MEMO

Aan: [redacted], waterschap Limburg
Van: [redacted]
Datum: 12 februari 2021
Projectnummer: PR3701.22
Onderwerp: Resultaten ontwerpbelastingen Lob van Gennep - Definitief

1 Inleiding

1.1 Achtergrond en doel memo

Het MIRT project Lob van Gennep is inmiddels in de Verkenningsfase, waarin een keuze voor één van de drie alternatieven moet worden gemaakt:

1. Reguliere dijken.
   Bij Alternatief 1 worden alle dijken rond het gebied Lob van Gennep versterkt op basis van de veiligheidsnorm en worden geen specifieke voorzieningen aangelegd ten behoeve van de waterbergende werking.
2. Verbindende dijken met vaste drempels.
   Bij Alternatief 2 worden de dijken rondom de Lob over een aantal strekkingen overstroombaar ontworpen (instroomdrempels). Er is géén inlaatkunstwerk. De hoogte van de dijken die overstromen is gelijk aan de uiteindelijk voor Alternatief 1 bepaalde dijkhoogte. De overige dijken (die niet overstromen) worden 30 cm hoger.
3. Verbindende dijken met waterkerende instroomvoorziening.
   Bij dit alternatief worden de dijken versterkt en wordt een constructie gebouwd die functioneert als waterkering en bij zeer extreme hoogwatersituaties geopend zal worden om water het gebied in te laten.

Om deze keuze te kunnen maken, zijn onder meer de benodigde dimensies (geometrie) van de dijken rondom de Lob van Gennep bij de drie alternatieven nodig. Om deze dimensies te kunnen bepalen zijn hydraulische ontwerpbelastingen nodig. Voorliggend memo bevat de resultaten van de uitgevoerde berekeningen die hiervoor zijn uitgevoerd. De bij de berekeningen gehanteerde uitgangspunten zijn eerder separaat gerapporteerd ([redacted], 2020) en waar nodig in voorliggende notitie herhaald.

1.2 Leeswijzer

Dit memorandum is als volgt ingedeeld.

- Hoofdstuk 2 bevat een beschrijving van de berekende waterstanden en golven en de 'databases fysica' waarin de waterstanden en golven zijn opgenomen.
- Hoofdstuk 3 bevat de resultaten van de Hydra-NL berekeningen die met de gemaakte databases zijn uitgevoerd om de dijkhoogte te bepalen voor Alternatief 1 (en daarmee ook Alternatief 2). Om de resultaten van de vele Hydra-NL berekeningen visueel inzichtelijk te maken is de 'HKV Excel Bouwstenentool' gevuld met resultaten.
- In hoofdstuk 4 is een analyse van de stroomsnelheden op/over de dijken rondom de Lob van Gennep opgenomen. Hiertoe zijn eerst WAQUA berekeningen uitgevoerd met een versie van het WAQUA-model waarin de daadwerkelijke dijkhoogten zijn verwerkt. Met de berekende waterstanden aan zowel de binnen- als de buitenzijde van de dijken zijn vervolgens stroomsnelheden bepaald. Dit met het oog op het ontwerp van de dijkbekleding (erosiebestendigheid).
- In hoofdstuk 5 zijn de met Hydra-NL bepaalde ontwerpbelastingen beschreven voor de diverse faalmechanismen.

Het volledige (digitale) dossier met Hydra-NL databases, rekenresultaten e.d. is als Bijlage A opgenomen.

2 Waterstanden en golven

2.1 Waterstanden

2.1.1 Doorgerekende afvoergolven

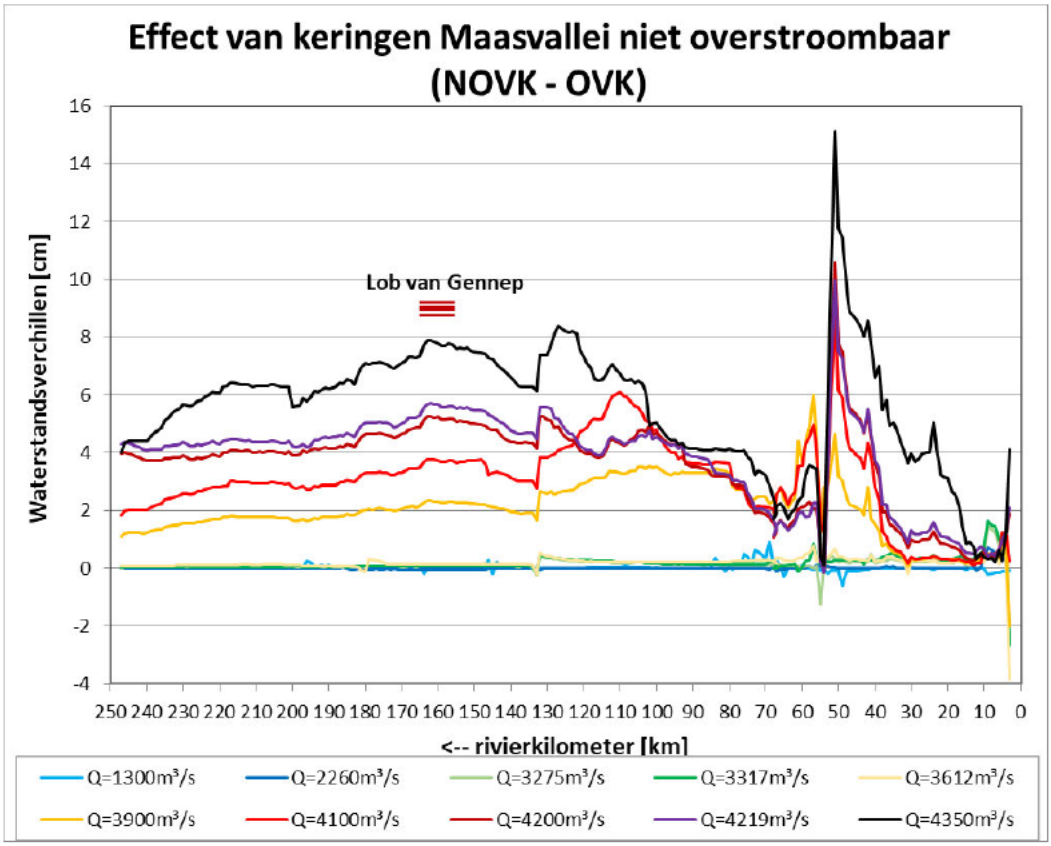
Er zijn twee sets van 20 afvoergolven doorgerekend (zie Tabel 1).

1. Met niet-overstroombare keringen in het Maasdal en zonder overstroming bij de Lob van Gennep (glazen wanden, geen inlaat), t.b.v. dijk/drempelhoogtebepaling.
2. Met overstroombare keringen in het Maasdal en zonder overstroming bij de Lob van Gennep (glazen wanden, geen inlaat).

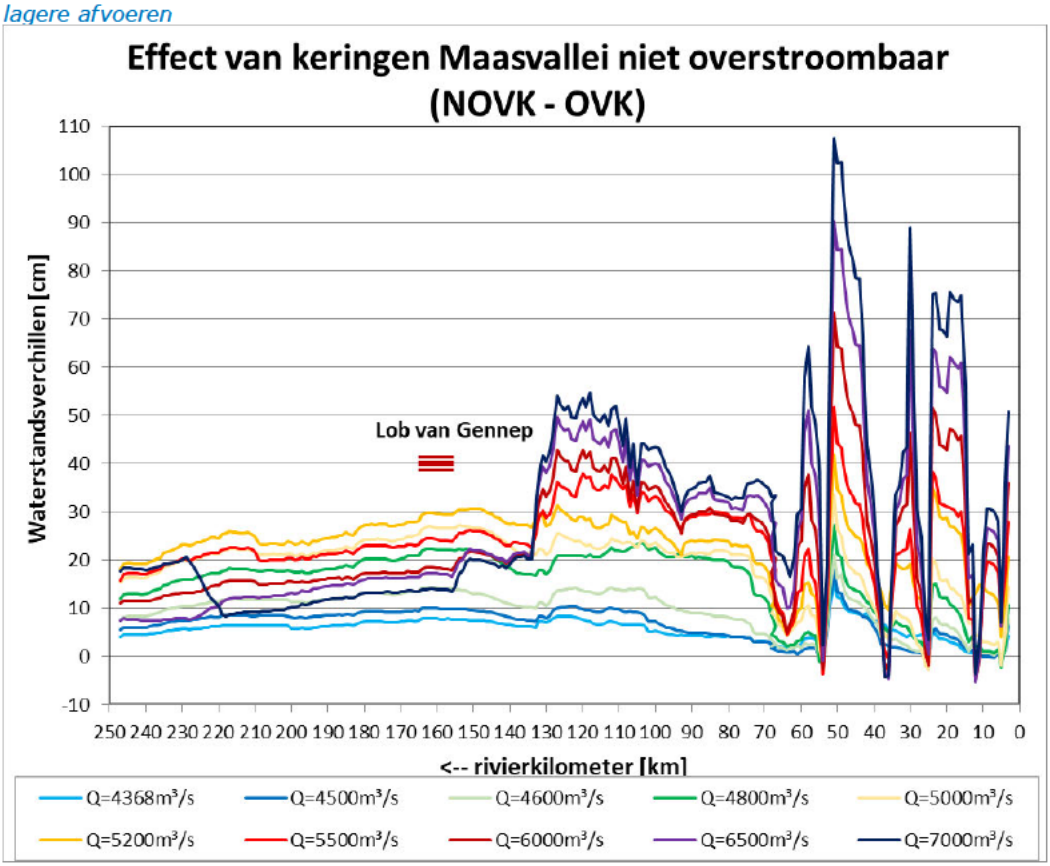
Voor de dijk/drempelhoogtebepaling is gebruik gemaakt van niet-overstroombare keringen in het Maasdal (1.). De tweede set berekeningen is gemaakt om de impact van het rekenen met niet overstroombare keringen in het Maasdal op de belastingen op de dijken bij de Lob van Gennep te bepalen. Het resultaat van de veschilanalyse is weergegeven in Figuur 1 (lagere afvoeren) en Figuur 2 (hogere afvoeren). Te zien is dat bij de afvoeren tot 4350 m^3/s het verschil in waterstand ter plaatse van de Lob van Gennep maximaal 8 cm bedraagt. Bij 5200 m^3/s is het verschil maximaal en wel orde 30 cm. Bij nog hogere afvoeren neemt het verschil weer af tot ongeveer 15 cm bij 7000 m^3/s, vooral omdat enkele gebieden pas bij de zeer hoge afvoeren instromen.

Piekafvoer bij St. Pieter van de doorgerekende afvoeren [m^3/s]									
1.300	2.260	3.275	3.317	3.612	3.900	4.100	4.200	4.219	4.350
4.368	4.500	4.600	4.800	5.000	5.200	5.500	6.000	6.500	7.000

Tabel 1 Doorgerekende afvoergolven (piekafvoer)

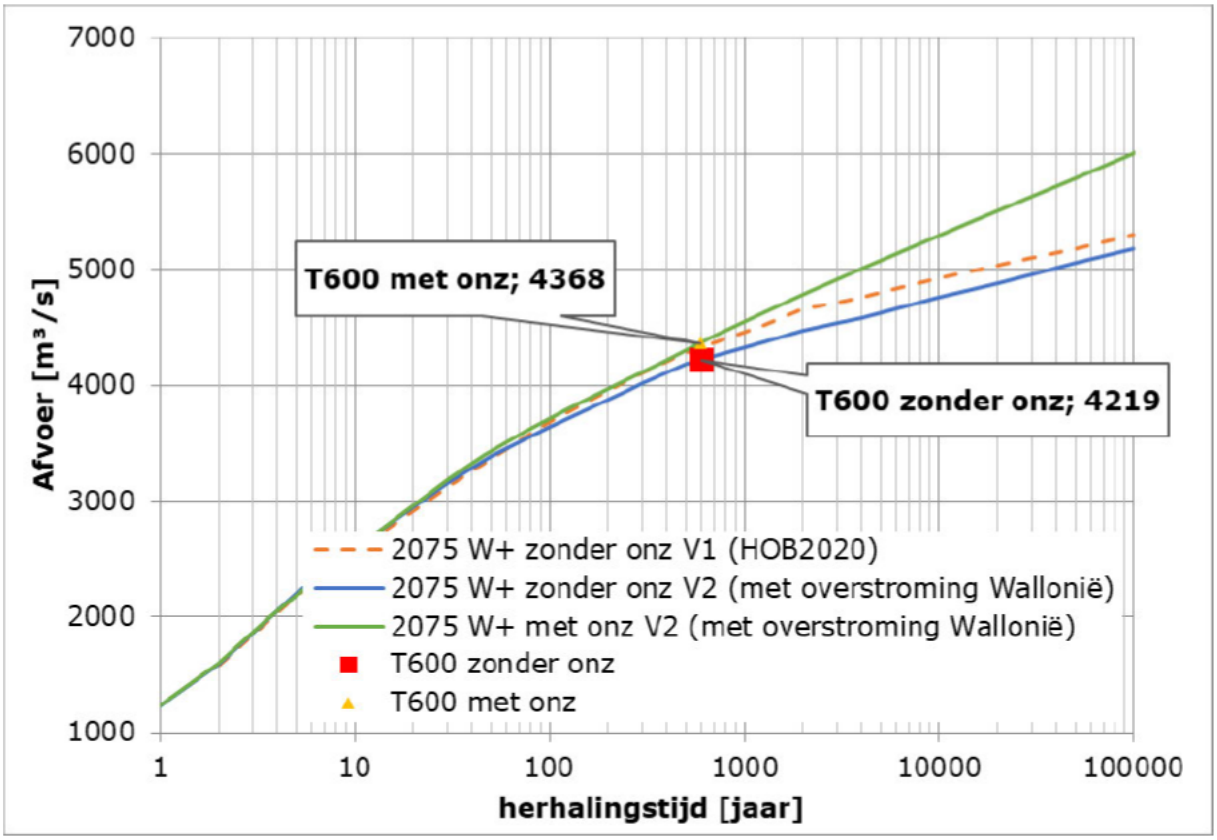


Figuur 1 Verschil in waterstanden tussen overstroombare en niet-overstroombare keringen in het Maasdal, lagere afvoeren



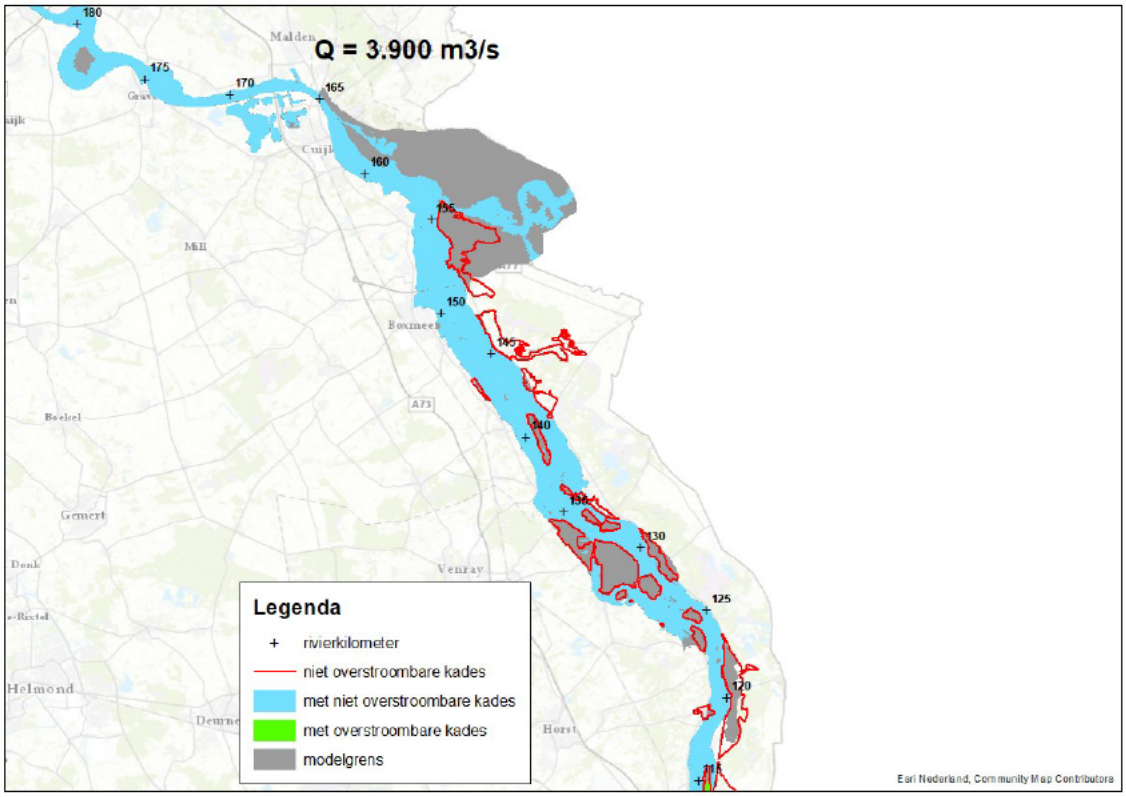
Figuur 2 Verschil in waterstanden tussen overstroombare en niet-overstroombare keringen in het Maasdal, hogere afvoeren

Twee van de doorgerekende afvoergolven, één met en één zonder statistische onzekerheden, zijn gemaakt ter controle van de Hydra-NL berekeningen bij T600, de terugkeertijd die als eis is gesteld aan de hoogte van de dijken bij Alternatief 1 en 2. In Figuur 3 is te zien dat bij T600 met onzekerheden een piekafvoer hoort van 4368 m^3/s en bij de T600 zonder onzekerheden 4219 m^3/s.

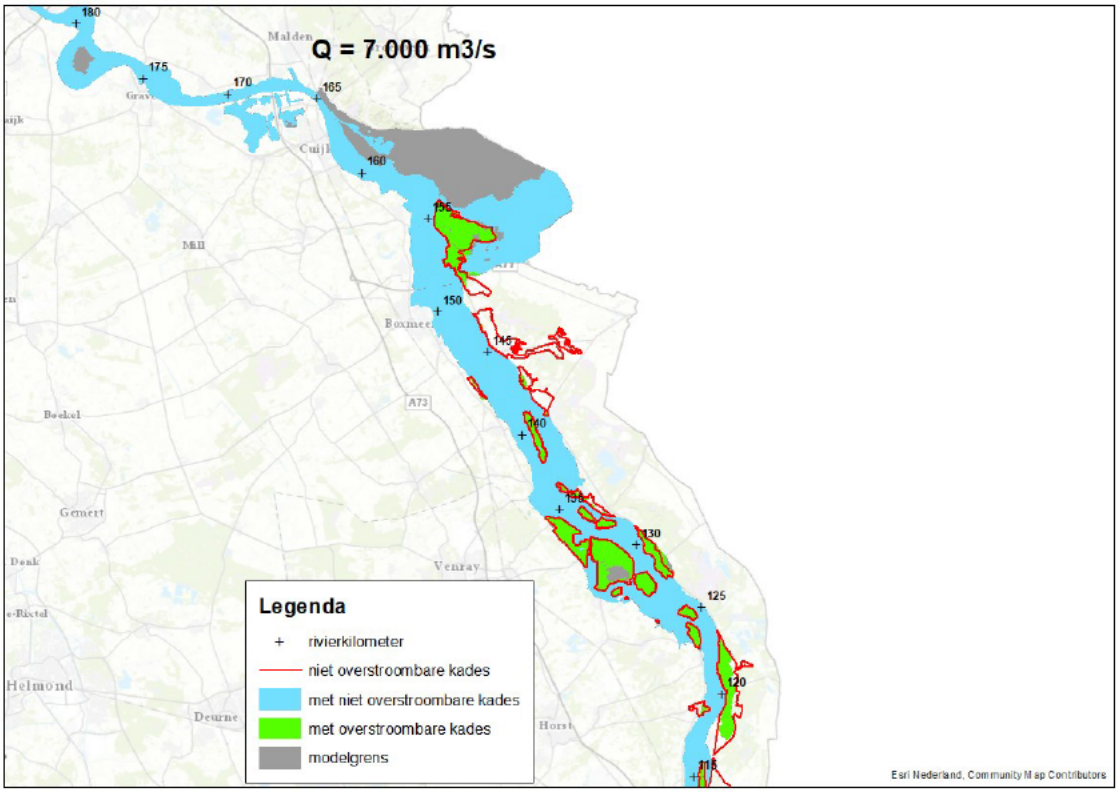


Figuur 3 Piekafvoeren bij T600

2.1.2 Overstroomd gebied



Figuur 4 Overstroomd gebied bij 3900 m³/s



Figuur 5 Ooverstroomd gebied bij 7000 m³/s

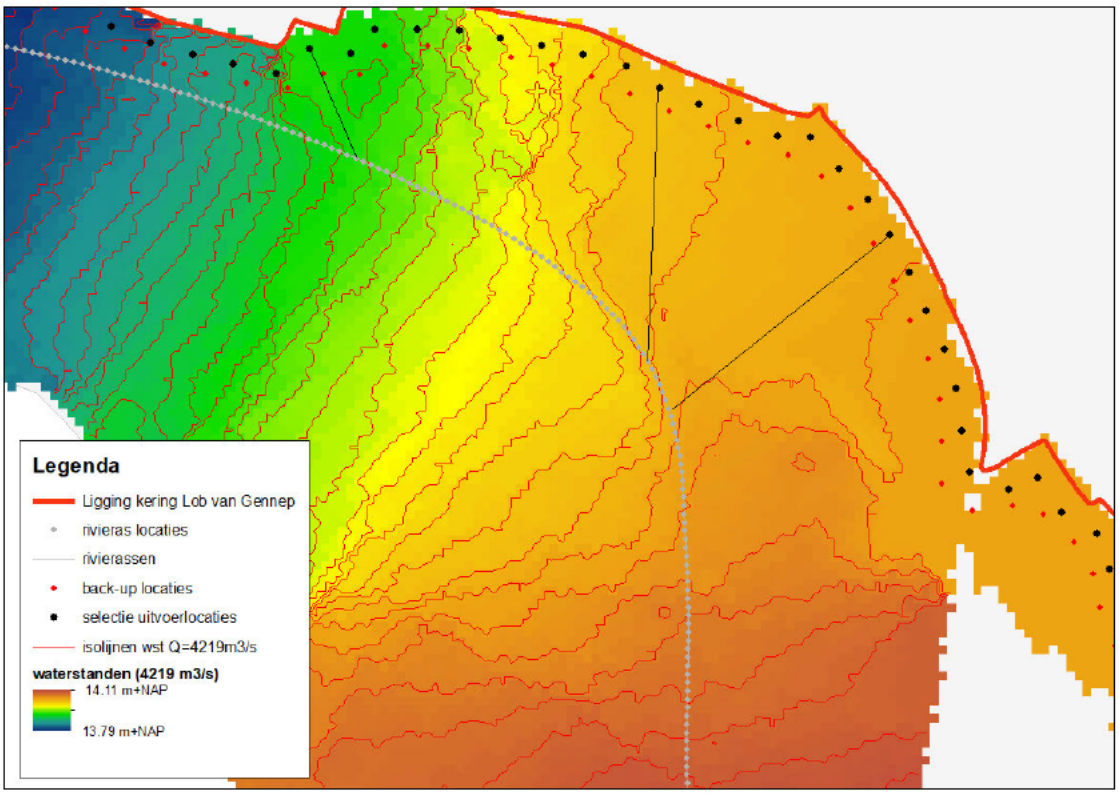
Van 7 afvoergolven is het overstroomd gebied weergegeven in kaarten, telkens in een set van drie (zuid, midden, noord). Figuur 4 en Figuur 5 zijn twee voorbeelden van deelgebied noord,

waarbinnen ook de Lob van Gennep valt. Deze twee figuren laten zien dat bij 3900 m^3/s vrijwel nog geen dijkringen zijn ingestroomd, terwijl dat bij 7000 m^3/s (vanzelfsprekend) bijna overal het geval is. Ook het gebied rondom de Niers is bij 7000 m^3/s volledig overstroomd. De dijken langs de Lob van Gennep zijn in beide berekeningen (mét en zonder overstroombare dijken in het Maasdal) als oneindig hoog verondersteld; de glazen wand. Wat verder opvalt is dat het water al bij 3900 m^3/s op veel plaatsen tegen de grenzen van het model staat, waardoor de waterstanden bij de hogere afvoeren mogelijk worden overschat.

In Bijlage B zijn voor zeven afvoeren kaarten met het overstroomd gebied opgenomen. Bijlage C bevat zeven kaarten van het waterstandsverschil tussen de berekeningen met en zonder overstroombare dijken in het Maasdal.

2.1.3 Controle waterstanden

De met WAQUA berekende waterstanden zijn gecontroleerd op droogval, volgens de in de uitgangspuntennotitie beschreven werkwijze. Valt een uitvoerlocatie droog, dan is gekeken of er in een nabijgelegen punt wel water staat. Als dat niet zo is, dan wordt waterstand op de rivieras gezocht. Zie Figuur 6 voor het principe van de droogvalprocedure.



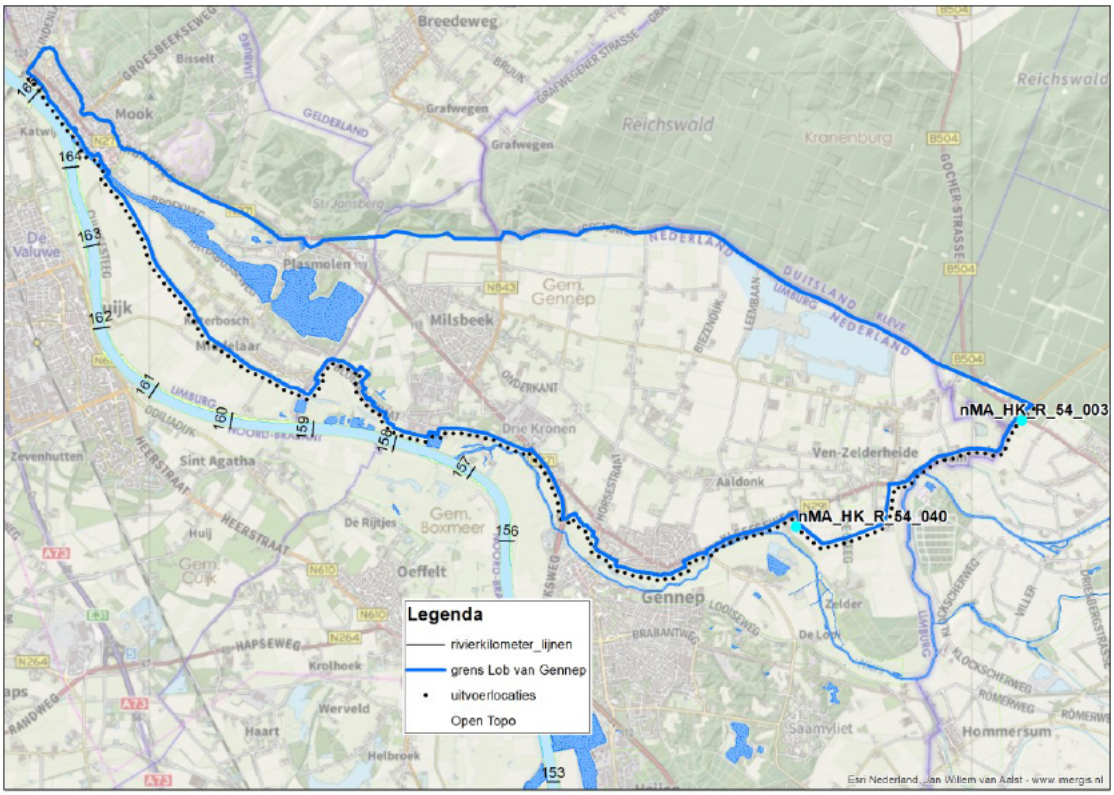
Figuur 6 Principe droogvalprocedure

Eén locatie bleek bij alle afvoergolven droog te blijven vanwege de hoge ligging net naast de snelweg. Dat punt is uit de database verwijderd, zie Figuur 7.



Figuur 7 Altijd droog, punt MA_HK_R_999_597

2.1.4 Controle strijklengtes



Figuur 8 Ontbrekende strijklengte op 2 uitvoerlocaties

In Baseline zijn de strijklengtes bepaald waarmee de golfhoogtes zijn berekend. Op twee locaties, te weten nMA_HK_R_54_003 en nMA_HK_R_54_040 zijn geen strijklengtes bepaald vanwege de ligging op/nabij bebouwing. Voor alle andere uitvoerpunten zijn wel strijklengtes bepaald.

2.2 Golven

2.2.1 Wind

De windstatistiek van Deelen is van toepassing. Voor elke combinatie van de rivierafvoer (20 afvoeren tussen 1.300 en 7.000 m^3/s), windrichting (16 windrichtingen) en windsnelheid (9 windsnelheiden tussen 0 en 40 m/s in stappen van 5 m/s) zijn de golfcondities (significante golfhoogte, de spectrale golfperiode ($T_{m-1,0}$) en de piekperiode (T_p)) afgeleid met de golfgroeiformules van Bretschneider en weggeschreven in de database fysica.
De potentiële windsnelheden zijn naar winsnelheden op 10 meter hoogte omgerekend met behulp van het bij Hydra-NL meegeleverde databestand ('Up2U10.dat').

2.2.2 Significante golfhoogten en (piek-) golfperioden

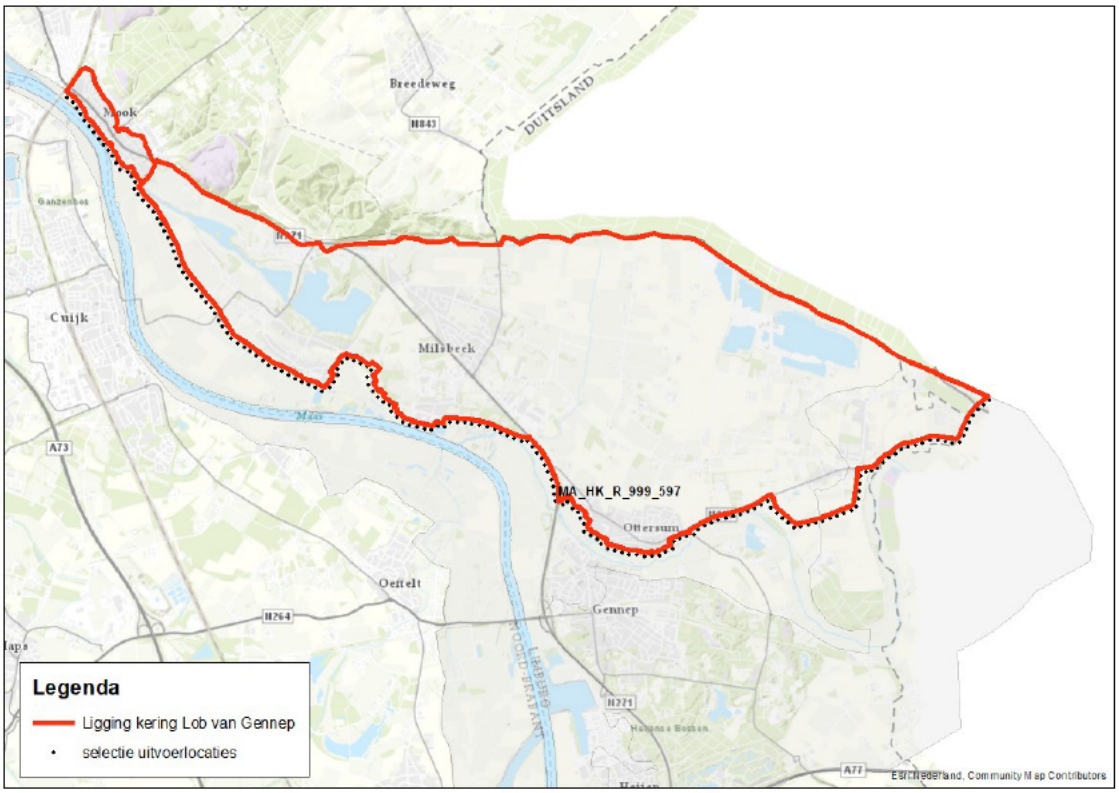
Op basis van de met Baseline berekende strijklengtes en bodemhoogtes is voor iedere met WAQUA berekende waterstand een waterdiepte berekend door het verschil tussen de waterstand en de bodemhoogte te berekenen. Vervolgens zijn deze waterdieptes gecombineerd met alle gedefinieerde U10 windsnelheden en alle windrichtingen (met bijbehorende strijklengte en gemiddelde bodemhoogte). Iedere combinatie is vervolgens gebruikt om met behulp van de Bretschneider formule de significante golfhoogte en (piek) golfperiode te berekenen. De spectrale golfperiode is benaderd door de piekgolfperiode te delen door 1,1.

Voor locaties waar de bodemhoogte of strijklengte niet met Baseline bepaald kon worden, of waar de waterdiepte of strijklengte 0 zijn, zijn de golfparameters op 0 gezet. Ditzelfde is gedaan voor combinaties waar de waterstand onder de bijbehorende WAQUA bodemhoogte ligt.

2.3 Databases

De waterstanden uit WAQUA en de golven bepaald met de formules van Bretschneider zijn opgeslagen in de 'databases fysica' met waterstanden en golven op de oeverlocaties (HRD-databases). De databases (SQLite-formaat) zijn gemaakt conform het protocol van RWS/Deltares (WBI2017 en OI2014).

De resultaten van de 20 waterstandsberekeningen zijn verwerkt m.b.v. een Python-script in een database (fysica). In de database zijn de waterstandsgegevens op geselecteerde oeverlocaties (zie Figuur 9) langs de dijken rondom de Lob van Gennep opgenomen. Tegelijk met de waterstanden zijn ook de golfcondities op de oeverlocaties aan de databases toegevoegd, via hetzelfde Python-script.



Figuur 9 Geselecteerde oeverlocaties (opgenomen in database)

De WAQUA en Baseline-resultaten zijn eerst verwerkt in twee Excelsheets:

1. LG_HR_waquares2databases-ber2-nova (keringen Maasdal overstroombaar)
2. LG_HR_waquares2databases-ber2-novb (keringen Maasdal niet overstroombaar)

Deze Excelsheets bevatten voor alle 173 locaties voor 16 windrichtingen de gemiddelde bodemhoogte en strijklengte en de met WAQUA berekende maximale waterstanden voor 20 afvoeren. Met een python-script zijn de twee Excelsheets omgezet in twee SQLite-databases.

De doorgerekende afvoergolven en daarmee de strijklengtes bij berekende waterstanden zijn voor de drie zichtjaren gelijk, immers de rivierschematisatie is voor 2023, 2075 en 2125 gelijk verondersteld. In elke database is dus één set advoeren opgenomen. De verschillen in waterstanden bij de zichtjaren worden dus alleen veroorzaakt door in Hydra-NL andere afvoerstatistiek voor de verschillende zichtjaren te gebruiken.

Het resultaat bestaat uit twee gevulde SQLite databases die geschikt zijn voor gebruik in Hydra-NL:

1. 54-1_LobvanGennep_ov_v01 (keringen Maasdal overstroombaar)
2. 54-1_LobvanGennep_nov_v01 (keringen Maasdal niet overstroombaar)

2.3.1 Modelonzekerheden

De database is geconfigureerd als een Maas bovenrivierendatabase. De gebruikte modelonzekerheden in de database zijn de standaard modelonzekerheden voor een Maas bovenrivierendatabase, en zijn te zien in Tabel 1.

Parameter	Mu	Sigma
Waterstand	0,0	0,3
Significante golfhoogte	0,96	0,27
Piek golfperiode	1,03	0,13
Spectrale golfperiode	1,03	0,13

Tabel 2 Gebruikte modelonzekerheden

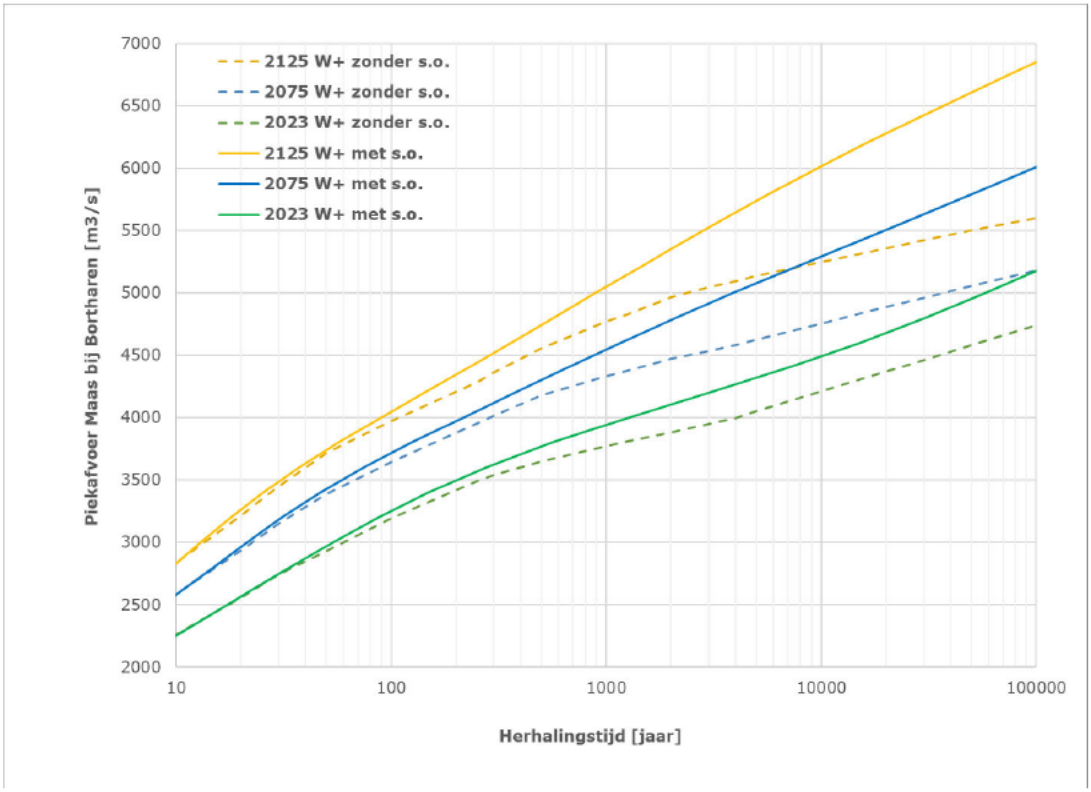
2.3.2 Controle databases

De databases zijn gecontroleerd voor een selectie van locaties, gebruik makend van de meest recente versie van Hydra-NL (2.7.1), een standaardprofiel van 1:3 en een lokale dijknormaal. Globaal om de kilometer is een HBN testberekening uitgevoerd bij een kritiek overslagdebiet van 5 l/s/m, de waterstand bij de norm en de golfhoogte (Hs) bij de norm. De uitkomsten zijn gecontroleerd op onlogische resultaten, zoals bijvoorbeeld sprongen in waterstand en golfhoogten. Er zijn geen onlogische resultaten gevonden. Er was geen aanleiding na controle de database aan te passen.

3 Dijkhoogtebepaling met Hydra-NL

3.1 Afvoerstatistiek

Voor de verschillende zichtjaren (2023, 2075, 2125) is gebruik gemaakt van de meest recente statistiek t.a.v. *afvoeren Borgharen* (bovenrand) en *wind* (richting, snelheid), voor gebruik in Hydra-NL. De afvoerstatistiek is gebaseerd op de meest recente GRADE (Generator of Rainfall and Discharge Extremes) werklijnen bij Borgharen (Deltares 2019). GRADE levert afvoerstatistiek voor 2050 en 2100. Voor de overige zichtjaren is de statistiek hiervan afgeleid, via interpolatie (2075) en extrapolatie (2125). Voor 2023 is de statistiek uit 2015 gehanteerd. De meest recente Maas-afvoerstatistiek (Borgharen) is inclusief overstromingen in Wallonië (ook wel v02), vanaf afvoeren van circa 3.000 m^3/s. Dat betekent dus een lagere werklijn dan zonder deze overstromingen.



Figuur 10 Afvoerstistiek Maas Borgharen, met overstromingen in Wallonië, s.o. = statistische onzekerheid

3.2 Rekeninstellingen ontwerpbelastingen Hydra-NL

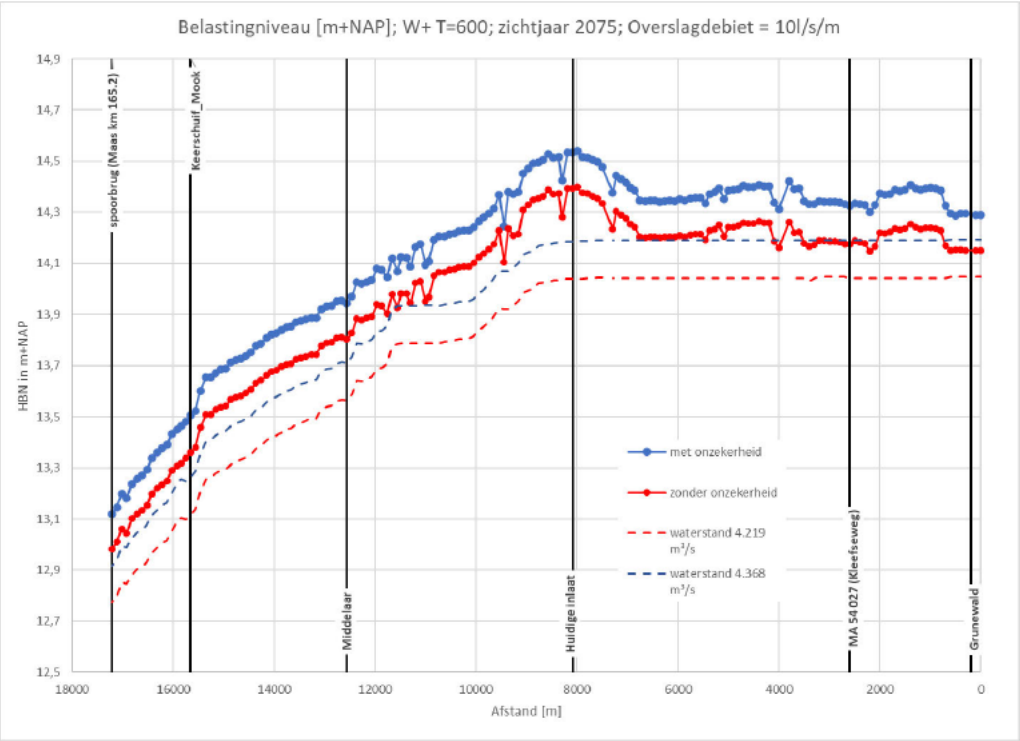
Op basis van de databases fysica (paragraaf 2.3) zijn met behulp van Hydra-NL versie 2.7.1 (testmodus) waterstanden en ontwerpdijkhoogtes ofwel HBN's (faalmechanisme golfoverslag) voor de drie alternatieven bepaald. De HBN's zijn (combinaties van) waterstanden en golven. De berekeningen en hun instellingen zijn hieronder samengevat:

- Statistiek conform paragraaf 3.1.

- Waterstanden met terugkeertijden 300, 600 en 3000 jaar voor de zichtjaren 2023, 2075 en 2125.
- Hydraulische belastingniveaus (HBN's) voor faalmechanisme golfoverslag met kritieke overslagdebieten 5, 10 en 50 l/s/m bij de terugkeertijden 600 en 3000 jaar. Voor de dwarsprofielen is gebruik gemaakt van een standaardtalud van 1:3 en de dijknormaal is op basis van een eenvoudige GIS analyse bepaald.
- Alle Hydra-NL berekeningen zijn met en zonder statistische onzekerheden uitgevoerd.
- In alle berekeningen zijn modelonzekerheden voor waterstanden en golven meegenomen.

3.3 Controle werking Hydra-NL en databases

De werking van Hydra-NL en de databases is al globaal gecontrolleerd na het maken van de databases. Alvorens aan de productie van de belastingen op de dijken te beginnen is dat nogmaal gedaan, nu door alle uitvoerpunten te beschouwen.



Figuur 11 Controle HBN van de dijken rondom de Lob van Gennep

Figuur 11 wekt vertrouwen. Het verloop van het HBN is logisch. Aan de oostzijde is het verloop horizontaal, hier is vooral sprake van berging. Aan de westzijde volgt het verloop het verhang van de rivier. De controleresultaten zijn opgenomen in de volgende bestanden:

Bestanden

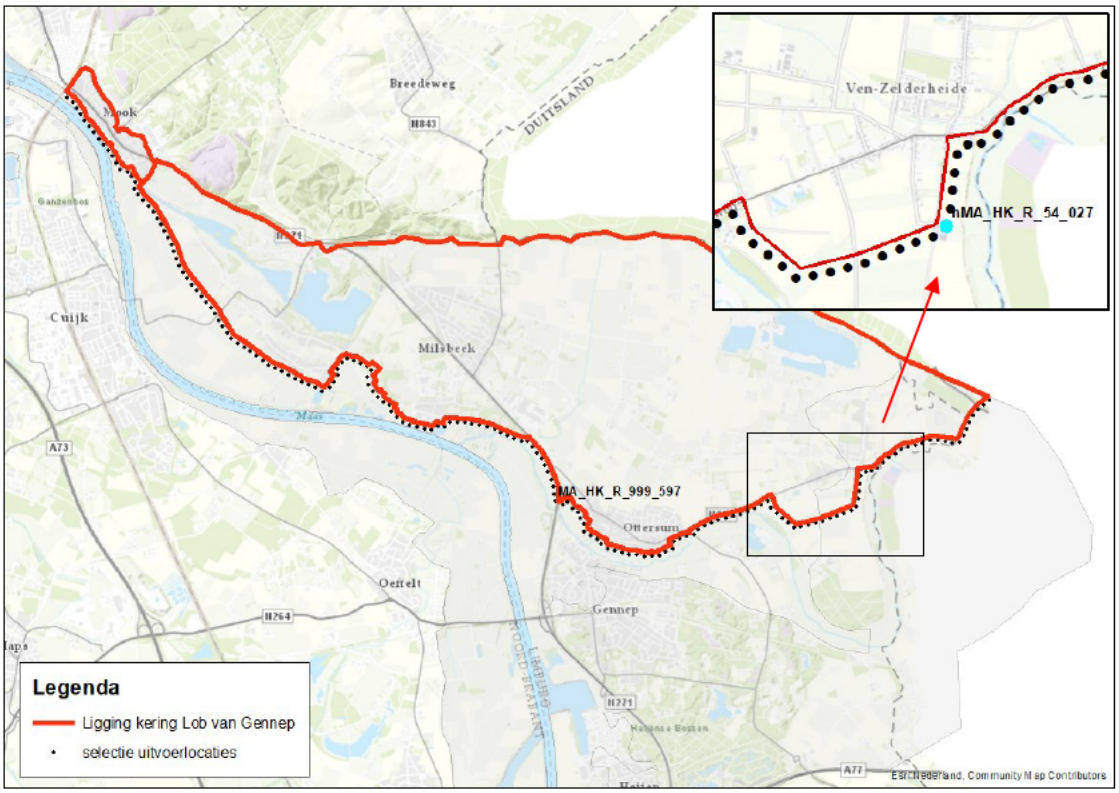
Controle Hydra-NL.rar

Dit archief bevat twee bestanden:

1. Grafieken_langsprofielen.xlsx - Grafiek van waterstand en HBN over de loop van de rivier.
2. Grafieken.xlsx - Grafieken van Waterstand en HBN voor 1 locatie.

3.4 HBN en waterstandsberekeningen

We illustreren de resultaten van de Hydra-NL berekeningen aan de hand van de oeverlocatie nMA_HK_R_54_027, die ter hoogte van de Kleefseweg ligt (zie Figuur 12). Figuur 13 toont de waterstand in zichtjaar 2075 als functie van de terugkeertijd. De waterstand met statistische onzekerheid is tussen 0,1 en 0,25 m hoger dan de waterstand zonder statistische onzekerheid. Het verschil neemt toe naarmate de terugkeertijd toeneemt. Dit is goed te verklaren door de verschillen in afvoerstatistiek met en zonder statistische onzekerheden zoals in Figuur 10 weergegeven (zie paragraaf 3.1).

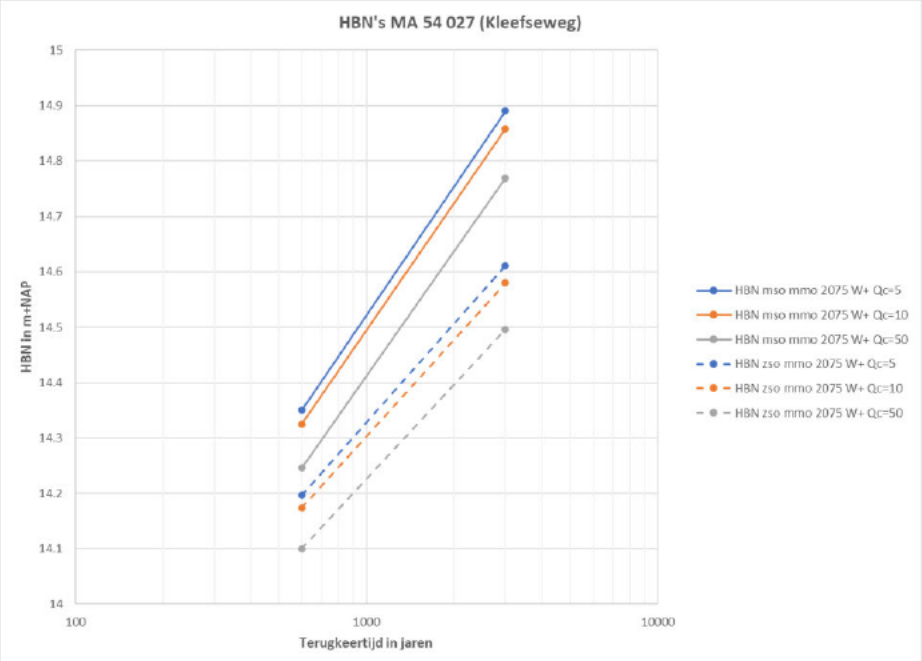


Figuur 12 Ligging van oeverlocatie nMA_HK_R_54_027, ter hoogte van de Kleefseweg



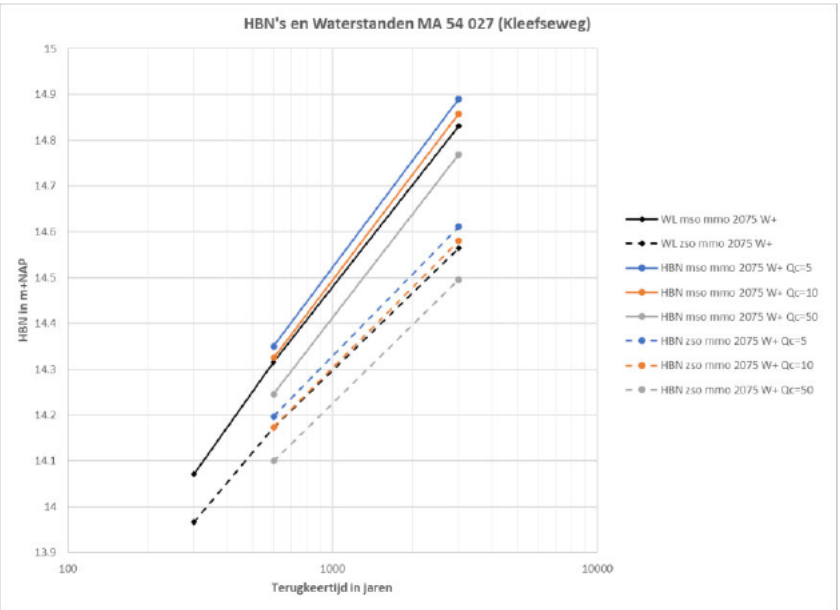
Figuur 13 Waterstanden locatie Kleefseweg met (blauw) en zonder (oranje) statistische onzekerheid

In Figuur 14 zijn de HBN's met en zonder statistische onzekerheid voor verschillende kritieke overslagdebieten als functie van de terugkeertijd weergegeven. De waarden met statistische onzekerheden liggen orde 0,15m (T=600 jaar) resp. 0,25m (T=3000 jaar) hoger dan de waarden zonder statistische onzekerheid. Het verschil neemt toe naarmate de terugkeertijd toeneemt. Dit is goed te verklaren door de verschillen in afvoerstatistiek met en zonder statistische onzekerheden zoals in Figuur 10 weergegeven. De HBN's nemen toe als het kritieke overslagdebiet daalt. Dat is overeenkomstig de verwachtingen.



Figuur 14 Berekende HBN's voor de locatie Kleefseweg. Berekeningen met (doorgetrokken lijn) en zonder (onderbroken lijn) statistische onzekerheid. HBN's voor 3 kritieke overslagdebieten: 5, 10 en 50 l/s/m.

In Figuur 15 zijn de waterstanden en HBN's samen gepresenteerd. De HBN's met kritiek overslagdebiet 50 l/s/m zijn lager dan de waterstanden. In feite zijn de HBN berekeningen bij dit overslagdebiet overloopberekeningen. Golven spelen een beperkte rol op (dit deel van) de Maas. Op basis van de volledige overlaatformule is berekend dat een verschil van 0,09 m tussen dijkhoogte en waterstand leidt tot een overloop van orde 50 l/s/m. Het verschil tussen de waterstanden en de HBN's met kritiek overslagdebiet van 50 l/s/m is in de grafieken iets kleiner dan 0,09 m, wat er op wijst dat golven (toch) een beperkte bijdrage leveren aan het debiet over de kering.



Figuur 15 Rekenresultaten waterstanden en HBN's voor de locatie Kleefseweg. Berekeningen met (doorgetrokken lijn) en zonder (onderbroken lijn) statistische onzekerheid. HBN's voor 3 kritieke overslagdebieten.

3.5 Samenvatting resultaten

3.5.1 Invloed zichtjaar

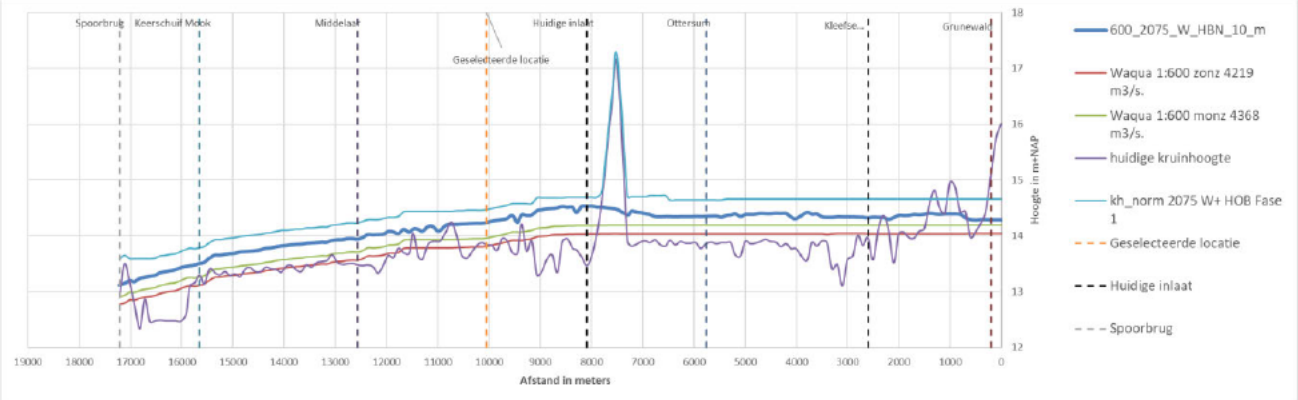
In Figuur 16 is het dashboard (Bijlage Bouwstenentool Ontwerpbelastingen Lob van Gennep v2.0.xlsx) getoond waarmee voor alle locaties alle berekeningensresultaten per uitvoerlocatie in tabelvorm kunnen worden getoond. De resultaten voor alle locaties zijn daarnaast ook in een langsgrafiek zoals in Figuur 17 gepresenteerd. Hiermee is het verschil inzichtelijk gemaakt tussen een berekende waterstand of HBN en de actuele kruinhoogte of een eerder berekende kruinhoogte. Het dashboard en de bijbehorende grafiek is gebruikt om een besluit te nemen over de daadwerkelijke dijkhoogte voor alternatief 1 (en daarmee 2).

In Figuur 17 is het berekende HBN met een terugkeertijd van 600 jaar (T600) weergegeven voor het zichtjaar 2075 (klimaatscenario W+, kritiek overslagdebiet 10 l/s/m, inclusief statistische onzekerheden). Het HBN (donkerblauwe lijn '600_2075_W_HBN_10_m') is overal ongeveer 0,25 m lager dan de kruinhoogte die eerder is bepaald met het HOB Fase 1 model (lichtblauwe lijn ''kh_norm 2075 W+ HOB Fase 1').

Keuzes:	
Locatie	nMA_HK_R_54_027
Terugkeertijd (T, jaar)	600
Klimaatscenario	W
Belastingsituatie	HBN
Overslagdebiet	10
Statistische onzekerheid (met/zonder)	m
Zichtjaar	2075

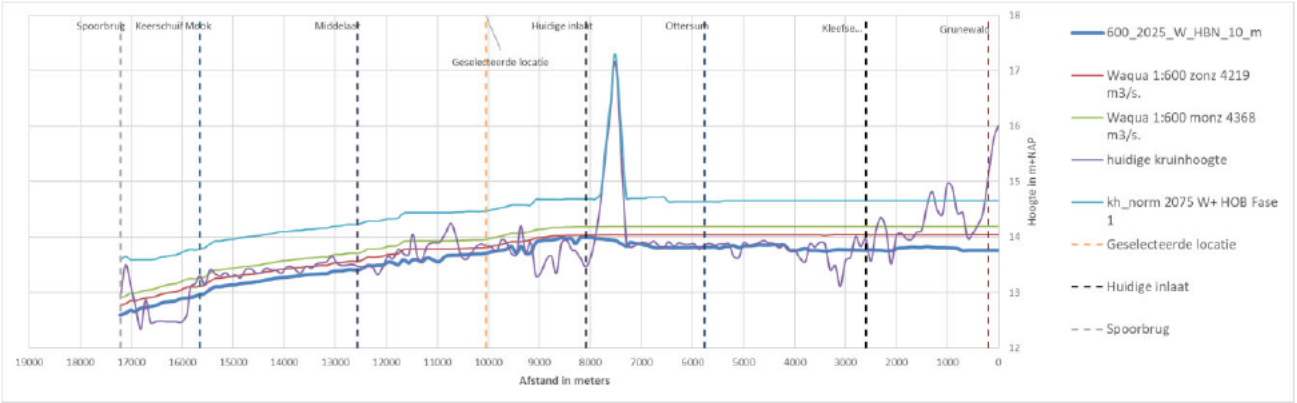
Locatie	nMA_HK_R_54_027
Huidige Kruinhoogte [NAP+m]	13.97
Berekende waterstand/HBN [NAP+m]	14.33
Hoogte opgave [m]	0.35

Figuur 16 Dashboard ontwerpdijkhoogte. Links de gekozen rekeninstellingen voor locatie Kleefseweg. Rechts de huidige kruinhoogte en de opgave voor zichtjaar 2075 in scenario W+ (gebaseerd op het HBN bij een kritiek overslagdebiet van 10 l/s/m en een terugkeertijd van 600 jaar).



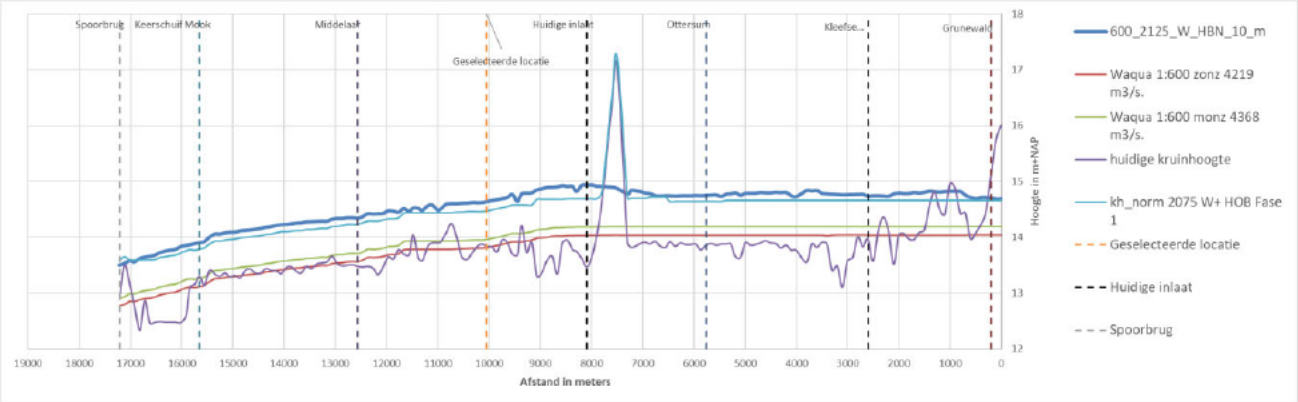
Figuur 17 Langsgrafiek van het 1/600e HBN bij een kritiek golfoverslagdebiet van 10 l/s/m (dikke blauwe lijn), de 1/600e waterstand met (groen) en zonder (rood) statistische onzekerheid, de huidige kruinhoogte (paars) en de kruinhoogte die uit HOB fase 1 volgt (lichtblauwe dunne lijn).

In Figuur 18 is het berekende HBN weergegeven bij T600, in het jaar 2023 (W+, 10 l/s/m, inclusief statistische onzekerheden). Het HBN ligt in dat geval vrijwel overal onder de huidige aanwezige kruinhoogte (paarse lijn).



Figuur 18 Langsgrafiek van het 1/600e HBN bij een kritiek golfoverslagdebiet van 10 l/s/m, zichtjaar 2023.

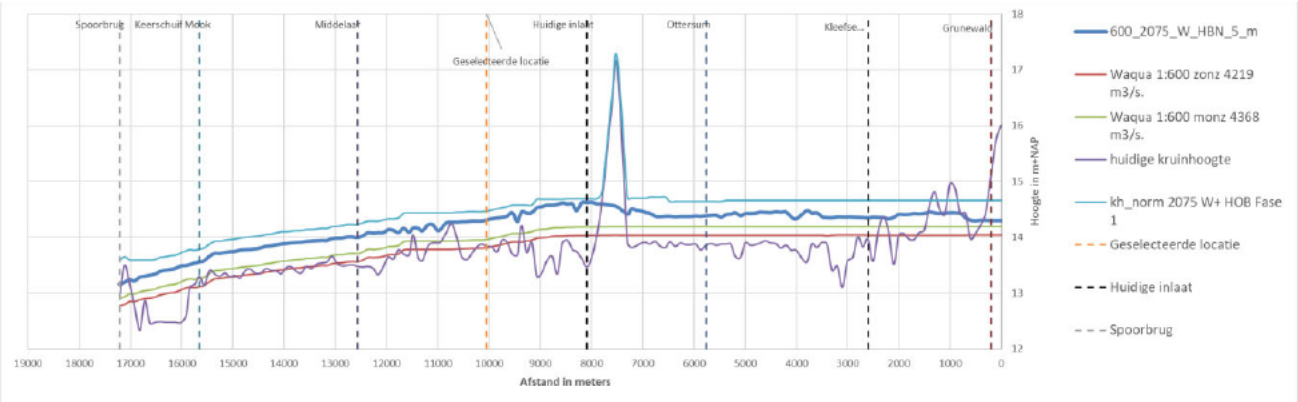
Wanneer we het zichtjaar nog verder in de toekomst kiezen (2125), komen de berekende HBN's vanzelfsprekend hoger te liggen, zoals is te zien in Figuur 19. De dijken zouden bij deze ontwerphorizon ongeveer een meter omhoog moeten.



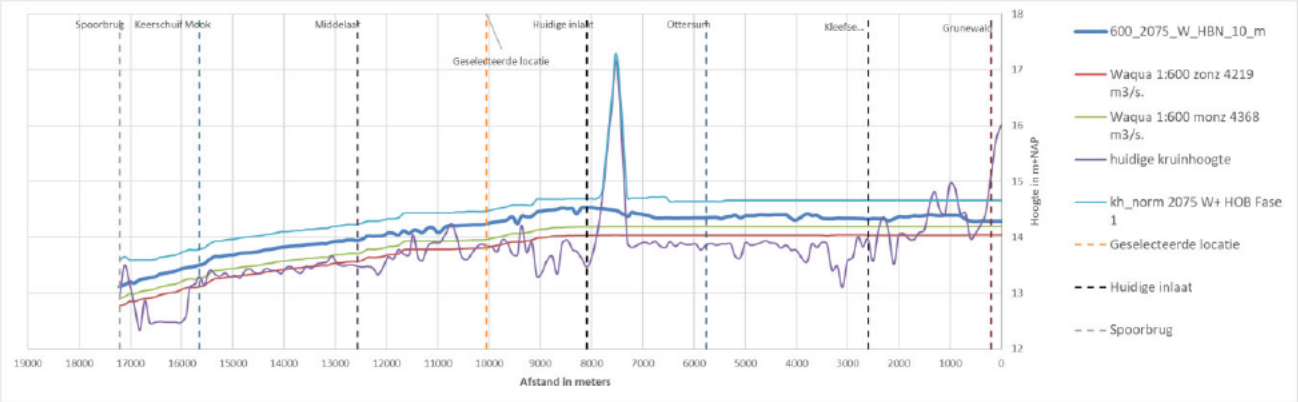
Figuur 19 Langsgrafiek van het 1/600e HBN bij een kritiek golfoverslagdebiet van 10 l/s/m, zichtjaar 2125

3.5.2 Invloed kritisch overslagdebiet

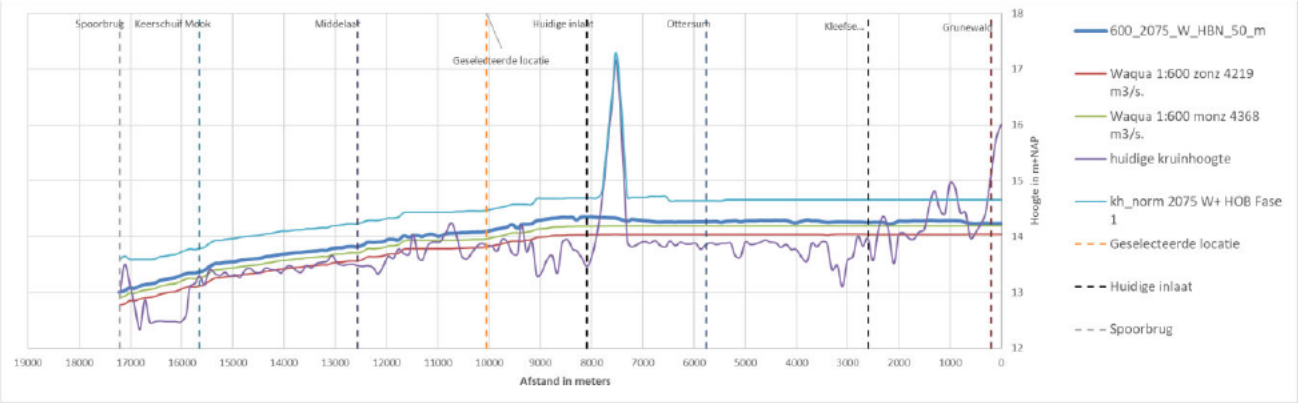
Wanneer golven een belangrijke rol spelen is de keuze voor het kritisch overslagdebiet van belang als althans conform OI2014v4 semi-probabilistisch gerekend wordt. Bij een volledig probabilistische GEKB berekening is de graskwaliteit (sterkte) namelijk stochast en hoeft er geen keuze voor het overslagdebiet te worden gemaakt. We rekenen hier echter met Hydra-NL en dus een kritisch overslagdebiet. Hoe hoger het (toegestane) kritische overslagdebiet, hoe lager de benodigde kruinhoogte. Deze keuze leidt over het algemeen echter tot aanvullende maatregelen aan het binnentalud, aangezien dat zwaarder belast wordt. In de volgende drie figuren is een langsgrafiek opgenomen voor respectievelijk 5, 10 en 50 l/s/m. Het resultaat van de berekeningen met 50 l/s/m komt overeen met een overloopsituatie. De gepresenteerde resultaten zijn met klimaatscenario W+, zichtjaar 2075, met statistische onzekerheid en voor T600.



Figuur 20 Langsgrafiek van het 1/600e HBN bij een kritiek golfoverslagdebiet van 5 l/s/m, zichtjaar 2075



Figuur 21 Langsgrafiek van het 1/600e HBN bij een kritiek golfoverslagdebiet van 10 l/s/m, zichtjaar 2075

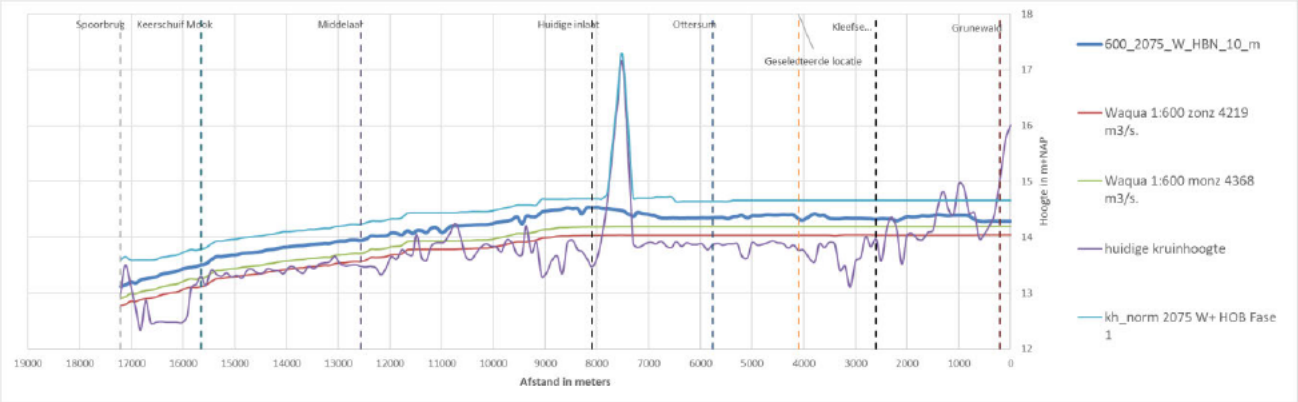


Figuur 22 Langsgrafiek van het 1/600e HBN bij een kritiek golfoverslagdebiet van 50 l/s/m, zichtjaar 2075

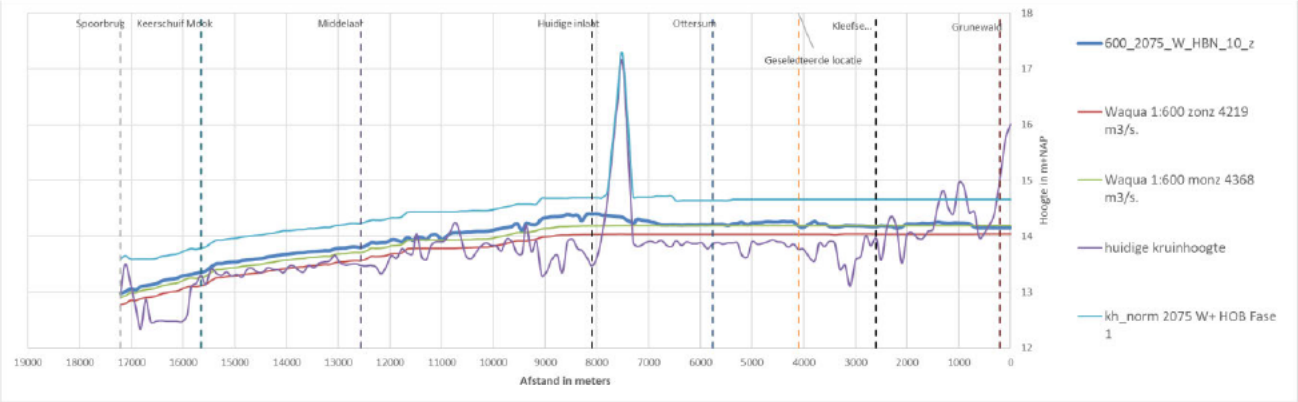
Bij 5 l/s/m is de hoogteopgave gemiddeld orde 50 cm, met lokaal een hogere of juist lagere opgave. Bij 10 l/s/m ligt het tekort iets lager, orde 45 cm. Bij 50 l/s/m is het weer enkele cm's lager (orde 40 cm). De conclusie die hieruit kan worden getrokken is, dat golven slechts een beperkte rol spelen bij de dijken rondom de Lob van Gennep.

3.5.3 Invloed statistische onzekerheid

Hoeveel Maaswater er bij Borgharen het land binnenkomt in extreme situaties is erg onzeker. Deze (met name kennis-) onzekerheden kunnen worden verdisconteerd door ze 'uit te integreren' in de werklijn van de afvoer, zoals is weergegeven in Figuur 10. Door vervolgens te rekenen mét en zonder onzekerheden wordt het effect van deze onzekerheden op de benodigde dijkhoogte inzichtelijk. Eerder is binnen het project Lob van Gennep gerekend met een onzekerheidstoeslag achteraf van 30 cm. Nu is de onzekerheid rechtstreeks in de HBN berekeningen meegenomen.



Figuur 23 Langsgrafiek van het 1/600e HBN bij een kritiek golfoverslagdebiet van 10 l/s/m, zichtjaar 2075, met statistische onzekerheden

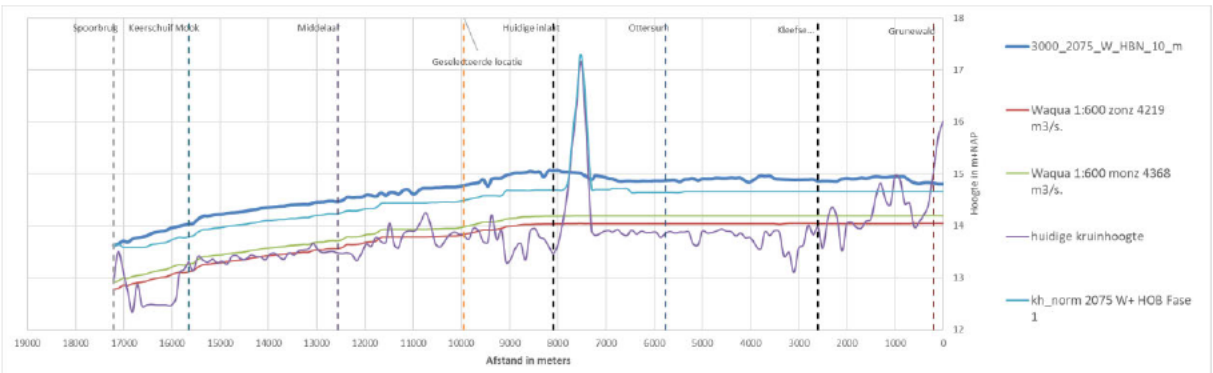


Figuur 24 Langsgrafiek van het 1/600e HBN bij een kritiek golfoverslagdebiet van 10 l/s/m, zichtjaar 2075, zonder statistische onzekerheden

De invloed van statistische onzekerheid op de benodigde kruinhoogte langs de Lob van Gennep, bij T600 in zichtjaar 2075 bedraagt orde 15 cm.

3.5.4 Invloed verschillende terugkeertijden (eisen)

Voor alternatief 3 is gerekend met een eis van 1/3000e voor het HBN, een stuk strenger dan de 1/600e voor alternatief 1 (en 2). Deze strenge eis betreft een keuze van het waterschap, met als doel een zekere mate van standzekerheid te bereiken. Het resultaat is logischerwijs een hogere benodigde kruin, zoals is het zien in Figuur 25.



Figuur 25 Langsgrafiek van het 1/3000e HBN bij een kritiek golfoverslagdebiet van 10 l/s/m, zichtjaar 2075, met statistische onzekerheden

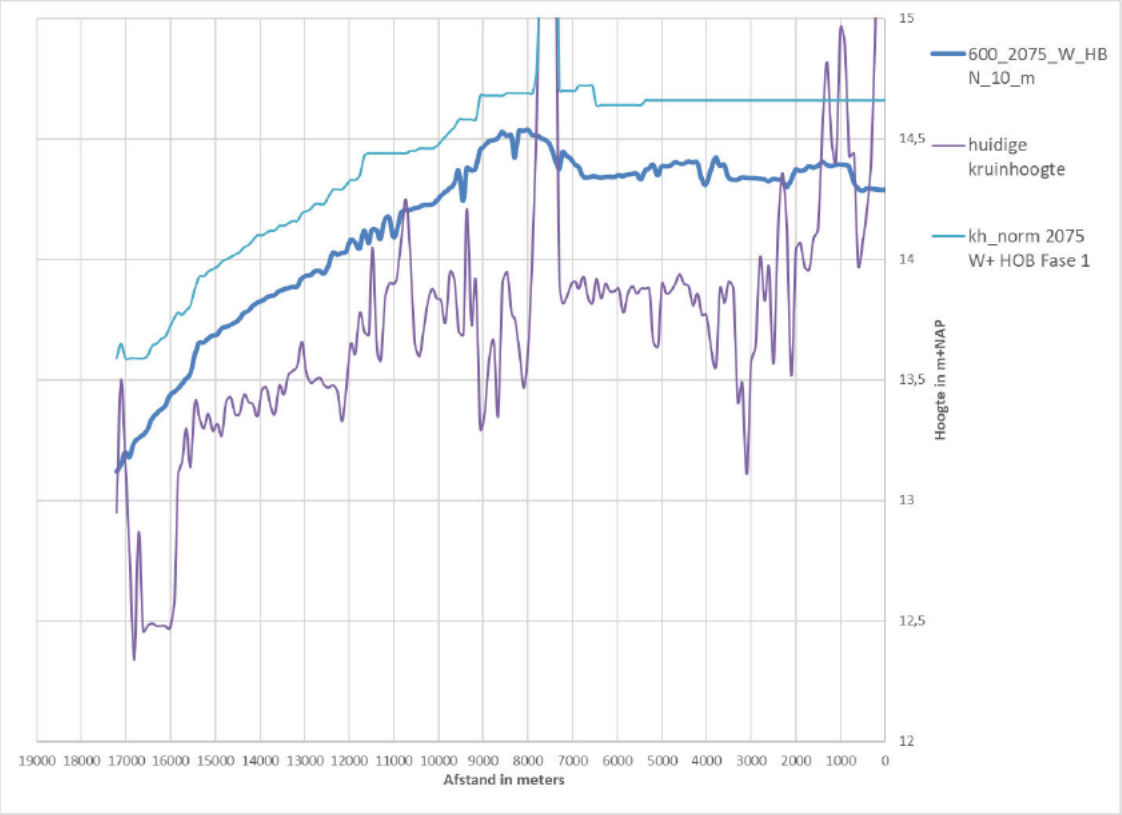
De dijk moet bij een dergelijke eis ongeveer een meter omhoog.

3.6 Ontwerpkeuze kruinhoogte

Op basis van voorgaande paragrafen is in overleg met Waterschap Limburg gekozen voor de volgende combinatie van ontwerpkeuzes voor de kruinhoogte van alternatief 1 en 2:

- Terugkeertijd: T600.
- Zichtjaar: 2075
- Kritisch overslagdebiet: 10 l/s/m
- Statistische onzekerheden meenemen: ja
- Klimaatscenario: W+ (rekenresultaten voor klimaatscenario G zijn beschikbaar).

De kruinhoogten die hieruit volgen, bij T600, zijn gebruikt om het Baseline/WAQUA model aan te passen. Zie Figuur 26.



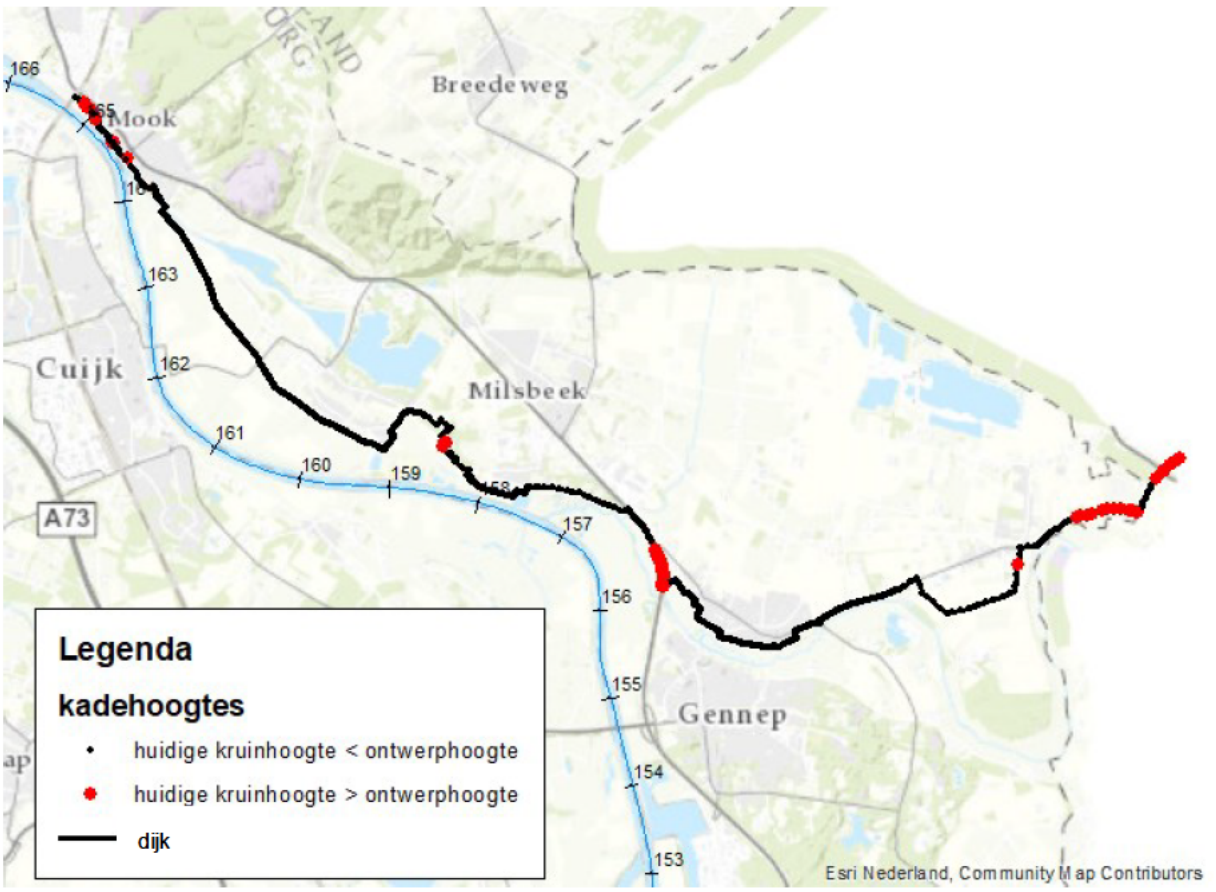
Figuur 26 Langsgrafiek van het 1/600e HBN bij een kritiek golfoverslagdebiet van 10 l/s/m, zichtjaar 2075, met statistische onzekerheden. Aangepaste vertikale schaal.

4 Stroomsnelheden over de dijken rondom de Lob van Gennep

4.1 WAQUA berekeningen

De Baseline-schematisering van Alternatief 1 is aangepast op basis van de dijkhoogtes die bepaald zijn met Hydra-NL (paragraaf 3.6) en daarna is een nieuwe set van WAQUA-berekeningen gemaakt ditmaal met als doel de stroomsnelheden over de dijken rondom de Lob van Gennep te bepalen (bepaling van de belasting op het binnentalud door instromend water).

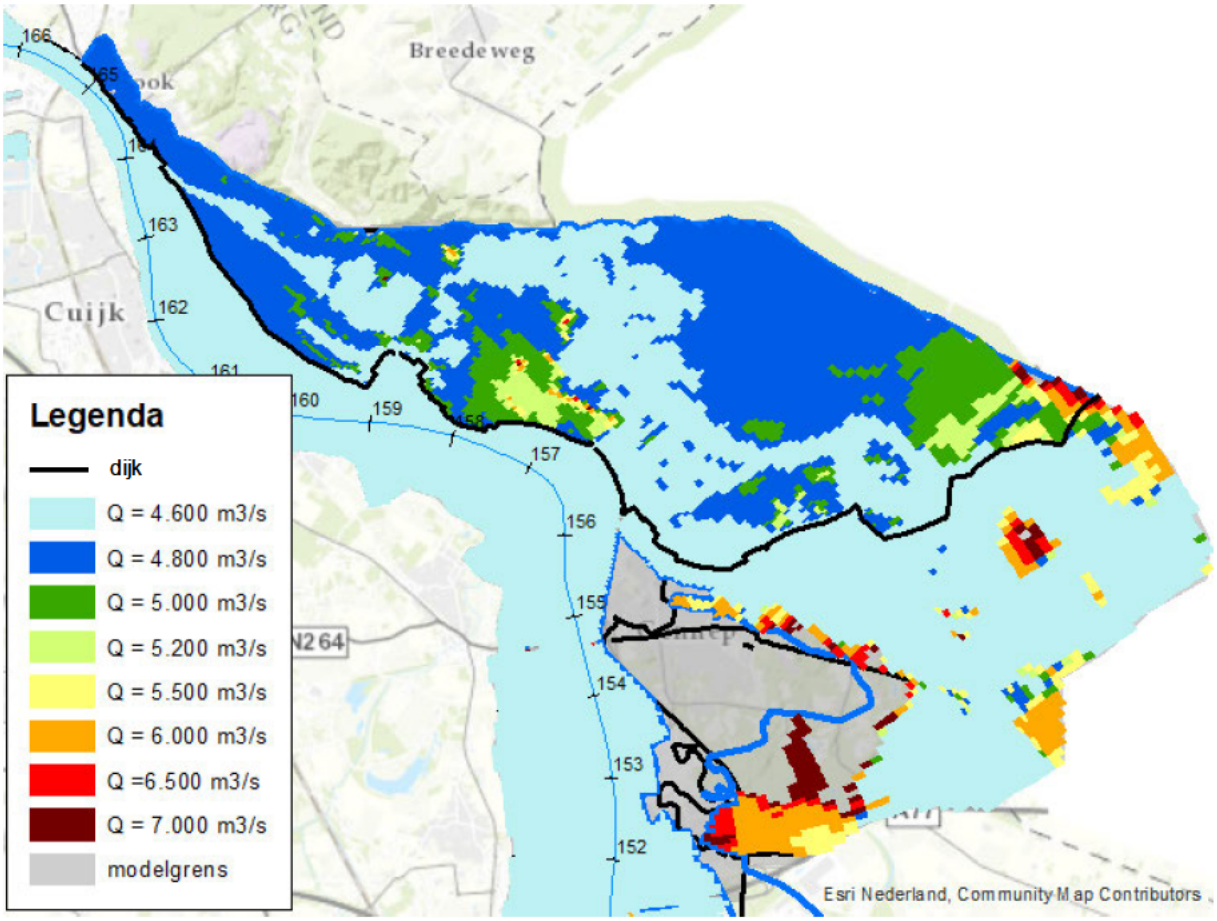
In de nieuwe Baseline-schematisering zijn de dijken verhoogd waar nodig is. Figuur 27 geeft met de rode punten aan waar geen verhoging plaatsvindt omdat de huidige dijk hoger is dan het berekende HBN. Bij de andere locaties, afgebeeld in zwart zijn de huidige kruinhoogtes lager dan de ontwerphoogte. Hier is dus verhoging van dijken nodig.



Figuur 27 Locaties waar de dijk verhoogd moet worden (rode punten)

In Figuur 28 is het overstroomd gebied uit de WAQUA-berekeningen met de hoge afvoeren (vanaf 4.600 m³/s) getoond. De overstromingskaart laat zien dat de dijk bij een afvoer van 4.600 m³/s op

enkele plekken overloopt. Bij afvoeren vanaf 5.200 m³/s komt nagenoeg het gehele gebied onder water te staan.

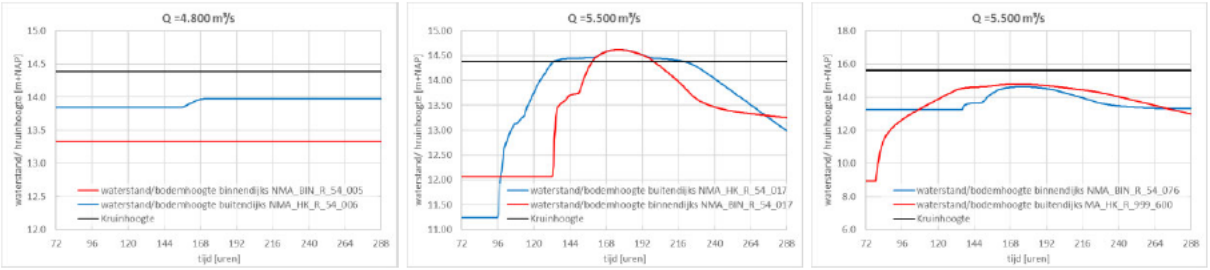


Figuur 28 Overstroomd gebied Alternatief 1 bij verschillende Maasafvoeren

4.2 Berekende stroomsnelheden

Met de WAQUA-resultaten zijn, voor elke afvoer, de stroomsnelheden op de kruin van de dijken bepaald. Hiervoor gebruiken we overlaatformules, zoals beschreven in de uitgangspuntennotitie ([redacted], 2020). Figuur 29 geeft het verloop van de waterstanden binnen en buitendijks in verschillende situaties weer, die, samen met de kruinhoogte de basis formen voor de berekeningen. Zoals de figuur laat zien, kunnen verschillende situaties optreden, onder andere:

- Kruinhoogte is hoger dan de maximale waterstand binnen- en buitendijks en er staat geen water tegen het binnentalud van de dijk (figuur links).
- Kruinhoogte is lager dan de maximale waterstand buitendijks. Er is overloop en de waterstand binnendijks is op een gegeven moment gelijk aan de waterstand buitendijks (figuur midden).
- Kruinhoogte is hoger dan de maximale waterstand binnen- en buitendijks. Er staat water tegen het buitentalud van de dijk maar er vindt geen overloop plaats (figuur rechts).



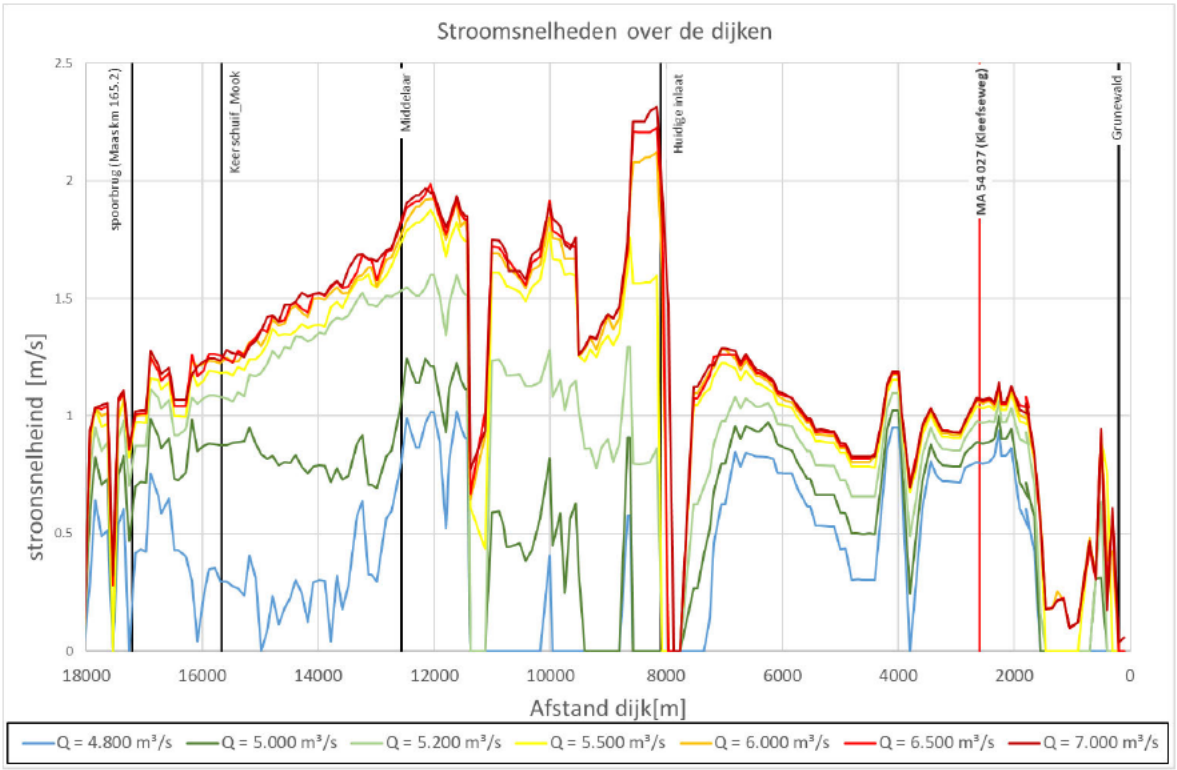
Figuur 29 Voorbeelden van het verloop in tijd van de waterstanden in drie situaties

Alleen in middelste figuur (situatie waarbij de kruinhoogte lager is dan de maximale waterstand buitendijks) is er sprake van overstromen en dus van snelheden over de dijk.

Voor iedere uitvoerlocatie is het verloop in tijd van de snelheid op de kruin van de dijk bepaald (op basis van de waterstanden, kruinhoogte en de energiehoogtes). De methode is beschreven in de uitgangspuntennotitie en komt erop neer dat de binnendijkse en buitendijkse waterstanden die door WAQUA als functie van de tijd zijn weggeschreven worden gebruikt als invoer voor overlaatformules. Gecontrolleerd wordt of sprake is van een volkomen of een onvolkomen overlaat. De mogelijk situatie waarbij er stroming van binnendijks naar buitendijks optreed (bij het uitstromen) is niet het meest kritisch situatie voor de dijkstabiliteit en daarom niet beschouwd in de analyse. Uit de snelheid als functie van de tijd zijn de maximale snelheden per locatie en per hoogwatergolf bepaald.

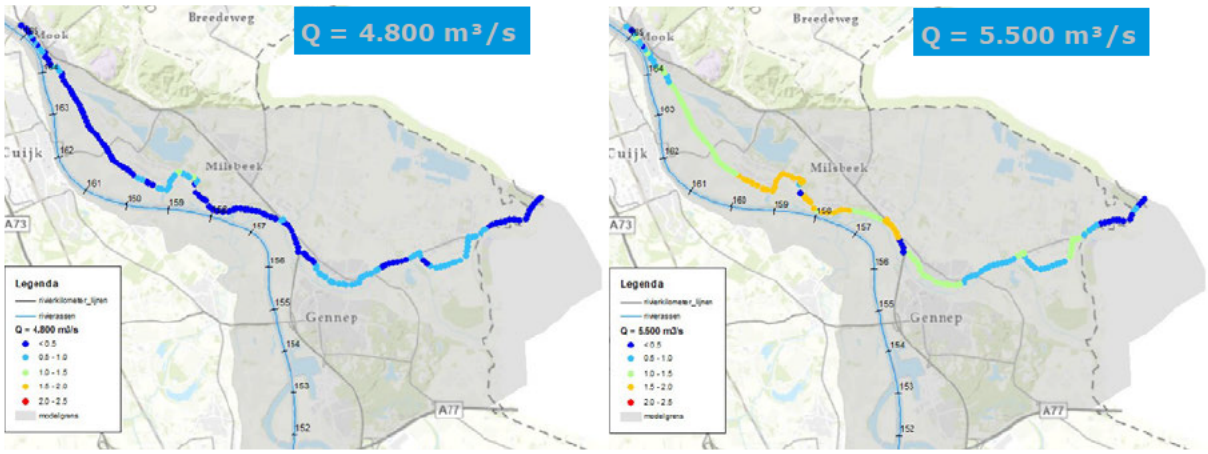
De berekende stroomsnelheden *op de kruin van de dijk* voor alle afvoeren zijn weergegeven in de vorm van een langsprofiel in Figuur 30. Hier is te zien dat voor afvoeren t/m 5.000 m^3/s de snelheden bijna overal maximaal ca. 1 m/s bedragen. Bij extreem hoge afvoeren, met hoger waterdieptes buitendijks, kunnen de stroomsnelheden oplopen tot 2,3 m/s.

Let wel, indien er sprake is van een volkomen overlaatsituatie, schiet het water over het binnentalud en kunnen de snelheden hoger zijn. Aanbevolen wordt om hier in het ontwerp rekening mee te houden.



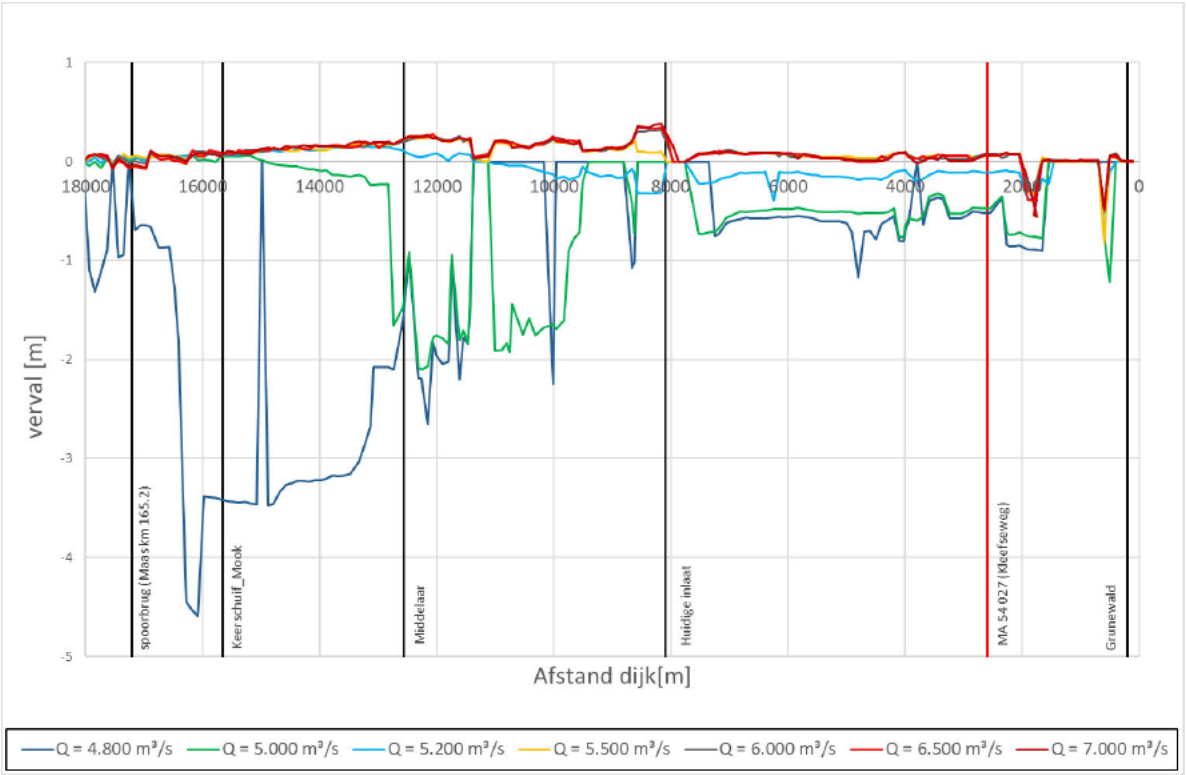
Figuur 30 Langsgrafiek (van Oost naar West) van de maximale stroomsnelheden op de kruin van de dijken bij verschillende afvoeren

Figuur 31 geeft een kaart weer met de ligging van de dijk bij Lob van Gennep en de berekende maximale snelheden op de kruin van de dijk bij afvoeren van 4.800 en 5.500 m³/s.



Figuur 31 Stroomsnelheden over de dijken bij afvoeren van 4.800 (links) en 5.500 m³/s (rechts)

Om een indicatie te geven de belastende condities op het binnentalud van de dijken is ook het verval over de dijk op moment van de maximale stroomsnelheden bepaald. De resulaten zijn in Figuur 32 te zien. Het verval is weergegeven als het verschil tussen de waterstand binnendijks en de kruinhoogte. Negatieve waardes betekenen dat het water binnnendijks lager is dan de kruingoogte, bij positieve waardes staat het water binnendijks hoger dan de kruin (onvolkomen overlaat). Tussen de spoorbrug en Middelaar treden de hoogste vervallen op die variëren tussen 2 en 4,5 m bij de laagste afvoer van 4.800 m³/s. Bij afvoer van 5.000 m³/s is het verval maximaal 2 m en bij de andere afvoeren kleiner dan 0,5 m.



Figuur 32 Langsgrafiek (van Oost naar West) van het binnendijks verval tijdens de maximale stroomsnelheden op de kruin van de dijken bij verschillende afvoeren.

De stroomsnelheden op de kruin van de dijk en het verval over de dijk tijdens deze maximale stroomsnelheden zijn in de Bijlage A - Digitaal dossier in een excel bestand toegevoegd.

5 Ontwerpbelastingen diverse faalmechanismen

5.1 Overzichtstabel

Naast de in hoofdstuk 3 toegelichte berekende kruinhoogtes zijn ook ontwerpbelastingen voor andere faalmechanismen berekend. Tabel 3 vat de specificaties voor deze ontwerpbelastingen samen. De tabel is uitgesplitst naar alternatief 1&2 en alternatief 3. De ontwerpnorm op trajectniveau is voor alternatief 1&2 gelijk aan 1/300e en voor alternatief 3 is deze gelijk aan 1/3.000e per jaar. Deze ontwerpnormen zijn gebruikt om de ontwerpbelastingen voor andere faalmechanismen te bepalen. Voor sommige mechanismen is de eis gelijk aan de trajectnorm. Voor andere geldt een doorsnede-eis, die afgeleid moet worden van de trajectnorm. De berekening van de doorsnede-eisen gebeurt op basis van de faalkansverdelingen die Waterschap Limburg (Technische uitgangspunten ruimtebeslag LvG, RHDHV juni 2020) heeft vastgesteld voor alternatief 1&2 en alternatief 3 (zie Figuur 33 en Figuur 34). Dit is in paragraaf 5.2 per faalmechanisme nader toegelicht.

Faalmechanisme	Alternatief 1&2, eis	Alternatief 3, eis
Hoogte, GEKB	HBN bij de norm: 1/600e	HBN bij de aangepaste norm: 1/3.000e
Piping, STPH	Waterstand bij de norm: 1/300e	Waterstand bij de aangepaste norm: 1/3.000e
Macrostabiliteit binnenwaarts, STBI	Waterstand bij de norm: 1/300e Overslagdebiet bij de norm	Waterstand bij de aangepaste norm: 1/3.000e Overslagdebiet bij de aangepaste norm: 1/3.000e
Macrostabiliteit buitenwaarts, STBU	Waterstand bij de norm: 1/300e	Waterstand bij de aangepaste norm: 1/3.000e
Microstabiliteit, STMI	Waterstand bij de norm: 1/300e Overslagdebiet bij de norm	Waterstand bij de aangepaste norm: 1/3.000e Overslagdebiet bij de aangepaste norm: 1/3.000e
GEBU, grasbekleding erosie buitentalud	Golfcondities bekledingen (Q-variant) bij een frequentie van 9E-05 per jaar (gebaseerd op verschoven faalkansverdeling ω=0,06)	Golfcondities bekledingen (Q-variant) bij een frequentie van 4,5E-05 per jaar (gebaseerd op verschoven faalkansverdeling ω=0,03)
GABU, grasbekleding afschuiven buitentalud	Afhankelijk van de ligging van de grasbekleding: i) significante golfhoogte bij de norm (marginale statistiek) of ii) Toets op Maat: golfcondities bekledingen bij de norm	Afhankelijk van de ligging van de grasbekleding: i) sign. golfhoogte bij de aangepaste norm (marginale statistiek) of ii) Toets op Maat:

		golfcondities bekledingen bij de aangepaste norm
GABI, grasbekleding afschuiven binnentalud	Waterstand bij de norm Overslagdebiet bij de norm (1/300e) en de significante golfhoogte in het illustratiepunt	Waterstand bij de norm Overslagdebiet bij de norm (1/3.000e) en de significante golfhoogte in het illustratiepunt

Tabel 3 Specifiaties ontwerpbelastingen voor alle faalmechanismen

Type waterkering	Faalmechanisme	$\omega_{standaard}$	$\omega_{verschoven}$
Dijk	Overloop en golfoverslag	0,24	0,50
	Opbarsten en Piping	0,24	0,04
	Macrostabiliteit binnenwaarts	0,04	0,02
	Beschadiging bekleding en erosie	0,10	0,06
Kunstwerk		0,08	0,08
Overig		0,30	0,30
	Totaal:	1,00	1,00

Figuur 33 Aangepaste faalkansverdeling Alternatief 1 en 2. (bron: tabel 2.2 Technische uitgangspunten ruimtebeslag LvG, RHDHV juni 2020)

Tabel 3-4 Verschoven faalkansruimteverdeling t.b.v. betrouwbaarheidseis alternatief VD-W

Type waterkering	Faalmechanisme	$\omega_{standaard}$	$\omega_{verschoven}$
Dijk	Overloop en golfoverslag	0,24	n.v.t.
	Opbarsten en Piping	0,24	0,02
	Macrostabiliteit binnenwaarts	0,04	0,01
	Beschadiging bekleding en erosie	0,10	0,03
Kunstwerk		0,08	0,04
Overig		0,30	n.v.t.
Overstroming als gevolg van openen waterkerende instroomvoorziening (kans 1/3.000 per jaar)		n.v.t.	0,90

Figuur 34 Aangepaste faalkansverdeling Alternatief 3. (bron: tabel 3-4 Technische uitgangspunten ruimtebeslag LvG, RHDHV juni 2020)

5.2 Berekeningen en resultaten

Tenzij anders vermeld zijn alle berekeningen met Hydra-NL versie 2.7.1 uitgevoerd. Hierbij is het uitgangspunt het zichtjaar 2075 met klimaatscenario W+. De berekeningen zijn met modelonzekerheden in waterstand en golfparameters uitgevoerd. De berekeningen zijn in de basis uitgevoerd met statistische onzekerheden in de afvoer- en windstatistiek. Voor vergelijkingen en gevoeligheidsanalyses zijn bepaalde berekeningen uitgevoerd zonder statistische onzekerheden (in de afvoer- en windstatistiek). Voor de berekeningen van hydraulische belastingniveaus (HBN's) is met een standaard 1:3 dwarsprofiel gerekend. Voor de berekening van het golfoverslagdebiet is met twee kruinhoogtes gerekend: de huidige werkelijke kruinhoogte en de ontwerpkruinhoogte die volgt uit de HBN berekening met een terugkeertijd van 3.000 jaar bij een kritiek overslagdebiet van 10 l/s/m (zie paragraaf 5.2.3).

5.2.1 Waterstand bij de norm

De waterstand bij de norm is relevant voor de faalmechanismen GEKB (zie paragraaf 3.4), STPH, STBI, STBU, STMI en GABI. De waterstanden zijn berekend voor de frequenties 1/300^{e}, 1/600^{e} en 1/3.000^{e}. De frequentie 1/300^{e} is relevant voor alternatief 1&2. De frequentie 1/3.000^{e} is relevant voor alternatief 3. De waterstanden zijn zowel met als zonder statistische onzekerheden berekend. De berekening met statistische onzekerheden is conform het OI2014. De resultaten zijn in paragraaf 3.4 toegelicht.

De berekende waterstanden zijn verzameld in de onderstaande overzichtsbestanden.

Resultaatbestanden

- WL_monz.xlsx: waterstanden bij de norm, met modelonzekerheden, met statistische onzekerheden, bij 3 terugkeertijden (300, 600 en 3.000 jaar)
- WL_zso_mmonz.xlsx: waterstanden bij de norm, met modelonzekerheden, zonder statistische onzekerheden, bij 3 terugkeertijden (300, 600 en 3.000 jaar)

Resultaatbeschrijving

Voor een beschrijving van de resultaten wordt naar paragraaf 3.4 en 3.5 verwezen.

5.2.2 GEKB: HBN berekeningen

Ten behoeve van het faalmechanisme GEKB (overloop en golfoverslag) zijn hydraulische belastingniveaus (HBN's) berekend bij de terugkeertijden 600 en 3.000 jaar. De berekeningen zijn uitgevoerd voor de kritieke overslagdebieten 5, 10 en 50 l/s/m. De resultaten zijn in paragraaf 3.4 toegelicht.

Resultaatbestanden

- HBN_monz.xlsx - GEKB berekeningen: HBN met modelonzekerheden en met statistische onzekerheden in afvoer en in windsnelheid bij 2 terugkeertijden t.b.v. GEKB
- HBN_zso_mmonz.xlsx - GEKB berekeningen: HBN met modelonzekerheden, zonder statistische onzekerheden in afvoer (maar met stat onz in windsnelheid)

Resultaatbeschrijving

Voor een beschrijving van de resultaten wordt naar paragraaf 3.4 en 3.5 verwezen.

5.2.3 GABI, STMI en STBI

Voor de faalmechanismen GABI, STMI en STBI moet het overslagdebiet over de kruin worden berekend. In eerste instantie is als uitgangspunt de huidige kruinhoogte gebruikt voor de berekening van het overslagdebiet. De norm is gebaseerd op de trajectnorm. Relevant zijn hier 1/300^{e} (voor alternatief 1&2) en 1/3.000^{e} (als aangepaste trajectnorm voor alternatief 3).

In tweede instantie zijn de berekeningen herhaald voor de ontwerpkruinhoogte gebaseerd op de HBN berekening met overschrijdingsfrequentie 1/3.000^{e} per jaar en een kritiek overslagdebiet van 10 l/s/m. Het resultaat van de berekening bij een frequentie van 1/3.000^{e} zou door constructie gelijk moeten zijn aan 10 l/s/m. In de praktijk is het antwoord niet exact 10 l/s/m. Dit heeft te maken met de gebruikte discretisate in Hydra-NL.

Voor GABI is ook de significante golfhoogte in het illustratiepunt van belang. De waarde van deze H_s in het illustratiepunt dient uit de *uitvoer.html* bestanden te worden ingelezen.

N.B. De waarde van het berekende golfoverslagdebiet bepaalt welke andere berekeningen voor de mechanismen GABI, STMI en STBI moeten worden uitgevoerd. In de ontwerppraktijk is het noodzakelijk om de overslagdebieten opnieuw te berekenen met de ontwerpspecifieke parameters. Dus, als een ontwerp verandert (andere taludhelling, andere kruinhoogte, …), dan dient een nieuwe berekening te worden gemaakt.

Resultaatbestanden

Overslagdebiet_monz.xlsx - Overslagdebiet over de werkelijke kruinhoogte met modelonzekerheden en statistische onzekerheden bij 2 terugkeertijden t.b.v. GABI, STMI en STBI
Overslagdebiet_monz_ontwerp.xlsx - Overslagdebiet over de concept ontwerpkruinhoogte met modelonzekerheden en statistische onzekerheden bij 2 terugkeertijden t.b.v. GABI, STMI en STBI

Resultaatbeschrijving

Ter illustratie zijn in Tabel 4 de resultaten van de eerste set berekeningen met de huidige kruinhoogte voor twee locaties opgenomen. De locaties zijn nMA_HK_R_54_027 en MA_HK_R_999_672. De eerste locatie ligt ter hoogte van de Kleefseweg (zie Figuur 12). De huidige kruinhoogte is 13,97 m+NAP. De tweede locatie ligt 12,5 km benedenstrooms van deze locatie. De huidige kruinhoogte is 13,36 m+NAP. De overslagdebieten staan in Tabel 4.

Locatie	Terugkeertijd (jaar)	Overslagdebiet (l/s/m)
nMA_HK_R_54_027	300	<0,1
nMA_HK_R_54_027	3000	>100
MA_HK_R_999_672	300	3,5
MA_HK_R_999_672	3000	>100

Tabel 4 Overslagdebieten locaties nMA_HK_R_54_027 en MA_HK_R_999_672, in het geval van de huidige, bestaande dijkhoogtes

De tweede set berekeningen met de concept ontwerphoogte levert voor nagenoeg alle locaties een overslagdebiet kleiner dan 0,1 l/s/m op bij een terugkeertijd van 300 jaar. In de gevallen dat het debiet hoger is, is het ruim kleiner dan 1 l/s/m. De berekening bij een terugkeertijd van 3.000 jaar levert zoals verwacht overslagdebieten op die ongeveer gelijk zijn aan 10 l/s/m.

5.2.4 GEBU

Voor het faalmechanisme graserosie buitentalud (GEBU) geldt dat de golfcondities op de grasbekleding voor verschillende waterstandsniveaus moet worden berekend met Hydra-NL. GEBU valt als faalmechanisme in groep 3. Dit betekent dat in de gedetailleerde toets per vak een semi-probabilistische analyse wordt uitgevoerd. De golfcondities op de bekleding worden daarom bij een norm op doorsnedeniveau bepaald. Normaal gesproken is de doorsnede-eis 4,5% van de trajectnorm. Voor de Lob van Gennep moet in het geval van alternatief 1&2 met 2,7% van de norm en in het geval van alternatief 3 met 1,35% van de trajectnorm worden gerekend (zie Tabel 3, Figuur 33 en Figuur 34). De bijbehorende doorsnede-eisen zijn respectievelijk 9E-05 en 4,5E-05 per jaar.

De golfcondities op de grasbekleding zijn voor waterstanden van 3 meter onder de kruin tot aan kruin berekend in stappen van 0,5 m. Hierbij is de specifieke Toets op Maat instelling gekozen voor de golfklapzone, waarbij ook de golfrichting wordt bepaald.

Resultaatbestand
GEBU_Qvar_ToM.xlsx - Golfcondities grasbekleding Toets op Maat golfklapzone met golfrichting voor verschillende waterstandsniveaus bij twee terugkeertijden o.b.v. aangepaste faalkansverdeling t.b.v. GEBU, met modelonzekerheden, met statistische onzekerheden.

Resultaatbeschrijving
Ter illustratie zijn de golfcondities op de grasbekleding voor twee waterstandsniveaus (de hoogste ongeveer een halve meter onder de kruin) bij twee terugkeertijden in Tabel 5 opgenomen. Merk op dat locatie nMA_HK_R_54_027 een dijknormaal van 105 graden t.o.v. Noord heeft. Locatie MA_HK_R_999_672 heeft een dijknormaal van 252 graden t.o.v. Noord.

N.B. Uit een controle blijkt dat de berekeningen van golfcondities zijn uitgevoerd voor klimaatscenario G. Dit betekent dat niet met de correcte afvoerstatistiek is gerekend. Het vermoeden dat dit weinig effect heeft op de golfbelasting op de bekleding is getoetst door een nieuwe berekening met scenario W+ te maken voor locatie nMA_HK_R_54_027. De uitkomsten van de beide scenario's zijn vergeleken en blijken nagenoeg gelijk te zijn. Besloten is om de oude resultaatbestanden niet te vervangen of aan te vullen met de resultaten van de W+ berekening.

Locatie	Terugkeer tijd (jaar)	Waterstand (m+NAP)	Hs (m)	Tp (s)	Golfr (t.o.v. Noord)
nMA_HK_R_54_027	11111	13,0	Geen golfbelasting		
nMA_HK_R_54_027	11111	13,5	0,07	0,49	90
nMA_HK_R_54_027	22222	13,0	Geen golfbelasting		
nMA_HK_R_54_027	22222	13,5	0,08	0,51	90
MA_HK_R_999_672	11111	12,5	0,72	2,88	225
MA_HK_R_999_672	11111	13,0	0,62	2,69	225
MA_HK_R_999_672	22222	12,5	0,72	3,29	225
MA_HK_R_999_672	22222	13,0	0,68	2,8	225

Tabel 5 Golfcondities bekledingen GEBU (ToM) locaties nMA_HK_R_54_027 en MA_HK_R_999_672

5.2.5 GABU

Voor het faalmechanisme Grasbekleding afschuiven buitentalud (GABU) zijn twee parameters van belang: (i) de significante golfhoogte en (ii) de golfcondities op de grasbekleding. De significante golfhoogte is met Hydra-NL berekend op basis van de marginale statistiek van de golfhoogte. De waarde bij de (aangepaste) norm is benodigd voor het ontwerp. De golfcondities op de

grasbekleding zijn conform OI2014 met de Q-variant van Hydra-NL berekend met de instelling a=1, b=c=0.

N.B. Het faalmechanisme Grasbekleding afschuiven buitentalud valt in groep 4. Voor dit mechanisme is geen probabilistische (of semi-probabilistisch) methode beschikbaar in het WBI/OI. De relevante norm is de ontwerpnorm. Voor alternatief 1&2 is dit 1/300e en voor alternatief 3 gebruiken we 1/3.000e per jaar.

Resultaatbestanden

(i) Hs_monz.xlsx - Significante golfhoogte marginale statistiek met statistische onzekerheden in de afvoer en de windsnelheid bij T=300 en T=3.000 jaar t.b.v. GABU

(ii) GABU_Qvar.xlsx - Golfcondities grasbekleding met a=1, b=0, c=0, voor verschillende waterstanden bij terugkeertijd 300 en 3.000 jaar t.b.v. GABU berekening met modelonzekerheden, met statistische onzekerheden

Resultaatbeschrijving

Ter illustratie zijn de golfcondities op de grasbekleding voor twee waterstandsniveaus (de hoogste ongeveer een halve meter onder de kruin) bij twee terugkeertijden in Tabel 6 opgenomen.

Locatie	Terugkeer tijd (jaar)	Waterstand (m+NAP)	Hs (m)	Tp (s)	Golfr (t.o.v. Noord)
nMA_HK_R_54_027	300	13,0	Geen golfbelasting		
nMA_HK_R_54_027	300	13,5	0,03	0,38	67,5
MA_HK_R_999_672	300	12,5	0,4	2,21	225
MA_HK_R_999_672	300	13,0	0,23	1,94	202,5
nMA_HK_R_54_027	3000	13,0	Geen golfbelasting		
nMA_HK_R_54_027	3000	13,5	0,06	0,43	67,5
MA_HK_R_999_672	3000	12,5	0,63	2,71	225
MA_HK_R_999_672	3000	13,0	0,51	2,47	225

Tabel 6 Golfcondities bekledingen GABU locaties nMA_HK_R_54_027 en MA_HK_R_999_672

N.B. Uit een controle blijkt dat de berekeningen van golfcondities zijn uitgevoerd voor klimaatscenario G. Dit betekent dat niet met de correcte afvoerstatistiek is gerekend. Het vermoeden dat dit weinig effect heeft op de golfbelasting op de bekleding is getoetst door een nieuwe berekening met scenario W+ te maken voor locatie nMA_HK_R_54_027. De uitkomsten van de beide scenario's zijn vergeleken en blijken nagenoeg gelijk te zijn. Besloten is om de oude resultaatbestanden niet te vervangen of aan te vullen met de resultaten van de W+ berekening.

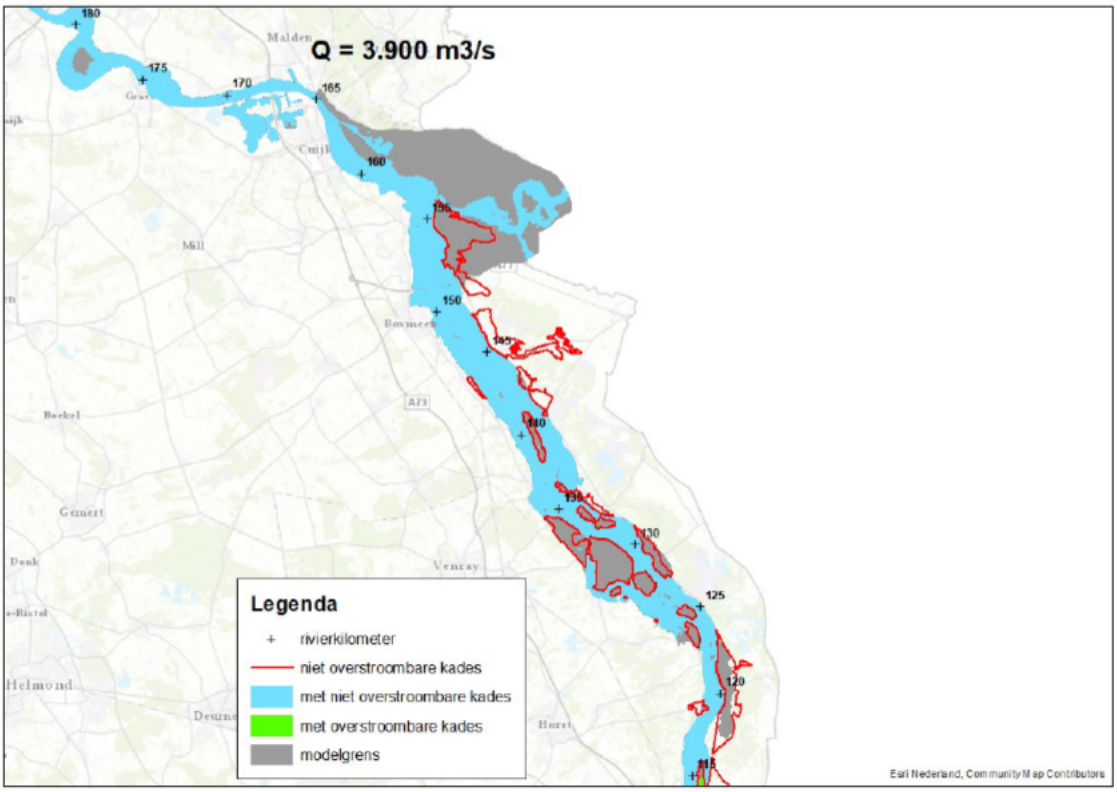
A Digitaal dossier

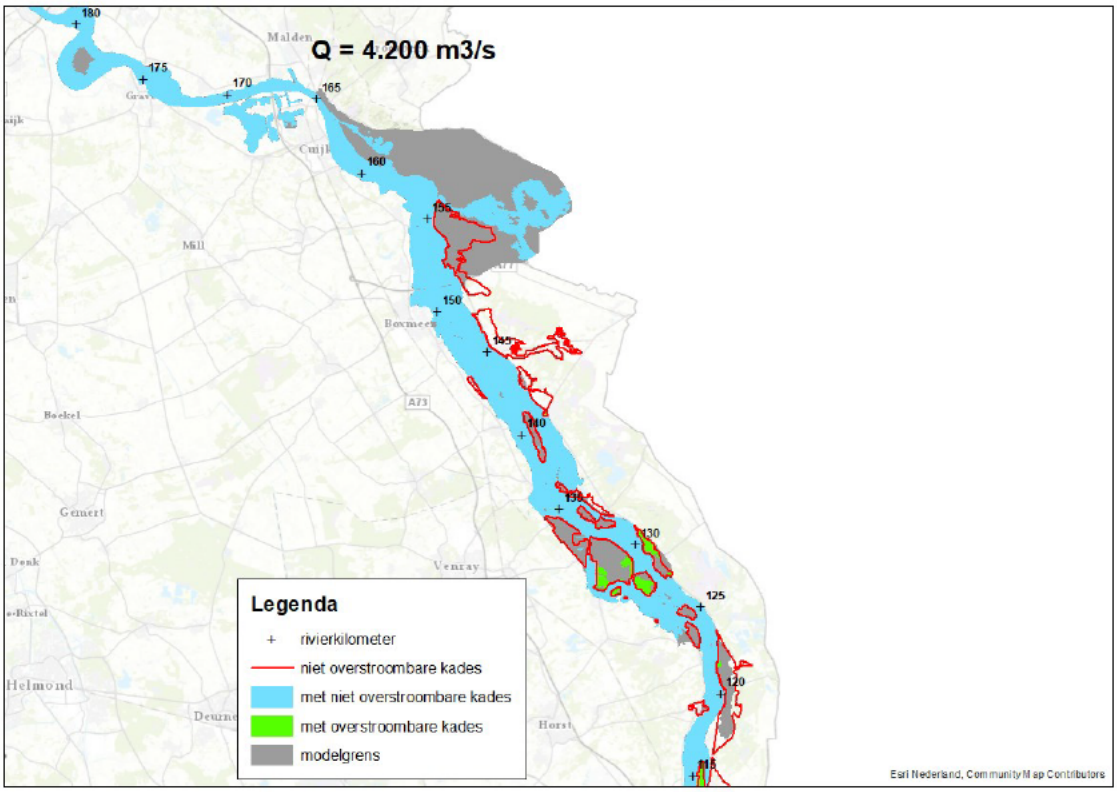
Digitaal worden de volgende bestanden bij de eindnotitie opgeleverd:

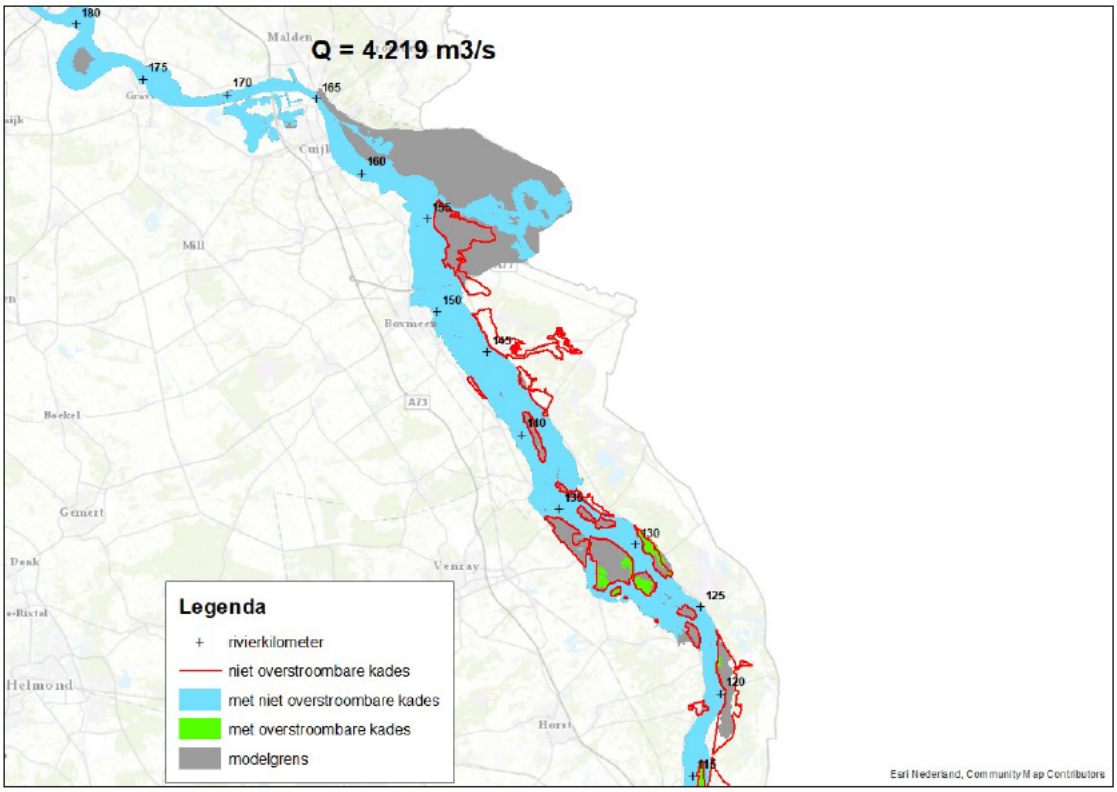
1. Databases 54-1 Lob van Gennep.rar
   Twee databases voor gebruik in Hydra-NL. Eén met overstroombare keringen in het Maasdal (ov) en één met niet-overstroombare keringen (nov).
2. Bouwstenentool Ontwerpbelastingen Lob van Gennep v2.0.xlsx
   Excel Dashboard met de Hydra-NL rekenresultaten van de uitgevoerde HBN berekeningen.
3. 54-1_LobvanGennep_nov_v01.rar
   Hydra-NL werkmap met resultaten van alle berekeningen in de situatie van NIET overstroombare keringen in Limburg
4. 54-1_LobvanGennep_ov_v01.rar
   Hydra-NL werkmap met resultaten van alle berekeningen in de situatie van WEL overstroombare keringen in Limburg
5. Figuren oplevering.rar
   Kaarten van de overstroomde gebieden bij de berekeningen mét en zonder overstroombare dijken in het Maasdal bij de 7 afvoeren en kaarten van het waterstandsverschil mét en zonder overstroombare dijken in het Maasdal bij deze 7 afvoeren.
6. stroomsnelheden-op-de-dijk-alle-afvoeren.xlsx
   Overzichtsbestand van berekende stroomsnelheden over de dijken.
7. Ontwerpbelastingen Lob van Gennep.rar
   Excel bestanden met resultaten van de ontwerpbelastingen; waterstanden bij de norm (1:300, 1:3000), HBN, golven en waterstanden t.b.v. GABI, STMI en STBI, GEBU en GABU.
8. Controle Hydra-NL.rar
9. stroomsnelheden-op-de-dijk-alt1.xlsx
   Excel bestand met de stroomsnelheden en verval over de dijk

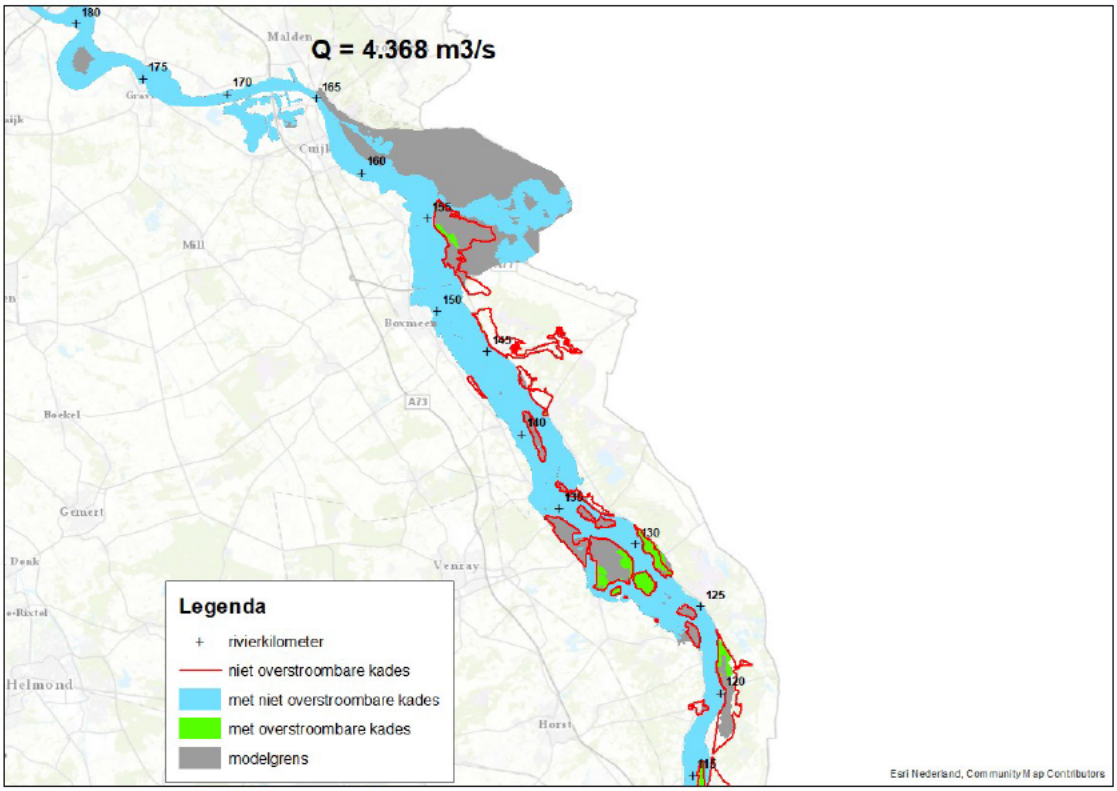
B Overstroomd gebied voor 7 afvoeren

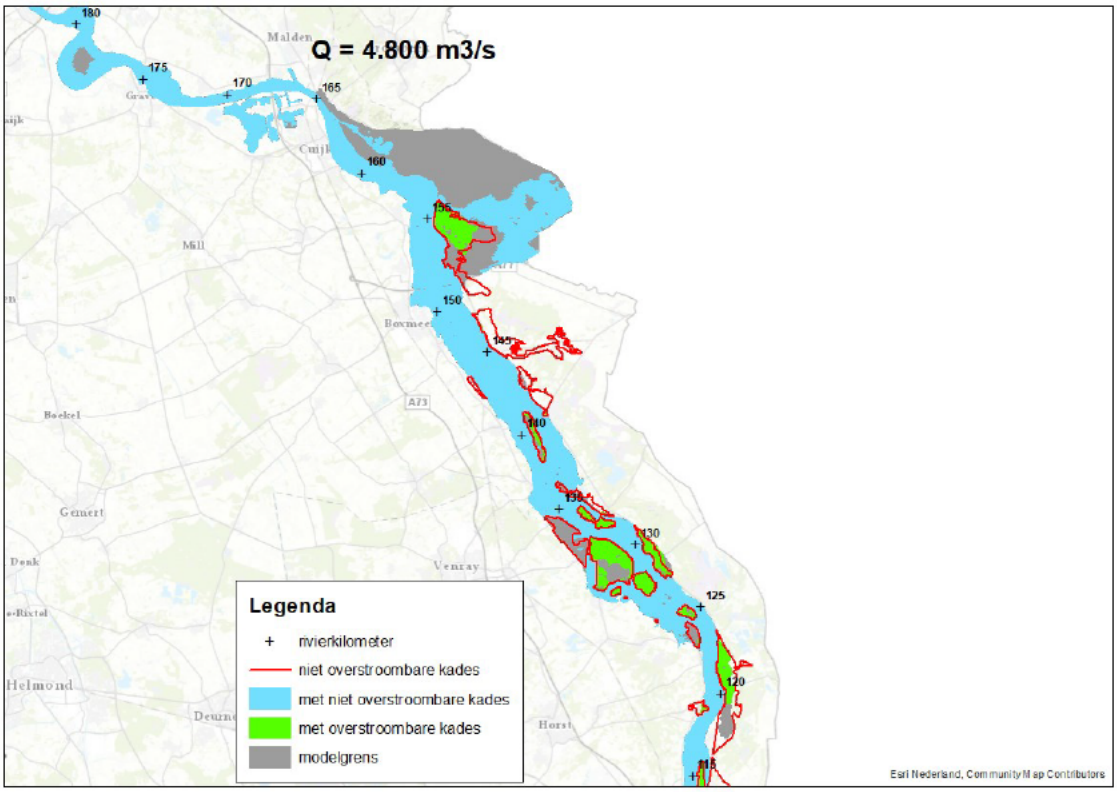
B.1 Noordelijk deel, inclusief Lob van Gennep

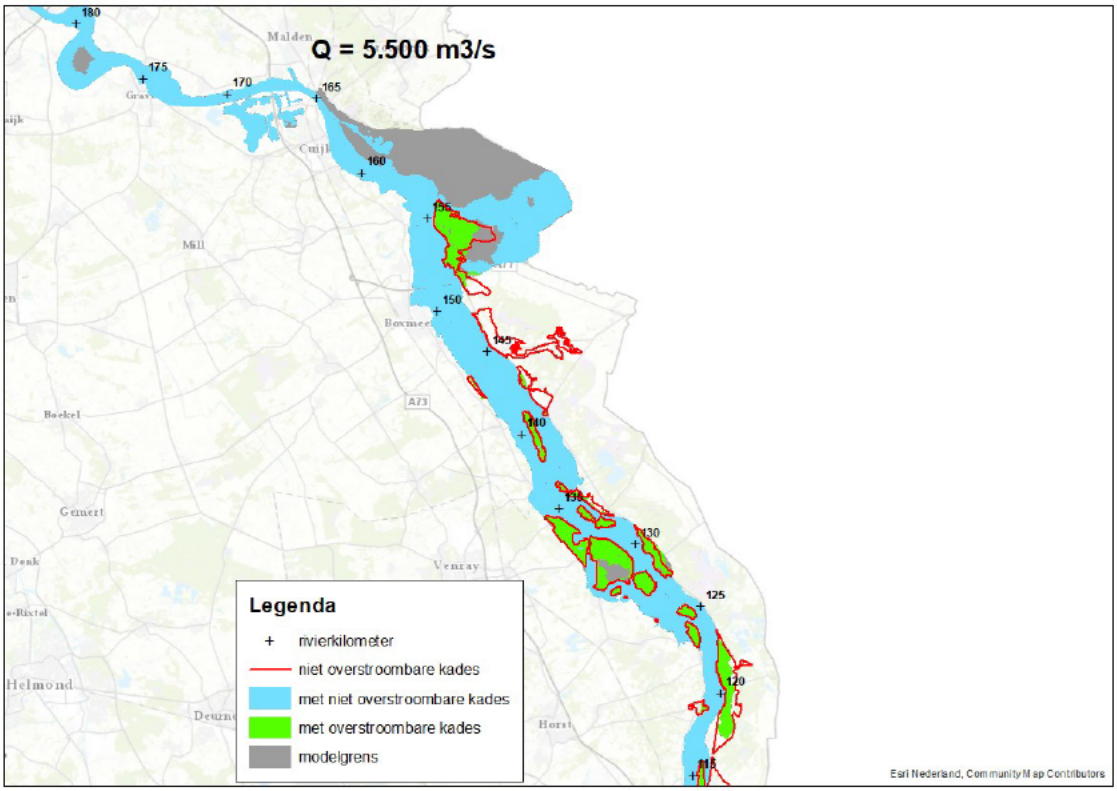


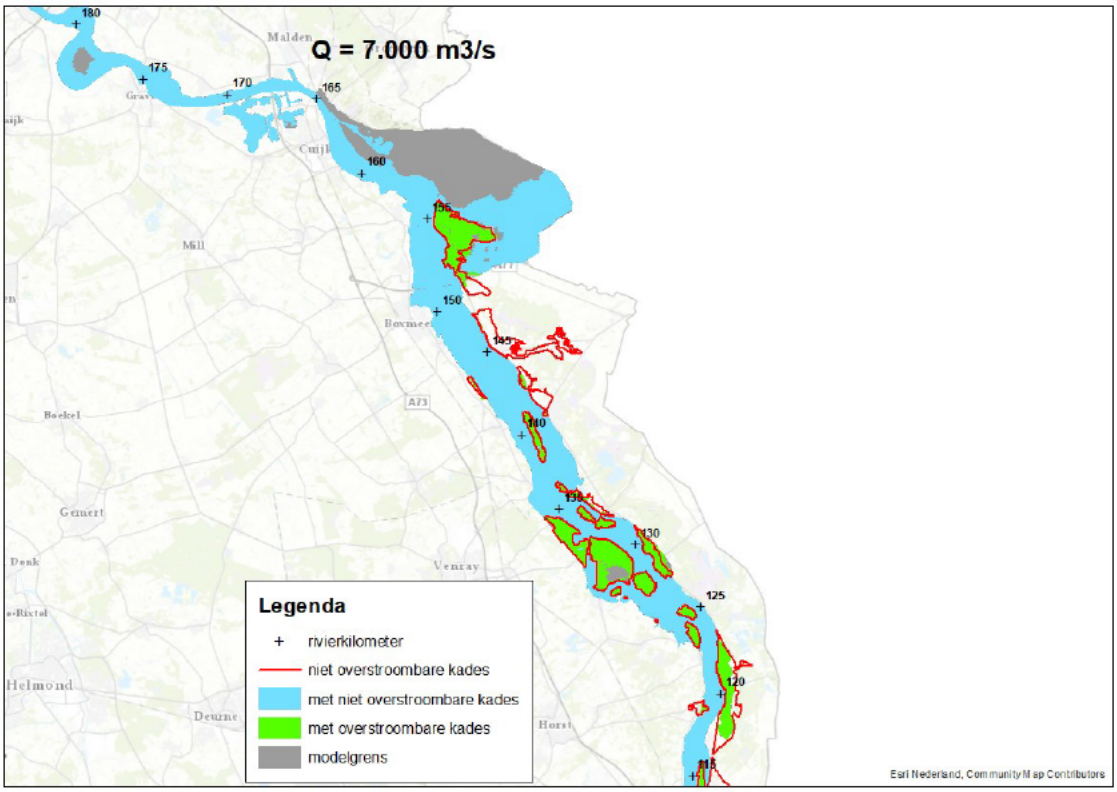



Q = 4.219 m3/s
Legenda
rivierkilometer
niet overstroombare kades
met niet overstroombare kades
met overstroombare kades
modelgrens
Esri Nederland, Community Map Contributors

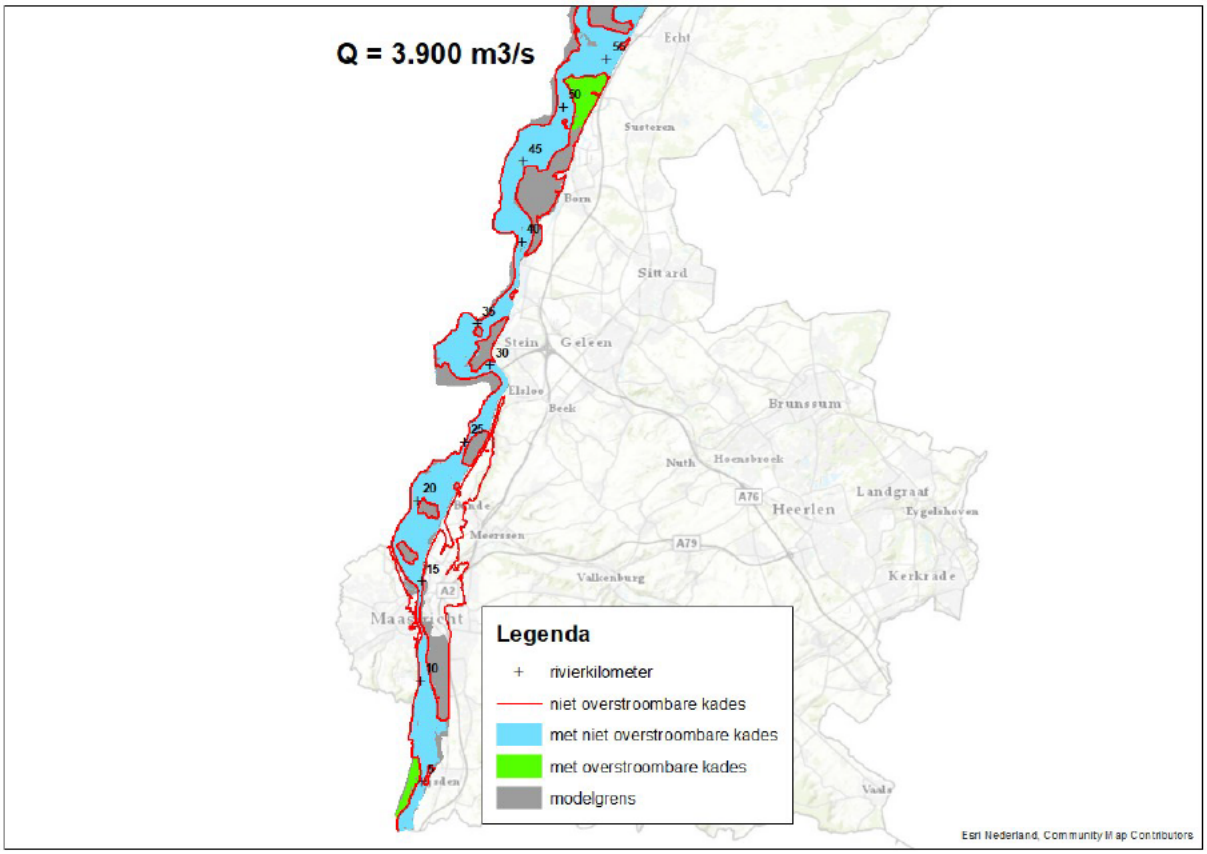

Q = 4.368 m3/s
Legenda
rivierkilometer
niet overstroombare kades
met niet overstroombare kades
met overstroombare kades
modelgrens
Esri Nederland, Community Map Contributors

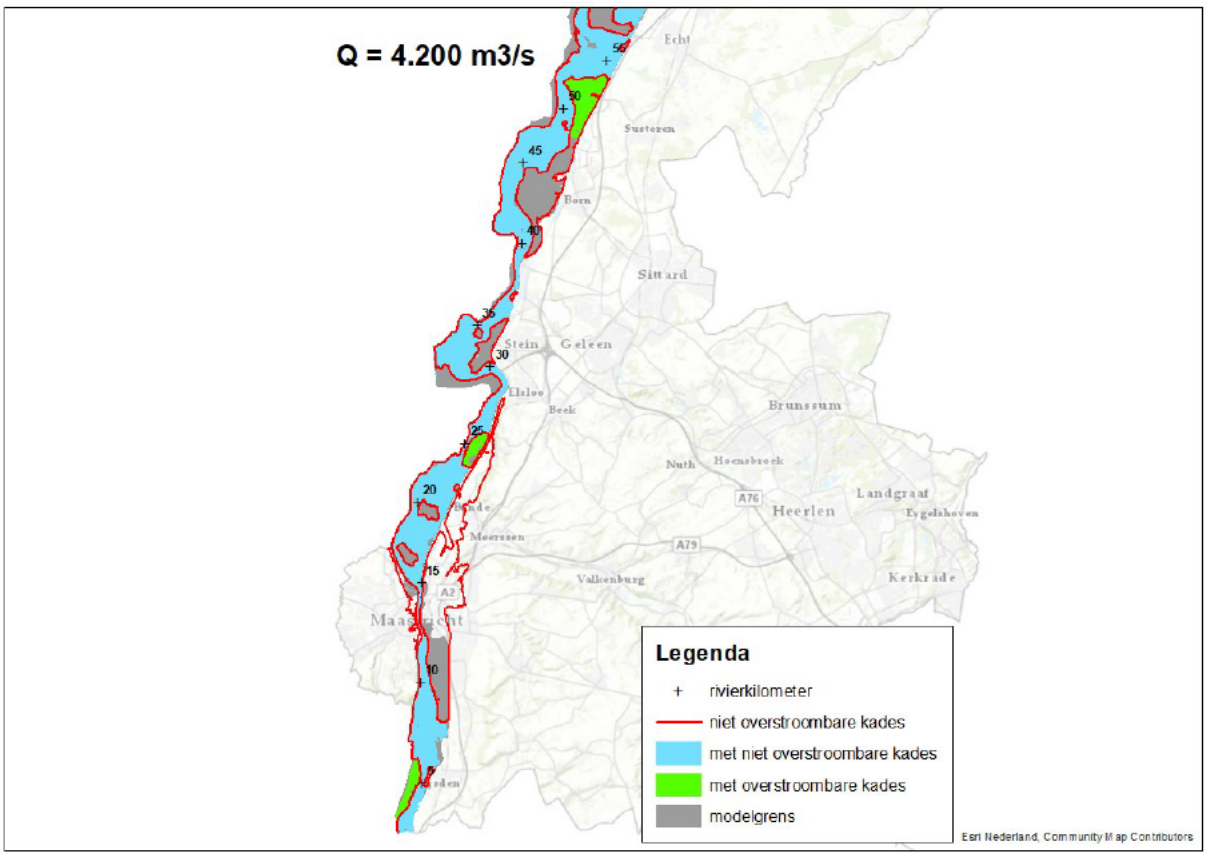

Q = 4.800 m3/s
Legenda
rivierkilometer
niet overstroombare kades
met niet overstroombare kades
met overstroombare kades
modelgrens
Esri Nederland, Community Map Contributors

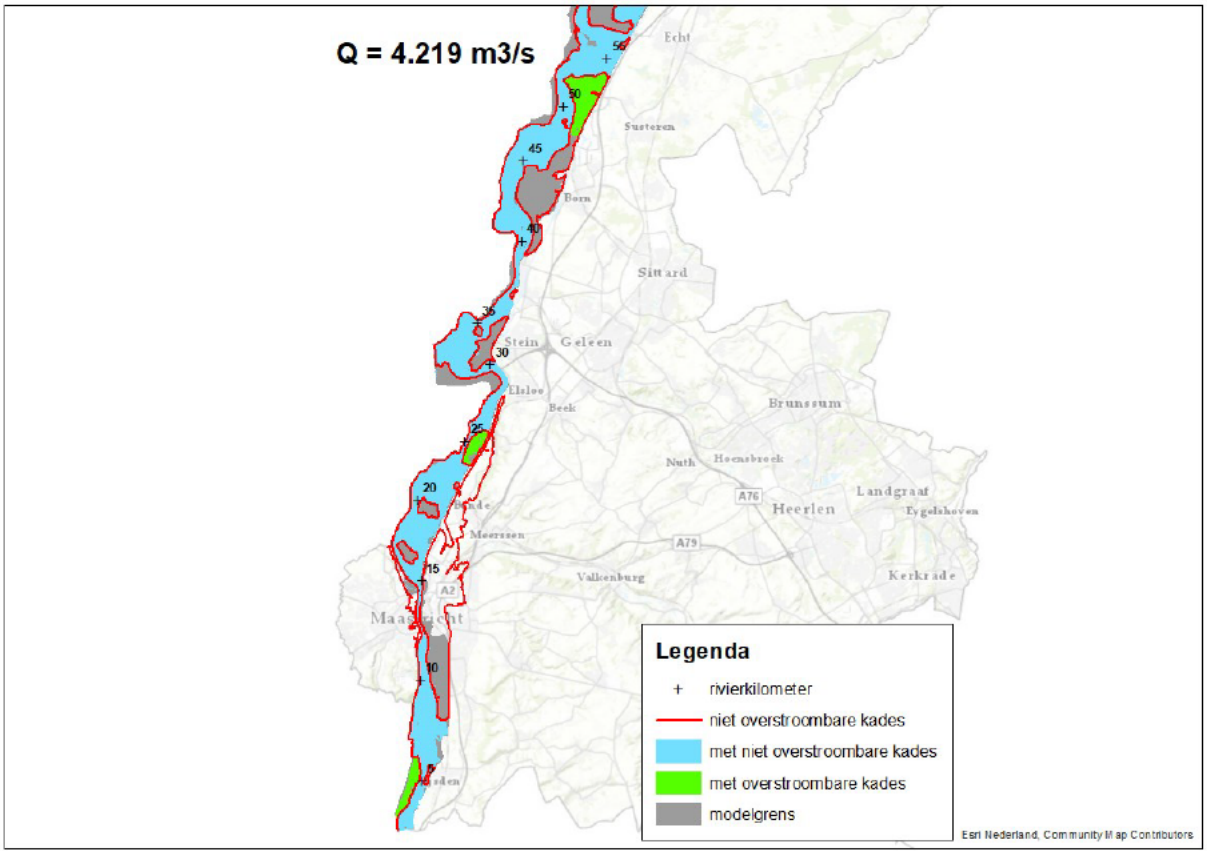

Q = 5.500 m3/s
Legenda
rivierkilometer
niet overstroombare kades
met niet overstroombare kades
met overstroombare kades
modelgrens
Esri Nederland, Community Map Contributors

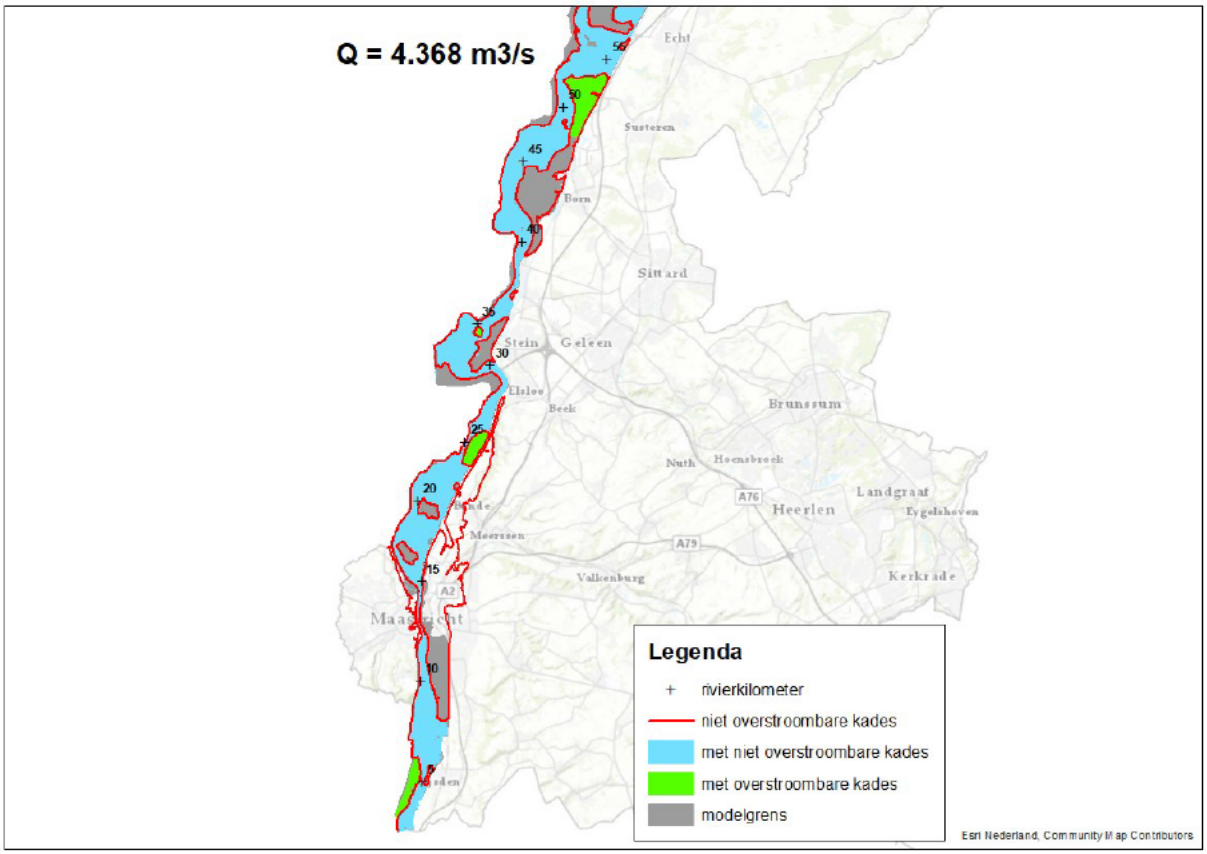

Q = 7.000 m3/s
Legenda
rivierkilometer
niet overstroombare kades
met niet overstroombare kades
met overstroombare kades
modelgrens
Esri Nederland, Community Map Contributors

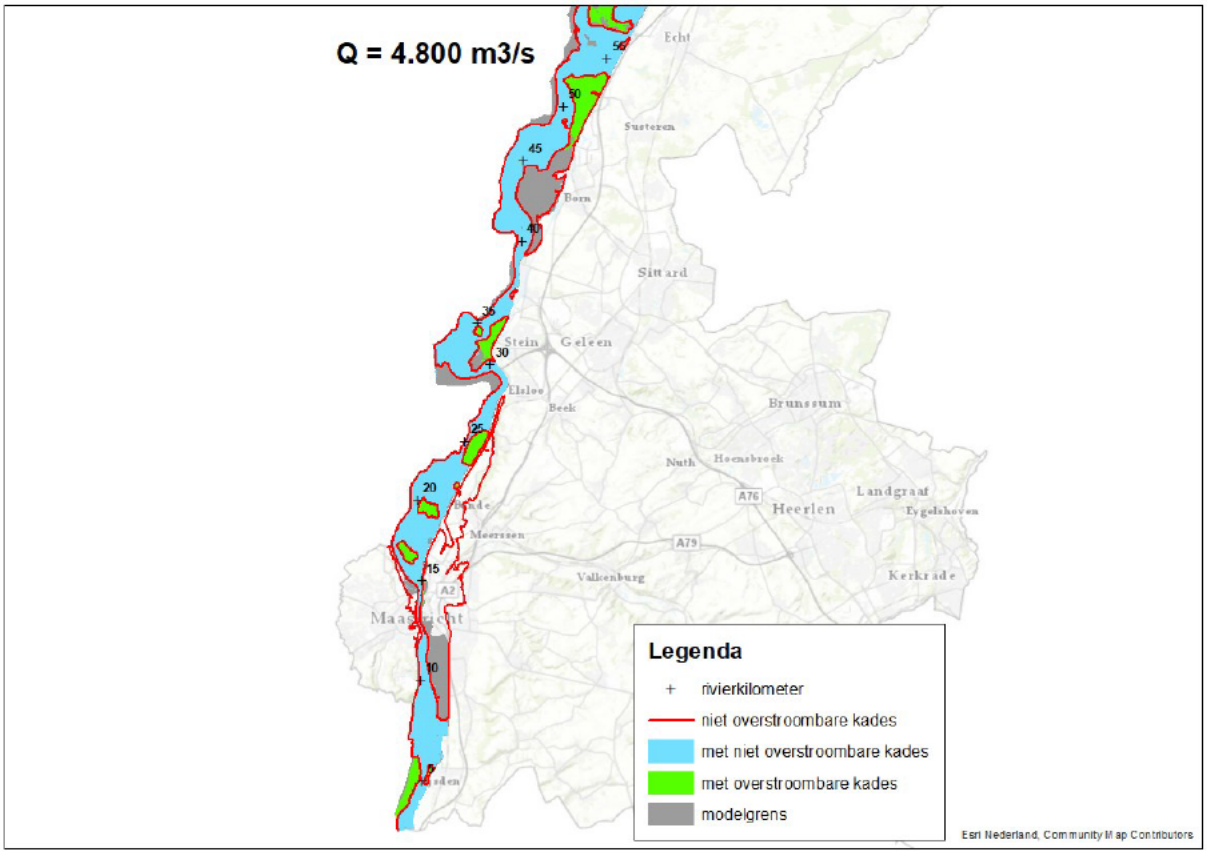
B.2 Zuidelijk deel

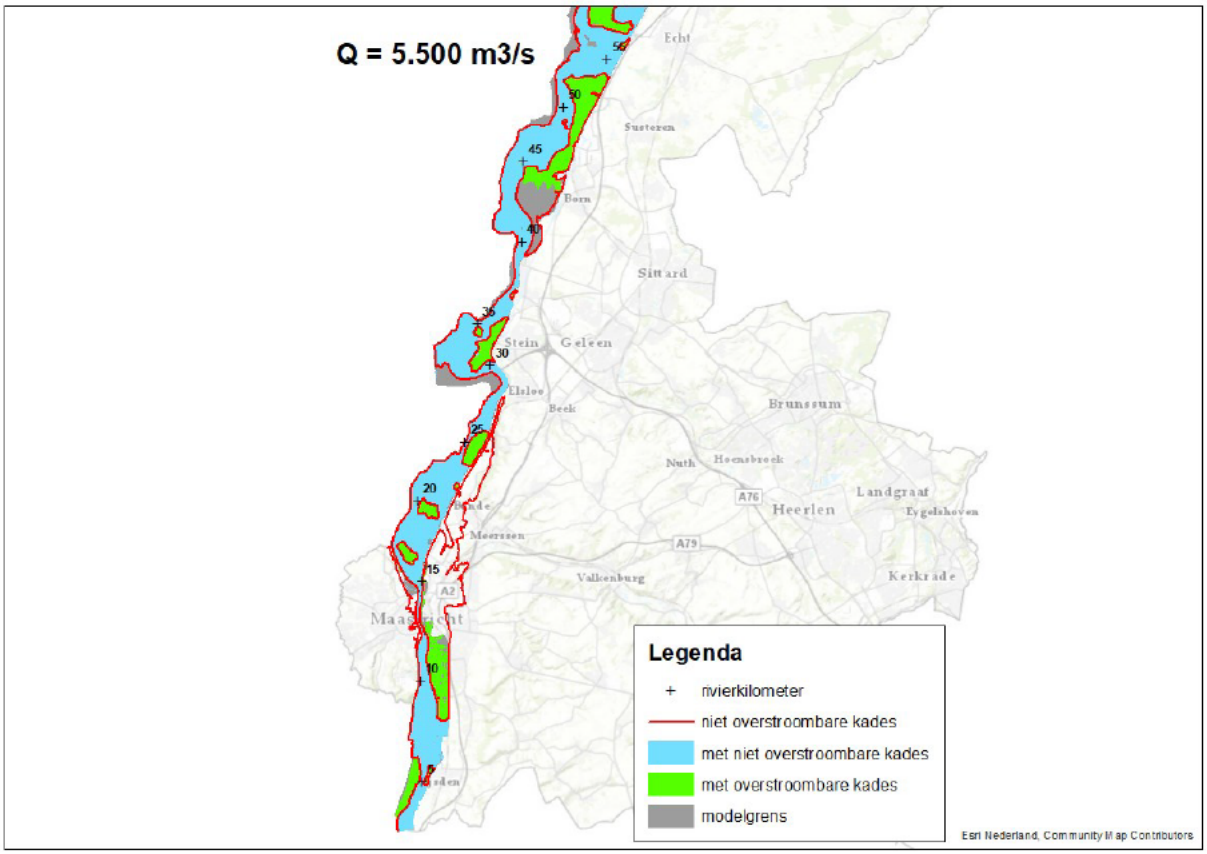


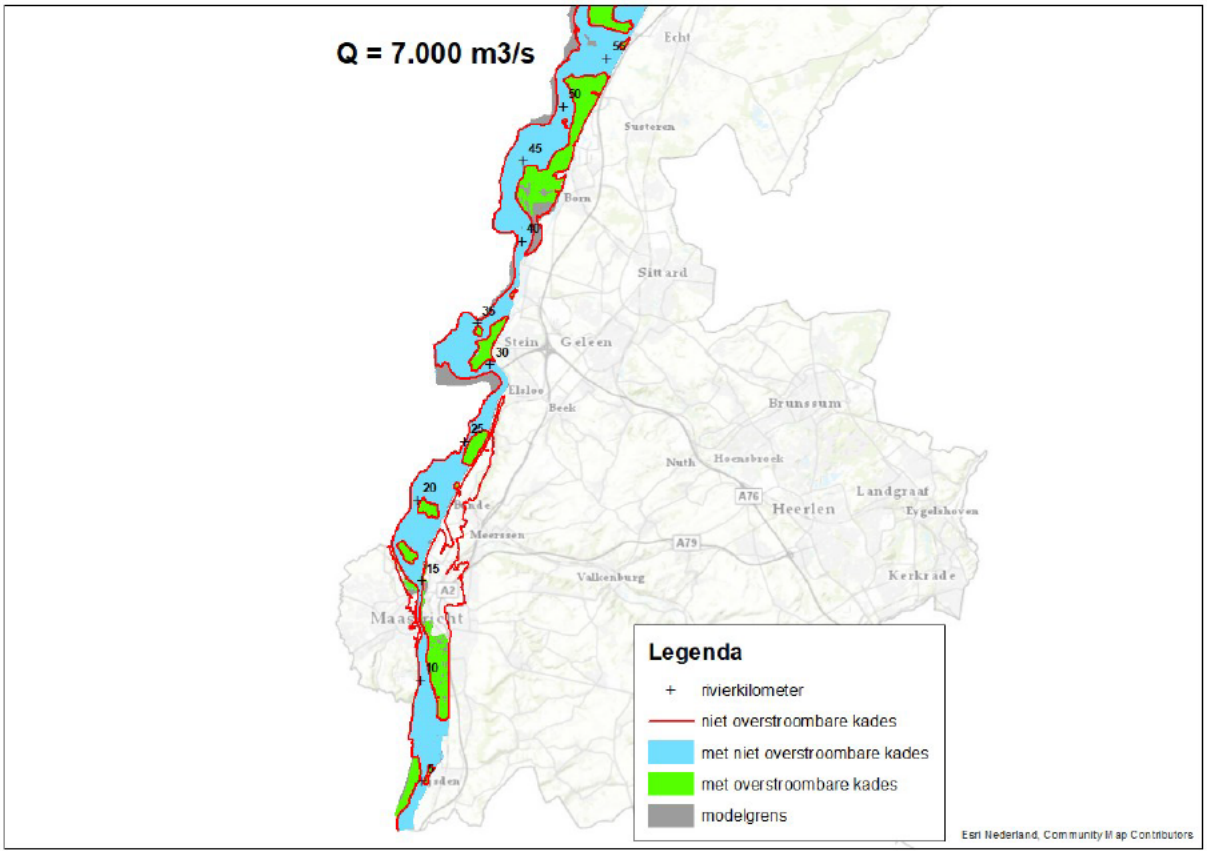



Q = 4.219 m3/s
Echt
Susteren
Born
Sittard
Stein
Geleen
Elsloo
Beek
Brunssum
Nuth
Hoensbroek
Heerlen
Landgraaf
Eygelshoven
Meerssen
Valkenburg
Kerkrade
A76
A79
A2
Legenda
rivierkilometer
niet overstroombare kades
met niet overstroombare kades
met overstroombare kades
modelgrens
Esri Nederland, Community Map Contributors

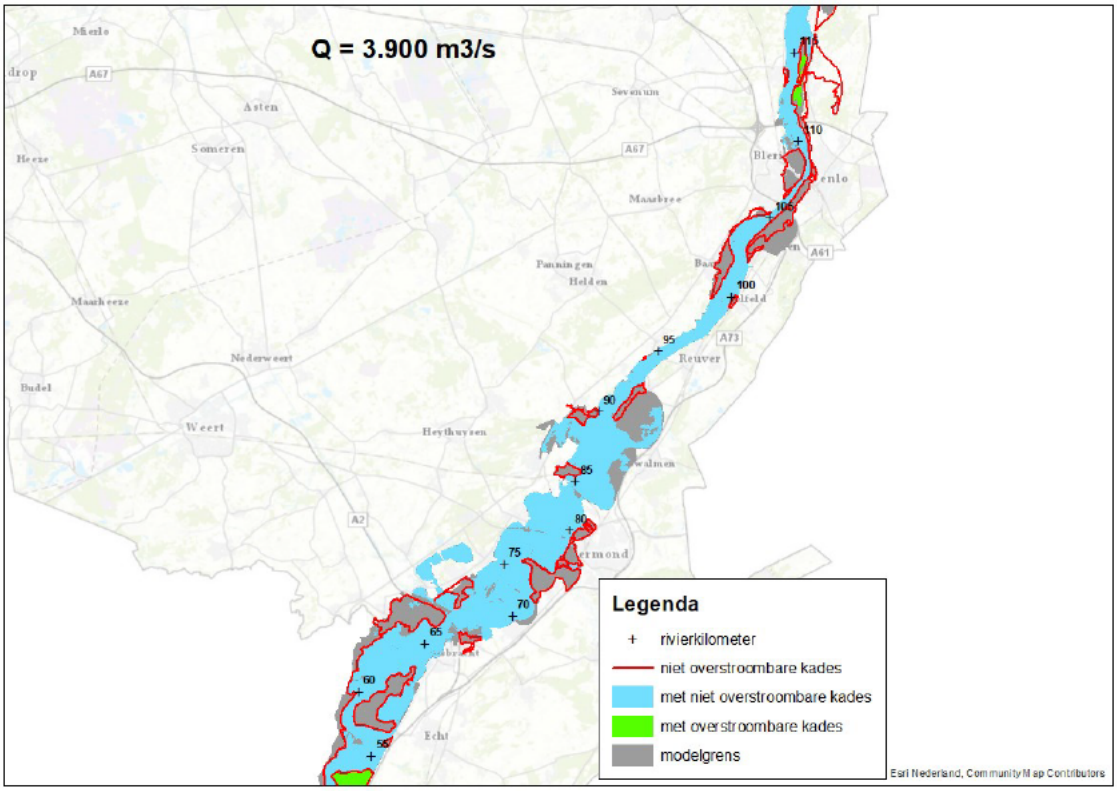

Q = 4.368 m3/s
Echt
Susteren
Born
Sittard
Stein
Geleen
Elsloo
Beek
Brunssum
Nuth
Hoensbroek
Heerlen
Landgraaf
Eygelshoven
Meerssen
Valkenburg
Kerkrade
A76
A79
A2
Legenda
rivierkilometer
niet overstroombare kades
met niet overstroombare kades
met overstroombare kades
modelgrens
Esri Nederland, Community Map Contributors

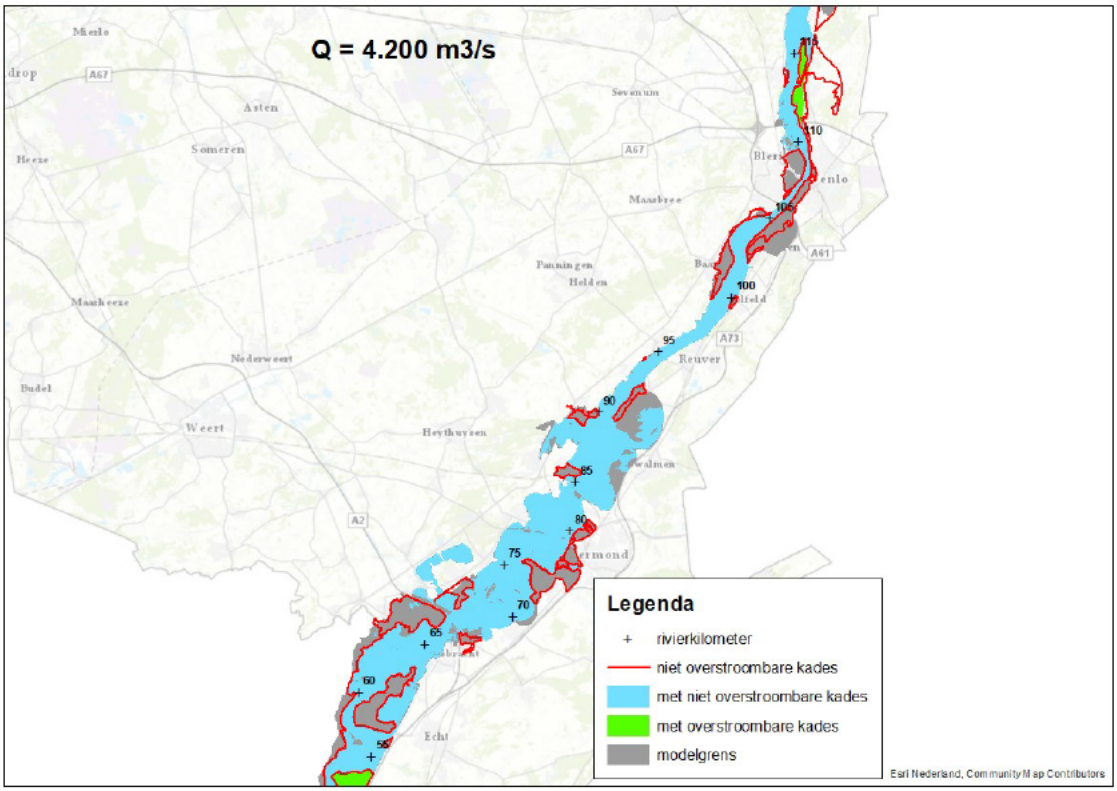

Q = 4.800 m3/s
Echt
Susteren
Born
Sittard
Stein
Geleen
Elsloo
Beek
Brunssum
Nuth
Hoensbroek
Heerlen
Landgraaf
Eygelshoven
Meerssen
Valkenburg
Kerkrade
A76
A79
A2
Legenda
rivierkilometer
niet overstroombare kades
met niet overstroombare kades
met overstroombare kades
modelgrens
Esri Nederland, Community Map Contributors

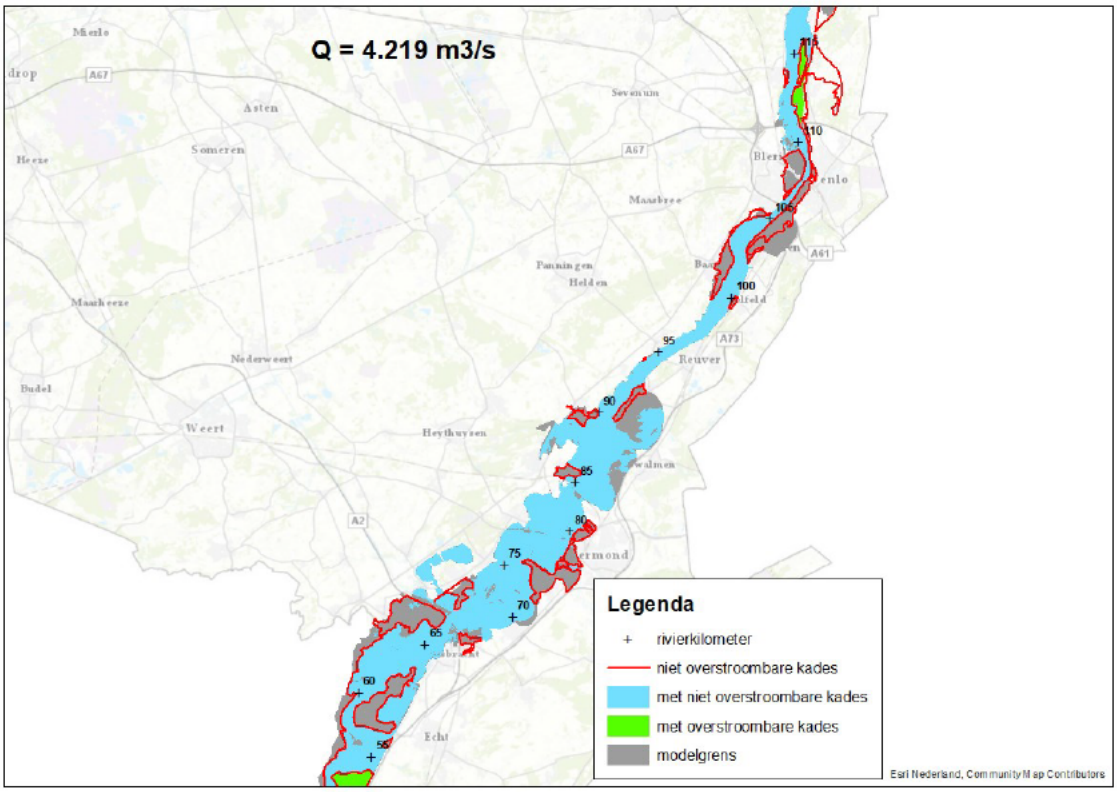

Q = 5.500 m3/s
Echt
Susteren
Born
Sittard
Stein
Geleen
Elsloo
Beek
Brunssum
Nuth
Hoensbroek
Heerlen
Landgraaf
Eygelshoven
Meerssen
Valkenburg
Kerkrade
A76
A79
A2
Legenda
rivierkilometer
niet overstroombare kades
met niet overstroombare kades
met overstroombare kades
modelgrens
Esri Nederland, Community Map Contributors

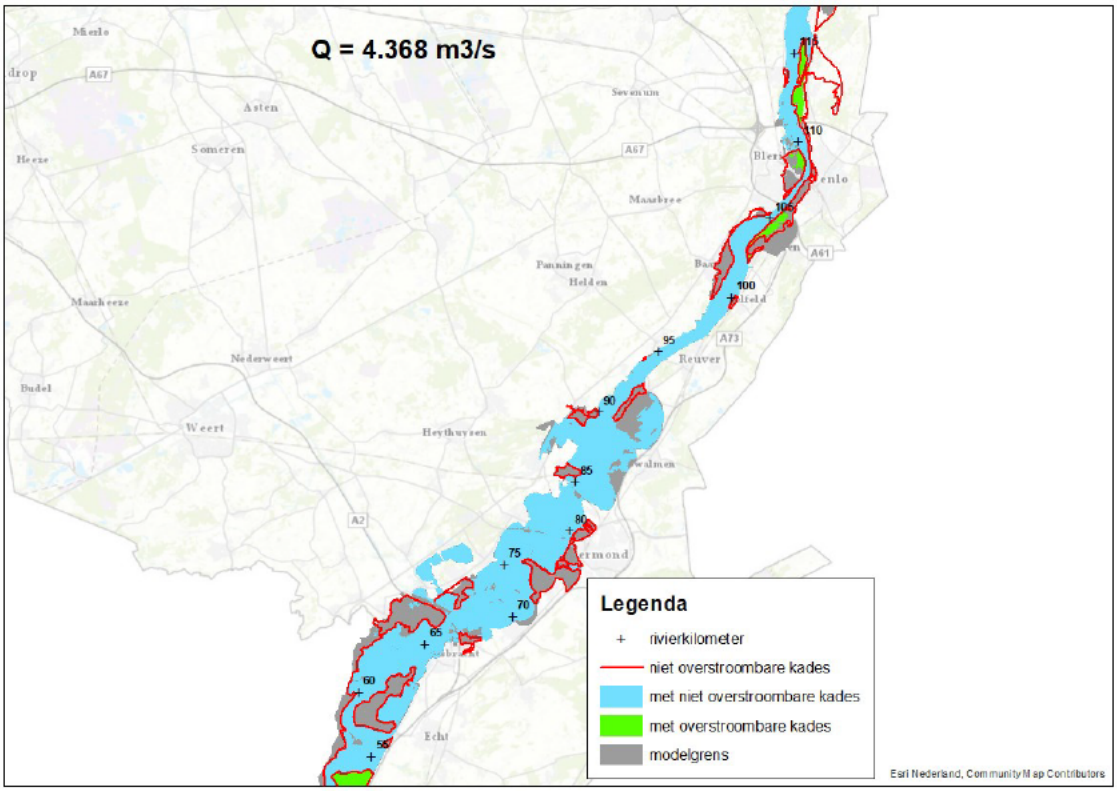

Q = 7.000 m3/s
Echt
Susteren
Born
Sittard
Stein
Geleen
Elsloo
Beek
Brunssum
Nuth
Hoensbroek
Heerlen
Landgraaf
Eygelshoven
Meerssen
Valkenburg
Kerkrade
A76
A79
A2
50
45
40
35
30
25
20
15
10
Legenda
rivierkilometer
niet overstroombare kades
met niet overstroombare kades
met overstroombare kades
modelgrens
Esri Nederland, Community Map Contributors

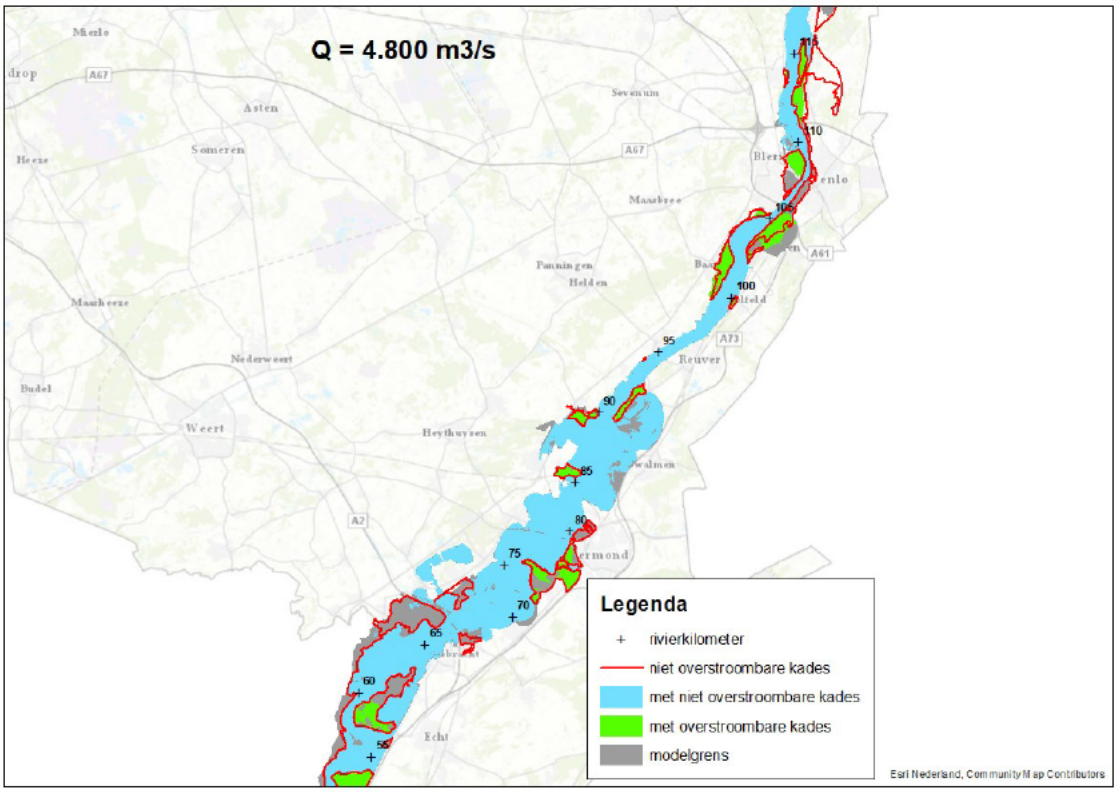
B.3 Midden deel

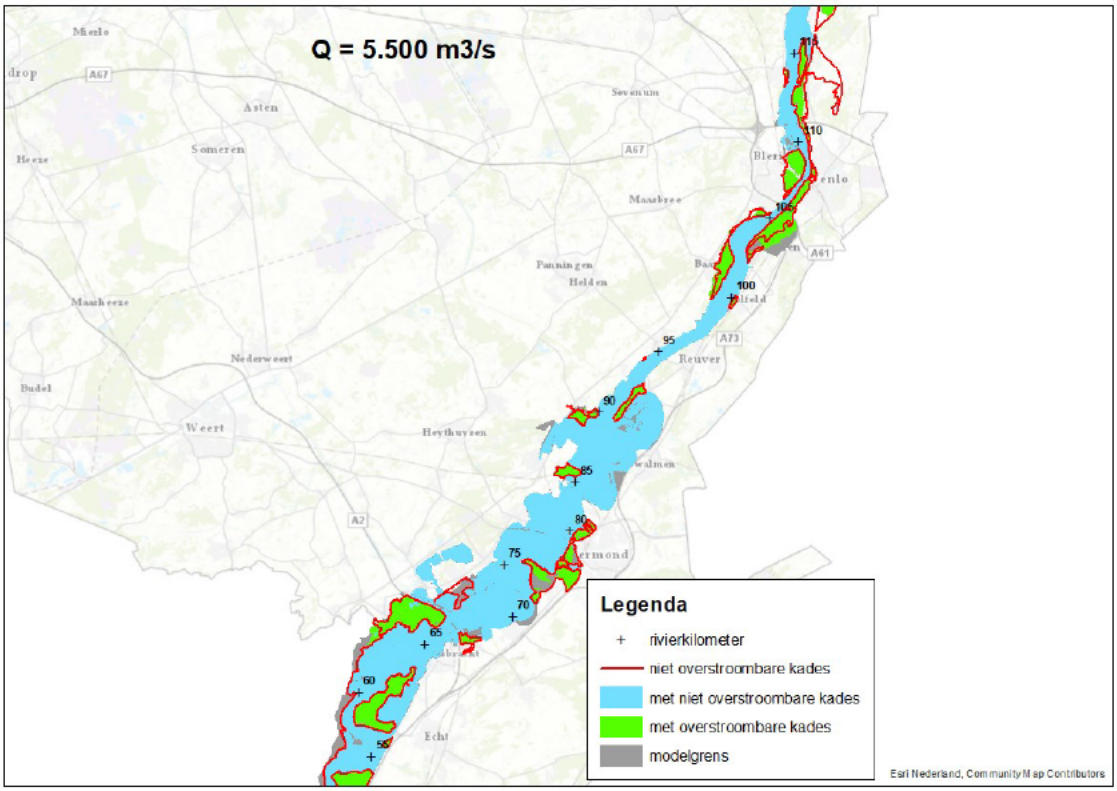


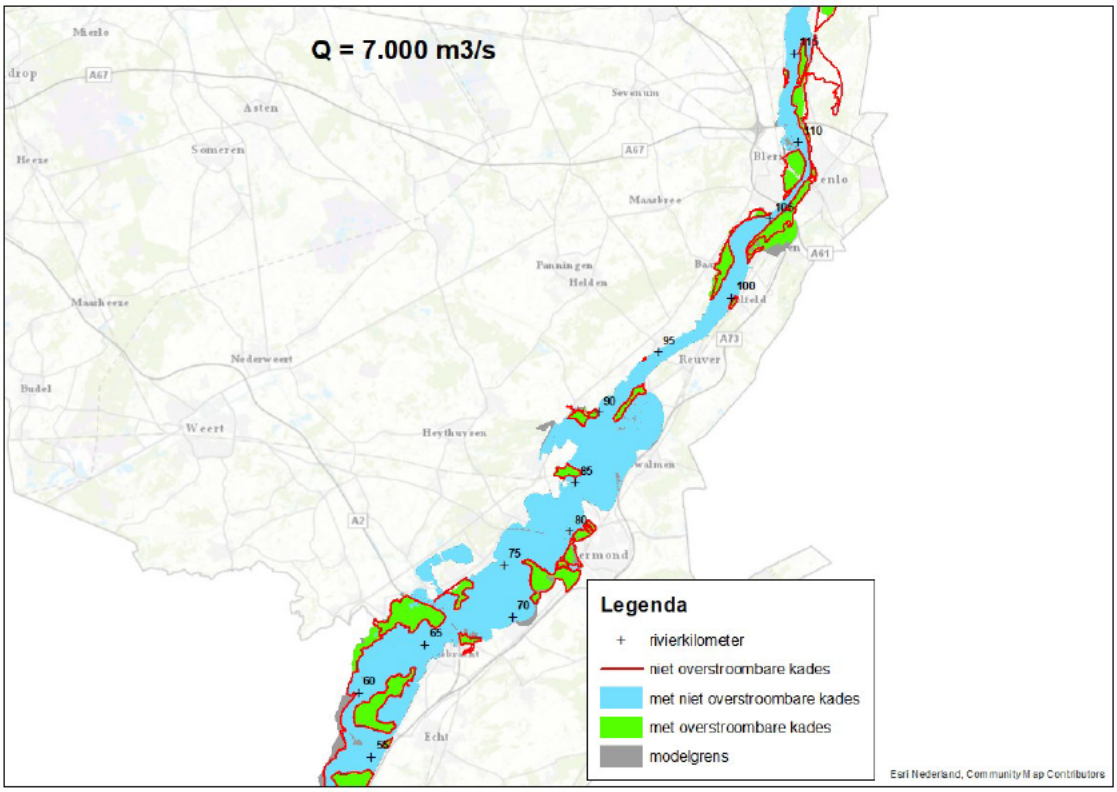



Q = 4.219 m3/s
Legenda
rivierkilometer
niet overstroombare kades
met niet overstroombare kades
met overstroombare kades
modelgrens
Esri Nederland, Community Map Contributors

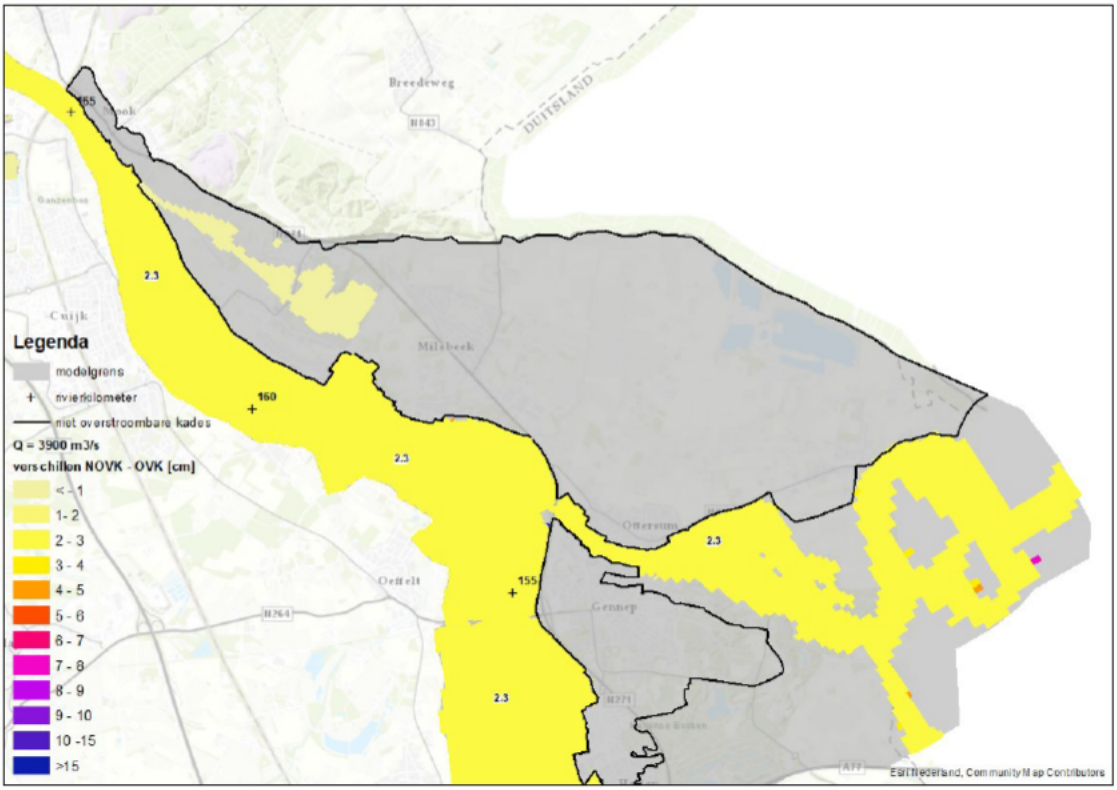

Q = 4.368 m3/s
Legenda
rivierkilometer
niet overstroombare kades
met niet overstroombare kades
met overstroombare kades
modelgrens
Esri Nederland, Community Map Contributors

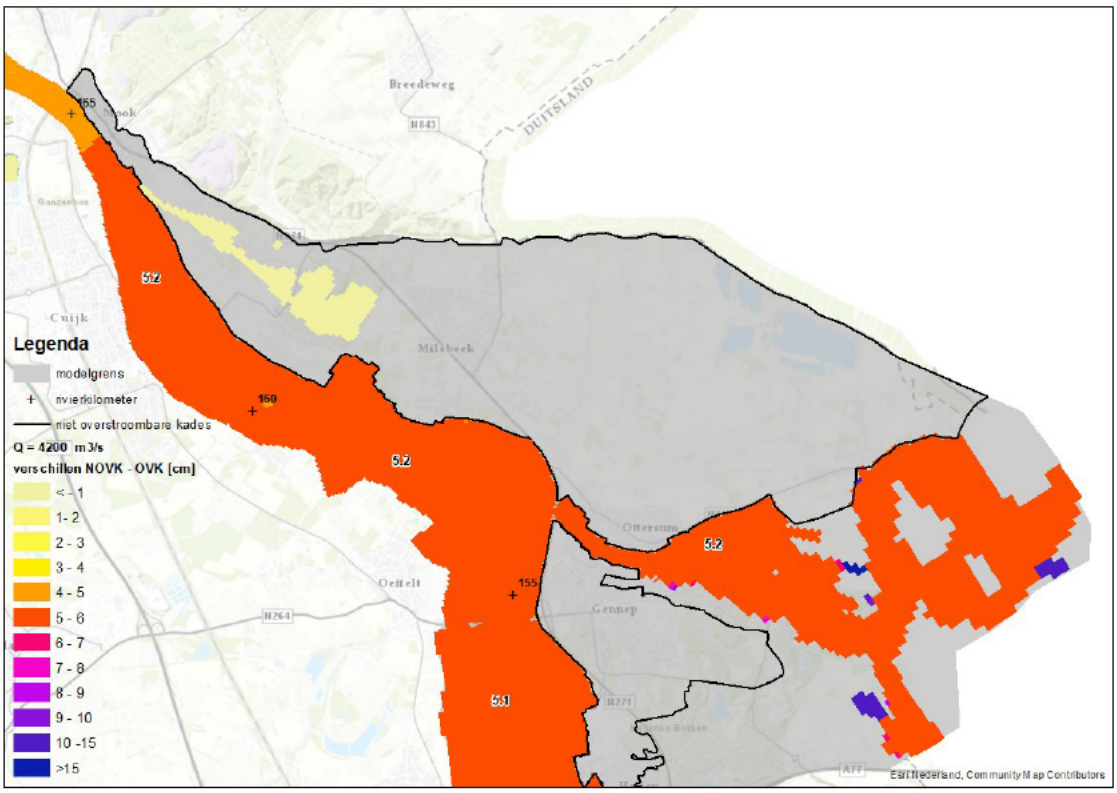

Q = 4.800 m3/s
Legenda
rivierkilometer
niet overstroombare kades
met niet overstroombare kades
met overstroombare kades
modelgrens
Esri Nederland, Community Map Contributors

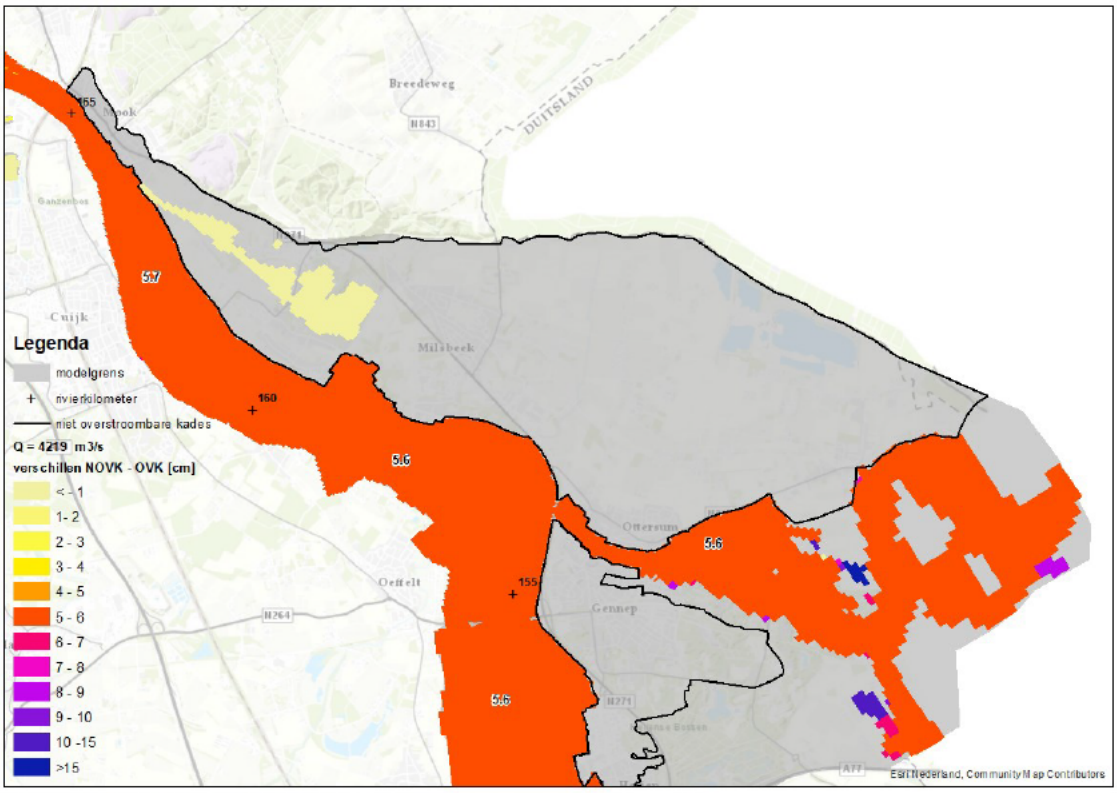

Q = 5.500 m3/s
Legenda
rivierkilometer
niet overstroombare kades
met niet overstroombare kades
met overstroombare kades
modelgrens
Esri Nederland, Community Map Contributors

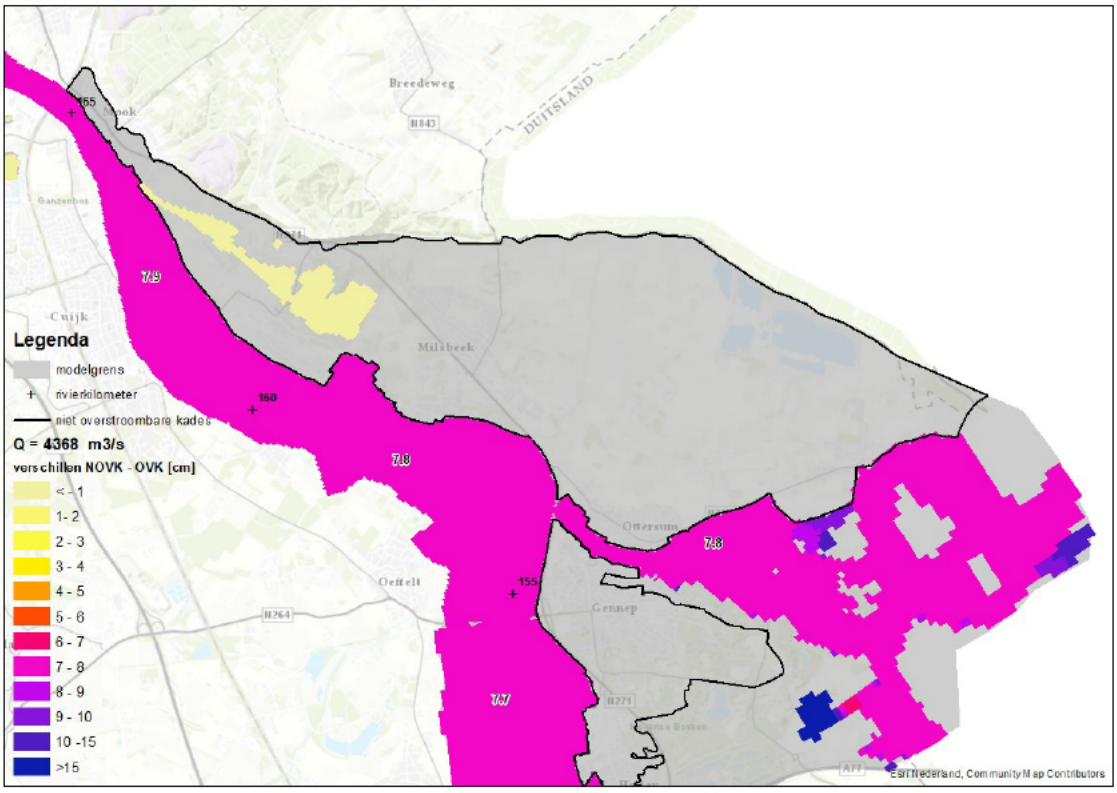

Q = 7.000 m3/s
Legenda
rivierkilometer
niet overstroombare kades
met niet overstroombare kades
met overstroombare kades
modelgrens
Esri Nederland, Community Map Contributors

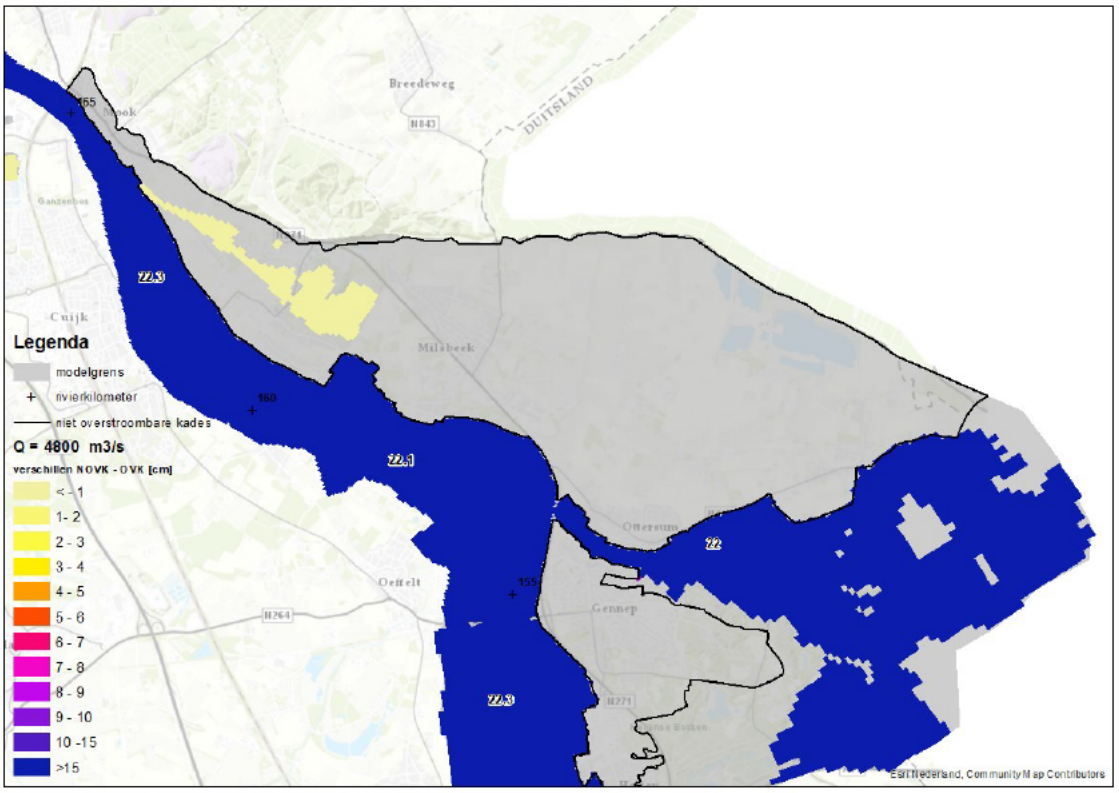
C Waterstandsverschil overstroombare/niet overstroombare dijken in het Maasdal

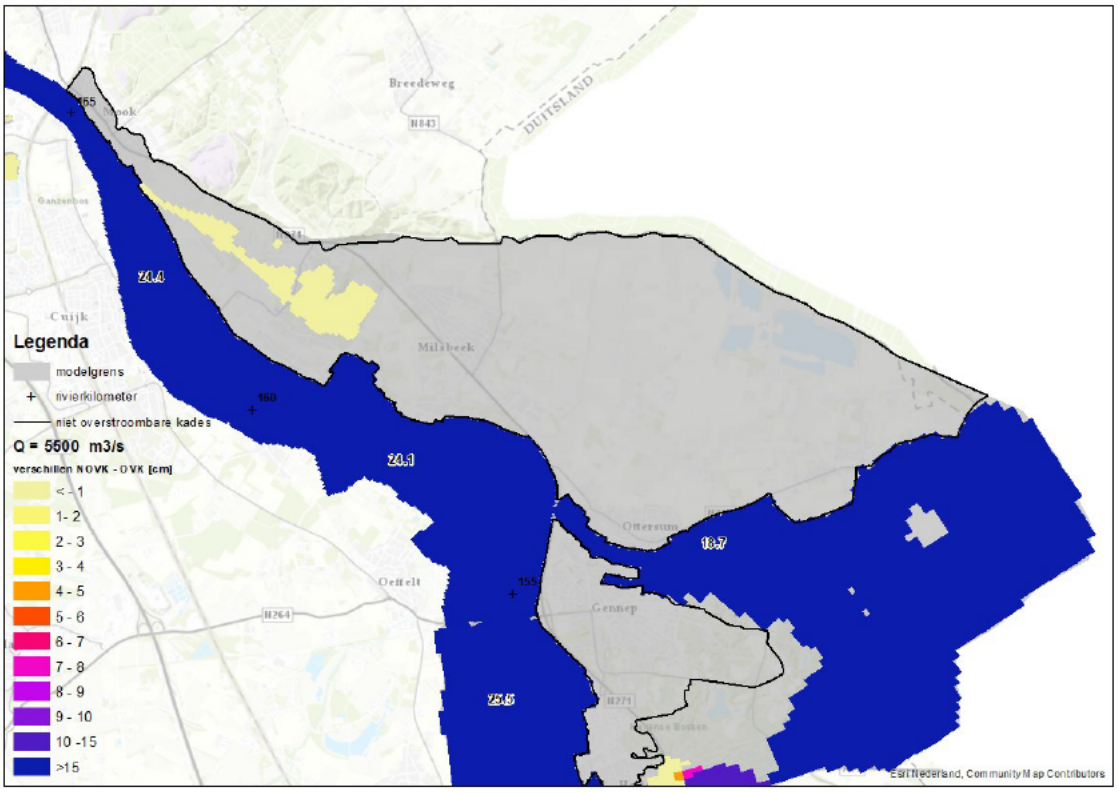


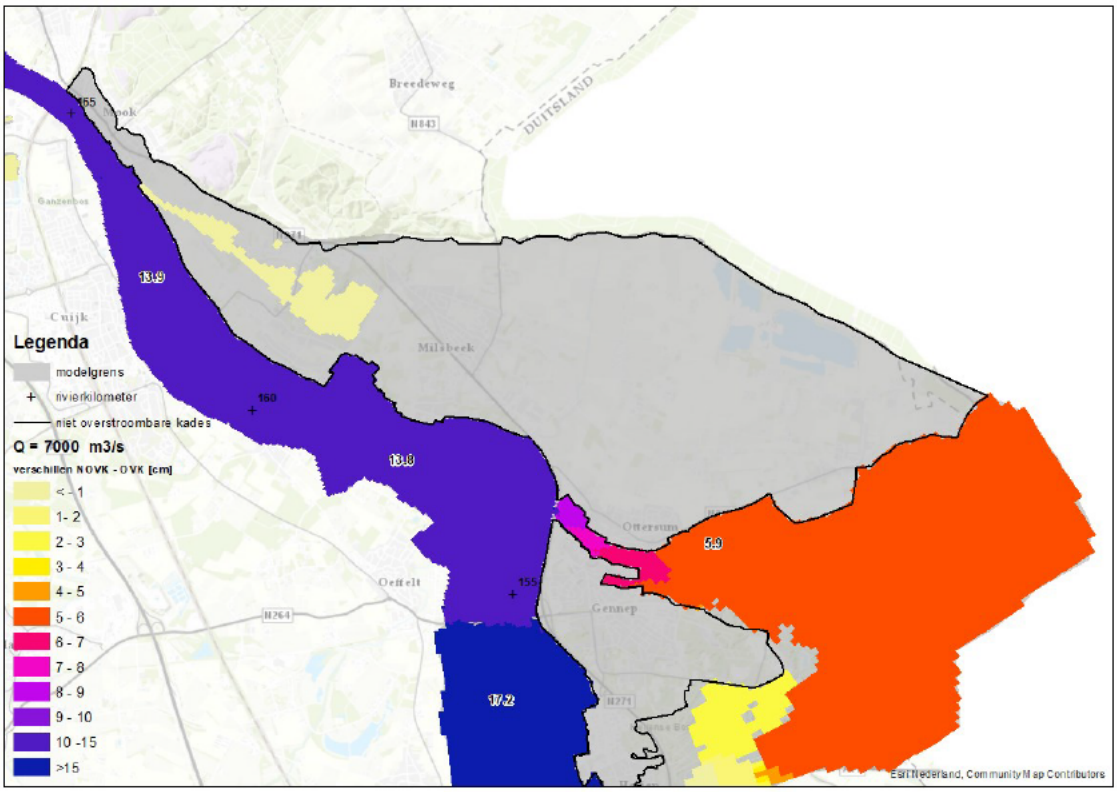



Legenda
modelgrens
rivierkilometer
niet overstroombare kades
Q = 4219 m3/s
verschillen NOVK - OVK [cm]
< -1
1- 2
2 - 3
3 - 4
4 - 5
5 - 6
6 - 7
7 - 8
8 - 9
9 - 10
10 -15
>15
5.7
5.6
5.6
5.6
155
160
155
Breedeweg
DUITSLAND
Millebeek
Ottersum
Oeffelt
Gennep
Esri Nederland, Community Map Contributors


Legenda
modelgrens
rivierkilometer
niet overstroombare kades
Q = 4368 m3/s
verschillen NOVK - OVK [cm]
< -1
1- 2
2 - 3
3 - 4
4 - 5
5 - 6
6 - 7
7 - 8
8 - 9
9 - 10
10 -15
>15
7.9
7.8
7.8
7.7
155
160
155
Breedeweg
DUITSLAND
Millebeek
Ottersum
Oeffelt
Gennep
Esri Nederland, Community Map Contributors


Breedeweg
DUITSLAND
Millibeek
Ottersum
Oeffelt
Gennep
22.3
22.1
22
22.3
Legenda
modelgrens
rivierkilometer
niet overstroombare kades
Q = 4800 m3/s
verschillen NOVK - OVK [cm]
< -1
1- 2
2 - 3
3 - 4
4 - 5
5 - 6
6 - 7
7 - 8
8 - 9
9 - 10
10 -15
>15
Esri Nederland, Community Map Contributors


Breedeweg
DUITSLAND
Millibeek
Ottersum
Oeffelt
Gennep
24.4
24.1
18.7
25.5
Legenda
modelgrens
rivierkilometer
niet overstroombare kades
Q = 5500 m3/s
verschillen NOVK - OVK [cm]
< -1
1- 2
2 - 3
3 - 4
4 - 5
5 - 6
6 - 7
7 - 8
8 - 9
9 - 10
10 -15
>15
Esri Nederland, Community Map Contributors


Breedeweg
DUITSLAND
Cuijk
Milheeze
Oeffelt
Ottersum
Gennep
Legenda
modelgrens
rivierkilometer
niet overstroombare kades
Q = 7000 m3/s
verschillen NOVK - OVK [cm]
< -1
1- 2
2 - 3
3 - 4
4 - 5
5 - 6
6 - 7
7 - 8
8 - 9
9 - 10
10 -15
>15
155
160
155
13.9
13.8
17.2
5.9
Esri Nederland, Community Map Contributors