



Rijkswaterstaat
Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

Knip watersystemen BOI2023: overgangen tussen watersystemen

Datum 9 september 2026
Versie 1.0
Status Definitief (beoordelen)

Colofon

Project	Verschil- en effectanalyses hydraulische belastingen BOI2023
Uitgegeven door	HKV lijn in water & Witteveen+Bos
Datum	9 september 2026
Versie	1.0
Status	Definitief (beoordelen)
Zaaknummer RWS	31197353
Projectnummer HKV	PR5542.10
Projectnummer W+B	149287

Versiebeheer

V01 Concept	Eerste opzet inhoudsopgave
V02 Concept	Eerste conceptversie, na interne review door kwaliteits-team.
V03 Concept	Tweede conceptversie, externe review door Rijkswaterstaat verwerkt.
V1.0 Definitief	Definitieve versie voor beoordelen, 2 ^e review door Rijkswaterstaat verwerkt. Een versie V2.0 voor ontwerpen volgt in 2027.

Auteurs

T. Botterhuis	HKV
C.W.T. van Bemmelen	W+B
J.W. Stijnen	HKV



Rijkswaterstaat
Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat



Inhoud

Samenvatting	5
1 Achtergrond	6
1.1 Aanleiding	6
1.2 Doel	7
1.3 Leeswijzer en toelichting	7
2 Inventarisatie van de overgangen	8
2.1 Overgangen bij verbindende keringen	10
2.2 Overgangen zonder verbindende keringen	12
2.3 Criteria voor de keuze van de locatie voor een overgang	15
3 Uitwerking van de overgangen	17
3.1 Overgang (a) Bovenmaas hoge keringen – Bovenmaas	18
3.2 Overgang (b) Bovenmaas – Benedenmaas	21
3.3 Overgang (c) Benedenmaas – Benedenrijn	25
3.4 Overgangen Bovenrijn – Benedenrijn (d) en (e)	33
3.5 Overgang (f) Bovenrijn – IJsseldelta	41
3.6 Overgang (g) IJsseldelta - IJsselmeer	44
4 Totaaloverzicht van de overgangen	50
Referenties	53
A Begrippenlijst	55
B Beschikbare data	59
C Overzicht oplevering databases	60

Samenvatting

In dit rapport zijn de overgangen tussen de watersystemen (regio's), zoals gebruikt binnen BOI2023, vastgelegd. Nederland is voor de bepaling van hydraulische belastingen met Hydra-Ring en Hydra-NL ingedeeld in 22 regio's, elk met eigen basisstochasten en een eigen modellering van de hydraulische belasting op de primaire keringen. Op de grens tussen twee regio's kan de berekende hydraulische belasting daardoor verspringen. Vaak is hier een fysische verklaring voor, maar het kan ook een gevolg zijn van verschillen in modellering tussen beide regio's.

Voor overgangen die samenvallen met een verbindende kering (bijvoorbeeld de Afsluitdijk of de Haringvlietdam), voor overgangen tussen harde en zachte keringen, of voor overgangen tussen primaire keringen en hoge gronden, zijn deze grenzen vanuit fysisch oogpunt evident en al geborgd in de bestaande beoordelings- en ontwerpmethoden. Voor zeven overgangen is dit niet het geval, te weten die tussen:

- de regio Bovenmaas en de regio Bovenmaas 'hoge keringen' op de Maas;
- de regio Bovenmaas en de regio Benedenmaas op de Maas;
- de regio Benedenrijn en de regio Benedenmaas op de Bergsche Maas;
- de regio Bovenrijn en de regio Benedenrijn op de Waal;
- de regio Bovenrijn en de regio Benedenrijn op de Nederrijn/Lek;
- de regio Bovenrijn en de regio IJsseldelta op de IJssel;
- de regio IJsseldelta en de regio IJsselmeer op het Vossemeer.

Voor deze overgangen is in dit rapport, met de gegevens van de Verschil- en effectanalyse, de meest geschikte locatie voor het aanbrengen van een "knip" bepaald en onderbouwd. Er is een keuze gemaakt voor de beste locatie. Als algemeen uitgangspunt geldt daarbij dat de overgang bij voorkeur wordt gelegd op een plek waar enerzijds het verschil in uitkomst tussen beide rekenwijzen zo klein mogelijk is en waar anderzijds een bestaande normtrajectgrens ligt.

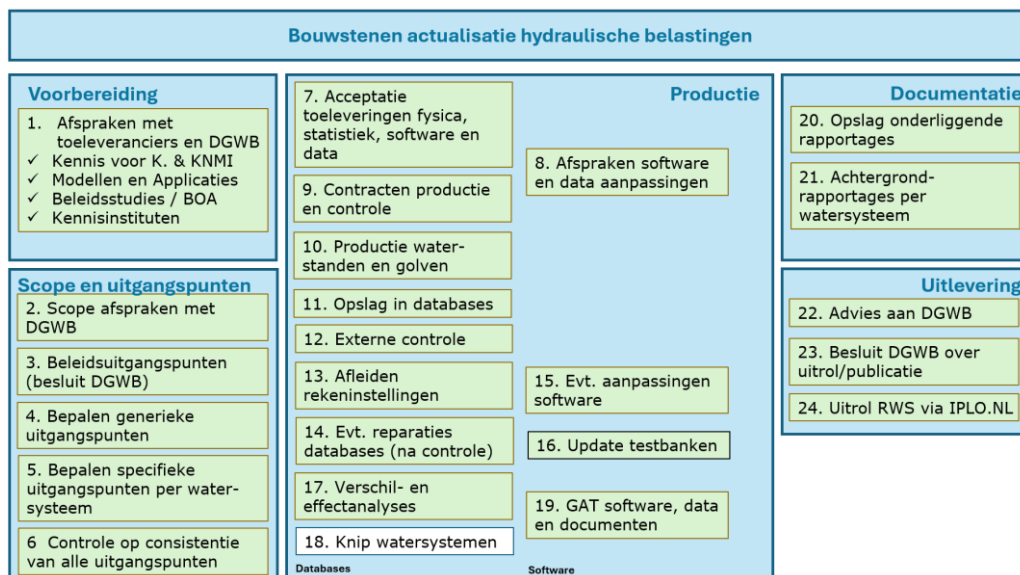
1 Achtergrond

1.1 Aanleiding

Het BOI2023 is de opvolger van het Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium uit 2017 (WBI2017) in combinatie met het Ontwerp Instrumentarium uit 2014 (OI2014). Het BOI2023 bevat (net als het WBI2017 en OI2014) de regels voor zowel het bepalen van de hydraulische belasting en sterkte als voor het beoordelen en ontwerpen van de veiligheid van de primaire waterkeringen. Dit gebeurt in de vorm van documenten, software en data. De actualisatie van de hydraulische belastingen is een restopgave van het programma BOI2023, en wordt in 2026 en 2027 voltooid.

In het kader van de overstap naar BOI2023 zijn diverse veranderingen doorgevoerd aan het instrumentarium dat dient om waterkeringen te beoordelen en ontwerpen op basis van de overstromingskans. Bij veranderingen kan gedacht worden aan het meenemen van nieuwe kennis, fysieke veranderingen in het landelijke watersysteem, verbeteringen in modelleertechnieken en het herstellen van omissies en inconsistenties.

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 het beoordelen als ontwerpen. De bouwstenen voor deze actualisatie zijn opgenomen in Figuur 1-1.



Figuur 1-1: Samenhang en volgorde bouwstenen actualisatie hydraulische belastingen, wit gemarkeerd bouwsteen "18. Knip watersystemen".

De bouwsteen "Knip watersystemen" uit Figuur 1- (wit kader) bestaat uit één product. Het bepalen van de (knip in) de overgang tussen de watersystemen. Om de complexiteit van de software en de productie van de hydraulische belastingen beheersbaar te houden, is Nederland opgedeeld in regio's. Met deze opdeling worden ook overgangen geïntroduceerd. Denk daarbij aan de overgang van de Rijn-Maasmonding met de Rijn-takken en de Maas, of de overgang van de IJssel en de IJssel-Vechtdelta.

1.2 Doel

Het doel van voorliggende rapportage is het vastleggen van de overgangen tussen de verschillende regio's voor BOI2023. Het doel is unieke kniplocaties kiezen, zodat een locatie langs een primaire kering altijd in één watersysteem, in één regio ligt. Op deze manier is duidelijk welke hydraulische belastingen voor de beoordeling en het ontwerp gebruikt moeten worden.

1.3 Leeswijzer en toelichting

In dit rapport zijn de overgangen tussen de regio's in kaart gebracht en vastgelegd voor BOI2023. De opbouw van het voorliggende document is als volgt:

- Hoofdstuk 2 (Inventarisatie van de overgangen) geeft een overzicht van alle overgangen tussen de regio's, identificeert welke overgangen nader zijn uitgewerkt en beschrijft de criteria die ten grondslag liggen aan de gemaakte keuzes in dit rapport.
- Hoofdstuk 3 (Uitwerking van de overgangen) gaat in op de bepaling van de overgangen tussen de volgende regio's:
 - a. Bovenmaas – Bovenmaas hoge keringen op de Maas;
 - b. Bovenmaas – Benedenmaas op de Maas;
 - c. Benedenrijn – Benedenmaas op de Bergsche Maas;
 - d. Bovenrijn – Benedenrijn op de Waal;
 - e. Bovenrijn – Benedenrijn op de Nederrijn/Lek;
 - f. Bovenrijn – IJsseldelta op de IJssel;
 - g. IJsseldelta – IJsselmeer langs het Vossemeer.
- Hoofdstuk 4 (Totaaloverzicht van de overgangen) geeft het totaaloverzicht van de nader gespecificeerde overgangen in een tabel en enkele aanbevelingen.

2 Inventarisatie van de overgangen

Voor de bepaling van hydraulische belastingen van BOI2023 is Nederland ingedeeld naar watersysteemtype, omdat elk type een eigen combinatie van basisstochasten met bijbehorende fysica heeft en dus een eigen modelleringsaanpak vraagt. Grofweg kunnen de volgende hoofdcategorieën onderscheiden worden:

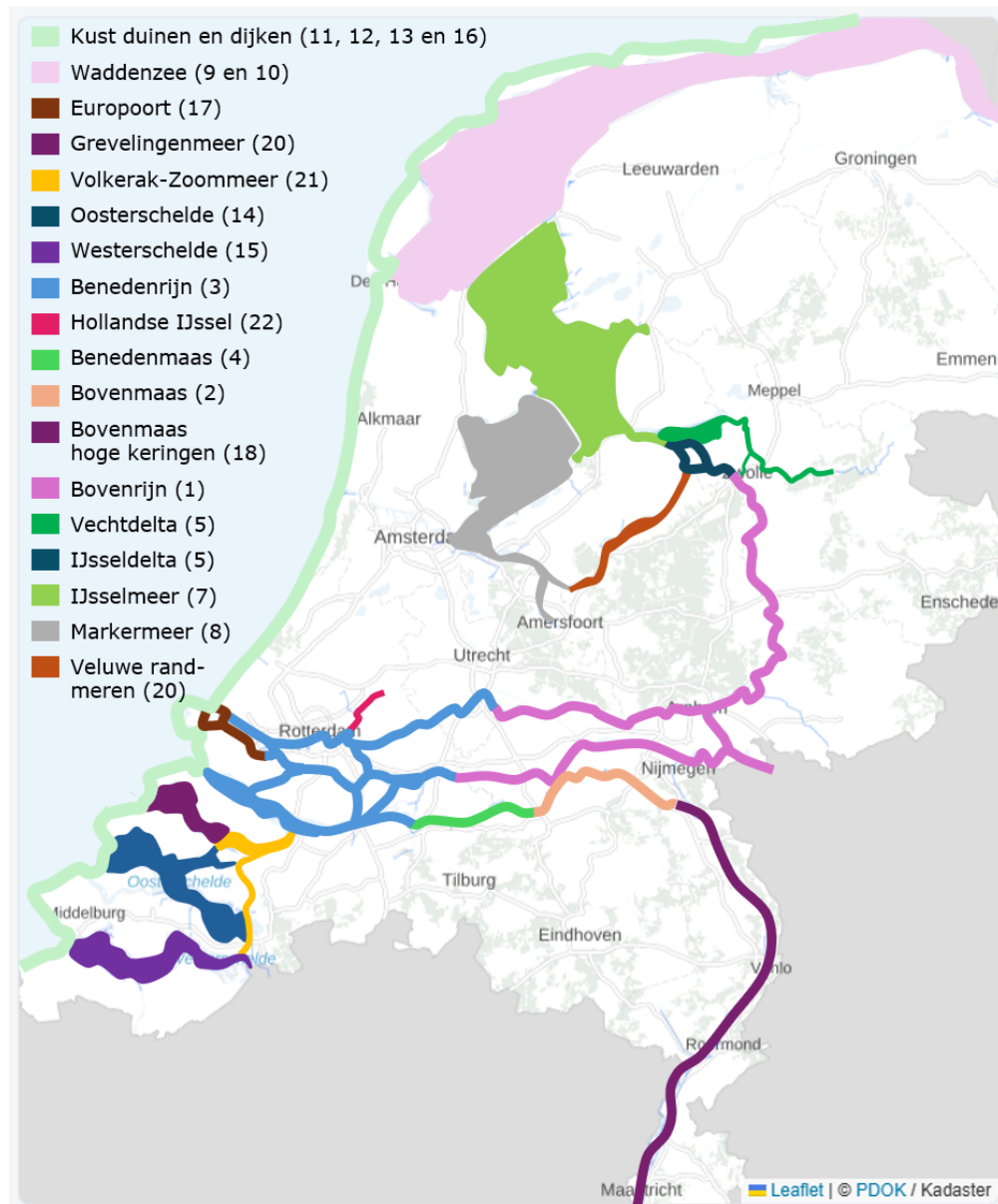
- Rivieren: de Rijntakken (Bovenrijn, Waal, Pannerdensch Kanaal, Nederrijn/Lek, IJssel, Schipbeek en Oude IJssel) en de Maas (Gelderse Maas, Brabantse Maas, Maasvallei), met als overgang naar het benedenstroomse gebied van de Rijn-Maasmonding.
- Overgangsgebied (delta) rivier-zee met stormvloedkering(en): de Rijn-Maasmonding, met het Haringvliet/Hollandsch Diep, het Volkerak-Zoommeer, de Hollandse IJssel en alle andere waterlopen in het noordelijk deltabekken (onder andere de Merwedes, Bergsche Maas, Amer, Oude en Nieuwe Maas, Nieuwe Waterweg, de Noord, Spui en Dordtsche Kil).
- Overgangsgebied (delta) rivier-meer met stormvloedkering: de IJssel-Vecht-delta, met onder meer de IJssel, de Vecht, het Zwarte Water, Zwarte Meer, Reevediep, Vossemeer, Drontermeer en Ketelmeer.
- Meren: het Grevelingenmeer, de Veluwerandmeren, het IJsselmeer en het Markermeer (inclusief enkele kleinere meren als het Gooimeer, het IJmeer + Buiten-IJ en het Eemmeer + Eem).
- Estuaria/overgangswateren met getijbekken met stormvloedkering: de Oosterschelde en de Westerschelde.
- Kust: onderverdeeld in kust met harde keringen (Waddeneilanden/Waddenzee, Hollandse Kust Midden en Zuid, Westerschelde) en kust met duinen (het duingebied als apart beoordelingsspoor).

Hydra-Ring is het probabilistisch instrumentarium dat in de basis gebruikt wordt voor de probabilistische berekeningen binnen BOI2023. Het instrumentarium onderscheidt 22 regio's, zie Figuur 2-1 en Tabel 2-1. Per regio geldt een set basisstochasten, ofwel variabelen met bepaalde kansverdelingen, die de belangrijkste bedreigingen in het belastingmodel beschrijven. Daarnaast heeft elke regio een eigen vertaling van de basisstochasten naar hydraulische belastingen op de waterkering. In deze studie hanteren we onder andere de aanduidingen Bovenrijn, Benedenmaas of IJsseldelta voor de Hydra-Ringregio's. Definities van deze termen zijn in de begrippenlijst opgenomen.

Opmerkingen

- Regio 8 bevat naast het Markermeer zelf ook het IJmeer, IJburg, Gooimeer, Eemmeer, Nijkerkernauw en de Eem. Overgangen tussen deze meren zijn opgelost binnen het belastingmodel van het Markermeer en geen onderwerp van de analyse in deze rapportage.
- De zachte keringen (duinen) in Hydra-Ring zijn als aparte regio aangemerkt: regio 16. Deze regio omvat de duinen langs het hele kustgebied. De overgang tussen een duinvak en een harde kering (kunstwerk, boulevard of strandmuur), tussen regio 16 en regio's 9 t/m 13 langs de kust, is vanuit fysisch oogpunt evident en al geborgd in de bestaande beoordelings- en ontwerpmethoden. Dit geldt ook voor de overgangen tussen primaire keringen en hoge gronden langs de rivieren. Daarmee zijn deze twee typen (overgangen) geen onderdeel van deze rapportage.
- Ten slotte, regio 17 Europoort betreft het gebied aan de buitenzijde van de Europoortkering. Vanwege de rol van deining (golfdoordringing vanuit de Noordzee) en seiches is dit gebied als een afzonderlijke regio gedefinieerd. Tussen de

Europoort en de kust is de overgang gemarkeerd door de grenzen van het belastingmodel, d.w.z. aan de noordzijde tussen normtrajecten 14-4 en 14-5 en aan de zuidzijde is ongeveer een kwart van normtraject 20-1 (5 km) onderdeel van regio 17 Europoort en driekwart is onderdeel van regio 16 Duinen. De knip aan de zuidzijde ligt bij knooppunt Slufter in de N15 (aan de zuidkant van de Maasvlakte bij het Oostvoornse meer). De overgang tussen de Europoort en de Benedenrijn (regio 3) is gemarkeerd door de Europoortkering. Overgangen van regio 17 zijn daarmee geen onderwerp in deze rapportage.



Figuur 2-1: Overzichtskaart Hydra-Ringregio's (nummers volgen uit indeling van Hydra-Ring).

Tabel 2-1: Overzicht Hydra-Ringregio's (Deltares, 2025).

Onderverdeling in regio's door instrumentarium Hydra-Ring		
1. Bovenrivieren (Rijn)	9. Waddenzee Oost	17. Europoort
2. Bovenrivieren (Maas)	10. Waddenzee West	18. Bovenrivieren (Maas hoge keringen)
3. Benedenrivieren (Rijn)	11. Hollandse Kust Noord	19. Grevelingenmeer
4. Benedenrivieren (Maas)	12. Hollandse Kust Midden	20. Veluwe Randmeren
5. IJsseldelta	13. Hollandse Kust Zuid	21. Volkerak-Zoommeer
6. Vechtdelta	14. Oosterschelde	22. Hollandsche IJssel
7. IJsselmeer	15. Westerschelde	
8. Markermeer	16. Kust duinen	

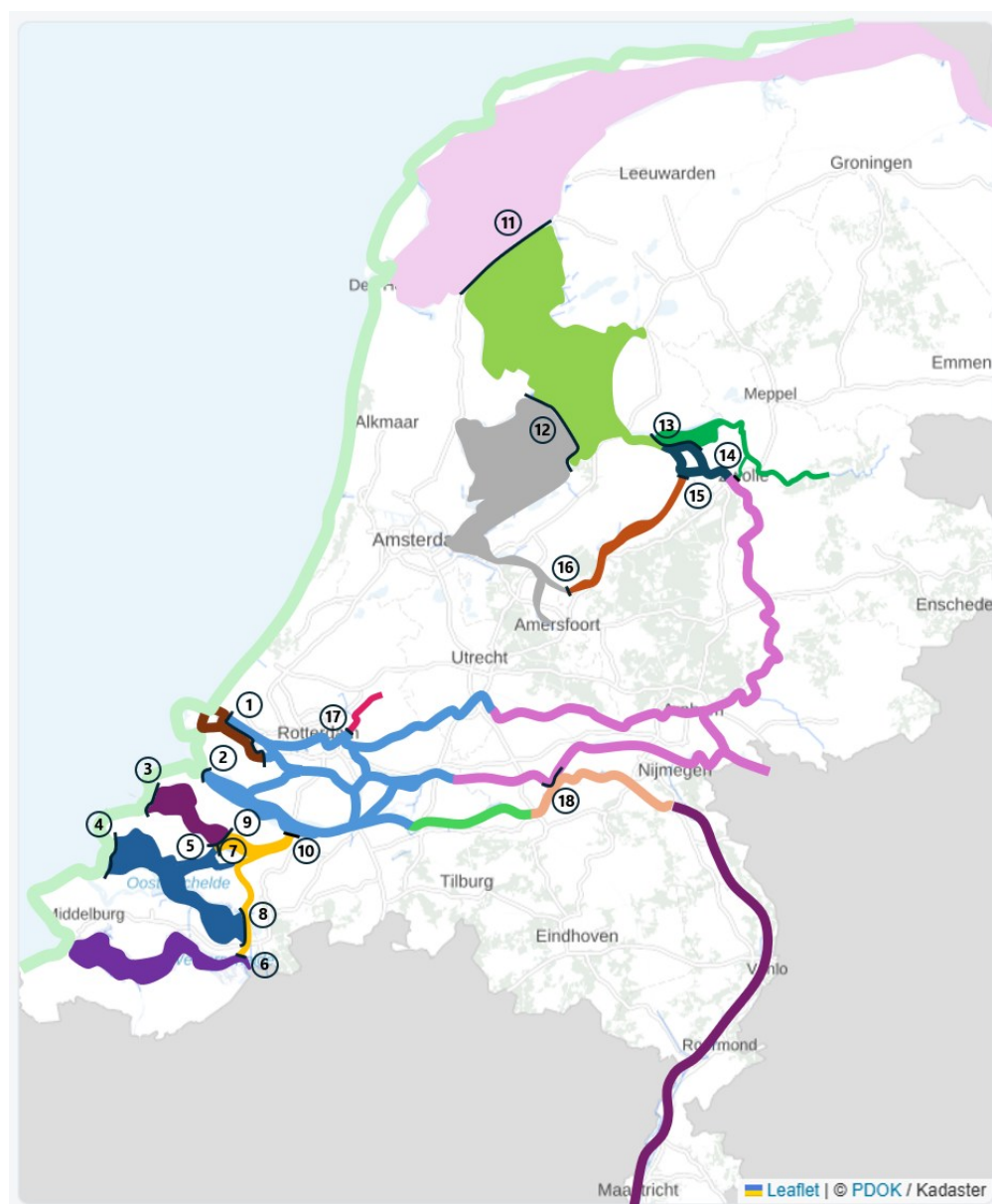
Bij overgangen van de ene naar de andere regio worden de hydraulische belastingen op een andere manier berekend. Vanwege verschillen in de fysica zijn andere belastingmodellen samengesteld. Dit geeft mogelijk een verschil in de hoogte (de waarde) van de hydraulische belastingen.

Op veel overgangen is dit verschil logisch, omdat het overeenkomt met de fysische verschillen op de overgang. Zie paragraaf 2.1 voor een inventarisatie. Bij bijvoorbeeld de Krammersluizen (Philipsdam) tussen regio 14 Oosterschelde en regio 21 Volkerak-Zoommeer is het logisch dat de hydraulische belastingen aan de zuidzijde van de verbindende kering (Oosterschelde) een andere waarde hebben dan aan de noordzijde (Volkerak-Zoommeer). Dit verschil is het directe gevolg van de aanwezigheid van de Philipsdam en heeft dus een fysische oorzaak.

Er zijn echter ook overgangen tussen regio's, waar aan weerszijden op een andere manier hydraulische belastingen worden berekend, waarbij mogelijke verschillen minder evident zijn. Bij een deel van deze overgangen zijn (in eerste instantie) op een tracé van enkele kilometers de hydraulische belastingen met beide belastingmodellen berekend. Zo kan in deze rapportage een keuze worden gemaakt voor de exacte locatie van de overgang op basis van het verschil in belastingen. Een voorbeeld van een dergelijke overgang is de overgang van regio 1 Bovenrijn, waarbij de afvoer de enige basisstochast is, naar regio 3 Benedenrijn op de Lek bij Utrecht, waar naast de afvoer ook de zeewaterstand, de wind en de toestand van de Europoortkering stochasten zijn. Voor een inventarisatie van deze overgangen, zie paragraaf 2.2.

2.1 Overgangen bij verbindende keringen

Met de aanleg van een verbindende kering worden de hydraulische belastingen aan beide zijden van kering gewijzigd. Zo zijn er vele overgangen tussen regio's, waar aan weerszijden van de verbindende kering de belastingen op een andere wijze worden berekend. In Figuur 2-2 en Tabel 2-2 staat voor de volledigheid een inventarisatie van deze overgangen. Alleen voor de Europoortkering (1) en de Hollandse IJssel (16) wordt een faalkans toegepast, waardoor de fysica aan de ene zijde van de kering nog een effect heeft op de andere zijde. Op de andere locaties wordt in de benadering voor waterveiligheid aangenomen dat beide zijden volledig onafhankelijk zijn.



Figuur 2-2: Overzicht van overgangen bij verbindende keringen 1 t/m 18 (uit Tabel 2-2) tussen de Hydra-Ringregio's (aangegeven met een kleur uit Figuur 2-1).

Tabel 2-2: Lijst met overgangen tussen Hydra-Ringregio's bij een verbindende kering.

Overgang		Kering
1	Europoort - Benedenrijn	Europoortkering (Maeslantkering/Hartelkering en tussenliggende grondlichamen)
2	Hollandse Kust (zuid) - Benedenrijn	Haringvlietdam
3	Hollandse Kust (zuid) - Grevelingenmeer	Brouwersdam
4	Hollandse Kust (zuid) - Oosterschelde	Oosterscheldekering
5	Grevelingenmeer - Oosterschelde	Grevelingendam
6	Volkerak-Zoommeer - Westerschelde	Zeedijk Paviljoenpolder/Bathse spuisluis
7	Volkerak-Zoommeer - Oosterschelde	Philipsdam
8	Volkerak-Zoommeer - Oosterschelde	Oosterdam
9	Volkerak-Zoommeer - Grevelingenmeer	Grevelingendam

Overgang		Kering
10	Volkerak-Zoommeer - Benedenrijn	Hellegats- en Volkerakdam
11	IJsselmeer - Waddenzee	Afsluitdijk
12	IJsselmeer - Markermeer	Houtribdijk
13	IJsseldelta – Vechtdelta	Ramspolkering
14	IJsseldelta – Vechtdelta	Spooldersluis
15	IJsseldelta – Veluwerandmeren	Reevedam
16	Markermeer -Veluwerandmeren	Nijkerkersluis
17	Hollandse IJssel - Benedenrijn	Hollandsche IJsselkering (Algerakering)
18	Bovenrivieren (Waal) – Bovenrivieren (Maas)	Heerewaardense Afsluitdijk (sluis St. Andries)

2.2 Overgangen zonder verbindende keringen

Overgangen bij berekening waterstanden

Aan beide zijden van een overgang zonder verbindende kering, bijvoorbeeld tussen de IJsseldelta en de Bovenrijn, worden de hydraulische belastingen op een andere wijze berekend. Op de Bovenrivieren (IJssel) zijn de invloed van het IJsselmeer en de wind op de waterstanden nauwelijks van belang. Op grote delen van de IJssel worden de waterstanden voornamelijk bepaald door de rivierafvoer. Daarom is de invloed van deze basisstochast op de IJssel nauwkeuriger geschematiseerd, door in de probabilistische methode te werken met een afvoergolf. Het effect van de wind en het IJsselmeer wordt in regio 1 beperkt meegenomen: alleen op de benedenrand van het hydraulische model en lokaal in de berekening van golven, maar niet als stochast.

In de IJsseldelta worden juist meerdere meerpeilniveaus en meerdere stormcondities (windsnelheid en -richting) gecombineerd met rivierafvoeren. Om de rekeninspanning beheersbaar te houden, is in de IJsseldelta voor de meeste afvoerniveaus gewerkt met een constante rivierafvoer op de hoogte van het maximum van de afvoergolf (en niet met een volledige afvoergolf). Niet alleen het aantal belastingcombinaties (stochastwaardecombinaties) verschilt met de Bovenrivieren, ook de manier van modelleren.

Bij overgangen zoals tussen de IJsseldelta en de Bovenrijn is dus geen sprake van een duidelijk aanwijsbare fysische oorzaak, maar wordt deze veroorzaakt door verschillen in de probabilistische modellering. Dat vergt speciale aandacht om te zorgen dat geen onnodige sprongen ontstaan op dergelijke overgangen. Deze overgangen bestaan ook op de Waal, Nederrijn en Maas. Benedenstrooms van de overgang tussen de regio's 3 (Benedenrijn) en 4 (Benedenmaas) enerzijds en regio's 1 (Bovenrijn) en 2 (Bovenmaas) anderzijds, wordt de waterstand berekend met de invloed van het getij, de stormvloedkeringen, de wind en de rivierafvoer (regio's 3 en 4) en bovenstrooms van de overgang (regio's 1 en 2) wordt alleen gerekend met de invloed van de rivierafvoer. Voor deze overgangen wordt elke beoordelingsronde opnieuw bepaald op welke locaties de zogenaamde knip komt te liggen. In deze rapportage zijn de zeven overgangen uit Figuur 2-3 en Tabel 2-3 geanalyseerd, om de meest geschikte locatie te kiezen voor de knip tussen de regio's.



Figuur 2-3: Overzicht van overgangen zonder verbindende keringen a t/m g (uit Tabel 2-3) tussen de Hydra-Ringregio's (aangegeven met een kleur uit Figuur 2-1).

Tabel 2-3: Lijst met overgangen tussen Hydra-Ringregio's zonder een verbindende kering.

Overgang tussen regio's op basis van waterstanden		
a.	regio Bovenmaas met hoge keringen (18) op de Maas	regio Bovenmaas (2) op de Maas
b.	regio Bovenmaas (2) op de Maas	regio Benedenmaas (4) op de Maas
c.	regio Benedenrijn (3) op de Bergsche Maas	regio Benedenmaas (4) op de Bergsche Maas
d.	regio Bovenrijn (1) op de Waal	regio Benedenrijn (3) op de Waal
e.	regio Bovenrijn (1) op de Nederrijn/Lek	regio Benedenrijn (3) op de Nederrijn/Lek
f.	regio Bovenrijn (1) op de IJssel	regio IJsseldelta (5) op de IJssel
g.	regio IJsseldelta (5) op het Vossemeer	regio IJsselmeer (7) op het Vossemeer

Overgangen bij berekening golven

Naast een verschil in berekening van de waterstanden bestaan ook verschillen tussen de rekenmethodes van de lokale golven. Hier betreft het overgangen tussen het rekenen met het numerieke spectrale golfmodel SWAN (Simulating WAVes Nearshore) en het rekenen met de golfgroeiformules van Bretschneider. In Tabel 2-4 staat een indeling van de regio's op basis van de wijze waarop de golven worden berekend in BOI2023. Voor de smalle wateren (regio III) zijn de formules van Bretschneider gebruikt en voor de ruimere, bredere wateren (regio's I en II) is een SWAN-model gebruikt voor het genereren van de golven. Het onderscheid tussen regio I en II volgt uit een andere waarde voor de modelonzekerheid die in de probabilistische berekening wordt gehanteerd. De gehanteerde rekenmethode en/of de modelonzekerheid kan afwijken van de wijze waarop in WBI2017 is gerekend. Dit is in (Stijnen et al., 2026) uitvoerig beschreven.

Tabel 2-4: Indeling regio's op basis van de berekening van golven.

I.	SWAN:	Kust, Europoort, IJsselmeer, Markermeer, Oosterschelde en Westerschelde
II.	SWAN:	Brede wateren in rivierengebied, Veluwerandmeren, Gooi- en Eemmeer, Grevelingenmeer, Volkerak-Zoommeer
III.	Bretschneider:	Smalle wateren in rivierengebied, Eemvallei

Veelal zijn deze overgangen tussen SWAN en Bretschneider ook gelegen op een locatie waar een verbindende kering aanwezig is. Uitzonderingen zijn:

1. de overgang in de IJsseldelta bij het Reevediep (SWAN model IJsseldelta) en de IJssel (Bretschneider) en het Vossemeer (SWAN-model IJsseldelta) en Ketelmeer (SWAN-model IJsselmeer);
2. de overgang in de Benedenrijn bij de Bergsche Maas (Bretschneider) en de Biesbosch en de Amer (SWAN);
3. de overgang in de Benedenrijn bij de Boven-Merwede (Bretschneider) en de Biesbosch, de Beneden- en de Nieuwe Merwede (SWAN);
4. de overgang in de Benedenrijn bij de Dordtsche Kil (Bretschneider) en het Hollandsch Diep (SWAN);
5. de overgang in de Benedenrijn bij het Spui (Bretschneider) en het Haringvliet (SWAN).

In de productie van de hydraulische belastingen (productieberekeningen) is aandacht besteed aan een geleidelijke overgang tussen de hydraulische belastingen berekend met Bretschneider en SWAN. Op het moment van schrijven van deze rapportage is de productie van de hydraulische belastingen van de Rijn-Maasmonding nog niet voltooid. In de rapportage van de productieberekeningen zal aandacht worden besteed aan een geleidelijke overgang tussen Bretschneider en SWAN-resultaten (zie 2 t/m 5 uit de opsomming hierboven). De productie van de hydraulische belastingen van de IJsseldelta is niet vernieuwd in BOI2023, daarom is deze overgang (uitzondering 1) nu niet geanalyseerd. Een eventuele wijziging van de eerder gemaakte keuzen is niet mogelijk. Dit zou aanpassing van de schematisaties vergen, waarvan bij de start van het BOI2023 afgesproken is die niet te wijzigen. Tot nu is bij het gebruik van de eerder opgeleverde databases geen aanleiding gevonden om de overgang ter discussie te stellen van SWAN op Bretschneider in de IJsseldelta of van het ene op het andere SWAN-model op grens van het Ketel- en het Vossemeer.

Overgangen bij regio's langs de kust

De zeewaterstand is als basisstochast aanwezig langs de kust en de aangrenzende deltabekkens: Kust Dijken en Duinen, Benedenrivieren, Hollandse IJssel, Volkerak-Zoommeer en Oosterschelde. Voor de watersysteemttypen Kust Dijken en Duinen is de zeewaterstand geen randvoorwaarde van een hydrodynamisch model, maar is de

zeewaterstand rechtstreeks invoer voor de probabilistische berekening. Binnen BOI2023 is gebruik gemaakt van nieuw beschikbare zeewaterstandstatistiek op een beperkt aantal kuststations (Kuijper et al., 2026). De vertaling van de waterstanden bij de stations (steunpunten) naar locaties bij de teen van een waterkering geschiedt door triangulaire interpolatie. Een vlak wordt opgespannen door drie steunpunten die passen bij een oeverlocatie, waarna de waterstand aan de teen van de dijk uit dat vlak wordt afgelezen. Deze aanpak is onveranderd ten opzichte van WBI2017 (en daarvoor).

Langs de kust zijn drie deelgebieden (Waddenzee-Oost, Waddenzee-West en Hollandse Kust) en zeven subregio's gedefinieerd, om de juiste kuststations te koppelen. De gehanteerde indeling in gebieden en de steunpunten per deelgebied (en subregio) zijn benoemd en uitvoerig beschreven in paragraaf 6.5 van Kuijper et al. (2026). Dit komt in principe overeen met de indeling in WBI2017, zoals beschreven in Chbab en De Waal (2017). Bij de keuze van de opdeling in deelgebieden (en subregio's), de toekenning van de kuststations en de koppeling met locaties bij de teen van de primaire kering is zorg besteed aan een geleidelijke overgang in de waarde van de hydraulische belastingen langs de kust. Deze overgangen zijn daarom in deze rapportage verder niet geanalyseerd.

2.3 Criteria voor de keuze van de locatie voor een overgang

Keuzes voor overgangslocaties ("kniplocaties") hoeven alleen nog gemaakt te worden voor de zeven overgangen uit paragraaf 2.2 (Figuur 2-3 en Tabel 2-3). De locaties van de andere overgangen uit paragrafen 2.1 en 2.2 zijn daar al benoemd. Voor het kiezen van een unieke kniplocatie zijn duidelijke criteria nodig, zodat de keuze goed navolgbaar kan worden onderbouwd. In de productiestappen 10 t/m 14 uit Figuur 1-1 zijn voor de zeven overgangen over een tracé van meerdere kilometers 2 sets databases gevuld. Omdat op voorhand niet duidelijk is waar de locatie van een knip komt te liggen, zijn beide sets geproduceerd om de keuze te faciliteren.

Met beide belastingmodellen zijn voor de overlap hydraulische belastingen berekend. Een overgang wordt gebaseerd op basis van het resultaat van probabilistische berekeningen. In Botterhuis et al. (2026) is te zien dat - bij extreme stochastwaardecombinaties (bijvoorbeeld een extreme storm op zee waarbij de sluiting van de Europoortkering faalt) - de invloed van andere stochasten (zeewaterstand) ver landinwaarts zichtbaar kunnen zijn. Deze combinaties zijn echter zo zeldzaam, dat ze voor het leggen van de knip buiten beschouwing kunnen worden gelaten. Deze extreme stochastwaardecombinaties dragen nauwelijks bij aan de beoordeling of het ontwerp van de primaire kering.

Het kiezen van de knip komt eenvoudig gesteld overeen met het bepalen tot waar landinwaarts een berekening met meerdere stochasten noodzakelijk is. Welk criterium bepaald deze noodzakelijkheid? Het is namelijk niet altijd mogelijk om de bijdragen van de individuele stochasten uit te rekenen. Soms is de overlap van het beschikbare instrumentarium te beperkt, soms werken de vereenvoudigingen in de wiskundige modellen verstorend en/of soms sluiten de hydraulische belastingen aan weerszijden van overgang niet op elkaar aan, omdat bewust grote afwijkingen in de fysica zijn gemodelleerd. Daarom vraagt het bepalen welk belastingmodel vigerend is op de grens tussen beide regio's - het bepalen van de locatie van de knip - om een pragmatische procedure.

Hierbij zijn de volgende criteria gehanteerd:

- In eerste instantie wordt de knip bepaald op basis van de probabilistische resultaten voor beoordelen, omdat deze eerder beschikbaar zijn. Er is wel al zoveel mogelijk rekening gehouden met mogelijke invloeden voor ontwerpen, zoals zeespiegelstijging, of toename van de rivierafvoer.
- De knip wordt zodanig gekozen dat de eventuele sprong in resultaten door de overgang zo klein mogelijk is.
- Deze sprong is bepaald op basis van resultaten van probabilistische berekeningen, maar wordt gecontroleerd aan de hand van de fysica (controle sprong op basis van de productieberekeningen) en de grenzen van de onderliggende modellen (bijvoorbeeld SWAN-roosters).
- De knip wordt in principe gelegd op de grens van een normtraject, tenzij de sprong in de probabilistische waterstanden daar groter is dan 10 cm.
- De knip wordt aan beide oevers zoveel mogelijk op dezelfde locatie gelegd.
- De locatie van de knip wordt gelijk gehouden aan de keuze uit WBI2017, tenzij er reden is om daarvan af te wijken.

De volgende procedure is doorlopen:

1. In gebieden waar de modelberekeningen elkaar overlappen, worden waterstanden en golven (inclusief statistische en modelonzekerheden) berekend met Hydra-NL voor terugkeertijden van $T = 10^2$ jaar tot en met $T = 10^6$ jaar;
2. Vervolgens wordt bepaald of de sprong in de probabilistische waterstanden kleiner is dan 10 cm en de knip gelegd kan worden op een trajectgrens (de trajectgrens waar de sprong het kleinst is).
3. Als de sprong in de probabilistische waterstand op een kniplocatie (op een normtrajectgrens) groter is dan 10 cm, wordt een pragmatische keuze gemaakt. In dat geval worden eerst illustratiepunten/uitsplittingsen berekend ter onderbouwing van de invloed van de verscheidene stochasten. Hierbij gaat het bijvoorbeeld om de invloed van stormvloedkeringen, getij en stormopzet of wind. Op basis hiervan wordt een locatie *tussen* trajectgrenzen gekozen die het best aansluit bij de (invloed van de) stochasten in de betreffende belastingmodellen en de kleinste sprong in de hydraulische belastingen die bepalend zijn voor de beoordeling en/of ontwerp.
4. De resulterende knips worden gecontroleerd op basis van probabilistische resultaten voor waterstand, golfhoogte en eventueel HBN voor zichtjaar 2035, 2075 en 2125. Daarnaast worden deze gecontroleerd aan de hand van de fysica en modelgrenzen.

Daarnaast is gewerkt met deze volgorde van argumenten voor de onderbouwing van de keuze:

- fysische dominantie — de overgang wordt bij voorkeur gelegd waar één stochast (doorgaans de rivierafvoer) de waterstand vrijwel volledig bepaalt, zodat het verschil tussen beide rekenwijzen verwaarloosbaar is;
- aansluiting bij bestaande normtrajectgrenzen, zodat de overgang samenvalt met een reeds vastgelegde beoordelingsgrens;
- aansluiting bij een herkenbaar fysiek punt (sluis, brug, dam) wanneer geen geschikte normtrajectgrens beschikbaar is;
- praktische overwegingen — waar de fysische criteria onvoldoende onderscheidend zijn, wordt eventueel in overleg met de waterbeheerder pragmatisch gekozen, bijvoorbeeld op de grens tussen twee dijkversterkingsprojecten, optimaliseren van rekentijd of aansluitend bij eerdere keuzes uit WBI2017

3 Uitwerking van de overgangen

Voor overgangen die samenvallen met een verbindende kering (bijvoorbeeld de Afsluitdijk of de Haringvlietdam), is de locatie van de overgang, van de knip, vanuit fysisch oogpunt evident en al geborgd in de bestaande beoordelings- en ontwerpmethoden. Voor zeven overgangen is dit niet het geval (Figuur 3-1), te weten die tussen:

- a. de regio Bovenmaas hoge keringen en de regio Bovenmaas op de Maas;
- b. de regio Bovenmaas en de regio Benedenmaas op de Maas;
- c. de regio Benedenrijn en de regio Benedenmaas op de Bergsche Maas;
- d. de regio Bovenrijn en de regio Benedenrijn op de Waal;
- e. de regio Bovenrijn en de regio Benedenrijn op de Nederrijn/Lek
- f. de regio Bovenrijn en de regio IJsseldelta op de IJssel;
- g. de regio IJsseldelta en de regio IJsselmeer op het Vossemeer.

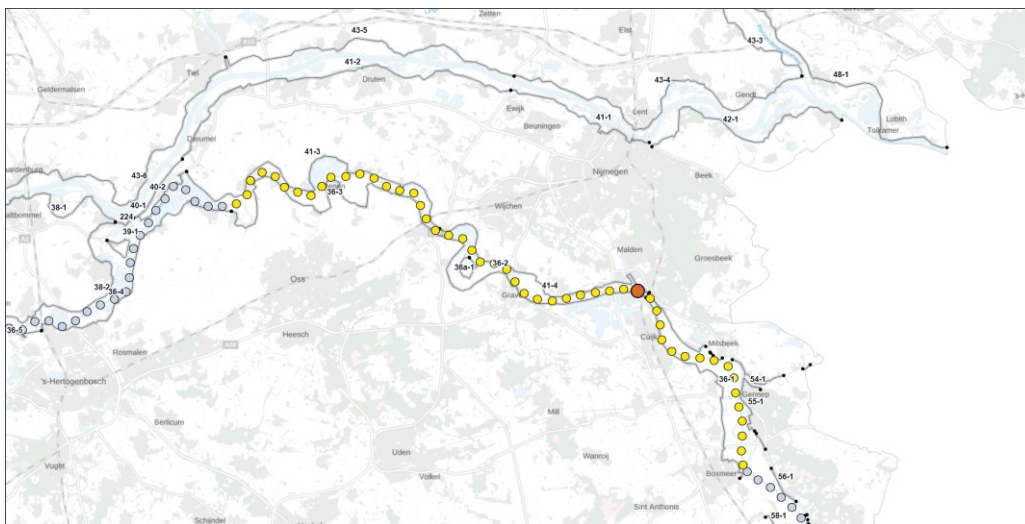


Figuur 3-1: Overzicht van overgangen a t/m g tussen de Hydra-Ringregio's (met een kleur aangegeven): IJsselmeer, IJsseldelta, Benedenrijn, Benedenmaas, Bovenrijn en Bovenmaas.

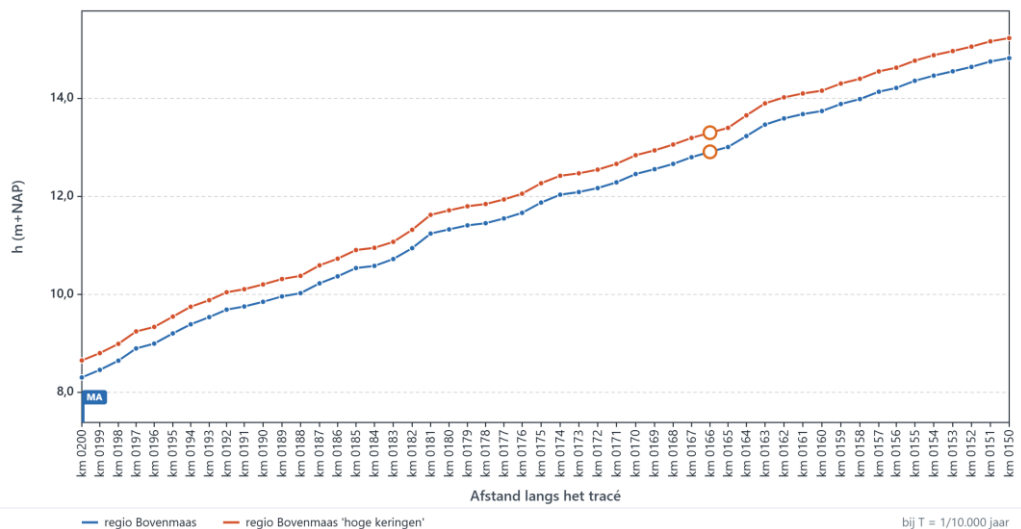
Voor deze overgangen wordt elke beoordelingsronde de exacte locatie opnieuw vastgesteld. Bij de uitwerking van de zeven overgangen tussen de Hydra-Ringregio's (Tabel 2-3) is de werkwijze uit paragraaf 2.3 gehanteerd. Gebaseerd op die werkwijze is het gelukt om de overgangslocaties te bepalen. Dit is in de volgende subparagrafen nader toegelicht per overgang.

3.1 Overgang (a) Bovenmaas hoge keringen – Bovenmaas

Voor de analyse van de overgang op de Maas tussen de regio's Bovenmaas en Bovenmaas 'hoge keringen' is gebruik gemaakt van de rekenresultaten van de verschillen effectanalyse op de aslocaties (Van Lente et al., 2026b voor de Bovenmaas). De vergelijking bestaat uit resultaten van waterstandberekeningen met Hydra-NL in de beoordelingsmodus van BOI2023 (statistiek zichtjaar 2035, inclusief statistische onzekerheid en modelonzekerheid). In Figuur 3-2 staat een overzicht van de beschikbare locaties met rekenresultaten. Langs de Maas is dit elke kilometer van Boxmeer naar Lith. Met gele stippen zijn de locaties gemarkeerd die in de analyse zijn beschouwd en met beide belastingmodellen zijn doorgerekend. De oranje stip geeft aan waar in WBI2017 de locatie van de knip tussen beide regio's is gekozen.



Figuur 3-2: Tracé Maas met indicatie beschikbare gegevens: geel locaties met resultaten van regio's Bovenmaas en Bovenmaas 'hoge keringen' (die in de analyse naar de locatie van de knip zijn beschouwd).



Figuur 3-3: Weergave van de waterstandberekening op de Maas voor herhalingsstijd $T = 10.000$ jaar: berekende waterstanden met beoordelingsmodus BOI2023. Het vlaggetje staat voor de riviernaknaam van de Maas (MA).

In Figuur 3-3 zijn de resultaten van regio's Bovenmaas (blauw) en Bovenmaas 'hoge keringen' (oranje) weergegeven. In Figuur 3-4 is het verschil tussen Beneden- en Bovenmaas weergegeven. Dit verschil neemt in benedenstroomse richting iets af, maar is groot ($> 0,3$ m) bij een herhalingsstijd 10.000 jaar. Zie ook Figuur 3-5 voor andere herhalingsstijden.

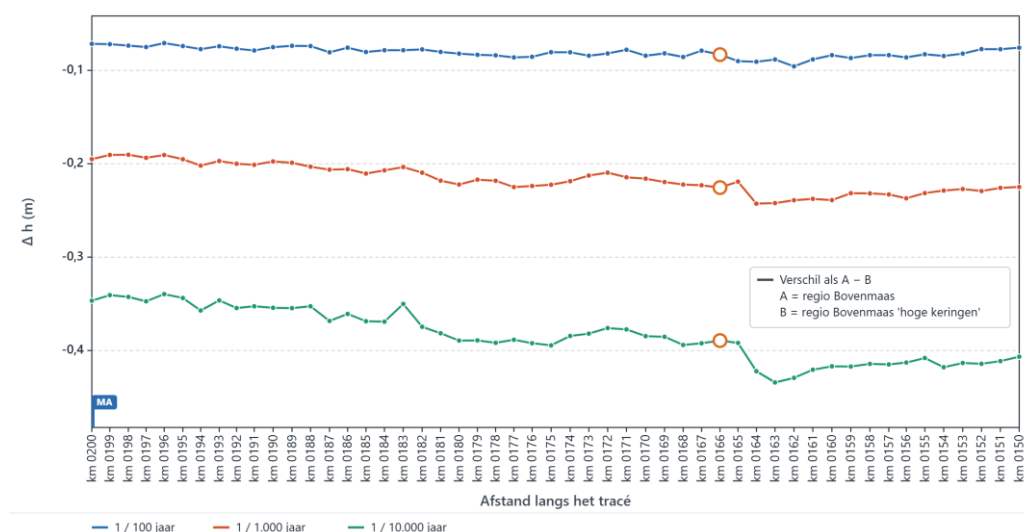


Figuur 3-4: Weergave van het waterstandsverschil op de Maas voor herhalingsstijd $T = 10.000$ jaar: verschil tussen resultaten regio's Bovenmaas (A) minus Bovenmaas 'hoge keringen' (B). Rivierkilometer 166 is gemarkeerd met een oranje cirkel. Het vlaggetje staat voor de riviernaknaam van de Maas (MA).

In de blauwe lijn van Figuur 3-3 is het overstroom van de keringen in de Maasvallei van Limburg meegenomen en in de oranje lijn zijn de keringen oneindig hoog verondersteld (ze overstroom niet). Door het overstroom is er meer ruimte voor het water van de Maas, waardoor een lagere waterstand optreedt. Dit type overstroom

wordt binnen BOI2023 als “systeemwerking” gehanteerd: *een deel van het beschermde areaal heeft baat bij het overstromen van een ander deel*. Generieke regels voor het meenemen van positieve hydraulische systeemwerking in Nederland zijn er nog niet (Slomp et al., 2026). De hoogte van de primaire keringen in de modelberekeningen fysica wordt in principe overal als oneindig hoog aangehouden. Op een beperkt aantal plekken worden waterkeringen als overstroombaar meegenomen. Een van die uitzonderingen is het overlopen van de keringen in de Limburgse Maasvallei bij het berekenen van de hydraulische belastingen benedenstrooms van de vallei. Het niet meenemen van deze overstroombaarheid, zou een flinke vergroting van de ontwerpogave verder benedenstrooms langs de Maas betekenen.

Het verschil in Figuur 3-4 is het gevolg van een bewust genomen uitgangspunt. Bij kleinere herhalingstijden is dit verschil kleiner. Figuur 3-5 toont het verschil ook voor herhalingstijden van 100 en 1.000 jaar. Veel keringen in de Maasvallei hebben een omgevingswaarde van 100 jaar en een signaleringswaarde van 300 jaar. Bij een kleinere herhalingstijd overstromen er minder keringen en is het fysische verschil tussen beide belastingmodellen kleiner.



Figuur 3-5: Weergave van het waterstandsverschil op de Maas voor herhalingstijden van $T = 10.000$ (groen), 1.000 (oranje) en 100 jaar (blauw) tussen regio's Bovenmaas en Bovenmaas 'hoge keringen'. Rivierkilometer 166 is gemarkeerd met een oranje cirkel. Het vlaggetje staat voor de riviernaknaam van de Maas (MA).

Bij deze overgang heeft het geen zin om de bijdragen van stochasten nader te beschouwen, noch heeft het zin om te zoeken naar een locatie met een voldoende klein verschil ($< 0,1$ m). Het verschil tussen de regio's Bovenmaas en Bovenmaas 'hoge keringen' is het gevolg van een bewust genomen uitgangspunt over de overstroombaarheid van de hoge keringen langs de Bovenmaas. De knip tussen de regio's wijzigt niet t.o.v. WBI2017 en komt te liggen nabij rivierkilometers 165 en 166 (Figuur 3-6). De overgang van de watersystemen Bovenmaas en Bovenmaas 'hoge keringen' op de Maas komt op de volgende twee normtrajectgrenzen te liggen ter hoogte van:

- de spoorbrug (Cuyck - Molenhoek) tussen 36-1 en 36-2 (zuidelijke oever) bij rivierkilometer 165,5 en
- de spoorbrug (Cuyck - Molenhoek) tussen 41-1 en 54-1 (noordelijke oever) bij rivierkilometer 165,5.

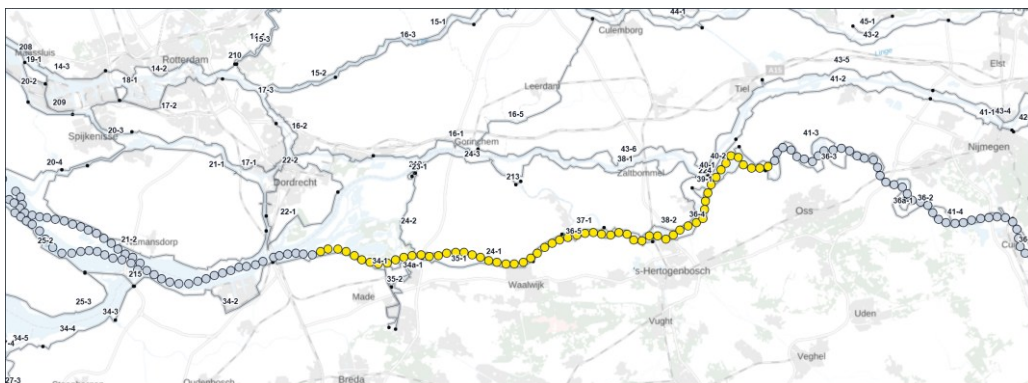
Voor de beschouwde herhalingstijden $T = 10^3$ jaar t/m $T = 10^6$ is het verschil in de waterstand bij deze overgang groter dan 0,1 m in de beoordelingsmodus. Bij herhalingstijd $T = 10^2$ jaar is het verschil kleiner dan 0,1 m.



Figuur 3-6: Detaillocatie van de overgang in BOI2023 (en WBI2017) tussen regio's Bovenmaas en Bovenmaas 'hoge keringen' op de Maas (oranje stip op rivierkilometer 165, groene stip grens tussen normtrajecten 41-4/54-1, rode stip tussen normtrajecten 36-2/36-1.

3.2 Overgang (b) Bovenmaas – Benedenmaas

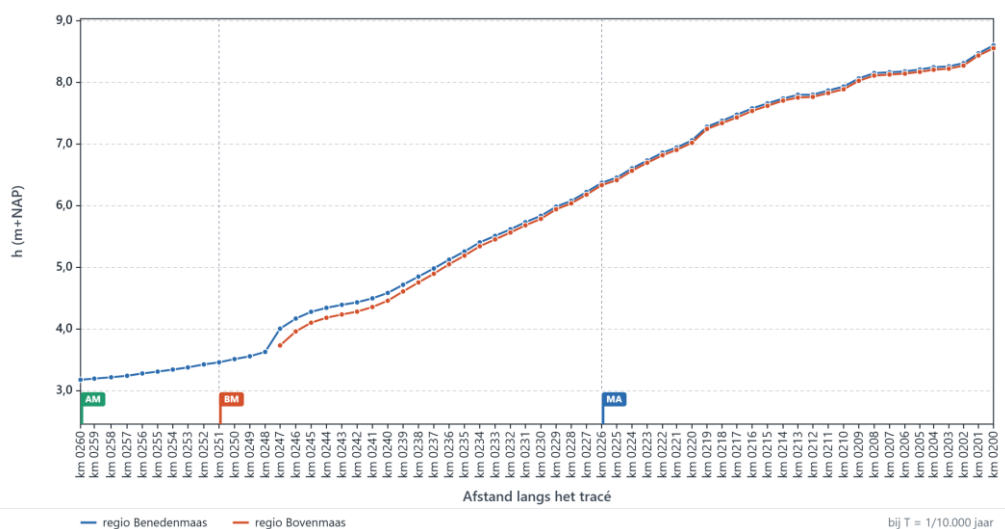
Voor de analyse van de overgang op de Maas tussen de regio's Boven- en Benedenmaas is gebruik gemaakt van de rekenresultaten van de verschil- en effectanalyse op de aslocaties (Van Lente et al., 2026b voor de Bovenmaas en Vuik et al., 2026 voor de Benedenmaas¹). De vergelijking bestaat uit resultaten van waterstandberekeningen met Hydra-NL in de beoordelingsmodus van BOI2023 (statistiek zichtjaar 2035, inclusief statistische onzekerheid en modelonzekerheid).



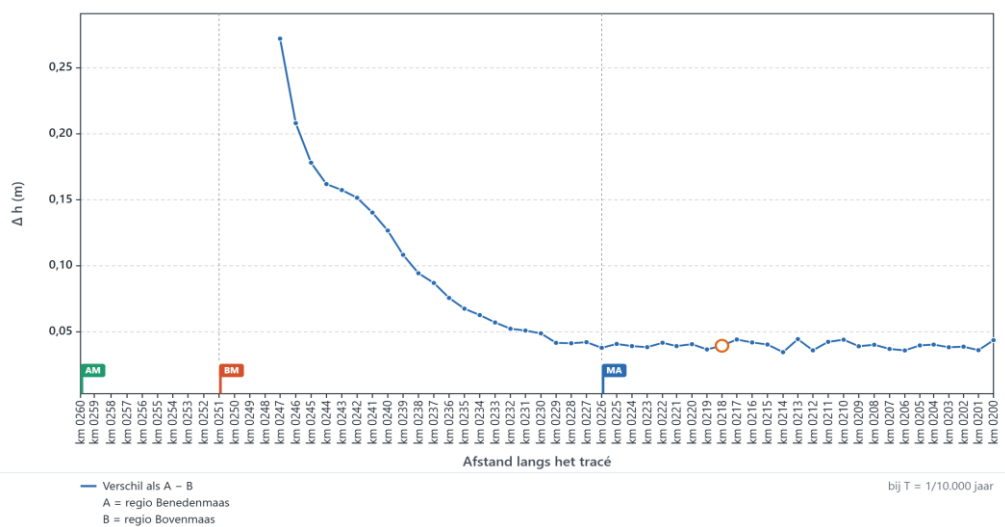
Figuur 3-7: Tracé Maas met indicatie beschikbare gegevens: geel locaties met resultaten van regio's Bovenmaas en Benedenmaas (die in de analyse naar de locatie van de knip zijn beschouwd).

¹ Dit betreft resultaten van een doorrekening van een beperkte set Benedenrivieren (Kuiper et al., 2026), een controle met de complete set volgt in een later stadium.

In Figuur 3-8 zijn de resultaten van regio's Benedenmaas en Bovenmaas weergegeven met respectievelijk een blauwe en oranje lijn. In Figuur 3-9 is het verschil tussen Beneden- en Bovenmaas weergegeven. Richting de Noordzee wordt het verschil in de resultaten tussen beide regio's groter. De verschillen op de Maas bij de overgang tussen beide regio's zijn zeer klein. Het verschil in berekende waterstand op het bovenstroomse gedeelte van het tracé is < 0,05 m bij waterstanden van $T = 10.000$ jaar. In Figuur 3-10 is de bijdrage van de afvoer te zien in de berekening van de regio's Beneden- en Bovenmaas. In het belastingmodel van de Bovenmaas is de rivierafvoer de enige stochast in de berekening van de waterstand, net als in het belastingmodel voor de Bovenrijn.

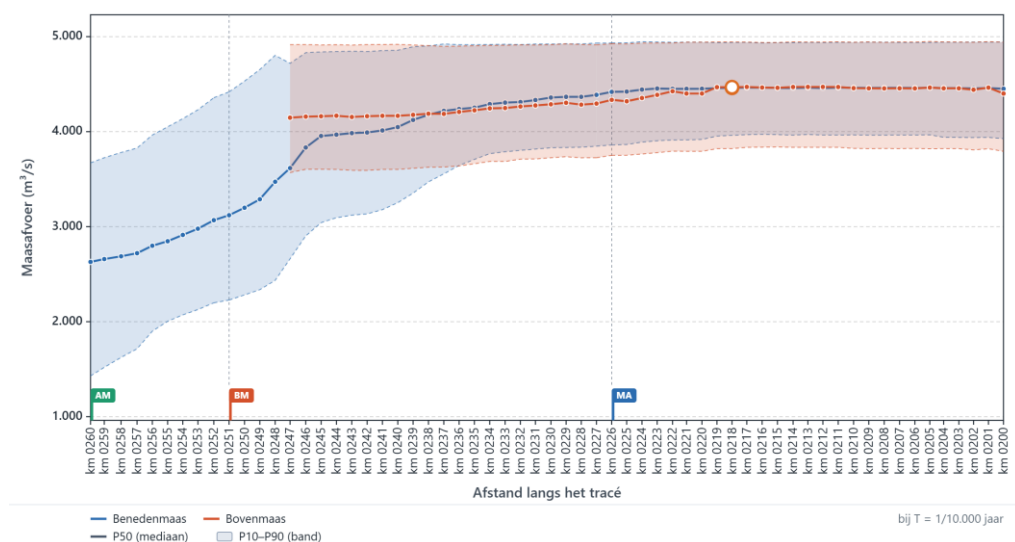


Figuur 3-8: Weergave van de waterstandberekening op de Maas voor herhalingstijd $T = 10.000$ jaar: berekende waterstanden. De vlaggetjes staan voor de riviertaknamen van de Amer (AM), de Bergsche Maas (BM) en de Maas (MA).



Figuur 3-9: Weergave van het waterstandsverschil op de Maas voor herhalingstijd $T = 10.000$ jaar: verschil tussen resultaten regio's Benedenmaas (A) minus Bovenmaas (B). Rivierkilometer 218 is gemarkeerd met een oranje cirkel. De vlaggetjes staan voor de riviertaknamen van de Amer (AM), de Bergsche Maas (BM) en de Maas (MA).

In Figuur 3-10 is te zien dat, ondanks dat de zeewaterstand en de wind een bijdrage kunnen leveren, de rivierafvoer dominant is in de berekening van de waterstand op de Maas (als de afstand tot Mook kleiner wordt). Op dit deel van het tracé is de benadering van de Bovenmaas gelijkwaardig aan de benadering van de Benedenmaas (verschil < 0,05 m).



Figuur 3-10: Weergave van de waterstandberekening op de Maas voor herhalingsstijd $T = 10.000$ jaar: bijdrage van de rivierafvoer aan de waterstand (rivierkilometer 218 gemarkeerd met oranje cirkel). De vlaggetjes staan voor de riviertaknamen van de Amer (AM), de Bergsche Maas (BM) en de Maas (MA).

Rond rivierkilometer 218 (oranje stip in de figuren) en verder bovenstrooms is de bijdrage van de rivierafvoer in beide berekeningen gelijk (Figuur 3-10) en is het verschil in waterstand tussen beide watersystemen klein (Figuur 3-9). Een overgang van normtrajecten op deze locatie of enigszins bovenstrooms van deze locatie is geschikt voor een geleidelijke overgang in de berekening van de hydraulische belastingen tussen Beneden- en Bovenmaas.

Langs het tracé van de Maas zijn de verschillen klein, maar groter dan langs de tracés op de Rijntakken Nederrijn en Waal (paragraaf 3.4). Voor $T = 10.000$ jaar zijn de verschillen < 0,05 m, bij andere herhalingsstijden kunnen de verschillen groter worden, tot maximaal 0,10 m. Dit heeft enkele oorzaken die in de methode zitten. Zo is bijvoorbeeld de discretisatie van de rivierafvoer in de berekeningen van de Bovenmaas anders dan in de berekeningen van de Benedenmaas. Daarnaast is de golfvorming door topvervlakking (het uitzakken van de afvoergolf in benedenstroomse richting) groter op het tracé van de Maas (Figuur 3-9), dan op de tracés van de Waal (Figuur 3-24) en de Nederrijn/Lek (Figuur 3-31). Als gerekend wordt zonder statistische onzekerheid en/of modelonzekerheid, dan kunnen de verschillen nog iets groter worden (maar blijven kleiner dan 0,15 m bovenstrooms van rivierkilometer 218). In paragraaf 3.3 is nader ingegaan op de oorzaken van deze toename bij rekenen zonder statistische onzekerheid.

Figuur 3-11 toont het gebied rondom de overgang van WBI2017 en Figuur 3-12 op de overgang van BOI2023. De locatie van de knip uit WBI2017 voldoet niet meer. Als de locatie van de knip aan de noordoever een normtraject stroomopwaarts wordt opgeschoven dan ligt de overgang bij de grens tussen trajecten 38-1/224 (grijze punt in Figuur 3-12). Op de zuidoever verschuift de overgang dan naar de grens tussen 36-5/36-4 (ook grijs gemarkeerd in Figuur 3-12). Verschuiven van de overgang

verder bovenstrooms naar stuw Lith, waar de getijde Maas overgaat in de gestuwde Maas, is een logischere kniplocatie (groen en rood gemarkeerd in Figuur 3-12).



Figuur 3-11: Gebied rondom de locatie van de overgang WBI2017 tussen regio's Beneden- en Bovenmaas op de Maas (oranje stip op rivierkilometer 218, groene stip grens tussen normtrajecten 35-1/36-5, rode stip tussen normtrajecten 37-1/38-2).



Figuur 3-12: Detail locatie overgang BOI2023 tussen regio's Beneden- en Bovenmaas op de Maas (oranje stip op rivierkilometer 218, groene stip grens tussen normtrajecten 36-4/36-3, rode stip tussen normtrajecten 40-2/41-3 en grijze stippen op 36-5/36-4 en 38-1/224).

Met het oog op klimaatverandering zou het opschuiven van de overgang op de zuidelijke oever naar een normtraject verder bovenstrooms een goede keuze zijn. Dan komt de overgang op de zuidoever ter hoogte van de spoorbrug van Empel ('s-Hertogenbosch) te liggen. Vanuit praktische overwegingen wordt dit niet als de beste keuze gezien, omdat de interactie tussen het verloop van de regionale afvoer en de rivierafvoer (met het oog op de klimaatverandering) tot een continue zorg leidt en mogelijke ingrepen in het regionale systeem. Nabij de spoorbrug stroomt het water van de Aa en de Dommel via de Dieze de Maas in. Omdat voor regionale afwegingen vaak het landelijke instrumentarium wordt gebruikt, is het beter om de grens tussen beide belastingmodellen niet nabij de monding van de Dieze te leggen.

Daarnaast biedt het opschuiven van de knip naar de grens 36-5/36-4 mogelijk te weinig ruimte om te anticiperen op klimaatverandering (waarschijnlijk zijn de verschillen bij ontwerpcondities te groot op deze locatie). Dit geldt ook op de noordoever voor de locatie van de grens 38-2/224. Daarom is het logischer om ook het

bovenstrooms gelegen normtraject 36-3 op de zuidoever en normtraject 40-2 op de noordoever met de methode van de Benedenmaas door te rekenen (groene en rode punt in Figuur 3-12). Feitelijk ligt de grens tussen de Boven- en Benedenmaas dan op de overgang van de gestuwde naar de getijde Maas (bij de stuw van Lith). Bijkomend voordeel is dat hiermee de overgang op beide oevers dichterbij elkaar komt te liggen. De verlenging van de D-Hydro-RMM-schematisatie van BOI2023 (Zijlker, 2026) maakt deze keuze mogelijk. Eventuele randeffecten zijn op deze overgangslocatie door de verlenging van het hydraulische model van de Rijn-Maasmonding tot aan Mook niet aanwezig in de probabilistische resultaten.

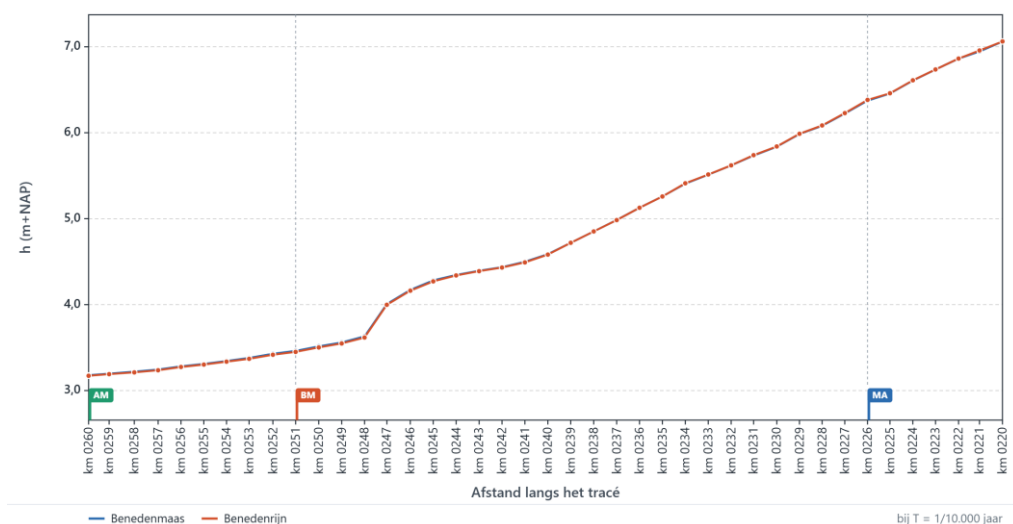
De overgang van de watersystemen Beneden- en Bovenmaas op de Maas komt op de volgende twee normtrajectgrenzen te liggen ter hoogte van:

- de stuw (Lith) tussen 36-4 en 36-3 (zuidelijke oever) bij rivierkilometer 201, en
- de stuw (Lith) tussen 40-2 en 41-3 (noordelijke oever) bij rivierkilometer 204.

Voor alle beschouwde herhalingsstijden ($T = 10^2$ jaar t/m $T = 10^6$) is het verschil in de waterstand bij deze overgang minder dan 0,10 m in de beoordelingsmodus. Als de informatie voor ontwerpen beschikbaar is, zal ook de overgang in berekende golfgegevens worden gecontroleerd (nu nog niet beschikbaar).

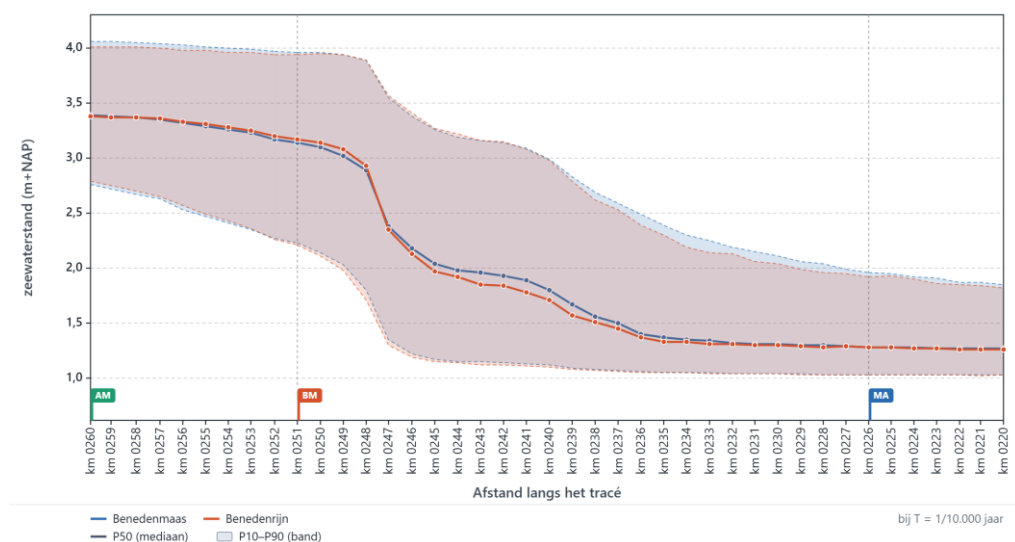
3.3 Overgang (c) Benedenmaas – Benedenrijn

Voor de analyse van de overgang op de Maas tussen de regio's Benedenrijn en -maas zijn de rekenresultaten van de Verschil- en effectanalyse op de aslocaties (Vuik et al., 2026) gebruikt. Voor beide systemen zijn locaties beschikbaar om de kilometer van Mook naar Stellendam. In Figuur 3-7 staat een overzicht van de beschikbare locaties met rekenresultaten van beide belastingmodellen op elke rivierkilometer, met gele bolletjes is het tracé gemarkeerd dat in deze analyse is beschouwd. In Figuur 3-13 staan de waterstanden van de regio's Benedenrijn en -maas en in Figuur 3-14, Figuur 3-15 en Figuur 3-16 staat de bijdrage van de zeewaterstand en de rivierafvoer in de berekening van de waterstanden.

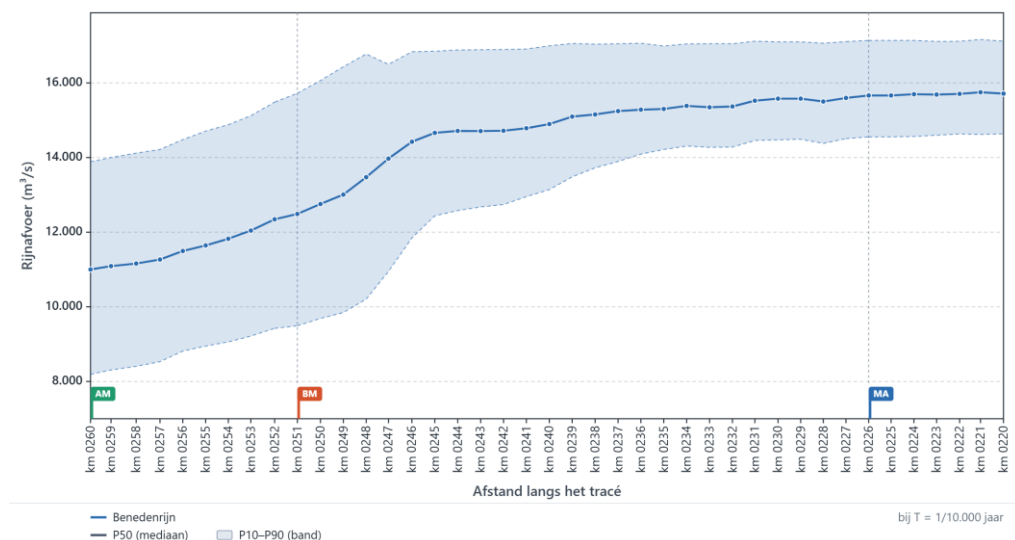


Figuur 3-13: Weergave van de waterstand (h) (inclusief statistische onzekerheid en modelonzekerheid) op het gehele tracé van Lith (rechts) naar Lage Zwaluwe (links) voor herhalingsstijd $T = 10.000$ jaar: berekende waterstanden van regio's Benedenrijn (oranje)- en Benedenmaas (blauw). De vlaggetjes staan voor de riviernamen van de Amer (AM), de Bergsche Maas (BM) en de Maas (MA).

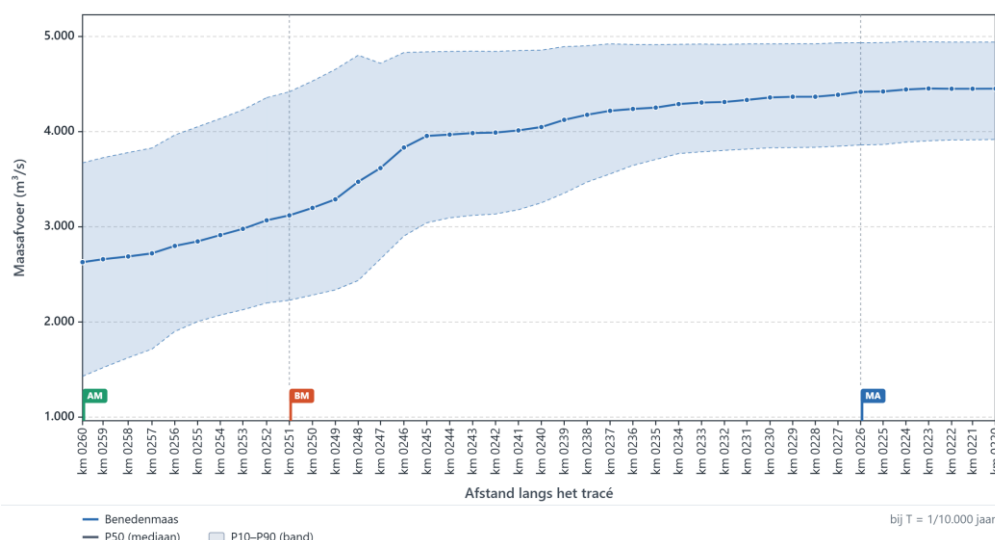
In eerste instantie bestaat de vergelijking uit resultaten van waterstandberekeningen met Hydra-NL in de beoordelingsmodus van BOI2023 (statistiek zichtjaar 2035, inclusief statistische onzekerheid en modelonzekerheid). In de beoordelingsmodus wordt in de probabilistische berekening gerekend met dezelfde afvoerstatistiek inclusief statistische onzekerheid als de statistiek die bij het opstellen van de correlatie tussen Rijn- en Maasafvoer in de productieberekeningen gebruikt is. Dit maakt het mogelijk om de regio Benedenmaas te laten vervallen als alleen gebruikers van de beoordelingsmodus bediend moeten worden door BOI2023.



Figuur 3-14: Weergave van de waterstandberekening op het gehele tracé van Lith (rechts) naar Lage Zwaluwe (links) voor herhalingstijd $T = 10.000$ jaar: bijdrage van de zeewaterstand in regio's Benedenrijn (oranje) en Benedenmaas (blauw). De vlaggetjes staan voor de riviertaknamen van de Amer (AM), de Bergsche Maas (BM) en de Maas (MA).



Figuur 3-15: Weergave van de waterstandberekening (inclusief statistische onzekerheid en modelonzekerheid) op het gehele tracé van Lith (rechts) naar Lage Zwaluwe (links) voor herhalingstijd $T = 10.000$ jaar: bijdrage van de Rijnaafvoer aan de waterstand in regio Benedenrijn. De vlaggetjes staan voor de riviertaknamen van de Amer (AM), de Bergsche Maas (BM) en de Maas (MA).



Figuur 3-16: Weergave van de waterstandberekening (inclusief statistische onzekerheid en modelonzekerheid) op het gehele tracé van Lith (rechts) naar Lage Zwaluwe (links) voor herhalingsstijd $T = 10.000$ jaar: bijdrage van de Maasafvoer aan de waterstand in regio Benedenmaas. De vlaggetjes staan voor de riviertaknamen van de Amer (AM), de Bergsche Maas (BM) en de Maas (MA).

In Figuur 3-13 liggen de resultaten van de Benedenrijn bovenop de resultaten van de Benedenmaas. Het verschil is kleiner dan 0,01 m en wordt veroorzaakt door rekeninstellingen (stapgrootte in het rooster van de probabilistische berekening). In Figuur 3-14 en Figuur 3-16 is te zien dat de bijdrage van de basisstochasten zeewaterstand en rivierafvoer eenzelfde verloop heeft van benedenstrooms naar bovenstrooms. Kortom, in de beoordelingsmodus zijn de berekeningen van regio Benedenmaas en regio Benedenrijn hetzelfde door de duidelijke koppeling van de Maas- en Rijnaafvoer. Met de introductie van de 1-op-1-relatie in WBI2017, het op de juiste wijze meenemen hiervan in de fysica en probabilistiek in BOI2023 en het verplaatsen van het afvoerstation naar Borgharen in BOI2023, zijn alle verschillen tussen Benedenrijn en Benedenmaas verdwenen. Dit geldt bij de voorwaarde: de afvoerstatistiek in de probabilistische berekening is gelijk aan de afvoerstatistiek die gebruikt is om de 1-op-1-relatie van de productieberekeningen op te stellen.

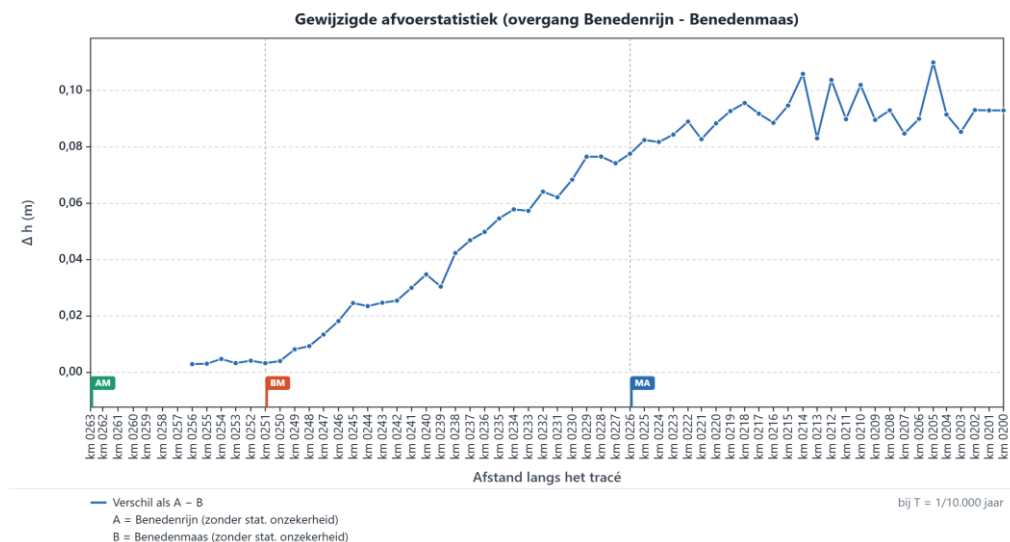
Andere afvoerstatistiek ten opzichte van uitgangspunten productieberekeningen

Met de introductie van de 1-op-1-relatie is het verband tussen de productieberekeningen Rijn-Maasmonding en de probabilistische berekeningen van regio's Benedenrijn en -maas hechter. De watersystemen Benedenrijn en -maas maken gebruik van dezelfde productieberekeningen. De databases worden met dezelfde stochastwaardencombinaties gevuld. Voor de Benedenrijn zijn de stochastwaarden van de Rijnaafvoer in de database weggeschreven en voor de Benedenmaas de stochastwaarden van de Maasafvoer. In de probabilistische berekening van de Benedenrijn wordt de statistiek van de Rijnaafvoer te Lobith gehanteerd en in de berekening van de Benedenmaas die van de Maasafvoer te Borgharen. Omdat in de productieberekeningen de correlatie tussen de Rijn- en Maasafvoer ook gebaseerd is op deze afvoerstatistiek, wordt deze in de probabilistische berekeningen van de Benedenrijn en -maas vertaald naar min of meer dezelfde frequentielijnen. In Botterhuis et al. (2026) is hier onderzoek naar gedaan.

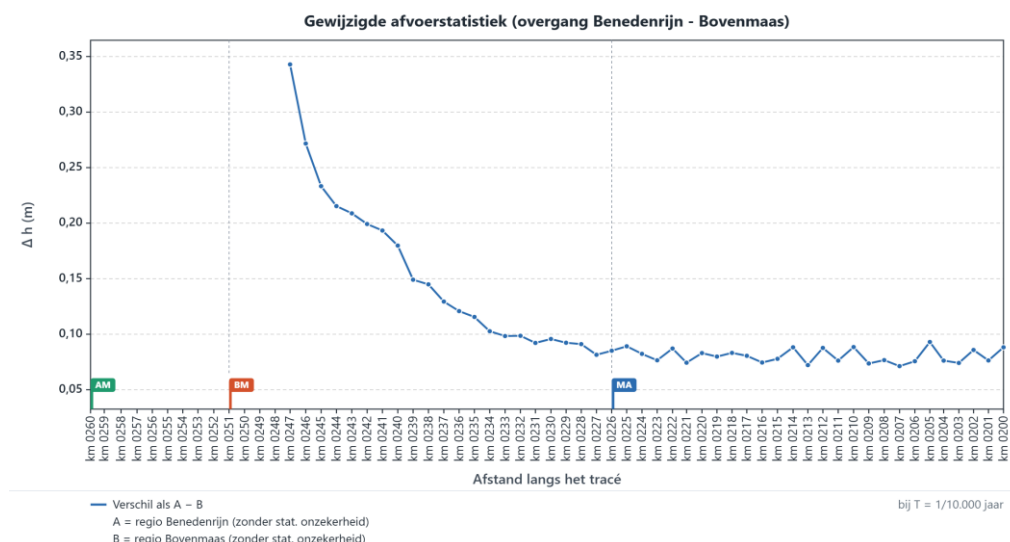
De correlatie tussen de Rijn- en Maasafvoer (de 1-op-1-relatie) in de productieberekeningen van de Rijn-Maasmonding is gebaseerd op een gelijke kans van voorkomen

van beide rivierafvoeren. Als een T100-afvoer op de Rijntakken optreedt, treedt ook een T100-afvoer op de Maas op. De kans van voorkomen, die verwerkt is in het correlatieverband, is gebaseerd op de afvoerstatistiek *inclusief statistische onzekerheid*. Als in de probabilistische berekening gerekend zou worden zonder statistische onzekerheid, wijkt de invoer van de probabilistische berekening af van de invoer van de productieberekeningen. Het resultaat van deze gewijzigde afvoerstatistiek geeft een indicatie van de fout die wordt gemaakt, als in de probabilistische berekening met een andere afvoerstatistiek wordt gerekend dan waarmee de 1-op-1-relatie uit de productie is opgesteld. Idealiter zou bij wijziging van de afvoerstatistiek ook een set nieuwe productieberekeningen moeten worden gemaakt, met een aangepaste 1-op-1-relatie. Dat betekent echter onevenredig veel werk. In Figuur 3-17 is het resultaat te zien waarbij zonder statistische onzekerheid in zowel Rijn- als Maasafvoer is gerekend.

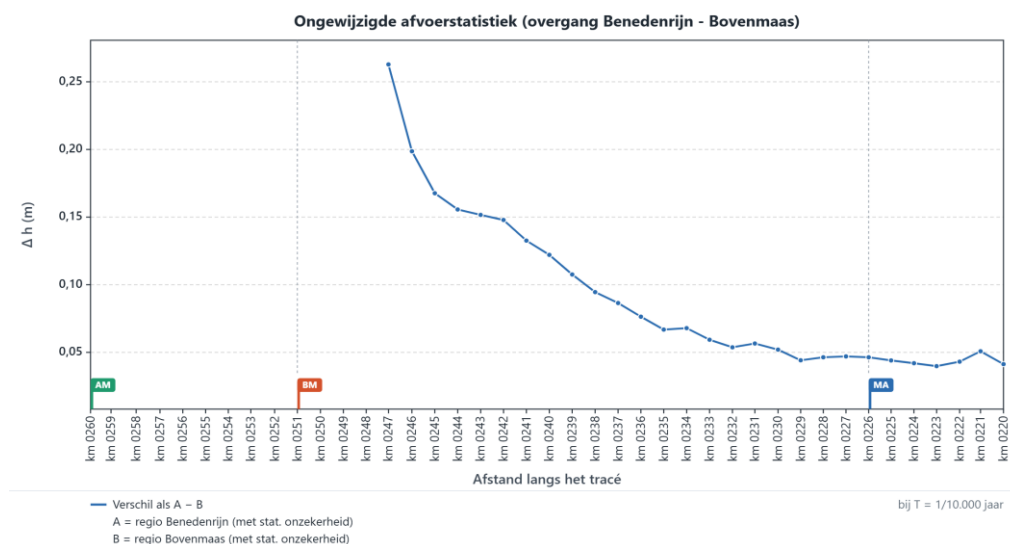
Door aanpassing van de afvoerstatistiek in de probabilistische berekening (door middel van het rekenen zonder statistische onzekerheid) ontstaat een verschil van ongeveer 0,10 m op het bovenstroomse deel van het tracé van Lith (rechts) naar Lage Zwaluw (links) bij T10.000. Bij T100.000 neemt dit verschil toe tot 0,20 m en bij T1.000 is het maximale verschil 0,08 m. Dit verschil wordt dus veroorzaakt door de inconsistentie tussen de afvoerstatistiek en de set productieberekeningen. Daar waar het verschil het grootst is, is de waterstand nagenoeg volledig bepaald door de rivierafvoer. In de berekeningen van de Benedenrijn wordt in dit geval een kans aan de afvoer op de Maas toegekend die niet overeenkomt met de statistiek van de Maasafvoer te Borgharen. De Maasafvoer in de productieberekeningen is dan niet gelijk aan de Maasafvoer in de toegepaste statistiek. Door aanpassing van de statistiek, verandert ook de aansluiting van de Benedenrivieren op de Bovenmaas (paragraaf 3.2). In Figuur 3-18 is het verschil te zien tussen Bovenmaas en Benedenrijn als probabilistisch met een gewijzigde afvoerstatistiek is gerekend.



Figuur 3-17: Weergave van de waterstandberekeningen op het gehele tracé van Lith (rechts) naar Lage Zwaluwe (links) voor herhalingstijd $T = 10.000$ jaar: indicatie van het verschil tussen Benedenrijnresultaten (A) en Benedenmaasresultaten (B) als met gewijzigde afvoerstatistiek wordt gerekend. De vlaggetjes staan voor de riviertaknamen van de Amer (AM), de Bergsche Maas (BM) en de Maas (MA).



Figuur 3-18: Weergave van de waterstandberekeningen op het gehele tracé van Lith (rechts) naar Lage Zwaluwe (links) voor herhalingsstijd $T = 10.000$ jaar: indicatie van het verschil tussen Benedenrijnresultaten (A) en Bovenmaasresultaten (B) als met gewijzigde afvoerstatistiek wordt gerekend.

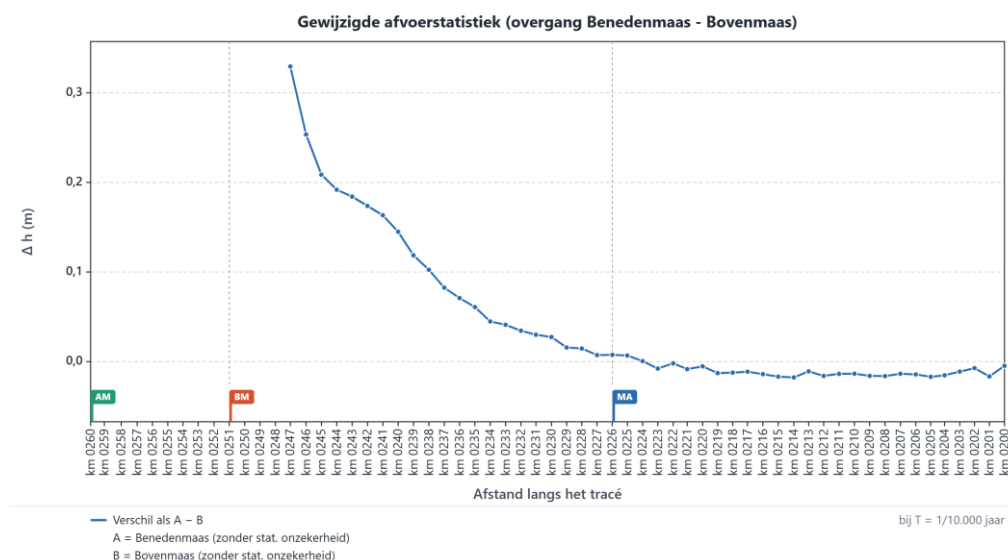


Figuur 3-19: Weergave van waterstandsverschil op het gehele tracé van Lith (rechts) naar Lage Zwaluwe (links) voor herhalingsstijd $T = 10.000$ jaar: indicatie van het verschil tussen Benedenrijn en Bovenmaasresultaten als met ongewijzigde afvoerstatistiek wordt gerekend. De vlaggetjes staan voor de riviertaknamen van de Amer (AM), de Bergsche Maas (BM) en de Maas (MA).

Het verschil tussen *Benedenmaas* en *Benedenrijn* bij rivierkilometer 230 en verder bovenstrooms op de Maas is vergelijkbaar met het verschil dat ontstaat tussen *Bovenmaas* en *Benedenrijn* als met gewijzigde afvoerstatistiek wordt gerekend. Het toepassen van dezelfde afvoerstatistiek in de probabilistische berekening en bij het opstellen van de correlatie tussen Rijn- en Maasafvoer in de productieberekeningen, maakt het mogelijk om watersysteem *Benedenmaas* dan te laten vervallen. De hydraulische belastingen op de benedenloop van de Maas en langs de *Bergsche Maas* zouden in dat geval voldoende nauwkeurig berekend kunnen worden met watersysteem *Benedenrijn*. Met andere woorden, het verschil in Figuur 3-19 tussen *Benedenrijn* en *Bovenmaas* komt overeen met het verschil in Figuur 3-9 tussen *Benedenmaas*

en Bovenmaas. Wijzigt de afvoerstatistiek, dan moet gecontroleerd worden of deze wijziging toelaatbaar is, dus of het verschil op de benedenloop van de Maas (rivierkilometer 200-230) niet te groot ($>0,10$ m) wordt.

Handhaven van regio Benedenmaas biedt de mogelijkheid om dit verschil te verkleinen en te rekenen met een gewijzigde afvoerstatistiek (bijvoorbeeld zonder statistische onzekerheid of op basis van een nieuwe GRADE-versie). Omdat de rivierafvoer de waterstand nabij de overgang tussen Bovenrivieren en Benedenrivieren nagenoeg volledig bepaalt, leidt een wijziging van de afvoerstatistiek niet of nauwelijks tot een toename van het verschil op het tracé van Mook naar Keizersveer tussen Benedenmaas en Bovenmaas, als de wijziging van de statistiek ook wordt doorgevoerd in de berekening van de Bovenmaas. In Figuur 3-20 is te zien dat in een andere probabilistische berekening (namelijk andere afvoerstatistiek), nabij de overgang tussen Beneden- en Bovenmaas (rivierkilometer 220) het verschil tussen Beneden- en Bovenmaas vergelijkbaar is met dat in Figuur 3-8 en/of Figuur 3-12. Aangenomen mag worden, als de afvoerstatistiek wijzigt, deze in de berekening van de Benedenmaas op dezelfde wijze wordt gewijzigd als op de Bovenmaas. In dat geval blijven de resultaten van de watersystemen Beneden- en Bovenrivieren goed aansluiten ter hoogte van de overgang uit paragraaf 3.2.

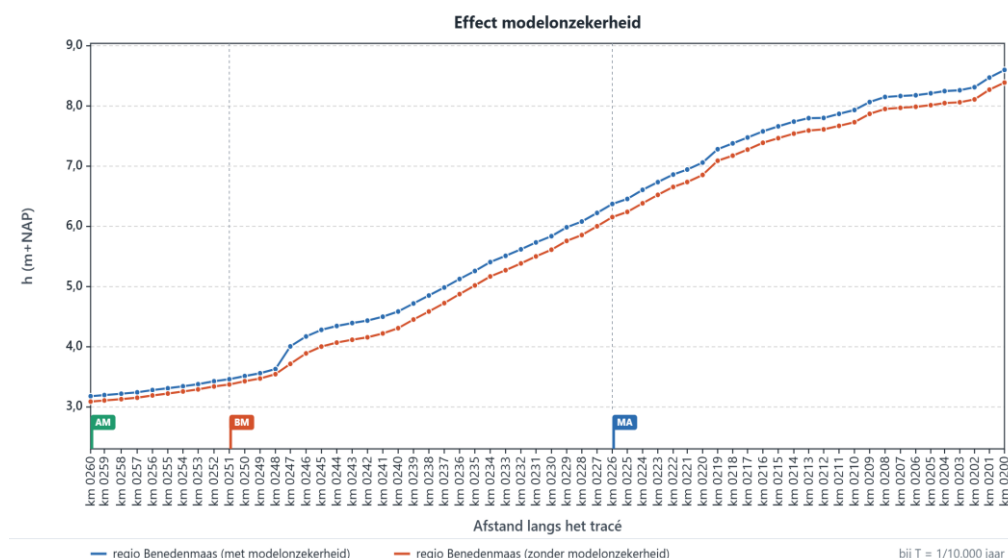


Figuur 3-20: Weergave van de waterstandberekeningen op het gehele tracé van Lith (rechts) naar Lage Zwaluwe (links) voor herhalingstijd T = 10.000 jaar: indicatie van het verschil tussen Benedenmaas- en Bovenmaasresultaten als met gewijzigde afvoerstatistiek wordt gerekend. De vlaggetjes staan voor de riviertaknamen van de Amer (AM), de Bergsche Maas (BM) en de Maas (MA).

Alhoewel het rekenen in de beoordelingsmodus met het belastingmodel van de Benedenrijn op de Maas dezelfde resultaten geeft als rekenen met het belastingmodel van de Benedenmaas, is het uit praktische overwegingen beter om op dit tracé te rekenen de Benedenmaas. In beleidsstudies wordt vaak gebruik gemaakt van het landelijke instrumentarium en handhaven van de regio Benedenmaas biedt dan de mogelijkheid om de effecten van een andere rivierafvoer te verkennen zonder dat dan gelijk een nieuwe set productieberekeningen moet worden uitgevoerd.

Andere modelonzekerheid

In Strijker en Geerse (2019) zijn de waarden van de modelonzekerheid in de waterstand in onder andere de RMM onderzocht. Op basis van deze studie zijn de modelonzekerheden voor BOI2023 in veel (niet alle) watersystemen aangepast ten opzichte van WBI2017. De modelonzekerheid tussen Keizersveer en Borgharen ("Maasdominante gebied") is niet aangepast. In Strijker en Geerse (2019) was de scope te beperkt om deze waarde nader te onderzoeken. Op rivierkilometer 247 en 248 verandert de onzekerheid van de waterstandberekening. In Figuur 3-21 staat het effect van de modelonzekerheid op de waterstand getoond.

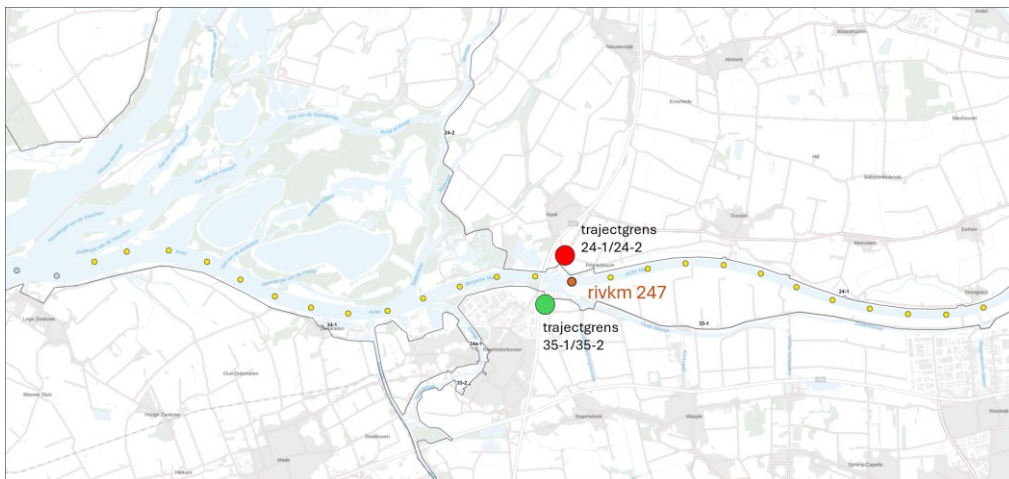


Figuur 3-21: Weergave van de waterstanden op het gehele tracé van Mook (rechts) naar Stellendam (links) voor herhalingsstijd $T = 10.000$ jaar: verschil tussen de berekening met en zonder modelonzekerheid. De vlaggetjes staan voor de riviertaknamen van de Amer (AM), de Bergsche Maas (BM) en de Maas (MA).

Dit effect is bovenstrooms van rivierkilometer 247 ongeveer 0,20 m door een andere waarde van de modelonzekerheid. Het lijkt logisch om op deze locatie ook de overgang tussen Benedenrijn en -maas te leggen, zodat op het tracé tussen Mook en Stellendam het aantal sprongen in de hydraulische belastingen beperkt blijft tot de overgangen Boven-/Benedenmaas en Benedenmaas/-rijn. Hierbij wordt opgemerkt dat het getoonde verschil in Figuur 3-21 veroorzaakt is door de modelonzekerheid aan- en uit te zetten. Als in de beoordelingsmodus (dus met modelonzekerheid en statistische onzekerheid) wordt gerekend, dan is er geen verschil tussen de berekende waterstanden voor regio's Benedenrijn en -maas. Afhankelijk van de wijziging in afvoerstatistiek (ten opzichte van beoordelingsmodus), zal het verschil tussen Benedenrijn en -maas op de locatie van de knip hooguit enkele centimeters zijn. Dit is verwaarloosbaar ten opzichte van het verschil dat op deze locatie veroorzaakt wordt door de modelonzekerheid.

De overgang van de regio's Benedenrijn en Benedenmaas wordt daarom bij de brug van snelweg A27 over de Bergsche Maas gelegd, nabij Keizersveer (daar waar de modelonzekerheid een andere waarde krijgt). Voor het WBI2017 lag deze overgang aan de noordelijke oever op dezelfde locatie, op de zuidelijke oever schuift de kniplocatie een normtraject op in bovenstroomse richting (in WBI2017 lag de knip tussen trajecten 34a-1 en 34-1). In Figuur 3-22 is ingezoomd op deze locatie. Bij rivierkilometer 247 en verder stroomopwaarts neemt het verschil tussen beide watersystemen

toe, wanneer met een aangepaste afvoerstatistiek wordt gerekend (zie Figuur 3-17). Deze afvoerstatistiek wijkt dan af van de statistiek waarmee het correlatieverband (de 1-op-1-relatie) voor de productieberekeningen is opgesteld. Dit verschil neemt verder toe naarmate de rivierafvoer dominanter is in de berekening van de waterstand.



Figuur 3-22: Detail locatie overgang BOI2023 tussen regio's Benedenrijn en -maas op de Bergsche Maas (oranje stip op rivierkilometer 247, groene stip grens tussen normtrajecten 35-1/35-2, rode stip tussen normtrajecten 24-1/24-2).

Deze overgang tussen de regio's Benedenrijn en Benedenmaas valt samen met een overgang tussen normtrajecten en met een overgang naar een andere waarde van de modelonzekerheid. Om die reden is deze locatie geschikt voor een geleidelijke overgang in de berekening van de hydraulische belastingen tussen Benedenrijn en Benedenmaas. De overgang van deze regio's op de Bergsche Maas komt op de volgende twee normtrajectgrenzen te liggen, ter hoogte van:

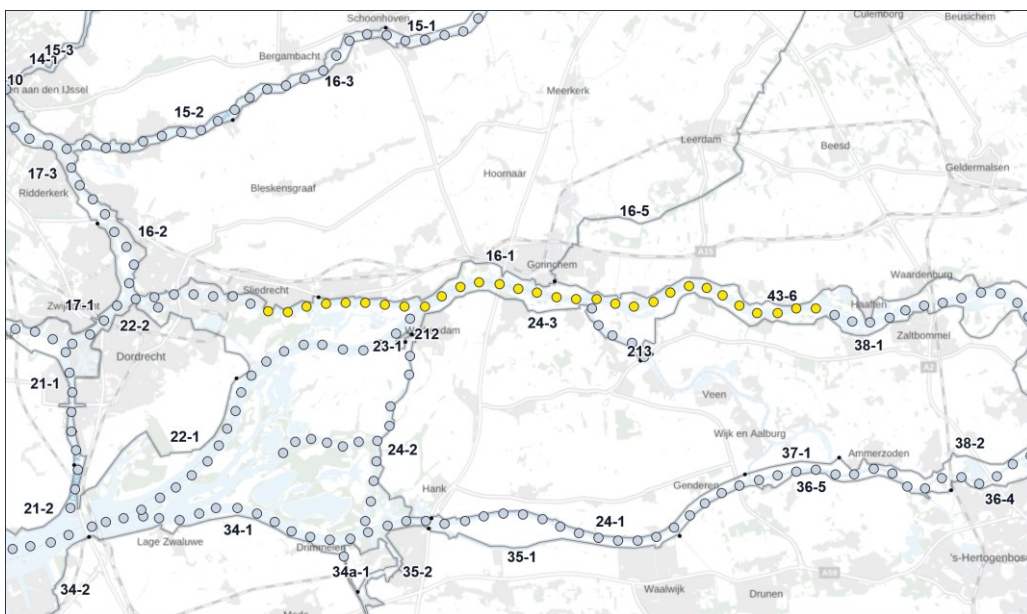
- de brug van de snelweg A27 tussen 35-1 en 35-2 (zuidelijke oever) bij rivierkilometer 247, en
- de brug van de snelweg A27 tussen 24-1 en 24-2 (noordelijke oever) bij rivierkilometer 247.

Door in BOI2023 het watersysteem Benedenmaas te blijven hanteren, blijft het tevens mogelijk om te rekenen zonder statistische onzekerheid en in de toekomst te corrigeren voor een aangepaste afvoerstatistiek, zonder dat daarvoor direct een nieuwe set productieberekeningen nodig is.

3.4 Overgangen Bovenrijn – Benedenrijn (d) en (e)

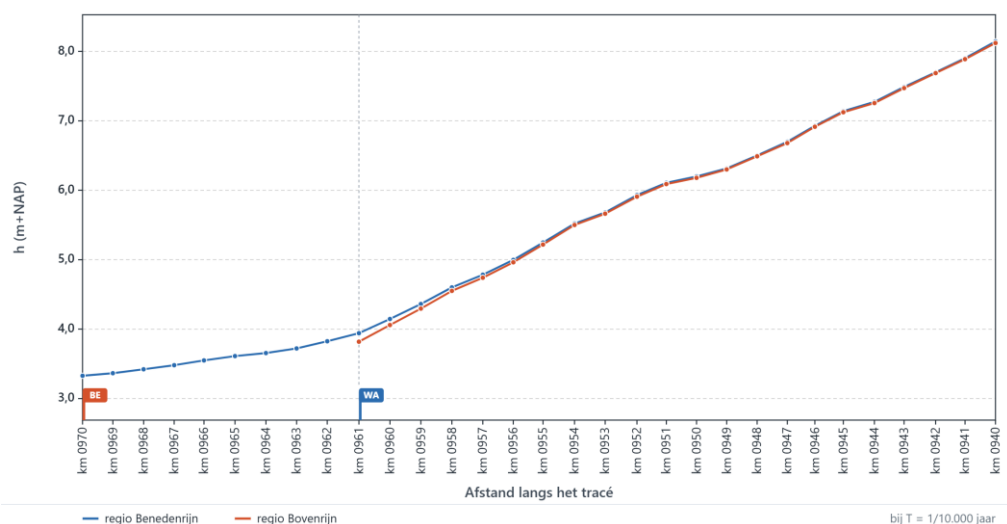
3.4.1 Overgang (d) op de Waal

Voor de analyse van de overgang op de Waal tussen de regio's Boven- en Benedenrijn wordt gebruikgemaakt van de rekenresultaten van de verschil- en effectanalyse op de aslocaties (Van Lente et al., 2026a en Vuik et al., 2026). De vergelijking bestaat uit waterstanden berekend met Hydra-NL in de beoordelingsmodus van BOI2023 (statistisch zichtjaar 2035, inclusief statistische onzekerheid en modelonzekerheid). In Figuur 3-23 staat een overzicht van de beschikbare locaties met rekenresultaten: regio Benedenrijn elke kilometer van Nijmegen naar Hoek van Holland en regio Bovenrijn elke kilometer van Nijmegen naar Werkendam. Met gele bolletjes zijn de locaties gemarkeerd die in de analyse zijn meegenomen, voor deze locaties zijn de resultaten op basis van beide belastingmodellen beschikbaar.

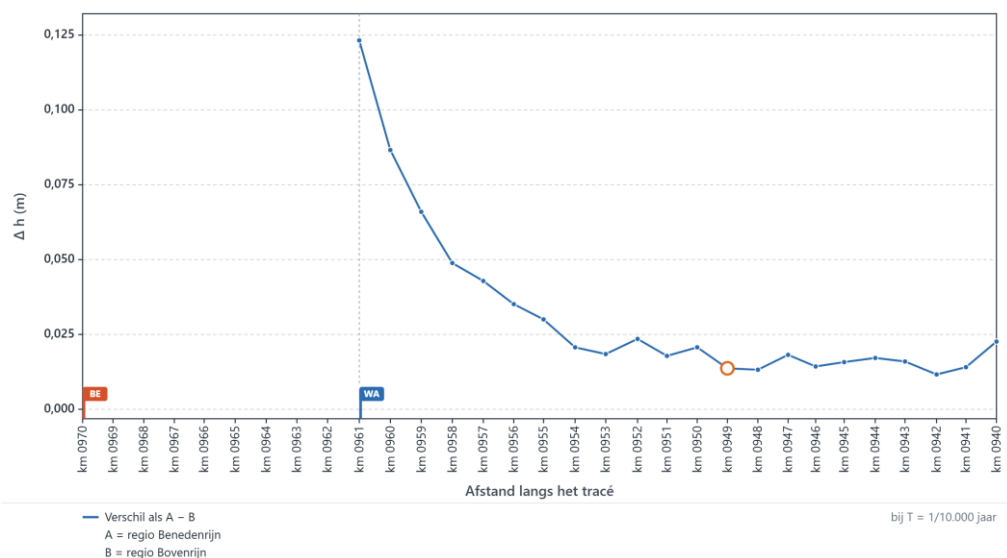


Figuur 3-23: Tracé Waal met indicatie beschikbare gegevens: geel locaties met resultaten van regio's Bovenrijn en Benedenrijn (die in de analyse naar de knip zijn beschouwd).

In Figuur 3-24 is een overzicht gepresenteerd van de berekende waterstanden. In de grafiek zijn de resultaten van regio Benedenrijn weergegeven met de blauwe lijn en de resultaten van regio Bovenrijn met de oranje lijn. In Figuur 3-25 staat het verschil tussen de regio's Boven- en Benedenrijn. Over het algemeen geldt dat bij afnemende afstand tot de Noordzee het verschil tussen de resultaten van beide regio's toeneemt. Het verschil in berekende waterstand op het bovenstroomse gedeelte van het tracé is kleiner dan of gelijk aan 0,03 m, bij waterstanden met een herhalingsstijd van 10.000 jaar. In Figuur 3-26 is de bijdrage van de rivierafvoer te zien in de berekening van regio Benedenrijn (blauw) en regio Bovenrijn (oranje). In de berekening van de waterstand in regio Bovenrijn is de rivierafvoer de enige stochast, alle andere stochasten zijn verwaarloosd in het belastingmodel van de Bovenrijn.

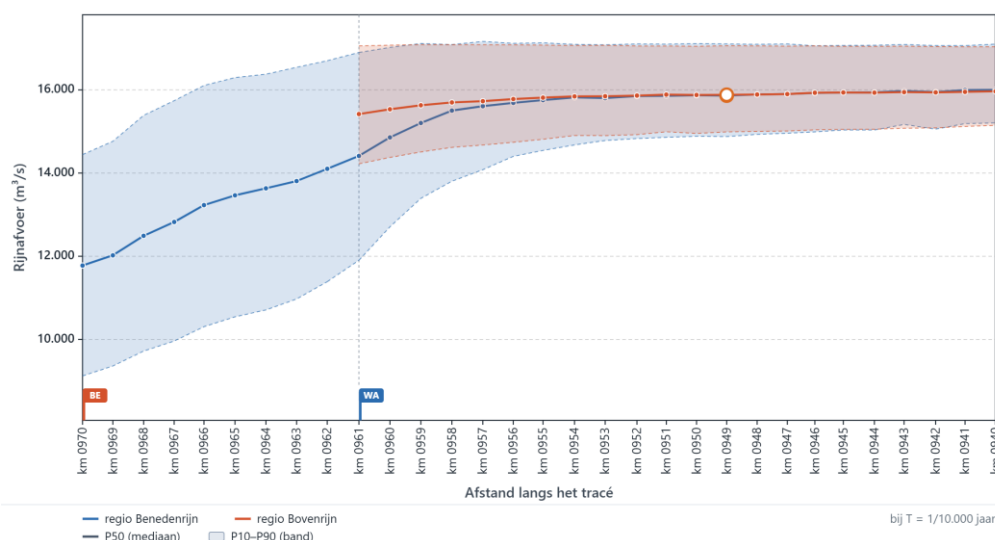


Figuur 3-24: Weergave van de waterstandberekening (h) op de Waal voor herhalingsstijd $T = 10.000$ jaar: berekende waterstanden van regio Benedenrijn (BER) weergegeven met de blauwe lijn en de resultaten van regio Bovenrijn (BOR) met de oranje lijn. De vlaggetjes staan voor de riviertaknamen van de Beneden Merwede (BE) en de Waal (WA).



Figuur 3-25: Weergave van het waterstandsverschil op de Waal voor herhalingsstijd $T = 10.000$ jaar: verschil tussen resultaten regio's Benedenrijn (BER) minus Bovenrijn (BOR). Rivierkilometer 949 is gemarkeerd met een oranje cirkel. De vlaggetjes staan voor de riviertaknamen van de Beneden Merwede (BE) en de Waal (WA).

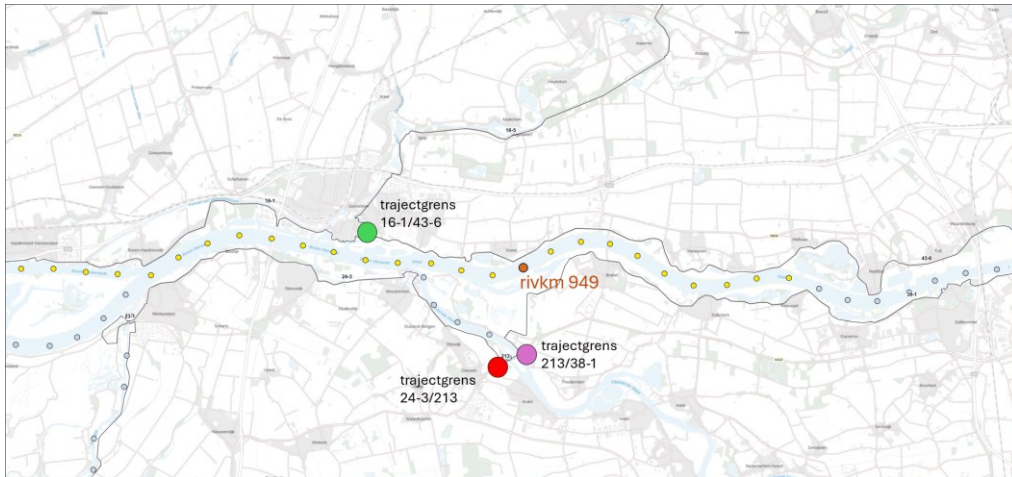
In Figuur 3-26 is te zien dat, ondanks dat de zeewaterstand en de wind een bijdrage kunnen leveren aan de berekende waterstanden (immers resultaten regio Benedenrijn), de rivierafvoer dominant wordt in bovenstroomse richting in de berekening van de waterstand op de Waal (als de afstand tot Nijmegen kleiner wordt). In Figuur 3-24 t/m Figuur 3-26 staan resultaten voor $T = 10.000$ jaar, maar resultaten van andere herhalingsstijden zijn ook onderzocht. Daaruit blijkt dat voor zowel lagere als hogere herhalingsstijden de locatie waar de rivierafvoer dominant wordt, min of meer op dezelfde plek blijft liggen.



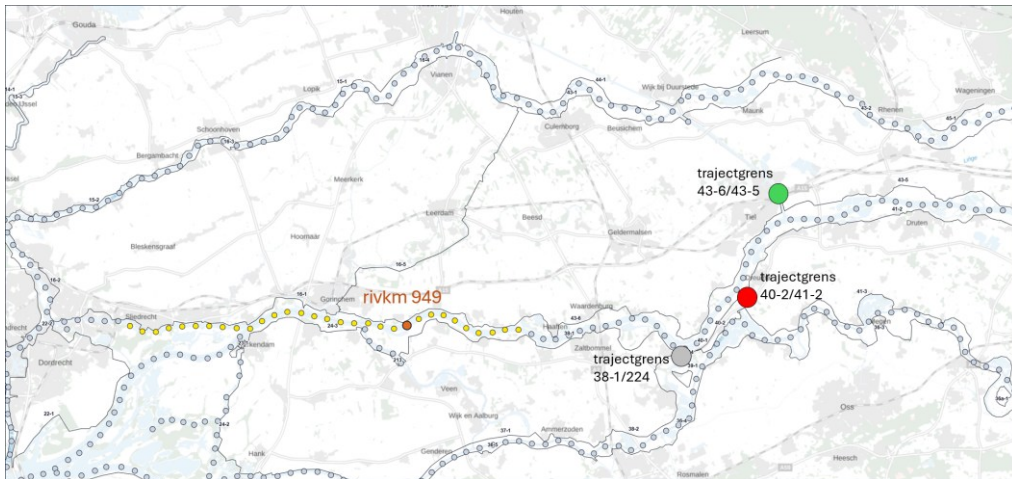
Figuur 3-26: Weergave van de waterstandberekening op de Waal voor herhalingsijd $T = 10.000$ jaar: bijdrage van de rivierafvoer aan de waterstand (rivierkilometer 949 gemarkeerd met oranje cirkel) regio Benedenrijn weergegeven in blauw en de resultaten van regio Bovenrijn in oranje. De vlaggetjes staan voor de riviernamen van de Beneden Merwede (BE) en de Waal (WA).

Op dit deel van het tracé is de benadering van de Bovenrijn gelijkwaardig aan de benadering van de Benedenrijn (verschil $< 0,03$ m). Op rivierkilometer 949 (met open oranje cirkel gemarkeerd) en verder bovenstrooms is het verschil in waterstand tussen beide watersystemen zeer klein en vrij constant (Figuur 3-25). De waterstand wordt bijna volledig bepaald door de rivierafvoer (Figuur 3-26). Enkele kilometers benedenstrooms van deze locatie is het verschil in berekende waterstand ook zeer klein, maar vanaf rivierkilometer 954 neemt het verschil in waterstand snel toe en neemt de bijdrage van de rivierafvoer snel af. Op basis van deze resultaten wordt ingeschat dat vanaf rivierkilometer 949 ook enige ruimte beschikbaar is om klimaatveranderingen op te vangen zonder de locatie van de knip te moeten aanpassen. Mogelijk verandert benedenstrooms van deze locatie de bijdrage van de rivierafvoer in de zichtjaren 2075 en 2125 die voor ontwerpen worden beschouwd. Een overgang van normtrajecten op deze locatie (rivierkilometer 949) of enigszins bovenstrooms van deze locatie is geschikt voor een geleidelijke overgang in de berekening van de hydraulische belastingen tussen Beneden- en Bovenrijn voor zowel beoordelen als ontwerpen.

In WBI2017 lag de overgang op de Waal (Figuur 3-27) tussen normtrajecten 24-3 en 213 op de zuidelijke oever (ter hoogte van oude binnenstad Woudrichem op rivierkilometer 952) en trajecten 16-1 en 43-6 op de noordelijke oever (ter hoogte van oude binnenstad Gorinchem op rivierkilometer 955). De locatie van de overgang op het bovenstroomse einde van traject 16-1 biedt geen ruimte om te anticiperen op een toename van de bijdrage van de zeewaterstand, die in de gegevens voor ontwerpen wordt verwacht. De effecten van klimaatverandering op de hydraulische belastingen in zichtjaren 2075 en 2125 komen in een later stadium beschikbaar. Een robuuste keuze voor de locatie van de overgang op de noordelijke oever is daarom gelegen tussen normtrajecten 43-6 en 43-5 bij rivierkilometer 913. Daarmee verschuift de overgang ruim 40 kilometer bovenstrooms. De totale afstand is niet strikt noodzakelijk, maar een overgang halverwege normtraject 43-6 is niet gewenst.



Figuur 3-27: Detail locatie overgang WBI2017 tussen regio's Beneden- en Bovenrijn op de Waal (oranje stip op rivierkilometer 949, groene stip grens tussen normtrajecten 16-1/43-6, rode stip tussen normtrajecten 24-3/213 en paarse stip tussen 213 en 38-1).



Figuur 3-28: Detail van de overgang BOI2023 tussen regio's Beneden- en Bovenrijn op de Waal (oranje stip op rivierkilometer 949, groene stip grens tussen normtrajecten 43-6/43-5, rode stip tussen normtrajecten 40-1/41-2 en grijze stip tussen 38-1 en 224).

Op de zuidelijke oever is het niet strikt noodzakelijk om de overgang ook 40 kilometer op te schuiven (Figuur 3-38). De overgang kan tussen trajecten 38-1 en 224 (bij rivierkilometer 925) worden gelegd. Het is eenduidiger als de overgang op de zuidelijke oever tussen trajecten 40-1 en 41-2 (bij rivierkilometer 920) komt te liggen. Op die manier liggen de overgangen op de noordelijke oever slechts 5 kilometers van elkaar verwijderd. In de schematisatie van WBI2017 was op deze locatie nog een verstoring door de bovenrand van het hydraulische model aanwezig. Door het verlengen van de D-Hydro-RMM-schematisatie voor het BOI2023 is deze belemmering verholpen.

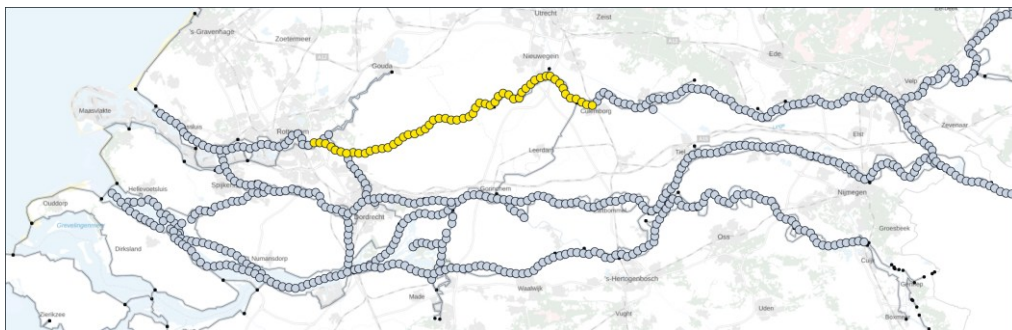
De overgang van de watersystemen Beneden- en Bovenrijn op de Waal komt op de volgende twee normtrajectgrenzen te liggen ter hoogte van:

- het dorp Dreumel tussen 40-1 en 41-2 (zuidelijke oever) bij rivierkilometer 920;
- de Prins Bernardsluizen bij Tiel tussen 43-6 en 43-5 (noordelijke oever) bij rivierkilometer 913.

Voor alle beschouwde herhalingstijden ($T = 10^2$ jaar t/m $T = 10^6$ jaar) is het verschil in de waterstand bij deze overgang minder dan 0,05 m. Als de informatie voor ontwerpen beschikbaar is, zal ook de overgang in berekende golfgegevens worden gecontroleerd (nu nog niet beschikbaar).

3.4.2 Overgang (e) op Nederrijn/Lek

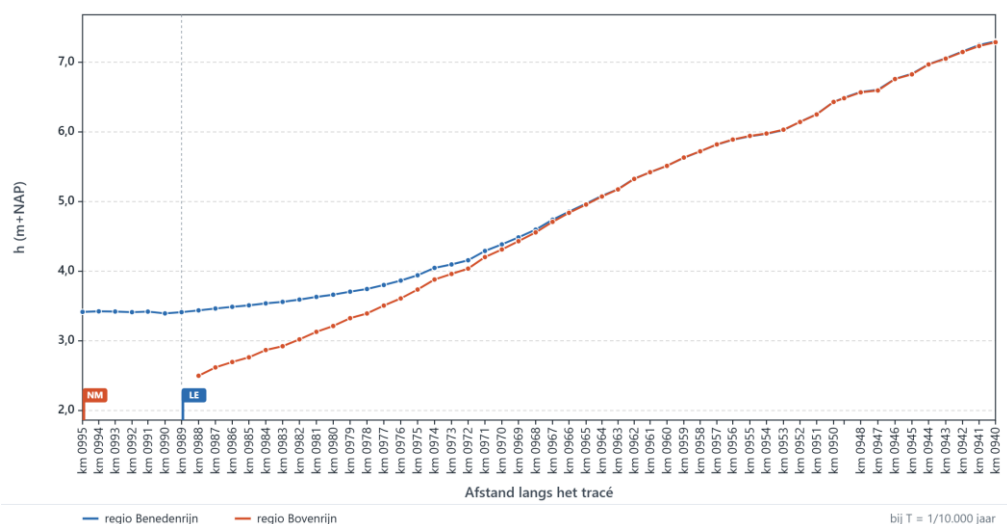
Voor de analyse van de overgang op de Nederrijn/Lek tussen de regio's Boven- en Benedenrijn is gebruik gemaakt van de rekenresultaten van de verschil- en effectanalyse op de aslocaties (Van Lente et al., 2026a voor de Bovenrijn en Vuik et al., 2026 voor de Benedenrijn). De vergelijking bestaat uit resultaten van waterstandberekeningen met Hydra-NL in de beoordelingsmodus van BOI2023 (statistiek zichtjaar 2035, inclusief statistische onzekerheid en modelonzekerheid). In Figuur 3-29 staat een overzicht van de beschikbare locaties met rekenresultaten op elke rivierkilometer: Benedenrijn van Arnhem naar Hoek van Holland en Bovenrijn van Arnhem naar Krimpen aan de Lek. Met gele bolletjes is het tracé gemarkeerd dat in deze analyse is beschouwd. Op dit tracé zijn resultaten beschikbaar op basis van beide belastingmodellen.



Figuur 3-29: Tracé Nederrijn/Lek met indicatie beschikbare gegevens, die in de analyse naar de locatie van de knip zijn beschouwd: gele locaties met resultaten van regio's Bovenrijn en Benedenrijn).

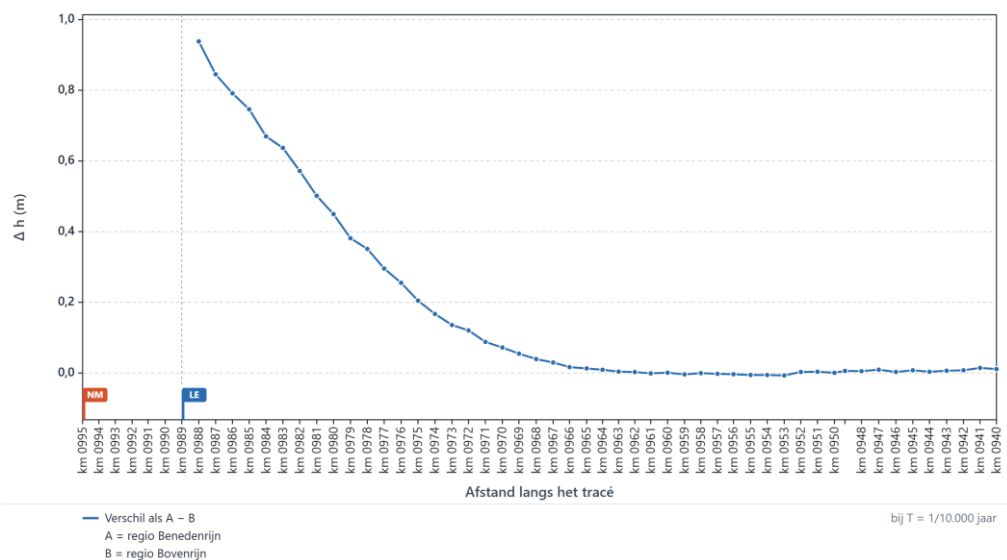
In Figuur 3-30 is een overzicht gepresenteerd van de berekende waterstanden. In de grafiek zijn de resultaten van regio Benedenrijn (BER) weergegeven met een blauwe lijn en de resultaten van regio Bovenrijn (BOR) met een oranje lijn².

² Merk op dat in alle berekeningen altijd met zowel de statistische onzekerheid als de modelonzekerheid is gerekend. Dit benoemen we in het vervolg van deze rapportage verder niet meer.



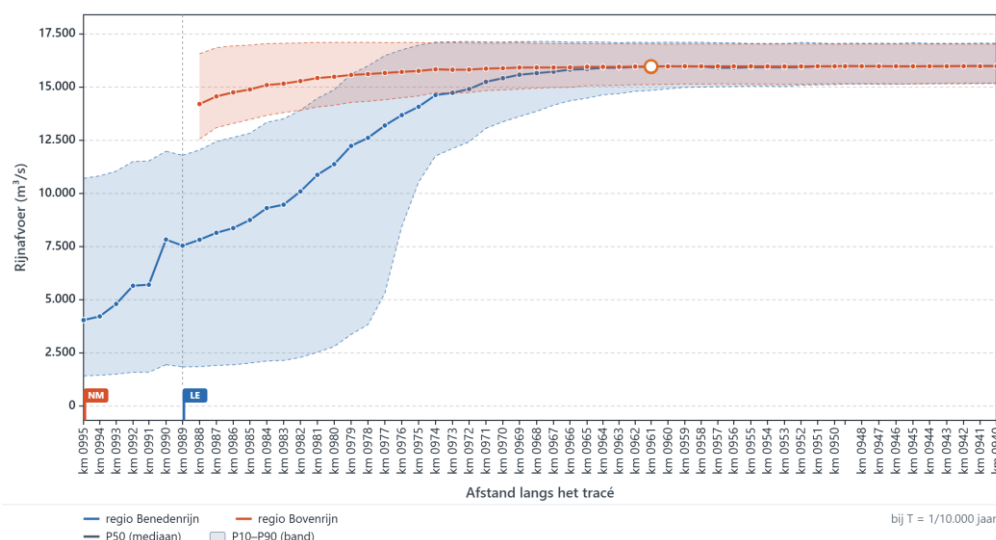
Figuur 3-30: Weergave van de waterstandberekening op de Nederrijn/Lek voor herhalingsstijd $T = 10.000$ jaar: berekende waterstanden van de Benedenrijn (BER) in blauw en Bovenrijn (BOR) in oranje. De vlaggetjes staan voor de riviernamen van de Nieuwe Merwede (NM) en de Lek (LE).

In Figuur 3-31 staat het verschil tussen de regio's Boven- en Benedenrijn.



Figuur 3-31: Weergave van de waterstandberekening op de Nederrijn/Lek voor herhalingsstijd $T = 10.000$ jaar: verschil tussen resultaten regio's Benedenrijn (BER) minus Bovenrijn (BOR). De vlaggetjes staan voor de riviernamen van de Nieuwe Merwede (NM) en de Lek (LE).

Over het algemeen geldt: hoe dichterbij de Noordzee, hoe groter het verschil in de resultaten tussen beide watersystemen. In Figuur 3-32 is de procentuele bijdrage van de rivierafvoer te zien in de berekening van de Boven- en Benedenrijn. In de berekening van de waterstand in de regio Bovenrijn is de rivierafvoer de enige stochast, andere stochasten worden niet meegenomen in deze berekening.



Figuur 3-32: Weergave van de waterstandberekening op de Nederrijn/Lek voor herhalingsstijd $T = 10.000$ jaar: bijdrage van de rivierafvoer aan de waterstand van de Benedenrijn (BER) in blauw en Bovenrijn (BOR) in oranje berekeningen. De vlaggetjes staan voor de riviertaknamen van de Nieuwe Merwede (NM) en de Lek (LE).

In de grafiek van Figuur 3-32 is in de resultaten van de Benedenrijn (blauwe kleur) te zien dat de rivierafvoer tot rivierkilometer 961 van het tracé (met cirkel gemarkeerd) dominant is, doordat het op een vrij constant niveau ligt wat gelijk is aan de dominante rivierafvoer in de berekening van de Bovenrijn (oranje kleur). Op dit deel van het tracé is de benadering van de Bovenrijn gelijkwaardig aan de benadering van de Benedenrijn: het verschil tussen beide berekeningen is klein ($<0,05$ m) (Figuur 3-31). De zeewaterstand en de wind gaan echter vanaf een bepaalde locatie (ongeveer vanaf rivierkilometer 961 en verder benedenstrooms) ook een bijdrage leveren aan de berekende waterstanden van regio Benedenrijn. Naarmate een locatie meer richting zee ligt, wordt de afvoer steeds minder dominant en nemen zeewaterstand en wind het over als belangrijkste stochasten.

Figuur 3-33 geeft een overzicht van het gebied van de overgang tussen regio's Benedenrijn en Bovenrijn op tracé Nederrijn/Lek. Vanaf rivierkilometer 961 (oranje cirkel) en verder bovenstrooms is het verschil in waterstand tussen beide watersystemen klein (Figuur 3-31). Een grens tussen normtrajecten op deze locatie of enigszins bovenstrooms van deze locatie is geschikt voor een geleidelijke overgang in de berekening van de hydraulische belastingen tussen regio's Beneden- en Bovenrijn. Immers, het heeft de voorkeur om de belastingen voor een geheel normtraject volgens hetzelfde belastingmodel in Hydra-Ring te berekenen, zodat interpretatie met verschillende regio's bij beoordeling en/of ontwerp voorkomen kan worden.

In Figuur 3-30, Figuur 3-31 en Figuur 3-32 staan resultaten voor $T = 10.000$ jaar. Resultaten van andere herhalingsstijden zijn ook onderzocht, maar niet opgenomen in deze rapportage. Daaruit blijkt dat voor de lagere herhalingsstijden ($T < 1.000$ jaar) de locatie waar de rivierafvoer dominant wordt, enkele kilometers verder bovenstrooms komt te liggen (bij rivierkilometer 955). Bij hogere herhalingsstijden ligt deze min of meer op dezelfde locatie (bij rivierkilometer 961).



Figuur 3-33: Detail van de overgang BOI2023 tussen Beneden- en Bovenrijn op de Nederrijn/Lek (oranje stip op rivierkilometer 961, groene stip op de grens tussen normtrajecten 16-3/16-4, de rode stip tussen normtrajecten 15-1/44-1 en de paarse stip tussen 16-4 en 43-1).

De D-Hydro-schematisatie (Zijlker, 2026) waarmee de productieberekeningen voor de Benedenrijn zijn uitgevoerd, is in bovenstroomse richting verlengd van rivierkilometer 947 (Hagestein) naar 883 (Arnhem). Met de overstap van WBI2017 naar BOI2023 is deze wijziging van de schematisatie doorgevoerd. In Botterhuis et al. (2026) is aangetoond dat in WBI2017 de belastingen bovenstrooms van Lopik (rivierkilometer 963) zijn verstoord door randeffecten. Bij hoge windsnelheden werd de waterstand tegen de modelrand opgestuwd. Met de verlenging van de schematisatie voor BOI2023 is deze verstoring van de resultaten opgelost. Deze verlenging maakt het mogelijk om de overgang bovenstrooms van Lopik te leggen zonder afname van kwaliteit.

In WBI2017 lag de overgang op de zuidelijke oever tussen de normtrajecten 16-3 en 16-4 bij rivierkilometer 962. Op de noordelijke oever lag de overgang in WBI2017 tussen de normtrajecten 15-1 en 44-1 bij rivierkilometer 950. De belastingen op de overgang van de noordelijke oever werden dus verstoord door randeffecten. Dit is in BOI2023 niet meer het geval, waardoor de overgangen zonder problemen een normtraject in bovenstroomse richting opgeschoven kunnen worden. Hierdoor ontstaat ruimte om te anticiperen op effecten van klimaatverandering. Mogelijk dat door de zeespiegelstijging de bijdrage van de zeewaterstand kan toenemen op de Nederrijn/Lek. Door de maatregel "Ontzien Nederrijn/Lek" zal, ondanks de klimaatverandering, de rivierafvoer op deze Rijntak nauwelijks toenemen, waardoor de verhouding tussen zeewaterstand en rivierafvoer op geel gemarkeerde locaties in Figuur 3-29 mogelijk wijzigt. Door de overgang ongeveer 10 kilometer bovenstrooms van de locatie uit Figuur 3-33 te leggen, ontstaat ruimte om de BOI2023-informatie voor ontwerpen te implementeren, zonder dat de locatie van de "knip" moet worden aangepast.

De overgang van de watersystemen Beneden- en Bovenrijn op de Lek komt daarmee op de volgende twee normtrajectgrenzen te liggen, ter hoogte van:

- de Diefdijk tussen normtrajecten 16-4 en 43-1 bij rivierkilometer 943 (zuidelijke oever), en
- de Prinses Beatrixsluizen tussen 15-1 en 44-1 bij rivierkilometer 950 (noordelijke oever).

Voor alle beschouwde herhalings tijden ($T = 10^2$ jaar t/m $T = 10^6$ jaar) is het verschil in de waterstand bij deze overgang minder dan 0,05 m. Als de informatie voor ontwerpen beschikbaar is, zal ook de overgang in berekende golfgegevens worden gecontroleerd (nu nog niet beschikbaar).

3.5 Overgang (f) Bovenrijn – IJsseldelta

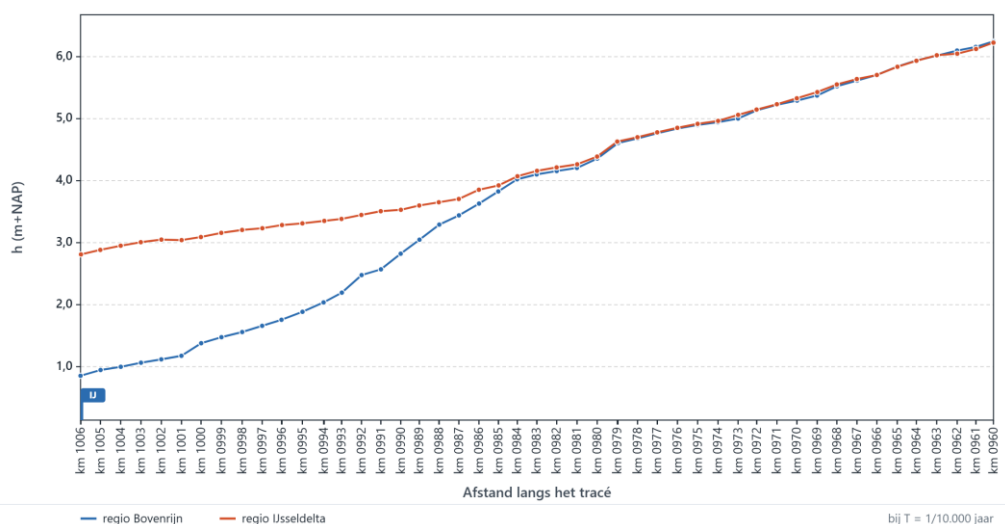
Voor de analyse van de overgang op de IJssel tussen de watersystemen Bovenrijn en IJsseldelta maken we gebruik van de resultaten van de verschil- en effectanalyse op aslocaties (Benit et al., 2026a en Van Lente et al., 2026a). De vergelijking bestaat uit resultaten van waterstandberekeningen met Hydra-NL in de beoordelingsmodus van BOI2023 (statistiek zichtjaar 2035, inclusief statistische onzekerheid en modelonzekerheid). In Figuur 3-34 staat een overzicht van de beschikbare locaties met rekenresultaten uit beide systemen: IJsseldelta elke kilometer van Olst naar Keteldiep en Bovenrijn elke kilometer van Deventer naar Keteldiep. Met gele stippen zijn de locaties gemarkeerd die in de analyse zijn beschouwd.



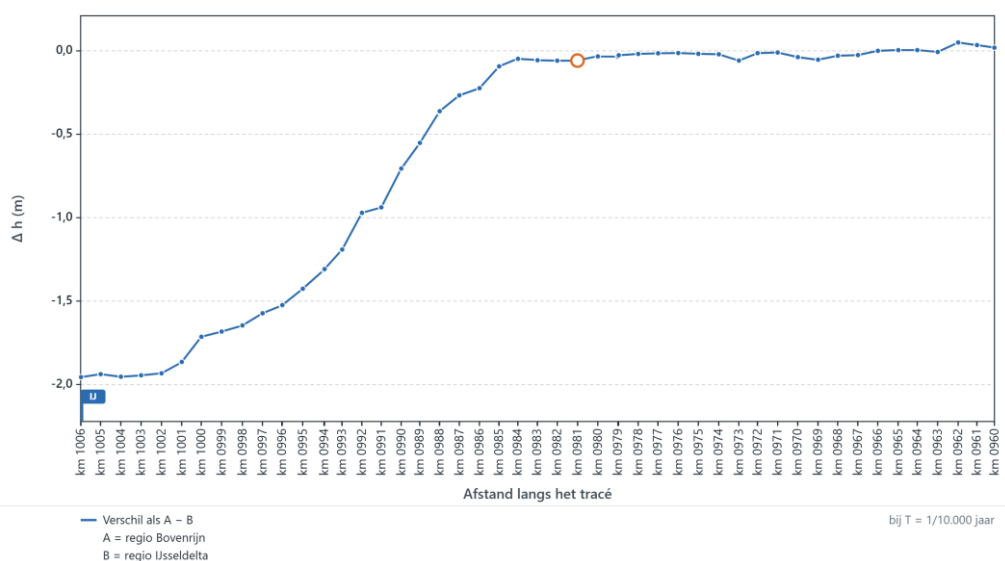
Figuur 3-34: Tracé IJssel met indicatie beschikbare gegevens: geel locaties met resultaten van regio's Bovenrijn en IJsseldelta (die in de analyse naar de knip zijn beschouwd).

In Figuur 3-35 zijn de waterstandsresultaten van de Bovenrijn weergegeven met een blauwe lijn en de resultaten van de IJsseldelta met een oranje lijn voor de herhalings-tijd $T=10\,000$ jaar. In Figuur 3-36 is het waterstandsverschil tussen de Bovenrijn en IJsseldelta weergegeven. Over het algemeen geldt dat hoe dichterbij het Ketelmeer, hoe groter het verschil in de resultaten van beide watersystemen. De verschillen op

de IJssel tussen beide regio's zijn vergelijkbaar met de verschillen op de Maas (Figuur 3-9), alleen is in Figuur 3-35 verder uitgezoomd op de y-as. Ten opzichte van de overgangen op de andere Rijntakken Nederrijn/Lek en Waal zijn de verschillen groter. Het verschil in berekende waterstand op het bovenstroomse gedeelte van het tracé is $< 0,05$ m bij waterstanden met een herhalingstijd $T = 10.000$ jaar. In Figuur 3-37 is de bijdrage van de rivierafvoer te zien in de berekening van de IJsseldelta. In het belastingmodel van de Bovenrijn is de rivierafvoer de enige stochast in de berekening van de waterstand, alle andere stochasten worden daarin verwaarloosd.



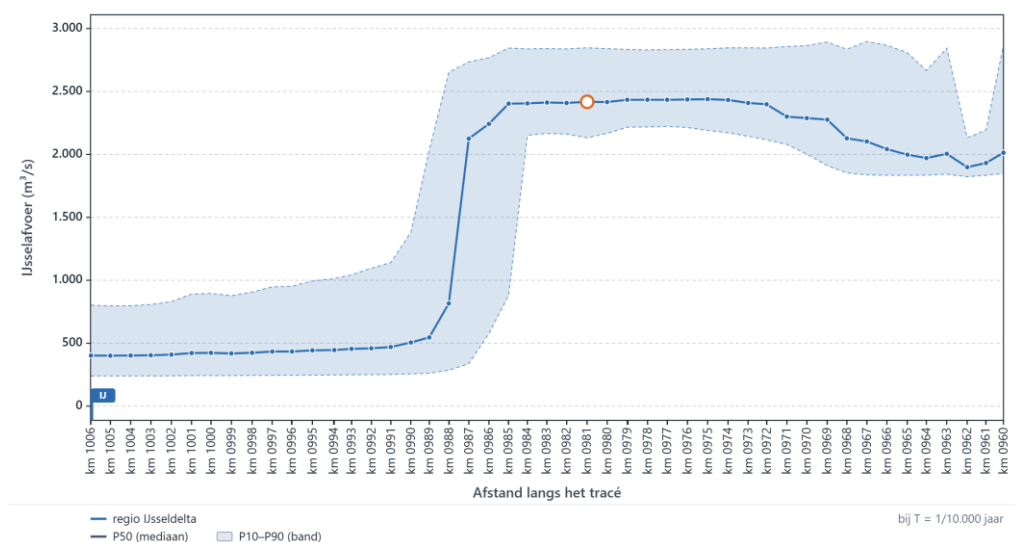
Figuur 3-35: Weergave van de waterstandberekening op de IJssel voor herhalingstijd $T = 10.000$ jaar: berekende waterstanden. Het vlaggetje staat voor de riviernaknaam van de IJssel (IJ).



Figuur 3-36: Weergave van het waterstandsverschil op de IJssel voor herhalingstijd $T = 10.000$ jaar: verschil tussen resultaten regio's Bovenrijn (A) minus IJsseldelta (B) (riviernaknaam van de IJssel (IJ)).

In Figuur 3-37 is te zien dat ondanks dat het meerpeil en de wind een bijdrage kunnen leveren aan de berekende waterstanden, dat de rivierafvoer dominant wordt in de berekening van de waterstand op de IJssel (als de afstand tot Deventer kleiner wordt). Dit blijkt uit de waarde van de rivierafvoer met de grootste bijdrage (blauwe lijn in de

figuur). Als deze afvoer nagenoeg gelijk is aan de maatgevende afvoer op de IJssel (1950 m³/s), dan wordt de kansruimte geheel bepaald door de rivierafvoer. Alleen deze basisstochast bepaalt dan de kans van voorkomen van de berekende waterstand. Op dit deel van het tracé is de benadering van de Bovenrijn gelijkwaardig aan de benadering van de IJsseldelta (verschil <0,05 m). In de figuur is te zien dat verder bovenstrooms IJsselaflow met de grootste bijdrage weer afneemt. Dit is mogelijk een effect van de modelrand. Het is niet nader onderzocht, maar vermoedelijk wordt bij een grote windkracht water op de IJssel tegen de bovenrand opgezet. Hierdoor neemt de bijdrage van de wind weer toe en bijdrage van de rivierafvoer af. Dit was ook te zien in de productieberekeningen op de Lek (voordat het model in bovenstroomse richting was verlengd, Botterhuis et al., 2026).

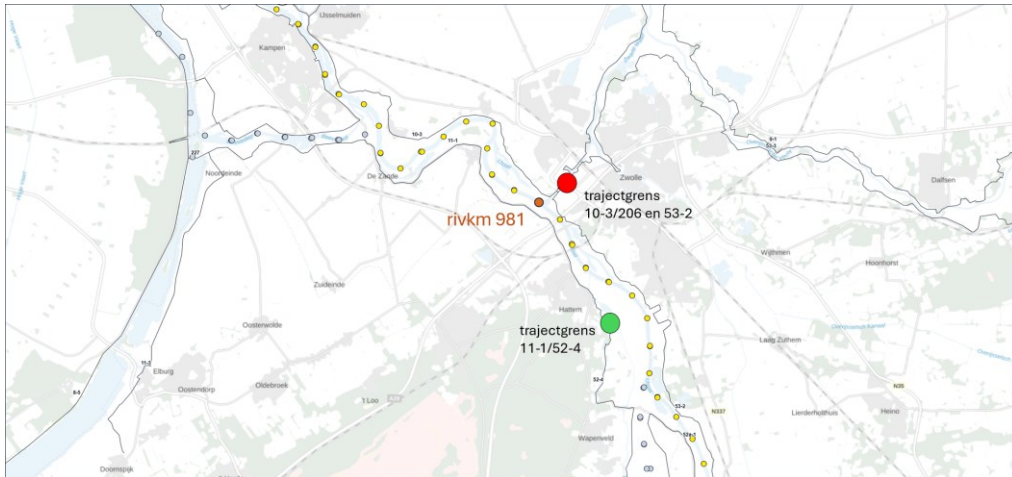


Figuur 3-37: Weergave van de waterstandberekening op de IJssel voor herhalingsstijd $T = 10.000$ jaar: bijdrage van de rivierafvoer aan de waterstand (rivierkilometer 981 gemarkeerd met oranje cirkel). Het vlaggetje staat voor de riviertaknaam van de IJssel (IJ).

Figuur 3-38 geeft een overzicht van het gebied van de overgang. Uit de analyse blijkt dat de locatie van de overgang niet wijzigt ten opzichte van de locatie die bepaald is in WBI2017. Op rivierkilometer 981 (rechts) en verder bovenstrooms is het verschil in waterstand tussen beide watersystemen zeer klein (oranje cirkel in Figuur 3-36). De waterstand wordt bijna volledig bepaald door de rivierafvoer (oranje cirkel in Figuur 3-37). Een overgang van normtrajecten op deze locatie of enigszins bovenstrooms van deze locatie is geschikt voor een geleidelijke overgang in de berekening van de hydraulische belastingen tussen Bovenrijn en de IJsseldelta. Verwacht wordt dat hier voldoende marge aanwezig is om de meerpeilstijging in de tweede helft van de komende eeuw op te vangen. De zeespiegelstijging zal niet 1-op-1 doorwerken in de waterstanden op het IJsselmeer, daardoor zal hier het effect van de zeespiegelstijging kleiner zijn dan langs de Lek of de Waal.

De overgang van de regio's Bovenrijn en de IJsseldelta op de IJssel komt op de volgende twee normtrajectgrenzen te liggen:

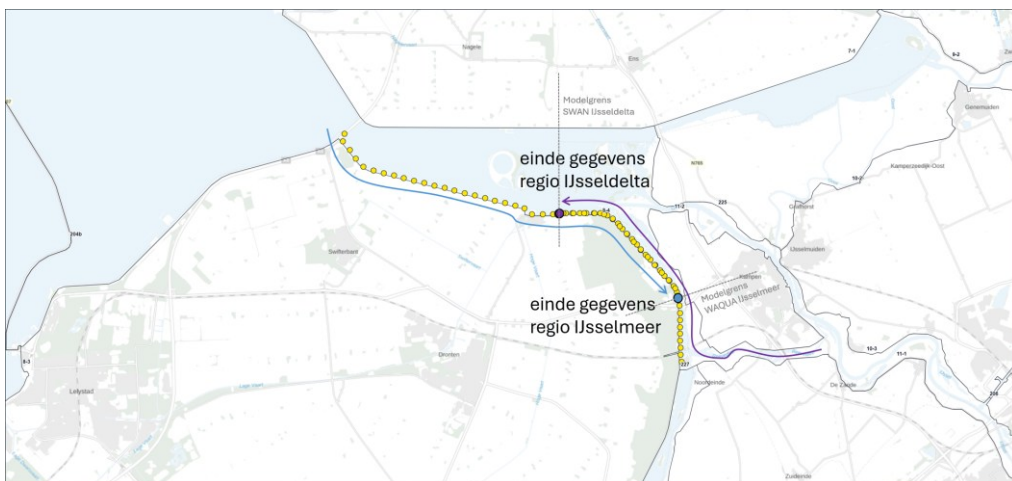
- ter hoogte van Hattem tussen 11-1 en 52-4 (links) bij rivierkilometer 977, en
- ter hoogte van de Spooldersluis tussen 10-3/206 en 53-2 (rechts) bij rivierkilometer 981.



Figuur 3-38: Detail locatie overgang BOI2023 tussen regio's Bovenrijn en IJsseldelta op de IJssel (grote oranje stip op rivierkilometer 981, groene stip grens tussen normtrajecten 11-1/ 52-4 , rode stip tussen normtrajecten 10-3/206 en 53-2).

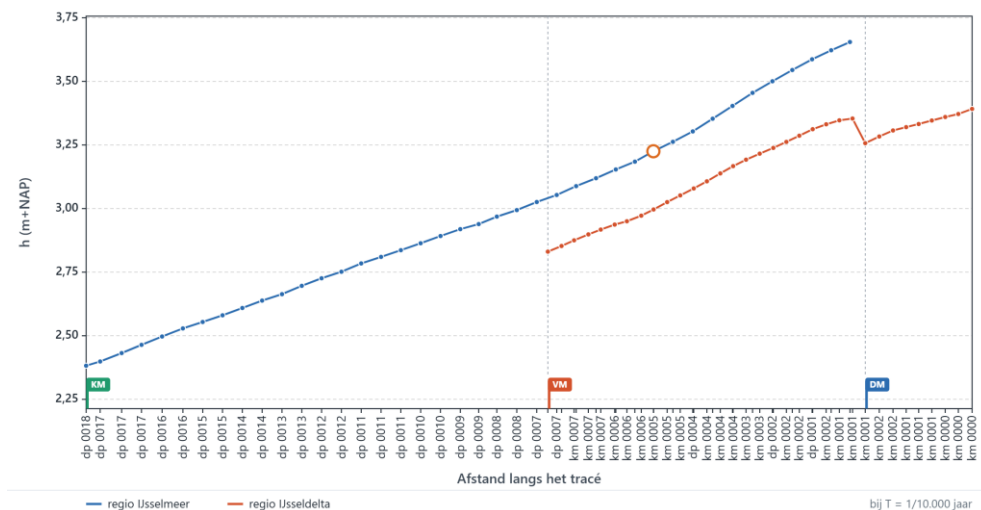
3.6 Overgang (g) IJsseldelta - IJsselmeer

Voor de analyse van de overgang op het Vossemeerdijk tussen de watersystemen IJsseldelta en IJsselmeer maken we gebruik van de rekenresultaten van de verschil- en effectanalyse op de aslocaties (Benit et al., 2026a;b). De vergelijking bestaat uit resultaten van waterstand, golfhoogte en -periode met Hydra-NL in de beoordelingsmodus van BOI2023 (statistiek zichtjaar 2035, inclusief statistische onzekerheid en modelonzekerheid). In Figuur 3-39 staat een overzicht van de beschikbare locaties met rekenresultaten: IJsseldelta elke kilometer van Reevedam naar Ketelhaven (blauwe locaties) en IJsselmeer elke kilometer van Roggebotsluis naar Ketelbrug (oranje locaties). Tussen de blauwe en paarse stip in de kaart is een overlap in gegevens beschikbaar. Op dit deel van het tracé is de locatie van de knip gekozen.

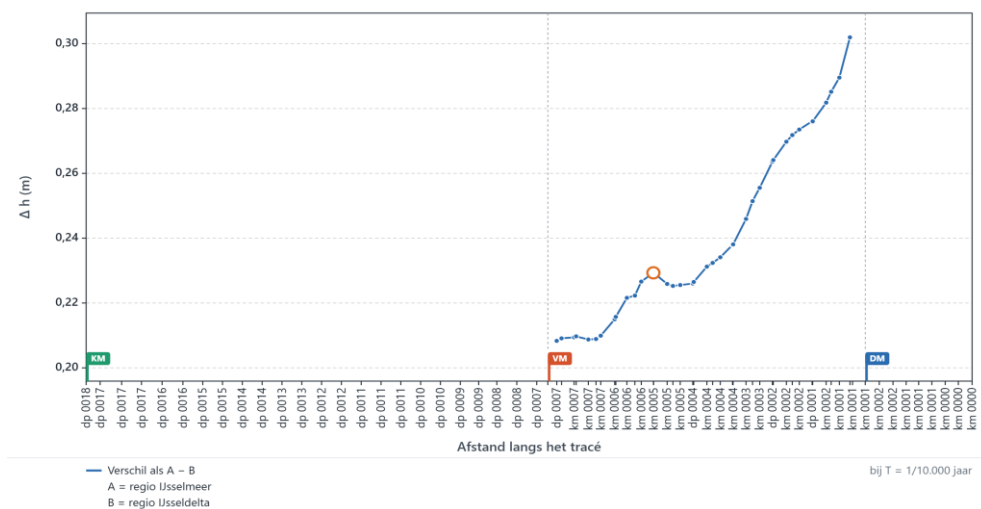


Figuur 3-39: Tracé Vossemeerdijk met indicatie beschikbare gegevens: geel locaties met resultaten van regio's IJsselmeer en IJsseldelta (die in de analyse naar de locatie van de knip zijn beschouwd); blauwe lijn geeft data IJsselmeer en paarse lijn geeft data IJsseldelta aan.

In Figuur 3-40 zijn de resultaten van de IJsseldelta weergegeven met de oranje lijn en de resultaten van het IJsselmeer met de blauwe lijn. In Figuur 3-41 is het verschil tussen de IJsseldelta en het IJsselmeer weergegeven. Gegevens van de IJsseldelta zijn niet beschikbaar over het gehele tracé, maar de verwachting is dat hoe dichterbij de Ketelbrug, hoe kleiner het verschil tussen beide regio's zal zijn. Het verschil is overigens overal op de overlap langs het tracé meer dan 0,2 m (Figuur 3-41). Er is ook gekeken naar de bijdrage van de windsnelheid in de waterstandberekening van de IJsseldelta. Het belang van stormen op het IJsselmeer neemt iets af richting de Reevedam, maar dit is niet significant.

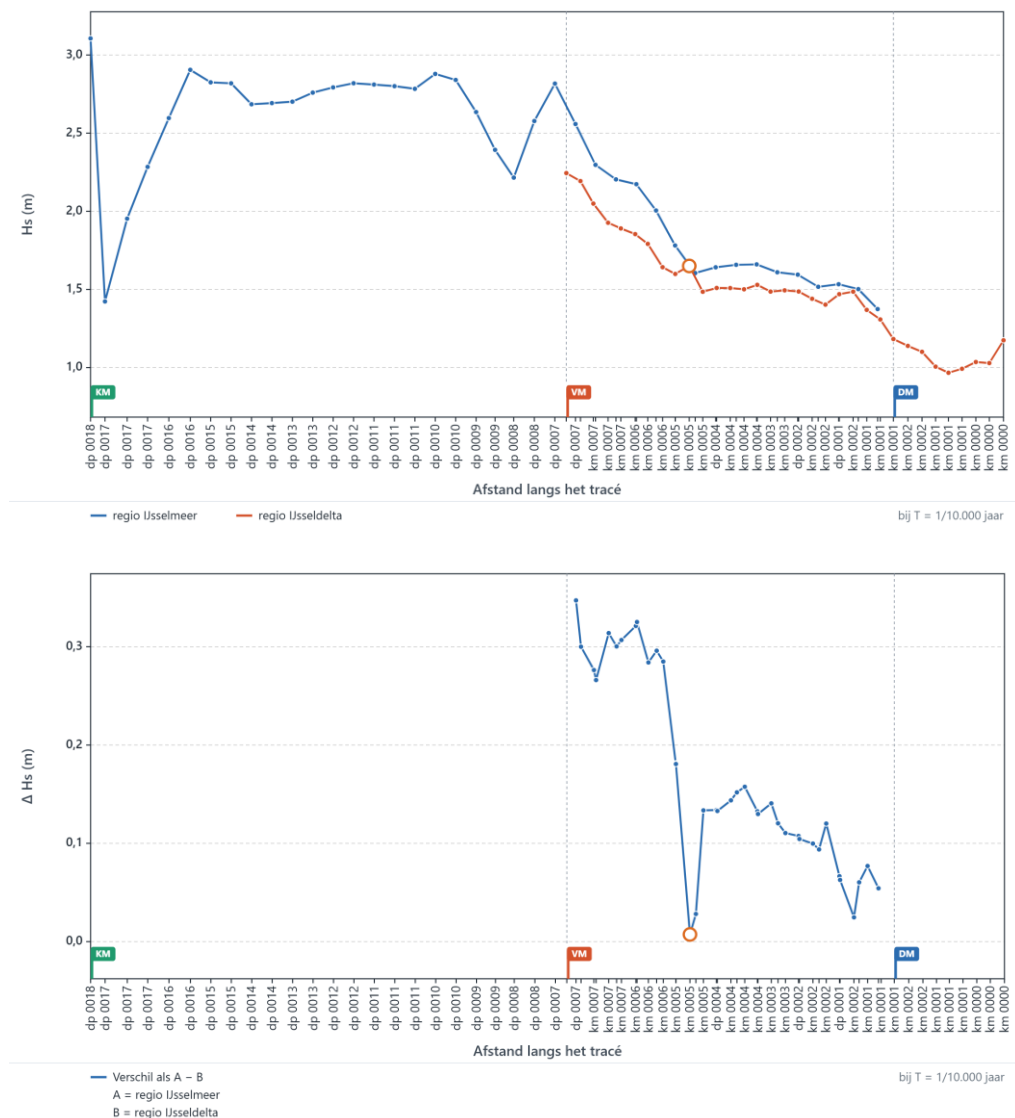


Figuur 3-40: Weergave van de waterstandberekening op het gehele tracé van Reevedam (rechts) naar Ketelbrug (links) voor herhalingsstijd $T = 10.000$ jaar: berekende waterstanden van de IJsseldelta (oranje) en van het IJsselmeer (blauwe). Dijkkilometer 4,7 is gemarkeerd met de oranje cirkel. De vlaggetjes staan voor de riviertaknamen van het Ketelmeer (KM), het Veluwe-meer (VM) en het Drontermeer (DM).



Figuur 3-41: Weergave van de waterstandsverschillen op het gehele tracé van Reevedam (rechts) naar Ketelbrug (links) voor herhalingsstijd $T = 10.000$ jaar: verschil in waterstand tussen IJsselmeer (A) en IJsseldelta (B). Dijkkilometer 4,7 is gemarkeerd met de oranje cirkel. De vlaggetjes staan voor de riviertaknamen van het Ketelmeer (KM), het Veluwe-meer (VM) en het Drontermeer (DM).

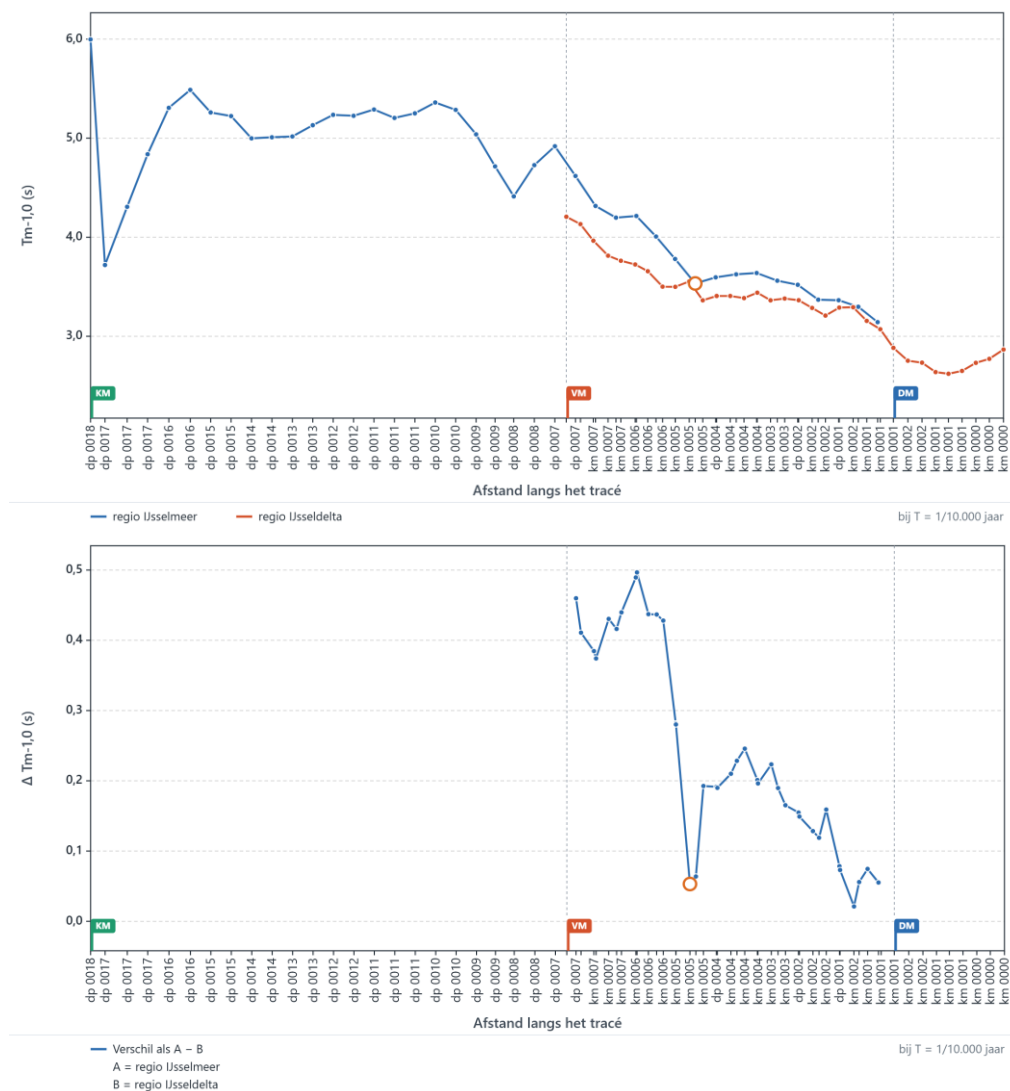
In Figuur 3-42, Figuur 3-43 en Figuur 3-44 staan de resultaten van respectievelijk de significante golfhoogte, de spectrale golfperiode en de golfpiekperiode op het tracé met de overloop van de IJsseldelta en IJsselmeer. De waterstandsresultaten alleen bieden voor het tracé langs de Vossemeerdijk geen uitsluitsel over de locatie van de overgang. De keuze van de overgang wordt hier beperkt door de uitgangspunten die in het verleden zijn gemaakt, ten tijde van WBI2017 of nog verder terug (Agtersloot en Paarlberg 2016, Gautier 2010, Van der Wal et al. 2011, Vuik et al. 2011). Dit staat na de figuren verder toegelicht.



Figuur 3-42: Weergave van de golfhoogte op het gehele tracé van Reevedam (rechts) naar Ketelbrug (links) voor herhalingsstijd $T = 10.000$ jaar. Dijkkilometer 4,7 is gemarkeerd met de oranje cirkel. Bovenste paneel: berekende golfhoogte in de IJsseldelta (oranje) en IJsselmeer (blauw). Onderste paneel: verschil tussen IJsselmeer (A) minus IJsseldelta (B). De vlaggetjes staan voor de riviertaknamen van het Ketelmeer (KM), het Veluwemeer (VM) en het Drontemeer (DM).



Figuur 3-43: Weergave van de spectrale golfperiode op het gehele tracé van Reevedam (rechts) naar Ketelbrug (links) voor herhalingsijd $T = 10.000$ jaar. Bovenste paneel: berekende golfperiode in de IJsseldelta (oranje) en IJsselmeer (blauw). Onderste paneel: verschil tussen IJsselmeer (A) minus IJssel (B). De vlaggetjes staan voor de riviernamen van het Ketelmeer (KM), het Veluwemeer (VM) en het Drontermeer (DM).



Figuur 3-44: Weergave van de golf piekperiode op het gehele tracé van Reevedam (rechts) naar Ketelbrug (links) voor herhalingstijd $T = 10.000$ jaar. Bovenste paneel: berekende piekperiode in de IJsseldelta (oranje) en IJsselmeer (blauw). Middelste paneel: verschil tussen IJsselmeer (A) minus IJsseldelta (B). De vlaggetjes staan voor de riviertaknamen van het Ketelmeer (KM), het Veluwemeer (VM) en het Drontermeer (DM).

In het model van het IJsselmeer is de Roggebotsluis nog aanwezig als de oostelijke modelrand (zie diagonale grijze stippellijn in Figuur 3-39). Met het amoveren van de scheepvaartsluis is het traject waarop de wind kan aangrijpen verlengd. Dit werkt waterstandsverhogend op het Reevediep en verder bovenstrooms. Doordat het water op het Vossemeer niet meer tegen de gesloten scheepvaartsluis wordt opgezet, werkt het amoveren van de sluis waterstandsverlagend op het tracé langs de Vossemeerdijk. Het water wordt gedurende een storm niet langer meer in het noordoostelijke hoekje van het Vossemeer geduwd, maar "ontsnapt" via het Reevediep verder bovenstrooms richting de IJssel. Hierdoor is het windverhang in de waterstandsberekening van het IJsselmeer groter dan in de berekening van de IJsseldelta (Figuur 3-40). Alhoewel de beschikbare locaties met uitvoer van de IJsseldelta beperkt zijn op het Ketelmeer, ligt de modelrand van het gebruikte hydraulische waterbewegingsmodel ook bij de Afsluiddijk, net als in het hydraulische waterbewegingsmodel van het IJsselmeer. Het verschil in waterstand tussen beide modellen zal bij de Ketelbrug klein

zijn ($<0,05$ m). Die locatie is echter niet beschikbaar als knip, omdat gebruik moet worden gemaakt van databases die in het verleden zijn gemaakt. De modelrand van het gebruikte golfmodel SWAN voor de IJssel-Vechtdelta ligt 1 km ten oosten van de Ketelhaven (op de provinciegrens, verticale grijze stippellijn in Figuur 3-39). De invloed van deze rand op de golven is 2 km ten oosten hiervan niet meer aanwezig. De locatie van de knip dient daarom zuidoostelijk van dit punt te liggen.

Omdat windgolven vanaf het Ketel- en IJsselmeer een grote bijdrage hebben in de beoordeling en het ontwerp van de primaire keringen langs het Vossemeer (norm-traject 8-4), zijn in Figuur 3-42, Figuur 3-43 en Figuur 3-44 de resultaten van de golven in de hydraulische belastingen gepresenteerd. Zodra de golven van het Ketelmeer naar het Vossemeer draaien (van oost-west naar noord-zuid), wordt het verschil in golfhoogte en periode kleiner tussen IJsseldelta en IJsselmeer. Na consultatie van Waterschap Zuiderzeeland is besloten om de overgang tussen IJsseldelta en IJsselmeer te leggen op de grens van twee dijktrajecten, daar waar het verschil in golfgegevens voldoende klein is. Pragmatisch beschouwd is dit de best mogelijke optie voor de locatie van overgang gegeven de beschikbare gegevens.

De overgang van de regio's IJsseldelta en IJsselmeer komt daarmee te liggen bij km 4,7 op de Vossemeerdijk. Daar ligt in het dijktraject de grens tussen Vossemeerdijk West en Vossemeerdijk Oost. De overgangslocatie ligt vrijwel in de bocht bij de coördinaten $x = 183819.40$, $y = 510074.77$.

4 Totaaloverzicht van de overgangen

Nederland is voor de bepaling van hydraulische belastingen van BOI2023 ingedeeld in 22 Hydra-Ringregio's, elk met een eigen set basisstochasten en een eigen vertaalwijze naar de hydraulische belasting op de primaire keringen. Op de grens tussen twee regio's kan de berekende belasting daardoor van waarde verspringen, zelfs wanneer dit niet fysisch verklaarbaar is, maar door verschillen in modellering. Voor overgangen die samenvallen met een verbindende kering, voor overgangen tussen harde en zachte keringen langs de kust, of voor overgangen tussen primaire keringen en hoge gronden langs de rivieren, zijn deze grenzen vanuit fysisch oogpunt evident en al geborgd in de bestaande beoordelings- en ontwerpmethoden.

Voor zeven "open" overgangen, zonder verbindende kering tussen regio's, is een verschil in hydraulische belasting minder voor de hand liggend, omdat ze worden veroorzaakt door de wijze waarop de belastingen worden berekend. Vaak is de optimale modelleerwijze te complex, of te rekenintensief, om de werkelijkheid goed te benaderen en wordt gekozen om aan de ene kant van een overgang bepaalde eigenschappen van het watersysteem geoorloofd te verwaarlozen, of te vereenvoudigen. Aan de andere kant van de overgang is de complexiteit wel noodzakelijk voor een goede benadering van de werkelijkheid. In het voorgaande hoofdstuk is de locatie van deze overgangen gekozen en onderbouwd. In Tabel 4-1 is de precieze positie van de kniplocaties omschreven en daarnaast is een bovengrens van het te verwachte verschil in waterstand op de overgang tussen de regio's opgenomen.

Tabel 4-1: Lijst met overgangen van watersystemen met een "open" verbinding.

Overgang	Locatie
a Regio's Bovenmaas en Bovenmaas 'hoge keringen' <i>verschil op overgang < 0,40 m</i>	Zuidelijke oever: de spoorbrug (Cuyck - Molenhoek) tussen 36-1 en 36-2 bij rivierkilometer 165-166, en Noordelijke oever: de spoorbrug (Cuyck - Molenhoek) tussen 41-1 en 54-1 bij rivierkilometer 165-166.
b Regio's Bovenmaas en Benedenmaas <i>verschil op overgang < 0,10 m</i>	Zuidelijke oever: de stuw (Lith) tussen 36-4 en 36-3 bij rivierkilometer 201, en Noordelijke oever: de stuw (Lith) tussen 40-2 en 41-3 bij rivierkilometer 204.
c Regio's Benedenrijn en Benedenmaas <i>verschil op overgang < 0,10 m</i>	Zuidelijke oever: de brug in de snelweg A27 tussen 35-1 en 35-2 bij rivierkilometer 247, en Noordelijk oever: de brug in de snelweg A27 tussen 24-1 en 24-2 bij rivierkilometer 247.
d Regio's Bovenrijn en Benedenrijn op de Waal <i>verschil op overgang < 0,05 m</i>	Zuidelijke oever: het dorp Dreumel tussen 40-1 en 41-2 bij rivierkilometer 920, en Noordelijke oever: de Prins Bernardsluizen bij Tiel tussen 43-6 en 43-5 bij rivierkilometer 913.
e Regio's Bovenrijn en Benedenrijn op de Nederrijn/Lek <i>verschil op overgang < 0,05 m</i>	Zuidelijke oever: de Diefdijk tussen normtrajecten 16-4 en 43-1 bij rivierkilometer 943, en Noordelijke oever: de Prinses Beatrixsluizen tussen 15-1 en 44-1 bij rivierkilometer 950.
f Regio's Bovenrijn en IJsseldelta <i>verschil op overgang < 0,10 m</i>	Westelijke oever: Hattem tussen 11-1 en 52-4 bij rivierkilometer 977, en Oostelijke oever: de Spooldersluis tussen 10-3 en 53-2 bij rivierkilometer 981.

Overgang		Locatie
g	Regio's IJsseldelta en IJsselmeer <i>verschil op overgang < 0,25 m</i>	Bij km 4,7 op de Vossemeerdijk, op de grens tussen dijktrajecten Vossemeerdijk West en Vossemeerdijk Oost.

Bij het vullen van de databases met hydraulische belastingen (bouwstenen 11 en 14 uit Figuur 1-) zal de indeling uit Tabel 4-1 worden gehanteerd. Per regio is een specifieke indeling van de databases gehanteerd. Het is gelukt voor overgangen a t/m e de knip op een grens van een normtraject te leggen. Daarmee kunnen voor de trajecten in de betreffende regio's unieke databases fysica worden gemaakt, met daarin unieke locaties. Voor normtraject 8-4 is een uitzondering gemaakt. De hydraulische belastingen langs dit normtraject zullen in twee verschillende databases worden opgeslagen. Hierbij is zorg besteed dat in de uitlevering alleen unieke locaties in beide databases voorkomen en dat geen overlap mogelijk is. Bijlage C geeft een overzicht van de uit te leveren HR-databases per zichtjaar.

Tot slot enkele aanbevelingen en opmerkingen:

1. We bevelen sterk aan om voor de volgende beoordelingsronde de modelgrenzen van de SWAN modellering in het Ketelmeer (zie ook Figuur 3-39 en analyse in paragraaf 3.6) op te rekken. Dat maakt het mogelijk om een vergelijkbare analyse uit te voeren voor de overgang tussen de regio's IJsselmeer en IJsseldelta, zoals voor de andere kniplocaties is uitgevoerd.
2. Als grootschalige rivierkundige ingrepen zijn voorzien om de belastingen te wijzigen nabij een gekozen kniplocatie, dan is een herhaling van deze analyse naar de overgang zinvol. Door een ingreep zal de bijdrage van individuele stochastwaarden wijzigen, waarbij de vraag is: hoeveel? Mogelijk heeft dit een verplaatsing van de overgang tot gevolg.
3. De databases van BOI2023 worden ook gebruikt in diverse beleidsstudies. Met het verschuiven van de kniplocaties verder bovenstrooms kan het gebruik van de databases en/of productieberekeningen mogelijk minder geschikt worden. Het is raadzaam om het laagste niveau van de productieberekeningen van de Rijn-Maasmonding en de IJssel-Vechtdelta (windsnelheid = 0 m/s: zonder storm op IJsselmeer of Noordzee) uit te voeren met een afvoergolf op de riviertakken. Zo verdwijnt het onderscheid in de productieberekeningen tussen de Bovenrivieren en de andere regio's. Ofwel: de productieberekeningen van de Bovenrivieren worden onderdeel van de productie van de andere regio's. Het verschil in de fysica verdwijnt als de bijdrage van de rivierafvoer dominant is. Na het opzetten van een landelijke Baselinedatabase en een landelijke integratie van de probabilistische software in Hydra-Ring en Hydra-NL, zou dit een goede vervolgstap kunnen zijn.
4. De analyse naar de overgang tussen Benedenrijn en -maas toont het belang van afzonderlijke productieberekeningen van de Rijn-Maasmonding voor ontwerpen (2075 en 2125). De analyse in paragraaf 3.3 toont aan dat de wijziging van afvoerstatistiek in ontwerpen overeen moet komen met het correlatieverband tussen Rijn- en Maasafvoer in de productieberekeningen voor de Rijn-Maasmonding voor 2075 en 2125. Naast het doorwerken van de zeespiegelstijging in een afname van de verticale berging (Kindermann et al., 2024), is dit een tweede reden om specifieke productieberekeningen te maken voor ontwerpen. In de gehanteerde uitgangspunten voor de productie van BOI2023 is dat het geval. In het OI2014 is de vertaling naar toekomstige zichtjaren gemaakt zonder zichtjaar-specifieke productieberekeningen, daardoor zijn zowel de verticale berging als een betere benadering van de correlatie tussen Rijn en Maas onterecht verwaarloosd.

5. Met het verschuiven van de overgangen verder bovenstrooms is het zinvol om in voorbereiding op de productieberekeningen voor een volgende beoordelingsronde na te gaan of de wijze waarop modellen zijn gekalibreerd, aangepast moet worden. De gekozen locatie van de knip maakt het logisch om op de overgangsgebieden tussen rivieren en delta's te kalibreren op getij en verhoogde rivierafvoer, wat we dan ook aanbevelen om te doen.
6. Het is verstandig om de beschikbare informatie voor het correlatieverband tussen de Rijn en de Maas opnieuw te beoordelen. Is het koppelen van de hoogste Maasafvoeren aan de hoogste Rijnafoeren via de terugkeertijd een terecht uitgangspunt? Zou het niet beter zijn om de correlatie te baseren op afvoerstations verder bovenstrooms in Duitsland, waar de effecten van grootschalige inundaties kleiner zijn? Dit vraagt onderzoekwerk in samenwerking met het team van GRADE.
7. Voor BOI2023 is gekozen om de productieberekeningen van de regio's IJssel-delta en IJsselmeer niet te vernieuwen. Nu ook in deze regio's de komende jaren overgestapt gaat worden van WAQUA naar D-Hydro, adviseren we daarbij gelijk de overgangen tussen de regio's Bovenrijn, IJsseldelta en IJsselmeer in beschouwing te nemen. Ga na of het mogelijk is de productieberekeningen van het IJsselmeer en de Rijntakken (met als pilot de IJssel vanaf Arnhem) onderdeel te laten zijn van de productieberekeningen van de IJssel-Vechtdelta (zie opmerking 2 hierboven). Daarmee vervallen randeffecten op het Vossemeer bij de voormalige Roggebotsluis en op de IJssel bij Olst. Het wordt dan ook eenvoudiger een $Q-h$ -relatie bij het Ketelmeer/de Ketelbrug te maken voor schematisaties die in beleidsstudies kunnen worden gebruikt.

Referenties

- Agtersloot en Paarlberg (2016). WAQUA Productieberekeningen IJssel-Vechtdelta WBI2017. R. Agtersloot, A.J. Paarlberg in opdracht van RWS-WVL. Deltares-rapport 1220082-001-HYE-0014, november 2016.
- Bénit et al. (2026a). Verschil- en Effectanalyses hydraulische belastingen BOI2023: IJssel-Vechtdelta. M.P. Bénit, C. van Bemmelen en J.W. Stijnen. HKV-rapport PR5542.10, Witteveen+Bos-rapport 149287. In opdracht van RWS-WVL, 29 juni 2026.
- Bénit et al. (2026b). Verschil- en Effectanalyses hydraulische belastingen BOI2023: Meren. M.P. Bénit, C. van Bemmelen en J.W. Stijnen. HKV-rapport PR5542.10, Witteveen+Bos-rapport 149287. In opdracht van RWS-WVL, 6 juli 2026.
- Botterhuis et al. (2026). Bepalen instellingen productieberekeningen BOI-HB-RMM; Uitgangspuntennotitie 2035. T. Botterhuis, J. Kuiper, F. de Wit, J. Stijnen, in opdracht van RWS-WVL. HKV-rapport PR5378.10, juli 2026.
- Chbab en De Waal (2017). Achtergrondrapport Hydraulische Belastingen. Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium 2017. E.H. Chbab en H. de Waal. Deltares-rapport 1230087-008-HYE-0001, september 2017.
- Gautier (2010). SWAN Calibration and Validation for HBC2011; WTI - HR Zout. C. Gautier in opdracht van RWS-WVL. Deltares-rapport 1200103-020-HYE-0002, mei 2010.
- Kindermann et al. (2024). Verticale berging bij zeespiegelstijging; Advies over het fysisch correct meenemen. P. Kindermann, B. Kuijper en J. Stijnen, in opdracht van Rijkswaterstaat-WVL. HKV-rapport PR5122.10, mei 2024.
- Deltares (2025). Hydra-Ring Software for the safety assessment of primary flood defences. Technical reference manual. Hydra-Ring 25.2.1. Deltares-rapport 11211573-102-GEO-0004, 3 december 2025.
- Kuiper et al. (2026). Productieberekeningen databases 2035 BOI RMM beperkte set, Effecten noodmaatregelen. J. Kuiper, M. Geraeds, T. Botterhuis en W. ter Horst, in opdracht van Rijkswaterstaat-WVL. HKV-rapport PR5378.20, september 2026.
- Kuijper en Caspers (2026). Uitgangspunten statistiek voor BOI2023. B. Kuijper en J. Caspers. HKV-rapport PR5612.10, versie 2.0 definitief, In opdracht van RWS-WVL, juli 2026. Inclusief bijlage: analyse naar de transformaties van de windsnelheid langs de kust.
- Van Lente et al. (2026a). Verschil- en effectanalyses hydraulische belastingen BOI 2023: Rijntakken. J.W. van Lente, C. van Bemmelen en J.W. Stijnen. HKV-rapport PR5542.10, Witteveen+Bos-rapport 149287. In opdracht van RWS-WVL, 9 juli 2026.
- Van Lente et al. (2026b). Verschil- en effectanalyses hydraulische belastingen BOI 2023: Maas. J.W. van Lente, C. van Bemmelen en J.W. Stijnen. HKV-rapport PR5542.10, Witteveen+Bos-rapport 149287. In opdracht van RWS-WVL, xx xxxx 2026 (in ontwikkeling).
- Stijnen et al. (2026). Verschil- en effectanalyses hydraulische belastingen BOI2023. Uitgangspuntendocument. Versie 1.0. J.W. Stijnen, G.J.W. van Lente, V. Vuik, P. van Tol, M. Bénit, C. van Bemmelen, W. Ridderinkhof, T. Botterhuis en G.

- Pleijter. HKV-rapport PR5542.10, Witteveen+Bos-rapport 149287. In opdracht van RWS-WVL, juni 2026.
- Strijker en Geerse (2019). Model uncertainty in the tidal river area, Estimation of water level uncertainty substantiated with physical calculations, B. Strijker en C. Geerse, In opdracht van Rijkswaterstaat-WVL. HKV-rapport PR3893.10, Maart 2019.
- Vuik et al. (2026). Verschil- en effectanalyses hydraulische belastingen BOI 2023: Rijn-Maasmonding. V. Vuik, J. Kuiper, C. van Bemmelen en J.W. Stijnen. HKV-rapport PR5542.10, Witteveen+Bos-rapport 149287. In opdracht van RWS-WVL, xx xxxx 2026 (in ontwikkeling).
- Vuik et al. (2011). WAQUA-productieberekeningen IJsselmeer en Vecht- en IJsseldelta voor WTI-2011: rapportage fase 1. V. Vuik, E. Collard, M. Rotsaert, J. Vieira da Silva in opdracht van RWS-WVL. HKV/Svasek-rapport PR1878.10, september 2011.
- Van der Wal et al. (2011). WAQUA-model IJsselmeer, IJsseldelta en Vecht; Opbouw, kalibratie en verificatie. M. van der Wal, J. Crebas, A. Spruyt-de Boer, T. Visser, M. Zagonjoli, C. Sprengers, D. Kerhoven, A. Becker in opdracht van RWS-WVL. Deltares-rapport 1202108-000-ZWS-0015-vj, augustus 2011.
- Zijlker (2026). Bovenstroomse uitbreiding 2D RMM D-HYDRO voor BOI2023, ontwikkeling dflowfm2d-rmm_vzm-hr2023_6-v2b. Deltares rapport 11211534-004-ZWS-000x, T. Zijlker, xx juli 2026.

A Begrippenlijst

Zie ook: <https://wetten.overheid.nl/BWBR0048074/2023-07-01>

1-op-1-relatie	Verband tussen de afvoeren van de Rijn en de Maas. Deze correlatie is bepaald op basis van gelijke overschrijdingskansen.
Afvoergolf	Tijdelijk verhoogde waterstanden in een rivier (met een golfvorm) door een verhoogde rivierafvoer. Het kan meerdere uren tot meerdere dagen duren voordat een hoogwatergolf een bepaald punt langs de rivieren is gepasseerd.
Benedenmaas	Het overgangsgebied tussen de Maas en de Benedenrijn, ruwweg vanaf 's-Hertogenbosch tot Geertruidenberg. Het omvat de benedenloop van de Maas, de Bergsche Maas en Amer. In dit benedenstroomse gedeelte wordt de waterstand niet meer alleen door de rivierafvoer bepaald, maar door een combinatie van rivierafvoer, zeewaterstand, wind/storm en toestand Europoortkering.
Benedenrijn	Het overgangsgebied tussen de Rijntakken en de Noordzee, ruwweg vanaf Utrecht (Nederrijn/Lek) en Tiel (Waal) tot de Noordzee bij Hoek van Holland en/of Stellendam. Het omvat de benedenloop van de Lek en de Waal, de Merwedes, Oude en Nieuwe Maas, de Noord, Dordtsche Kil het Spui, Hollandsch Diep en het Haringvliet. Hier wordt de waterstand niet meer alleen door de rivierafvoer bepaald, maar door een combinatie van rivierafvoer, zeewaterstand, wind/storm en toestand Europoortkering.
Beoordeling	Het rekenkundig bepalen van de overstromings- of faalkans van een dijktraject in relatie tot de ondergrens en signaleringswaarde.
Beoordelingsinstrumentarium	Alle informatie, regelgeving en instrumenten op basis waarvan de hoogte en sterkte van een waterkering wordt beoordeeld.
Betrouwbaarheid sluiting	De betrouwbaarheid van de sluitingsprocedure van een stormvloedkering (de elektrotechnische en werktuigbouwkundige onderdelen), uitgedrukt in een kans op niet-sluiten per sluitvraag.
Bovenrijn	Het gedeelte van de Rijntakken waar de waterstand geen of nauwelijks invloed ondervindt van getij of stormopzet vanuit zee of het IJsselmeer, en dus vrijwel volledig door de rivierafvoer wordt bepaald. Dit watersysteem loopt vanaf Lobith tot een overgangspunt met de Benedenrijn. Het omvat de Bovenrijn, het Pannerdensch Kanaal, de Waal, de Nederrijn/Lek en de IJssel.
Bovenmaas	Het overeenkomstige, niet-getijbeïnvloede deel van de Maas, dat loopt vanaf de Belgische grens (rond rivierkilometer 2) tot een overgangspunt met de Benedenmaas. Op dit watersysteem is de rivierafvoer de enige of overheersende bepalende factor voor de waterstand.
Bretschneider	Golfgroeiformulering op basis van empirische relaties op basis van windsnelheid, strijklengte en windduur.

Conditionele kans	Kans op een bepaalde gebeurtenis, gegeven dat een andere gebeurtenis plaatsvindt.
Decimeringshoogte	Het absolute verschil in hoogte tussen een waterstand (of HBN) bij een terugkeertijd van $T = 10.000$ jaar en het niveau met een overschrijdingsfrequentie die 10 keer kleiner is ($T = 100.000$ jaar) aangehouden. De decimeringshoogte is bepaald inclusief modelonzekerheden.
D-HYDRO	Zesde-generatie waterbewegingsmodel.
Dijkbekleding	De afdekking van de kern van de dijk ter bescherming tegen golfaanvallen en langsstromend water. Denk hierbij aan een kleilaag met gras, asfalt of steenzettingen.
Dijktraject	Gedeelte van een primaire waterkering dat afzonderlijk is genormeerd.
Dijkvak	Een deel van een waterkering met uniforme eigenschappen en belasting.
DLL	Een dynamic link library (DLL) is een bibliotheek met functies, die door meerdere applicaties gebruikt kunnen worden.
Duurlijn	Het verband tussen een afvoer- of meerpeilniveau en de corresponderende gemiddelde overschrijdingsduur waarmee dat niveau wordt overschreden binnen golven waarvan de piekwaarde groter of gelijk is aan het betreffende niveau
Faalkans	Kans op een ongewenste gebeurtenis (falen). In de Omgevingswet is de eis voor de voorliggende waterkeringen uitgedrukt in een 'faalkans per jaar'. Dit is de kans op de ongewenste gebeurtenis dat de kering faalt waardoor de hydraulische belasting op een achterliggend dijktraject substantieel is verhoogd.
Faalmechanisme	De verzameling faalpaden met een gemeenschappelijk initieel mechanisme
Gesloten toestand	De situatie waarbij een stormvloedkering correct sluit volgens een scenariosluiting, of een noodsluiting.
Golfoverslag	Water dat als gevolg van (wind)golven over een waterkering heen slaat.
HWBP	Hoogwaterbeschermingsprogramma, waarbinnen de waterschappen en Rijkswaterstaat samenwerken aan de realisatie (prioritering en financiering) van de versterking van primaire waterkeringen waarvoor de noodzaak van versterking uit de beoordeling van deze waterkeringen is gebleken. Met de term wordt zowel de alliantie, de programmadirectie, als het jaarlijks vastgestelde programma van versterkingswerken aangeduid.
Hydraulische belasting	Invloeden van buiten op waterkeringen, vaak in termen van waterstanden of golven. Door grotere belastingen dan sterkte faalt de waterkering.
HBN	Hydraulische belastingniveau: een maat voor de minimaal benodigde kruinhoogte, gegeven een herhalingsduur en een toegestaan kritiek golfoverslagdebiet.
IMPLIC	1D-waterbewegingsmodel voor de Oosterschelde.
Keringtoestand	Combinatie van sluitscenario en partiële faalvorm.
Lengte-effect	Het effect dat de overstromingskans van een dijktraject groter is naarmate het traject langer is.

(Macro)instabiliteit	Instabiliteit is het afschuiven van de binnen- of buitenzijde van de dijk.
IJsseldelta	Het overgangsgebied tussen de IJssel en het IJsselmeer (Ketelmeer), ruwweg vanaf Olst/Deventer tot de IJsselmonding bij het Ketelmeer. Het omvat de benedenloop van de IJssel, het Reevediep, het Vossemeer en delen van het Ketelmeer. Hier wordt de waterstand niet meer alleen door de rivierafvoer bepaald, maar door een combinatie van rivierafvoer, meerpeil van het IJsselmeer en wind/storm.
Kunstwerk	Een constructie of installatie die in het waterbeheer één of meer functies vervult. Voorbeelden zijn sluizen en gemalen, die als functie water keren, water beheren en scheepvaart begeleiden.
Modelonzekerheid	Onzekerheid voortvloeiende uit het gebruik van modellen om belasting en sterkte te voorspellen; geen model is immers perfect.
Omgevingswaarde	Volgens de Omgevingswet is de omgevingswaarde voor primaire waterkeringen een meetbare norm voor de jaarlijkse overstromingskans per dijktraject, uitgedrukt in een percentage, dat het gevolg van een overstroming (dodelijk of substantiële economische schade) afweegt tegen de kans daarop (risico = kans x gevolg). Specifiek voor waterkeringen gaat het om de overstromingskans.
Ondergrens	De maximaal toelaatbare faalkans volgens de Omgevingswet.
Ontwerpinstrumentarium	Alle informatie, regelgeving en instrumenten op basis waarvan de versterking van een waterkering wordt ontworpen.
Ontwerpopgave	Gaat over hoe een versterking wordt vormgegeven, technisch én ruimtelijk. Hoe wordt een oplossing ontworpen, die werkt en past in de omgeving? Zoekt naar oplossingen binnen randvoorwaarden (ruimte, kosten en omgeving) en is vaak creatief en integraal.
Overstromingskans	De kans op verlies van waterkerend vermogen, waardoor het door het dijktraject beschermde gebied overstroomt op een manier waarop en in een mate waarin dat leidt tot dodelijke slachtoffers of substantiële economische schade.
Piping	Piping is het fenomeen waarbij tijdens hoogwater zand onder de dijk wegspoelt en de dijk uiteindelijk ondermijnd raakt.
Prespeil	Prestatiepeilenmodel.
Prespeil-OSK	Een versie van Prespeil die is uitgebreid met functionaliteit voor de beoordeling van de buitenzijde van de Oosterscheldekering.
Prestatiepeilen	Waterstanden op de Oosterschelde bij de normfrequentie (signaleringswaarde of ondergrens), berekend met Prespeil.
Probabilistiek	Rekenmethode voor het bepalen van, bijvoorbeeld, de ontwerpsterkte van een waterkering waarbij de kansverdelingen van alle variabelen die de sterkte mede bepalen, worden gespecificeerd en gecombineerd, en waarbij ook rekening wordt gehouden met correlaties tussen deze variabelen. Bij probabilistisch ontwerpen worden waterkeringen zodanig ontworpen dat de kans dat de (onzekere)

	belasting groter is dan de (onzekere) sterkte, kleiner is dan een bepaalde faalkanseis.
Seiche	Een staande golf, of een periodieke waterstandsschommeling in een halfgesloten watermassa, zoals een meer, baai, reservoir, veroorzaakt door externe krachten zoals sterke wind, snelle drukveranderingen, of aardbevingen.
Signaleringswaarde	Overstromingskans van het dijktraject, waarvan overschrijding gemeld moet worden aan de minister. Het bepalen van de overstromingskans van het dijktraject in relatie tot de signaleringswaarde zorgt ervoor dat tijdig maatregelen kunnen worden getroffen om de veiligheid van primaire waterkeringen te borgen.
Statistische onzekerheid	Onzekerheid die gerelateerd is aan de statistische betrouwbaarheid van de schatting/keuze van de kansverdelingen die de bedreigingen moeten beschrijven, inclusief de verdelingsparameters. Dit type onzekerheid is het gevolg van een beperkt aantal gegevens of metingen.
Stormvloed	Zeer hoge waterstand op zee. Er is sprake van stormvloed als in één van de zes hoofdmeetstations voor de kust een bepaalde waterstandnorm overschrijdt. Deze worden per locatie bepaald.
SWAN Vechtdelta	Simulating WAVes Nearshore, numeriek golvenmodel. Het overgangsgebied van de Overijsselse Vecht naar het Zwarte Meer, lopend van ongeveer rivierkilometer 36 (tussen Dalfsen en Ommen) tot de Ramspolkering. Het omvat de Vecht zelf, het Zwarte Water tot de Keersluis Zwolle, het Zwolle-IJsselkanaal en de buitendijkse polders langs het Zwarte Meer (zoals Kampereiland). Hier bepalen rivierafvoer, meerpeil en wind gezamenlijk de waterstand.
Veiligheidsnorm	Het wettelijk vastgelegde niveau van bescherming van een dijktraject tegen overstromen (een signaleringswaarde en een ondergrens).
Veiligheidsopgave	De veiligheidsopgave beschrijft hoe groot het veiligheidsprobleem is en waarom er iets moet gebeuren (Voldoet de kering aan de wettelijke normen?). Volgt uit een beoordeling.
Versterkingsopgave	Richt zich op het fysiek verbeteren of aanpassen van een bestaande waterkering (Wat moet aan de dijk gedaan worden?). Vaak onderdeel van een HBWP-project en concreet en technisch van aard.
Voorliggende kering	Keringen die een rivier- of zeearm geheel of onder speciale omstandigheden afsluit en daarmee de kansen op extreme belastingen op achterliggende keringen reduceert.
Watersysteem	Het watersysteem is een samenhangend geheel van een of meer oppervlaktewaterlichamen en grondwaterlichamen, met bijbehorende bergingsgebieden, waterkeringen en ondersteunende kunstwerken.
Werklijn	De relatie tussen de rivierafvoer en de rekenkundig bepaalde overschrijdingsfrequentie van deze afvoer.
Zeespiegelstijging (absoluut)	De stijging van de zeestand door smeltende ijskappen en gletsjers, en door uitzetting van warmer wordend zeewater.
Zeespiegelstijging (relatief)	De stijging van de zeestand ten opzichte van de hoogteligging van het land.

B Beschikbare data

In Tabel B-1 staat een overzicht van de gebruikte databases. Daarnaast zijn de statistiek bestanden van Kuijper en Caspers (2026). Het de Hydra-NL versie van de statistiek voor beoordelen (met en zonder statistische onzekerheid) vastgelegd in ascii-bestanden. Gerekend is met Hydra-NL versie 2.9.1, waarbij het rekenhart is aangestuurd met de SGWM (2.4.0).

Tabel B-1: Lijst met gebruikte HR-databases per overgang.

Overgang		Gebruikte databases
a	Regio's Bovenrijn en Benedenrijn op de Nederrijn/Lek	- B2035_Benedenrijn_aslocaties_bs_v01 - B2035_Bovenrijn_aslocaties_v01
b	Regio's Bovenrijn en Benedenrijn op de Waal	- B2035_Benedenrijn_aslocaties_bs_v01 - B2035_Bovenrijn_aslocaties_v01
c	Regio's Bovenmaas en Benedenmaas	- B2035_Benedenmaas_aslocaties_bs_v01 - B2035_Bovenmaas_aslocaties_v01
d	Regio's Benedenrijn en Benedenmaas	- B2035_Benedenmaas_aslocaties_bs_v01 - B2035_Benedenrijn_aslocaties_bs_v01
e	Regio's Bovenrijn en IJsseldelta	- B2035_Bovenrijn_aslocaties_v01 - B2035_IJsseldelta_aslocaties_v01
f	Regio's IJsseldelta en IJsselmeer	- B2035_IJsselmeer_8-4_v01.sqlite - B2035_IJsseldelta_8-4_v01.sqlite

C Overzicht oplevering databases

Een overzicht van de op-te-leveren HR-databases staat in Tabel C-2.

Tabel C-2: Lijst met op te leveren HR-databases per Hydra-Ringregio.

Hydra-Ring regio	HR-databases
Bovenrijn (1)	B2035_Bovenrijn_41-1_v01, B2035_Bovenrijn_41-2_v01, B2035_Bovenrijn_42-1_v01, B2035_Bovenrijn_43-1_v01, B2035_Bovenrijn_43-2_v01, B2035_Bovenrijn_43-3_v01, B2035_Bovenrijn_43-4_v01, B2035_Bovenrijn_43-5_v01, B2035_Bovenrijn_44-1_v01, B2035_Bovenrijn_45-1_v01, B2035_Bovenrijn_47-1_v01, B2035_Bovenrijn_48-1_v01, B2035_Bovenrijn_48-2_v01, B2035_Bovenrijn_48-3_v01, B2035_Bovenrijn_49-1_v01, B2035_Bovenrijn_49-2_v01, B2035_Bovenrijn_50-1_v01, B2035_Bovenrijn_50-2_v01, B2035_Bovenrijn_51-1_v01, B2035_Bovenrijn_52-1_v01, B2035_Bovenrijn_52-2_v01, B2035_Bovenrijn_52-3_v01, B2035_Bovenrijn_52-4_v01, B2035_Bovenrijn_52a-1_v01, B2035_Bovenrijn_53-1_v01, B2035_Bovenrijn_53-2_v01
Bovenmaas (2)	B2035_Bovenmaas_36a-1_v01, B2035_Bovenmaas_36-1_v01, B2035_Bovenmaas_36-2_v01, B2035_Bovenmaas_36-3_v01, B2035_Bovenmaas_41-3_v01, B2035_Bovenmaas_41-4_v01
Benedenrijn (3)	B2035_Benedenrijn_14-2_v01, B2035_Benedenrijn_14-3_v01, B2035_Benedenrijn_15-1_v01, B2035_Benedenrijn_15-2_v01, B2035_Benedenrijn_16-1_v01, B2035_Benedenrijn_16-2_v01, B2035_Benedenrijn_16-3_v01, B2035_Benedenrijn_16-4_v01, B2035_Benedenrijn_17-1_v01, B2035_Benedenrijn_17-2_v01, B2035_Benedenrijn_17-3_v01, B2035_Benedenrijn_18-1_v01, B2035_Benedenrijn_19-1_v01, B2035_Benedenrijn_20-3_v01, B2035_Benedenrijn_20-4_v01, B2035_Benedenrijn_21-1_v01, B2035_Benedenrijn_21-2_v01, B2035_Benedenrijn_22-1_v01, B2035_Benedenrijn_22-2_v01, B2035_Benedenrijn_23-1_v01, B2035_Benedenrijn_24-2_v01, B2035_Benedenrijn_24-3_v01, B2035_Benedenrijn_25-2_v01, B2035_Benedenrijn_34-1_v01, B2035_Benedenrijn_34-2_v01, B2035_Benedenrijn_34a-1_v01, B2035_Benedenrijn_35-2_v01, B2035_Benedenrijn_38-1_v01, B2035_Benedenrijn_40-1_v01, B2035_Benedenrijn_43-6_v01, B2035_Benedenrijn_208_v01, B2035_Benedenrijn_209_v01, B2035_Benedenrijn_211_v01, B2035_Benedenrijn_212_v01, B2035_Benedenrijn_213_v01, B2035_Benedenrijn_215_v01, B2035_Benedenrijn_224_v01,
Benedenmaas (4)	B2035_Benedenmaas_24-1_v01, B2035_Benedenmaas_35-1_v01, B2035_Benedenmaas_36-4_v01, B2035_Benedenmaas_36-5_v01, B2035_Benedenmaas_37-1_v01, B2035_Benedenmaas_38-2_v01, B2035_Benedenmaas_39-1_v01, B2035_Benedenmaas_40-2_v01, B2035_Benedenmaas_224_v01
IJsseldelta (5)	B2035_IJsseldelta_8-4_v01, B2035_IJsseldelta_10-3_v01, B2035_IJsseldelta_11-1_v01, B2035_IJsseldelta_11-2_v01, B2035_IJsseldelta_206_v01, B2035_IJsseldelta_225_v01, B2035_IJsseldelta_227_v01

Hydra-Ring regio	HR-databases
Vechtdelta (6)	B2035_Vechtdelta_7-1_v01, B2035_Vechtdelta_9-1_v01, B2035_Vechtdelta_9-2_v01, B2035_Vechtdelta_10-1_v01, B2035_Vechtdelta_10-2_v01, B2035_Vechtdelta_53-3_v01, B2035_Vechtdelta_202_v01
IJsselmeer (7)	B2035_IJsselmeer_6-1_v01, B2035_IJsselmeer_6-2_v01, B2035_IJsselmeer_7-2_v01, B2035_IJsselmeer_8-3_v01, B2035_IJsselmeer_8-4_v01, B2035_IJsselmeer_12-2_v01, B2035_IJsselmeer_13-6_v01, B2035_IJsselmeer_201_v01, B2035_IJsselmeer_204a_v01
Markermeer (8)	B2035_Markermeer_8-1_v01, B2035_Markermeer_8-2_v01, B2035_Markermeer_8-3_v01, B2035_Markermeer_13a-1_v01, B2035_Markermeer_13b-1_v01, B2035_Markermeer_13-7_v01, B2035_Markermeer_13-8_v01, B2035_Markermeer_13-9_v01, B2035_Markermeer_44-2_v01, B2035_Markermeer_45-2_v01, B2035_Markermeer_46-1_v01, B2035_Markermeer_204b_v01, B2035_Markermeer_205_v01
Waddenzee Oost (9)	B2035_Waddenzee_Oost_1-2_v01, B2035_Waddenzee_Oost_2-2_v01, B2035_Waddenzee_Oost_6-3_v01, B2035_Waddenzee_Oost_6-4_v01, B2035_Waddenzee_Oost_6-5_v01, B2035_Waddenzee_Oost_6-6_v01, B2035_Waddenzee_Oost_6-7_v01
Waddenzee West (10)	B2035_Waddenzee_West_3-2_v01, B2035_Waddenzee_West_4-2_v01, B2035_Waddenzee_West_5-2_v01, B2035_Waddenzee_West_6-3_v01, B2035_Waddenzee_West_12-1_v01, B2035_Waddenzee_West_13-4_v01, B2035_Waddenzee_West_13-5_v01, B2035_Waddenzee_West_201_v01
Veluwerandmeren (11)	B2035_Veluwerandmeren_8-5_v01, B2035_Veluwerandmeren_8-6_v01, B2035_Veluwerandmeren_8-7_v01, B2035_Veluwerandmeren_11-3_v01, B2035_Veluwerandmeren_45-3_v01, B2035_Veluwerandmeren_205_v01, B2035_Veluwerandmeren_227_v01
Hollandse Kust Midden (12)	B2035_Hollandse_Kust_Midden_13-2_v01, B2035_Hollandse_Kust_Midden_44-3_v01
Hollandse Kust Zuid (13)	B2035_Hollandse_Kust_Zuid_14-5_v01, B2035_Hollandse_Kust_Zuid_14-6_v01, B2035_Hollandse_Kust_Zuid_14-8_v01, B2035_Hollandse_Kust_Zuid_25-1_v01, B2035_Hollandse_Kust_Zuid_211_v01, B2035_Hollandse_Kust_Zuid_214_v01, B2035_Hollandse_Kust_Zuid_218_v01
Oosterschelde (14)	B2035_Oosterschelde_26-2_v01, B2035_Oosterschelde_26-3_v01, B2035_Oosterschelde_27-1_v01, B2035_Oosterschelde_27-2_v01, B2035_Oosterschelde_28-1_v01, B2035_Oosterschelde_30-1_v01, B2035_Oosterschelde_31-2_v01, B2035_Oosterschelde_216_v01, B2035_Oosterschelde_217_v01, B2035_Oosterschelde_218_v01, B2035_Oosterschelde_219_v01, B2035_Oosterschelde_221_v01
Westerschelde (15)	B2035_Westerschelde_29-1_v01, B2035_Westerschelde_29-2_v01, B2035_Westerschelde_29-3_v01, B2035_Westerschelde_29-4_v01, B2035_Westerschelde_30-2_v01, B2035_Westerschelde_30-3_v01, B2035_Westerschelde_30-4_v01, B2035_Westerschelde_31-1_v01, B2035_Westerschelde_32-1_v01, B2035_Westerschelde_32-2_v01, B2035_Westerschelde_32-3_v01, B2035_Westerschelde_32-4_v01, B2035_Westerschelde_222_v01, B2035_Westerschelde_223_v01
Duinen (16)	B2035_Duinen_1-1_v02, B2035_Duinen_2-1_v02, B2035_Duinen_2-2_v02, B2035_Duinen_3-1_v02, B2035_Duinen_4-1_v02, B2035_Duinen_5-1_v02, B2035_Duinen_5-2_v02, B2035_Duinen_13-1_v02, B2035_Duinen_13-2_v02,

Hydra-Ring regio	HR-databases
	B2035_Duinen_13-3_v02, B2035_Duinen_13-4_v02, B2035_Duinen_14-10_v02, B2035_Duinen_14-5_v02, B2035_Duinen_14-6_v02, B2035_Duinen_14-7_v02, B2035_Duinen_14-8_v02, B2035_Duinen_14-9_v02, B2035_Duinen_20-1_v02, B2035_Duinen_25-1_v02, B2035_Duinen_26-1_v02, B2035_Duinen_29-1_v02, B2035_Duinen_29-2_v02, B2035_Duinen_32-1_v02, B2035_Duinen_211_v02, B2035_Duinen_214_v02, B2035_Duinen_218_v02
Europoort (17)	B2035_Europoort_14-4_v01, B2035_Europoort_19-1_v01, B2035_Europoort_20-1_v01, B2035_Europoort_20-2_v01, B2035_Europoort_20-3_v01, B2035_Europoort_208_v01, B2035_Europoort_209_v01
Bovenmaas_hk (18)	B2035_Bovenmaas_hk_54-1_v01, B2035_Bovenmaas_hk_55-1_v01, B2035_Bovenmaas_hk_56-1_v01, B2035_Bovenmaas_hk_57-1_v01, B2035_Bovenmaas_hk_58-1_v01, B2035_Bovenmaas_hk_59-1_v01, B2035_Bovenmaas_hk_60-1_v01, B2035_Bovenmaas_hk_61-1_v01, B2035_Bovenmaas_hk_62-1_v01, B2035_Bovenmaas_hk_63-1_v01, B2035_Bovenmaas_hk_63-2_v01, B2035_Bovenmaas_hk_63-9_v01, B2035_Bovenmaas_hk_64-1_v01, B2035_Bovenmaas_hk_65-1_v01, B2035_Bovenmaas_hk_65-9_v01, B2035_Bovenmaas_hk_66-1_v01, B2035_Bovenmaas_hk_67-1_v01, B2035_Bovenmaas_hk_68-1_v01, B2035_Bovenmaas_hk_68-2_v01, B2035_Bovenmaas_hk_69-1_v01, B2035_Bovenmaas_hk_70-1_v01, B2035_Bovenmaas_hk_71-1_v01, B2035_Bovenmaas_hk_73-1_v01, B2035_Bovenmaas_hk_74-1_v01, B2035_Bovenmaas_hk_75-1_v01, B2035_Bovenmaas_hk_76-1_v01, B2035_Bovenmaas_hk_76-2_v01, B2035_Bovenmaas_hk_76a-1_v01, B2035_Bovenmaas_hk_77-1_v01, B2035_Bovenmaas_hk_78-1_v01, B2035_Bovenmaas_hk_78a-1_v01, B2035_Bovenmaas_hk_79-1_v01, B2035_Bovenmaas_hk_80-1_v01, B2035_Bovenmaas_hk_81-1_v01, B2035_Bovenmaas_hk_82-1_v01, B2035_Bovenmaas_hk_83-1_v01, B2035_Bovenmaas_hk_84-1_v01, B2035_Bovenmaas_hk_85-1_v01, B2035_Bovenmaas_hk_86-1_v01, B2035_Bovenmaas_hk_87-1_v01, B2035_Bovenmaas_hk_88-1_v01, B2035_Bovenmaas_hk_89-1_v01, B2035_Bovenmaas_hk_90-1_v01, B2035_Bovenmaas_hk_91-1_v01, B2035_Bovenmaas_hk_92-1_v01, B2035_Bovenmaas_hk_93-1_v01, B2035_Bovenmaas_hk_94-1_v01, B2035_Bovenmaas_hk_95-1_v01
Grevelingen (19)	B2035_Grevelingen_25-4_v01, B2035_Grevelingen_26-4_v01, B2035_Grevelingen_214_v01, B2035_Grevelingen_216_v01
Volkerak Zoommeer (21)	B2035_Volkerak_Zoommeer_25-3_v01, B2035_Volkerak_Zoommeer_27-3_v01, B2035_Volkerak_Zoommeer_27-4_v01, B2035_Volkerak_Zoommeer_31-3_v01, B2035_Volkerak_Zoommeer_33-1_v01, B2035_Volkerak_Zoommeer_34-3_v01, B2035_Volkerak_Zoommeer_34-4_v01, B2035_Volkerak_Zoommeer_34-5_v01, B2035_Volkerak_Zoommeer_215_v01, B2035_Volkerak_Zoommeer_216_v01, B2035_Volkerak_Zoommeer_217_v01, B2035_Volkerak_Zoommeer_219_v01, B2035_Volkerak_Zoommeer_223_v01
Hollandsche IJssel (22)	B2035_Hollandsche_IJssel_14-1_v01, B2035_Hollandsche_IJssel_15-3_v01