilpiekbeheersing.
- Beoordelen (zichtjaar 2035): voor BOI2023 is overgestapt op meerpeilstatistiek die bepaald is met het model DEZY (Kuijper en Caspers, 2026) en dus niet langer volledig gebaseerd is op metingen. Dit was nodig vanwege alle veranderingen in en rondom de meren.
- Ontwerpen (zichtjaren 2075 en 2125): in de basis is dezelfde statistiek gehanteerd als die uit 2035, maar is het meerpeil integraal verhoogd met respectievelijk 0,25 m en 0,30 m. Op die manier is recht gedaan aan de bovengrens van de vastgestelde beleidsruimte van +0,30 m in 2100 bij een stijging van +1 cm/jaar vanaf 2050, en dus gemaximeerd op +0,30 m. In tegenstelling tot voorheen wordt voor het IJssel- en Markermeer eenzelfde meerpeilstijging aangehouden, omdat uit recent uitgevoerde studies is gebleken dat een peilverhoging op het IJsselmeer vrijwel 1-op-1 doorwerkt op het Markermeer (zie bijvoorbeeld Remmelzwaal et al., 2019).

Voor de Veluwerandmeren, het Volkerak-Zoommeer en het Grevelingenmeer zijn voor beoordelen (2035) geen wijzigingen doorgevoerd ten opzichte van WBI2017. De meerpeilstatistiek voor deze meren staat beschreven in het rapport Basisstochasten BOI2023 (Kuijper en Caspers, 2026). Voor ontwerpen (zichtjaar 2075 en 2125) wordt dezelfde meerpeilstatistiek aangehouden als voor beoordelen. Impliciet wordt daarbij aangenomen dat het effect van klimaatverandering op deze meren beperkt is en/of wordt opgevangen met bepaalde systeemmaatregelen.

3.4. Seiches

In het Europoortgebied wordt het effect van seiches meegenomen als een toeslag op de waterstand. De Jong & Van Dam (2024) hebben aangetoond dat het verlengen van de meetreeks nauwelijks effect heeft op de seiche-effecten. Om deze reden is de statistiek van het netto seiche-effect overgenomen uit Reijmerink en De Jong (2014), zie advies in bijlage D. Voor de overige watersystemen wordt in navolging van WBI2017 een eventueel effect van seiches niet in rekening gebracht.

3.5. Correlaties

Bekend is dat (sterke) verbanden te vinden zijn tussen sommige basisstochasten. Door hier in zowel de probabilistische berekeningen als de productieberekeningen rekening mee te houden, worden realistischer inschattingen van lokale hydraulische belastingen verkregen, dan wanneer ze niet meegenomen worden. De volgende correlaties worden beschouwd:

- Verhoogde IJsselmeermeerpeilen gaan vaak samen met verhoogde afvoeren op de IJssel en de Vecht: afvoer bij Olst respectievelijk Dalfsen en IJsselmeerpeil zijn derhalve (positief) gecorreleerd. Dit wordt in de IJssel-Vecht delta (als correlatiemodel tussen meerpeilstochast en afvoerstochasten) en het IJsselmeer (via de meerpeilstatistiek zelf) meegenomen.
- Afvoeren zijn onderling gecorreleerd:
 - tussen de Rijntakken en de Maas: de afvoer bij Lobith en Borgharen (in het verleden was dit Lith) wordt zowel in de productieberekeningen als in de probabilistische berekeningen verondersteld maximaal gecorreleerd te zijn. De zogenaamde 1-op-1-relatie is bepaald op basis van werklijnen van de Rijn- en Maasafvoer, zie bijlage E.

- tussen de IJssel en de Vecht: alleen voor de productieberekeningen is rekening gehouden met de correlatie tussen IJssel- en Vechtafvoer (Daggenvoorde en Duits, 2021). Omdat voor de IJsseldelta de IJsselaflow als basisstochast geldt, met daaraan de Vechtaflow gerelateerd, en vice versa, is de correlatie tussen beide afvoeren niet nodig in de probabilistische berekeningen.
- Hoge zeewaterstanden gaan gepaard met hoge windsnelheden uit zuidwestelijke tot noordelijke windrichtingen. Voor berekeningen in de kustgebieden zijn daarom in de probabilistische modellen zogenaamde *s*-waarden⁶ nodig, die deze correlatie per windrichting vastleggen. Het model dat deze correlaties tussen de zeewaterstand en de windsnelheid vastlegt is het model met Constante Spreiding, 'model CS' genoemd. Met de update van de wind- en zeewaterstandstatistiek heeft ook een actualisatie plaatsgevonden van de correlaties tussen de windsnelheid- en de zeewaterstandstatistiek (Tabel 11 in bijlage F uit Caspers et al., 2026).
- In de Rijn-Maasmonding, incl. Hollandse IJssel, is ook sprake van correlaties tussen zeewaterstand en wind (boven land) uit zuidwestelijke tot noordelijke windrichtingen. In probabilistische berekeningen specificeert het Volkermodel de conditionele kansverdeling voor de windsnelheid – gegeven de zeewaterstand en windrichting – en legt daarmee de correlatie tussen wind en waterstand vast. Met de update van de zeewaterstandstatistiek⁷ heeft een aanpassing plaatsgevonden van de parameters in het Volkermodel (Tabel 4 en 5 uit Caspers et al., 2026).
- In het Europoortgebied is sprake van correlatie tussen seiches en de zeewaterstand.
- De correlatie tussen de modelonzekerheid in de golfparameters neemt een aparte plek in, omdat deze (per locatie) is vastgelegd in de databases fysica (zie paragraaf 4.3.2).

⁶ Dit is de parameter in het geparametriseerde model die de mate van correlatie/spreiding tussen de potentiële windsnelheid en de zeewaterstand weergeeft, gegeven een bepaalde windrichtingssector. Een lagere *s*-waarde betekent een kleinere spreiding en dus een hogere mate van correlatie.

⁷ In de Rijn-Maasmonding is gebruik gemaakt van de windstatistiek van station Schiphol. Deze statistiek is ongewijzigd t.o.v. WBI2017.

4 Fysica

Statistiek van lokale hydraulische belastingen op willekeurige locaties wordt verkregen door de statistiek van de voor de betreffende watersystemen relevante combinaties van basisstochasten te vertalen naar deze locaties. Dat gebeurt aan de hand van vertaalmatrices, die bestaan uit berekende waarden voor waterstand, golfhoogte, golfperiode en golfrichting, en waarden voor de modelonzekerheid van waterstand, golfhoogte en golfperiode voor een groot aantal combinaties van relevante stochastwaarden. Hierbij wordt gebruik gemaakt van waterbewegings- en golfmodellen. Windmodellen worden ingezet om de juiste windinvoer voor de waterbeweging- en golfmodellen te bepalen.

4.1. Wind

De wind die wordt opgelegd op de waterbewegings- en golfmodellen betreft de openwaterwind. De windstatistiek is echter geen openwaterwind, maar potentiële wind. Het windmodel vertaalt de gestandaardiseerde potentiële wind naar openwaterwind voor het watersysteem dat wordt beschouwd⁸. Het windmodel is al jaren ongewijzigd, ook ten opzichte van WBI2017, met uitzondering van de afkapping van de winddragcoëfficiënt en enkele maatwerkkeuzes ten aanzien beschutting door land.

4.1.1. Afkapping winddragcoëfficiënt

In de nieuwe productiesommen voor waterbeweging en golven is de winddragcoëfficiënt afgekapt voor windsnelheden boven 30 m/s. Daarnaast is deze afkapping ook toegepast in de windtransformatie van een KNMI-landstation (Schiphol/Deelen) naar open water. Als voor WBI2017, is de dragafkapping niet toegepast voor kustgebieden. De stormopzet wordt niet met een waterbewegingsmodel met een aanpasbare winddragformulering berekend, maar rechtstreeks uit extremewaardenstatistiek toegepast op zeewaterstanden. Om deze reden is het effect van een aangepaste winddragrelatie niet eenvoudig te implementeren en vereist een nadere studie (Van Vledder, 2016).

Binnen BOI2023 is de afkapping van de winddragcoëfficiënt voor alle *brede wateren* dus direct meegenomen binnen de waterbewegings- en golfberekeningen met D-HYDRO respectievelijk SWAN, met uitzondering van het IJsselmeer en de kustgebieden. Eerder is voor de Vecht-IJsseldelta (Slomp et al., 2021) en de Oosterschelde (Stijnen et al., 2018) voor het eerst de overstap gemaakt om de dragafkapping direct mee te nemen via enerzijds de waterstands- en golfberekeningen en anderzijds de vertaling van potentiële wind naar open water wind. Deze aanpak is binnen BOI2023 overgenomen in de nieuwe productieberekeningen voor de meren en de Rijn-Maasmonding.

Voor de *smalle wateren* zijn de golfgroeiformules van Bretschneider gebruikt voor het genereren van de golven. Daarbij is uitgegaan van de openwaterwind in de Bretschneider formulering, zodat afkapping binnen de formulering zelf geen rol speelt. De windsnelheid is vertaald naar een lagere "pseudowind", om recht te doen aan de dragafkapping. Zie voor details bijvoorbeeld bijlage D uit Van Lente et al. (2023a,b). De Hollandse IJssel vormt hierop een uitzondering.

⁸ Uitzondering hierop vormt de Hollandse IJssel. Daar wordt de potentiële wind direct opgelegd.

4.1.2. *Correctie voor beschutting*

Om de beschutting van naaste en omliggende landmassa's in rekening te brengen zijn in de productiesommen correcties aangebracht in windstatistiek of in de opgelegde windsnelheidsvelden. Voor de Westerschelde is dat gedaan in de statistiek (zie Par. 3.2). Voor het Gooi- en Eemmeer, als onderdeel van het watersysteem Markermeer, en voor de Veluwerandmeren zijn de openwaterwindsnelheden gereduceerd met 0-10% respectievelijk 18%. Dat eerste speelde in het verleden ook al, het tweede is in WBI2017 per abuis niet meegenomen, zie bijlage G. Voor de Oosterschelde is een combinatie toegepast. Eerst is op de statistiek een beschuttingscorrectie toegepast om de Noordzeewindstatistiek te vertalen naar die van het deels sterk beschutte KNMI-meetstation Vlissingen. Vervolgens is die beschutting weer gecorrigeerd in de productiesommen van de Oosterschelde (zie Kuijper en Caspers, 2026).

4.2. **Waterbeweging**

4.2.1. *Schematisaties en software*

Voor een aantal watersystemen is overgestapt van de vijfde naar de zesde generatie waterbewegingsmodellen. Dit betreft de modellen in het hele rivierengebied (Rijntakken en Maas), een aantal meren (Markermeer, de Veluwerandmeren en het Grevelingenmeer) en het gebied van de Rijn-Maasmonding (inclusief het Volkerak-Zoommeer). Specifiek voor de Hollandse IJssel is gebruik gemaakt van SOBEK, vanwege het grote aantal benodigde productieberekeningen voor dat specifieke watersysteem, maar ook omdat dwarsverhang op een smalle tak als de Hollandse IJssel naar verwachting geen rol van betekenis zal spelen.

4.2.2. *Zijdelingse toestroming*

De toestroming van zijrivieren en gemalen bij het Markermeer, Bovenrivieren, Vecht- en IJsseldelta en Benedenrivieren is gebaseerd op correlatiemodellen tussen de afvoeren van de hoofdriever en de zijrivieren (uit de HR2006) of op basis van de protocollen met waterstandstriggers, die zijn verwerkt in het modelinstrumentarium.

4.2.3. *Stormvloedkeringen*

Voor stormvloedkeringen is een update van diverse inzetprotocollen van stormvloedkeringen doorgevoerd in de modellering van de waterbeweging. Dit betreft de inzetprotocollen voor de Europoortkering (Maeslant- en Hartelkering), Oosterscheldekering, Ramspolkering en het kierbesluit bij de Haringvlietsluizen en de invloed op LPH '84. Deze inzetprotocollen, met bijbehorende voorspelfouten in de modellen staan uitgebreid beschreven in Kuijper en Caspers (2026). Daarin staan ook de faalkansen per kering benoemd, welke zijn herhaald in onderstaande tabel.

Tabel 4-1 Faalkans stormvloedkeringen per sluitvraag

Stormvloedkering	Faalkans per sluitvraag
Europoortkering	1/100
Hollandsche IJsselkering	1/1500
Ramspolkering	1/100
Oosterscheldekering	Per klasse

Voor de Oosterschelde is onderscheid gemaakt tussen de bemande en de onbemande kering en is een klasse-indeling voor het aantal falende schuiven gehanteerd. De faalkansen zijn weergegeven in onderstaande tabel.

Tabel 4-2 *Faalkansen Oosterscheldekering, gegeven het aantal falende schuiven*

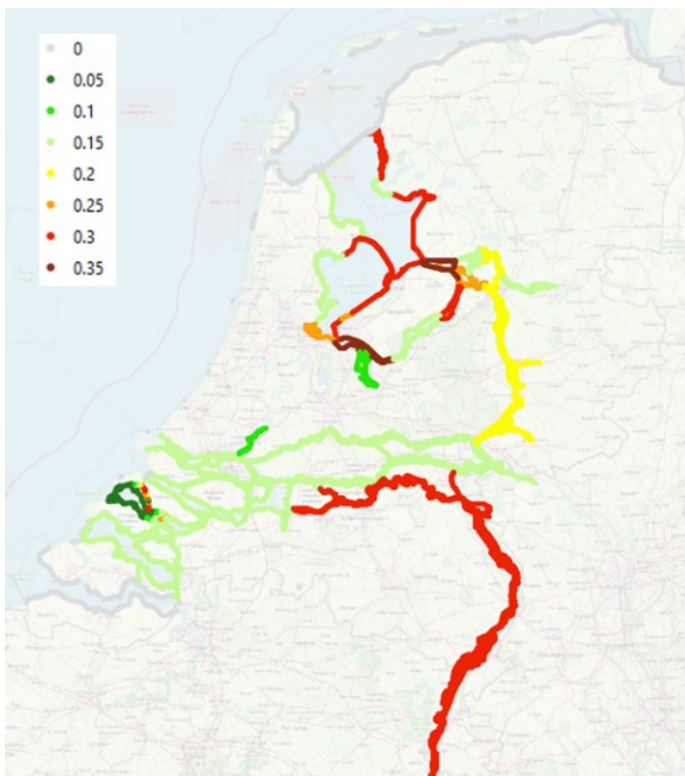
Aantal	Bemand	Onbemand	Gebruikte klassen
0	0,99654249038	0,98908098950	0, 1 of 2 falende schuiven
16	0,00331600000	0,00700900000	3 t/m 5, 6 t/m 10 en kwart falende schuiven
31	0,00009560962	0,00196001050	helft en driekwart falende schuiven
62	0,00004590000	0,00195000000	62 falende schuiven

4.2.4. Modelonzekerheden waterstand

De modelonzekerheden voor waterstand zijn grotendeels overgenomen van WBI2017. Waar voldoende onderzoek was uitgevoerd is een aanpassing doorgevoerd. Met name in het Benedenrivierengebied zijn de waarden aangepast. Kort samengevat betekent dat:

- Maas en BER-Maas: 0.30 m
- Rijntakken: 0.15 m, m.u.v. IJssel, daar 0.20 m
- Rijn-Maasmonding: ook 0.15 m, m.u.v. Hollandse IJssel, daar 0.10 m
- Oosterschelde: 0.15 m
- Grevelingen, IJsselmeer, Markermeer en IJssel-Vecht delta: ruimtelijk variërend, in sommige gevallen zelfs verschillende waarden per traject (zie Kuijper en Oomen, 2023 en Stijnen et al., 2022).

Dit is grafisch weergegeven in Figuur 4-1.

Figuur 4-1: *Modelonzekerheden voor waterstand (in m) voor alle trajecten.*

4.3. Golven

4.3.1. *Schematisaties en software*

In BOI2023 zijn alléén voor de merensystemen (Markermeer, Grevelingen, de Veluwerandmeren en het Volkerak-Zoommeer) en de brede wateren van de RMM (Haringvliet-Biesbosch, Europoort) nieuwe productieberekeningen met het golfmodel SWAN uitgevoerd. Voor de meren betreft het veelal een overstap van een ouder of eenvoudiger model (HISWA, Bretschneider) naar SWAN. Voor de SWAN-berekeningen is gebruik gemaakt van landelijk afgeleide (generieke) instellingen (Gautier & Groeneweg, 2020) en Oosterlo (2021). Voor kustgebieden en IJsselmeer zijn geen nieuwe productieberekeningen uitgevoerd en zijn de resultaten voor WBI2017 overgenomen.

Wat betreft golfcondities die zijn gegenereerd met de formules van Bretschneider, heeft een update plaatsgevonden voor de Rijntakken, de Maas, de smalle wateren in de Rijn-Maasmonding, de Hollandse IJssel en de Eempolder (onderdeel van het Markermeergebied).

4.3.2. *Modelonzekerheden golven*

De (gebiedsafhankelijke) waarden voor de modelonzekerheid in de golfparameters zijn voor de meeste gebieden gewijzigd; enerzijds omdat de inconsistentie in de modelonzekerheid van de golfparameters (de 'mintekenfout') uit WBI2017 is hersteld; Anderzijds omdat bijvoorbeeld voor het Markermeer is overgestapt van HISWA naar SWAN als golfmodel, wat een aanpassing in de modelonzekerheid van de golfparameters met zich meebrengt. Aanvullend op de modelonzekerheid van golfhoogte en golfperiode is de correlatie tussen beide toegevoegd.

De waarden voor de modelonzekerheid golfhoogte en golfperiode, en de correlatie daartussen, zijn weergegeven in bijlage H.

5 Probabilistisch instrumentarium

5.1. Software en rekeninstellingen

In principe veranderen de belastingmodellen van Riskeer en Hydra-NL nagenoeg niet ten opzichte van WBI2017. Uitzondering vormen de belastingmodellen in Riskeer voor de Oosterschelde, de Hollandse IJssel en het Volkerak-Zoommeer. Bij de Oosterschelde is afgestapt van de methode van triangulaire interpolatie van de waterstanden in combinatie met het 1D-waterbewegingsmodel IMPLIC naar het 2D-waterbewegingsmodel WAQUA. De Hollandse IJssel en het Volkerak-Zoommeer vielen in WBI2017 nog onder de categorie C-keringen en zijn pas laat toegevoegd aan de scope. Dat is nu met BOI2023 hersteld. Deze modellen zijn nieuw ingebouwd in Riskeer, op basis van de aanwezige belastingmodellen in Hydra-NL. De laatste versies van Hydra-NL en Riskeer betreffen 2.10 respectievelijk 26.1.1 (Wojciechowska, 2026a).

De overige aanpassingen in Riskeer zijn beperkt. In 2023 is Riskeer aangepast voor de invoering van Xbeach in Morphan. In 2026 zijn kleine wijzigingen doorgevoerd voor de naamgeving van de databases en de uitvoerpunten bij Duinen. Verder zijn diverse bugfixes en verbeteringen doorgevoerd aan de rekenmethodes (Wojciechowska, 2026a). Voor piping zijn andere rekeninstellingen afgeleid, deze zijn echter alleen van toepassing als volledig probabilistisch wordt gerekend (voor de standaard semi-probabilistische berekening in Riskeer zijn deze niet nodig). Daarnaast zijn diverse aanpassingen aan de rekeninstellingen doorgevoerd voor de bepaling van hydraulische belastingen (Wojciechowska, 2026b).

Ook in Hydra-NL hebben kleine veranderingen plaatsgevonden, vooral in de vorm van bugfixes, maar de verwachting is dat dit hooguit in uitzonderingsgevallen tot (kleine) verschillen zal leiden.

De resultaten die worden verkregen met Hydra-Ring (rekenhart van Riskeer) kunnen verschillen van die uit Hydra-NL, als gevolg van de verschillen in de probabilistische methoden die de beide softwaremodellen gebruiken. Door de juiste rekeninstellingen in Hydra-Ring te kiezen wordt geborgd dat deze verschillen beperkt blijven.

5.2. Fysische databases

Voor alle uitvoerlocaties zijn lokale hydraulische belastingen bepaald voor een groot aantal combinaties van stochastwaarden. Deze worden opgeslagen in de databases fysica (HRD). Aan de uitvoerlocaties worden eisen gesteld, zie paragraaf 5.2.1. Diverse watersystemen vertonen een overlap. Dat betekent dat voor een locatie op een overlap twee sets hydraulische belastingen beschikbaar zijn. Dat is niet wenselijk en daarom moet een knip tussen watersystemen worden aangebracht. Dat is belicht in paragraaf 5.2.2.

5.2.1. Uitvoerlocaties

Standaard worden de uitvoerpunten om hydraulische belastingen mee te bepalen op diep water/de as van de rivier en aan de teen van de waterkering uitgeleverd. De overige punten zijn opvraagbaar.

Aan de uitvoerlocaties worden de nodige eisen gesteld. Deze zijn opgenomen in Slomp (2021):

- De uitvoerlocaties liggen enige afstand (orde 50 à 200 m) van de kruin van de waterkering, bij voorkeur tussen de 20 m (smalle rivieren) en 60 m (kust) uit de teen van de kering. Afstand tussen de uitvoerlocaties is typisch 100 m op rivieren en 300 meter op meren en zoute wateren.
- Een belangrijke uitzondering op de genoemde afstand uit de kering vormen de duinwaterkeringen; daar liggen de uitvoerpunten op de -20m+NAP-lijn (ver uit de kust).
- De nieuw toe te passen naamgeving van de uitvoerpunten is landelijk consistent gemaakt en vastgelegd in De Waal et al. (2020). Voor rivieren worden de rivier kilometers gevolgd, voor meren en de kust de dijkpalen of hectometerpalen (Rijkswaterstaat) en voor de duinen de Jarkusraaien.

5.2.2. *Knip tussen watersystemen*

De watersystemen overlappen elkaar om de resultaten minder gevoelig te maken voor gekozen randvoorwaarden. Dit betekent dat er twee verschillende sets hydraulische belastingen op de uitvoerlocaties zijn op de overlap. Per uitvoerlocatie langs een traject mag er maar een set unieke waarden zijn. Omdat per watersysteem een ander belastingmodel gebruikt wordt, zullen de uitkomsten niet exact gelijk zijn. Het bepalen welk belastingmodel vigerend is op de grens tussen de watersystemen vraagt een bepaalde pragmatische procedure die rekening houdt met de nauwkeurigheid en met gebruikersgemak. Hierbij worden de volgende uitgangspunten gehanteerd:

1. In eerste instantie wordt de knip bepaald op basis van probabilistische rekenresultaten voor beoordelen. Hierbij wordt al zoveel mogelijk rekening gehouden met mogelijke invloeden voor ontwerpen, zoals zeespiegelstijging. Het streven is om een locatie aan te houden voor beoordelen en ontwerpen, tenzij dit niet mogelijk is op basis van overige uitgangspunten.
2. Deze sprong wordt bepaald op basis van resultaten van probabilistische berekeningen van waterstanden (controle voor resultaten van golfhoogte en HBN), en wordt, indien noodzakelijk, gecontroleerd aan de hand van de fysica en de grenzen van de onderliggende modellen.
3. De knip wordt zodanig gekozen dat de sprong in resultaten voor de twee watersystemen zo klein mogelijk is.
4. De knip wordt in principe gelegd op een trajectgrens, tenzij de sprong in probabilistische waterstanden groter is dan 10 cm.
5. Indien de knip niet op een trajectgrens gelegd kan worden, wordt de knip aan beide oevers zoveel mogelijk op dezelfde locatie gelegd.

5.2.3. *Vullingsgraad*

Om verschillende redenen kunnen berekende waterstanden met het zesde-generatie instrumentarium en berekende golfparameters met SWAN onbetrouwbaar zijn, dikwijls als gevolg van droogval. Onbetrouwbare resultaten (weldoordacht) verwijderen uit de database kan, maar het rekenen met onvolledig gevulde databases heeft meermaals geleid tot problemen in het probabilistisch model. De door Daggenvoorde en Duits (2021) voorgestelde procedure leidt tot 100% gevulde fysische databases. Om onbetrouwbaar gebruik als gevolg van een deels gevulde database te voorkomen, wordt voorgeschreven een 100% gevulde database te bepalen. Door het voorland inclusief voorliggende dammen mee te nemen in de berekeningen met Hydra-NL en Riskeer kan worden voorkomen dat te hoge golven worden berekend.

5.3. Stormvloedkeringen

Voor stormvloedkeringen is een update van specifieke data doorgevoerd, die van belang is voor de probabilistische bepaling van hydraulische belastingen. Zoals aangegeven in Par. 4.2.3 zijn de inzetprotocollen, met bijbehorende voorspelfouten in de modellen, en de faalkansen per kering uitgebreid beschreven in Kuijper en Caspers (2026). Enkele aanvullende opmerkingen daarbij:

- De beheerruimte bij de prestatiepeilen voor de Oosterschelde en Haringvlietsluizen wordt 0 cm, in lijn met de uitgangspunten van WBI2017. De beheerders van de achterliggende waterkeringen kunnen zelf een toeslag toepassen voor de beheerruimte in overleg met de beheerder van de stormvloedkeringen (RWS). Rijkswaterstaat is in gesprek met de beheerders om afspraken te maken over de te hanteren toeslag.
- De faalkans van de Hollandsche IJsselkering is volgens de Omgevingswet een kans van 1/1500 op niet-sluiten per keer dat sluiting noodzakelijk is. Dit getal wordt instelbaar, zodat de beheerder indien nodig actuele informatie kan toepassen.
- Er wordt geen rekening gehouden met het falen van de Haringvlietsluizen in de statistiek en het belastingmodel.

Referenties

- Buitink, J., C. ten Velden, H. van den Brink, J. Beersma en F. Sperna Weiland (2026). Implications of the KNMI'23 scenarios for the discharge extremes of the Overijsselse Vecht. Deltares-rapport 11211569-000-ZWS-0001, maart 2026.
- Buitink, J. en F. Sperna Weiland (2026). Actualisatie werklijnen Rijn en Maas opgesteld voor BOI2023 Werklijnen voor het huidige en toekomstige klimaat, gebaseerd op GRADE3.0 en KNMI'23 op basis van nadere BOI-beleidskeuzes. Deltares rapport 11212816-000-ZWS-0002, 21 mei 2026.
- Caspers, J., B. Kuijper en R. Nicolai (2026). Wind-zeewaterstand statistiek. Correlaties Kust en Rijn-Maasmonding. Rapport HKV Lijn in Water PR5547.10, januari 2026.
- Daggenvoorde, R.J. en M.T. Duits (2021). BOI-databases VIJD: Hydraulische randvoorwaarden Vecht-IJsseldelta. Rapport HKV Lijn in Water PR4280.10, februari 2021.
- De Lange, W. (2026). Uitgangspunten D-HYDRO Modelschematisaties BOI 2023 RWS memo, d.d. 24 april 2026.
- De Jong, M.P.C. en M.A.J.P. van Dam (2024). Actualisatie seichestatistiek Rotterdam; Verkenning invloed inzet nieuwe meetdata 2007-2023Deltares rapport , december 2024.
- De Valk, C. en H. van den Brink (2026). Een nieuwe statistische analyse van extreme zeewaterstand en wind op zee op basis van meetgegevens en modeldata; geconsolideerde documentatie. KNMI Technisch Rapport 2026-03.
- De Waal, J.W. Stijnen en P. van den Bosch. (2020). PBO HB data stappenplan. Hydraulische belastingen data voor waterkeringen in Nederland. Deltares-rapport 11205758-014-GEO-0001, augustus 2020.
- Geerse, C. (2016). Voorstel voor aanpassing Vechtstatistiek en modelonzekerheid waterstand. Memo HKV Lijn in Water PR3280.20, 12 september 2016.
- Groeneweg, J. en C. Gautier (2020). Generieke methode SWAN modellering voor BOI en andere RWS toepassingen. Deltares rapport 11205758-041-GEO-0001, oktober 2020.
- Groeneweg, J., J. Stijnen en R. Slomp (2024). Update van uitgangspunten, (nog te nemen) besluiten en openstaande vragen in het productieproces van Hydraulische Belastingen. RWS rapport versie 2, d.d. 18 januari 2024.
- IenW (2025). Beleidsmatige randvoorwaarden t.b.v. de actualisatie van hydraulische belastingen voor het beoordelen en ontwerpen van primaire waterkeringen. Beslisnota DGWB, Kenmerk IENW/BSK-2025/315422, 10 december 2025.
- Kuijper, B. en J. Caspers (2026). Basisstochasten BOI2023. Rapport Rijkswaterstaat WVL, uitgevoerd door HKV (kenmerk PR5612.10), maart 2026 (concept).
- Kuijper, B. en M. Oomen (2023). Productie databases BOI2023. Kust, IJsselmeer en IJssel- en Vechtdelta. Rijkswaterstaat rapport, versie 2, d.d. 15 februari 2023
- Oerlemans, C., J.W. Stijnen, M.P. Benit en A. Paarlberg (2022). Productieberekeningen BOI2023, RWS d (concept, versie 1.0), d.d. 26 oktober 2022. (concept, versie 1.0), d.d. 26 oktober 2022.
- Oosterlo (2021). Instellingen voor de driegolfwisselwerkingen (triads) in SWAN t.b.v. de productieberekeningen meren en benedenrivieren BOI2023. Rijkswaterstaat-WVL rapport (versie 1.1), 9 augustus 2021.
- Oosterlo (2026). Afvoerstatistiek en 1-op-1-relaties ten behoeve van de hydraulische belastingen voor het beoordelen en ontwerpen binnen BOI. P. Oosterlo, Rijkswaterstaat-WVL memorandum, 17 april 2026. (Zie bijlage

- D)Programmateam BOI (2019). Programmaplan BOI 2020 – 2023. Doorontwikkeling van het Beoordelings- en Ontwerp Instrumentarium voor Primaire Waterkeringen, d.d. 30 november 2019.
- Reijmerink, B. en M.P.C. de Jong (2014). Actualisatie seiches Rotterdam WT2017 - Waterstandsafhankelijke seiche-waarden. Deltares rapport 209433-006-HYE-0002, december 2014.
- Rommelzwaal, A., A. Kors, I. Tánzos, J. Helmer en H. Berger (2019). Beleidsaanbevelingen voor het langetermijn peilbeheer in het IJsselmeergebied; Eindrapport Integrale Studie Waterveiligheid en Peilbeheer IJsselmeergebied. Rijkswaterstaat WVL, juni 2019.
- RWS-IenW (2022). Nationaal Waterprogramma; Het nationale waterbeleid en de uitvoering in de Rijkswateren. 2022–2027. Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, maart 2022.
- Slomp, R. (2021). Uitgangspunten Hydraulische Belastingen BOI voor 2023. RWS rapport, versie 0.9h (concept), d.d. 13 september 2021.
- Slomp, R., M. Bottema, J.W. Stijnen, M.T. Duits, A. Kors en W. Rozier (2021). Achtergronden Hydraulische Belastingen Vecht en IJsseldelta, BOI 2020. Update WBI2017 in BOI naar aanleiding van de geplande aanleg en openstelling van het Reevediep. RWS rapport, Versie 1.0 (definitief), d.d. 8 Juli 2021.
- Stijnen, J.W., , R.J. Daggenvoorde, C.P.M. Geerse en C. Gautier (2018). Productieberekeningen hydraulica; Controles waterbeweging & vullen HR-databases Oosterschelde. HKV-rapport PR3556, januari 2018.
- Stijnen, J.W., C. Oerlemans, M.P. Benit en J. Adema (2022). Productieberekeningen BOI2023. RWS deelrapport perceel 4: Meren (versie 2.0), d.d. 21 december 2022.
- Stijnen, J.W., G.J.W. van Lente, V. Vuik, P. van Tol, M. Bénit, C. van Bemmelen, W. Ridderinkhof, T. Botterhuis en G. Pleijter (2026). Verschil- en effectanalyses hydraulische belastingen BOI2023. WP1 - Het maken van een overzicht van de verschillen in uitgangspunten. RWS rapport concept versie, d.d. 13 februari 2026.
- Van Lente, G.J.W., B. Kuijper, A.J. Paarlberg, L. Straatsma en E.E. Sirks (2023a). Productieberekeningen BOI2023. Deelrapport perceel 2: Maas. HKV-rapport PR4537.10, 9 oktober 2023.
- Van Lente, G.J.W., B. Kuijper, A.J. Paarlberg, L. Straatsma en E.E. Sirks. (2023b). Productieberekeningen BOI2023. Deelrapport perceel 1: Rijntakken. HKV-rapport PR4536.10, 20 september 2023.
- Vledder, van. G. (2016). Stappenplan aanpassing hydraulische randvoorwaarden op basis van nieuwe inzichten winddrag. Memo vc55m1r3. Van Vledder Consulting.
- Wojciechowska, K. (2026a). Release notes 26.1.1. Deltares memo 11212820-002-GEO-0011 d.d. 3 February 2026.
- Wojciechowska, K. (2026b). BOI - Analyse actualiteit rekeninstellingen Riskeer. Deltares rapport 11212820-001-GEO-0004, april 2026 (concept).

Bijlage A - Beleidsmatige randvoorwaarden hydraulische belastingen Waterveiligheid

Inleiding

Voor het bepalen van de hydraulische belastingen vanuit waterveiligheid ten behoeve van het beoordelen en ontwerpen van (primaire) waterkeringen moeten conform de omgevingsregeling bijlage XXXIIb beleidsmatige randvoorwaarden worden gesteld.⁹

Deze zijn door DGWB vastgesteld. Als basis van de beleidsmatige randvoorwaarden geldt dat bij het bepalen van de hydraulische belastingen de fysieke werkelijkheid zo goed mogelijk wordt benaderd.

In dit document wordt een overzicht van de beleidsmatige randvoorwaarden en invulling daarvan ten behoeve van de actualisatie van hydraulische belastingen gegeven. Op basis van nieuwe inzichten of andere externe ontwikkelingen kunnen de vastgestelde besluiten worden heroverwogen. DGWB zal in overleg met de betrokken stakeholders de beleidsmatige randvoorwaarden evalueren en waar nodig actualiseren, indien hydraulische belastingen moeten worden geactualiseerd.

Onderstaand de inhoudelijke besluiten over de beleidsmatige randvoorwaarden zoals genoemd in Omgevingsregeling Bijlage XXXIIb. In de bijlage van deze notitie worden de uitgangspunten inhoudelijk nader geduid.

Deze beleidsmatige randvoorwaarden gelden generiek binnen het domein van waterveiligheid en worden derhalve toegepast binnen het Beoordelings- en Ontwerpinstrumentarium (BOI). Indien gewenst kunnen deze randvoorwaarden tevens als uitgangspunt dienen voor beleidsstudies, zoals RvdR2.0. In dat kader kan het verkennen van alternatieve keuzes ten aanzien van de randvoorwaarden inzicht bieden in de effecten op de hydraulische belastingen.

⁹ [Staatscourant Nr. 29177, 11 november 2022](#)

DGWB Besluiten

De besluiten zijn aanvullend op de reeds in de Omgevingsregeling bijlage XXXIb opgenomen randvoorwaarden, de nummering komt overeen met de Omgevingsregeling XXXIb.

3.1 Afvoerverdeling Rijntakken (splitsingspunten)

Rondom de afvoerverdeling hoogwater van de Rijn geldt de beleidslijn 'Lek Ontzien'. Daarbij wordt uitgegaan van een realistische (fysiek verwachte) werking van de regelwerken bij hoge rivierafvoeren en het maximale regelbereik. Ontwikkelingen binnen RvdR 2.0 kunnen op termijn leiden tot herijking van de huidige beleidslijn zoals hieronder vastgelegd.

Besluit:

Voor verschillende zichtjaren worden de volgende instellingen van het regelwerk vastgesteld:

- *Zichtjaar 2035: Lek wordt ontzien bij 16.000m³/s*
- *Zichtjaar 2075 en 2125: Lek wordt ontzien bij 17.000m³/s*

3.2 Systeemwerking

Als een primaire waterkering overloopt, achterloops raakt of doorbreekt, zal een deel van het rivierwater het gebied achter de dijk inlopen. De rivierafvoer neemt daardoor af, waardoor de belastingen in het benedenstrooms gelegen gebied lager worden. Er is dan sprake van positieve (gunstige) systeemwerking. Negatieve systeemwerking bestaat ook als het water vanuit het ene systeem naar het andere systeem stroomt met als gevolg toename van de waterstanden. Bijvoorbeeld als de belastingen op de Maas toenemen door een dijkdoorbraak van de Heerewaardense Afsluitdijk langs de Waal.

Besluit:

- *Voor bepalen van hydraulische belastingen langs de Rijntakken wordt zowel positieve als negatieve systeemwerking binnen Nederland niet meegenomen.*
- *Voor de Maas worden twee hydraulische databases beschikbaar gesteld, één voor de Maasvallei en één voor de Brabantse/Gelderse Maas.*
 - *Binnen de Maasvallei wordt voor het bepalen van hydraulische belastingen geen rekening gehouden met systeemwerking binnen Nederland.*
 - *Voor de Brabantse/Gelderse Maas wordt voor het bepalen van hydraulische belastingen wel rekening gehouden met positieve systeemwerking binnen de Nederlandse Maasvallei. Dit betekent in de praktijk dat bij extremere afvoeren het overlopen van de waterkeringen in de Maasvallei wordt meegenomen.*
- *Systeemwerking in het buitenland wordt wel meegenomen in het afleiden van de statistiek (kans van optreden afvoer) bij de grens, middels GRADE.*
- *Voor bepaling van de hydraulische belastingen van de Rijn worden de actuele dijkhoogtes in Duitsland meegenomen voor zowel het beoordelen als het ontwerpen. Het ophogen van de Duitse dijken en het meenemen van noodmaatregelen wordt hierin niet meegenomen. Het effect van noodmaatregelen (het leggen van zandzakken) wordt meegenomen binnen de onzekerheid.*

- *Door meenemen van onzekerheden neemt de kans op extreme afvoeren toe, echter kan dit er ook toe leiden dat afvoeren groter worden dan fysisch realistisch is. Om te voorkomen dat er voor het beoordelen en ontwerpen van waterkeringen met te hoge afvoeren wordt gewerkt wordt de afvoer op de Rijn afgetopt op 18.000 m³/s.*

3.3 Inzet van bergings- of afvoermaatregelen

Beleidsrandvoorwaarden conform omgevingsregeling Bijlage XXXIIb 3.3.

In de bijlage is specifiek voor het Volkerak-Zoommeer een onderzoeksvraag gedefinieerd naar de inzet van het Volkerak-Zoommeer als waterberging.

3.4 Bodemligging watersysteem

Het afleiden van de hydraulische belastingen gebeurt op basis van een schematisering van de bodem van de watersystemen.

Besluit:

De meest actuele bodemligging wordt als randvoorwaarde gehanteerd bij de bepaling van de hydraulische belastingen, (morfologische) veranderingen in de tijd worden niet meegenomen.

Het bodemhoogtemodel is gebaseerd op de meest recente gegevens van het zomerbed en de uiterwaarden (2018), aangevuld met maatregelen die voor 2023 zijn uitgevoerd en maatregelen waarvoor vóór 1 januari 2022 een MIRT-projectbesluit (fase 3) is genomen en die vóór 2035 zijn gerealiseerd.

Het meenemen van deze en eventuele andere voorziene maatregelen in het systeem dienen vastgelegd en afgestemd te worden met DGWB.

3.5 Grenzen van het winterbed

Voor de begrenzing van het winterbed wordt uitgegaan van de fysische begrenzing van het winterbed van de rivieren, ook als deze afwijkt van de begrenzing die in de legger waterstaatswerken staat.

Besluit:

Modelbegrenzingsen moeten zodanig worden gekozen dat ze aansluiten bij de fysieke werkelijkheid. Modelbegrenzingsen mogen de juiste afleiding van hydraulische belastingen in het systeem niet belemmeren, zelfs als de modelbegrenzingsen afwijken van de begrenzing zoals vastgelegd in de legger waterstaatswerken en/of de BGR.

3.6 Vegetatie

Besluit:

Bij de bepaling van de hydraulische belastingen wordt uitgegaan van de vegetatielegger (2020), waarin de vergunde natuur is vastgelegd. Veranderingen in de vegetatie in de tijd worden niet standaard meegenomen bij het beoordelen en ontwerpen, tenzij dergelijke wijzigingen expliciet zijn afgestemd met DGWB.

3.7 Toestroming zijrivieren

Beleidsrandvoorwaarden conform omgevingsregeling Bijlage XXXIIb 3.7.

3.8 Meerpeilstatistiek

Er wordt uitgegaan van de peilbesluiten op de peildatum.

Besluit:

Specifiek voor het IJsselmeer en Markermeer is de randvoorwaarde geen stijging van het winterpeil tot het jaar 2050.

Conform het NWP 2022-2027 is er de optie om het winterpeil van zowel het IJsselmeer als het Markermeer na 2050 met maximaal 30 centimeter te laten stijgen. Dit om waterafvoer naar de Waddenzee veilig te stellen, ook als de zeespiegel stijgt. Het besluit over het wanneer en hoeveel het winterpeil te laten stijgen is nog niet genomen.

Voor de waterveiligheid dient als randvoorwaarde aangehouden te worden dat in de periode na 2050 rekening moet worden gehouden met een winterpeilstijging van het IJsselmeer en Markermeer van 30 centimeter, met een tempo van 1 cm per jaar.

3.9 Voorliggende waterkeringen

Beleidsrandvoorwaarden conform omgevingsregeling Bijlage XXXIIb 3.9.

3.10 Diefdijk

Beleidsrandvoorwaarden conform omgevingsregeling Bijlage XXXIIb 3.10.

3.11 Voorlanden

Beleidsrandvoorwaarden conform omgevingsregeling Bijlage XXXIIb 3.11.

3.12 Klimaatscenario's

Scenario's

Vanuit het KNMI zijn er drie klimaatscenario's gepubliceerd, klimaatscenario's laag (SSP1-2.6), midden (SSP2-4.5) en hoog (SSP5-8.5). Deze scenario's zijn uitgewerkt voor de jaren 2050, 2100 en 2150. De scenario's zijn opgebouwd uit Shared Socioeconomic Pathways (SSP) als verhaallijnen die verschillende mogelijke ontwikkelpaden van de wereld beschrijven. Deze SSP's zijn vervolgens gekoppeld aan CO₂-emissiescenario's met mitigerende maatregelen om CO₂ uitstoot te voorkomen.¹⁰

Vanwege de onzekerheden binnen de drie geschetste scenario's is er voor de zeespiegelstijging per scenario niet één uitkomst maar bestaat dit uit een bandbreedte. Binnen deze bandbreedte moet een keuze worden gemaakt over de gewenste mate van conservatisme. Deze keuze is mede afhankelijk van de mate van risicoaversie, doelmatigheid en type toepassing.

Wanneer de scenario's worden vergeleken met de doelstellingen uit het Parijsakkoord dan liggen alle scenario's qua uitstoot en effecten op zeespiegelstijging boven het Parijsakkoord. Het lage scenario SSP1-2.6 is dan wel het laagste klimaatscenario maar ligt nog wel boven de ambities uit het Parijsakkoord.

Toepassing

Bij de toepassing van de klimaatscenario's is er een belangrijk onderscheid tussen beleidsstudies, systeemverkenningen/systeeminterventies en de verificatie van een

¹⁰ KNMI National Climate Scenarios 2023 for the Netherlands

ontwerp. Deze randvoorwaarde richt zich specifiek op de keuze voor de verificatie van een ontwerp, bijvoorbeeld binnen een HWBP-project, waarbij wordt getoetst of een ontwerp voldoet aan de geldende waterveiligheidsnormen. Voor deze toetsing is een richtinggevende keuze over het te hanteren klimaatscenario nodig.

Een project waarbij een ontwerp wordt opgesteld kan geïnitieerd worden vanuit:

- Het niet voldoen aan de waterveiligheidsnormen. Dijken, dammen, duinen en kunstwerken die niet voldoen aan de norm moeten worden versterkt, zodat zij uiterlijk in 2050 aan de waterveiligheidsnorm voldoen;
- Vernieuwing & Renovatie. Onderdelen van de waterkering (kunstwerken, bekledingen) kunnen aan het einde van hun levensduur toe zijn aan renovatie. Deze renovatieontwerpen dienen ook aan de waterveiligheidsnormen te voldoen;
- Afschatten van benodigde zandsuppleties op de langere termijn voor kustbeleid.

Keuze klimaatscenario voor ontwerpverificatie

Voor de verificatie van ontwerpen wordt geadviseerd een defensief-ambitieuw scenario te hanteren, gericht op het Parijsakkoord. Dit om enerzijds ambitieus te zijn richting het Parijsakkoord, maar ook defensief om te voorkomen dat er te snel teruggekomen moet worden voor aanvullende versterkingen.

Op basis hiervan wordt geadviseerd het scenario SSP2-4.5 te hanteren.

Het hogere scenario SSP5-8.5 wordt als zeer conservatief beschouwd qua uitgangspunten en ligt het verst af van alle Parijsafspraken. Toepassing hiervan kan leiden tot ondoelmatige investeringen.

Het lagere scenario SSP1-2.6 ligt het dichtst bij de afspraken uit Parijs, maar is mogelijk te optimistisch vanwege het risico op te vroeg terug moeten komen qua investeringen.

Het Expertise Netwerk Waterveiligheid (ENW) adviseert op basis van economische argumenten uit te gaan van een midden tempo van het effect van klimaatverandering bij de keuze van klimaatscenario's voor ontwerpverificatie. Het klimaatscenario SSP2-4.5 sluit het beste aan bij dit advies.¹¹

Zeespiegelstijging

Het KNMI geeft bij de zeespiegelstijgingsscenario's bandbreedtes mee. Het IPCC hanteert een betrouwbaarheidsinterval van 17-83%, hetgeen betekent dat, gegeven het SSP2-4.5 scenario, er 66% kans is dat de zeespiegelstijging binnen deze bandbreedte valt.

Voor het ontwerpen van waterkeringen wordt geadviseerd bij het IPCC aan te sluiten en de 83%-waarde te hanteren. Met deze keuze blijft de verwachte zeespiegelstijging vergelijkbaar met de huidige zeespiegelstijging die wordt gehanteerd bij het ontwerpen van waterkeringen op basis van KNMI'06, waardoor geen trendbreuk ontstaat in de gehanteerde mate van zeespiegelstijging bij het ontwerpen van waterkeringen.

¹¹ ENW, 2025 Omgaan met klimaatverandering in de hydraulische ontwerpbelastingen voor waterkeringen, Advies nummer 25-05 van 11 juni 2025

Rivierafvoeren

Binnen de klimaatscenario's voor rivierafvoeren is geen bandbreedte beschikbaar en is dus geen aanvullend besluit nodig. Vanwege de complexiteit van de berekeningen kon geen bandbreedte per scenario worden bepaald. Per scenario wordt daarom één representatieve waarde geleverd. Voor de verificatie van ontwerpen wordt het resultaat uit het klimaatscenario SSP2-4.5 gehanteerd.

Unieke en complexe versterkingen

Voor unieke of complexe versterkingen, zoals stormvloedkeringen, grote kunstwerken en funderingen van kunstwerken, wordt geadviseerd om binnen het project maatwerk toe te passen bij de keuzes over robuustheid en het te hanteren klimaatscenario. Dit maatwerk is belangrijk omdat aanpassingen aan dergelijke constructies gedurende de levensduur moeilijk uitvoerbaar zijn. Deze projecten zijn van een zodanige aard en schaal dat generieke uitgangspunten onvoldoende recht doen aan de specifieke omstandigheden. Het is daarom noodzakelijk om per project een projectspecifieke afweging te maken ten aanzien van het meest geschikte klimaatscenario.

Nadere inhoudelijke duiding beleidsmatige randvoorwaarden

3.1 Afvoerverdeling Rijntakken (Splitsingspunten)

Voor de afvoerverdeling Rijntakken en de invulling van de beleidslijn 'Lek ontzien' worden voor de zichtjaren, 2035, 2075 en 2125 verschillende uitgangspunten gehanteerd. Deze beschikbare instellingen van regelwerk zijn "vast 16.000, vast 17.000 en vast 18.000". Vast 16.000 is conform de huidige situatie, bij een afvoer van 16.000 m³/s bij Lobith worden Nederrijn en Lek ontzien. Bij vast 17.000 wordt de Nederrijn ontzien bij 17.000 m³/s. Bij vast 18.000 dient de Nederrijn te worden ontzien bij 18.000 m³/s, echter kunnen de huidige regelwerken hier niet in voorzien en gaat er te weinig water over de Waal en meer over de Nederrijn/Lek en de IJssel. Bij een afvoer van 18.000 m³/s bij Lobith kan het huidige regelwerk de Nederrijn/Lek dus niet volledig ontzien. Het maximale bereik waarop het regelwerk kan sturen is onzeker en ligt ergens tussen de 17.000 en 18.000 m³/s. Vanwege deze onzekerheid wordt de vast 18.000 verder niet gehanteerd.

Op basis van de keuze voor het klimaatscenario binnen het ontwerpen van waterkeringen wordt gekozen voor:

- Zichtjaar 2035: Lek ontzien bij 16.000m³/s
- Zichtjaar 2075 en 2125: Lek ontzien bij 17.000m³/s

Binnen RvdR 2.0 wordt nader onderzoek (zoals aanbevolen in ENW advies Toekomst beleid 'Lek ontzien'¹²) gedaan naar de bodemligging, afvoercapaciteit en afvoerverdeling. Resultaten uit dat traject kunnen er toe leiden dat de invulling van beleidslijn 'Lek ontzien' moet worden aangepast.

3.2 Systeemwerking

Systeemwerking Rijn

Voor bepaling van de hydraulische belastingen op de Rijntakken wordt momenteel geen rekening gehouden met systeemwerking binnen Nederland omdat de normdifferentiatie over het algemeen gezien niet groter is dan een factor 30 én er géén significant effect te verwachten is. Uitgangspunt bij het bepalen van

¹² ENW, 2021 Toekomst van het beleid 'Lek ontzien', Advies nummer r 21-04 van 27 juli 2021

hydraulische belastingen langs de Rijntakken is dan ook dat systeemwerking binnen Nederland (zowel positief als negatief) niet wordt meegenomen.

Systeemwerking Maas

Langs de Maas is de normdifferentiatie groter. De normen van de dijken in Limburgse Maasvallei (1:100, 1:300, 1:1000) zijn immers ten opzichte van die in Noord-Brabant en Gelderland (1:3.000, 1:30.000), aanzienlijk minder streng. Dat betekent dat bij hoge afvoeren, relevant voor de Gelderse en Noord-Brabantse dijken, de Limburgse dijktrajecten zullen overstromen en daarmee de afvoergolf beïnvloeden. Voor de bepaling van de hydraulische belastingen voor de Gelderse en Noord-Brabantse dijken betekent dit dat we de binnenlandse systeemwerking langs de Maasvallei wél meenemen. Concreet betekent dit dat de Limburgse dijken de aanwezige dijkhoogten (zichtjaar 2075) worden meegenomen (inclusief aansluitingen hoge gronden) en dus instromen bij hogere afvoeren.

Binnen de Limburgse Maasvallei wordt géén rekening gehouden met deze systeemwerking. Dat betekent dat de dijken in de Limburgse Maas, ten behoeve van de bepaling van de hydraulische belastingen voor de Limburgse dijken, niet overstroombaar worden verondersteld.

Bovenstaande keuze leidt er toe dat er voor de Maas twee hydraulische databases beschikbaar komen, één voor de Brabantse/Gelderse Maas waarin positieve systeemwerking in de Maasvallei is meegenomen en één voor de Maasvallei waarin geen positieve systeemwerking is meegenomen.

Systeemwerking buitenland

Voor systeemwerking in het buitenland wordt momenteel rekening gehouden met zowel overstromingen in Duitsland als België.

Voor de Rijn in Duitsland overstromen bij extreme afvoeren keringen in Duitsland, een deel van de rivierafvoer zal Nederland daardoor niet bereiken en resulteren in lagere afvoeren die richting Nederland stromen. In het laatste deel van de Rijn in Duitsland, vanaf Wesel, kan in extreme situaties ook nog rivierafvoer over de keringen stromen. Dit water kan via dijkkring 42 en/of 48 Nederland bereiken. Dit effect wordt meegenomen door de actuele dijkhoogtes mee te nemen in de modellen. De actuele dijkhoogtes in Duitsland gelden zowel voor het bepalen van de belastingen in het beoordelen en ontwerpen, ophogen van de Duitse dijken wordt hierin niet meegenomen.

Door meenemen van onzekerheden neemt de kans op extreme afvoeren toe, echter kan dit er ook toe leiden dat afvoeren groter worden dan fysisch realistisch is. Om te voorkomen dat er voor het beoordelen en ontwerpen van waterkeringen met te hoge afvoeren wordt gewerkt wordt de afvoer op de Rijn afgetopt op 18.000 m³/s.

Voor de Maas in België wordt de systeemwerking in Wallonië wel meegenomen en in Vlaanderen, vanwege verwachte en geplande noodmaatregelen, niet.

3.3 Inzet van bergings- of afvoermaatregelen

Voor het Volkerak-Zoommeer is de keuze voor inzet van de waterberging afhankelijk van de Maeslantkering en de optredende waterstand bij Rak Noord (nabij Willemstad).

Bij een gesloten Maeslantkering en een verwachte waterstand van +2,6mNAP bij Rak Noord wordt overgegaan tot inzet waterberging VZM. Daarbij is verondersteld dat de kans op het optreden van een waterstand van +2,6 m NAP bij een geopende Maeslantkering verwaarloosbaar klein is; om die reden wordt de situatie met een geopende kering buiten beschouwing gelaten. In het inzetprotocol is een inzetfrequentie opgenomen van eenmaal per 1.430 jaar (2016) en eenmaal per 500 jaar in 2050.

De actuele hydraulische belastingen, inclusief bijbehorende onzekerheden, tonen echter aan dat de kans op het optreden van een waterstand van +2,6 m NAP bij een geopende Maeslantkering niet verwaarloosbaar is. Daarnaast blijken de inzetfrequenties in zowel de huidige situatie als de prognose voor 2050 aanzienlijk hoger te liggen dan de waarden die momenteel in het inzetprotocol zijn opgenomen.

De vraag die hierbij speelt is of deze nieuwste inzichten acceptabel zijn voor de inzet van het VZM. Dit vraagt om de ontwikkeling van een nieuwe beleidsvisie. De uitkomsten hiervan kunnen aanleiding geven tot een herziening van de huidige inzetstrategie van de waterberging in het Volkerak-Zoommeer.

3.4 Bodemligging watersysteem

Het zomerbed van de bovenrivieren verandert regelmatig door maatregelen, baggerwerkzaamheden en natuurlijke processen als erosie en sedimentatie. Het uitgangspunt is daarom om voor het BOI 2023 dezelfde methode te hanteren als voor het WBI2017. Dit betekent dat op basis van het meest recente bodemhoogtemodel van zomerbed en uiterwaarden (2018), aangevuld met maatregelen die voor 2023 zijn uitgevoerd en de maatregelen waarvoor voor 1 januari 2022 een MIRT-projectbesluit is genomen en die voor 2035 zijn uitgevoerd. De resulterende bodem die we dan gebruiken zal de beste schatting zijn van de bodem die er in 2035 ligt. Trends in bodemligging worden niet meegenomen voor de verdere zichtjaren. Voor het afleiden van de belastingen voor het OI kunnen in theorie maatregelen (met status en significant effect) worden meegenomen die na 2035 worden uitgevoerd. Uit de watersysteemgroepen Rijntakken en Maas zijn géén nieuwe projecten naar voren gekomen die een aanpassing van de WBI schematisatie rechtvaardigen.

Dat betekent dat als maatregelen niet zijn meegenomen bij het afleiden van de hydraulische belastingen, beheerders zelf moeten inschatten op welke (MIRT-) besluiten men al wil anticiperen en vervolgens deze aanpassingen doorvoeren en eigen ontwerpbelastingen afleiden.

3.5 Grenzen van het winterbed

Geen aanvullende toelichting.

3.6 Vegetatie

Rijn: Voor vegetatie geldt dat de definitief vastgestelde vegetatielegger 2020 tijdens de bouw van het beno-model nog niet beschikbaar was. Voor de vegetatie is daarom een tussenversie van de concept vegetatielegger 2020 (Kosters, 2022), zoals opgenomen in de baseline-maatregel rt_leg20_a1, gebruikt als basis voor de interventiewaarde.

Maas: Voor vegetatie geldt dat de definitief vastgestelde vegetatielegger 2020 tijdens de bouw van het beno-model nog niet beschikbaar was. Voor de vegetatie is daarom een tussenversie van de concept van de vegetatielegger 2020 (Van der Deijl et al., 2021), zoals opgenomen in de baseline-maatregel rt_leg20_a1, is gebruikt als basis voor de interventiewaarde.

3.7 Toestroming zijrivieren

Geen aanvullende toelichting.

3.8 Meerpeilstatistiek

Geen aanvullende toelichting.

3.9 Voorliggende waterkeringen

Geen aanvullende toelichting.

3.10 Diefdijk

Geen aanvullende toelichting.

3.11 Voorlanden

Geen aanvullende toelichting.

3.12 Klimaatscenario's

Geen aanvullende toelichting.

Bijlage B - Keuze klimaatscenario voor dijkontwerpen in BOI

Keuze klimaatscenario voor dijkontwerpen in BOI

Van: Robert Vos en Niek van Sleen

Dd: 29-06-2026

Definitief¹

1. Samenvatting

In deze memo wordt een keuze voor het klimaatscenario voor dijkontwerpen in BOI-2023 beargumenteerd. Voor dijkontwerpen werd in het verleden (OI2014v4) een bandbreedte van 2 scenario's voorgesteld (te weten W+ en G uit KNMI'06) die in een gevoeligheidsanalyse beiden dienden te worden bekeken door de dijkbeheerder (MinVenW, 2016). In het instrumentarium werden ook beide klimaatscenario's beschikbaar gesteld (Smale, 2018). W+ uit KNMI'06 was de basiskeuze voor een ontwerp en G was geschikt voor een meer adaptief dijkontwerp. In de praktijk hebben de HWBP-projecten zich vrijwel allemaal beperkt tot het hoge W+ scenario zonder de bandbreedte daadwerkelijk te onderzoeken. Er was dus feitelijk sprake van maar 1 vrij hoge waarde voor de klimaattoeslag op zeespiegelstijging en maatgevende rivierafvoer.

Omdat een keuze voor W+ kan leiden tot over-dimensioneren is voor het BOI2023 gezocht naar een aanpak waarbij 1 *passend* klimaatscenario voor dijkontwerpen wordt voorgeschreven. Een geschikte aanpak hiervoor werd gevonden in een ENW-advies (2019), wat recent door het ENW is genuanceerd en getoetst aan KNMI'23 (ENW,2025). Deze ENW-adviezen refereren aan het zgn. "midentempo", oftewel de verwachte klimaatverandering in de toekomst in zeespiegelstijging en maatgevende rivierafvoer.

We merken daarbij op dat het IPCC en het KNMI vinden dat niet van een kansverwachting van scenario's kan worden gesproken. Daarom adviseren beiden het gebruik van tenminste 2 scenario's om de mogelijke toekomst te verkennen². Het werken met slechts 1 scenario kan het KNMI wel begrijpen vanuit een praktisch doel voor gebruikers en beleidsmakers. Het KNMI adviseert dan te spreken van beleidsscenario's.

Het recente ENW-advies (2025) luidt voor KNMI'23:

- Dijken voor de Kust: het midentempo is het Gematigde scenario M met een 50% percentiel: M-50%;
- Dijken voor Rivieren: GRADE3.1 dekt de volledige bandbreedte van het klimaatsignaal onvoldoende af, mede omdat slechts natte klimaatscenario's; die vooral zijn gemaakt voor waterveiligheid; zijn doorgerekend. Hierdoor is het volgens het ENW nu niet mogelijk om het midentempo aan te wijzen. Er is volgens ENW een nadere multidisciplinaire analyse nodig van onzekerheden om de bandbreedte in beeld te krijgen;
- Kunstwerken: verken de bandbreedte (H-M). Nuancering hierbij: voor eenvoudige kunstwerken komt dit neer op M-50% met 100 jaar levensduur uitgezonderd onvervangbare delen waarvoor altijd maatwerk nodig is. Voor complexe kunstwerken is alles maatwerk. Voor kunstwerken aan rivieren geldt hier tevens voorgaande bullet.

Voor rivierafvoeren is een studie naar de "ware" bandbreedte van het klimaatsignaal een groot en complex project wat meerdere jaren zal duren, en ook niet tot een sluitend antwoord hoeft te leiden volgens het KNMI³. Dit komt voor BOI2023 sowieso te laat, daarom is nu een pragmatische aanpak nodig. RWS-WVL adviseert voor BOI-2023 voor rivieren het scenario Mn aan omdat:

1. Dit consistent is met de keuze voor de zee. Voor het overgangsgebied is een consistente aanpak zeer wenselijk;
2. BOI2023 heeft met schattingen van rivierafvoeren (zie deze memo) voor het Ld-scenario een analyse gemaakt van "de bandbreedte van rivierafvoeren" in 2100 zijnde het Hogenatte scenario minus het Lage droge scenario (Hn2100-Ld2100). Op basis hiervan

¹ J. Beersma van KNMI heeft een conceptversie van deze memo gereviewed wat is verwerkt. Daarnaast is er een reactie gekomen van G. Lenderink van KNMI per e-mail waarop in deze memo wordt ingegaan, evenals een opmerking van J. Beersma.

² Het IPCC heeft voor policy-makers de voorkeur voor de zgn. "likely range" die voor zeespiegelstijging is van 17% overschrijdingskans tot 83%. Voor rivierafvoeren kan een percentiel niet worden gegeven en is sprake van zgn. "prikwaarden".

³ Zo stelt J. Beersma (KNMI) dat een stochastische beschrijving van de atmosfeer met betrekking tot neerslag op dit moment nog niet haalbaar is. Dit komt mede door het multi-dimensionale karakter van afvoeren door grote variaties in de ruimte en in de tijd. Ook spreken internationale modellen elkaar nogal eens tegen. Nieuwe modellen met zeer hoge resolutie in de ruimte en tijd, en betere fysica, lijken ook een toename van de neerslag te geven (van Dorland et al., 2023, &5.14 op p.232),

concludeert BOI2023 dat Mn redelijk dicht bij het midden van deze geschatte bandbreedte ligt terwijl Hn duidelijk het hoogste is van alle beschikbare natte en droge scenario's.

KNMI (J.Beersma, pers.comm en G.Leenderink; email) komt tot de conclusie dat zo'n beleidskeuze wellicht een zekere onderschatting is van het middentempo, omdat:

- De bandbreedte die passend is voor een bepaling van het middentempo groter moet zijn omdat onzekerheden voor Hn groter zijn dan voor Ld (de bandbreedte Hn-Ld geeft dus vermoedelijk een onderschatting);
- Nieuwe *pilot*-modellen met hoge resolutie in de ruimte en tijd, en betere fysica, een toename van de neerslag lijken te geven (van Dorland et al., 2023, &5.14 op p.232);

KNMI kan echter op basis van de huidige kennis niet duiden hoeveel deze onderschatting zou kunnen zijn. We merken op dat deze opmerkingen van KNMI niet zullen leiden tot een Hn-scenario ipv een Mn-scenario, wel kan een toeslag op de rivierafvoeren bij Mn worden overwogen. DGWB overweegt inmiddels ook een wat robuustere keuze voor de zeespiegelstijging, nl Mn-83% ipv Mn-50%. DGWB kan in lijn hiermee een toeslag overwegen om mede tegemoet te komen aan de bovenstaande observatie van het KNMI (in deze memo worden hiervoor suggesties gedaan). Een toeslag op rivierafvoeren om aan de observaties van het KNMI tegemoet te komen is echter vrij arbitrair en RWS-WVL adviseert daarom hier voor de rivierafvoeren vanaf te zien.

Een potentiële impact voor zeespiegelstijging en rivierafvoeren van Mn tov de basiskeuze W+ uit het OI2014v4 is gegeven in Bijlage B. Een keuze voor het Mn scenario ipv het W+ scenario leidt tot kleinere klimaattoeslagen voor dijkontwerpen mits geen toeslag aan Mn wordt toegevoegd. In 2085 is het verschil 21cm tussen W+ (70cm) en Mn-50% (49cm). Met toeslag is het verschil tussen Mn (Mn-83%) en W+ nog maar 8cm in 2085.

Voor rivierafvoeren zijn verschillen tussen W+ en Mn in 2085 bij T=10000 jaar voor de Maas 4-5 dm (6dm in 2100) en voor de Waal (tak van de Rijn) 5 dm (6,5dm in 2100). Deze verschillen zijn voor de Waal/Rijn niet volledig toe te schrijven aan de wijziging van het klimaatscenario, maar onder andere ook aan het meenemen van overstromingen in het hydraulische model.

Samenvattend:

- RWS-WVL adviseert voor BOI-2023 aan DGWB ook voor dijkontwerpen langs de rivieren het scenario Mn, net als voor zeespiegelstijging;
- DGWB overweegt inmiddels ook een wat robuustere keuze voor de zeespiegelstijging, namelijk Mn-83% in plaats van Mn-50%. Een toeslag op rivierafvoeren kan tegemoetkomen aan de observatie van KNMI dat Mn mogelijk wat lager is dan een middentempo. KNMI kan dit qua grootte niet duiden en daarom is zo'n toeslag vrij arbitrair. Daarom adviseert RWS-WVL geen toeslag op de rivierafvoeren.

2. Analyse van de bandbreedte en schatting van het middentempo

2.1 Methode

Op basis van meerdere methoden is voor de Maas en de Rijn een bandbreedte gedefinieerd als ($dH_{n2100} - dL_{d2100}$) van het klimaatsignaal geanalyseerd voor $T=100$, $T=1000$ en $T=10.000$ jaar. Vervolgens wordt het middentempo bepaald als het midden van deze bandbreedte.

Het klimaatsignaal van de afvoer (geduid met een d voor het scenario H of M, eg dH of dM) is het klimaateffect op basis van GRADE3.1 resultaten. We werken dit alleen uit voor het jaar 2100 omdat de getallen van 2050 minder vertrouwd worden vanwege kruisende tijdlijnen, en omdat 2150 erg ver in de toekomst ligt.

Er zijn 4 methoden op basis van het Deltares-rapport met korte reeksen (1a, 1b, 2a en 2b), 1 methode met temperatuurschaling van Ld op Hd, en 1 expert-schatting. De methoden zijn:

- I. Schatting van de verhouding $Mn-2100/Ld-2100$ op basis van figuren uit het Deltares rapport, te weten:
 - a) Annual maximum van de rivierafvoer voor Rijn en Maas
 - b) 10-day winter precipitation (voor de Rijn), dan wel daily winter precipitation (voor de Maas beschikbaar)⁴. Merk op dat dit neerslag betreft en geen rivierafvoer en dus minder representatief is als methode a.
- II. Als 1 maar met de verhouding $Hd-2100/Ld-2100$. Voordeel van deze methode is dat alleen droge scenario's worden gecombineerd die in het algemeen beter vergelijkbaar zijn. Nadeel is dat uitkomsten sterker kunnen variëren omdat de klimaatsignalen Hd en Ld beiden klein kunnen zijn (dit zien we met name terug bij a voor de Maas)
- III. Hier zijn afvoeren voor Ld uit Hd voor 2100 geschat middels temperatuurschaling. Voor temperatuurschaling van Hd-afvoeren in 2100 naar Md en Ld gebruiken we Tabel 2.1 uit het KNMI scientific report v2 (van Dorland et al, KNMI, maart 2024):
$$dL_{d2100} = dH_{d2100} * 0,8/4$$
- IV. Tot slot is bandbreedte bepaald met de aanname dat Ld een klimaatsignaal van NUL heeft (zero guess $Ld = 0$). Dit is een expert-inschatting.

In methode 2 en 3 is de input de rivierafvoer voor Hd, deze is echter niet direct beschikbaar in GRADE als hydraulische afvoer maar wel als hydrologische afvoer (zie bijlage A van de GRADE-rapporten gebruikt, Buitink et al., 2025). Deze zijn met schattingen omgewerkt naar hydraulische afvoeren. Voor de Rijn waren er extra gegevens beschikbaar die aangaven dat $Hd_{2100} \sim Mn_{2050}$, en is deze relatie gebruikt omdat hij nauwkeuriger wordt geacht. Voor de Maas zijn de 2 aanpakken vergeleken en bleek dat de eindresultaten zeer vergelijkbaar zijn⁵. Voor uniformiteit wordt hier in deze memo ook uitgegaan van $Hd_{2100} \sim Mn_{2050}$. Details van methoden 1 en 2 worden nader toegelicht in Bijlage A.

Er zijn GRADE-afvoeren zonder onzekerheden gebruikt. Voor de Rijn is het scenario zonder structurele dijkverhogingen in Duitsland gebruikt. De Maas is de afvoer voor Borgharen en de Rijn voor Lobith.

2.2 Resultaten

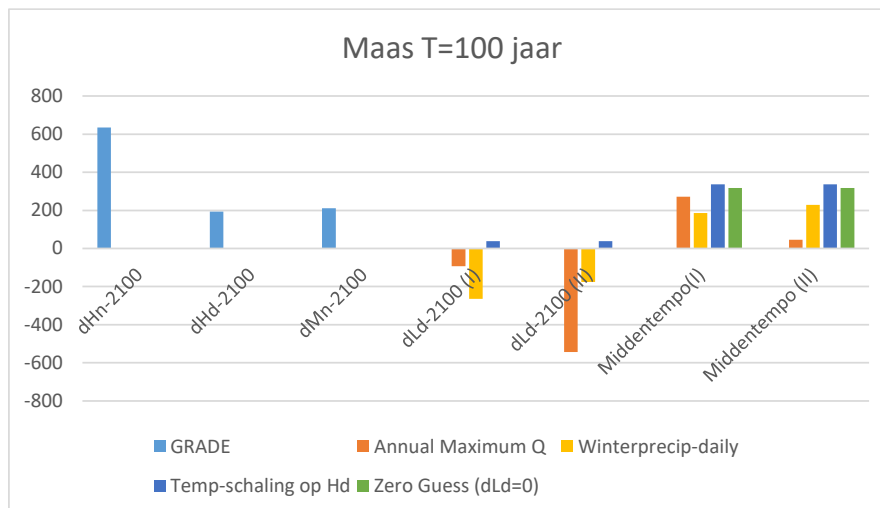
De rivierafvoeren voor het middentempo, zijnde $(dH_n + dL_d)/2$, zijn vergeleken met de GRADE3.1-klimaatsignalen voor rivierafvoeren van H_n en M_n (en schattingen voor Hd) voor 2100, voor $T=100$, 1000 en 10.000 jaar.

In onderstaande figuren zijn gegeven de waarden voor de klimaatsignalen voor H_n-2100 , H_d-2100 , M_n-2100 , en L_d-2100 (obv schattingen) voor Maas (Figuur 1.a-1.c) en Rijn (Figuur 2.a-2.c) voor $T=100$, 1000, en $T=10.000$ jaar. Achteraan de figuur is een schatting van de afvoer bij het middentempo in 2100 gegeven.

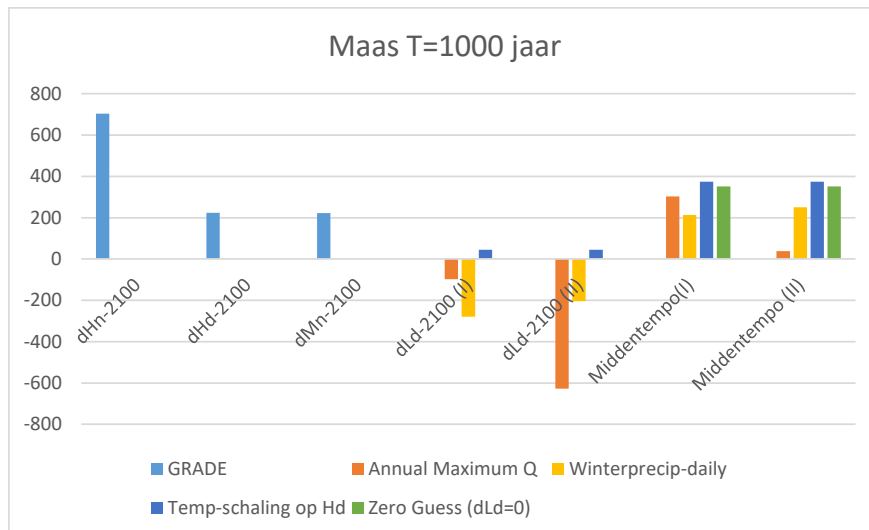
Merk op dat in onderstaande figuren de uitkomst van de methode "zero guess" Ld automatisch nul is (en dus niet zichtbaar is).

⁴ Verschillende aanpakken voor Rijn en Maas komen door een beperkte beschikbaarheid van data in het Deltares-rapport.

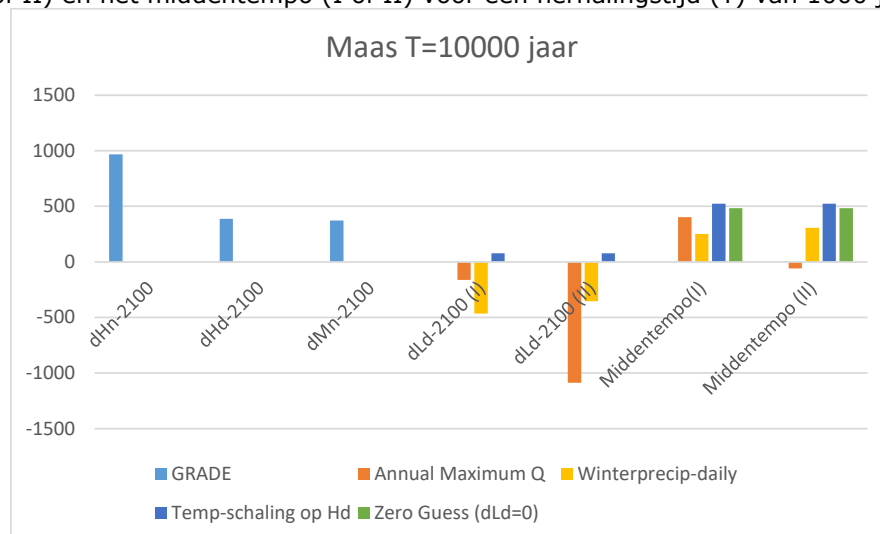
⁵ Voor $T=10.000$ jaar zijn de Maas-afvoeren voor Hd in 2100 met beiden aanpakken vrijwel gelijk. Voor $T=1000$ jaar is er een verschil van ca -20% ($Hd_{2100}=Mn_{2050}$ is lager), en voor $T=100$ jaar is dat verschil 20% ($Hd_{2100}=Mn_{2050}$ is hoger). Verschillen van orde 20% leiden niet tot andere conclusies.



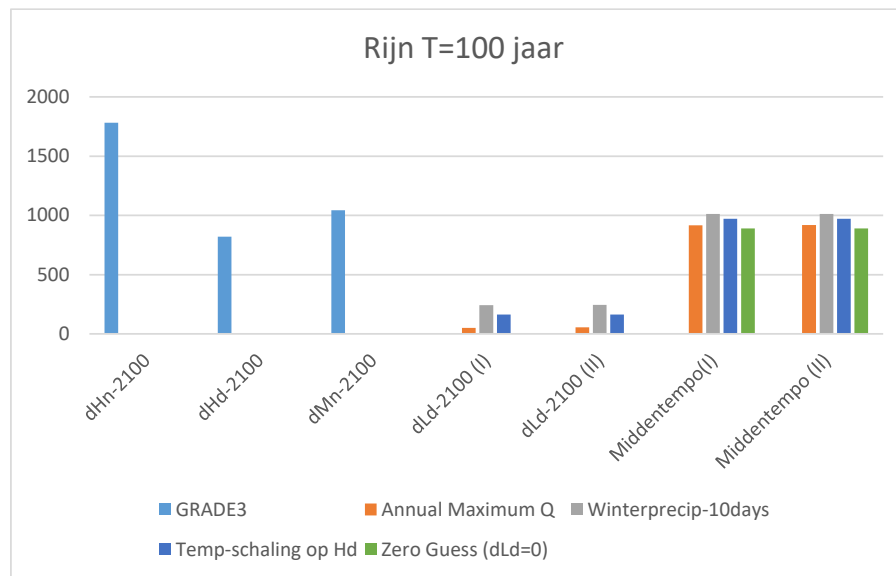
Figuur 1.a. Klimaatsignaal rivierafvoer Maas in 2100 voor Hn-2100, Hd-2100, Mn-2100, Ld-2100 (methode I of II) en het middentempo (I of II) voor een herhalingsjijd (T) van 100 jaar.



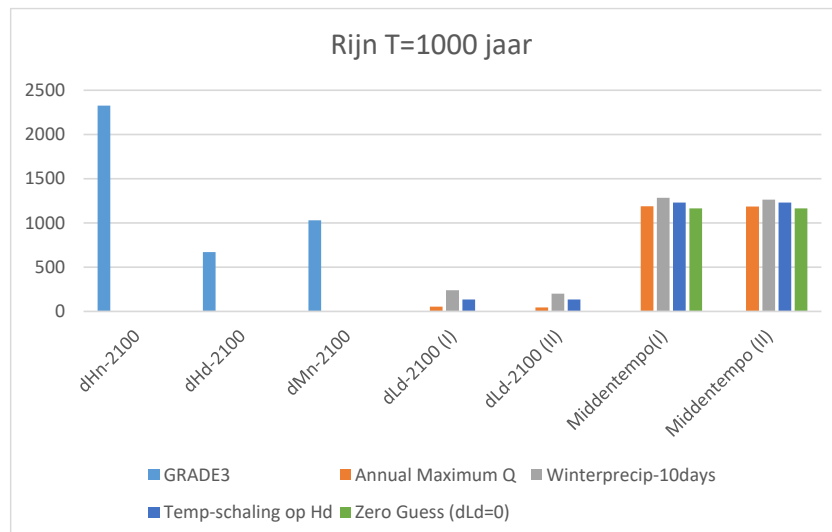
Figuur 1.b Klimaatsignaal rivierafvoer Maas in 2100 voor Hn-2100, Hd-2100, Mn-2100, Ld-2100 (methode I of II) en het middentempo (I of II) voor een herhalingsjijd (T) van 1000 jaar.



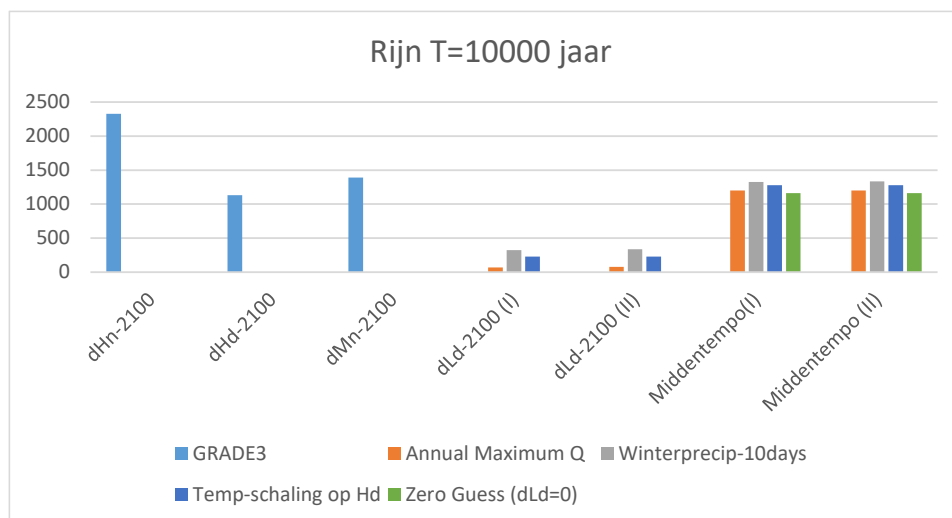
Figuur 1.c Klimaatsignaal rivierafvoer Maas in 2100 voor Hn-2100, Hd-2100, Mn-2100, Ld-2100 (methode I of II) en het middentempo (I of II) voor een herhalingsjijd (T) van 10000 jaar.



Figuur 2.a. Klimaatsignaal rivierafvoer Rijn in 2100 voor Hn-2100, Hd-2100, Mn-2100, Ld-2100 (methode I of II) en het middentempo (I of II) voor een herhalingsjijd (T) van 100 jaar.



Figuur 2.b. Klimaatsignaal rivierafvoer Rijn in 2100 voor Hn-2100, Hd-2100, Mn-2100, Ld-2100 (methode I of II) en het middentempo (I of II) voor een herhalingsjijd (T) van 1000 jaar.



Figuur 2.c. Klimaatsignaal rivierafvoer Rijn in 2100 voor Hn-2100, Hd-2100, Mn-2100, Ld-2100 (methode I of II) en het middentempo (I of II) voor een herhalingsjijd (T) van 10000 jaar.

Voor zowel Maas als Rijn is te zien dat in alle 6 figuren het scenario Mn redelijk in de buurt ligt van het geschatte middentempo (rechtse verticale balken). Het scenario Hn ligt veel hoger.

Getalsmatige uitkomsten voor het middentempo in 2100 zijn gegeven in Tabel 1 (Maas) en Tabel 2 (Rijn). Ook wordt een vergelijk gemaakt met het klimaatsignaal van de riviervoeren van Mn-2100. Voor de Maas wordt methode II-b als onbetrouwbaar gezien omdat daar de berekening gebaseerd is op een verhouding van 2 kleine klimaatsignalen (zie Bijlage A). Deze uitkomsten voor de Maas zijn daarom weggelaten in Tabel 1.

Merk op dat de schattingen onzeker zijn, en dat deze onzekerheid niet precies is in te schatten omdat we niet precies weten hoe representatief het midden van de bandbreedte (Hn-Ld) is voor het "ware" middentempo. Volgens KNMI zal het middentempo wat hoger liggen (zie &2.3). De spreiding (RMSE) in de waarden van het middentempo geeft wel een 1^e indicatie van de onzekerheid. Omdat de spreiding in dMn hier nul is, is de RMSE van het verschil gelijk aan de RMSE in het middentempo. De rms-error (T=10000 jaar) is ruwweg ± 80 m³/s op de Maas bij Borgharen (orde ± 8 cm in waterstand), en ruwweg ± 50 m³/s op de Rijn bij Lobith (orde ± 2 cm in waterstand op de Waal). De spreiding voor de Rijn is kleiner dan voor de Maas wat ook in de Figuren te zien is.

Tabel 1. Klimaatsignaal rivierafvoer van het Middentempo (Mt) en scenario Mn in 2100 voor de Maas.

	Maas-Borgharen 2100	T=100			T=1000			T=10000		
		Midden tempo	dMn	(Mt-dMn)	Midden tempo	dMn	(Mt-dMn)	Midden tempo	dMn	(Mt-dMn)
I-a	Annual Maximum Q	271	211	60	303	223	80	403	372	31
I-b	Winterprecip-daily	186	211	-25	213	223	-10	252	372	-121
II-a	Annual Maximum Q		211			223			372	
II-b	Winterprecip-daily	229	211	18	250	223	27	308	372	-64
III	Temp-schaling op Hd	337	211	126	374	223	151	523	372	151
IV	Zero Guess (dLd=0)	318	211	107	352	223	129	484	372	112
	Gemiddelde	268		57	298		75	394		22
	RMSE	42		42	47		47	80		80

Tabel 2. Klimaatsignaal rivierafvoer van het Middentempo (Mt) en scenario Mn in 2100 voor de Rijn.

	Rijn-Lobith 2100	T=100			T=1000			T=10000		
		Midden tempo	dMn	(Mt-dMn)	Midden tempo	dMn	(Mt-dMn)	Midden tempo	dMn	(Mt-dMn)
I-a	Annual Maximum Q	917	1044	-127	1189	1031	158	1198	1390	-192
I-b	Winterprecip-10 days	1012	1044	-32	1283	1031	252	1325	1390	-65
II-a	Annual Maximum Q	918	1044	-126	1186	1031	155	1201	1390	-189
II-b	Winterprecip-10 days	1013	1044	-31	1264	1031	233	1333	1390	-57
III	Temp-schaling op Hd	973	1044	-71	1230	1031	199	1277	1390	-113
IV	Zero Guess (dLd=0)	891	1044	-154	1164	1031	133	1164	1390	-227
	Gemiddeld	954		-90	1219		188	1250		-140
	RMSE	36		36	29		29	50		50

2.3 Discussie

Voor de Maas ligt dMn *gemiddeld* voor alle 3 herhalingstijden iets onder het middentempo (ca 25-75 m³/s of 2,5cm-7,5cm in waterstand). Voor de Rijn is er een wisselend beeld. Voor Rijn en Maas samen ligt het gemiddelde verschil dMn 4x lager dan het middentempo, en 2x hoger. Voor de 33 losse waarden is dat resp. 17x lager en 16x hoger. Op basis hiervan kan niet gezegd worden dat dMn het middentempo zou onderschatten⁶.

⁶ Ook scenario Hd zou ook nog kunnen worden overwogen. Echter Hd is vooral bedoeld voor droogteproblematiek en niet voor waterveiligheid. Verder is Hd niet volledig uitgewerkt in GRADE (er ontbreken nog veel gegevens), en ligt zij verder van het Middentempo. Hd is daarom geen optie.

KNMI (J.Beersma en G.Leenderink) komt tot de conclusie dat de beleidskeuze voor Mn wellicht een onderschatting is van het middentempo, omdat:

- De bandbreedte die passend is voor een bepaling van het middentempo groter moet zijn omdat onzekerheden voor Hn groter zijn dan voor Ld (de bandbreedte Hn-Ld geeft dus vermoedelijk een onderschatting);
- Nieuwe pilot-modellen met zeer hoge resolutie in de ruimte en tijd, en betere fysica, ook een toename van de neerslag lijken te geven (van Dorland et al., 2023, &5.14 op p.232);

KNMI kan echter niet duiden hoeveel deze onderschatting zou kunnen zijn. Het is daarnaast ook onwaarschijnlijk dat het middentempo, zelfs met een passende toeslag, gelijk zou kunnen zijn aan dHn omdat de fout in dHn dan nl. in de orde van 100% zou moeten zijn.

DGWB overweegt op dit moment nog een wat robuustere keuze voor de zeespiegelstijging als in het ENW-advies (2025), nl Mn-83% ipv Mn-50%. Dit is een toeslag in 2100 van 17cm in de waterstand (77cm om 60cm), dat is relatief ca 25%. In lijn hiermee zou ook een toeslag op de rivierafvoeren kunnen worden gezet om tegemoet te komen aan de observaties van KNMI. Gegeven de uitkomsten van Tabellen 1 en 2 lijkt een toeslag van 25% op het klimaatsignaal te fors, eerder zou passend zijn een toeslag van 10% op het klimaatsignaal van Mn. Echter, de observaties van KNMI betreffen onzekerheden die niet in deze Tabellen worden weergegeven. Een toeslag van 10% is ook niet significant gegeven alle onzekerheden in de schattingen en kan net zo goed worden weggelaten. Een toeslag van 25% is, in lijn met de toeslag voor zeespiegelstijging voorstelbaar maar ook tamelijk arbitrair.

Voor rivierafvoeren is bij T=10000 jaar in 2100 een toeslag van 25% op het klimaatsignaal dMn +100 m3/s op de Maas (+10cm), en + 310 m3/s op de Rijn bij Lobith (ca 9 cm op de Waal). Bij kleinere herhalingscycli is dit minder.

Verschillen van het klimaatsignaal dMn met het hoge scenario dHn zijn voor T=10.000 jaar ca 600 m3/s op de Maas (60cm), en 650 m3/s op de Rijn (20cm op de Waal). Op de Rijn zijn de verschillen 2x groter bij T=1000 jaar omdat de dijken in Duitsland dan nog niet overstromen (ca 1300 m3/s of 40cm op de Waal). Een toeslag van 25% op het klimaatsignaal van Mn is derhalve maar een beperkt deel van het verschil tussen dHn en dMn, en gaat niet leiden tot een rivierafvoer die "effectief" gelijk is aan dHn. DGWB kan een toeslag van 25% op dMn nog overwegen, net zoals een robuustere keuze voor de zeespiegelstijging (Mn-83% vs Mn-50%). Maar zoals boven gesteld is dat een vrij arbitraire keuze waar WVL (en KNMI) geen inhoudelijke onderbouwing voor kan geven.

3. Aanbevelingen

- BOI-2023 adviseert aan DGWB ook voor dijkontwerpen langs de rivieren het scenario Mn, net als voor zeespiegelstijging;
- DGWB overweegt inmiddels ook een wat robuustere keuze voor de zeespiegelstijging, nl Mn-83% ipv Mn-50%. Een toeslag op rivierafvoeren kan tegemoetkomen aan de observatie van KNMI dan Mn mogelijk wat lager is dan een middentempo. KNMI kan dit qua grootte niet duiden en daarom is zo'n toeslag vrij arbitrair. Daarom adviseert RWS-WVL geen toeslag op de rivierafvoeren.

Referenties

MinVenW. Handreiking ontwerpen met overstromingskansen Veiligheidsfactoren en belastingen bij nieuwe overstromingskansen normen. OI2014v4. December 2016.

A.J. Smale. Werkwijzer bepaling hydraulische ontwerprandvoorwaarden Aanvulling OI2014, versie 5. Deltares Rapport 11200575-009. 2018.

ENW. Hoe omgaan met toekomstverwachtingen bij het ontwerpen van waterkeringen? Brief nummer 19-10, 9 december 2019.

ENW. Omgaan met klimaatverandering in de hydraulische ontwerpbelastingen voor waterkeringen Advies nummer 25-05, 11 juni 2025.

J. Buitink et al. Implications of the KNMI'23 climate scenarios for the discharge of the Rhine and Meuse. 11209265-002-ZWS-0003, 7 December 2023.

J. Buitink et al., Implications of the KNMI'23 climate scenarios for the extreme discharge statistics of the Meuse. Deltares rapport 11210368-006-ZWS-0002. Final Version. April 2025.

J. Buitink et al., Implications of the KNMI'23 climate scenarios for the extreme discharge statistics of the Rhine. Deltares rapport. 11210368-006-ZWS-0003. Final version. June 2025.

Van Dorland et al. KNMI National Climate Scenarios 2023 for the Netherlands. De Bilt, 2024 | Scientific report; WR-23-02 (version 2, March 8, 2024).

Bijlage A Methoden met uitkomsten korte reeksen 240 jaar

Er zijn 4 methoden op basis van het Deltares-rapport (2023) met korte reeksen (1a, 1b, 2a en 2b) gebruikt. De methoden zijn:

1. Schatting van de verhouding Mn-2100/Ld-2100 op basis van figuren uit het Deltares rapport, te weten:
 - a) Annual maximum van de rivierafvoer voor Rijn en Maas
 - b) 10-day winter precipitation (voor de Rijn), dan wel daily winter precipitation (voor de Maas beschikbaar)⁷
2. Als 1 maar met de verhouding Hd-2100/Ld-2100. Voordeel van deze methode is dat alleen droge sceanrio's worden gecombineerd die iha beter vergelijkbaar zijn. Nadeel is dat uitkomsten sterker kunnen variëren omdat de klimaatsignalen Hd en Ld beiden klein kunnen zijn (dit zien we met name terug bij a voor de Maas)

Hoe werkt dit?

Op basis van figuren uit het Deltares-rapport (2023) worden klimaatsignalen voor de boven gegeven parameters geschat. Voor elke parameter wordt de gemiddelde waarde uit de box-plot gebruikt. Voor bv. het annual maximum op de Maas (Figuur 6-14-rechts uit het GRADE Maasrapport van Buitink et al., 2025) volgt $dMn = 160 \text{ m}^3/\text{s}$ en $dLd = -70 \text{ m}^3/\text{s}$. Hiermee wordt in methode 1a een verhouding R bepaald van $R = dMn/dLd = 160/-70 = -2,29$. Merk op dat deze verhouding R niet afhangt van een herhalingsstijd⁸ en dat hier een belangrijke aanname gemaakt wordt.

Met deze verhouding R wordt nu de GRADE afvoer voor Ld berekend uit de GRADE afvoer voor Mn. Dit is wel afhankelijk van herhalingsstijd T en volgt uit:

$$dLd_{\text{GRADE}}(T) = R dMn_{\text{GRADE}}(T)$$

Er zijn GRADE-afvoeren zonder onzekerheden gebruikt. Voor de Rijn is het scenario zonder structurele dijkverhogingen in Duitsland gebruikt. De Maas is de afvoer voor Borgharen en de Rijn voor Lobith.

In methode 2a) wordt de verhouding $R = dHd/dLd$ gebruikt. Voor de Maas volgt $R = 25/-70 = -0,36$. Dit geeft onbetrouwbare schattingen omdat in dit geval dHd voor het annual maximum in absolute zin kleiner is dan dLd, terwijl dHd uit GRADE veel groter moet zijn dLd uit GRADE. In dit geval werkt deze aanpak niet en daarom zijn deze resultaten zijn niet meegenomen in Tabel 1. Dit is het enige geval waarin dit probleem zich voordoet. Voor de Rijn is deze methode wel toegepast.

⁷ Verschillende aanpakken voor Rijn en Maas komen door een beperkte beschikbaarheid van data in het Deltares-rapport.

⁸ De gemiddelde waarde voor de Referentie op de Maas is 1570 m³/s en komt ca 1x per 2 jaar voor. De 25-75% range is ca 1200-1900 m³/s en is van 1x per jaar tot 1x per 5 jaar.

Bijlage B Verschil Mn KNMI'23 scenario met W+ scenario uit KNMI'06 voor zeespiegelstijging en rivierafvoeren

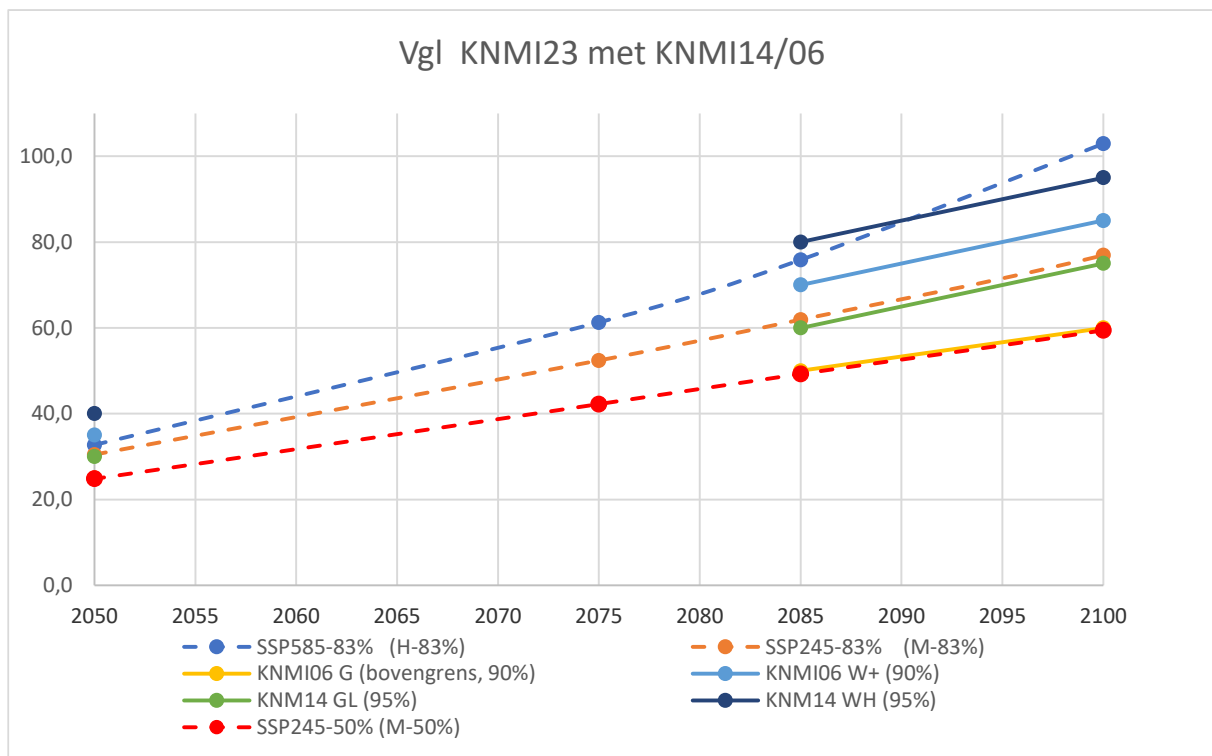
In deze bijlage analyseren we de impact voor dijkontwerpen (in 2085 en 2100) tussen Mn uit KNMI'23 en W+ uit KNMI'06 (de basiskeuze in het OI2014v4).

Zeespiegelstijging (ZSS)

Bronnen:

- R.J. Vos. Toepassen van de KNMI23 scenario's voor Zeespiegelstijging voor dijken en kunstwerken. RWS-WVL memo 29-11-23
- D. Le Bars, KNMI. Csv-datafiles ZSS KNMI'23.

In Figuur B.1 is een vergelijking gemaakt tussen ZSS voor KNMI'23, KNMI'06 en KNMI'14. Stippellijnen betreffen KNMI'23. Merk op dat een M scenario dezelfde RCP heeft (RCP2.45) als een G-scenario van KNMI06/14. Idem voor H en W+ (RCP5.85). Scenario's met eenzelfde RCP zijn vergelijkbaar zolang ook de percentielen overeenkomen. In de figuur zijn ook de percentielen gegeven.



Figuur B.1. Vergelijking klimaattoeslagen. Stippellijnen betreffen KNMI'23.

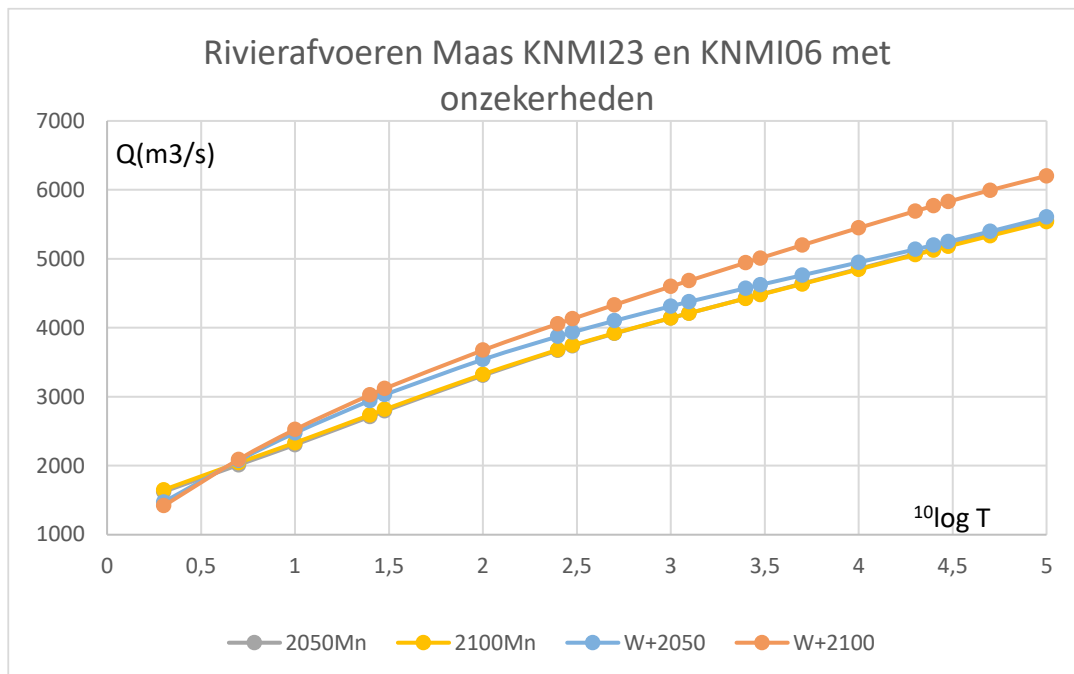
Het voorgestelde scenario M-50% lijkt goed op de bovengrens van KNMI'06-G (90%). M-83% lijkt goed op KNMI'14-GL (95%). Het verschil in 2100 tussen W+ (85cm) en M-50% (59cm) bedraagt 26cm waarbij we het verschil in ZSS van ca 3 cm in het beginjaar vanniet hebben beschouwd (1990 om 2006). Het verschil tussen W+ en M-83% (77cm) bedraagt maar 8cm in 2100. In 2085 is het verschil 21cm tussen W+ (70cm) en Mn-50% (49cm). Het verschil tussen W+ en M-83% (62cm) bedraagt maar ook maar 8cm in 2085. Een toeslag in de vorm van Mn-83% (77cm) ipv Mn-50% (59cm) brengt het Gematigde scenario dicht bij W+ uit KNMI'06 (85cm).

Rivierafvoeren

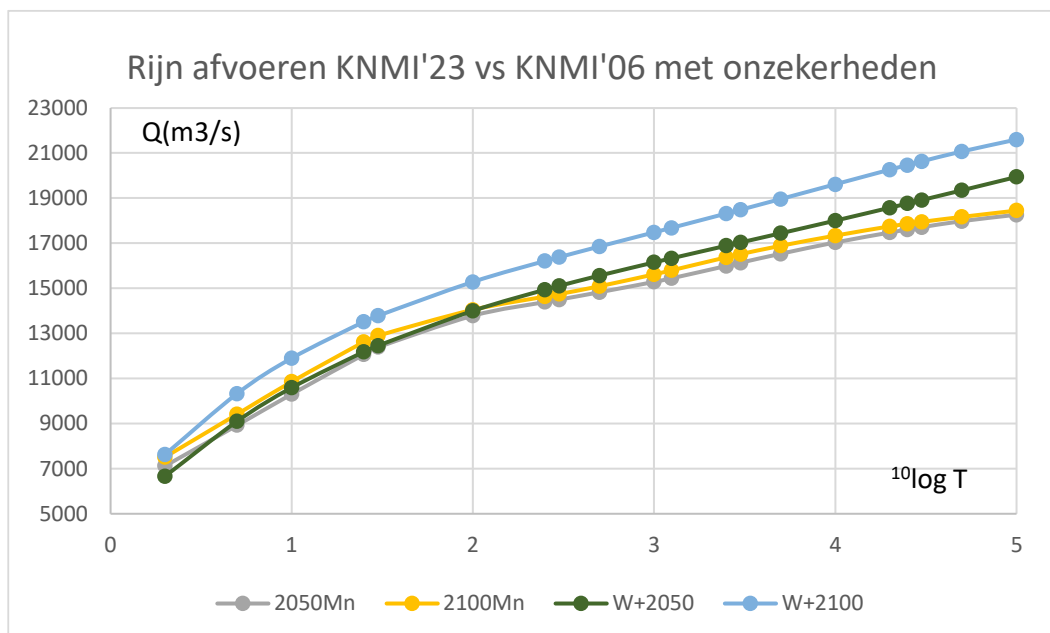
Bronnen:

- Hydra-NL bestanden rivierafvoeren KNMI06 met uitgeïntegreerde onzekerheden
- GRADE rapporten KNMI'23 van Deltares (Buitink et al. 2025).

In Figuren B.2 (Maas) en B.3 (Rijn) is getoond een vergelijking tussen rivierafvoeren voor 2050 en 2100 met resp. het W+ scenario uit KNMI'06 en het Mn-scenario uit KNMI'23. Deze afvoeren zijn incl uitgeintegreerde onzekerheden. Voor de Maas is bovendien het overstromen bij Luik meegenomen in de werklijnen van KNMI'06 (BOI2019-update). Voor de Rijn zijn in de werklijnen voor KNMI'06 noodmaatregelen in Duitsland meegenomen, maar dit is niet zo voor het klimaateffect van KNMI'23⁹ (hier wordt nog aan gewerkt in GRADE).



Figuur B.2 Rivierafvoeren Maas voor KNMI'23 (Mn2050 en Mn2100) vs KNMI'06 ontwerppraktijk (W+-2050 en W+-2100) als functie van de 10-log van de herhalingsjijd T ($4 = 10^4 = 10000$ jaar)



Figuur B.3 Rivierafvoeren Rijn voor KNMI'23 (Mn2050 en Mn2100) vs KNMI'06 ontwerppraktijk (W+-2050 en W+-2100) als functie van de 10-log van de herhalingsjijd T ($4 = 10^4 = 10000$ jaar)

⁹ Voor de referentie van GRADE3.0 zijn wel noodmaatregelen meegenomen die echter nauwelijks effect hebben op deze werklijn.

Het verschil tussen W+ en Mn is in 2100 bij T=10000 jaar 600 m³/s (ca 60 cm) op de Maas, en 2270 m³/s voor de Rijn (ca 65 cm op de Waal). Deze verschillen worden primair veroorzaakt door het lagere klimaatscenario, maar komen op de Rijn ook door verschillen in noodmaatregelen tegen overstromingen. Deze zitten wel in WBI2017/KNMI'06 maar zijn hier nog niet in het klimaatsignaal van KNMI'23 verwerkt (hier wordt door Deltares nog aan gewerkt).

In 2085 zijn verschillen tussen W+ en Mn op de Maas en de Waal orde 4-5 dm. Conclusie is dat de overstap van W+ naar een gematigd scenario Mn in 2085 een behoorlijke verlaging van waterstanden op de grote rivieren geeft. Deze verschillen zijn nog excl. temperatuurschaling van Mn op Hn maar dit heeft in 2085 maar een zeer beperkte invloed.

Voor rivierafvoeren is bij T=10000 jaar in 2100 een toeslag van 25% op dMn op de Maas en Waal ca +10cm. Een kleine robuustheidstoeslag heeft daarom een beperkte invloed op het verschil tussen W+ en Mn (dit in tegenstelling tot tot ZSS hierboven).

Vraag is tenslotte wat een potentieel maximum Rijn-afvoer is bij Lobith, voor het Mn-scenario in 2125 voor T=10000 jaar, incl. onzekerheden en noodmaatregelen. Noodmaatregelen zijn geen structurele dijkverhogingen maar doen minder omdat er gaten zitten in deze verdedigingslinie bij mobiele keringen. Nemen we aan dat noodmaatregelen gelijk zijn aan een 0,5m structurele dijkverhoging dan is dat een conservatieve schatting. Daarnaast is het effect van uitintegreren bij deze scenario's niet bekend maar nemen we aan dat dit 1-op-1 doorwerkt in de afvoeren dan is dit ook een conservatieve schatting. Samen geven deze 2 aannames een bovengrens in de afvoer in 2125 van ca 18500 m³/s. Waarschijnlijker is een maximale afvoer van ca 18000 m³/s. Merk op dat bij een keuze voor Hn dit aanzienlijk hoger zal zijn.

Bijlage C - Uitwerking toepassing KNMI'23 klimaatscenario Gematigd(M) voor BOI2023

Uitwerking toepassing KNMI'23 klimaatscenario Gematigd(M) voor Zeespiegelstijging in BOI2023

Van: Robert Vos, RWS-WVL
Dd: 18-06-2026 (**definitief**)

1. Inleiding

Voor het ontwerpen van dijken in het BOI2023 gaat voor het in rekening brengen van zeespiegelstijging (ZSS), het M(n)-scenario worden gebruikt. Met DGWB is afgesteld dat hiervoor de 83% waarde zal worden gebruikt van M(n)¹. In BOI zal voor het dijkontwerpen gebruik gaan worden gemaakt van de ZSS in 2075 en 2125 tov 2011 (10).

Voor de ZSS tov 2011 wordt voorgesteld 50cm ZSS in 2075 en 105cm ZSS in 2125. Voor de ZSS tov 2035 is dit 7cm minder dan tov 2011. Dit zal nader worden onderbouwd in deze memo.

Het H(n)-scenario kan nog van belang zijn voor complexe en grotere infrastructurele projecten waar maatwerk nodig is, en een overmaat aan ontwerpbelasting nodig is. Hiervoor zijn nog geen ZSS-waarden afgesproken. In RWS-memo (13) wordt hierop nader ingegaan.

De referentie van de KNMI'23 scenario's is het jaar 2006. Het gematigde scenario is gebaseerd op SSP2.45 (met als basis het RCP4.5). Voor BOI2023 is het referentiejaar 2035, het zichtjaar van de wettelijke beoordelingsronde die in 2023 is gestart. Voor de periode 2006-2035 wordt binnen BOI2023 teruggevallen op een schatting van de ZSS op basis van gemeten data (dit is analoog aan WBI2017 voor 1990-2023). Met name is de ZSS op basis van data vereist voor de zichtjaren 2019 en 2035 (tov 2011). Voor invoer in BOI is de ZSS ten opzichte van 2011 nodig voor de modelschematisaties waarmee de databases fysica worden bepaald. Daarnaast is de ZSS ten opzichte van 2035 nodig voor de statistiek. Deze memo geeft de getallen voor de zeespiegelstijging voor deze zichtjaren en referentiejaren, met de onderbouwing.

Deze nota behandelt de volgende vraag:

Wat zijn te hanteren waarden van de ZSS voor het BOI2023? (&2)

In Bijlage 1 is een beste schatting gegeven voor de ZSS in 2035 waarbij gebruik is gemaakt van de meest recente gegevens van de Zeespiegelmonitor. Hiervan zal echter geen gebruik worden gemaakt in BOI om praktische redenen die onder worden toegelicht.

2. Wat is de ZSS voor het M-83% scenario in BOI2023?

In BOI is het zichtjaar van de beoordeling 2035. Voor ontwerpen van dijken is dat voor een zichtduur van 50 jaar 2085. Voor dijkontwerpen worden in BOI de statistiek voor 2075 en 2125 opgenomen waaruit voor andere zichtjaren de dijkopgave kan worden bepaald met interpolatie of extrapolatie. De data van de KNMI'23 scenario's voor Zeespiegelstijging (ZSS) zijn beschikbaar op een speciale internetsite van het KNMI in zgn. .csv files (KNMI, 1).

De hydrodynamische sommen waarmee de databases fysica wordt gemaakt heeft voor de door getij beïnvloede gebieden van Nederland het referentiejaar 2011. Dat is omdat hiervoor het gemiddelde getij op de modelrand is bepaald met het zgn. slotgemiddelde 2011 (9). De KNMI'23 scenario's hebben echter het referentiejaar 2006 (zie Tabel 1). In Tabel 2 is de ZSS volgens KNMI'23 gegeven tov 2011.

In analogie met het WBI2017 wordt voor het BOI2023 de ZSS in 2011 en 2035 gebaseerd op een schatting van de gemeten Zeespiegelstijging (ZSS). Voor dijkontwerpen vanaf 2050 wordt uitgegaan van de ZSS volgens de KNMI'23 scenario's. In meer detail zijn hier de volgende uitgangspunten gekozen:

- De Zeespiegelstijging (ZSS) in een toekomstig zichtjaar na 2035, bv 2085, wordt berekend **tov het jaar 2011** met de KNMI'23 scenario's. De te gebruiken waarden voor ZSS voor dijkontwerpen zijn gebaseerd op het M-83% scenario (M=gematigd en gebaseerd op SSP2.45) tov het jaar 2011. RWS-WVL had in overleg met DGWB voor 2075 en 2125 de zeespiegelstijging voor Mn tov 2011 vastgelegd middels op 5cm afgeronde getallen. Dit betreft 50cm ZSS in 2075 en 105cm ZSS in 2125. Vanwege uitlegbaarheid is later besloten toch de niet afgeronde KNMI'23 getallen te gebruiken tov 2011 voor ontwerpen.
- Het verschil in ZSS over de periode 2006-2011 is daarbij gebaseerd op de gemeten ZSS in die periode. Hierbij wordt voorgesteld om uit te gaan van 3mm/jaar volgens de ZSS die

¹ Dit percentiel komt in KNMI'23 alleen terug bij ZSS maar is niet relevant voor rivierafvoeren.

gebruikt is bij de afleiding van de zeewaterstand-statistiek door het KNMI (7). Dit bedraagt over 5 jaar 1,5cm. De stijgsnelheid in KNMI'23 voor M-83% over de periode 2006-2011 is echter groter, nl 4cm (Tabel 1).

- Doel in het BOI is om **na 2035** de ZSS volgens KNMI'23 in een zichtjaar te gebruiken tov **2011**. De ZSS voor het zichtjaar 2075 tov 2011 volgens KNMI'23 voor M bedraagt 48,6cm ($52,41 - 3,85 = 48,56$). Afgerond is dit 50cm. Voor 2125 is de ZSS tov 2011 volgens KNMI'23 103,4cm, afgerond is dit 105cm.
- De ZSS in 2035 is volgens het KNMI'23 scenario M-83% 14,7 cm tov 2011 (Tabel 2). In het BOI wordt voorgesteld uit te gaan van een gemeten waarde tov 2011 met een stijgsnelheid van 3mm/jaar. Dat is tov 2011 een stijging van $24 \cdot 0,3 = 7,2$ cm. Dat is dus ruim 7cm lager dan in het KNMI'23 scenario M-83%.
- De "beste schatting" van de ZSS-snelheid over 2011-2035 is 5 mm/jaar (zie Bijlage 1). Over 24 jaar is dat $24 \cdot 0,5 = 12$ cm wat veel beter overeenkomt met het KNMI'23 scenario M-83% (15 cm) en dicht ligt bij M-50% (13 cm). Deze waarde van 5 mm/jaar wordt echter niet gebruikt in BOI omdat anders een inconsistentie zou ontstaan met de gekozen aanname voor de zeewaterstandstatistiek
- Helaas is in het verleden bij de start van BOI2023 uitgegaan van 1,9 mm/jaar. Dit was gebaseerd op de Zeespiegelmonitor 2018 (12) over de periode 1890-2018. Dit inzicht is inmiddels achterhaald (zie Bijlage 1). Deze aanname is helaas niet consistent met 3 mm/jaar die is gehanteerd door KNMI bij de nieuwe waterstands- en windstatistiek. Het voorstel is om van 3mm/jaar uit te gaan omdat statistiek de grootste invloed heeft op rekenresultaten. Dat betekent een kleine inconsistentie met de modelschematisaties (waarbij met 5 cm in 2035 tov 2011 is gerekend) die in de praktijk marginale gevolgen heeft voor modelresultaten. Dit resulteert in een zeespiegelstijging van 7,2 cm in 2035 ten opzichte van 2011, die is opgenomen in de wind- en zeewaterstandstatistiek. De ZSS gaat dus tot 2035 wat langzamer als mag worden verwacht volgens Bijlage 1 (en KNMI'23 Mn-50%), maar vervolgens sneller om in 2075 volledig op het spoor te zitten van Mn-83% uit KNMI'23.
- Voor 2019 is de ZSS volgens BOI2023 $8 \cdot 0,3 = 2,4$ cm hoger dan in 2011.
- De ZSS voor na 2035 moet voor ontwerpen nu ook worden bepaald. Het uitgangspunt hierbij is dat we in een zichtjaar, bv 2075, precies uitkomen op de ZSS volgens KNMI'23 tov 2011. Omdat de ZSS tot 2035 lager is in BOI2023 dan volgens KNMI'23 (te weten voor Mn is het 7,2cm tegen 18,6 cm volgens KNMI'23) wordt dit bij toepassing van de ZSS na 2035 (voor ontwerpen) gecompenseerd. De ZSS in 2075 in BOI tov 2035 is dan $48,6 - 7,2 = 41,4$ cm. Bij zuivere toepassing van KNMI'23 zou dat zijn $48,6 - 14,8 = 33,8$ cm. In BOI2023 wordt dus na 2035 een grotere ZSS toegepast dan volgens KNMI'23 om het tekort voor 2035 te compenseren.
- Voor 2125 kan dit op gelijke wijze worden afgeleid. De ZSS in BOI tov 2035 is dan $103,9 - 7,2 = 96,7$ cm.
- Merk daarbij op dat door KNMI voor het Mn scenario na 2100 geen waarden zijn afgegeven. RWS WVL heeft deze waarde per jaartal x ($x > 2100$) afgeleid middels de volgende formule:

$$dHzss(M - 83\%, x) = 0,6 * dHzss(H - 83\%, x) + 0,4 * dHzss(L - 83\%, x)$$

- Voor de periodes 2035-2075 en 2075-2125 kan worden geïnterpoleerd en na 2125 kan worden geëxtrapoleerd. Maar kan ook per zichtjaar het "exacte" getal tov 2035 worden opgezocht (mits dit niet hoger is dan 2150). In Tabel 2 in deze memo zijn de "exacte" getallen weergegeven van ZSS tov 2011. De lineair geïnterpoleerde/geëxtrapoleerde getallen zijn gegeven in Tabel 3.
- Voor 2150 zijn de verschillen tussen Tabel 2 en 3 relatief groot wat te maken heeft met de versnelling van de ZSS. Deze versnelling maakt ook dat de verschillen tussen Tabel 2 en Tabel 3 zeker niet constant zijn in de tijd. Tabel 3 zal (veel) makkelijker toe te passen zijn bij toepassingen van het instrumentarium. Een besluit hierover wordt besproken in memo (13).
- Voor de rivierafvoeren van Rijn, Maas en Vecht zijn alleen standaard data beschikbaar voor 2035, 2075 en 2125 en op verzoek ook nog voor 2050, 2100 en 2150. De databases fysica zijn er alleen voor 2035, 2075 en 2125. Er zal dus sowieso van interpolatie gebruik moeten worden gemaakt. Hoe hierbij met de ZSS wordt omgegaan staat nog open. Dit is maatwerk, in RWS-memo (13) wordt hierop ingegaan. Hiervoor wordt een aantal mogelijkheden benoemd maar wordt nu geen keuze gemaakt.

In Tabel 4 is gegeven de ZSS tov 2011 voor Hn en Mn voor jaartallen die in BOI2023 sowieso gebruikt gaan worden, te weten 2019, 2035, 2075 en 2125. Dit is op basis van de uitgangspunten in dit memo. In Tabel 5 zijn deze getallen gegeven tov 2035 (en 2019 is weggelaten).

Voorgesteld wordt Tabellen 4 en 5 te hanteren als uitgangspunt voor ZSS in BOI2023. Een besluit hoe om te gaan met jaartallen tussen 2035 en 2150 die niet in deze tabel staan moet nog worden genomen. Er wordt nader op ingegaan in RWS-memo (13).

Hierbij wordt nogmaals opgemerkt dat voor de modelschematisaties van BOI eerder al is uitgegaan van een zeespiegelstijging van 5 cm in 2035 tov 2011, dit heeft in de praktijk marginale gevolgen voor de modelresultaten.

Tabel 1. ZSS volgens KNMI'23 tov 2006 volgens het 83% van SSP5.85 en SSP2.45.

	SSP585-83% (H-83%)	SSP245-83% (M-83%)
2011	4,1	3,9
2019	8,7	8,2
2035	19,7	18,6
2050	32,7	30,5
2075	61,3	52,4
2085	75,8	61,9
2100	102,9	76,9
2125	148,4	107,2
2150	199,8	141,8

Tabel 2. ZSS volgens KNMI'23 tov 2011 volgens het 83% van SSP5.85 en SSP2.45.

	SSP585-83% (H-83%) tov 2011	SSP245-83% (M-83%) tov 2011
2019	4,6	4,4
2035	15,6	14,8
2050	28,6	26,6
2075	57,1	48,6
2085	71,7	58,1
2100	98,8	73,1
2125	144,3	103,4
2150	195,7	138,0

Tabel 3. ZSS volgens BOI2023 tov 2011 volgens H (SSP5.85) en M (SSP2.45) ².
Tussenliggende jaartallen na 2035 bepaald door interpolatie of extrapolatie.

	H-scenario tov 2011 voor BOI2023	M-scenario tov 2011 voor BOI2023
2019	2,4	2,4
2035	7,2	7,2
2050	25,9	22,7
2075	57,1	48,6
2085	74,6	59,5
2100	100,7	76,0
2125	144,3	103,4
2150	187,9	130,8

Tabel 4. Basiswaarden voor ZSS te gebruiken in BOI2023 tov 2011

	H-scenario tov 2011 voor BOI2023	M-scenario tov 2011 voor BOI2023
2019	2,4	2,4
2035	7,2	7,2
2075	57,1	48,6
2125	144,3	103,4

Tabel 5. Basiswaarden voor ZSS te gebruiken in BOI2023 tov 2035

	H-scenario tov 2035 voor BOI2023	M-scenario tov 2035 voor BOI2023
2035	0,0	0,0
2075	49,9	41,4
2125	137,1	96,2

² Deze Tabel is exact gelijk aan Tabel 2 uit memo (13)

3. Referenties

- 1) KNMI'23 sea-level rise scenarios. link to Zenodo.org: <https://zenodo.org/records/14047707> (by Dewi Le Bars, KNMI);
- 2) Keijzer I., D. Le Bars, C. de Valk, A. Juling, R. van der Wal en S. Drijfhout. The acceleration of sea-level rise along the coast of the Netherlands started in the 1960s. *Ocean Sci.*, 19, 991–1007, 2023.
- 3) Van Dorland, R. and others. KNMI National Climate Scenarios 2023 for the Netherlands. KNMI, 2023, &4.3.1 en &4.3.2.
- 4) Deltares. Zeespiegelmonitor 11209266-000-ZKS-0001, Versie 1.0, 27-03-2023.
- 5) Deltares. Data zeespiegelmonitor 1993 tm 2024 (aangeleverd door Q. Lodder van RWS WVL, bestand plotdata2024.xls).
- 6) DGWB. Klimaatscenario's Waterveiligheid. 10 december 2025. Bijlage II bij de Nota "Beleidsmatige randvoorwaarden t.b.v. de actualisatie van hydraulische belastingen voor het beoordelen en ontwerpen van primaire waterkeringen".
- 7) C. de Valk en H. van den Brink. Een nieuwe statistische analyse van extreme zeewaterstand en wind op zee op basis van meetgegevens en modeldata geconsolideerde documentatie. KNMI. Versie 10 oktober 202.
- 8) ENW. Advies Omgaan met klimaatverandering in de hydraulische ontwerpbelastingen voor waterkeringen. Advies nummer 25-05 van 11 juni 2025.
- 9) MinVenW. Kenmerkende waarden Getijdegebied 2011.0. Juli 2013.
- 10) DGWB, 10 december 2025, Beleidsmatige randvoorwaarden t.b.v. de actualisatie van hydraulische belastingen voor het beoordelen en ontwerpen van primaire waterkeringen.
- 11) Deltares. Zeespiegelmonitor 11202193-000-ZKS-0004, Versie 2.0, November 2018.
- 12) J. Buitink et al., Implications of the KNMI'23 climate scenarios for the extreme discharge statistics of the Rhine. Deltares rapport. 11210368-006-ZWS-0003. v1.0. 23 June 2025.
- 13) RWS-WVL. Uitwerking handelingsperspectief ontwerpen KNMI'23 klimaatscenario voor Zeespiegelstijging in BOI2023. Juni 2026.

Bijlage 1. Beste schatting van de Zeespiegelstijging tussen 2006 en 2035

B.1 Inleiding

De inzichten voor de actuele snelheid van ZSS zijn na onderzoek van o.a. KNMI en RWS/Deltares veranderd (Keijzer et al., 2, 2023; Deltares, 4, 2023). Uit beide onderzoeken blijkt dat metingen van de zeestand voor het bepalen van ZSS gecorrigeerd te worden voor langjarige trends in de wind. Recente resultaten van Keijzer leiden tot andere snelheden voor de ZSS en die waren niet bekend bij de start van het BOI2023 en zijn daarin nog niet verwerkt. Zonder toepassing van de nieuwste kennis resulteert er een onlogische sprong in de zeespiegelstand na 2035 als wordt overgestapt van meetinformatie naar informatie uit de KNMI'23 scenario's. Voor BOI2023 is recent besloten deze nieuwe inzichten in metingen van ZSS te verwerken.

De vraag is echter hoe dat moet voor het BOI2023. Daarbij doen zich echter een 2-tal technische problemen voor:

- 1) Voor zichtjaren na 2024 zijn er nog geen Tide Gauge data van ZSS beschikbaar;
- 2) Statistische trends worden in de regel afgeleid over langere perioden van 20-30 jaar. Daarmee kunnen versnellingen die zich al voor doen worden gemist. Daarom wordt in dit memo gebruik gemaakt van de KNMI'23 scenario's voor extrapolatie naar 2035. De vraag is welk scenario we daarvoor moeten kiezen.

Deze memo doet een voorstel hoe:

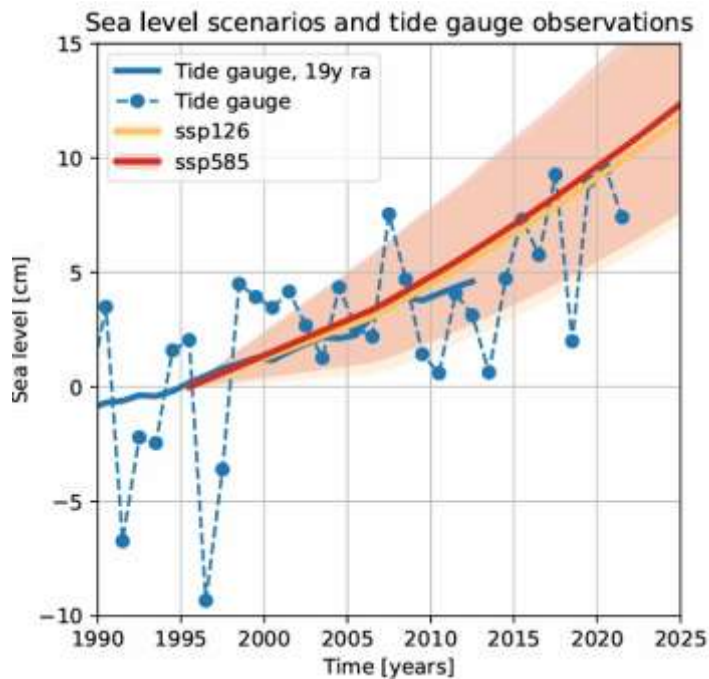
- a) De trend af te leiden uit de door KNMI (3) en Deltares (4,5) professioneel verwerkte meetdata sinds 2006. KNMI heeft deze data gecorrigeerd voor de trends in de wind boven de Noordzee. Daarnaast is door KNMI met modellen nog een correctie gedaan voor Glacial Isostatic Adjustment (GIA). De KNMI-data zijn te vinden in het KNMI Scientific Report van KNMI'23 (van Dorland et al., 2023, 3). Deltares past deze datacorrecties ook toe en actualiseert deze ook jaarlijks in opdracht van RWS en DGWB (4,5). Ook deze data (5) benutten we.
- b) Hoe deze toe te passen in het BOI samen met de KNMI'23 data voor Mn-83% uit (1).
- c) Welke data uiteindelijk voor het Mn-scenario moeten worden gebruikt en voor het Hn-scenario voor de jaartallen 2011, 2019, 2035, 2050, 2075, 2100 en 2125. Omdat 2085 mogelijk relevant kan zijn voor de meerpeilen leveren we dat jaartal ook mee.

B.2 Analyse

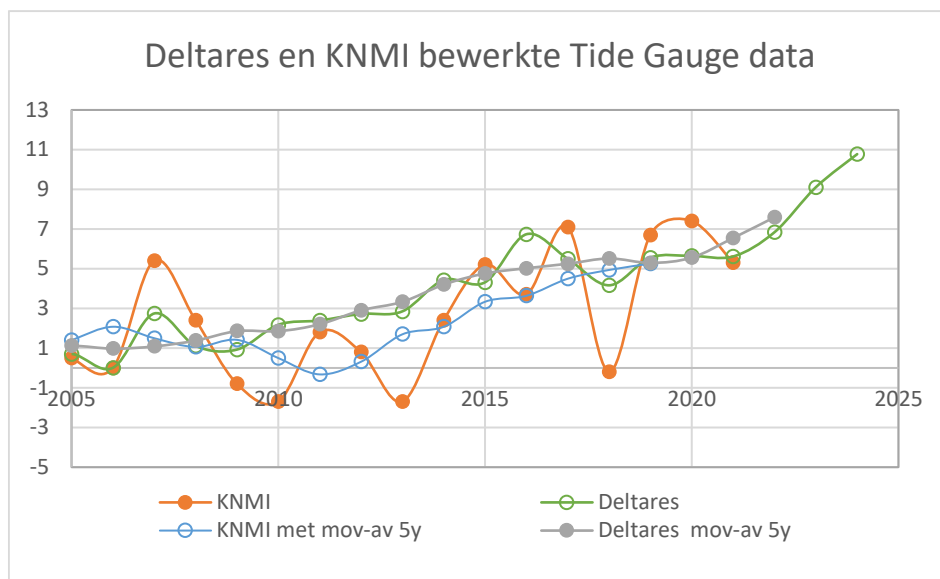
Het vertrekpunt van de data-analyse zijn de kust-gemiddelde en verwerkte Tide Gauge data van KNMI (3) en Deltares (5). Zowel KNMI als Deltares gebruiken daarvoor de door RWS gemeten waterstanden in de hoofdgetijdenstations:

- a) Figuur 4.5 uit KNMI (3). In Figuur 1 is hieronder deze figuur opgenomen (aangeleverd door D. Le Bars, KNMI). Interessant aan deze figuur is de vergelijking met de SSP's van KNMI. De data die benut zijn in de analyse in deze memo, zijn over de periode 2006-2021, en zijn allen geschaald naar het referentiejaar 2006³. In 2006 is de absolute gemeten jaargemiddelde zeewaterstand na de dataprocessing van het KNMI 2,3cm+NAP.
- b) De meest recente data van Deltares volgens de Zeespiegelmonitor (5) tov 2006 over de periode 2006-2024. In 2006 is de absolute gemeten ZSS 2,6cm+NAP na de dataprocessing van Deltares. In Figuur 2 worden deze vergeleken met de data van KNMI.

³ De datapunten zijn in deze studie met een liniaal in de figuur opgemeten wat een precisie heeft van 0,2cm ZSS (dit is voldoende voor deze analyse). De jaartallen zijn afgerond naar beneden (bv 2010,5 = 2010).



Figuur 1. Figuur 4.5 uit het Scientific Report van KNMI. De getoonde SSP's (H en L) zijn 50% percentielen. M-50% (ssp245) ligt daartussenin.



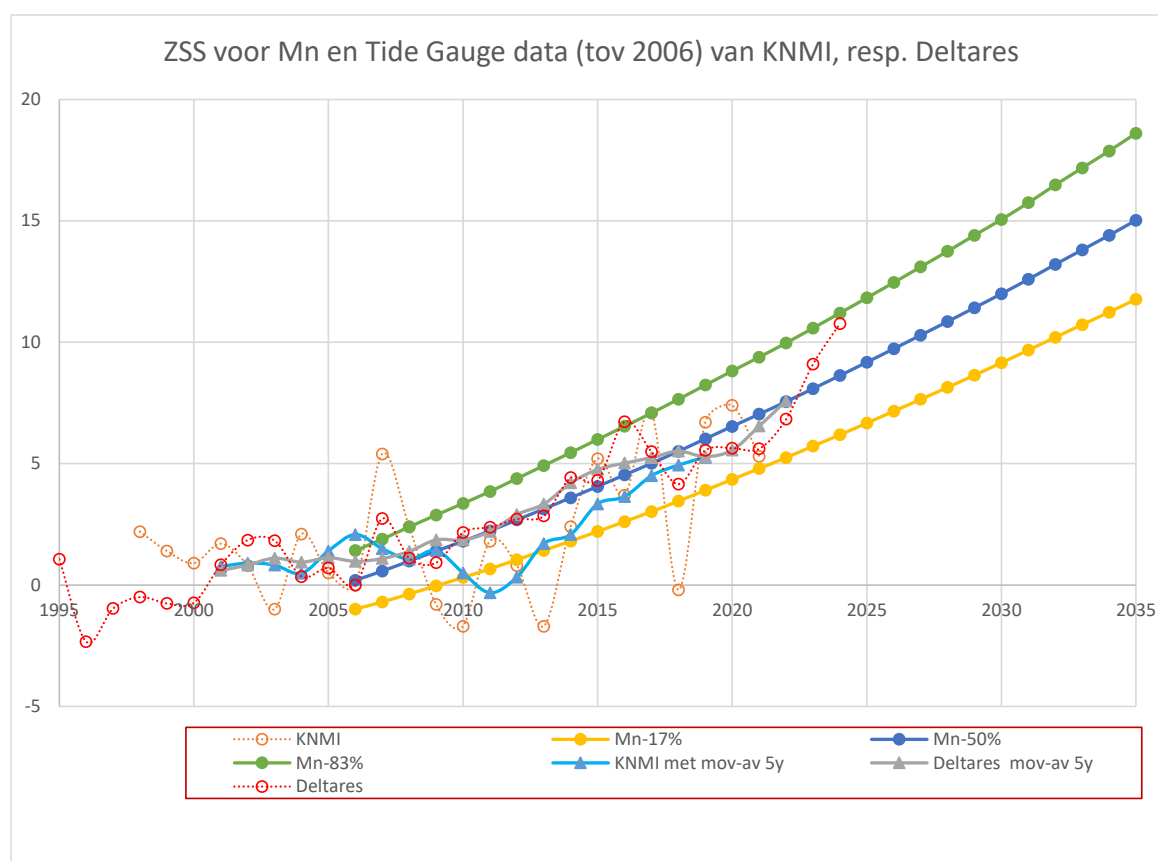
Figuur 2. Vergelijking Tide Gauge data KNMI en Deltares met/zonder moving-average filter (5 jaar venster).

Opvallend is in Figuur 2 dat na gebruik van een moving-average filter de data van KNMI en Deltares vanaf ca 2015 elkaar sterk gaan naderen. De versnelling in de trend die zich bij KNMI al inzet na 2015 is bij Deltares nog sterker aanwezig omdat er ook data zijn na 2021 die de versnelling nog verder accentueren. Toch is dit geen bewijs voor een grotere versnelling van de ZSS, het zou ook een tijdelijke lokale verhoging kunnen zijn (bv. een tijdelijk en meer lokaal opwarmingseffect van de Noordzee). De versnelling lijkt echter wel persistent aanwezig als we de data sinds 2015 beschouwen maar de snelle verhoging in 2024 is mogelijk een tijdelijke fluctuatie. De data van Deltares (5) zijn gladder in het verloop wat vermoedelijk komt omdat Deltares de data met grootschalige hydrodynamische modellen op wind heeft gecorrigeerd (4,5⁴). De windeffecten op de waterstand zijn betrouwbaarder beschreven als in het meer beperkte KNMI-windmodel (Keijzer, 2), en forse dips in de ZSS door wind worden beter verwijderd.

⁴ In (5) heeft Deltares een upgrade van het Global Tide and Surge Model (GTSM) gehanteerd wat in (4) wordt genoemd.

We kunnen de extrapolatie van de meetdata tussen 2022 en 2035 benaderen door een polynoom-fit maar dit is uitermate lastig gebleken vanwege de versnelling van de ZSS; die volgens IPCC en KNMI er zeker is⁵. Een alternatief is om aan te nemen dat het scenario Mn-17% of Mn-50% de data voldoende over het meetbereik 2006-2024 benaderd, en daarom als een proxy voor de data kan worden gebruikt voor de periode 2006-2035. We maken daarmee voor de *extrapolatie van de data* gebruik van de fysica van de IPCC- en KNMI-modellering voor ZSS die een duidelijke versnelling laat zien.

Beide datasets zijn vervolgens uitgezet in Figuur 3 waar ze worden vergeleken met ZSS volgens KNMI'23 scenario's Mn-17%, Mn-50% en Mn-83% (allen tov 2006⁶). Ook zijn er 2 trendlijnen gemaakt van de data met een moving-average filter (venster 5 jaar). Duidelijk is ook dat de % in dit tijdvak een veel grotere invloed hebben op de ZSS dan de SSP (vergelijk Figuur 1 en Figuur 3). Daarnaast hebben de variaties in de jaargemiddelde zeewaterstand een grotere invloed dan het percentiel van het SSP scenario. De originele data zijn hier met een stippellijn en open rondjes weergegeven, en het moving-average filter met een doorgetrokken lijn en driehoekjes. De KNMI'23 scenario-data zijn een gemiddelde over een periode van 30 jaar waarbij het resultaat wordt gekoppeld aan het middelste jaar van die periode. De KNMI'23 data zijn hierdoor ook niet helemaal zuiver vergelijkbaar met de metingen. We negeren dit verder omdat we de scenario's alleen benutten als een proxy voor de data⁷.



Figuur 3. Trendlijnen Tide Gauge data KNMI en Deltares (tov 2006) in vgl. met Mn-17%, Mn-50% en Mn-83%. Data zijn ook weergegeven met een moving-average filter over 5 jaar.

Figuur 3 toont het volgende:

⁵ Zie de ssp's van KNMI in de figuren.

⁶ Merk op dat de ZSS volgens de Tide Gauge data in 2006 tov NAP een rol speelt in deze vergelijking. Deze is echter zeer vergelijkbaar in de data van KNMI en Deltares waardoor dit geen belangrijk issue is.

⁷ Deze overschatting betekent dat we eigenlijk de meetdata met een iets ander percentiel (iets lager) zouden moeten vergelijken voor een zuivere vergelijking. Voor de procedure hier is dit niet relevant omdat het niet gaat om de vergelijking maar om het zoeken van een proxy voor de data.

- De trendlijn met een moving-average filter over 5 jaar volgens KNMI (lichtblauw) start bij het scenario Mn-17% maar gaat na 2015 steeds dichterbij Mn-50%.
- De trendlijn met een moving-average filter over 5 jaar volgens Deltares (grijs) ligt dicht bij het scenario Mn-50%. Na de periode 2020 is er een duidelijke versnelling zichtbaar. De losse data naderen zelfs het Mn-83% scenario.

We hebben de zeespiegelstijging voor de scenario's Mn-17% en Mn-50% voor de periode van 2006 tot 2035 ook opgebouwd met een fit op een geschatte zeespiegelsnelheid per jaar en vervolgens deze fit van 2006 tot 2035 te integreren. De basis data die tot goede fits leiden voor beide scenario's staan in Tabel 1, waarbij Rate-1 fit aan Mn-17% en Rate-2 aan Mn-50%.

Tabel 2. Versnelling in de scenario's Mn-17% (1) en Mn-50% (2)

	Fit Mn-17%	Fit Mn-50%
	Rate-1 (mm/yr)	Rate-2 (mm/yr)
2005	3	3,5
2015	3,5	4,5
2025	4,25	5,75
2035	5,5	7
Gem	4	5,25

De snelheid van zeespiegelstijging en zijn versnelling in Mn-50% lijkt aan de hoge kant al is dit zeker niet onmogelijk gegeven de literatuur en meest recente data volgens Deltares. De gemiddelde stijging van 5,25 mm/jaar over 30 jaar is ook zeker plausibel gegeven de resultaten van de SSP's (3 en IPCC). Daarvoor is het essentieel de fysica uit de SSP's te betrekken, zonder die gegevens is dit uit de zuiver statistische trend niet hard te concluderen (4). Ook is de startwaarde van 3,5 mm/yr in 2005 gegeven onzekerheden in de data zeer wel mogelijk. De publicatie van KNMI (3) geeft voor de periode 1995-2020 een gemiddelde snelheid van ca 3,2 mm/jaar⁸ (Fig 4.5, lhs). Keijzer rapporteert onzekerheden van 0,4 mm/jaar in het kustgemiddelde. De variatie tussen de kuststations loopt op tot ca 1,5 mm/jaar en is dus zeer groot. Kortom een waarde van 3,5 mm/jaar in 2005 is nauwelijks te onderscheiden van een waarde van 3,0 mm/jaar. De waarde van 5,75 mm/jaar in 2025 lijkt op het eerste gezicht hoog. De zeer recente data voor 2022-2024 van de zeespiegelmonitor die niet in de rapportage van KNMI zijn opgenomen geven echter een indicatie dat de versnelling doorzet (5). Daarom is de Mn-50% toch zeker plausibel en komt zelfs Mn-83% in beeld. Merk wel op dat er geen zekerheden hierover zijn omdat trends over zeer korte perioden niet hard te onderbouwen zijn en mogelijk beïnvloed worden door andere effecten dan zeespiegelstijging. We maken hier een beste schatting en maken daarbij voor extrapolatie gebruik van de KNMI'23 scenario's.

Alles overziend kiezen we hier voor Mn-50% als proxy voor de ZSS van 2006-2035 omdat deze het best aansluit op de trend sinds 2015. Met name de Tide Gauge data van Deltares, die beter gecorrigeerd zijn voor windeffecten en doorlopen tot en met 2024, onderbouwen dit. Het verschil in 2035 is 3cm ZSS tussen Mn-50% en Mn-17%.

Vanaf 2050 worden de data van het relevante ZSS-scenario gebruikt conform recent gemaakte beleidsafspraken met DGWB (6), te weten Mn-83% voor de meeste ontwerpen of Hn-83% voor complexe infrastructuur (maatwerk). Daarbij is hier voor Hn voor het 83% gekozen in lijn met Mn, waar ook andere keuzes mogelijk zijn indien het projectrisico daar om vraagt. Merk op dat voor 2035 ook Mn-50% als proxy voor de metingen wordt gebruikt omdat dit de afspraak is die gemaakt is binnen BOI2023 (zeespiegelstijging op basis van meest actuele metingen en extrapolatie met een methode; hier op basis van de KNMI'23 scenario's; naar 2035).

B.3 Conclusies

1. De door KNMI en Deltares gecorrigeerde meetdata van zeespiegelstand en ZSS voor de Nederlandse Kust kunnen goed worden weergegeven over de periode 2006-2035 met het Mn-50% scenario.
2. Ook het Mn-17% scenario had kunnen worden gekozen als zijnde representatief voor deze periode maar zij fit net iets minder goed voor de periode vanaf 2015 waar de data een

⁸ Verschil met de Keijzer (2) is de GIA-correctie en dat scheelt +0,3 mm/jaar.

duidelijke versnelling lijken te tonen. Het verschil in 2035 is overigens slechts 3cm ZSS (Mn-50% - Mn-17% in 2035).

Bijlage D – Seiches Rijn-Maasmonding



memo

Seiches in Europoort (RMM) voor BOI2023

Datum 1 juli 2026
Bijlage(n) -

Inleiding

In diverse wateren in Nederland treden seiches op. Alleen voor het Europoortgebied is hun effect ook daadwerkelijk in het BOI geïmplementeerd. Dit is gedaan als toeslag, het zogenaamde netto seiche-effect (NSE), inclusief een onzekerheid rondom deze toeslag. Het NSE is een toeslag op de waterstand en verschilt per herhalingstijd en per locatie. In WBI2017 zijn deze toeslagen opgenomen in de HRD.

Besluit

Naar aanleiding van een aantal onderzoeken is besloten om de methode van het toepassen van het NSE en bijbehorende onzekerheidswaarden ook voor BOI te hanteren. Deze zal alleen toegepast worden voor de faalmechanismen dijkerosie, en voor kunstwerken voor de faalmechanismen hoogte en betrouwbaarheid sluiten, zowel voor een geopende als een gesloten Europoortkering. De onderliggende statistiek wordt overgenomen van WBI2017. Omdat de BOI-locaties verschoven zijn ten opzichte van de WBI2017-locaties, vergt dit een koppeling tussen beide sets van locaties. Ook zullen aanpassingen aan de Hydra-Ring/Riskeer en Hydra-NL-software doorgevoerd moeten worden, om de beperking van faalmechanismen en toepassing voor zowel open als gesloten Europoortkering mogelijk te maken.

Hieronder volgt een verdere onderbouwing van bovenstaand besluit, uitgesplitst naar de gehanteerde methode, bijbehorende getalswaarden, onzekerheden en softwareaanpassingen.

Nadere onderbouwing

Methode

In Deltares (2026) is onderzocht of de huidige wijze om het effect van seiches in rekening te brengen nog zinvol is in de overstromingskansbenadering. Met name de lange relevante tijdschalen in geotechnische faalmechanismen maken - ten opzichte van de korte tijdschalen waarop de waterstand als gevolg van seiches varieert (1 uur - 1,5 uur) - dat het niet nodig is een seichetoeslag in rekening te brengen voor de geotechnische mechanismen. In Deltares (2026) is geadviseerd om voornamelijk voor dijken alleen voor dijkerosie het effect van seiches in rekening

te brengen. Dat zou op een geavanceerde manier kunnen door een tijdafhankelijke weergave van de waterstand inclusief seiches, hetgeen echter de nodige tijdrovende vervolganalyses zou vergen. Terugvallen op de huidige aanpak middels met het toepassen van een toeslag (NSE) is mogelijk, ondanks dat in Deltares (2026) is getoond dat dit conservatief is.

Datum
1 juli 2026

In Deltares (2026) is niet gekeken naar kunstwerken. Op basis van expert judgement wordt aanbevolen voor de mechanismen hoogte en betrouwbaarheid sluiten bij kunstwerken tevens het effect van seiches in rekening te brengen.

Ons kenmerk

Het wordt aanbevolen het NSE alleen voor deze mechanismen toe te passen, echter niet alleen in de situatie met een gesloten Europoortkering, zoals in het vigerend instrumentarium, maar ook bij een geopende kering. In de open situatie is er alleen de seiche-uitstraling vanuit andere bekkens. Bij een dichte kering komt daar de lokale seiche bij, die kan ontstaan als gevolg van het extra halfgesloten bekken. Uiteindelijk zijn voor WBI2017 toeslagen aangeleverd, uitgaande van de gesloten situatie. Dat is dus conservatief voor een open situatie, maar nog altijd beter dan het effect van seiches te negeren.

Getalswaarden

In Deltares (2024) zijn voor een efficiënte check tussenuitkomsten voor meetlocatie Rozenburgse Sluis geanalyseerd, effectief de bronstatistiek van het NSE voor Europoort, nog voorafgaand aan doorvertaling van die waarden naar de verschillende specifieke BOI-uitvoerlocaties. De nieuwe uitkomsten op basis van de vergrote dataset (1989 – 2023) blijken slechts beperkt anders dan de eerdere resultaten in Deltares (2010; 2014) op basis van de reeks van 1989-2007, die de basis vormen voor de NSE-waarden van WBI2017; de nieuwe statistiek van het NSE is vergelijkbaar in grootte en doorgaans net iets lager, tot maximaal 7 cm bij een herhalings tijd van 300.000 jaar.

De aanleg van Maasvlakte 2 (en in een eerder stadium de opening van de Beerdam) heeft invloed op de vertaling naar andere locaties in het Europoortgebied. Maasvlakte 2 zat echter al in de meest recente PHAROS-seicheberekeningen voor WBI2017, gerapporteerd in Deltares (2014). Met andere woorden, die invloed op alle verschillende BOI-locaties in/rondom het havengebied zat al in de daarin gemaakte vertaling van Rozenburgse Sluis naar de andere locaties. Naar verwachting is het gecombineerde effect van een verlengde meetreeks bij Rozenburgse Sluis en de vertaling naar alle andere locaties in het havengebied dan ook klein.

Aandachtspunt is nog wel de consistentie van de uitgebreide dataset, waarin zowel de opening van de Beerdam als de aanleg van Maasvlakte 2 valt, waardoor de dataset niet zondermeer homogeen is. De situatie vanaf 2012 sluit aan op de huidige situatie. Deze dataset beslaat echter maar 11 jaar. Hierbij is het dus noodzakelijk een afweging tussen homogeniteit en lengte van de dataset te maken. De consistentie ten aanzien van homogeniteit van de gehele dataset is rond 2005-2007 i.r.t. de opening van de Beerdam en in 2022/2023 i.r.t. Maasvlakte 2 beschouwd. Daar kwam uit dat de consistentie goed was. De gehanteerde methode om deze consistentie te checken staat inmiddels wel ter discussie. In de studie van 2022/2023 is een voorstel gedaan voor een nieuwe consistentietest, hetgeen een forse inspanning vergt. Vooralsnog wordt aangenomen dat de consistentiecheck in orde is en de datasets van zowel 1989-2007 als 1989-2023 voldoende homogeen zijn.

Gezien de forse inspanning die een geactualiseerde vertaling van het NSE naar andere locaties met zich meebrengt en de beperkte verandering die dat veroorzaakt, wordt geconcludeerd dat de getalswaarden niet gewijzigd hoeven te worden. Echter, de BOI-locaties zijn verschoven t.o.v. de WBI2017-locaties. Dat betekent dat er een koppeling tussen beide locatiesets gelegd moet worden. Omdat de ruimtelijke verandering van het NSE klein is, zullen interpolatiefouten verwaarloosbaar zijn.

Datum
1 juli 2026

Ons kenmerk

Onzekerheden

Bij de afleiding van het NSE zijn diverse aannames gedaan. Dat maakt dat er onzekerheid bestaat met betrekking tot de afgeleide waarden. Daarom is in WBI2017 de onzekerheid rondom het NSE geschat en geïmplementeerd in het instrumentarium, zie Beckers (2014). Deze onzekerheid is uitgedrukt in een multiplicatief model van de berekende seichestoelag. Het model is een stochast met een normale verdeling met gemiddelde 1 en een standaardafwijking van 0,3 m. Dit komt voort uit een onzekerheid van 25% in de referentiestatistiek van de seiches bij Rozenburg en 15% in de vertaling naar andere locaties, dit laatste op basis van PHAROS-berekeningen. Onzekerheden in seiches worden als niet gecorreleerd met onzekerheden in waterstanden aangenomen.

Softwareaanpassingen

De aanbeveling om het NSE alleen toe te passen voor dijkerosiegerelateerde faalmechanismes en hoogte en betrouwbaarheid sluiten bij kunstwerken, vergt aanpassingen aan zowel Riskeer/Hydra-Ring als Hydra-NL. Voor het toepassen van het NSE voor zowel een gesloten als geopende Europoortkering, geldt hetzelfde. In het belastingmodel van de Europoort wordt namelijk ook gewerkt met een faalkans (1/100) voor de Europoortkering, net als in het belastingmodel voor de Benedenrijn, wat betekent dat de toestand van de kering van belang is.

Referenties

Beckers (2014). Seiches in WTI-2017, Deltaresmemo 1209433-006-HYE-0001. Delft, 2014.

Deltares (2010). Update of the seiche allowances for the Rotterdam Europoort area - WTI 2009/2010, input for the Hydraulic Boundary Conditions 2011, Deltaresrapport 1200103-052-ZWS-0005, 10 November 2010.

Deltares (2014). Actualisatie seiches Rotterdam WTI2017 - Waterstandsafhankelijke seiche-waarden. Deltaresrapport 1209433-006-HYE-0002, december 2014.

Deltares (2024). Actualisatie seichestatistiek Rotterdam. Verkenning invloed inzet nieuwe meetdata 2007-2023. Deltaresrapport 11210372-001-GEO-0002, december 2024.

Deltares (2026). Relevantie van seiches in een overstromingskansbenadering. Deltaresrapport 11211573-001-GEO-0001, februari 2026.

Bijlage E - Afvoerstatistiek Rijn en Maas en 1-op-1-relaties



Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat
Helmus van den Langemheen
Postbus 20951
2500 EX DEN HAAG
Nederland

**Rijkswaterstaat Water,
Verkeer en Leefomgeving**

Griffioenlaan 2
3526 LA UTRECHT
Postbus 2232
3500 GE UTRECHT
T 088 797 11 11
www.rijkswaterstaat.nl

Contactpersoon

Marcel Bottema
senior adviseur
Carlijn Bus
senior adviseur

M 06 21 93 86 30
carlijn.bus@rws.nl

Datum

30 januari 2026

Ons kenmerk

nvt

Uw kenmerk

nvt

Bijlage(n)

Bijlage 1: "een nieuwe statistische analyse van extreme zeewaterstand en wind op zee op basis van meetgegevens en modeldata – geconsolideerde documentatie"

Bijlage 2: "Onafhankelijke review van de update van de wind- en zeewaterstandstatistiek"

nota

Advies update wind- en zeewaterstandstatistiek voor
de kust voor BOI-release 2026

Inleiding

Het Rijk is verantwoordelijk voor het uitleveren van het instrumentarium (BOI) voor het beoordelen en ontwerpen van waterkeringen conform de Waterwet. In juli 2026 is in dit kader een nieuwe release van de hydraulische belastingen toegezegd aan de beheerders van primaire waterkeringen. De actualisatie die hiervoor nodig is vergt een aantal beleidskeuzes. Voorliggende adviesnota bevat het advies dat het BOI-team van RWS-WVL binnen het project "Actualisatie hydraulische belastingen" geeft aan DGWB voor de zeewaterstand- en windstatistieken voor de Kust.

KNMI heeft de laatste jaren op verzoek van Rijkswaterstaat (RWS) in opdracht van DGWB een update van deze statistieken uitgewerkt, op basis van in 2014 in opdracht van DGWB geïnitieerd onderzoek. Deze update heeft in opdracht van RWS en DGWB het afgelopen jaar een intensief review- en kwaliteitsborgingsproces ondergaan met betrokkenheid van een speciaal samengestelde expertgroep van experts binnen en buiten ENW. Dit omdat deze statistieken in Zuidwest Nederland leiden tot significant lagere hydraulische belastingen dan in WBI2017, en vanwege de relatief kleine onzekerheidsbanden. De centrale vraag aan de expertgroep was of deze voorgenomen update van de zeewaterstand- en windstatistieken voor de kust kan worden overgenomen binnen het BOI, en in welke vorm. De keuze voor het hanteren van deze statistieken binnen het BOI heeft niet alleen impact op het beoordelen en ontwerpen van waterkeringen langs de kust, maar werkt door in diverse aanliggende watersystemen in Zuidwest Nederland en het benedenrivierengebied. Het kunnen doorvoeren van zo'n update in de release van juli 2026 vraagt een keuze van DGWB vóór 1 januari 2026.

Advies

Geadviseerd wordt om voor de BOI-release van 2026 over te stappen naar de wind- en zeewaterstandsstatistieken voor de kust, op basis van de naar aanleiding van de expertgroepadviezen herziene KNMI-aanpak zoals vastgelegd in de door KNMI opgestelde rapportage van oktober 2025.

De belangrijkste redenen om over te stappen op deze nieuwe statistiek zijn daarbij:

- Een aanzienlijk betere onderbouwing en kwaliteitsborging
- Een betere schatting van de overschrijdingskansen van wind en zeewaterstand en daarmee ook een betere schatting van de herhalingstijd van de stormvloed van 1953.
- Een flexibeler en meer toekomstbestendige methodiek dan die van WBI2017.

**Rijkswaterstaat Water,
Verkeer en Leefomgeving**

Datum

30 januari 2026

De nieuwe statistieken leiden voor de Hollandse en Zeeuwse Kust tot circa 20-60 cm verlaging van de normwaterstanden, het effect op het hydraulisch belastingniveau kan tot circa tweemaal groter zijn. In en rond het Waddengebied heeft de update een neutraal effect, en liggen de normwaterstanden veelal binnen 5-10 cm van die van WBI2017.

Gedurende de uitwerking van de statistiekupdate hebben diverse interne en externe reviews plaatsgevonden, waarvan het ruim 9 maanden durende review- en dubbelcheckproces met een speciaal samengestelde expertgroep het sluitstuk was. Daarbij was er speciale aandacht voor de vorm en indeling van de rapportage, de gehanteerde onzekerheden, en diverse detailkeuzes. Een groot deel van de adviezen van de expertgroep is overgenomen in een bijgewerkte KNMI-rapportage. De expertgroep heeft hierbij een adviesbrief opgesteld waarin de overstap en de bijgewerkte KNMI-rapportage ondersteund worden. In de adviesbrief worden daarnaast adviezen gegeven ten aanzien van de gekozen methode. Ook worden door de expertgroep iets andere modelonzekerheden geadviseerd dan in de KNMI-rapportage, waarbij wordt aangeraden om te controleren of dit in verhouding staat tot andere conservatieve keuzes. RWS-WVL adviseert om de modelonzekerheden niet aan te passen, omdat dit leidt tot een conservatisme dat niet passend is bij de overstromingskansbenadering. In de toelichting is dit nader onderbouwd. Bij een toekomstige doorontwikkeling van de KNMI-methode wordt geadviseerd om zowel de eerdere adviezen van ENW (ENW-23-11) als de aanvullende adviezen van de expertgroep in gedachten te blijven houden.

Het alternatief voor het advies om over te stappen op de nieuwe statistiek op basis van synthetische reeksen is het blijven gebruiken van de statistieken uit WBI2017. Dit alternatief scoort duidelijk minder goed op de aspecten methodiek, navolgbaarheid, reproduceerbaarheid en kwaliteitsborging, en wordt daarom ontraden door zowel WVL als de expertgroep.

De andere terugvaloptie bestaat uit het volledig overnemen van de voorstellen van de expertgroep. Deze optie heeft zowel praktische, procedurele als inhoudelijke bezwaren, zie de toelichting.

Nadere achtergronden en onderbouwingen worden gegeven in onderstaande toelichting. Als separate bijlage-documenten zijn daarnaast het adviesmemo van de expertgroep en de naar aanleiding daarvan bijgewerkte KNMI-rapportage bijgevoegd.

Toelichting en achtergrond

Rijkswaterstaat Water,
Verkeer en Leefomgeving

Scope en kenmerken van de statistiekupdate

De KNMI-update omvat qua scope de volgende basisstochasten en Watersystemen:

1. De zeewaterstandstatistiek, voor de Hollandse en Zeeuwse Kust (zowel zandige als niet-zandige keringen), de Waddenzee, de Ooster- en Westerschelde en de Rijn-Maasmonding.
2. De windstatistiek voor alle hierboven genoemde watersystemen behalve de Rijn-Maasmond. Voor de windstatistiek van de Rijn-Maasmonding is nog geen alternatief voor de WBI2017-windstatistiek op basis van meetreeksen van KNMI-Schiphol beschikbaar.

Daarnaast zal de correlatie tussen wind en zeewaterstand een update krijgen.

Deze update maakt deel uit van een breder ontwikkelingstraject zoals beschreven in ENW-advies 23-11 en de bijbehorende DGWB-adviesaanvraag.

De kern van de geadviseerde KNMI-aanpak is dat deze gebruik maakt van ruim 9700 jaar aan modelreeksen, maar voor de zeewaterstand ook gebruik maakt van metingen, waarmee de aanpak feitelijk hybride is. Voorlopers van deze aanpak zijn al gebruikt om in WBI2017 via expert judgement de uit meetreeksen afgeleide statistische onzekerheid in de zeewaterstand met een factor 3 te verkleinen.

Om een statistiek voor zeer zeldzame gebeurtenissen af te leiden moet op basis van de metingen en de modelreeksen een extreme-waarde-verdeling worden bepaald. Deze verdeling laat zich beschrijven door een locatieparameter, een schaalparameter en een vormparameter. Voor de zeewaterstand geldt daarbij dat de locatie- en schaalparameter van de extreme-waarde-verdeling al vrij nauwkeurig uit de meetreeksen zijn te bepalen, maar dat dat zeker niet geldt voor de vormparameter. Ter illustratie: als een extreme-waarde-fit met vrije vormparameter uitsluitend op basis van alleen orde 75 jaar aan metingen zou worden bepaald, dan kunnen de geschatte herhalingstijden een factor 10-100 verschillen van de werkelijke herhalingstijden. Kortom, in de KNMI-aanpak worden de windstatistiek en de vormparameter van de zeewaterstandsstatistiek uit de langjarige modelreeksen bepaald, en de locatie- en schaalparameter van de zeewaterstandstatistiek uit de meetreeksen.

Door gebruik te maken van lange modelreeksen kunnen de statistische onzekerheden in de wind en de waterstand sterk verkleind worden. DGWB sprak daarbij al in 2015 ook een wens uit deze statistische onzekerheden te verkleinen, wat in WBI2017 nog op ad-hoc-wijze is gedaan. De prijs van zo'n reductie van statistische onzekerheden is dat met een aanpak met behulp van lange modelreeksen zowel modelafwijkingen als modelonzekerheden geïntroduceerd worden, die uiteraard wel verrekend moeten worden. Dat gebeurt dan ook in de KNMI-methode.

Voor de windstatistiek komt de KNMI-methode zowel qua getalswaarden als qua onzekerheid gemiddeld vergelijkbaar uit met de WBI2017-windstatistiek. Merk daarbij op dat er voor de WBI2017-windstatistiek slechts 40 jaar aan windmetingen beschikbaar was, waardoor de WBI2017-windstatistiek ietwat springerig uitvalt als functie van de windrichting, en ook in opeenvolgende kuststations.

De eens-per-10000-jaar zeewaterstandstatistiek van KNMI komt voor de Hollandse en Zeeuwse Kust circa 20-60 cm lager uit dan WBI2017. Dat komt

Datum

30 januari 2026

omdat volgens de nieuwe KNMI-inzichten de stormvloed van 1953 enkele malen zeldzamer is dan tot nu toe ingeschat. Rond de Waddenzee (inclusief Kop van Noord-Holland) komt KNMI veelal binnen 5-10 cm van de WBI2017-getallen uit, soms wat hoger, soms wat lager.

De door KNMI afgeleide onzekerheden voor de zeewaterstanden langs de Hollandse en Zeeuwse kust vallen veelal tot 10 cm lager uit dan in het WBI2017, in het Waddengebied vaak juist tot ruim 5 cm hoger.

Voor het hydraulisch belastingniveau (HBN) kunnen de verschillen ten opzichte van WBI2017 tot circa twee keer groter uitpakken dan voor de hierboven genoemde normwaterstanden. Hierin is al verdisconteerd dat de afhankelijkheid tussen zeewaterstand en wind in de KNMI-update (zie Bijlage E.5 van hun rapport) iets ongunstiger uitpakt dan in WBI2017. Deze afhankelijkheid maakt deel uit van de bepaling van de golfbelastingen en de hydraulische belastingniveaus (HBNs) in het WBI- en BOI-belastingmodel voor de Kust en Benedenrivieren.

Werkwijze review en kwaliteitsborging

Sinds het begin van het KNMI-onderzoek in 2014 was sprake van intensieve inhoudelijke begeleiding en kwaliteitsborging door RWS WVL. Bovendien zijn er - veelal op verzoek van WVL- diverse externe reviews op de KNMI-aanpak geweest, zoals hieronder beschreven. Vanaf 2021, toen de methode voor het updaten van de statistieken voor de Kust meer concreet begon te worden is ENW via een presentatie geïnformeerd en is de statistische aanpak extern gereviewd door prof. Pieter van Gelder (reviews in 2020 en 2022), waarbij deze geen bezwaren uitsprak tegen de gekozen statistische methodes.

In 2023 volgde een ENW-advies (ENW-23-11). ENW gaf daarbij aan de nieuwe KNMI-methode de nieuwe methode adequaat te vinden om extreme-waarden-verdelingen voor de zeewaterstand- en windstatistiek te bepalen, maar vroeg wel aandacht voor modeltekortkomingen en -onzekerheden, en de statistische duiding van de stormvloed van 1953. Beide zaken krijgen aandacht in de KNMI-rapportage.

In 2024 heeft WVL een korte inhoudelijke review door Deltares laten uitvoeren, en een softwarereview (code review) door HKV Lijn in Water. Dit omdat WVL wilde dat de KNMI-statistieken boven elke twijfel verheven zijn, gegeven het feit dat deze voor de Hollandse en Zeeuwse Kust decimeters lager uitpakken dan in WBI2017.

Binnen Rijkswaterstaat bleef de wens bestaan voor een dubbelcheck, en DGWB heeft deze wens overgenomen. Dit heeft geleid tot het instellen van een expertgroep, ook wel aangeduid als reviewpanel. Gedurende de periode februari tot en met begin november 2025 hebben zij zich de KNMI-aanpak eigen gemaakt op basis van KNMI Technisch Rapport TR-406 en diverse aanvullende toelichtingen, ondersteund door een zevental expertsessies waarin hun vragen en kritiekpunten, alsmede de KNMI-reacties daarop, uitgebreid zijn besproken. Aansluitend daarop hebben de expertgroepleden (van Arcadis, Deltares, HKV, Jongejan RMC, RWS GPO, TNO en TUD) hun advies opgesteld. Naar aanleiding van de expertsessies en het conceptadvies van de expertgroep heeft KNMI diverse aanpassingen aan hun methode doorgevoerd en de documentatie op diverse punten verbeterd ten opzichte van het oorspronkelijke rapport.

Bevindingen uit het advies van de expertgroep en uit de code review

De hoofdpunten van het advies van de expertgroep zijn als volgt samen te vatten:

1. Het gebruik van synthetische data is een mooie stap voorwaarts en vrijwel onontkoombaar richting de toekomst.
2. De expertgroep spreekt een voorkeur uit voor een Bayesiaanse aanpak.
3. De expertgroep spreekt ook een voorkeur uit voor gangbaarder type extreme-waarde-verdeling dan KNMI hanteert.
4. De expertgroep adviseert de modelonzekerheid voor de wind (bedoeld is de windschuifspanning) iets te reduceren en die van de zeewaterstand juist iets te verhogen, waarbij een pragmatische keuze is om voor beide dezelfde waarde te hanteren, maar merkt daarbij op dat gecontroleerd moet worden of dit nog in verhouding staat met mogelijk conservatisme in andere keuzes binnen de KNMI-aanpak.
5. De expertgroep geeft aan met de door hen geadviseerde keuzes niet tot wezenlijk andere resultaten dan die van KNMI te komen en ziet daarom geen aanleiding de resultaten van KNMI te verwerpen.

Hieraan kunnen nog drie bevindingen worden toegevoegd die echter niet afkomstig zijn uit het advies van de expertgroep, maar uit de code review en twee recente aanvullende adviezen van HKV:

6. In de code review is geconstateerd dat de door KNMI gebruikte software conform documentatie is, vrij van fouten is en tot reproduceerbare resultaten leidt. Wel wordt deze ervaren als relatief complex. Dit sluit aan op punt 3 van het expertgroeppadvies.
7. Ook de windstatistieken voor de Westerschelde, Oosterschelde en Waddenzee kunnen een update krijgen op basis van de nieuwe KNMI-aanpak en -resultaten.
8. Daarnaast is conform het advies van de expertgroep de correlatie tussen wind- en zeewaterstandstatistiek geverifieerd. Op basis van het HKV-advies kunnen deze nu een update krijgen op basis van de nieuwe KNMI-aanpak, zowel voor de Kust als de Rijn-Maasmond.

Implementatie van de bevindingen van de expertgroep en de code review

Allereerst moet benadrukt worden dat het KNMI naar aanleiding van de 7 expertsessies in 2026 al diverse keuzes uit KNMI Technisch Rapport TR406 heeft bijgesteld. Op één klein punt na betreft het telkens een bijgestelde keuze die leidt tot een conservatiever resultaat (en dus hogere wind en/of zeewaterstand) dan in de oorspronkelijke KNMI-statistiekvoorstellen. Naast een verhoging van de modelonzekerheid in de vormparameter van de extreme-waarde-verdeling van de windschuifspanning (was 0,10, nu 0,17) zijn diverse andere keuzes aangepast op verzoek van de expertgroep, zie Hoofdstuk 2 van de nieuwe KNMI-rapportage. Waar KNMI aanvankelijk in lijn met de overstromingskansbenadering nog neigde naar zuivere schattingen van kansen, overschrijdingswaarden en onzekerheidsbanden zijn veel keuzes naar aanleiding van de expertgroepsessies toch aan de voorzichtige en daarmee conservatieve kant uitgevallen.

RWS-WVL adviseert als volgt om te gaan met de bevindingen van de expertgroep en de drie aanvullende HKV-adviezen zoals genoemd bij punt 6, 7 en 8 hierboven:

- Ad 1) RWS-WVL onderschrijft deze bevinding, en adviseert dan ook om over te stappen op de nieuwe statistiek.
- Ad 2) Op dit moment is onvoldoende helder hoe de Bayesiaanse kansberekening van de expertgroep een plaats kan krijgen in de huidige statistiekupdate. Dit onder andere vanwege seriële afhankelijkheden in de metingen (zie par. 3.3.3 van de KNMI-rapportage). RWS-WVL zal dit advies daarom in overweging nemen bij vervolgonderzoek.
- Ad 3) De KNMI-rapportage en de review door prof. Pieter van Gelder tonen aan dat de gekozen verdeling passend is voor het afleiden van de

- statistiek. RWS-WVL zal de wensen ten aanzien van eenvoudiger uitlegbaarheid en gangbaarder verdelingstype evenwel in overweging nemen bij vervolgonderzoek.
- Ad 4) WVL adviseert de onzekerheidskeuzes uit de laatste KNMI-rapportage over te nemen en merkt daarbij op dat KNMI qua modelkeuze, qua keuze verdelingstype, en op diverse andere punten al conservatieve uitgangspunten heeft gekozen (zie onder andere Hoofdstuk 2 van hun rapportage).
 - a. RWS-WVL neemt voor nu de keuzes voor een modelonzekerheid van 0,17 voor de windschuifspanningsvormparameter over van de KNMI-rapportage, al is WVL net als de expertgroep van mening dat deze volgt uit een stapeling van conservatieve aannamen. De onzekerheden in de resulterende windstatistiek zullen echter niet conservatiever zijn dan die van WBI2017 en naar verwachting is hun doorwerking in de berekende overstromingskans vrij beperkt.
 - b. RWS-WVL kan niet meegaan in de argumentatie de modelonzekerheid van 0,1 voor de zeewaterstandvormparameter te verhogen en ook niet om deze per definitie gelijk te stellen aan de modelonzekerheid van de windschuifspanningsvormparameter. Voor de laatste heeft KNMI namelijk al een opslagfactor van 4 op de berekende vormparameteronzekerheid toegepast, terwijl de rekenkundige resultaten in ruime mate (met een factor 4-6) ondersteunen dat de vormparameteronzekerheid voor de zeewaterstand kleiner is dan die van de schuifspanning. Daarbij geeft de expertgroep geen concrete aanwijzingen dat een zeewaterstand-vormparameter-modelonzekerheid van 0,1 te laag is. RWS-WVL adviseert daarom een waarde van 0,10 conform het rapport van het KNMI.
 - Ad 5) Deze bevinding ondersteunt het advies om voor BOI over te stappen op de nieuwe statistiek.
 - Ad 6) Deze bevinding uit de code review ondersteunt het advies om voor BOI over te stappen op de nieuwe statistiek. RWS-WVL neemt de opmerking over de complexiteit van de code mee in vervolgonderzoek.
 - Ad 7) Aanvankelijk had WVL enige aarzeling de nieuwe offshore-windstatistieken van KNMI toe te passen op watersystemen waar bij sommige (voornamelijk afluiddige) windrichting beschuttingseffecten van nabijgelegen landmassa's niet 100% zijn uit te sluiten. Daarom is aanvullend advies van HKV ingewonnen. Uit het HKV-advies blijkt dat voor de Waddenzee zonder negatieve implicaties of andere bezwaren kan worden overgestapt van de gemeten WBI2017-statistiek van West-Terschelling naar de nieuwe (offshore)windstatistiek van KNMI. Voor de Westerschelde en Oosterschelde beveelt HKV aan om de KNMI-(offshore) windstatistiek op basis van offshore-nearshore-windvertaalfactoren uit de WBI2017-productiesommen te vertalen naar de meetlocaties Vlake van de Raan en Vlissingen. Dit om zo goed mogelijk aan te sluiten op het windveld in deze estuaria en bij de uitgangspunten van de reeds gemaakte productiesommen. Voor de Waddenzee zijn dergelijke factoren niet beschikbaar, maar zoals hierboven aangegeven ook niet noodzakelijk.
 - Ad 8) De huidige WBI2017-methode om de afhankelijkheid tussen wind- en zeewaterstandstatistiek te beschrijven verandert nog niet, wel veranderen de zogenaamde s-waarden die een indicatie geven van de mate van correlatie. De nieuwe s-waarden zijn bepaald uit het KNMI-onderzoek, waarbij HKV aanbeveelt dezelfde drempelwaarden te hanteren als voor de directionele marginale statistiek (drempelwaarde overeenkomend met een datafractie van 1,2%). Zowel de hierboven beschreven update van de afhankelijkheid van de wind- en zeewaterstandstatistiek als de onder "Ad 7" beschreven windkeuzes dragen bij aan een consistente en volledige update van de BOI-HB-statistieken voor de Kust en overige getijwateren.

Bijlage F - Advies update wind- en zeewaterstandstatistiek voor de kust

.



RWS INFORMATIE

**Rijkswaterstaat Water,
Verkeer en Leefomgeving**

Zuiderwagenplein 2
8224 AD LELYSTAD
Postbus 2232
3500 GE UTRECHT
T 088 797 37 01
www.rijkswaterstaat.nl

Contactpersoon

Patrick Oosterlo
(senior) adviseur hydraulische
belastingen en data
patrick.oosterlo@rws.nl

Datum

17 april 2026

memo

Afvoerstatistiek Rijn en Maas en 1-op-1-relaties ten
behoefte van de hydraulische belastingen voor het
beoordelen en ontwerpen binnen BOI

1 Inleiding

Dit memo geeft de afvoerstatistiek voor de Rijn bij Lobith en de Maas bij Borgharen op basis van GRADE (Generator of Rainfall And Discharge Extremes), te gebruiken binnen het productieproces voor de hydraulische belastingen (HB) voor het beoordelen (zichtjaar 2035) en ontwerpen (zichtjaren 2075 en 2125) voor het Beoordelings- en Ontwerpinstrumentarium voor de primaire waterkeringen (BOI).

Daarnaast geeft dit memo de 1-op-1-relaties tussen de Rijnafvoer bij Lobith en de Maasafvoer bij Borgharen op basis van gelijke terugkeertijden inclusief uitgeïntegreerde statistische onzekerheid, welke gebruikt zullen worden in het productieproces voor de hydraulische belastingen voor de Rijntakken, Maas en Rijn-Maasmonding (RMM).

Uitgangspunten en werkwijze

In Oosterlo (2025) zijn de afvoerstatistiek van de Rijn (Lobith) en Maas (Borgharen en Lith) op basis van GRADE 3.0 bepaald voor zichtjaar 2035, volgens de destijds geldende uitgangspunten voor BOI. Daarnaast zijn in Oosterlo (2025) verschillende relaties voor de correlatie tussen de Rijn- en Maasafvoer bepaald: 50%-relaties tussen Lobith en Lith, 1-op-1-relaties tussen Lobith en Lith en 1-op-1-relaties tussen Lobith en Borgharen.

Aangezien de afvoerstatistiek van Rijn en Maas verandert voor de zichtjaren voor het ontwerpen (2075 en 2125) ten opzichte van het zichtjaar voor het beoordelen (2035), zijn andere statistiekbestanden voor Hydra-NL (met uitgeïntegreerde statistische onzekerheid) en Hydra-Ring (Riskeer, zonder uitgeïntegreerde statistische onzekerheid) benodigd. Doordat de statistiek verandert, verandert ook de te gebruiken 1-op-1-relatie die de correlatie tussen Rijn- en Maasafvoer weergeeft. Deze relatie wordt gebruikt binnen het productieproces voor de HB, voor het bepalen van de randvoorwaarden voor de D-Hydro-simulaties voor de Rijntakken, Maas en RMM. Voor de RMM is de 1-op-1-relatie benodigd om niet twee sommensets (Rijndominant en Maasdominant) door te hoeven rekenen.

De statistiek en 1-op-1-relaties in Oosterlo (2025), voor zichtjaar 2035, zijn bepaald met de uitgangspunten en werkwijze van destijds ("versie juli 2025"):

Uitgangspunten:

1. GRADE 3.0-statistiek voor het huidige klimaat zonder noodmaatregelen (Hegnauer et al., 2022; 2023).
2. Gebruik van onafgeronde waarden voor de statistische onzekerheid (sigma's).
3. Koppeling van Rijn- en Maasafvoer op basis van gelijke terugkeertijden, ten behoeve van de 1-op-1-relaties.
4. Gebruik van 1-op-1-relaties inclusief uitgeïntegreerde statistische onzekerheid.

Werkwijze:

5. Uitintegreren van statistische onzekerheid volgens het additieve model (Geerse, 2015).
6. Uitintegreren via een regelmatig rooster tussen de 4.500 m³/s en 25.000 m³/s met een resolutie van 25 m³/s (Rijn) en tussen de 1.000 m³/s en 7.000 m³/s met een resolutie van 10 m³/s (Maas).
7. Lineair inter- en extrapoleren met de debieten op een lineaire schaal en de overschrijdingskansen op een logaritmische schaal.
8. Wegschrijven resultaten in stappen van 500 m³/s (Rijn) en 200 m³/s (Maas).
9. Gebruik van getallen uit de HR2006 (zie bijvoorbeeld Geerse, 2015) voor laagste debieten, tot en met 4.500 m³/s (Rijn) en tot en met 500 m³/s (Maas). Deze waarden worden beschouwd zonder statistische onzekerheid.

Recent is vanuit RWS advies aan DGWB gegeven met betrekking tot de keuzes voor de klimaatscenario's en afvoerstatistiek voor BOI (Bus, 2025). Daarnaast zijn door het GRADE-team nieuwe getallen voor de afvoerstatistiek opgeleverd (*.csv-bestanden van december 2025). Ook liep de auteur van dit memo tegen enkele problemen aan bij het uitintegreren van de statistiek voor het ontwerpen. Dit alles maakt dat de uitgangspunten en werkwijze inmiddels op een aantal punten veranderd zijn ten opzichte van bovenstaande versie uit juli 2025.

Hierdoor dienen ook de afvoerstatistiek en 1-op-1-relatie voor het beoordelen, met zichtjaar 2035, opnieuw afgeleid te worden.

De uitgangspunten en werkwijze voor de statistiek en 1-op-1-relaties in het huidige memo ("versie maart 2026") zijn als volgt:

Uitgangspunten:

1. GRADE 3.0-statistiek voor het beoordelen (2035) voor het huidige klimaat met 0,5 m noodmaatregelen in Duitsland als toeslag op de werklijn voor de Rijn (opnieuw afgeleid, uit *.csv-bestanden). Voor de Maas wordt niet met noodmaatregelen gewerkt. Overigens wordt voor de waterbeweging van het Nederlandse deel van de Maas binnen BOI het D-Hydro-Maasmodel met overstroombare kades gebruikt.
2. GRADE 3.0-statistiek voor het ontwerpen (2075 en 2125) met 0,5 m noodmaatregelen in Duitsland als toeslag op de werklijnen voor de Rijn, met toepassing van een klimaatsignaal, voor KNMI'23-klimaatscenario Mn, met temperatuurschaling (uit *.csv-bestanden).
3. Voor geen enkel zichtjaar wordt de Rijnafvoerstatistiek binnen BOI handmatig afgetopt (Slomp & Bus, 2026).
4. Gebruik van de door GRADE toegeleverde statistiek in *.csv-bestanden en Excelbestanden en zoals beschreven in de hoofdtekst van de rapporten. Dit betekent dat wordt gewerkt met onafgeronde sigma's (statistische onzekerheid). De uitzondering hierop is de Rijnafvoerstatistiek voor 2035 zonder noodmaatregelen (niet te gebruiken voor BOI, maar in dit memo voor de volledigheid gegeven). Daarvoor zijn in de *.csv en hoofdtekst van het rapport afgeronde sigma's gegeven¹. In een bijlage van het GRADE 3.0-rapport is wel een tabel met onafgeronde waarden gegeven, maar op een ander rooster van terugkeertijden. Uit het oogpunt van consistentie is ervoor gekozen overal de waarden uit de *.csv en hoofdtekst te hanteren. Verschillen die hierdoor ontstaan, zijn nader beschreven in hoofdstuk 3.
5. Koppeling van Rijn- en Maasafvoer op basis van gelijke terugkeertijden, ten behoeve van de 1-op-1-relaties.
6. Gebruik van 1-op-1-relaties inclusief uitgeïntegreerde statistische onzekerheid.

Werkwijze:

7. Indien in de GRADE-toelevering de laatste sigma kleiner is dan de een-na-laatste sigma, wordt de laatste sigma gelijkgesteld aan de een-na-laatste sigma, om eventuele problemen bij het extrapoleren (negatieve onzekerheid) te voorkomen.
8. Lineair interpoleren en extrapoleren vanuit de GRADE-data met de debieten op een lineaire schaal en de overschrijdingskansen op een logaritmische schaal, via een regelmatig rooster tussen de 5.000 m³/s en 25.000 m³/s met een resolutie van 1 m³/s (Rijn) en tussen de 1.000 m³/s en 10.000 m³/s met een resolutie van 1 m³/s (Maas).
9. Wegschrijven van de getallen op het rooster van de toelevering vanuit GRADE (T = 2 jaar, ..., T = 100.000 jaar), uitgebreid met T = 200.000, 300.000, 500.000 en 1.000.000 jaar. Dit is nodig om gelijke uitkomsten

¹ Recent is gebleken dat de getallen voor 2035 (huidig klimaat) zonder noodmaatregelen in de door Deltares opgeleverde *.csv inconsistent zijn. De getallen in de *.csv komen overeen met de getallen in Hegnauer et al. (2023) en dus met GRADE 3.0. De overige getallen in de *.csv, dus voor de andere zichtjaren en scenario's, zijn echter in 2025 door Deltares opnieuw afgeleid. Voor het afleiden van de getallen uit 2025 is gebruik gemaakt van de ruwe GRADE 3.0-jaarmaxima, in plaats van de getallen uit de GRADE 3.0-tabellen. De tabellen bevatten te weinig datapunten om de transformatie van klimaatfactoren en regressies uit te kunnen voeren. Daarnaast waren de getallen in de GRADE 3.0-tabellen afgerond (zie ook de hoofdtekst van voorliggend memo). Voor de volledigheid zijn beide versies van de getallen gegeven in Bijlage A van dit memo.

te krijgen in Hydra-NL (de uitgeïntegreerde waarden zijn invoer) en Hydra-Ring (de statistische onzekerheid wordt meegenomen als aparte stochast, dus er wordt *on-the-fly* "uitgeïntegreerd"). Als in Hydra-NL alleen waarden tot 10^5 jaar ingevoerd zouden worden, zou voor 10^6 jaar worden geëxtrapoleerd op basis van uitgeïntegreerde waarden. Dit zou niet hetzelfde resultaat opleveren als in Hydra-Ring. Nog extremere terugkeertijden dan 10^6 jaar, zullen voor de afvoerstatistiek in de praktijk zelden tot nooit relevant zijn of gebruikt worden.

10. Uitintegreren van statistische onzekerheid volgens het additieve model (Geerse, 2015) ten behoeve van de invoerbestanden voor Hydra-NL. Uitintegreren op hetzelfde rooster van terugkeertijden als in de vorige stap.
11. Gebruik van getallen uit de HR2006 (zie bijvoorbeeld Geerse, 2015) voor de laagste (hoogstfrequente) debieten, tot en met $4.500 \text{ m}^3/\text{s}$ (Rijn) en tot en met $1.000 \text{ m}^3/\text{s}$ (Maas). Deze waarden worden beschouwd zonder statistische onzekerheid en enkel gebruikt voor de invoerbestanden voor Hydra-NL, om problemen bij extrapoleren te voorkomen. Aangezien Hydra-Ring trekkingen doet uit de verdelingen en niet extrapoleert, speelt dit issue niet bij Hydra-Ring.
12. Het combineren van de HR2006-waarden met de geëxtrapoleerde en uitgeïntegreerde waarden op basis van GRADE, levert invoer voor Hydra-NL (uitgeïntegreerd, gebaseerd op HR2006 en GRADE) en Hydra-Ring (niet-uitgeïntegreerd, enkel gebaseerd op GRADE) op.
13. Lineair interpoleren en extrapoleren op basis van de resultaten uit de vorige stappen, ten behoeve van de 1-op-1-relaties. Via een regelmatig rooster tussen de $5.000 \text{ m}^3/\text{s}$ en $25.000 \text{ m}^3/\text{s}$ (Rijn) en tussen de $1.000 \text{ m}^3/\text{s}$ en $10.000 \text{ m}^3/\text{s}$ (Maas), waarbij de resultaten worden weggeschreven in stappen van $500 \text{ m}^3/\text{s}$ (Rijn) en $200 \text{ m}^3/\text{s}$ (Maas). Vervolgens koppelen van de Rijn- en Maasafvoer op basis van gelijke terugkeertijden. Voor de koppeling voor de laagste debieten voor BOI (Rijnafvoer bij Lobith van $600 \text{ m}^3/\text{s}$, $2.000 \text{ m}^3/\text{s}$ en $4.000 \text{ m}^3/\text{s}$) worden wederom waarden uit de HR2006 gebruikt.

De verschillen tussen methode maart 2026 en methode juli 2025 kunnen dus worden onderverdeeld in verschillen in uitgangspunten en werkwijze. De impact van deze verschillen is beschreven in hoofdstuk 6.

De afvoerstatistiek voor Lobith inclusief 0,5 m noodmaatregelen, welke gebruikt wordt voor het beoordelen binnen BOI, is afkomstig uit de *.csv-bestanden (herberekening, "with_measures"). Voor het ontwerpen wordt tevens de afvoerstatistiek bij Lobith met 0,5 m noodmaatregelen uit de *.csv's gebruikt (zichtjaren 2075 en 2125, "with_measures", klimaatscenario Mn). Voor meer details, zie het vorige hoofdstuk.

Tabel 1 geeft de afvoerstatistiek bij Lobith zonder en met uitgeïntegreerde statistische onzekerheid voor zichtjaar 2035, met 0,5 m noodmaatregelen, zoals te gebruiken binnen BOI (resultaat van versie maart 2026, zoals beschreven in het vorige hoofdstuk).

Voor de volledigheid is ook de statistiek zonder noodmaatregelen gegeven. Hiervan zijn meerdere versies beschikbaar: op basis van afgeronde sigma's (op het standaard-GRADE-rooster van terugkeertijden, resultaat van versie maart 2026) en op basis van onafgeronde sigma's (op een alternatief rooster, resultaat van versie juli 2025). Daarnaast is nog een derde versie beschikbaar, vanuit de heranalyse van Deltares uit 2025. Deze getallen zijn pas na de analyses in dit memo beschikbaar gekomen en daarom hier niet gebruikt, zie ook de voetnoot in het vorige hoofdstuk en Bijlage A.

Tabel 2 geeft de afvoerstatistiek bij Lobith voor 2075 en 2125 zonder en met uitgeïntegreerde statistische onzekerheid, met 0,5 m noodmaatregelen, zoals te gebruiken binnen BOI.

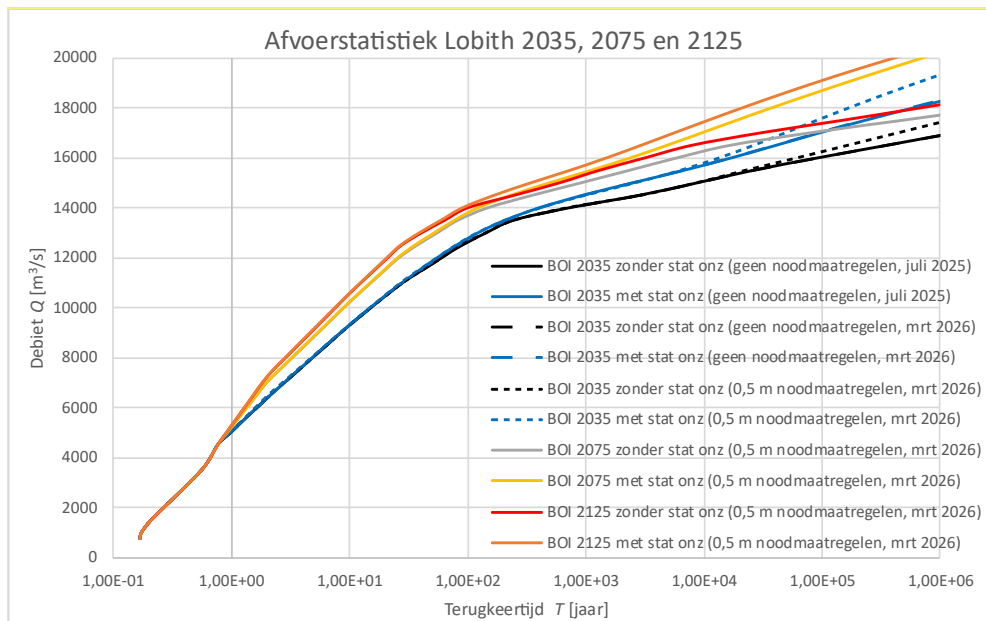
Figuur 1 vergelijkt de verschillende versies van de statistiek met elkaar.

Tabel 1. Afvoerstatistiek Lobith zonder (Q_{zonder}) en met (Q_{met}) uitgeïntegreerde statistische onzekerheid voor zichtjaar 2035. Versie maart 2026 met 0,5 noodmaatregelen, te gebruiken voor BOI, versie maart 2026 zonder noodmaatregelen (afgeronde sigma's) en versie juli 2025 zonder noodmaatregelen (onafgeronde sigma's). Resultaat van inter- en extrapolatie en uitintegreren statistische onzekerheid. Omgerekend van overschrijdingskans per hoogwater naar per jaar, via 6 hoogwaters met trapeziumduur van 30 dagen in winterhalfjaar van 180 dagen.

Lobith	2035 (mrt 2026, 0,5 m noodmaatregelen, onafgeronde sigma's)		2035 (mrt 2026, zonder noodmaatregelen, afgeronde sigma's)		2035 (jul 2025, zonder noodmaatregelen, onafgeronde sigma's)	
P [jaar⁻¹]	Q_{zonder} [m³/s]	Q_{met} [m³/s]	Q_{zonder} [m³/s]	Q_{met} [m³/s]	Q_{zonder} [m³/s]	Q_{met} [m³/s]
6.00E+00	750	750	750	750	750	750
5.82E+00	1000	1000	1000	1000	1000	1000
4.80E+00	1500	1500	1500	1500	1500	1500
1.80E+00	3500	3500	3500	3500	3500	3500
1.32E+00	4500	4500	4500	4500	4500	4500
5.00E-01	6456	6466	6387	6396	6381	6380
2.00E-01	8066	8101	8055	8076	8054	8064
1.00E-01	9322	9346	9315	9328	9305	9319
4.00E-02	10839	10889	10838	10856	10820	10835
3.33E-02	11103	11179	11098	11139	11091	11117
1.00E-02	12683	12834	12657	12773	12627	12764
4.00E-03	13521	13683	13531	13663	13515	13645
3.33E-03	13623	13813	13611	13801	13598	13781
2.00E-03	13857	14134	13840	14141	13831	14127
1.00E-03	14163	14514	14140	14536	14118	14530
8.00E-04	14209	14629	14210	14654	14199	14644
4.00E-04	14441	14984	14450	15005	14452	15000
3.33E-04	14521	15081	14520	15096	14523	15092
2.00E-04	14752	15361	14740	15352	14750	15349
1.00E-04	15071	15790	15060	15714	15060	15711
5.00E-05	15449	16292	15380	16100	15377	16090
4.00E-05	15551	16467	15480	16230	15479	16219
3.33E-05	15649	16613	15560	16337	15554	16325
2.00E-05	15897	17028	15770	16639	15756	16622
1.00E-05	16250	17594	16030	17049	16029	17028
5.00E-06	16603	18144	16290	17446	16290	17420
3.33E-06	16810	18457	16442	17671	16443	17640
2.00E-06	17070	18839	16634	17947	16634	17911
1.00E-06	17423	19341	16894	18308	16894	18257

Tabel 2. Afvoerstatistiek Lobith zonder en met uitgeïntegreerde statistische onzekerheid voor zichtjaren 2075 en 2125, met 0,5 m noodmaatregelen. Resultaat van inter- en extrapolatie en uitintegreren statistische onzekerheid. Omgerekend van overschrijdingskans per hoogwater naar per jaar, via 6 hoogwaters met trapeziumduur van 30 dagen in winterhalfjaar van 180 dagen.

Lobith	2075 met 0,5 m noodmaatregelen		2125 met 0,5 m noodmaatregelen	
P [jaar⁻¹]	Q_{zonder} [m³/s]	Q_{met} [m³/s]	Q_{zonder} [m³/s]	Q_{met} [m³/s]
6.00E+00	750	750	750	750
5.82E+00	1000	1000	1000	1000
4.80E+00	1500	1500	1500	1500
1.80E+00	3500	3500	3500	3500
1.32E+00	4500	4500	4500	4500
5.00E-01	7034	7043	7266	7276
2.00E-01	8845	8874	9145	9173
1.00E-01	10233	10253	10583	10598
4.00E-02	11934	11976	12341	12377
3.33E-02	12241	12294	12666	12696
1.00E-02	13749	13846	14004	14127
4.00E-03	14339	14568	14508	14797
3.33E-03	14428	14691	14611	14917
2.00E-03	14662	15014	14866	15246
1.00E-03	15054	15441	15394	15710
8.00E-04	15132	15581	15480	15867
4.00E-04	15543	16036	15857	16382
3.33E-04	15674	16163	15970	16523
2.00E-04	15930	16527	16257	16915
1.00E-04	16220	17039	16632	17446
5.00E-05	16606	17553	16876	17965
4.00E-05	16675	17717	16939	18129
3.33E-05	16736	17851	16999	18263
2.00E-05	16873	18217	17147	18626
1.00E-05	17067	18702	17374	19102
5.00E-06	17261	19173	17601	19557
3.33E-06	17375	19444	17734	19813
2.00E-06	17517	19780	17901	20125
1.00E-06	17711	20230	18128	20531



Figuur 1. Verschillende versies van de afvoerstatistiek voor de Rijn bij Lobith. "zonder stat onz" is de statistiek zonder uitgeïntegreerde statistische onzekerheid, "met stat onz" de statistiek met uitgeïntegreerde statistische onzekerheid.

De afvoerstatistiek voor Borgharen, welke gebruikt wordt voor het beoordelen binnen BOI, is afkomstig uit GRADE 3.0 (Hegnauer et al., 2022). Voor het ontwerpen wordt de afvoerstatistiek bij Borgharen uit de *.csv's gebruikt (zichtjaren 2075 en 2125, voor de Maas altijd zonder noodmaatregelen, klimaatscenario Mn).

Tabel 3 geeft de afvoerstatistiek bij Borgharen zonder en met uitgeïntegreerde statistische onzekerheid voor zichtjaar 2035, zoals te gebruiken voor BOI (resultaat van versie maart 2026, zoals beschreven in hoofdstuk 2). Voor de volledigheid is ook versie juli 2025 van de statistiek gegeven.

Tabel 4 geeft de afvoerstatistiek bij Borgharen voor 2075 en 2125 zonder en met uitgeïntegreerde statistische onzekerheid (versie maart 2026).

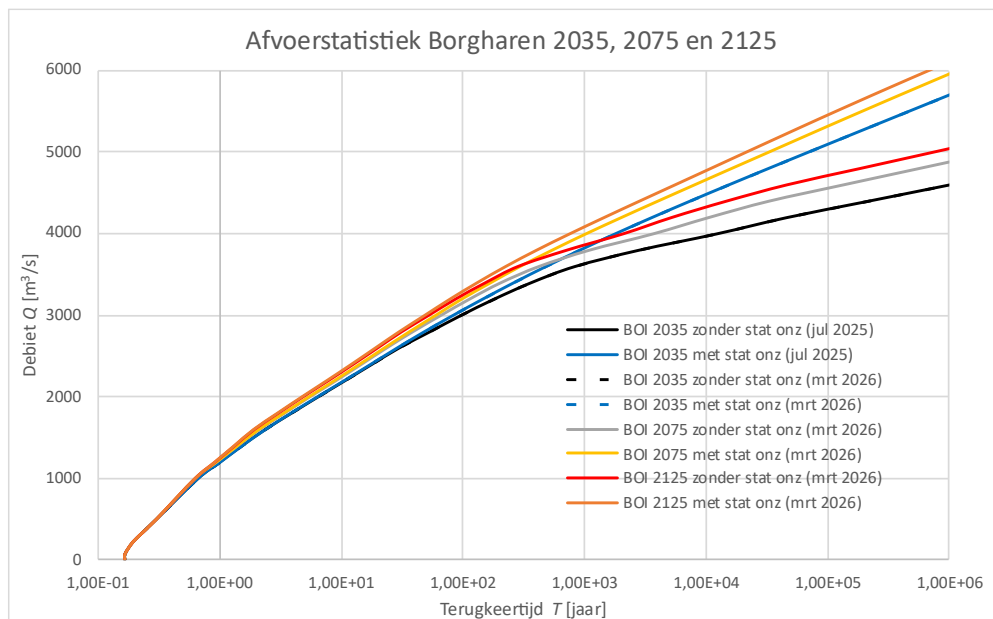
Figuur 2 vergelijkt de verschillende versies van de statistiek met elkaar.

Tabel 3. Afvoerstatistiek Borgharen zonder en met uitgeïntegreerde statistische onzekerheid voor zichtjaar 2035. Resultaat van versie 2026, te gebruiken voor BOI, en versie juli 2025. Resultaat van inter- en extrapolatie en uitintegreren statistische onzekerheid. Omgerekend van overschrijdskans per hoogwater naar per jaar, via 6 hoogwaters met trapeziumduur van 30 dagen in winterhalfjaar van 180 dagen.

Borgharen	2035 (mrt 2026)		2035 (jul 2025)	
P [jaar⁻¹]	Q_{zonder} [m³/s]	Q_{met} [m³/s]	Q_{zonder} [m³/s]	Q_{met} [m³/s]
6.00E+00	0	0	0	0
5.97E+00	75	75	75	75
5.28E+00	200	200	200	200
4.56E+00	300	300	300	300
3.30E+00	500	500	500	500
1.58E+00	1000	1000	1000	1000
5.00E-01	1530	1537	1522	1521
2.00E-01	1900	1909	1898	1903
1.00E-01	2170	2182	2170	2178
4.00E-02	2530	2548	2529	2543
3.33E-02	2600	2621	2600	2616
1.00E-02	3010	3072	3009	3065
4.00E-03	3300	3390	3291	3384
3.33E-03	3350	3451	3344	3445
2.00E-03	3480	3617	3475	3611
1.00E-03	3640	3833	3629	3826
8.00E-04	3680	3900	3666	3893
4.00E-04	3780	4104	3780	4097
3.33E-04	3810	4157	3808	4150
2.00E-04	3880	4301	3878	4294
1.00E-04	3970	4492	3972	4485
5.00E-05	4070	4680	4073	4672
4.00E-05	4110	4740	4107	4732
3.33E-05	4140	4789	4134	4781
2.00E-05	4210	4925	4209	4916
1.00E-05	4300	5108	4300	5100
5.00E-06	4390	5291	4390	5282
3.33E-06	4443	5398	4443	5390
2.00E-06	4509	5532	4509	5523
1.00E-06	4599	5714	4599	5705

Tabel 4. Afvoerstatistiek Borgharen zonder en met uitgeïntegreerde statistische onzekerheid voor zichtjaren 2075 en 2125. Resultaat van inter- en extrapolatie en uitintegreren statistische onzekerheid. Omgerekend van overschrijdingskans per hoogwater naar per jaar, via 6 hoogwaters met trapeziumduur van 30 dagen in winterhalfjaar van 180 dagen.

Borgharen	2075		2125	
P [jaar ⁻¹]	Q_{zonder} [m ³ /s]	Q_{met} [m ³ /s]	Q_{zonder} [m ³ /s]	Q_{met} [m ³ /s]
6.00E+00	0	0	0	0
5.82E+00	75	75	75	75
4.80E+00	200	200	200	200
1.80E+00	300	300	300	300
1.32E+00	500	500	500	500
1.58E+00	1000	1000	1000	1000
5.00E-01	1572	1579	1619	1626
2.00E-01	1959	1967	2013	2021
1.00E-01	2237	2251	2299	2313
4.00E-02	2622	2641	2698	2717
3.33E-02	2701	2720	2780	2798
1.00E-02	3154	3206	3252	3298
4.00E-03	3464	3540	3565	3636
3.33E-03	3515	3603	3612	3699
2.00E-03	3638	3772	3724	3868
1.00E-03	3781	3989	3867	4085
8.00E-04	3821	4057	3908	4153
4.00E-04	3926	4262	4031	4361
3.33E-04	3960	4315	4078	4416
2.00E-04	4055	4462	4190	4567
1.00E-04	4189	4661	4330	4773
5.00E-05	4309	4859	4454	4979
4.00E-05	4352	4922	4499	5046
3.33E-05	4385	4974	4533	5100
2.00E-05	4460	5120	4611	5251
1.00E-05	4557	5317	4711	5455
5.00E-06	4654	5512	4811	5655
3.33E-06	4711	5626	4870	5771
2.00E-06	4782	5767	4943	5915
1.00E-06	4879	5958	5043	6109



Figuur 2. Verschillende versies van de afvoerstatistiek voor de Maas bij Borgharen voor BOI. Zonder geeft de statistiek zonder uitgeïntegreerde statistische onzekerheid, met geeft de statistiek met uitgeïntegreerde statistische onzekerheid.

1-op-1-relaties Lobith – Borgharen

Voor de D-Hydro-simulaties voor de RMM zal de in bovenstroomse richting uitgebreide modelschematisatie worden gebruikt. Hiervoor moeten rivierafvoeren opgelegd worden aan de bovenranden bij Arnhem, Nijmegen en Mook. Uitgangspunt van de BOI-productieberekeningen is dat de afvoeren op de bovenranden gekoppeld zijn aan de afvoer van Lobith. De afvoeren bij Arnhem en Nijmegen zijn een direct gevolg van de afvoer te Lobith, immers deze locaties liggen benedenstrooms van Lobith langs de Rijntakken. Voor de bovenranden Arnhem en Nijmegen kan de koppeling met Lobith dan ook eenvoudig gelegd worden door gebruik te maken van de uitvoer van het D-Hydro-model van de Rijntakken.

Voor de koppeling met de bovenrand Mook (in het verleden was dit Lith) is dit niet direct mogelijk. De rivierafvoeren bij Mook zijn namelijk het directe gevolg van de Maasafvoer te Borgharen. Gezocht moet worden naar een relatie die het tegelijkertijd optreden van een Rijn- en Maasafvoer beschrijft.

In het verleden (bijvoorbeeld voor WBI2017) is ervoor gekozen om de afvoer van Lith zodanig aan de afvoer van Lobith te correleren, dat gekoppeld wordt op basis van gelijke terugkeertijden (de 1-op-1-relatie). Hiervoor moest eerst de statistiek van Borgharen naar Lith worden vertaald, zie bijvoorbeeld Duits (2023).

Voor BOI wordt overgestapt naar een 1-op-1-relatie tussen Lobith en Borgharen, omdat voor deze twee locaties uitvoer van GRADE beschikbaar is. Op deze manier worden de producten van GRADE direct gebruikt en niet gekunsteld via het probabilistische model vertaald naar Lith (of Mook). Op deze manier is het ook eenvoudiger om de Q-Q-relaties voor de bovenranden van het RMM-model te bepalen, via de vertaling Lobith – Arnhem/Nijmegen met het Rijntakkenmodel en Borgharen – Mook via het Maasmodel.

Zoals beschreven, zijn in Oosterlo (2025) reeds 1-op-1-relaties voor zichtjaar 2035 bepaald (versie juli 2025). Dat wil zeggen, GRADE 3.0 zonder noodmaatregelen en met onafgeronde sigma's op een alternatief rooster van terugkeertijden. Als gevolg van wijzigingen in de uitgangspunten en werkwijze voor versie maart 2026 ten opzichte van versie juli 2025, zal de 1-op-1-relatie voor 2035 ook wijzigen. De 1-op-1-relatie op basis van versie 2026, inclusief uitgeïntegreerde statistische onzekerheid, met 0,5 m noodmaatregelen voor de Rijn en op basis van onafgeronde sigma's, dient gebruikt te worden voor BOI.

Voor de volledigheid zijn ook de relaties voor versie maart 2026 zonder noodmaatregelen (afgeronde sigma's) en juli 2025 zonder noodmaatregelen (onafgeronde sigma's) gegeven, zie Tabel 5. Een eerste inschatting van de impact van het wijzigen van uitgangspunten en/of werkwijze is in het volgende hoofdstuk gepresenteerd.

De 1-op-1-relaties voor 2075 en 2125 (versie maart 2026) zijn gegeven in Tabel 6. Voor BOI worden de 1-op-1-relaties met statistische onzekerheid gebruikt, omdat beoordelingen uitgevoerd worden inclusief statistische onzekerheid (zie ook Honingh, Stijnen, & Botterhuis, 2023).

In Figuur 3 is te zien dat het combineren van het lage en hoge bereik leidt tot een knik in de relatie. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door een combinatie van factoren: lateralen op het Nederlandse deel van de Maas zijn bij lage afvoeren relatief gezien belangrijker, voor de lage afvoeren worden permanenties gebruikt

en (logischerwijs) omdat het lage bereik gebaseerd is op de HR2006 en het hoge bereik op GRADE. Enige afwijking bij de lage afvoeren is van minder groot belang, omdat de waterstand op de benedenstroomse delen van de rivieren dan wordt gedomineerd door de zeewaterstand en niet door de vulling van het deltabekken (Haringvliet/Hollands Diep), waar de relatie voor van belang is.

In Figuur 3 is tevens te zien dat de relaties (beperkt) van elkaar af gaan wijken vanaf 15.000 m³/s bij Lobith en 4.000 m³/s bij Borgharen. In sterkere mate geldt dit vanaf 19.000 m³/s à 20.000 m³/s bij Lobith en 6.000 m³/s bij Borgharen. Deze laatste debieten zijn statistisch gezien echter minder relevant, wat maakt dat het effect van een ander zichtjaar, noodmaatregelen en/of statistische onzekerheid in de 1-op-1-relatie probabilistisch gezien waarschijnlijk ook relatief beperkt zal zijn. Op sombasis kan dit echter wel tot grotere verschillen leiden, omdat voor BOI ook productieberekeningen voor bijvoorbeeld 24.000 m³/s bij Lobith gedraaid worden. Hieraan kan, met een andere 1-op-1-relatie, een relatief sterk afwijkend Maasdebiet gekoppeld worden (vergelijk bijvoorbeeld de verschillende kolommen van Tabel 5).

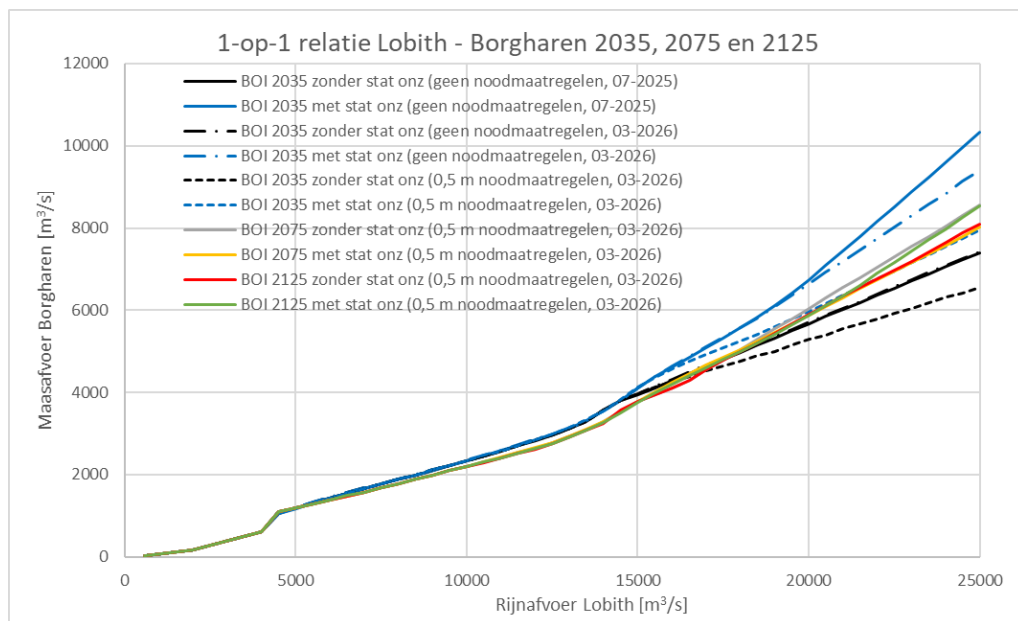
Dat de debieten op de Maas groter worden zonder noodmaatregelen dan met 0,5 m noodmaatregelen, is te verklaren aan de hand van Figuur 4. Bij eenzelfde debiet bij Lobith (gestippelde lijnen) hoort zonder noodmaatregelen een grotere terugkeertijd dan met noodmaatregelen. Hier wordt vervolgens een extremere Maasafvoer (een grotere terugkeertijd en dus groter debiet) aan gekoppeld bij een situatie zonder noodmaatregelen dan met noodmaatregelen. Andersom hoort bij eenzelfde terugkeertijd (en dus debiet op de Maas) bij een situatie zonder noodmaatregelen een lager debiet bij Lobith, dan in een situatie met noodmaatregelen. Overigens worden de grotere debieten op de Maas zonder statistische onzekerheid dan met statistische onzekerheid voor zichtjaar 2075 (zie Tabel 6) veroorzaakt door hoe de statistiek en statistische onzekerheid van Rijn en Maas zich ten opzichte van elkaar verhouden.

Tabel 5. Koppeling afvoer Borgharen aan afvoer Lobith op basis van gelijke overschrijdingsfrequentie voor 2035, waarbij de statistische onzekerheid zowel niet als wel is meegenomen. De getallen volgens versie maart 2026, met 0,5 m noodmaatregelen en onafgeronde sigma's, inclusief statistische onzekerheid, dienen gebruikt te worden binnen BOI. De getallen zonder noodmaatregelen (versie maart 2026 en juli 2025) zijn voor de volledigheid ook gegeven. Getallen tot en met 4.000 m³/s bij Lobith afkomstig uit De Jong (2021), hogere waarden afkomstig uit GRADE.

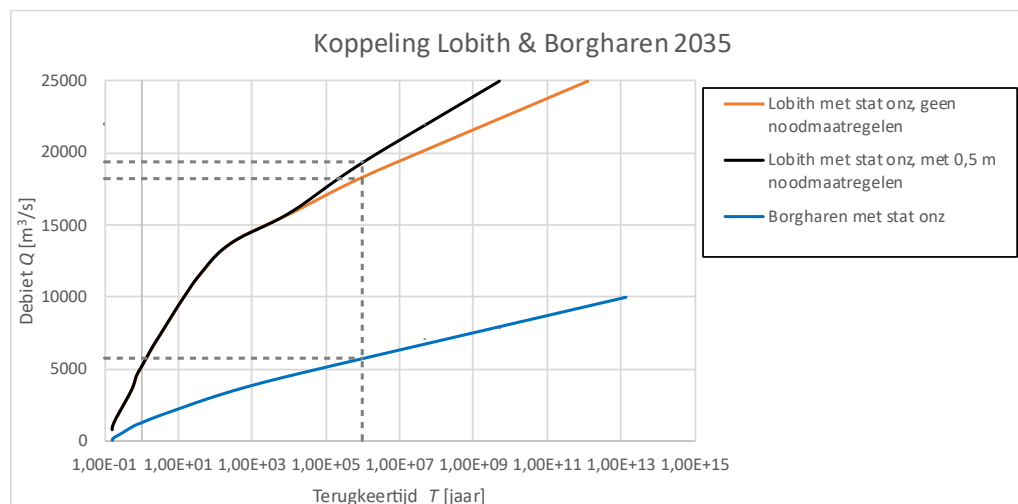
	2035 (mrt 2026, 0,5 m noodmaatregelen, onafgeronde sigma's)		2035 (mrt 2026, zonder noodmaatregelen, afgeronde sigma's)		2035 (jul 2025, zonder noodmaatregelen, onafgeronde sigma's)	
Q_{Lobith} [m³/s]	$Q_{Borgharen, zonder}$ [m³/s]	$Q_{Borgharen, met}$ [m³/s]	$Q_{Borgharen, zonder}$ [m³/s]	$Q_{Borgharen, met}$ [m³/s]	$Q_{Borgharen, zonder}$ [m³/s]	$Q_{Borgharen, met}$ [m³/s]
600	27	27	27	27	27	27
2000	158	158	158	158	158	158
4000	621	621	621	621	621	621
4500	1093	1095	1093	1095	1062	1061
5000	1196	1200	1200	1206	1186	1181
5500	1321	1325	1329	1333	1310	1305
6000	1430	1435	1444	1449	1432	1428
6500	1544	1548	1559	1564	1550	1550
7000	1665	1669	1677	1682	1666	1667
7500	1776	1778	1782	1786	1777	1781
8000	1895	1897	1899	1905	1886	1890
8500	1996	1998	1996	2003	1995	1999
9000	2115	2120	2115	2123	2103	2107
9500	2215	2223	2217	2229	2214	2219
10000	2342	2347	2343	2353	2332	2336
10500	2459	2466	2460	2474	2450	2458
11000	2578	2581	2579	2589	2573	2586
11500	2718	2721	2720	2733	2706	2715
12000	2841	2856	2846	2870	2837	2848
12500	2971	2986	2976	2998	2969	2986
13000	3134	3144	3138	3161	3124	3137
13500	3302	3335	3299	3344	3282	3318
14000	3566	3559	3575	3559	3564	3542
14500	3804	3830	3802	3815	3801	3809
15000	3974	4128	3976	4117	3954	4097
15500	4122	4373	4144	4385	4114	4378
16000	4262	4579	4327	4642	4289	4631
16500	4382	4764	4498	4879	4463	4861
17000	4529	4934	4661	5104	4636	5087
17500	4634	5097	4818	5334	4809	5320
18000	4772	5256	4992	5569	4982	5568
18500	4910	5418	5178	5819	5155	5834
19000	5003	5593	5360	6098	5328	6120
19500	5160	5781	5538	6367	5501	6426
20000	5289	5972	5711	6642	5674	6750
20500	5393	6169	5878	6926	5847	7091
21000	5546	6367	6037	7188	6020	7441
21500	5666	6565	6197	7474	6193	7798
22000	5784	6763	6384	7751	6367	8157
22500	5931	6961	6568	8014	6540	8518
23000	6038	7159	6748	8306	6713	8879
23500	6174	7357	6923	8573	6886	9241
24000	6313	7555	7093	8851	7059	9602
24500	6407	7753	7256	9133	7232	9964
25000	6562	7951	7410	9393	7405	10327

Tabel 6. Koppeling afvoer Borgharen aan afvoer Lobith op basis van gelijke overschrijdingsfrequentie voor 2075 en 2125, waarbij de statistische onzekerheid zowel niet als wel is meegenomen. Getallen volgens versie maart 2026, met 0,5 m noodmaatregelen voor de Rijn. Getallen tot en met 4.000 m³/s bij Lobith afkomstig uit De Jong (2021), hogere waarden afkomstig uit GRADE.

	2075 (mrt 2026, met 0,5 m noodmaatregelen)		2125 (mrt 2026, met 0,5 m noodmaatregelen)	
Q_{Lobith} [m³/s]	$Q_{Borgharen, zonder}$ [m³/s]	$Q_{Borgharen, met}$ [m³/s]	$Q_{Borgharen, zonder}$ [m³/s]	$Q_{Borgharen, met}$ [m³/s]
600	27	27	27	27
2000	158	158	158	158
4000	621	621	621	621
4500	1100	1100	1106	1106
5000	1188	1188	1192	1192
5500	1291	1292	1295	1296
6000	1380	1382	1383	1386
6500	1478	1483	1483	1487
7000	1567	1573	1573	1577
7500	1682	1687	1676	1679
8000	1782	1785	1777	1781
8500	1896	1900	1889	1892
9000	1993	1995	1985	1989
9500	2104	2108	2094	2099
10000	2194	2197	2187	2192
10500	2311	2319	2296	2306
11000	2413	2425	2395	2405
11500	2535	2543	2518	2529
12000	2645	2654	2625	2638
12500	2782	2787	2746	2756
13000	2941	2951	2910	2916
13500	3091	3109	3087	3092
14000	3301	3289	3257	3263
14500	3559	3520	3562	3500
15000	3772	3773	3772	3752
15500	3949	4023	3935	3990
16000	4114	4257	4112	4209
16500	4305	4465	4301	4409
17000	4553	4661	4549	4600
17500	4787	4850	4782	4796
18000	5040	5043	4994	4995
18500	5307	5247	5213	5199
19000	5554	5452	5446	5417
19500	5786	5663	5674	5639
20000	6040	5875	5900	5873
20500	6307	6091	6121	6113
21000	6554	6306	6341	6356
21500	6787	6521	6557	6605
22000	7039	6737	6771	6895
22500	7307	6951	6984	7163
23000	7554	7164	7195	7434
23500	7787	7378	7417	7718
24000	8040	7590	7649	7980
24500	8307	7800	7878	8261
25000	8554	8026	8102	8536



Figuur 3. Verschillende versies van de 1-op-1-relatie tussen de afvoer bij Borgharen en de afvoer bij Lobith op basis van gelijke overschrijdingsfrequentie, waarbij de statistische onzekerheid zowel niet (zonder stat onz) als wel (met stat onz) is meegenomen.



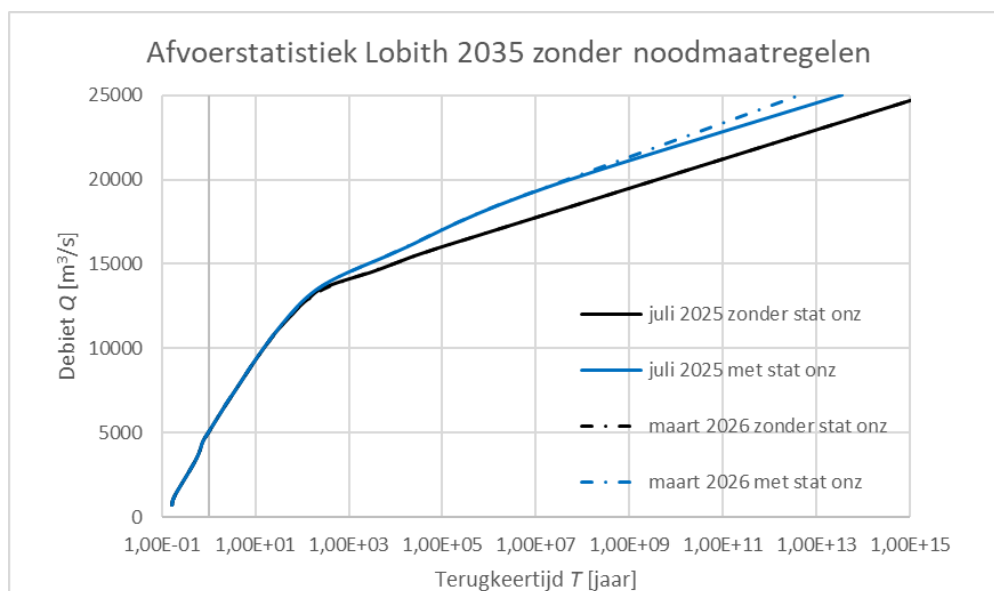
Figuur 4. Koppeling debiet Lobith aan debiet Borgharen op basis van gelijke terugkeertijden zonder en met 0,5 m noodmaatregelen voor de Rijn.

6 Discussie

6.1. Verschillen voor 2035, veroorzaakt door verschillen in werkwijze (versie juli 2025 versus maart 2026)

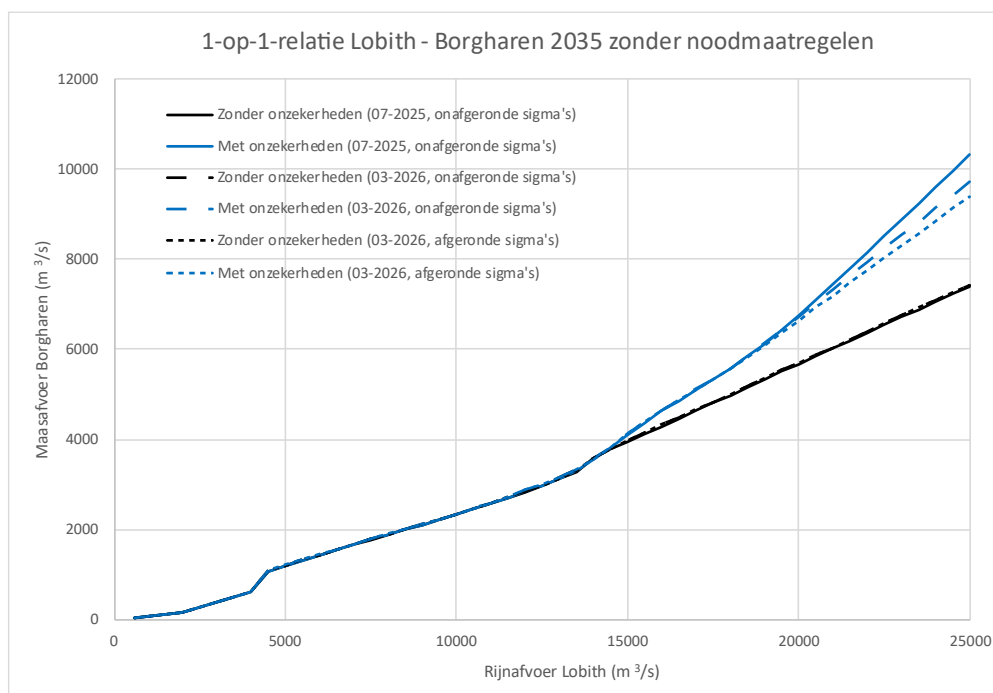
De getallen voor de Rijnafvoerstatistiek zonder noodmaatregelen volgens versie juli 2025 en maart 2026 wijken van elkaar af door twee hoofdredenen: 1) in versie juli 2025 is gewerkt met onafgeronde sigma's, in versie maart 2026 met afgeronde sigma's, en 2) in versie juli 2025 wordt voor de extreemste terugkeertijden ook nog uitgeïntegreerd, in versie maart 2026 wordt vanaf 10^6 jaar geëxtrapoleerd op basis van de uitgeïntegreerde getallen tot en met 10^6 jaar. De getallen voor de Maasafvoerstatistiek wijken alleen af door reden 2.

Voor de afvoerstatistiek voor de Rijn en Maas zonder uitgeïntegreerde statistische onzekerheid ontstaan (vrijwel) geen verschillen tussen versie juli 2025 en maart 2026 (zie als voorbeeld Figuur 5), omdat hier geen uitintegreren aan te pas komt. De getallen met statistische onzekerheid voor de Rijn gaan sterker van elkaar afwijken vanaf 10^7 jaar (ofwel orde $19.300 \text{ m}^3/\text{s}$ voor de Rijn, zie Figuur 5). De verschillen lopen op met toenemende terugkeertijd, maar zijn - doordat het om zeer extreme terugkeertijden gaat - in de praktijk weinig relevant.



Figuur 5. Afvoerstatistiek voor de Rijn bij Lobith zonder noodmaatregelen voor 2035 zonder en met uitgeïntegreerde statistische onzekerheid, versie juli 2025 en versie maart 2026.

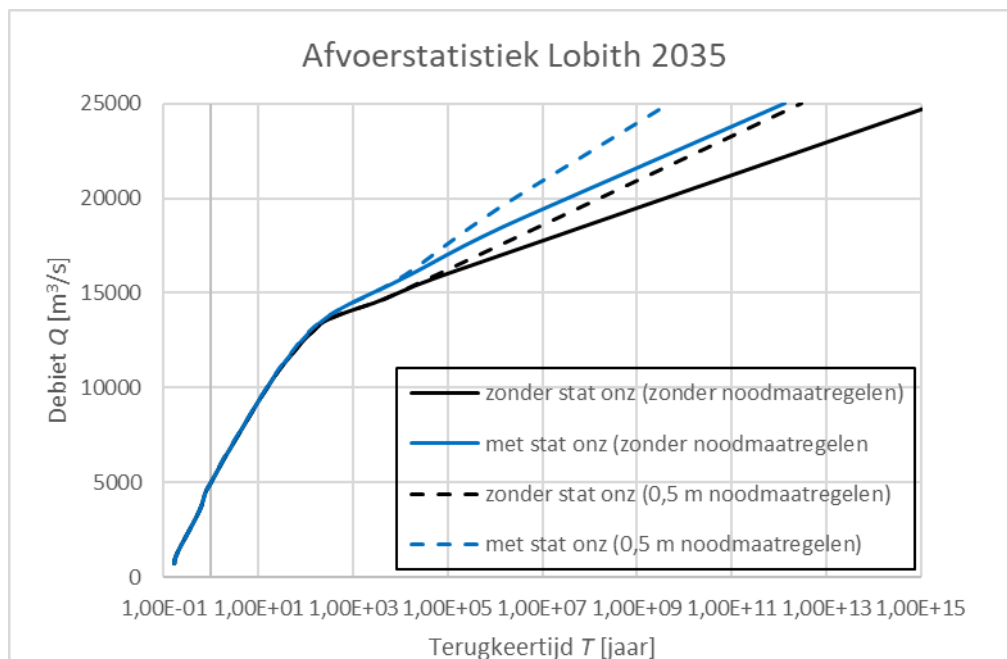
De 1-op-1-relaties zonder noodmaatregelen en zonder statistische onzekerheid liggen ook vrijwel op elkaar, zie Figuur 6. Verschillen in de relaties met statistische onzekerheid tussen versie juli 2025 en versie maart 2026 ontstaan vanaf orde $20.000 \text{ m}^3/\text{s}$ bij Lobith. Het verschil loopt op tot zo'n $1.000 \text{ m}^3/\text{s}$ op de Maas bij $25.000 \text{ m}^3/\text{s}$ bij Lobith. Indien deze relaties toegepast zouden worden voor BOI, zou dit op sombasis in de RMM tot verschillen leiden voor stochastcombinaties met een debiet bij Lobith groter dan $20.000 \text{ m}^3/\text{s}$. Probabilistisch gezien zullen deze debieten - zowel voor Rijntakken, Maas als RMM - veel minder relevant zijn en gebruik van deze relaties zou dus tot kleinere probabilistische verschillen leiden dan op sombasis. In Figuur 6 is tevens te zien dat een deel van het verschil wordt veroorzaakt door het gebruik van afgeronde of onafgeronde sigma's, en een deel door het blijven uitintegreren boven de 10^6 jaar of juist extrapoleren boven de 10^6 jaar.



Figuur 6. 1-op-1-relaties tussen Lobith en Borgharen voor 2035 zonder noodmaatregelen en zonder en met uitgeïntegreerde statistische onzekerheid, versie juli 2025 en versie maart 2026.

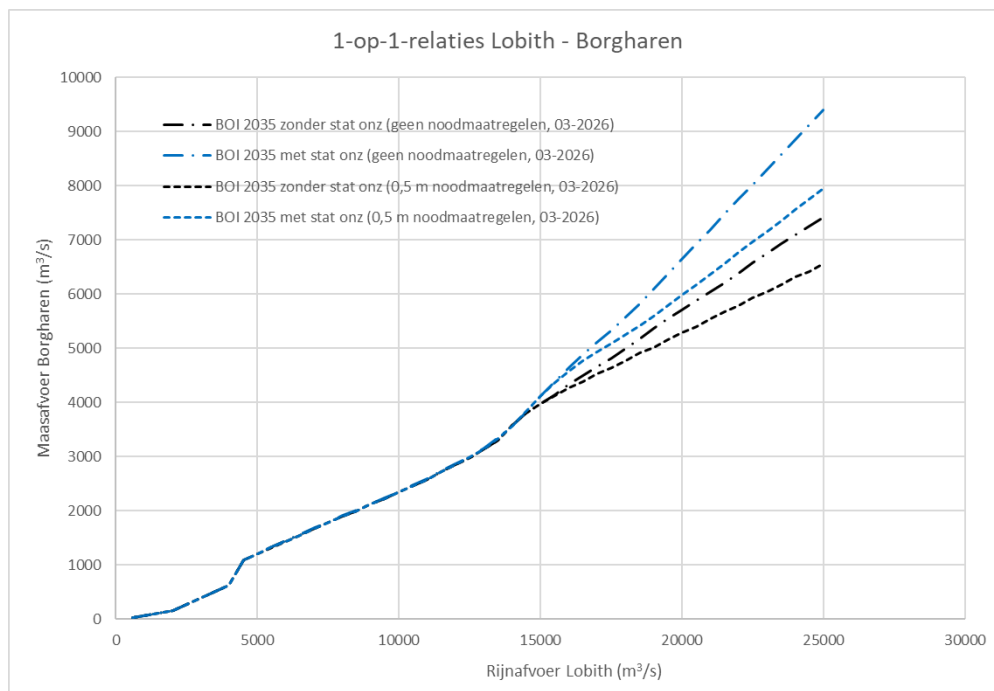
6.2. Verschillen voor 2035, veroorzaakt door verschillen in uitgangspunten (versie juli 2025 versus maart 2026)

De verschillen tussen de statistiek voor de Rijn zonder en met 0,5 m noodmaatregelen zijn groter dan de verschillen tussen de twee werkwijzen, zie Figuur 7. Wederom nemen de verschillen toe met toenemende terugkeertijd. Voor de statistiek met onzekerheid is het verschil bij 10^4 jaar $76 \text{ m}^3/\text{s}$, bij 10^5 jaar $545 \text{ m}^3/\text{s}$ en bij 10^6 is het $1.033 \text{ m}^3/\text{s}$. Voor 10^4 jaar zullen de verschillen in waterstanden beperkt zijn, 10^6 jaar zal minder relevant zijn voor beoordelen en ontwerpen. Voor 10^5 jaar zou op de Rijntakken een beperkt probabilistisch effect op de waterstanden zichtbaar kunnen zijn.



Figuur 7. Afvoerstatistiek voor de Rijn bij Lobith voor 2035 zonder en met uitgeïntegreerde statistische onzekerheid, zonder en met 0,5 m noodmaatregelen.

Bij de 1-op-1-relaties beginnen verschillen tussen de versie zonder en met 0,5 m noodmaatregelen te ontstaan bij 17.000 m^3/s , bij 24.000 m^3/s loopt dit op tot 1.296 m^3/s verschil in de Maasafvoer bij Borgharen met statistische onzekerheid, zie Figuur 8. Indien de relatie zonder noodmaatregelen voor BOI zou worden toegepast, zou dit op sombasis op de Benedenmaas zeker tot verschillen in waterstanden leiden bij de simulaties met debieten bij Lobith groter dan 20.000 m^3/s . Voor de meer relevante debieten tot 17.000 m^3/s à 18.000 m^3/s zijn de verschillen in Maasafvoer beperkter en de verwachting is dat ook het probabilistische effect in de RMM beperkt zou zijn. Het totale effect van een andere 1-op-1-relatie kan echter niet eenvoudig worden geschat, omdat hiervoor zowel andere statistiekbestanden als andere fysica (randvoorwaarden, productieberekeningen en databases) voor nodig zijn.



Figuur 8. 1-op-1-relaties tussen Lobith en Borgharen voor 2035 zonder en met uitgeïntegreerde statistische onzekerheid, zonder en met 0,5 m noodmaatregelen.

6.3. Verschillen door aftoppen Rijnaafvoer

In OI2014 is er vanuit beleid voor gekozen om de Rijnaafvoer in Hydra-NL achteraf af te toppen op 18.000 m³/s. In Hydra-NL kan dit worden gedaan door het selectievakje voor het aftoppen aan te vinken, waardoor de statistiek inclusief statistische onzekerheid wordt afgekap. In het illustratiepunt kunnen echter dan alsnog grotere debieten dan 18.000 m³/s voorkomen, door modelonzekerheden. In Riskeer zou aftoppen eventueel meegenomen kunnen worden door te werken met aangepaste invoerbestanden voor de statistiek. In WBI2017 lijkt het aftoppen niet te zijn meegenomen, althans het staat niet beschreven in de documentatie en het aftoppen staat standaard niet aangevinkt. Overigens is de manier van meenemen van aftoppen tussen Hydra-NL en Riskeer op dit moment niet consistent, levert niet dezelfde uitkomsten op en is niet flexibel aanpasbaar.

Voor BOI zal de Rijnaafvoer niet handmatig worden afgetopt, omdat de modellen nu rekening houden met overstromingen in Duitsland en het aftoppen daarin dus op een fysisch correcte wijze is meegenomen. Door niet handmatig af te toppen, zijn de resulterende hydraulische belastingen beter uitlegbaar, consistent en eenduidig af te leiden.

Indien voor BOI wel zou worden afgetopt vanaf 18.000 m³/s, zou dit - op basis van de in dit memo uitgewerkte statistiek inclusief uitgeïntegreerde statistische onzekerheid - betekenen dat wordt afgetopt vanaf terugkeertijden vanaf orde (marginale statistiek):

- 500.000 jaar bij 2035 zonder noodmaatregelen;
- 200.000 jaar bij 2035 met 0,5 m noodmaatregelen;
- 50.000 jaar bij 2075 met 0,5 m noodmaatregelen;
- 25.000 jaar bij 2125 met 0,5 m noodmaatregelen.

Voor 2035 heeft aftoppen geen invloed op de berekende hydraulische belastingen. Voor 2075 en 2125 is het effect op de waterstanden op de Rijn en RMM door aftoppen maximaal enkele centimeters bij 10.000 jaar. Voor het hydraulisch belastingniveau, waarvoor ook nog grotere terugkeertijden relevant zijn, gaat het

tevens om enkele centimeters. Het effect van het niet aftoppen op de hydraulische belastingen is dus beperkt, zie ook Slomp & Bus (2026).

Conclusies en aanbevelingen

In dit memo is de afvoerstatistiek voor de Rijn bij Lobith en Maas bij Borgharen op basis van GRADE gepresenteerd, te gebruiken binnen het productieproces voor de hydraulische belastingen voor het beoordelen (zichtjaar 2035) en ontwerpen (zichtjaren 2075 en 2125) voor het Beoordelings- en Ontwerpinstrumentarium voor de primaire waterkeringen (BOI).

Daarnaast zijn in dit memo de 1-op-1-relaties tussen de Rijnafvoer bij Lobith en de Maasafvoer bij Borgharen op basis van gelijke terugkeertijden inclusief uitgeïntegreerde statistische onzekerheid afgeleid, welke gebruikt zullen worden in het productieproces voor de hydraulische belastingen voor de Rijntakken, Maas en Rijn-Maasmonding.

In Oosterlo (2025) zijn eerder ook al de afvoerstatistiek en 1-op-1-relatie van Rijn en Maas bepaald voor het beoordelen met zichtjaar 2035 (versie juli 2025). Recent is vanuit RWS advies aan DGWB gegeven met betrekking tot de keuzes voor de klimaatscenario's en afvoerstatistiek voor BOI. Daarnaast zijn door het GRADE-team nieuwe getallen voor de afvoerstatistiek opgeleverd. Ook liep de auteur van dit memo tegen enkele problemen aan bij het uitintegreren van de statistiek voor het ontwerpen. Dit alles maakt dat de huidige uitgangspunten en werkwijze (versie maart 2026) inmiddels op een aantal plaatsen veranderd zijn ten opzichte van die gebruikt in Oosterlo (2025), wat tot verschillen in uitkomsten leidt. Deze verschillen zijn in dit memo uitgewerkt en geanalyseerd. Uiteindelijk heeft dit geleid tot de in dit memo gepresenteerde statistiek en getallen voor de 1-op-1-relaties, te gebruiken binnen BOI (zie ook Tabel 7).

Daarnaast is in dit memo een consistente werkwijze afgeleid voor het uitintegreren, aangezien de methoden van HKV, Deltares en RWS tot nu toe voor een aantal aspecten van elkaar afweken.

Op basis van deze studie wordt het volgende aanbevolen voor de volgende beoordelingsronde:

1. Laat het uitintegreren voor BOI binnen BOI plaatsvinden, volgens de in dit memo beschreven werkwijze. Vergelijk tijdens dit proces de door GRADE uitgeïntegreerde statistiek met die voor BOI, ter controle.
2. Laat de relatie tussen Rijn- en Maasafvoeren onderdeel worden van het GRADE-instrumentarium en benut hierbij de laatste informatie van het KNMI uit het Flood Wisdom-project.
3. Lever vanuit GRADE getallen op voor grotere en kleinere terugkeertijden dan nu het geval is, zodat minder ver geëxtrapoleerd hoeft te worden voor BOI.
4. Update de getallen uit de HR2006 voor het hoogfrequente bereik of laat deze onderdeel worden van GRADE. Spiegel deze getallen aan de metingen op een aantal locaties langs de Rijntakken en Maas.

Tabel 7. 1-op-1-relaties tussen de Rijn- en Maasafvoer voor de stochastwaarden van Q_{Lobith} [m^3/s] inclusief statistische onzekerheid, zoals te gebruiken voor BOI.

	2035 (methode maart 2026, met 0,5 m noodmaatregelen)	2075 (methode maart 2026, met 0,5 m noodmaatregelen)	2125 (methode maart 2026, met 0,5 m noodmaatregelen)
Q_{Lobith} [m^3/s]	$Q_{Borgharen}$ [m^3/s]	$Q_{Borgharen}$ [m^3/s]	$Q_{Borgharen}$ [m^3/s]
600	27	27	27
2000	158	158	158
4000	621	621	621
6000	1435	1382	1386
8000	1897	1785	1781
10000	2347	2197	2192
13000	3144	2951	2916
16000	4579	4257	4209
17000	4934	4661	4600
18000	5256	5043	4995
20000	5972	5875	5873
24000	7555	7590	7980

Referenties

Bus, C. (2025). *Advies keuzes klimaatscenario's en afvoerstatistiek BOI2023*. (Rijkswaterstaatmemo). Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving, Utrecht. 3 november 2025.

Duits, M. (2023). *Afvoerstatistiek voor Lith en Olst. BOI2023 met zichtjaar 2035*. (Technisch rapport 4787.10). Lelystad, Nederland: HKV. Mei 2023.

Geerse, C.P.M. (2015). *Werkwijze uitintegreren onzekerheden basisstochasten voor Hydra-NL. Afvoeren, meerpeilen, zeewaterstanden en windsnelheden*. (Technisch rapport PR3216.10). Lelystad, Nederland: HKV.

Hegnauer, M., Beersma, J., & Van den Brink, H. (2022). *Generator of Rainfall and Discharge Extremes for the Meuse. Final report of GRADE-Meuse version 3.0*. (Technisch rapport 11205237-003-ZWS-0016). Delft, Nederland: Deltares. 15 juli 2022.

Hegnauer, M., Beersma, J., Van den Brink, H., & Leander, R. (2023). *Generator of Rainfall and Discharge Extremes for the Rhine. Final report of GRADE-Rhine version 3.0*. (Technisch rapport 11205237-003-ZWS-0016), Delft, Nederland: Deltares. 26 mei 2023.

Honingh, D., Stijnen, J., & Botterhuis, T. (2023). *Adviezen over relatie Rijntakken-Maas. BOI2023 met zichtjaar 2035*. (Technisch rapport PR4789.10). Lelystad, Nederland: HKV. Februari 2023.

Jong, De. J. (2021). *Randvoorwaarden overlapgebied RMM-Maas voor toepassing in BOI*. (Deltaresmemo 11206813-002-ZWS-0020). Deltares Delft. 15 december 2021.

Oosterlo, P. (2025). *Afvoerstatistiek en 1-op-1-relaties ten behoeve van de hydraulische belastingen voor het beoordelen voor de Rijn-Maasmonding binnen BOI*. (Rijkswaterstaatmemo). Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving, Lelystad. 22 juli 2025.

Slomp, R., & Bus, C. (2026). *Concept Advies aftoppen van de Rijnafvoer te Lobith op 18.000 m³/s binnen BOI*. (Rijkswaterstaatmemo). Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving, Utrecht. 26 februari 2026.

Bijlage A. Afvoerstatistiek Rijn bij Lobith voor 2035, zonder noodmaatregelen

Recent is gebleken dat de getallen voor de afvoerstatistiek van de Rijn bij Lobith voor 2035 (huidig klimaat) zonder noodmaatregelen, in de eind 2025 door Deltares opgeleverde *.csv, inconsistent zijn. De getallen in de *.csv komen overeen met de getallen in Hegnauer et al. (2023) en dus met GRADE 3.0. De overige getallen in de *.csv, dus voor de andere zichtjaren en scenario's, zijn echter in 2025 door Deltares opnieuw afgeleid. Voor het afleiden van de getallen uit 2025 is gebruik gemaakt van de ruwe GRADE 3.0-jaarmaxima, in plaats van de getallen uit de GRADE 3.0-tabellen. De tabellen bevatten te weinig datapunten om de transformatie van klimaatfactoren en regressies uit te kunnen voeren. Daarnaast waren de getallen in de GRADE 3.0-tabellen afgerond (zie ook de hoofdttekst van voorliggend memo). Voor de volledigheid zijn beide versies van de getallen gegeven in Tabel 8. De getallen voor de Rijn zonder noodmaatregelen worden overigens niet gebruikt binnen BOI.

Tabel 8. Afvoerstatistiek Rijn bij Lobith voor 2035 zonder noodmaatregelen en zonder statistische onzekerheid, volgens GRADE 3.0 (Hegnauer et al., 2023) en de heranalyse van Deltares uit 2025.

Lobith, 2035, zonder noodmaatregelen				
	GRADE 3.0 (Hegnauer et al., 2023)	Deltares 2025		
T [jaar]	Q_{zonder} [m³/s]	Q_{zonder} [m³/s]	Verschil [m³/s]	P [jaar⁻¹]
2	6.387	6.456	69	5,00E-01
5	8.055	8.066	11	2,00E-01
10	9.315	9.322	7	1,00E-01
25	10.838	10.839	1	4,00E-02
30	11.098	11.103	5	3,33E-02
100	12.657	12.683	26	1,00E-02
250	13.531	13.521	-10	4,00E-03
300	13.611	13.623	12	3,33E-03
500	13.840	13.857	17	2,00E-03
1.000	14.140	14.163	23	1,00E-03
1.250	14.210	14.209	-1	8,00E-04
2.500	14.450	14.441	-9	4,00E-04
3.000	14.520	14.521	1	3,33E-04
5.000	14.740	14.752	12	2,00E-04
10.000	15.060	15.071	11	1,00E-04
20.000	15.380	15.402	22	5,00E-05
25.000	15.480	15.488	8	4,00E-05
30.000	15.560	15.570	10	3,33E-05
50.000	15.770	15.771	1	2,00E-05
100.000	16.030	16.043	13	1,00E-05

Bijlage G - Windreductie Veluwerandmeren



RWS INFORMATIE

Carlijn Bus

**Rijkswaterstaat Water,
Verkeer en Leefomgeving**

Zuiderwagenplein 2
8224 AD LELYSTAD
Postbus 2232
3500 GE UTRECHT
T 088 797 37 01
www.rijkswaterstaat.nl

Contactpersoon

Robert Slomp
M 06 10928873
robert.slomp@rws.nl

Datum

25 augustus 2025

memo

Memo keuze correlatie modelonzekerheden golfhoogte en
golfperiode BOI
Auteur : Jacco Groeneweg

Modelonzekerheden golfparameters

Een van de aspecten die de overstap naar de overstromingskansbenadering met zich heeft meegenomen is dat statistische en modelonzekerheden expliciet in rekening moeten worden gebracht. Voor WBI2017 zijn modelonzekerheden voor waterstand en golfparameters golfhoogte en golfperiode afgeleid. Laatstgenoemde modelonzekerheden zijn een gevolg van aannames bij het gebruik van modellen als SWAN en Bretschneider. Voor vijf hoofdsystemen zijn de voor WBI2017 afgeleide waarden voor de relatieve bias en standaarddeviatie (verschil tussen rekenresultaat en meting) terug te vinden in Deltares (2017, tabel 4.1):

Hoofdsysteem	H_{m0}		$T_{m-1,0}$		T_p	
	μ	σ	μ	σ	μ	σ
I. Kust, IJsselmeer	-0,01	0,19	-0,04	0,11	-	-
II. Brede wateren in rivierengebied/randmeren	-0,06	0,15	-0,11	0,04	-0,01	0,07
III. Smalle wateren in rivierengebied, Eemvallei	-0,04	0,27	-	-	+0,03	0,13
IV. Markermeer - IJburg	-0,05	0,11	+0,04	0,08	-0,04	0,05
V. Markermeer - overig (excl. IJburg)	-0,02	0,20	-	-	+0,16	0,11

Om verschillende redenen worden aanpassingen doorgevoerd in BOI ten aanzien van de modelonzekerheden van de golfparameters. De redenen voor de aanpassingen zijn vastgelegd in de update van de uitgangspunten (RWS, 2024a) en het beslisdocument SWAN (RWS, 2024b):

- Golfcondities op Markermeer en Gooi- en Eemmeer worden bepaald met SWAN en niet langer met HISWA. Dat betekent dat er nog drie hoofdsystemen over zijn. Markermeer valt onder hoofdsysteem I, Gooi- en Eemmeer onder hoofdsysteem II.
- Bovenstaande tabel is verkeerd geïnterpreteerd bij de implementatie in WBI2017, waardoor de zogenaamde tekenfout is ontstaan. Deze wordt voor alle watersystemen gecorrigeerd, zie de volgende paragraaf.

- De correlaties tussen de modelonzekerheden golfhoogte en golfperiode zijn in WBI2017 niet meegenomen, maar zijn wel degelijk ongelijk aan 0, en hebben daarmee effect op de resulterende golfcondities. De correlaties worden in BOI nu wel meegenomen.

Rijkswaterstaat Water,
Verkeer en Leefomgeving

Datum

5 februari 2024

Verdeling modelonzekerheden

De modelonzekerheden zijn in Hydra-Ring en Hydra-NL geïmplementeerd als een factor, die verondersteld is normaal verdeeld te zijn. Hierbij wordt het volgende multiplicatieve model gehanteerd (Deltares, 2023, Par. 3.6):

$$W_{incl} = W_{excl} f_c (1 + \sigma U)$$

waarbij W_{excl} de golfparameter zonder modelonzekerheid is zoals die met SWAN of Bretschneider is berekend, U de standaard normale variabele, W_{incl} de golfparameter inclusief modelonzekerheid. Het modelresultaat wordt dus eerst gecorrigeerd voor een bias. In WBI2017 is deze factor gedefinieerd als $f_c = 1 + \mu$. Echter, wanneer een modelresultaat wordt overschat met 3% (en dus $\mu = 0.03$ in bovenstaande tabel), dan moet het resultaat met een factor $1/1.03 = 0.97$ worden vermenigvuldigd. Kortom, voor WBI2017 is de waarde van μ in bovenstaande tabel verkeerd geïnterpreteerd en had de factor gelijk moeten zijn aan $f_c = 1/(1 + \mu)$, wat voor kleine waarden van μ bij benadering gelijk is aan $f_c = 1 - \mu$. Dit is geconstateerd in Groeneweg (2018) en Duits (2018). De feitelijke modelonzekerheid wordt weergegeven door de term $(1 + \sigma U)$.

De waarden f_c en σ zijn opgenomen in de HRD's. Per hoofdsysteem betreft dit dus de volgende waarden.

Hoofdsysteem	H_{m0}		$T_{m-1,0}$		T_p	
	f_c	σ	f_c	σ	f_c	σ
I. Kust, IJsselmeer, Markermeer	1.01	0.19	1.04	0.11	-	-
II. Brede wateren in rivierengebied, randmeren, Gooi- en Eemmeer	1.06	0.15	1.11	0.04	1.01	0.07
III. Smalle wateren in rivierengebied, Eemvallei	1.04	0.27	-	-	0.97	0.13

Waar voor de modelonzekerheden voor een periodemaat geen waarden in de tabel zijn opgenomen, zijn in de HRD's dezelfde waarden opgenomen als voor de periodemaat waarvoor deze wel beschikbaar is.

Correlaties modelonzekerheden golfhoogte en golfperiode

Tussen modelonzekerheid golfhoogte en modelonzekerheid golfperiode blijkt een duidelijke correlatie te bestaan. De correlatieparameters zijn afgeleid en de impact van deze correlatie is gerapporteerd in Deltares (2018). In Hydra-Ring en Hydra-NL kan deze correlatie worden meegenomen middels een Gaussisch correlatiemodel.

Met behulp van standaard analyse tools zijn in Deltares (2018) de zogenaamde Pearson correlatiecoëfficiënten ρ tussen de modelonzekerheid golfhoogte H_{m0} en modelonzekerheid golfperiode T_p afgeleid voor elk van de drie bovengenoemde hoofdsystemen I, II en III:

- I. De oorspronkelijke data beschreven in Deltares (2013a) zijn gebruikt waarmee ook de modelonzekerheden voor golfhoogte en golfperiode zijn afgeleid. Aanvullend zijn dummy data verwijderd, wat heeft geleid tot een correlatiecoëfficiënt van $\rho = 0.37$, waar dat in Deltares (2013), dus inclusief de dummy data, nog 0.7 was.
- II. Gebruik is gemaakt van de data die zijn gebruikt in Deltares (2014) voor het bepalen van de modelonzekerheden in de brede wateren van het rivierengebied. Hiermee is een correlatiecoëfficiënt van $\rho = 0.39$ afgeleid.
- III. De data zoals gepresenteerd in Appendix A in RWS (2015) zijn gebruikt, waarbij de laatste 7 records niet zijn beschouwd, omdat deze voor de golfperiode ontbreken. Met deze data is een coëfficiënt $\rho = 0.53$ afgeleid.

Aangezien de data, op basis waarvan de modelonzekerheden van de golfparameters en de correlatie daartussen is afgeleid, beperkt van omvang zijn en de meetlocaties niet altijd zondermeer representatief zijn voor het gehele beschouwde hoofdsysteem, neigt de weergave van de correlatie coëfficiënt in twee decimalen naar schijnnaauwkeurigheid. Om deze reden worden de waarden die zijn afgeleid in Deltares (2018) afgerond op 1 decimaal. De volgende waarden worden opgenomen in de HRD's:

Hoofdsysteem	ρ
I. Kust, IJsselmeer, Markermeer	0.4
II. Brede wateren in rivierengebied, randmeren, Gooi- en Eemmeer	0.4
III. Smalle wateren in rivierengebied, Eemvallei	0.5

De waarden in Deltares (2018) betreffen formeel de correlatie tussen de modelonzekerheden van significante golfhoogte en piekperiode T_p . De correlatie tussen modelonzekerheden van significante golfhoogte en spectrale periode $T_{m-1,0}$ is niet afgeleid. Als voor de modelonzekerheden van de golfperiode, wordt geadviseerd geen onderscheid te maken in periodemaat (T_p of $T_{m-1,0}$) en de waarden in bovenstaande tabel ook te hanteren voor de correlatie tussen modelonzekerheden van significante golfhoogte en spectrale periode, temeer omdat de waarden op 1 decimaal gegeven zijn. Het is immers zeer aannemelijk dat de modelonzekerheden van T_p en $T_{m-1,0}$ sterk gecorreleerd zijn.

Referenties

Deltares (2013). Quantifying uncertainties of SWAN results. Deltares report 1206011-002HYE-0001. February 2013.
Deltares (2014). SWAN uncertainties based on additional Lake IJssel cases. Deltares report 1209433-007. December 2014.
RWS (2015). Modelonzekerheden Bretschneider Bovenrivierengebied. Rapport RWS-WVL, maart 2015 (M. Bottema en G. van Vledder).

Deltares (2017). Modelonzekerheid belastingen. Deltares rapport 1209433-008-HYE-0007, juni 2017 (H. Chbab en J. Groeneweg).

Deltares (2018). Correlation between model uncertainties wave height and wave period. Deltares report 11202225-003-GEO-0002, November 2018 (A. Smale).

Deltares (2023). Hydra-Ring Technical Reference Manual, version 23.1.1. Software for the safety assessment for primary flood defences. Deltares report 11209269-008-GEO-0004, June 2023.

Duits, M. (2018). Invloed correctie onjuistheden golfparameters in WBI2017-databases. HKV rapport PR3919, november 2018.

Groeneweg, J. (2018). Inconsistentie in modelonzekerheden golfcondities. Deltares memo 11202225-004-0001, d.d. 11 september 2018.

RWS (2024a). Update van uitgangspunten, (nog te nemen) besluiten en openstaande vragen in het productieproces van Hydraulische Belastingen, d.d. 18 januari 2024 (J. Groeneweg, J. Stijnen en R. Slomp).

RWS (2024b). Gebruik van SWAN voor Kust, Meren, brede wateren Benedenrivierengebied, Oosterschelde en IJssel-Vechtdelta. Nota BOI-HB, d.d. 27 februari 2024 (P. Oosterlo, J. Groeneweg, M. Bottema en R. Slomp).

**Rijkswaterstaat Water,
Verkeer en Leefomgeving**

Datum

5 februari 2024

Bijlage H – Modelonzekerheden golfcondities en correlaties



RWS INFORMATIE
Rijkswaterstaat
Andres Diaz Loaiza

**Rijkswaterstaat Water,
Verkeer en Leefomgeving**

Griffioenlaan 2
3526 LA UTRECHT
Postbus 2232
3500 GE UTRECHT
T 088 797 11 11
www.rijkswaterstaat.nl

Contactpersoon

Rien Davidse
watersysteembreker meren

M 06 11 68 58 84
rien.davidse@rws.nl

Datum

13 oktober 2025

memo

Windcondities en hydraulische randvoorwaarden test- en
productiesommen VRM 25 – versie 4

Inleiding en doel

Dit memo geeft de windcondities en hydraulische randvoorwaarden voor het uitvoeren van test- en productiesommen op het nationaal watermodel.

De testsommen worden uitgevoerd ten behoeve van de productiesommen hydraulische belastingen Veluwe Randmeren.

Uitgangspunten hydraulische randvoorwaarden

De hydraulische randvoorwaarden van toepassing voor BOI2023 zijn beschreven in [1]. Tijdens het uitvoeren van de productieberekeningen in 2021 is ervaring opgedaan beschreven in [2]. De ervaring heeft ertoe geleid dat voor de SWAN berekeningen enkele meerpeilen anders zijn gekozen dan beschreven in [1]. Dit is in de volgende paragrafen toegelicht.

Ten aanzien van de wind voor de productiesommen moeten enkele keuzes nog worden aangescherpt. In [3] is namelijk aangetoond dat de stormopzet in de WBI2017-databases enkele tientallen procenten te hoog is ten opzichte van metingen. Dit is in [3] toegeschreven aan een vergeten windreductiefactor, die is afgeleid in de oorspronkelijke WAQUA-kalibratie [4]. De in [4] genoemde windreductiefactor bedraagt 0,85 en het alsnog toepassen ervan zou een significant deel van de in [3] genoemde verschillen tussen WBI2017 en metingen kunnen wegnemen. Het was de intentie dat in de BOI-productiesommen te doen, maar bij controles van de productiesommen uit 2021 bleek de windreductiefactor toch nog te zijn vergeten.

Intussen is gekozen deze productiesommen alsnog uit te voeren, maar dan met de correcte windreductiefactor. Deze wijkt enigszins af van bovengenoemde waarde van 0,85 door verschillen in de keuze van het toenmalige en huidige KNMI-referentiestation. Daarnaast is ook de vertaling van KNMI-wind naar open water een aandachtspunt. In dit memo zijn deze keuzes nader gespecificeerd.

Hydraulische randvoorwaarden D-Hydro

De oorspronkelijke stochastcombinaties voor D-Hydro zijn beschreven in [1] en [2]. Deze zijn beide weergegeven om de evolutie in de tijd in beeld te brengen.

Rijkswaterstaat Water,
Verkeer en Leefomgeving

Datum

13 oktober 2025

Tabel 1 Voorstel van stochastcombinaties als uitgangspunt voor BOI2023 [1]

Tabel 6 Voorstel van stochastcombinaties (768) voor productieberekeningen waterstand IJsselmeer (maar ook Markermeer en Ketelmeer).

Aantal	Meerpeil	Wind- snelheid	Wind-rich- ting
	M [m+NAP]	U [m/s]	D [°N]
1	N040	0 ^(*)	22,5
2	N010	10	45,0
3	P040	16	67,5
4	P090	22	90,0
5	P130	27	112,5
6	P150	32	135,0
7	P200	37	157,5
8	P250	42	180,0
9		47	202,5
10			225,0
11			247,5
12			270,0
13			292,5
14			315,0
15			337,5
16			360,0

(*) voor windsnelheid $u = 0$ m/s hoeven geen berekeningen te worden gemaakt: de waterstand is gelijk aan het meerpeil en er zijn geen golven.

Nav. het uitvoeren van de berekeningen is gekozen om met de volgende stochastcombinaties verder te rekenen, zie Tabel 2.

Tabel 2 Stochastcombinaties conform [2]

Windsnelheid [m/s]	Windrichting [°N]	Meerpeil [m+NAP]
0	22,5	-0,40
10	45,0	-0,20
16	67,5	0,00
22	90,0	0,20
27	112,5	0,40
32	135,0	0,80
37	157,5	1,20
42	180,0	1,60
47	202,5	2,00
	225,0	2,40
	...	
	337,5	
	360,0	

Rijkswaterstaat Water,
Verkeer en Leefomgeving

Datum

13 oktober 2025

Tabel 3-2: Stochastcombinaties (1290) voor de productieberekeningen waterstand Markermeer en Veluwerandmeren. Windsnelheid betreft de potentiële windsnelheid op het KNMI-landstation Schiphol.

Modelkalibratie WAQUA irt waterstanden

Beide tabellen geven de potentiële windsnelheid bij Schiphol weer. Normaliter zou deze windsnelheid vertaald worden naar een open water windsnelheid om vervolgens de berekeningen uit te voeren. Echter is voor de Veluwerandmeren de modelkalibratiefactor afgeleid tov de windsnelheden in Lelystad ipv Schiphol [4]. In §4.2.1 van deze referentie is duidelijk benoemd dat een modelkalibratiefactor van 0,85 (tov de potentiële wind van KNMI-Lely-Airport) nodig was om de waterstanden tussen het model en de berekeningen overeen te laten komen. De 15% kalibratiefactor vindt hier dus zijn oorsprong.

Omrekeningsfactor potentiële wind van KNMI-Schiphol naar KNMI-Lelystad

Deze factor tov Lelystad airport verschilt met andere watersystemen waardoor een extra vertaling van de potentiële windsnelheid van Schiphol naar Lelystad uitgevoerd moet worden. De vertaling van potentiële windsnelheid van Schiphol naar Lelystad is worden afgeleid uit [4]. In tabel D.2 van deze referentie zijn de potentiële windsnelheden voor de Veluwerandmeren waarmee gerekend is weergegeven. Omdat de model kalibratiefactor afgeleid is vanuit deze berekeningen wordt voor deze nieuwe productieberekeningen dezelfde reductie aangehouden. Hierbij is gekeken naar de maatgevende windrichting namelijk ZW (240°).

Tabel 3 Windreductie obv D.2 uit [4]

Schiphol	
Upot	240
m/s	
14	4%
19	4%
22	4%
25	4%
28	3%
31	3%
34	3%
38	3%
42	2%
Gemiddelde	3%

Rijkswaterstaat Water,
Verkeer en Leefomgeving

Datum

13 oktober 2025

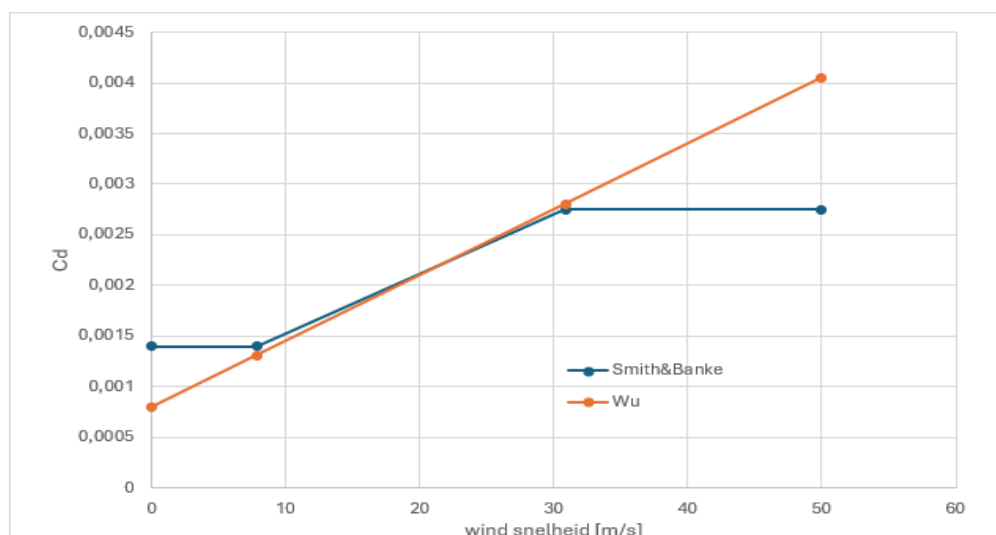
Op basis van deze gegevens is een reductie van 0,97 aangehouden.

Omrekeningsfactor van potentiële wind naar open water wind

Voor de D-Hydro berekeningen wordt gerekend met open water wind. Dit betekent dat de potentiële wind vertaald wordt naar een open water wind (zie § 5.2.4 van [5]). Daarnaast is in dezelfde referentie benoemd dat de afkapping in de berekening van het programma worden uitgevoerd. Er wordt daarbij gebruik gemaakt van de volgende afkapping van de schuifspanning coëfficiënten.

$C_d = 0,0014$ voor $0 \leq U \leq 7,8$ m/s

$C_d = 0,00275$ voor $30,85 > U$



De transformatie van potentiële wind naar open water wind is weergegeven in [6]. In § 5.3 van deze referentie zijn hiervoor de verschillende formules gegeven. Voor de berekening van de open water windsnelheid zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

$k = 0,4$
 $a_{aq} = 0,8$
 $b_{aq} = 0,065$

Daarmee is de transformatie van de potentiële windsnelheid bij Schiphol naar de toe te passen windsnelheden voor de Veluwe randmeren compleet. Voor de uit te

voeren D-Hydro test- en productiesommen Veluwe randmeren 2025 zijn de condities uit Tabel 4 van toepassing.

Rijkswaterstaat Water,
Verkeer en Leefomgeving

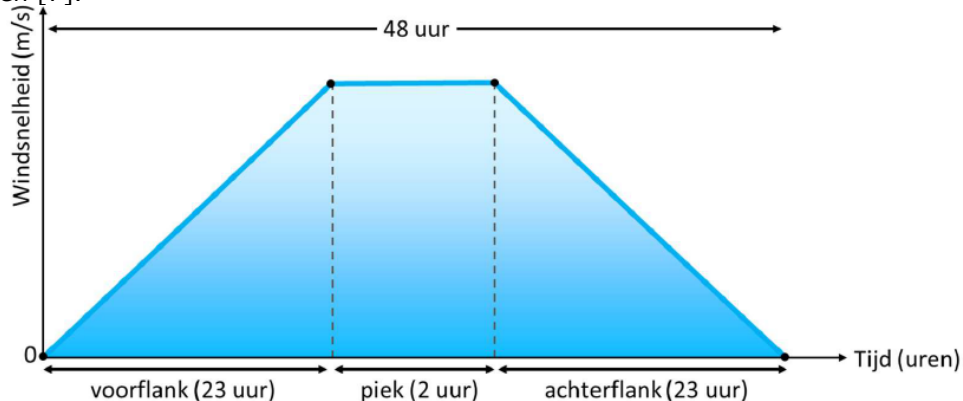
Tabel 4 D-Hydro wind- en hydraulische condities van toepassing op de test- en productiesommen VRM 25*

Datum
13 oktober 2025

D-Hydro Hydraulische en windcondities						
Upot Schiphol Windsnelheid (m/s)	Upot VRM Windsnelheid (m/s)	Kalibratie VRM Windsnelheid (m/s)	Uopen VRM Windsnelheid (m/s)	Uopen _{cap} VRM Windsnelheid (m/s)	Wind richting (°N)	Waterstand (m+NAP)
0	0,0	0,0	0,0	0,0	22,5	-0,4
10	9,7	8,2	9,2	9,2	45	-0,2
16	15,5	13,2	14,5	14,5	67,5	0
22	21,3	18,1	19,7	19,7	90	0,2
27	26,2	22,3	23,9	23,9	112,5	0,4
32	31,0	26,4	28,1	28,2	135	0,8
37	35,9	30,5	32,2	32,5	157,5	1,2
42	40,7	34,6	36,2	36,9	180	1,6
47	45,6	38,8	40,2	41,5	202,5	2
					225	2,4
					247,5	
					270	
					292,5	
					315	
					337,5	
					360	

Overige aandachtspunten zijn de winddraaiing en het tijdsverloop van de windbelasting. Er wordt geen winddraaiing toegepast voor de Veluwe Randmeren. Het uitgangspunt is dat deze alleen wordt toegepast voor het Markermeer (inclusief Gooimeer, Eemmeer en Eem) [2] en [7].

Het tijdsverloop van de windsnelheid is weergegeven in onderstaande figuur [2] en [7].



Figuur 3-10: Tijdsverloop van de windsnelheid (Agtersloot en Paarlberg, 2016)

De wind wordt in D-Hydro opgelegd als een ruimtelijk uniform open-water windveld [7].

Hydraulische randvoorwaarden SWAN

De hydraulische randvoorwaarden voor SWAN zijn eveneens gegeven in [2]. Onderstaande tabel is uit deze referentie gekopieerd.

Rijkswaterstaat Water,
Verkeer en Leefomgeving

Datum

13 oktober 2025

Windsnelheid [m/s]	Windrichting [°N]	Waterstand [m+NAP]
10	22,5	-0,40*
16	45,0	-0,25
22	67,5	0,00
27	90,0	0,25
32	112,5	0,50
37	135,0	1,00
42	157,5	1,50
47	180,0	2,00
	202,5	2,50
	225,0	3,00
	247,5	3,50
	270,0	4,50**
	292,5	5,50**
	315,0	
	337,5	
	360,0	

* Omdat afwaaiing niet wordt meegenomen in het belastingmodel, is de laagste waterstand gelijk gekozen aan het laagste meerpeil (Tabel 3-2). De laagste waterstand van NAP -1,0 m u (Botterhuis et al., 2020) is dus niet meegenomen.

** Deze twee waterstandsstochasten zijn aanvullend doorgerekend, naar aanleiding van de maximale waterstanden uit de D-HYDRO-berekeningen.

Tabel 4-4: Stochastcombinaties (1664) voor productieberekeningen golven Markermeer en Veluwe Randmeren. Windsnelheid betreft de potentiële windsnelheid op het KNMI-landstation Schiphol.

HKV stelt in het werkplan voor de productieberekeningen de volgende randvoorwaarden voor. Dit is op basis van de ervaringen opgedaan tijdens de productieberekeningen uitgevoerd in 2021. Bij de kalibratieberekeningen is dezelfde windsnelheid gebruikt in de Waqua en Bretpro berekeningen. Hieruit kan worden afgeleid dat dezelfde omzetting van potentiële windsnelheid KNMI-Schiphol naar de Veluwerandmeren moet worden toegepast. In Tabel 5 is het eindresultaat weergegeven.

Tabel 5 SWAN Hydraulische en windcondities tbv test- en productiesommen VRM 2025*

SWAN Hydraulische en windcondities						
Upot Schiphol Windsnelheid (m/s)	Upot VRM Windsnelheid (m/s)	Kalibratie VRM Windsnelheid (m/s)	Uopen VRM Windsnelheid (m/s)	Uopen _{cap} VRM Windsnelheid (m/s)	Wind richting (°N)	Waterstand (m+NAP)
0	0,0	0,0	0,0	0,0	22,5	-0,3
10	9,7	8,2	9,2	9,2	45	0
16	15,5	13,2	14,5	14,5	67,5	0,5
22	21,3	18,1	19,7	19,7	90	1
27	26,2	22,3	23,9	23,9	112,5	1,5
32	31,0	26,4	28,1	28,2	135	2
37	35,9	30,5	32,2	32,5	157,5	2,5
42	40,7	34,6	36,2	36,9	180	3
47	45,6	38,8	40,2	41,5	202,5	
					225	
					247,5	
					270	
					292,5	
					315	
					337,5	
					360	

Rijkswaterstaat Water,
Verkeer en Leefomgeving

Datum
13 oktober 2025

Uit te voeren testsommen

Er zullen 4 testsommen worden uitgevoerd op het NWM om te controleren of de scripts, modellen en software gereed zijn om de productiesommen uit te voeren. Voorgesteld wordt om voor de testsommen de volgende hydraulische condities te gebruiken.

Tabel 6 Hydraulische condities testsommen D-Hydro en SWAN

Testsommen			
Gered. Wind snelheid (m/s)	Wind richting (°N)	D-Hydro Waterstand (m+NAP)	SWAN Waterstand (m+NAP)
14,5	225	-0,4	-0,3
41,5	45	2,4	2,5
14,5	135	-0,4	-0,3
41,5	315	2,4	2,5

Rien Davidse
Watersysteemtrekker meren

Referenties

- [1] Productie hydraulische belastingen data, discretisatie stochasten voor productieberekeningen fysica, Deltares/Arcadis/HKV, versie 0.4, September 2020
- [2] Productieberekeningen BOI2023, Deelrapport perceel 4: Meren, versie 2, RWS WVL, HKV, Arcadis, 21 December 2022
- [3] Analyse Hydraulische Belastingen Veluwe Randmeer, aandachtspunten voor het vervolg in BOI, RWS WVL, 19 april 2021
- [4] ProMoVera: Probabilistisch Model voor de Veluwerandmeren, RIZA werkdocument 2004.089X, Rijkswaterstaat, 23 april 2004
- [5] Verschilanalyse zesde-generatie modellen Meren, Deltares, 6 december 2014
- [6] Achtergronden hydraulische belastingen dijken IJsselmeergebied : deelrapport 5 : Modellerings waterbeweging (WAQUA), RIZA rapport 99.040, Rijkswaterstaat, 25 maart 1999

[7] Update van uitgangspunten, (nog te nemen) besluiten en openstaande vragen in het productieproces van Hydraulische Belastingen, Deltares, HKV, RWS WVL, 18 januari 2024

**Rijkswaterstaat Water,
Verkeer en Leefomgeving**

Datum

13 oktober 2025