Lob van Gennep

Hydraulische analyses voor Verkenning

Opdrachtgever

Waterschap Limburg

Lob van Gennep

Hydraulische analyses voor Verkenning

Eindrapport

Auteurs

[redacted]

PR3701.20

september 2020

Inhoud

	Samenvatting	1
1	Inleiding	4
1.1	Aanleiding en doelstellingen van het project	4
1.2	Verkenningsfase	5
1.3	De watereffecten voor het gebied en langs de Maas in beeld	5
1.4	Leeswijzer	6
2	Beschrijving alternatieven	1
2.1	De huidige situatie (referentie)	1
2.2	Reguliere dijken	1
2.3	Verbindende dijken met vaste instroomdrempel(s)	2
2.4	Verbindende dijken met waterkerende instroomvoorziening	3
3	Effecten gebied Lob van Gennep	5
3.1	Overstromingsbeeld huidige situatie en projectalternatieven	6
3.1.1	Huidige Situatie	6
3.1.2	Reguliere dijken	6
3.1.3	Verbindende dijken met vaste instroomdrempels	7
3.1.4	Verbindende dijken met waterkerende instroomvoorziening	9
3.2	Maximale stroomsnelheden en waterstanden	10
3.2.1	Maximale stroomsnelheden	10
3.2.2	Maximale waterstanden	12
3.3	Leeglopen van het gebied na een overstroming	14
4	Waterstandseffecten benedenstrooms	21
4.1	Effect per alternatief	21
4.2	Reguliere dijken	24
4.3	Verbindende dijken met vaste instroomdrempels	25
4.4	Verbindende dijken met waterkerende instroomvoorziening	26
5	Interpretatie uitkomsten en aanbevelingen	29
5.1	Waterbergende werking in Lob van Gennep	29
5.2	Effect van de waterbergende werking op de waterstanden stroomafwaarts	30
5.3	Aanbevelingen	33
6	Referenties	35

Bijlagen 37
A Beschrijving / specificatie gebruikte model 39
B Gehanteerde uitgangspunten 43

Samenvatting

De Lob van Gennep is het gebied op de rechteroever van de Maas tussen Gennep en Mook. In het gebied liggen de dorpskernen Middelaar, Plasmolen, Milsbeek, Ottersum en Ven-Zelderheide. Bij een overstroming in de huidige situatie stroomt het water vanaf zeer hoge Maasafvoeren het gebied in en heeft het gebied op deze manier een waterbergende werking. De hoogwaterstanden benedenstrooms van de Maas blijven daardoor lager. Voor de hoogwaterveiligheid van het gebied (dijktraject 54-1) is in de Waterwet de norm vastgesteld. Voor dit gebied betekent dat een overstromingskans van 1/300^{e} per jaar. De huidige dijken rond het gebied voldoen daar nu niet aan en moeten worden verhoogd en versterkt.

In de Verkenning Lob van Gennep wordt onderzocht op welke wijze de verbetering van de hoogwaterveiligheid van het gebied kan samengaan met een verbetering van de waterbergende werking van het gebied, om een bijdrage te leveren aan de hoogwaterbeschermingsopgave van de gebieden stroomafwaarts. De derde projectdoelstelling is om de gebiedskwaliteiten van de Lob van Gennep te versterken.

Voor de verkenning is een drietal kansrijke alternatieven benoemd. In voorliggend rapport zijn deze alternatieven onderzocht op de mate waarin zij invulling geven aan de doelstelling met betrekking tot het verbeteren van de waterbergende werking en zijn de effecten voor het gebied die gerelateerd zijn aan deze waterbergende werking in beeld gebracht.

Bij de uitgevoerde analyses is gekeken naar het jaar 2075; het zichtjaar. Daarbij is rekening gehouden met klimaatverandering in de komende 50 jaar volgens klimaatscenario KNMI'06 W+. De effecten van de oplossingsrichtingen op hoogwaterstanden in het gebied en in de Maas zijn in beeld gebracht, evenals de consequenties voor waterstanden, stroomsnelheden en de duur van overstroming van het gebied. De bestaande situatie is daarbij als vergelijkingsbasis gehanteerd. De effecten zijn bepaald met het rekenmodel dat standaard wordt gebruikt voor alle hoogwaterstudies langs de Maas (beschreven in Bijlage A). Het model is voor de berekeningen en analyses nog verfijnd, om de gevolgen voor het gebied en de Maas stroomafwaarts zo goed als mogelijk te simuleren.

In deze verkenning zijn de volgende oplossingsrichtingen onderzocht:

1. De huidige situatie, als referentie voor alle alternatieven. In deze situatie is er een instroomdrempel in de provinciale weg N271, waardoor bij hoge Maasafvoeren water het gebied in stroomt.
2. Reguliere dijken. In dit alternatief worden de dijken op basis van de veiligheidsnorm versterkt, zonder dat specifieke voorzieningen worden getroffen voor de waterbergende werking van het gebied.
3. Verbindende dijken met vaste inlaatdrempels. De overstromingskans van maximaal 1/300^{e} wordt bereikt door sterke dijken waarin één of

meerdere instroomdrempels worden aangelegd op een hoogte die gelijk is aan de dijkhoogte bij Reguliere Dijken. De aanliggende dijken worden hoger aangelegd. In het onderzoek is een alternatief bekeken met drie vaste inlaatdrempels.

4. Verbindende dijken met waterkerende instroomvoorziening. Ter plaatse van de huidige instroomvoorziening wordt een waterkerende instroomvoorziening gebouwd die het water tegenhoudt totdat water ingelaten wordt om de extreme hoogwaterstanden op de benedenstrooms gelegen Maas te verlagen. De dijken rond het gebied worden zodanig ontworpen dat deze bestand zijn tegen de waterstanden die optreden in de situaties waarbij een goede waterbergende werking van belang is voor de dijken stroomafwaarts. Binnen dit alternatief zijn een volledig regelbaar inlaatwerk en een valklep als constructie beschouwd.

Het onderzoek heeft de volgende bevindingen opgeleverd:

Hoogwaterveiligheid Lob van Gennep

Alle alternatieven garanderen dat aan de veiligheidsnorm van een overstromingskans van 1/300^{e} per jaar wordt voldaan. Hiermee verbetert de hoogwaterveiligheid ten opzichte van de huidige situatie. Bij zeer extreme situaties (kans kleiner dan 1/3.000 per jaar) zal de Lob van Gennep zowel in de huidige situatie als bij alle drie de alternatieven overstromen. Het gebied stroomt dan bijna volledig onder water. In het circa 26 km^2 grote gebied wordt in geval van zo'n overstroming maximaal circa 47 miljoen m^3 water tijdelijk geborgen. De maximale waterstanden in het gebied zijn bij het alternatief Verbindende Dijken met waterkerende instroomvoorziening niet veel anders dan de maximale waterstanden bij de huidige inrichting; en bij de andere alternatieven wat lager. De maximale waterdiepte is afhankelijk van de bodemligging in het gebied en kan op de diepste punten ruim 3 meter bedragen. Op andere locaties is het veel minder of zelfs 0 meter. Stroomsnelheden in het gebied zijn afhankelijk van de locatie en type inlaatconstructie. Bij een smalle inlaat, bijvoorbeeld met regelbare instroomvoorziening, zullen de snelheden en turbulenties dicht bij de constructie het hoogst zijn. Daar zullen maatregelen moeten worden getroffen om de snelheden veilig op te vangen. In het gebied zullen de snelheden beperkt blijven tot maximaal 1 m/s, waarbij snelheden van 1 m/s zelfs slechts zeer lokaal voorkomen. Dergelijke snelheden zijn voor een goede grasmat geen enkel probleem.

Effect waterbergende werking Lob van Gennep op de Maas stroomafwaarts

Door de waterbergende werking nemen de hoogwaterstanden in de Maas benedenstrooms van de Lob van Gennep af. Het effect ten opzichte van de huidige situatie is afhankelijk van het hoogwater dat optreedt op de Maas. De hoogte van de dijken, drempels of waterkerende instroomvoorziening en de sturing hiervan bepalen uiteraard ook het effect.

Voor alle alternatieven is het gemiddelde effect op de hoogwaterstanden op het traject van 75 km tussen de Lob van Gennep en Waalwijk in

onderstaande tabel samengevat. Hierbij wordt gekeken naar de Maasafvoer die representatief gesteld is voor het afvoerbereik dat relevant is voor de dijkverhogingsopgave stroomafwaarts.

Alternatief	Topafvoer St. Pieter: 5.000 m^3/s
	Gemiddelde waterstandsdaling [m] t.o.v. huidige situatie op traject km 165-240
Reguliere dijken	-0,07
Verbindende dijken met vaste drempels	-0,03
Verbindende dijken met waterkerende instroomvoorziening	-0,12

De resultaten van de uitgevoerde analyses laten een beperkt verschil in waterstandsverlagend effect tussen de alternatieven zien. De verschillen in effectiviteit zijn gering, waarmee er geen sprake is van een onderscheidend verschil tussen de alternatieven. Bovendien worden de verschillen tussen de alternatieven nog wat kleiner als rekening wordt gehouden met onzekerheden in de vorm van de hoogwatergolf, modelonzekerheden en statistische onzekerheden.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en doelstellingen van het project

In het uiterste noorden van Limburg, tussen Mook en Gennep is de Lob van Gennep gelegen. In dit gebied liggen de dorpskernen Middelaar, Plasmolen, Milsbeek, Ottersum en Ven-Zelderheide met daartussen, buiten de bebouwde kom, een gebied met veel (agrarische) bedrijven. Het gebied, met zo'n 7.000 inwoners, wordt door dijken beschermd tegen hoogwater vanuit de Maas en bevindt zich vanuit deze rivier gezien op een bijzondere plek; op de overgang van de Maasvallei naar de Bedijkte Maas. Het is een gebied met grote en vele landschappelijke kwaliteiten zoals de stuwwal, het unieke Niersdal, het Maasdal, de Maaskemp en het Genneperhuis.

Het grootste deel van de dijken die de Lob van Gennep tegen hoogwater beschermen is aangelegd na de hoogwatersituaties van 1993 en 1995. In 2005 hebben deze dijken de wettelijke status van primaire waterkering gekregen. Sindsdien zijn er verschillende dijkversterkingsmaatregelen genomen om het dijktraject aan de veiligheidsnorm te laten voldoen. Op 1 januari 2017 is een nieuwe, strengere veiligheidsnorm van kracht geworden en aan deze norm voldoen de dijken rond de Lob van Gennep nog niet. De waterveiligheidsnorm houdt in dat de overstromingskans van het gebied niet groter mag zijn dan 1/300 per jaar. De dijken rond de Lob van Gennep, ook wel 'dijktraject 54-1' genoemd, moeten worden verhoogd en versterkt.

Met de verhoging en versterking van dijktraject 54-1 wordt het gebied Lob van Gennep beter beschermd tegen hoogwater. Net als bij alle andere dijktrajecten in Nederland zal een kleine kans op overstroming altijd blijven bestaan. Dit gegeven zorgt er samen met de grootte van het gebied voor, dat de Lob van Gennep een relevante rol speelt in het riviersysteem van de Maas bij zeer extreem hoogwater. In het geval van Maasafvoeren die hoger zijn dan waar de dijken op berekend zijn, zal sprake zijn van overstroming van het gebied. Op dat moment vindt tijdelijke berging van water plaats en zullen de hoogwaterstanden stroomafwaarts minder stijgen. Op deze manier heeft de Lob van Gennep een waterbergende werking, die ervoor zorgt dat stroomafwaarts gelegen dijken minder verhoogd hoeven te worden. Binnen de Verkenning Lob van Gennep worden alternatieven onderzocht waarmee de verbetering van de hoogwaterveiligheid van het gebied samengaat met het verbeteren van de waterbergende werking. Alle alternatieven moeten invulling geven aan de drie projectdoelstellingen:

- **Het verbeteren van de hoogwaterbescherming in de Lob van Gennep,** zodat de kans op overstroming van het gebied kleiner wordt. Dit omvat het versterken en/of waar nodig aanleggen van dijken tot de wettelijke waterveiligheidsnorm. Dit is voor de Lob van Gennep een overstromingskans van 1/300 per jaar.

- **Het verbeteren van de waterbergende werking van de Lob van Gennep** om bij extreem hoogwater stroomafwaarts te zorgen voor waterstandsverlaging en daarmee bij te dragen aan de hoogwaterbeschermingsopgave van stroomafwaarts gelegen gebieden.
- **Het versterken van de ruimtelijke kwaliteit in de Lob van Gennep** door het behouden, verbinden en versterken van landschappelijke, cultuurhistorische, toeristisch-recreatieve en natuurwaarden, zodat voorwaarden ontstaan voor gebiedsontwikkeling in en rondom het gebied.

1.2 Verkenningsfase

In het voorjaar van 2019 is de startbeslissing genomen voor de uitvoering van de Verkenning Lob van Gennep. Hiermee is de projectfase van start gegaan waarin alternatieven ontwikkeld worden, in beeld gebracht wordt welke alternatieven kansrijk zijn en voor de kansrijke alternatieven uitgewerkt wordt welke effecten deze hebben en in welke mate deze invulling geven aan de projectdoelstellingen. In de Notitie Reikwijdte en Detailniveau Lob van Gennep (januari 2020), die in de periode van februari tot april 2020 ter inzage heeft gelegen, is opgenomen welke alternatieven als kansrijk gezien worden en verder uitgewerkt en onderzocht worden in de verkenning. Aan het eind van de verkenningsfase zal op basis van de uitgevoerde onderzoeken en analyses een besluit worden genomen over het te kiezen Voorkeursalternatief. In de volgende fase, de planuitwerking, wordt het voorkeursalternatief nader uitgewerkt.

1.3 De watereffecten voor het gebied en langs de Maas in beeld

De alternatieven die in beeld zijn om invulling te geven aan de projectdoelstellingen worden in de verkenningsfase uitgewerkt en onderzocht op effectiviteit en milieueffecten, om uiteindelijk een keuze te kunnen maken voor een voorkeursalternatief. De drie geselecteerde kansrijke alternatieven zijn (Notitie Reikwijdte en Detailniveau Lob van Gennep, januari 2020):

- Reguliere Dijken;
- Verbindende Dijken met vaste drempel(s);
- Verbindende Dijken met waterkerende instroomvoorziening.

In voorliggende rapportage zijn voor deze alternatieven de volgende aspecten in beeld gebracht:

- De effectiviteit van de verschillende alternatieven ten aanzien van de verlaging van waterstanden benedenstrooms door de waterbergende werking van de Lob van Gennep. Dit geeft aan in welke mate de alternatieven invulling geven aan de doelstelling om de waterbergende werking te verbeteren;
- De consequenties van de verschillende alternatieven ten opzichte van de bestaande situatie met betrekking tot:
  - Optredende waterstanden in het gebied na een overstroming;

- De grootte van het gebied dat bij bepaalde Maasafvoeren overstroomt;
- Stroomsnelheden in geval van een overstroming;
- De tijdsduur van overstroming.

Deze informatie vormt input voor het milieueffectrapport.

Door middel van analyses en modelsimulaties zijn deze aspecten in beeld gebracht.
In voorliggende rapportage zijn de uitkomsten van de modelstudie gerapporteerd. Deze vormen een onderdeel van de in beeld te brengen informatie om op basis van het voor de verkenning geldende beoordelingskader uiteindelijk een voorkeursalternatief te kunnen kiezen.

1.4 Leeswijzer

In het tweede hoofdstuk van deze rapportage worden de verschillende alternatieven beschreven die in het modelonderzoek aan bod komen. Vervolgens volgen in het derde hoofdstuk de effecten van de verschillende alternatieven in het gebied Lob van Gennep. Hoofdstuk 4 gaat in op de waterstandseffecten benedenstrooms. Tot slot volgen conclusies en aanbevelingen voor het vervolg in hoofdstuk 5.
In de bijlagen zijn de achtergronden van het gebruikte model opgenomen en de gehanteerde uitgangspunten.

2 Beschrijving alternatieven

In de volgende paragrafen volgt een beschrijving van de referentiesituatie en van de drie alternatieven die in de verkenning nader uitgewerkt en onderzocht worden.

2.1 De huidige situatie (referentie)

Het handhaven van de huidige situatie vormt geen oplossing voor de drie gestelde projectdoelen. Het is daarmee geen alternatief, maar dient als referentie om de effecten van de andere alternatieven mee te vergelijken.

In de bestaande situatie is een verlaging in de dijk aanwezig die functioneert als een instroomdrempel. Deze verlaging is aanwezig in de provinciale weg N271 ter hoogte van de Kroonbeek, tussen de Bloemenstraat te Milsbeek en de rotonde richting Ottersum. Met een hoogte van 13,45 m+NAP zal water over deze drempel beginnen te stromen bij Maasafvoeren van 3.600 m^3/s (afvoer bij St. Pieter) en hoger. De keersluis bij Mook is in hoogwatersituaties gesloten. Water stroomt het gebied in en zal aan de binnendijkse zijde vastgehouden worden achter de dijk. Dit zorgt voor verlaging van de waterstanden stroomafwaarts, tot aan de Biesbosch.

Vanaf bepaalde afvoersituaties, extremer dan 3.600 m^3/s, zal het water op meerdere plekken over de dijk het gebied instromen. Ook bestaat het risico dat een dijkdoorbraak optreedt. Wanneer sprake is van overstroming van het gebied bij zeer extreme Maasafvoeren, kan het fenomeen zich voordoen dat het water aan de benedenstroomse zijde bij Mook het gebied weer uitstroomt; over de bestaande dijken en de keersluis terug naar de Maas.

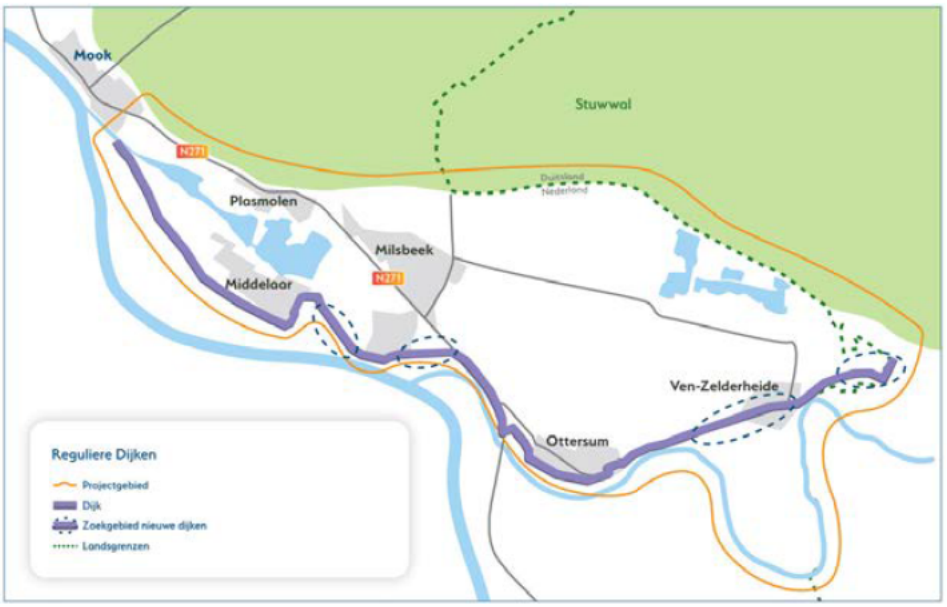
2.2 Reguliere dijken

Bij het alternatief 'reguliere dijken' worden de dijken zodanig versterkt en verhoogd dat deze - net als bij de volgende alternatieven - aan de wettelijke veiligheidsnorm van een overstromingskans van $1/300^e$ per jaar voldoen. Er worden hierbij geen voorzieningen getroffen voor het inlaten van water in extreme omstandigheden.

Binnen het huidige ontwerpinstrumentarium voor dijken wordt gewerkt met een zogenaamde faalkansbegroting. Met alle manieren waarop een dijk kan falen moet rekening worden gehouden, zodat de overstromingskans van het achterliggende gebied in totaal niet groter is dan de norm van $1/300^e$ per jaar. Voor alle dijken geldt namelijk dat deze niet alleen kunnen falen door

een hoogtetekort, maar zeker ook door een gebrek aan sterkte. In die gevallen bezwijkt de dijk, doordat deze niet bestand is tegen de waterdruk en instabiel wordt of bijvoorbeeld door het fenomeen piping. Bij piping wordt de dijk ondermijnd door water dat via doorlatende grondlagen onder de dijk doorstroomt en zanddeeltjes meevoert. Om het veiligheidsniveau van 1/300 per jaar te bereiken, moet de hoogte van de dijk gebaseerd zijn op strengere condities dan situaties die gemiddeld eenmaal per 300 jaar voorkomen. Voor dijktraject 54-1 wordt gekozen voor een hoogte die gebaseerd is op condities met een overschrijdingskans van 1/600^{e} per jaar. Dit gaat gepaard met strenge eisen aan de sterkte en stabiliteit van de dijken.

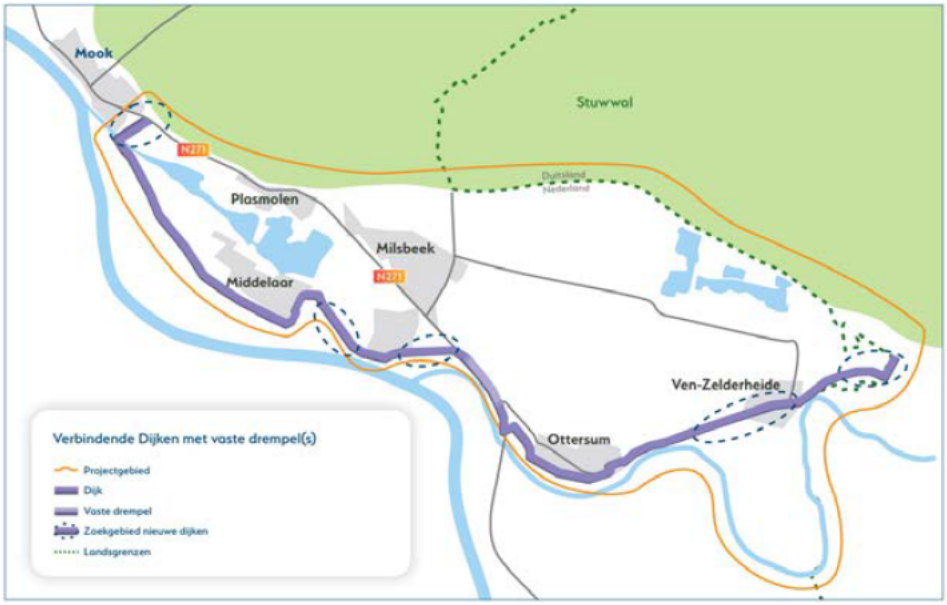
Figuur 1
Reguliere dijken



2.3 Verbindende dijken met vaste instroomdrempel(s)

Ook bij dit alternatief worden de dijken zodanig verhoogd en versterkt dat het dijktraject voldoet aan de overstromingskans van 1/300^{e} per jaar. Er worden hierbij wel één of meer instroomdrempels aangelegd, die ervoor zorgen dat het gebied vanaf bepaalde extreme Maasafvoeren zal instromen. De hoogte van deze drempels is gelijk aan de dijkhoogte bij alternatief 'reguliere dijken'. De overige delen van het dijktraject worden extra verhoogd, zodat de instroom van water start bij de drempellocaties en zich daar ook bij nog extremere Maasafvoeren concentreert.

Figuur 2
Verbindende dijken met vaste drempel(s)



Het aantal en de lengte van de drempellocaties is onderdeel van de verdere uitwerking van het alternatief in het te doorlopen participatieproces. Vooruitlopend hierop is als startpunt uitgegaan van een drietal drempellocaties, waarbij op alle drie de locaties géén sprake is van bebouwing direct binnendijks van de drempels. Deze voorwaarde beperkt tevens de totale lengte van de drempels. De locaties van de drempels bevinden zich op de plek van de bestaande instroomdrempel en verder stroomopwaarts hiervan, langs de Niers. Uitgegaan is van de aanleg van een nieuwe dijk die de keersluis bij Mook met de stuwwal verbindt. Deze dijk vormt een scheiding tussen Mook en het gebied van de Lob van Gennep en heeft een functie in het voorkomen dat het gebied vroegtijdig instroomt vanuit Mook en een functie in het vasthouden van water bij zeer extreme hoogwatersituaties.

2.4 Verbindende dijken met waterkerende instroomvoorziening

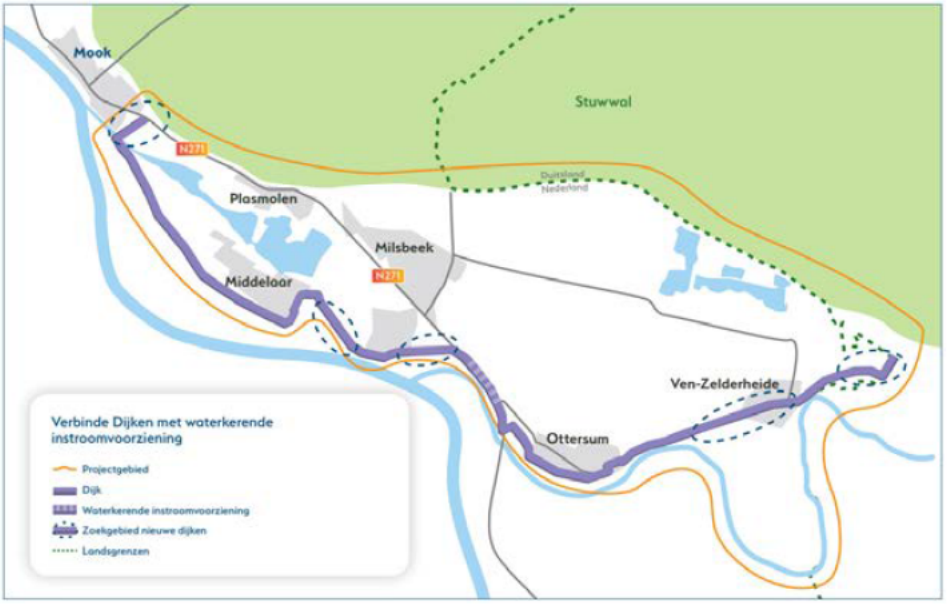
Bij dit alternatief wordt een zogenaamde waterkerende instroomvoorziening gebouwd als onderdeel van het dijktraject. Deze constructie houdt het water tegen tot de zeer extreme Maasafvoeren die voor de benedenstroomse, hoger genormeerde dijkringen bepalend zijn voor de benodigde dijkhoogte. Het gaat daarmee om omstandigheden met een kans van voorkomen van 1/3.000^{e} per jaar, waarbij de waterkerende instroomvoorziening pas geopend wordt. De dijken rond het gebied worden zodanig ontworpen dat deze bestand zijn tegen de waterstanden die optreden in de situaties waarbij de waterbergende werking van belang is voor de dijken stroomafwaarts. Er moet namelijk voorkomen worden dat door het bezwijken van dijken het gebied vroegtijdig instroomt en de waterbergende werking (eigenschappen) van het gebied voor een belangrijk deel verloren gaat, voordat de daadwerkelijke piek van het hoogwater in de Maas het gebied passeert. Het gaat dan om

situaties met Maasafvoeren vanaf 4.700 m^3/s (kans 1/3.000^e per jaar in 2075, conform GRADE-afvoerstatistiek en KNMI'06-klimaatscenario W+, OI2014v4) tot 5.200 m^3/s (werkhypothese). De dijken krijgen hierdoor extra hoogte en sterkte ten opzichte van de veiligheidsnorm van 1/300^e per jaar. Ten westen van de instroomvoorziening is bovendien sprake van extra verhoging van de dijken om te voorkomen dat het water na overstroming in zeer extreme omstandigheden over de dijk het gebied weer uitstroomt naar de Maas. Ook vormt een nieuwe dijk tussen de keersluis van Mook en de stuwwal onderdeel van dit alternatief. Deze dijk vormt een scheiding tussen Mook en het gebied van de Lob van Gennep en heeft een functie in het voorkomen dat het gebied vroegtijdig instroomt vanuit Mook en een functie in het vasthouden van water bij zeer extreme hoogwatersituaties.

Ten aanzien van de waterkerende instroomvoorziening is met twee varianten gerekend in dit rapport:

- Een volledig regelbaar werk, waarbij de beweegbare delen ook tegen het verval in geheel of gedeeltelijk te sluiten zijn. Hierbij is het inlaten van water volledig en traploos stuurbaar, gericht op het maximaal verlagen van de Maasafvoer. Er is hierbij geen minimaal niveau gehanteerd voor de drempelhoogte van de geopende voorziening. Een regelbaar werk dat door menselijk handelen wordt geopend op basis van een afgesproken inzetprotocol. Op deze manier is verkend wat de (theoretisch) maximaal haalbare waterstandsverlaging is;
- Een regelbaar werk waarvan enkel het moment van openen te kiezen is. Eenmaal geopend blijft de voorziening in de geopende toestand. De drempelhoogte van de voorziening is hierbij aangehouden op 13,4 m+NAP, gelijk aan de hoogte van de bestaande verlaging in de N271. In het vervolg van het rapport wordt deze variant de 'valklep' genoemd. Een klep die door menselijk handelen volledig wordt geopend op basis van een afgesproken inzetprotocol.

Figuur 3
Verbindende dijken met waterkerende instroomvoorziening



3 Effecten gebied Lob van Gennep

In dit hoofdstuk beschrijven we de consequenties van extreem hoge afvoeren op de Maas in het gebied van de Lob van Gennep voor de verschillende alternatieven. Deze consequenties zijn bepaald op basis van uitgevoerde modelberekeningen. Het rekenmodel dat daarvoor is gebruikt, is beschreven in Bijlage A. Dit model wordt standaard gebruikt voor alle hoogwaterstudies langs de Maas. Het model is voor de berekeningen en analyses voor de Lob van Gennep nog verfijnd, om de gevolgen voor het gebied en de Maas stroomafwaarts zo goed als mogelijk te simuleren.

In paragraaf 3.1 laten we zien hoe het gebied in extreme situaties overstroomt, hoe ver het water komt en hoe het water weer wegstroomt als de waterstanden op de Maas zakken.

Paragraaf 3.2 laat zien welke maximale waterstanden en stroomsnelheden mogen worden verwacht als het gebied overstroomt. Tevens worden de verschillen getoond ten opzichte van de huidige situatie.

In paragraaf 3.3 zijn kaarten opgenomen die illustreren hoe het gebied na een overstroming leegloopt voor verschillende alternatieven.

Alle berekeningen zijn uitgevoerd met een set van hoogwatersituaties die volledig in lijn zijn met de hoogwatersituaties die de basis vormen voor de hydraulische randvoorwaarden binnen het Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium voor waterkeringen en het huidige ontwerpinstrumentarium (OI). Dit betekent dat wordt uitgegaan van het KNMI'06 W+ scenario en aftoppen door overstromingen in Wallonië niet in de randvoorwaarden is verwerkt ([redacted] 2017). In onderstaande tabel zijn de topafvoeren van die hoogwaters nabij Maastricht (meetstation St. Pieter) gegeven. Tevens is aangegeven wat de herhalingstijd (in jaren) is van die hoogwaters, uitgaande van het zichtjaar 2075 en het W+ klimaatscenario.

Tabel 1 Topafvoeren bij St. Pieter en bijbehorende herhalingstijd in 2075. Opm: herhalingstijden afgerond naar 100-tallen.

Topafvoer bij St. Pieter [m^3/s]	Herhalingstijd in Jaren
3.600	100
4.100	300
4.500	1.200
4.800	4.900
5.000	16.600
5.200	55.100

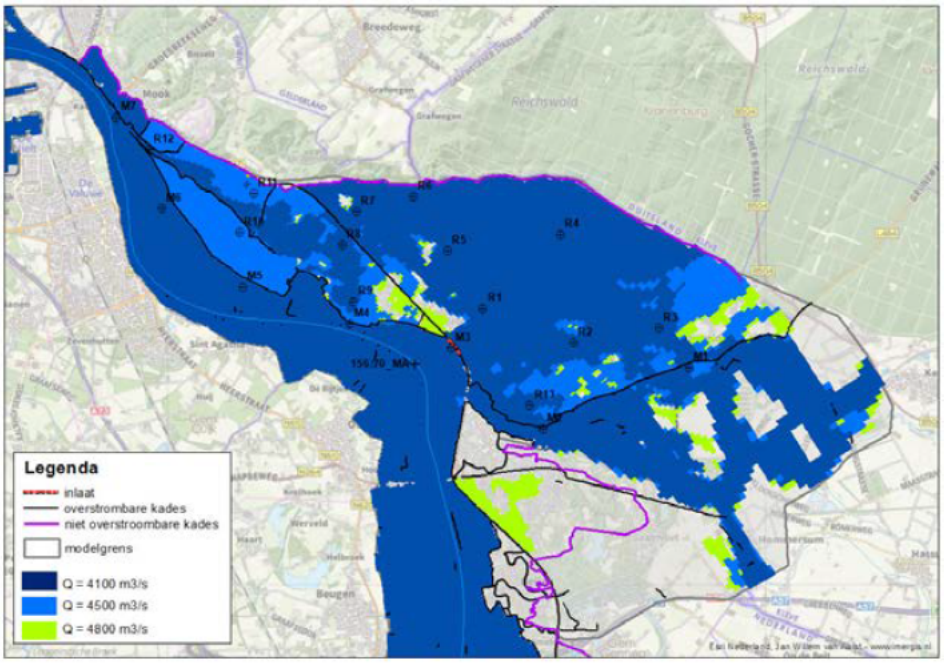
3.1 Overstromingsbeeld huidige situatie en projectalternatieven

In deze paragraaf wordt voor de huidige situatie en de projectalternatieven het gebied in beeld gebracht dat in de Lob van Gennep overstroomt bij de verschillende doorgerekende hoogwaters. In de figuur voor een bepaalde situatie wordt met kleuren aangegeven hoe het gebied uitbreidt indien de topafvoer op de Maas toeneemt.

3.1.1 Huidige Situatie

Figuur 4 laat zien dat in de huidige situatie met de verlaagde drempel (rood in de kaart) het gebied van de Lob van Gennep bij extreme hoogwaterafvoer overstroomt. Bij de '4.100 m^3/s afvoer' wordt een groot gedeelte van het gebied overstroomd. Delen van de dorpen Milsbeek, Ottersum en Ven-Zelderheide overstromen eveneens. Naarmate de afvoer toeneemt overstroomt het gehele gebied.

Figuur 4 Overstroomd gebied Huidige situatie bij verschillende Maasafvoeren. Alle gebieden waar water staat worden in deze figuur aangegeven.

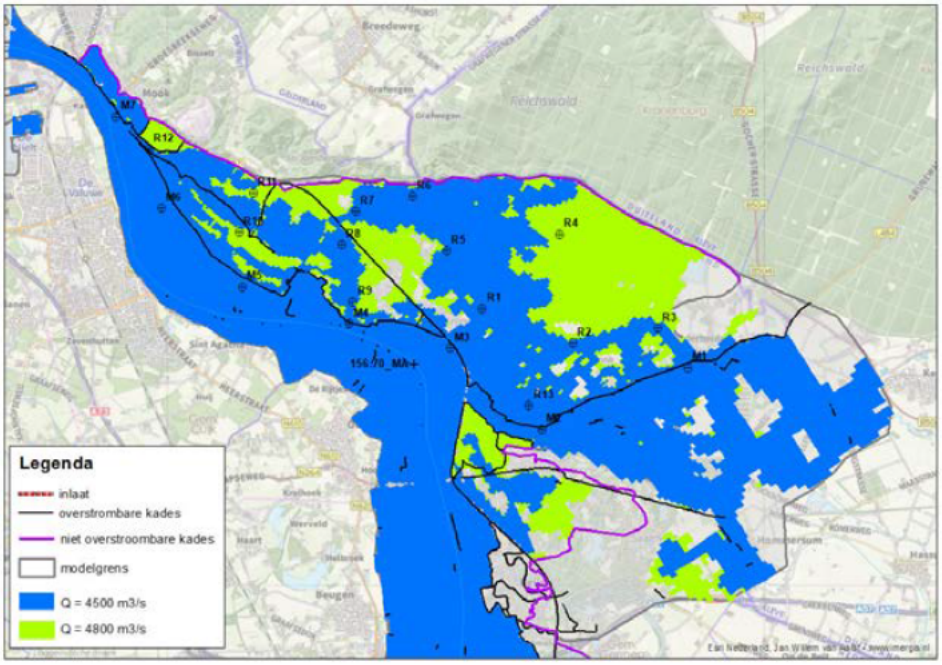


3.1.2 Reguliere dijken

In dit alternatief worden de dijken rond de Lob van Gennep versterkt tot de norm van 1/300^e overstromingskans per jaar in het jaar 2075. De dijken worden dan verhoogd en versterkt. Zoals aangegeven in paragraaf 2.2 is gekozen voor een hoogte die gebaseerd is op waterstanden met een overschrijdingskans van 1/600^e per jaar. Bij deze kans hoort in het jaar 2075 een topafvoer bij St. Pieter van ca. 4.350 m^3/s.
In Figuur 5 is het overstroomd gebied bij hoge afvoeren getoond. De overstromingskaarten laten zien dat, ten opzichte van de huidige situatie, het gebied later overstroomt, ofwel bij een hogere rivierafvoer. Ook is het totale

gebied dat tijdens een bepaald hoogwater overstroomt bij Reguliere Dijken kleiner dan het in de huidige situatie zou zijn.

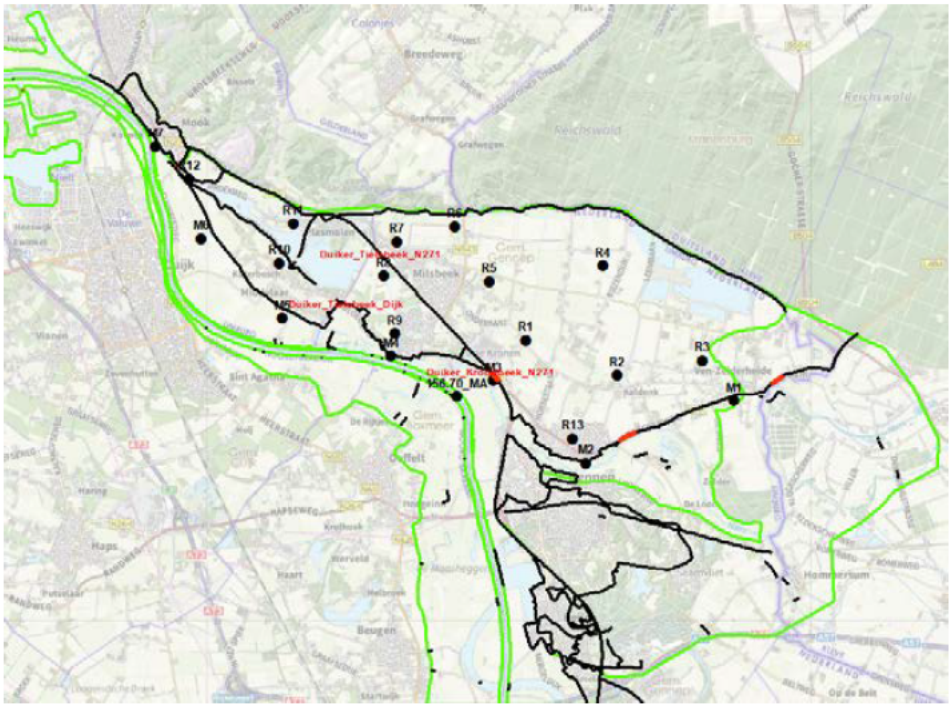
Figuur 5 Overstroomd gebied Reguliere Dijken bij verschillende Maasafvoeren



3.1.3 Verbindende dijken met vaste instroomdrempels

In het gebied is gezocht naar mogelijk locaties om vaste drempels aan te leggen. De drempels mogen niet te laag liggen om aan het minimale beschermingsniveau van 1/300^{e} per jaar overstromingskans te voldoen. Om verbetering van de waterbergende werking te kunnen bereiken moeten de drempels zo breed mogelijk zijn om voldoende water in te laten. Voor de locatie van de vaste inlaten is gezocht naar dijktrajecten waar een inlaat mogelijk is zonder direct bestaande bebouwing te bedreigen. Figuur 6 geeft de kaart met de 3 locaties van de drempels. In Figuur 7 zijn de locaties in detail gegeven. De totale breedte van de inlaatdrempels, zoals aangenomen ten behoeve van de modelberekeningen, is bij elkaar ongeveer 775 meter.

Figuur 6
Locaties van de drie vaste inlaten (rood aangegeven), zoals aangenomen in de modelberekeningen



Figuur 7
Locaties van de drie vaste inlaten (rood aangegeven), zoals aangenomen in de modelberekeningen



Locatie west (ca 205 m breed)



Locatie midden (ca 325 m breed)

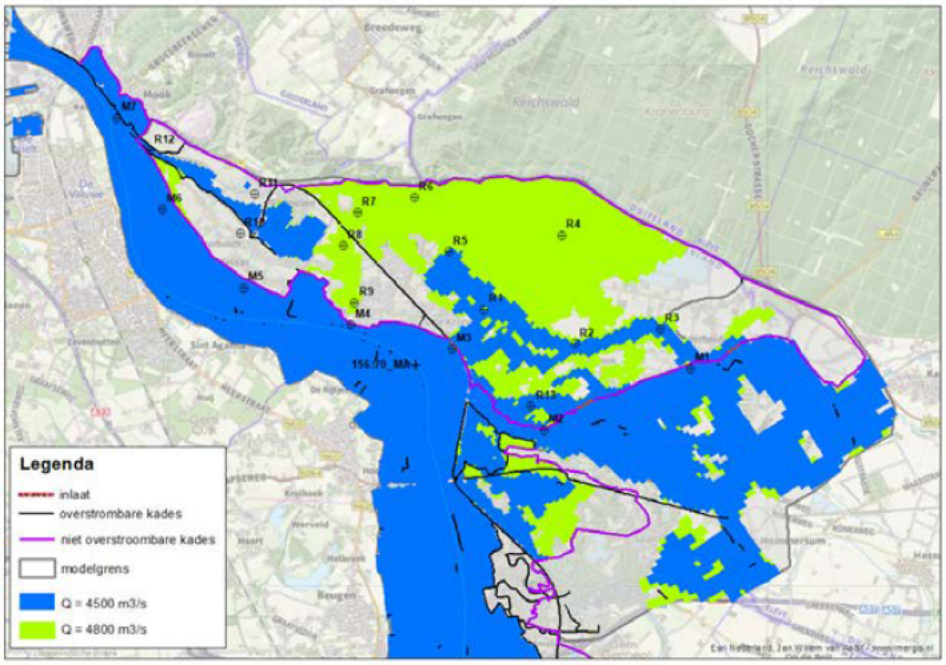


Locatie oost (ca 245 m breed)

De kruinen van de inlaten zijn aangelegd op waterhoogtes bij een kans van 1/600^{e} per jaar, ofwel op hetzelfde niveau als de dijkhoogte van reguliere dijken (zie paragraaf 3.1.2). De bijbehorende overstromingskaart is weergegeven in Figuur 8. In vergelijking met het alternatief reguliere dijken is het overstroomde gebied zowel bij een afvoer van 4.500 m^3/s als bij een afvoer van 4800 m^3/s kleiner. Bij de drie inlaatdrempels is de

doorvoercapaciteit naar het gebied uiteraard kleiner dan bij reguliere dijken, waar het water over de gehele dijk kan stromen.

Figuur 8 Overstroming bij Verbindende Dijken met vaste drempels, bij verschillende Maasafvoeren



3.1.4 Verbindende dijken met waterkerende instroomvoorziening

In het alternatief met een stuurbare, waterkerende instroomvoorziening kan op basis van de verwachte hoogwaterstanden worden besloten wanneer de inlaat wordt geopend. Om daarmee de hoogwatergolf zo effectief mogelijk af te toppen. Dit inzetniveau wordt gekozen zodat (1) de overstromingskans van de Lob van Gennep niet groter is dan de norm van 1/300^{e} per jaar en (2) het maximaal bijdraagt aan de hoogwaterbeschermingsopgave in het benedenstroomse traject. Zoals in paragraaf 2.4 is beschreven, is het 2^{e} criterium daarbij maatgevend. De waterbergende werking moet optreden ergens tussen 4.700 m^3/s (kans 1/3.000^{e} per jaar in 2075) tot 5.200 m^3/s.

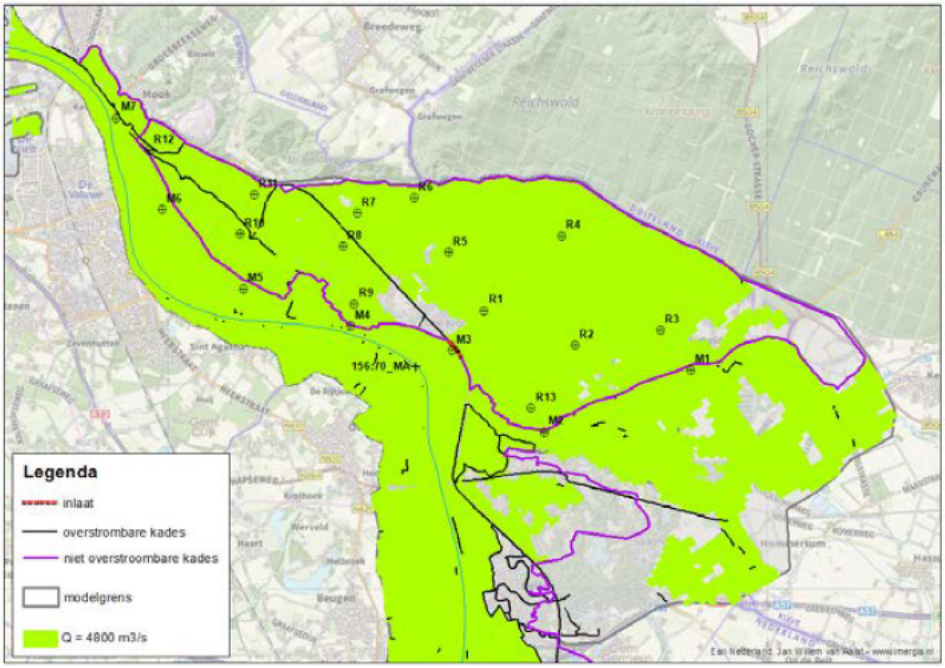
De inlaat wordt op basis van voorspelde afvoeren en waterstanden zodanig geopend, dat de waterbergende werking (eigenschappen) van het gebied optimaal wordt benut. Dit betekent dat bij inzet het gebied grotendeels wordt gevuld. Op de plaats van de huidige inlaat is een stuurbare inlaat van ca. 200 meter breedte ingepast in het model. De sturing van het regelwerk geschiedt in het model door het laten zakken van de drempel. In werkelijkheid zijn uiteraard ook andere constructies denkbaar zoals schuiven en kleppen. Voor de berekeningen maakt dat echter weinig uit.

Voor dit alternatief zijn twee varianten verkend:

- Een volledig regelbaar werk, waarbij de hoogwatergolf traploos en optimaal kan worden afgetopt om het afvoer- en waterstandseffect op de Maas benedenstrooms zo groot mogelijk te maken.
- Een valklep waarvan enkel het moment van (volledig) openen te kiezen is. Eenmaal geopend blijft de voorziening in de geopende toestand. De drempelhoogte van de voorziening is hierbij aangehouden op 13,4 m+NAP, gelijk aan de hoogte van de bestaande verlaging in de N271.

Figuur 9 toont een voorbeeld voor de valklep die volledig wordt geopend bij een optimaal geachte waterstand als een hoogwatergolf met een topafvoer van 4.800 m^3/s St. Pieter passeert. Het gebied is bij passeren van de afvoertop volledig overstroomd en dat gebied wordt bij nog extremere afvoeren nauwelijks groter.

Figuur 9 Overstroming verbindende dijken met valklep



3.2 Maximale stroomsnelheden en waterstanden

Maximale stroomsnelheden en waterstanden in de Lob van Gennep zijn voor de alternatieven en hoogwatersituaties in beeld gebracht. Deze resultaten geven de te verwachten bandbreedten van maximale stroomsnelheden voor het gebied. Voor de waterstanden in de Lob van Gennep wordt tevens in beeld gebracht of door de alternatieven de waterstanden bij extreme afvoeren toe- of afnemen ten opzichte van de huidige situatie.

3.2.1 Maximale stroomsnelheden

De maximale stroomsnelheden geven een beeld van de krachten die tijdens het overstromen van het gebied kunnen optreden, en of er erosie van de bodem of schade mag worden verwacht. De maximale stroomsnelheden zijn

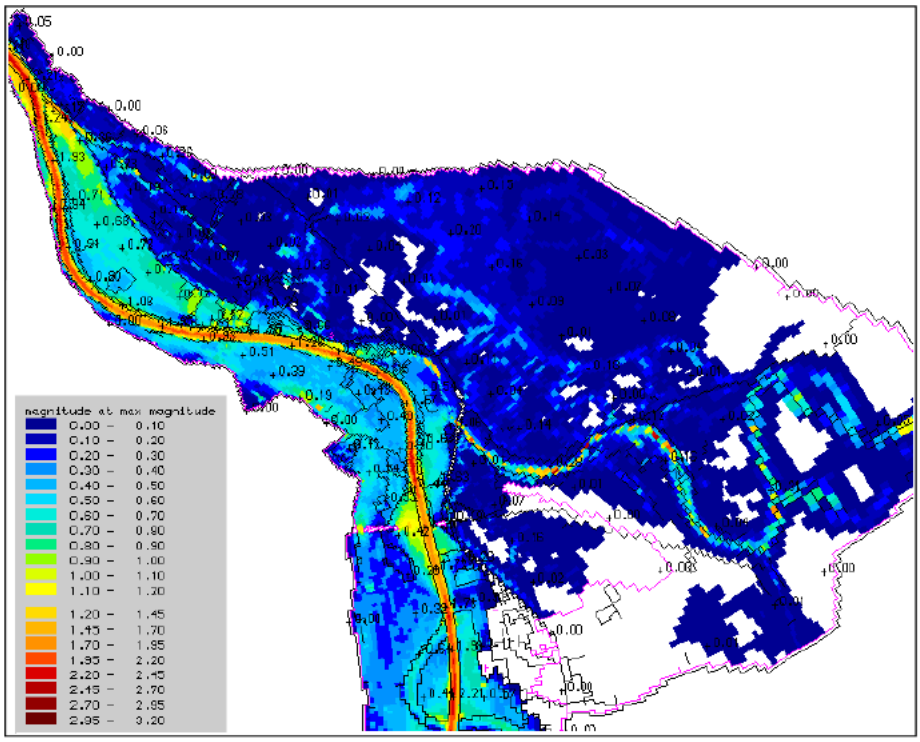
in beeld gebracht voor de meest extreme hoogwatersituatie met een top van 4.800 m^3/s bij St. Pieter. Het betreft per locatie de maximale snelheid gedurende de gehele berekening. Het kan in theorie dus zijn, dat in een bepaald gebied die maximale snelheid is opgetreden tijdens het instromen en in een ander gebied tijdens de passage van de top van het hoogwater. De maximale snelheden zijn in beeld gebracht voor de volgende alternatieven:

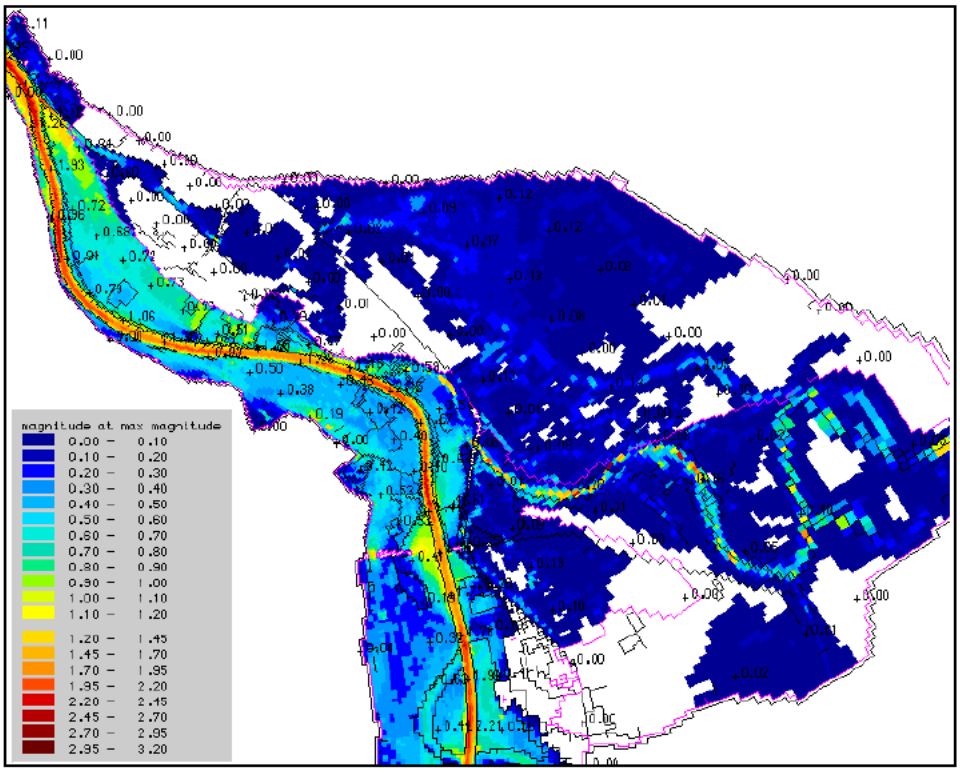
1. Reguliere dijken (Figuur 10).
2. Verbindende dijken met vaste inlaten (Figuur 11).
3. Verbindende dijken met een regelbaar kunstwerk in de vorm van een valklep (Figuur 12).

Verwachting is dat het overstromen van het gebied bij de alternatieven Reguliere Dijken en Verbindende Dijken met vaste drempels geleidelijk verloopt en de stroomsnelheden ook geleidelijk zullen oplopen. In het alternatief met de valklep opent de inlaat plotseling en kunnen op dat moment lokaal hoge snelheden optreden.

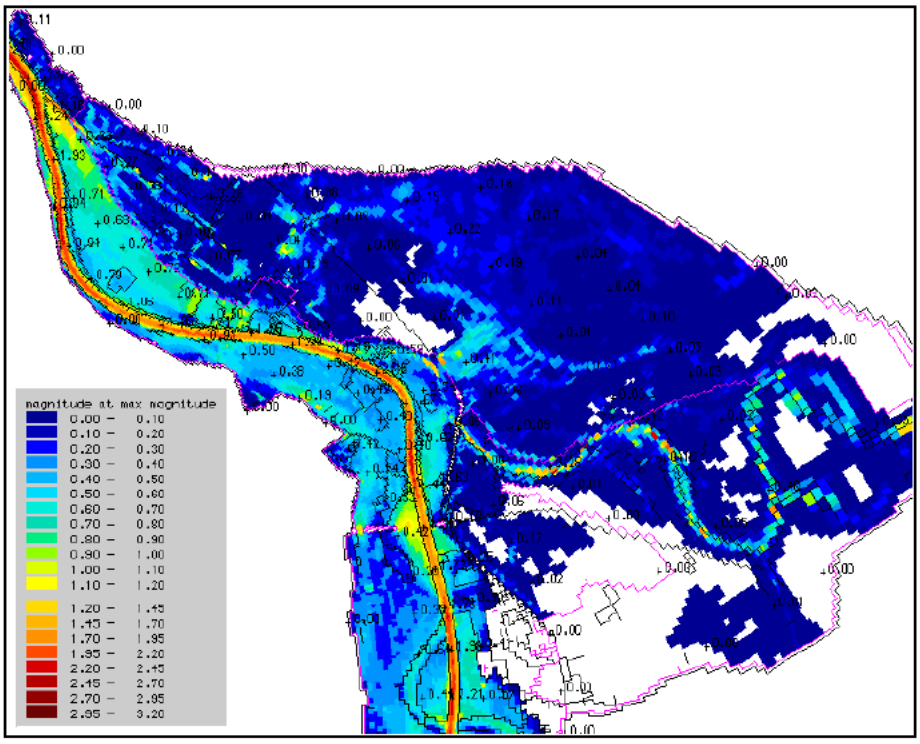
In Figuur 10 - Figuur 12 is te zien dat de maximale stroomsnelheden bij de valklep inderdaad het grootste zijn en bij vaste inlaten het kleinste. Maximale snelheden in het gebied komen echter niet boven 1 m/s. Dit is een snelheid die voor een goed grasmat geen probleem voor erosie zal opleveren.
Dicht bij de inlaatconstructies is wel turbulentie te verwachten bij het eerste instromen van het gebied. Dit wordt in het gebruikte model niet in dat detail berekend. Daarvoor zullen lokaal (dicht bij inlaatconstructie) passende beschermingsmaatregelen getroffen moeten worden.

Figuur 10 Maximale snelheden bij afvoer 4.800 m^3/s bij alternatief reguliere dijken.





Figuur 11 Maximale snelheden bij afvoer 4.800 m³/s bij alternatief verbindende dijken met vaste instroomdrempels.

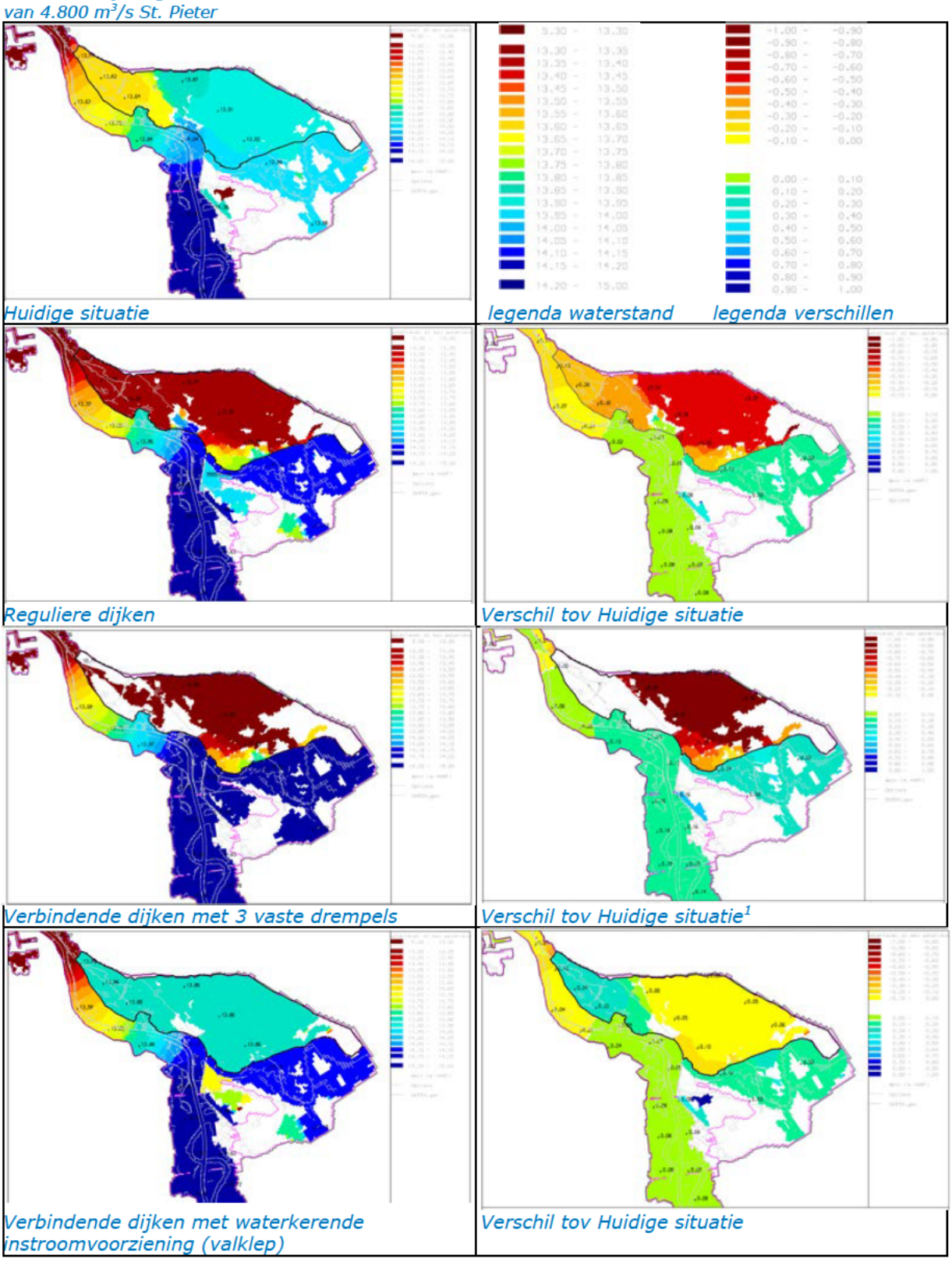


Figuur 12 Maximale snelheden bij afvoer 4.8000 m³/s bij alternatief verbindende dijken en waterkerende instroomvoorziening (valklep).

3.2.2 Maximale waterstanden

In onderstaande figuren zijn aan de linkerzijde de maximaal berekende waterstanden gegeven voor verschillende alternatieven bij een hoogwater van 4.800 m³/s. Aan de rechterzijde is het verschil ten opzichte van de huidige situatie gegeven.

Figuur 13
Max. waterstanden en verschillen bij hoogwater van 4.800 m³/s St. Pieter



[1] In het gebied ten westen van de N271 (Middelaar, Plasmolen) zijn de waterstanden in dit alternatief dusdanig laag in vergelijking met de huidige situatie, dat de verschillen buiten de bandbreedte van de legenda vallen en dus geen kleur krijgen

In de verschilfiguren aan de rechterzijde betekent een gele of rode kleur dat de topwaterstand bij deze afvoer afneemt ten opzichte van de huidige situatie. Groen of blauw betekent een hogere waterstand dan in de huidige situatie. De figuren laten zien dat bij een hoogwater met een kans van voorkomen van ca 1/5.000^{e} per jaar (topafvoer St. Pieter van 4.800 m^3/s), de topwaterstanden in het gebied vaak lager zijn dan in de huidige situatie bij eenzelfde hoogwater. In geval van sturing – bij het alternatief met de waterkerende instroomvoorziening, zijn de topwaterstanden hoger dan bij de andere alternatieven door betere benutting van de waterbergende werking (eigenschappen) van het gebied, onder andere omdat het water niet over dijken terug kan stromen naar de Maas. Ten westen van de provinciale weg N271 (tussen Mook en Middelaar) zijn de topwaterstanden bij deze afvoer tot ca 30 cm hoger dan in de huidige situatie.

Samenvatting resultaten m.b.t. overstromingsbeeld en maximale waterstanden

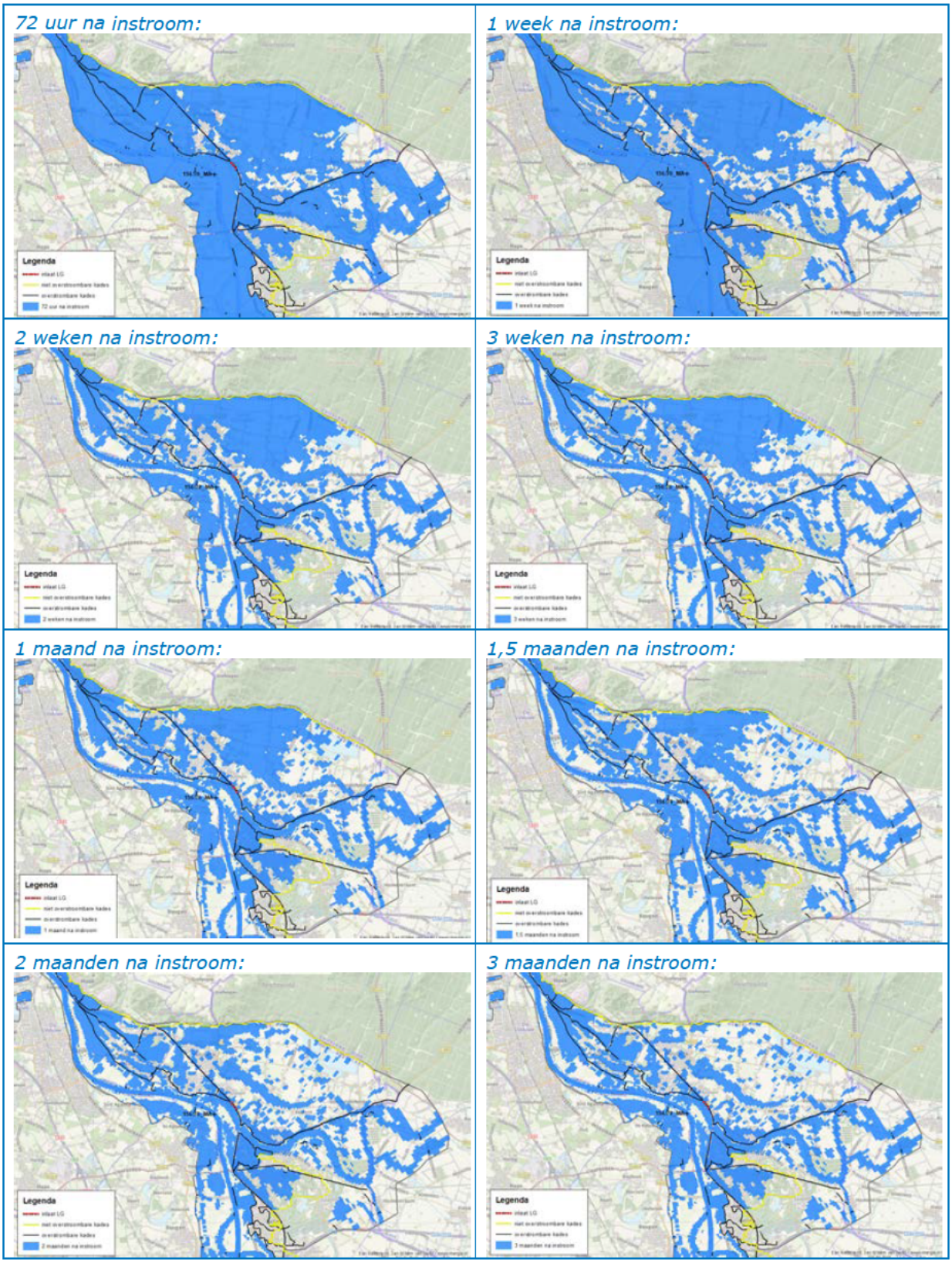
Alternatief	Verschil in overstromingsgebied en overstromingsdiepte t.o.v. huidige situatie		
	Gevolgen bij 4500 m^3/s	Gevolgen bij 4800 m^3/s	
		Ten westen van N271 (Middelaar, Plasmolen)	Ten oosten van N271
Reguliere Dijken	Water in gebied: Ottersum, deel Milsbeek en landbouwgronden	Overstroming, waterdieptes 0,3 m lager	Overstroming, beperkt deel gebied blijft droog; waterdieptes 0,5 m lager
Verbindende Dijken met vaste drempels	Water in gebied: rond beekdalen en in Ottersum	Dit gedeelte van het gebied blijft droog bij deze Maasafvoer	Overstroming, deel gebied blijft droog; waterdieptes 0,9 m lager
Verbindende Dijken met waterkerende instroomvoorziening	Geen water in gebied	Overstroming, waterdieptes 0,2 m hoger	Overstroming van nagenoeg het hele gebied, waterdieptes gelijk aan huidige situatie

3.3 Leeglopen van het gebied na een overstroming

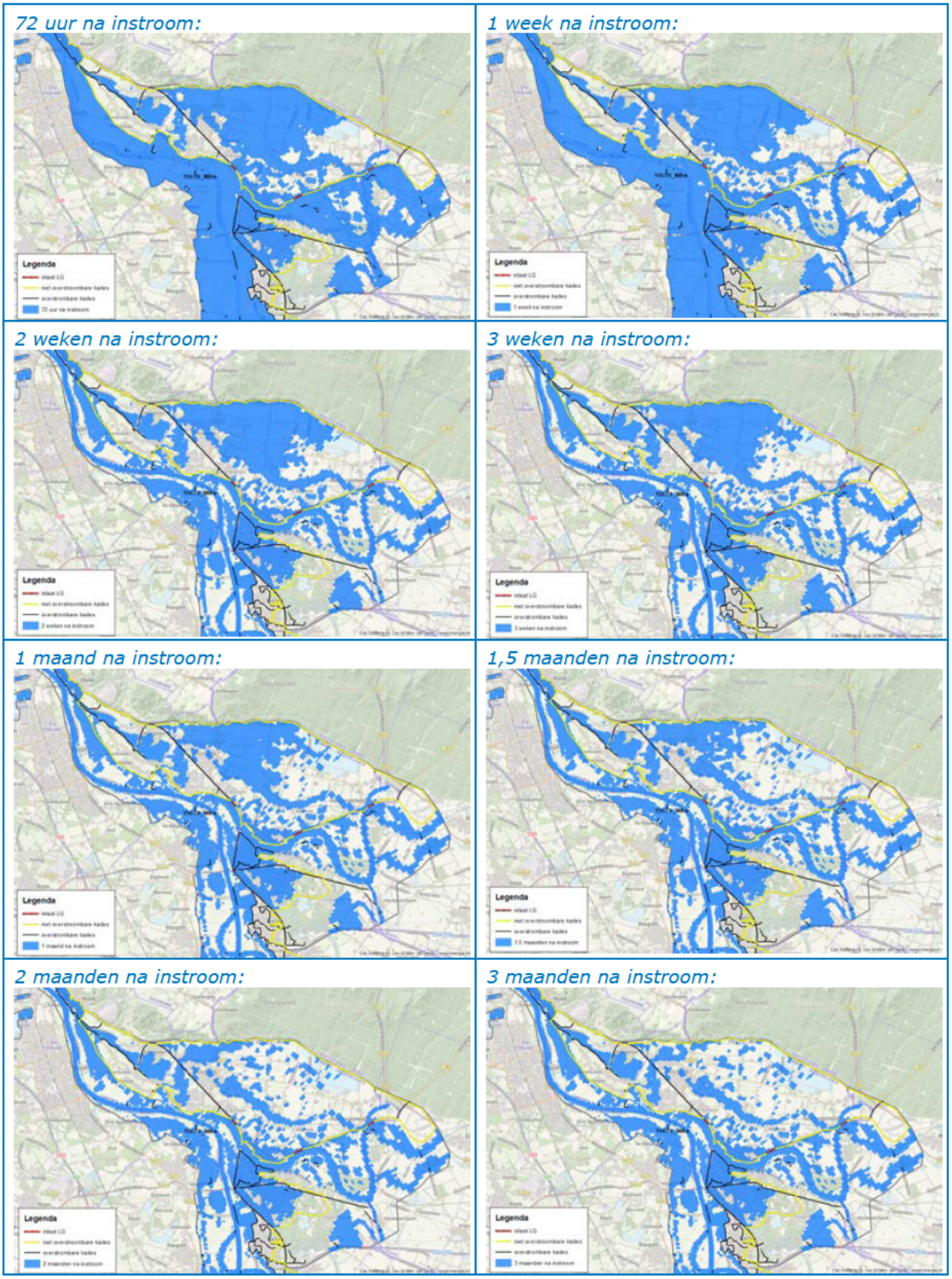
Om een indruk te krijgen hoe de Lob van Gennep zou kunnen leeglopen en hoelang het duurt voordat het gebied weer grotendeel is leeg gestroomd, zijn voor de Reguliere dijken, het alternatief verbindende dijken met vaste inlaten

en het alternatief met een waterkerende inlaatconstructie (valklep) kaarten gemaakt die het leeglopen beschrijven. Het water stroomt daarbij weg via de inlaatconstructies en via de duikers in het gebied. Daarbij is uitgegaan van het doorstroomprofiel van de huidige duikers. Er is dus geen rekening gehouden met eventuele verstopping van de duikers, bijvoorbeeld door drijvende elementen als takken of bomen. Daar staat tegenover dat het model geen rekening houdt met het effect van het afwateren via kleinere watergangen in het watersysteem, het wegzakken van water in de bodem en met de inzet van pompcapaciteit, zoals die voorzien is na het optreden van een overstroming. Hiermee geven de uitkomsten een conservatief beeld van de tijdsduur van overstroming.

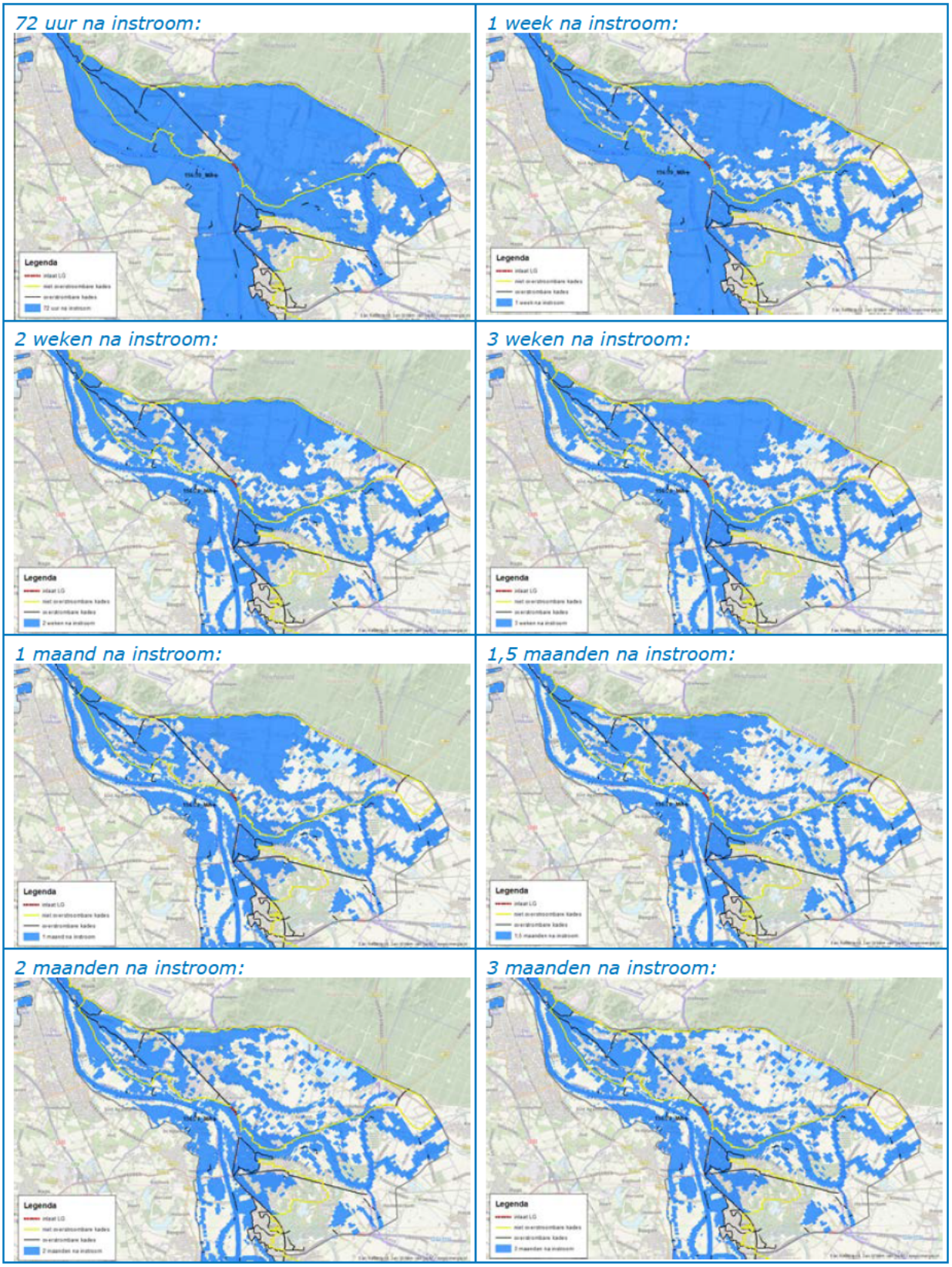
Figuur 14
Leeglopen Lob van Gennep met Reguliere dijken
bij een hoogwater van 4.800 m³/s St. Pieter



Figuur 15
Leeglopen Lob van Gennep met vaste inlaten
bij een hoogwater van 4.800 m³/s St. Pieter



Figuur 16
Leeglopen Lob van Gennep met waterkerende instroomvoorziening (valklep) bij een hoogwater van 4.800 m³/s St. Pieter



De figuren laten zien dat:

1. De leeglooppatronen van de drie alternatieven niet veel verschillen. In het alternatief met de drie vaste inlaten stroomt het minste water het gebied in. Het leeglopen verloopt slechts iets sneller.
2. Drie weken na eerste instroom een groot gedeelte van het gebied nog onder water staat.
3. Twee maanden na eerste instroom is in alle alternatieven het meeste water weggelopen. Uiteraard blijft er water achter in depressies. Dat water blijft in het rekenmodel staan. In werkelijkheid zal dat water via het grondwater moeten wegzakken of worden weggepompt. Beide aspecten zijn echter niet in deze berekening meegenomen.

Betekenis van voorgaande analyse:
Het gebied dat zal overstromen is ten oosten van de N271 bijna 20 km^2 groot. Ten westen van de N271 is het gebied ruim 6 km^2 groot. Het maximale bergingsvolume uit de berekeningen is voor het gehele gebied ca 47 miljoen m^3. Bij een overstroming stroomt dit water in circa 2 dagen het gebied in. 2 maanden later zal een groot deel van het water via de inlaatconstructies en nu al aanwezige duikers weer terugstromen naar de Maas, mits de duikers niet verstopt raken. In depressies in het gebied zal water achterblijven, dat langzamer zal wegzijgen of moet worden weggepompt.

In de huidige situatie en de situatie bij elk van de alternatieven zullen na een overstroming dus pompen geplaatst moeten worden, om er voor te zorgen dat het Maaswater zo snel mogelijk uit het gebied wordt verwijderd.

Vergelijking met de huidige situatie
De leeglooppatronen van de drie alternatieven verschillen weinig en ook het leeglopen in de huidige situatie zal vergelijkbaar zijn. Dit hangt ermee samen dat voor het leeglopen dezelfde voorzieningen beschikbaar zijn: de bestaande duikers en de keersluis bij Mook. In de huidige situatie zal een beperkt gedeelte van het water over de dijk terugstromen naar de Maas, maar hier staat tegenover dat bij de alternatieven Reguliere Dijken en Verbindende Dijken met vaste drempels de maximale waterstand in het gebied lager blijft dan in de huidige situatie.

4 Waterstandseffecten benedenstrooms

4.1 Effect per alternatief

Eén van de drie doelstellingen van project Lob van Gennep is om door middel van een verbetering van de waterbergende werking de hoogwaterstanden stroomafwaarts te verlagen en daarmee de benodigde verhoging van de dijken te beperken. In deze paragraaf worden de effecten op de hoogwaterstanden stroomafwaarts van de Lob van Gennep getoond. Referentie daarvoor is de huidige situatie. De grafieken geven dus aan hoe door de alternatieven de topwaterstanden op de Maas veranderen ten opzichte van de huidige situatie.

Cruciaal bij het effect van de waterbergende werking van de Lob van Gennep is natuurlijk hoe de afvoer in de rivier wordt verlaagd. Een voorbeeld van het effect van de waterbergende werking op het hoogwater is gegeven in Figuur 17. Deze figuur geeft de berekende hoogwaterafvoer bij Mook (rivierkilometer 165), dus benedenstrooms van het gebied, uitgaande van een hoogwater met een topafvoer van 4.800 m^3/s bij St. Pieter. Uit de figuur is een aantal opvallende conclusies te trekken:

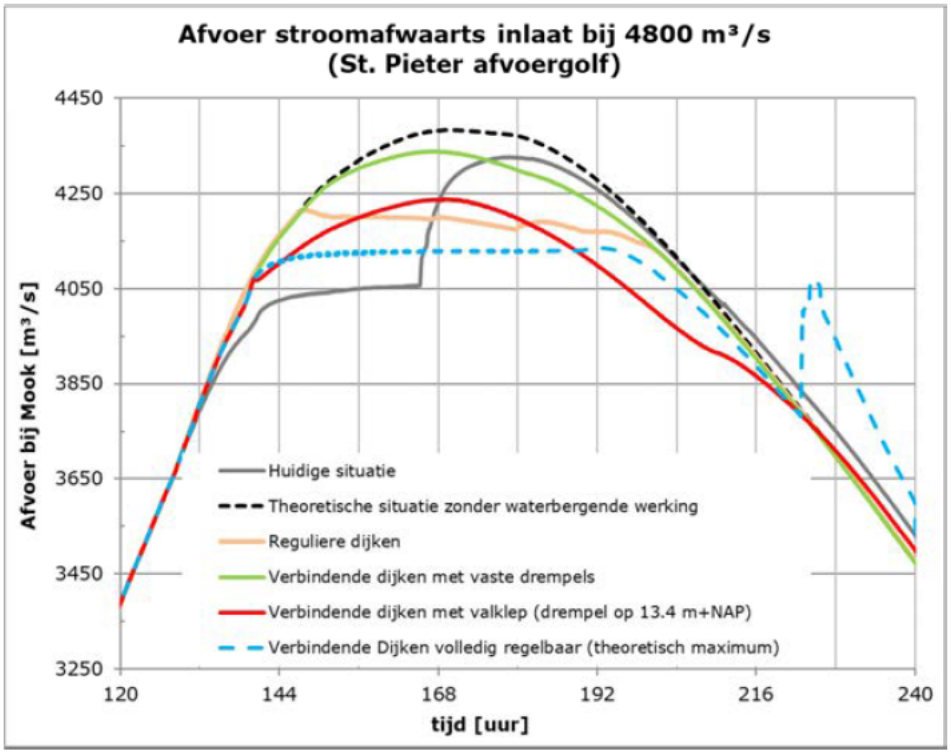
1. In de hypothetische situatie dat geen water het gebied Lob van Gennep in zou kunnen stromen (zwart gestippeld) is de topafvoer bij Mook het grootst. In dat geval wordt geen water geborgen in de Lob van Gennep.
2. In de huidige situatie (grijze lijn) stroomt al vroeg tijdens een hoogwatersituatie water het gebied in. Op een gegeven moment is het gebied grotendeels gevuld en stroomt het water via de (relatief lage) dijken ook weer het gebied uit, terug naar de Maas. De waterbergende werking van de Lob van Gennep is dan dus beperkt en de afvoer op de Maas loopt weer snel op.
3. Bij Verbindende Dijken met vaste drempels (groene lijn) stroomt vanaf een bepaald niveau water over de drie drempels het gebied in. Eerst weinig, maar naarmate de waterstand op de Maas toeneemt steeds meer. De topafvoer op de Maas is in dat geval bijna 50 m^3/s lager dan zonder het optreden van de waterbergende werking van het gebied (zwart gestippeld).
4. Als de vaste inlaat langer wordt neemt het waterstandseffect toe ten opzichte van het alternatief met drie inlaten. Bij reguliere dijken met het niveau van de kruin op T600-niveau (beige gestippeld) is het effect bijna 170 m^3/s.
5. Als de waterkerende instroomvoorziening zodanig gestuurd zou kunnen worden, dat de hoogwatergolf optimaal wordt afgetopt, is het effect op maximale afvoer en waterstanden maximaal (blauwe lijn). De waterbergende werking van het gebied wordt optimaal benut en het effect op de maximale afvoer is ca 250 m^3/s. Hierbij moet echter worden

opgemerkt dat dergelijk 'optimaal aftoppen' mogelijk is in een gemodelleerde situatie, maar in de praktijk niet gerealiseerd zal kunnen worden.

6. Als niet een volledig regelbare sturing wordt aangehouden, maar het inlaatwerk volledig wordt geopend als een bepaalde waterstand wordt overschreden (rode lijn, valklep) is het effect op de maximale afvoer wat minder. In dit geval bijna 150 m^3/s.

Opmerking: in de vallende tak van de afvoergolf zijn voor de alternatieven pieken omhoog te zien. Dit is het gevolg van het weer openen van de keersluis bij de Mookerplas. Deze keersluis wordt bij een hoogwatersituatie gesloten als de waterstand op de Maas een bepaalde waarde overschrijdt. Als het water op de Maas weer zakt wordt de keersluis in de berekening weer geopend om het water uit de volgelopen Mookerplas weer weg te laten lopen. Bij Mook zien we dan een plotselinge toename van de afvoer. Voor de verschillende alternatieven is het waterstandsverloop in de Mookerplas anders en daarmee ook het moment waarop de keersluis wordt geopend. In Figuur 17 is de piek omhoog alleen te zien voor alternatief met waterkerende instroomvoorziening perfect gestuurd. Voor de andere alternatieven treedt de piek later op.

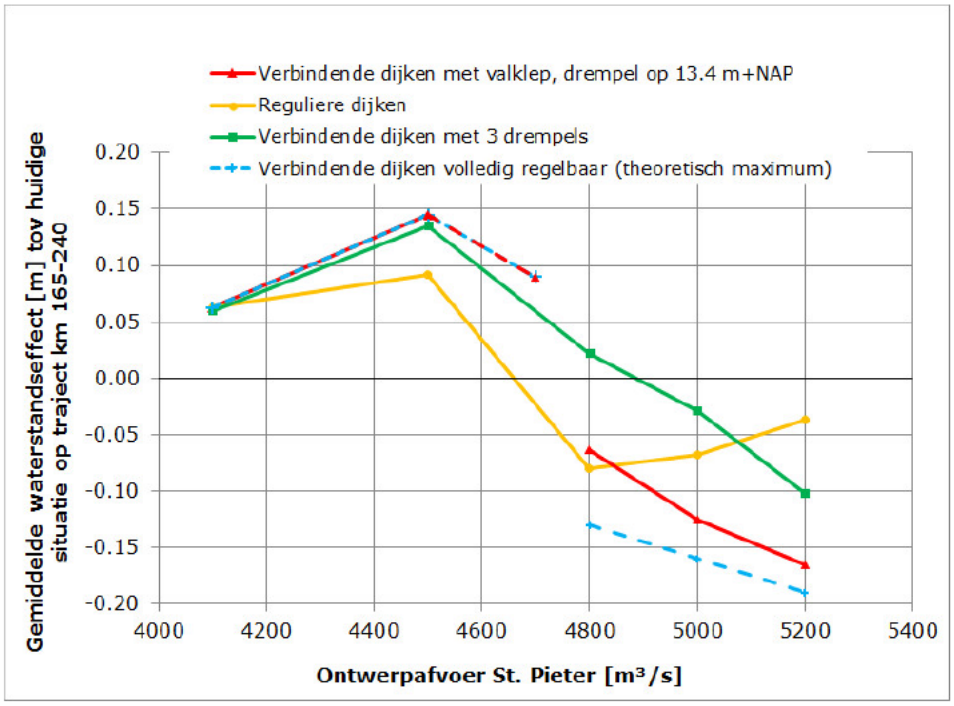
Figuur 17 Afvoerverloop nabij Mook (rkm 165) voor verschillende alternatieven.



Door de waterbergende werking van de Lob van Gennep worden de topafvoeren op de Maas stroomafwaarts van de Lob van Gennep lager. En daarmee uiteraard ook de topwaterstanden. Figuur 18 laat zien hoe de hoogwaterstanden op een traject van 75 km op de Bedijkte Maas benedenstrooms van de Lob van Gennep voor de diverse alternatieven gemiddeld veranderen ten opzichte van de huidige situatie. Negatief betekent daarbij een daling. In Tabel 2 zijn de bijbehorende waarden gegeven.

Uit de figuur en tabel zijn de volgende conclusies te trekken:

1. Door reguliere dijken op een niveau van T600 (oranje gestippeld) nemen de waterstanden in de Maas voor afvoeren onder de 1/600^{e} per jaar afvoer toe ten opzichte van de huidige situatie. De dijken overstromen immers later dan in de huidige situatie. Als de dijken overstromen nemen de hoogwaterstanden op de Bedijkte Maas af. En zakken boven een Maasafvoer met een top van 4.700 m^3/s bij St. Pieter onder de waterstanden in de huidige situatie. Naarmate het hoogwater extremer wordt, stroomt water weer over de dijken terug naar de Maas en wordt het verschil met de huidige situatie weer iets kleiner.
2. Voor het alternatief met drie vaste inlaten (groene lijn) wordt overstroming van de Lob van Gennep ook uitgesteld ten opzichte van de huidige situatie. Als de overlaten overstromen zakken de hoogwaterstanden op de Bedijkte Maas. Het effect op de Bedijkte Maas neemt toe naarmate de Maasafvoer toeneemt. Het terugstroomeffect is bij dit alternatief minder groot, omdat de dijken buiten de drie inlaatconstructies hoger liggen.
3. De alternatieven met een stuurbare inlaat geven doorgaans de grootste waterstandsdaling en deze waterstandsdaling is ook bij verschillende hoogwatersituaties groot door de mogelijkheid van sturing op hoogwatervoorspellingen.
   Voor het alternatief met volledige regelbare inlaat, ofwel perfecte aftopping van het hoogwater (blauwe gestippelde lijn), kan het gemiddelde effect op de Bedijkte Maas in theorie oplopen tot meer dan 15 cm. Hierbij moet worden opgemerkt, dat daarvoor een zeer nauwkeurige voorspelling van afvoeren en waterstanden nodig is, alsook een exacte sturing van het instromend debiet. Bovendien zijn er geen eisen gesteld aan de minimale hoogte van de instroomdrempel (het huidige grondlichaam moet voor optimale aftopping met 1,5 à 2 m afgegraven worden). Het effect moet daarom als een theoretisch maximum worden gezien, dat in de praktijk met onvoldoende betrouwbaarheid te realiseren is.
   Voor de sturing met valklep zijn de effecten wat kleiner, ook omdat voor deze variant de drempel van de instroomvoorziening op 13,4 m+NAP is gesteld, waar die voor de volledig regelbare inlaat in de simulatie dieper kan zakken dan de bestaande drempelhoogte.
4. Bij de alternatieven met stuurbare instroomvoorziening kan tot slot worden opgemerkt, dat met name de volledig regelbare inlaat de theoretische mogelijkheid biedt om de sturing aan te passen als hoogwatergolven van andere vorm (spitser of stomper) optreden. Essentiële voorwaarde is wel dat een zeer nauwkeurige, tijdige en betrouwbare voorspelling van afvoeren en waterstanden beschikbaar is. En dat de sturing tot vlak voor het moment van inzetten nog kan worden gewijzigd. Aan al deze voorwaarden wordt met de huidige hoogwatervoorspellingen niet voldaan, en het is zeer de vraag of het in de toekomst haalbaar is op de Maas.



Figuur 18 Gemiddeld waterstandseffect Bedijkte Maas op traject rkm 165-240) t.o.v. huidige situatie voor verschillende alternatieven. Negatief betekent daling hoogwaterstanden tov huidige situatie Voor alternatieven met gestuurde inlaat stroomt tot ca 4.700 m³/s geen water het gebied in. De afvoer van 4.700 m³/s is niet doorgerekend, dus die waarde is bepaald uit interpolatie en gestippeld weergegeven.

Tabel 2 Gemiddeld waterstandseffect Bedijkte Maas op traject rkm 165-240) t.o.v. huidige situatie voor verschillende alternatieven. Negatief betekent daling hoogwaterstanden t.o.v. huidige situatie

Alternatief	Topafvoer St. Pieter [m³/s]				
	4.100	4.500	4.800	5.000	5.200
	Gemiddelde waterstandsdaling [m] t.o.v. huidige situatie op traject km 165-240				
Reguliere dijken	0,06	0,09	-0,08	**-0,07**	-0,04
Verbindende dijken met 3 vaste inlaten	0,06	0,14	0,02	**-0,03**	-0,10
Verbindende dijken met valklep (drempel op 13,4 m+NAP)	0,06	0,14	-0,06	**-0,12**	-0,16
Verbindende dijken volledig regelbaar	0,06	0,14	-0,13	-0,16	-0,19

NB: voor het beperken van de dijkverhogingsopgave benedenstrooms zijn met name de waterstandseffecten bij de afvoeren in het bereik van 4.800 tot 5.000 m³/s relevant. Het merendeel van de (ruimtelijk kwetsbare) dijktrajecten benedenstrooms heeft een veiligheidsnorm van 1/3.000^{e} per jaar. Voor dijkhoogtes moet hierbij rekening gehouden worden met Maasafvoeren met een overschrijdingskans van 1/6.000^{e} tot 1/12.500^{e} per jaar.

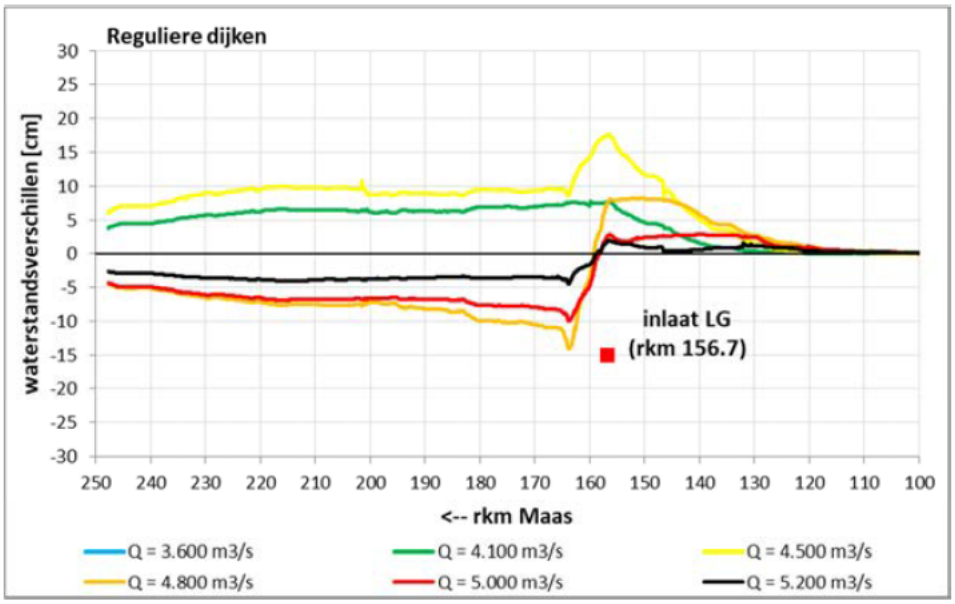
In de volgende paragrafen wordt per alternatief getoond hoe het aftopeffect van Figuur 17 in detail doorwerkt in de topwaterstanden op de Maas stroomafwaarts van de Lob van Gennep.

4.2 Reguliere dijken

Verhoging van de dijken rond de Lob van Gennep heeft bij verschillen Maasafvoeren ook een verschillende doorwerking op de waterstanden in de

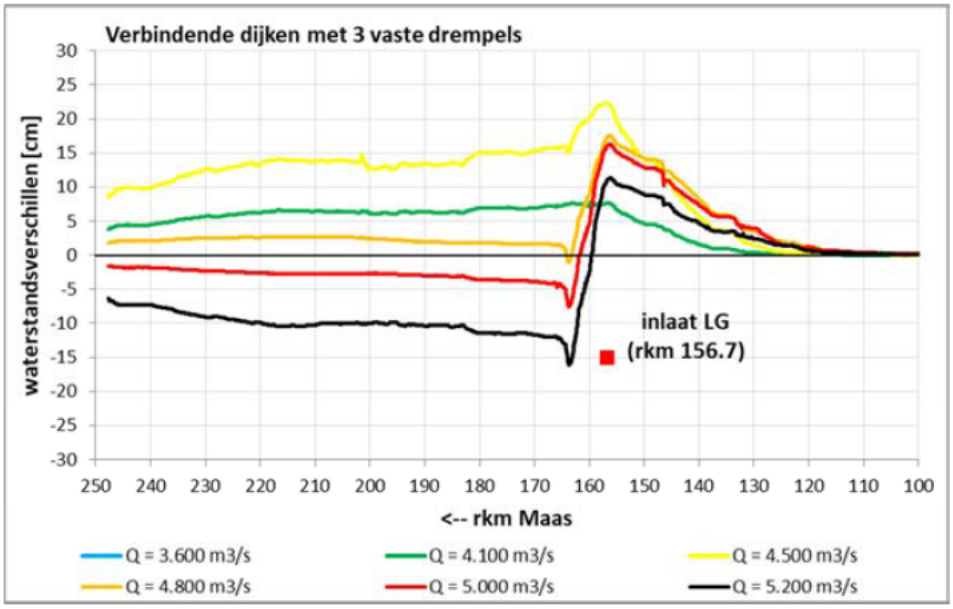
Bedijkte Maas (stroomafwaarts) en in de Maasvallei (stroomopwaarts). In Figuur 22 is voor het alternatief Reguliere Dijken weergegeven wat deze waterstandseffecten langs de Maas zijn. Bij een Maasafvoer van 4100 m^3/s is in de huidige situatie sprake van overstroming van de Lob van Gennep en in de toekomst niet meer. Dat verklaart de verhoging van de waterstanden. Bij 4500 m^3/s is de overstroming beperkter dan in de huidige situatie. In het afvoerbereik dat van betekenis is voor de hoogwaterbeschermingsopgave van de stroomafwaarts gelegen dijktrajecten is sprake van waterstandsverlaging. Bovenstrooms is sprake van waterstandsverhoging als gevolg van verhoging van de dijken rond de Lob van Gennep. De verhoging varieert sterk afhankelijk van de Maasafvoer. Het waterstandsverhogend effect dempt in bovenstroomse richting uit en is rond Venlo (rkm 110) niet meer merkbaar.

Figuur 19 Effect op topwaterstanden stroomafwaarts en stroomopwaarts Lob van Gennep bij reguliere dijken. Positief betekent hogere waterstanden dan in de huidige situatie



4.3 Verbindende dijken met vaste instroomdrempels

Als de instroom op drie locaties wordt geconcentreerd met een drempel op het niveau dat gelijk is aan de dijkhoogte bij alternatief Reguliere Dijken, kan er ten opzichte van dit alternatief minder water over de drempels stromen. Figuur 20 laat zien dat bij Maasafvoeren van 4.800 en 5.000 m^3/s het effect daardoor kleiner is dan bij alternatief reguliere dijken. Bij de hoogst doorgerekende Maasafvoer (5.200 m^3/s) is het effect echter groter. Dit komt omdat in dit alternatief het water niet over de dijken terug kan stromen naar de Maas, terwijl dat in het alternatief Reguliere Dijken op een gegeven moment wel gebeurt.



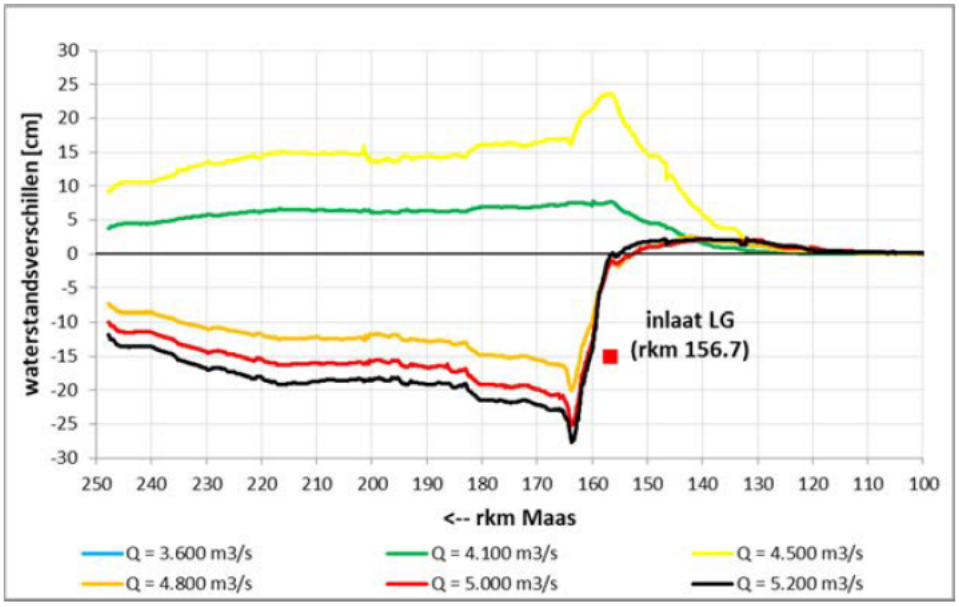
Figuur 20
Effect op topwaterstanden stroomafwaarts en stroomopwaarts Lob van Gennep bij verbindende dijken met drie vaste drempels. Positief betekent hogere waterstanden dan in de huidige situatie.

4.4 Verbindende dijken met waterkerende instroomvoorziening

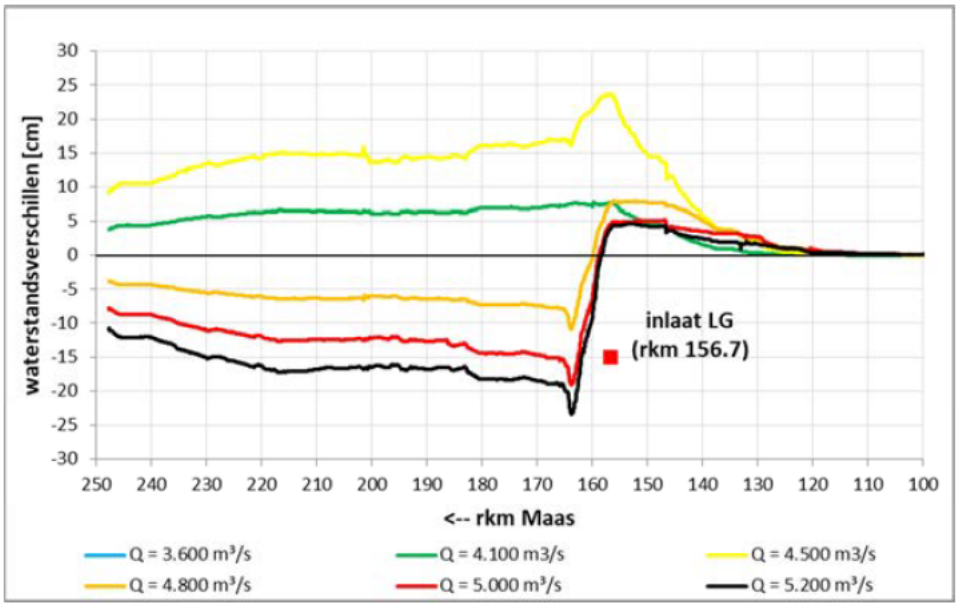
Voor dit alternatief zijn twee varianten onderzocht. Ten eerste een variant met een inlaatwerk dat de ingelaten hoeveelheid water zodanig kan sturen, dat het hoogwater (en daarmee de waterstand) in de Maas, stroomafwaarts van de inlaat, optimaal wordt afgetopt. Daarvoor is uiteraard een goede voorspelling nodig van de afvoer en waterstanden op de Maas, ofwel hoe hoog gaat het water worden. Daarnaast is een inlaatwerk nodig dat tijdens het hoogwater zodanig is aan te passen dat de juiste hoeveelheid water wordt ingelaten. Als dat lukt, laat Figuur 21 zien hoe de hoogwaterstanden op de Bedijkte Maas kunnen afnemen ten opzichte van de huidige situatie. Hierbij moet worden opgemerkt dat de hier getoonde waterstandsverlagingen naar verwachting in de praktijk niet met voldoende betrouwbaarheid realiseerbaar zijn.

Een andere mogelijkheid is een wat eenvoudiger inlaatconstructie, waarbij het moment van openen wel te bepalen is, maar de constructie dan in een keer geheel opent. Dit kan bijvoorbeeld met een valklep. Een goede afvoer- en waterstandsvoorspelling is dan nog steeds nodig om het moment van inzet te kunnen bepalen. Figuur 22 laat zien wat het effect op de hoogwaterstanden kan zijn bij verschillende Maasafvoeren. Het effect is kleiner dan bij het 'volledig' stuurbare instroomvoorziening. Dit was ook te verwachten op basis van Figuur 17, waaruit blijkt dat voor de variant met valklep het hoogwater niet optimaal wordt afgetopt (vergelijk de rode en blauwe lijnen in die figuur).

Figuur 21
Effect op topwaterstanden stroomafwaarts Lob van Gennep bij verbindende dijken met een volledig regelbare instroomvoorziening (theoretisch maximum). Positief betekent hogere waterstanden dan in de huidige situatie



Figuur 22
Effect op topwaterstanden stroomafwaarts Lob van Gennep bij verbindende dijken met een gestuurde valklepconstructie. Positief betekent hogere waterstanden dan in de huidige situatie



NB: voor het effect op de dijkverhogingsopgave stroomafwaarts vormt de rode lijn in bovenstaande figuren de meest representatieve maatstaf.

5 Interpretatie uitkomsten en aanbevelingen

5.1 Waterbergende werking in Lob van Gennep

Bij alle beschouwde oplossingsrichtingen vindt er vroeg of laat overstroming plaats van de Lob van Gennep. In de huidige situatie gebeurt dat het eerst, bij lagere Maasafvoeren. Bij de beschouwde oplossingsrichtingen gebeurt dat later, bij hogere Maasafvoeren (waterstanden).

Het gebied dat zal overstromen is ten oosten van de N271 bijna 20 km^2 groot. Ten westen van de N271 is het gebied ruim 6 km^2 groot. Het maximale bergingsvolume uit de berekeningen is voor het gehele gebied ca 47 miljoen m^3. Bij een overstroming stroomt dit water in circa 2 dagen het gebied in. 2 maanden later zal een groot deel van het water via de inlaatconstructies en nu al aanwezige duikers weer terugstromen naar de Maas, mits de duikers niet verstopt raken. In depressies in het gebied zal water achterblijven, dat langzamer zal wegzijgen of moet worden weggepompt. In de huidige situatie en de situatie bij elk van de alternatieven zullen na een overstroming dus pompen geplaatst moeten worden, om er voor te zorgen dat het Maaswater zo snel mogelijk uit het gebied wordt verwijderd.

De maximale waterstanden in het gebied na een overstroming verschillen niet veel in de verschillende beschouwde alternatieven. Bij de hoogste doorgerekende Maasafvoer zijn de waterstanden in de alternatieven soms lager en soms hoger dan bij de huidige situatie (inrichting met huidige dijkhoogte, vaste overlaat en inrichting gebied). In de huidige situatie wordt niet alleen in het gebied geborgen, maar stroomt het water ook over de (relatief lage) dijken weer terug naar de Maas. In het alternatief reguliere dijken met een kruinhoogte op de 1/600^e per jaar hoogwaterstand gebeurt dat bij extreme afvoeren ook. In de overige alternatieven worden de dijken zodanig hoog ontworpen, dat het water niet anders dan via de inlaat(werken) en de duikers weer terug kan stromen naar de Maas. Bij het alternatief met de grootste benutting van de waterbergende werking, met regelbare inlaatwerken, zijn de waterstanden in het gebied dan (vooral ten westen van de N271) wat hoger dan in de huidige situatie.

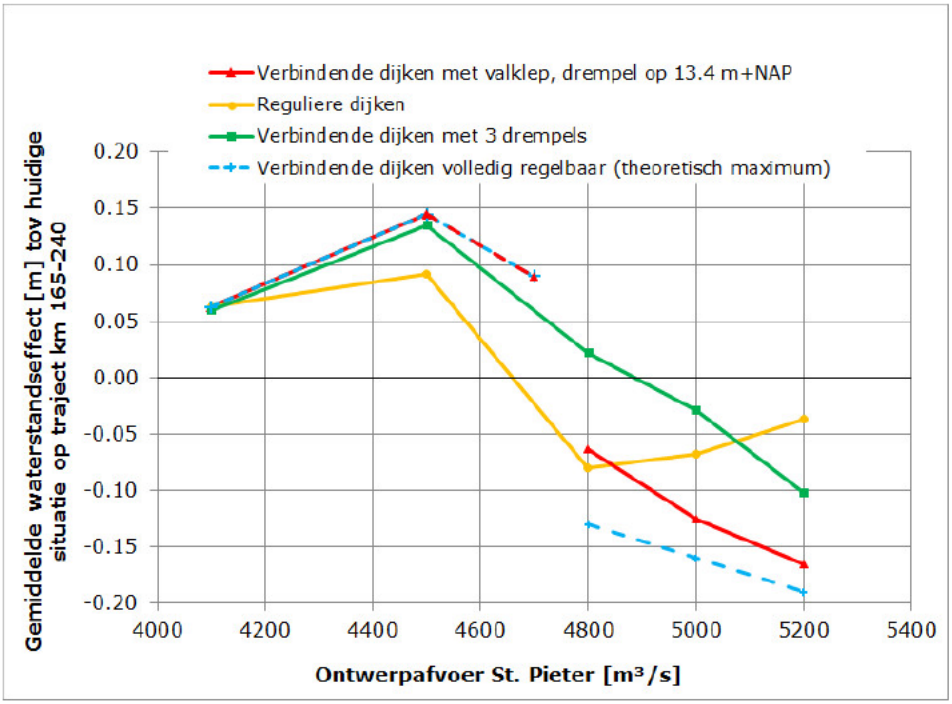
De stroomsnelheden in het gebied blijken beperkt te blijven tot maximaal 1 m/s en dat nog zeer lokaal. Dergelijke snelheden zijn voor een goed grasmat geen probleem. Nabij de inlaatconstructies kunnen hogere stroomsnelheden en turbulenties optreden, die met het gebruikte model niet

in detail worden berekend. Daar zijn nadere analyses nodig om de benodigde bescherming te bepalen.

5.2 Effect van de waterbergende werking op de waterstanden stroomafwaarts

Door de waterbergende werking van de Lob van Gennep worden de hoogwaterafvoeren en hoogwaterstanden stroomafwaarts van de inlaat verlaagd. De dijken op dat traject kunnen daarmee over een lang traject lager worden aangelegd. Figuur 23 (zelfde als Figuur 18) toont het effect op de hoogwaterstanden gemiddeld op de Maas stroomafwaarts van de Lob van Gennep, voor verschillende hoogwaterafvoeren.

Figuur 23 Gemiddeld waterstandseffect Bedijkte Maas op traject rkm 165-240) t.o.v. huidige situatie voor verschillende alternatieven. Negatief betekent daling hoogwaterstanden tov huidige situatie



De analyse op de resultaten laat zien dat de grootte van het waterstandseffect als volgt verschilt per alternatief:

1. Het grootste effect is te bereiken met het alternatief verbindende dijken en een waterkerende en volledig regelbare instroomvoorziening. Met dit alternatief is het ook mogelijk te anticiperen op het hoogwater dat er op de Maas aankomt, tenminste als de voorspelling van afvoeren en waterstanden betrouwbaar is. Daardoor is het theoretische effect van dit alternatief ook voor een bredere range van hoogwaterafvoeren groot.
2. Het alternatief Verbindende Dijken met waterkerende instroomvoorziening geeft bij de variant met een valklep die op het gewenste moment volledig wordt geopend, een iets minder groot effect dan een traploos stuurbare instroomvoorziening. Ook omdat de drempelhoogte van de instroomvoorziening bij deze variant gekozen is op een niveau dat gelijk is aan de hoogte van het bestaande grondlichaam

ter plekke (13,4 m+NAP), waar die drempel in de volledig regelbare instroomvoorziening wel lager kan worden gestuurd.

3. Voor alternatieven zonder sturing is het effect voor een bepaalde hoogwaterafvoer optimaal en voor lagere en hogere Maasafvoeren minder optimaal.
4. In geval van vaste inlaten zijn de hoogte en breedte van de inlaten belangrijke ontwerpparameters. In het alternatief met drie vaste drempels op een niveau van de 1/600^{e} per jaar hoogwaterstand is de doorvoercapaciteit van de inlaatconstructies te laag om het volume van de Lob van Gennep volledig te benutten. Daardoor is het waterstandseffect stroomafwaarts ook minder.
5. In het alternatief regulier dijken met een kruinhoogte op de 1/600^{e} hoogwaterstand wordt de lengte van de drempel in feite sterk vergroot. Het waterstandseffect van dit alternatief voor het benedenstroomse traject komt daardoor bij een Maasafvoer met een topafvoer van 4.800 m^3/s (bij St. Pieter) dicht in de buurt van de alternatieven met regelbare instroomvoorziening.

Discussie

Voor het benedenstroomse traject is de norm voor een groot deel van de dijktrajecten 1/3000^{e}. Met de standaard faalkansbegroting is de waterstand behorende bij een 1/12.500^{e} overschrijdingskans dan belangrijk voor bepaling van de hoogte van de keringen. De topafvoer bij St. Pieter die daarbij hoort in het zichtjaar 2075 is circa 5.000 m^3/s.
Uit Figuur 18 en Tabel 2 blijkt, dat voor de beschouwde alternatieven de gemiddelde hoogwaterstanden op de Bedijkte Maas (rkm 165-240) tussen 3 en 12 cm lager worden dan in de huidige situatie. De 3 cm hoort bij het alternatief met 3 vaste inlaten. De 12 cm hoort bij het alternatief Verbindende Dijken met waterkerende instroomvoorziening. Reguliere dijken zorgen dat de hoogwaterstanden 7 cm lager worden. Opgemerkt wordt dat de modelresultaten voor de variant hierop met de perfect stuurbare voorziening weliswaar enkele centimeters meer waterstandsverlaging lijken te laten zien, maar dat deze extra centimeters niet zullen doorwerken op de benodigde dijkhoogtes. De gemodelleerde waterstandsverlaging leidt bij bepaalde afvoeren namelijk tot lagere waterstanden dan de waterstanden die optreden in situaties dat de waterkerende instroomvoorziening gesloten blijft. Het effect op hydraulische belastingen met een bepaalde overschrijdingskans (van belang voor dijkhoogtebepaling) is daarmee kleiner dan het effect bij de specifieke Maasafvoer met deze overschrijdingskans. Dit maakt dat de extra centimeters waterstandsverlaging bij de volledig regelbare variant niet doorwerken op de beoogde beperking van de dijkverhogingsopgave stroomafwaarts (zie ook Adviesteam Dijkontwerp, 2020). Daar komt bij dat deze volledig regelbare variant uitgaat van een drempel die zo diep kan zakken als voor dat optimum nodig is, wat verlagen van het bestaande grondlichaam met zich meebrengt. Bovendien is een perfecte voorspelbaarheid van afvoeren en waterstanden tijdens hoogwater nodig, waarmee het waterstandseffect in de praktijk niet haalbaar zal zijn. De

variant met de valklep geeft ook een (maar kleinere) overschatting van het effect op de hydraulische belastingen. Voor deze variant zijn de hoogwaterstanden bij afvoeren met een afvoertop tussen 4.800 en 5.000 m^3/s lager dan wanneer de waterkerende instroomvoorziening net gesloten blijft.

De alternatieven reguliere dijken met kruinhoogte op de $1/600^e$ per jaar hoogwaterstand zorgt voor 7 cm waterstandsverlaging.). Het onderlinge verschil tussen Reguliere Dijken en Verbindende Dijken met waterkerende instroomvoorziening is hiermee dus circa 5 cm. Bij de effecten en verschillen daartussen kan het volgende worden opgemerkt:

1. De effecten moeten als een maximum waarde worden gezien, omdat in de analyses geen rekening is gehouden met onzekerheden.
2. Het betreft daarbij onzekerheden in de golfvorm en ook modelonzekerheden en statistische onzekerheden. Het is de verwachting dat door meenemen van deze onzekerheden de waterstandseffecten kleiner worden. Ook het verschil tussen bijvoorbeeld Reguliere Dijken en Verbindende Dijken met waterkerende instroomvoorziening (valklep) zal kleiner worden. Dat komt omdat:
    a. Alternatief reguliere dijken met kruinhoogte op $1/600^e$ waterstand minder gevoelig is voor onzekerheden in de vorm van de afvoergolf dan een gestuurde inlaat (zie HKV,2020). Dit hangt samen met de lengte waarover water vanuit de Maas het gebied in kan stromen: over de gehele dijk bij Reguliere Dijken en enkel door de 200 m brede voorziening bij Verbindende Dijken met waterkerende instroomvoorziening.
    b. Modelonzekerheden en statistische onzekerheden harder doorwerken naarmate een waterstandsfrequentielijn vlakker loopt. De alternatieven die relatief effectief zijn (en waarbij de waterstandsfrequentielijn dus relatief veel afvlakt) worden dus sterker (in ongunstige zin) beïnvloed door deze onzekerheden dan de alternatieven die minder effectief zijn.
3. Het verschil in waterstandseffect op de Bedijkte Maas tussen de gestuurde instroomvoorziening met valklep en reguliere dijken is gemiddeld ca. 5 cm in het interessegebied van de afvoeren (tussen 4.800 en 5.200 m^3/s). De waterstandseffecten bij gestuurde instroomvoorzieningen kunnen bij een goede hoogwatervoorspelling toenemen bij meer extreme hoogwaters. Bij alternatief Reguliere Dijken neemt het effect met hogere afvoeren wat af. Wel is het zo dat bij dat alternatief de hoogwaterstanden benedenstrooms bij lagere afvoeren (4.500-4.800 m^3/s) door de waterbergende werking worden verlaagd, waar dat bij de waterkerende instroomvoorziening niet gebeurt.
4. Op basis van de rekenresultaten kan niet worden gesteld dat er een alternatief is dat duidelijk effectiever is dan de andere alternatieven.

5.3 Aanbevelingen

De volgende hydraulische analyses worden nog aanbevolen voor de volgende fase:

1. Bepaling van de hydraulische randvoorwaarden voor de alternatieven, zodat de dijkdimensies kunnen worden bepaald. Voor het ontwerp (bepalen dijkhoogtes en hoogtes van eventuele drempels) is het daarbij belangrijk statistische onzekerheden en onzekerheden over lokale waterstanden mee te nemen.
2. Analyse van de maximale stroomsnelheden en turbulentie in de nabijheid van inlaatwerken (bij de alternatieven verbindende dijken met drempels of met waterkerende instroomvoorziening) om zicht te krijgen op benodigde beschermingsconstructies.

6 Referenties

Adviesteam Dijkontwerp (2020)

Advies nr. 53: Lob van Gennep – Review hydraulische berekeningen t.b.v. afweging alternatieven; auteurs [redacted], juli 2020.

HKV (2020)

Resultaten gevoeligheidsanalyse golfvorm t.b.v. Lob van Gennep, memo 29 januari 2020, PR3701.20. Auteurs: [redacted].

[redacted] **(2017)**

Hydraulische Ontwerpbelastingen Maas - Memo 5, Gevoeligheidsanalyse model HOB Maasvallei Fase 2, PR3446.10, 6 juli 2017.

[redacted] **(2017)**

Uitgangspunten Hydraulische Ontwerpbelastingen voor de Maas, Memo 19-09-2017.

Waterschap Limburg, Waterschap Aa en Maas, Rijkswaterstaat, Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, provincies Limburg, Noord-Brabant en Gelderland en gemeenten Gennep en Mook en Middelaar (2020)

Notitie Reikwijdte en Detailniveau Lob van Gennep - Te onderzoeken alternatieven en effecten. Datum 29 januari 2020, Versie 1.0 Status Definitief zaaknr. 2019-Z9619 documentnr. 2020-D4933.

Bijlagen

A Beschrijving / specificatie gebruikte model

A.1 Basismodel

Voor de berekeningen is gebruik gemaakt van het zogenaamde "Hydraulische Ontwerpbelasting Maas" model (HOB-model), dat in 2017 door HKV is gebouwd onder aansturing van RWS WVL en begeleid door een begeleidingsgroep met deskundigen van RWS ZN, Waterschappen Peel en Maasvallei (nu Waterschap Limburg) en Aa en Maas en het Ministerie van I&W (DGWB[2]). Het model is gebaseerd op de vigerende modellen van RWS (zie hieronder) en uitgebreid ten behoeve van Plausibele Middenwaarden van de Hydraulische Ontwerprandvoorwaarden (HOR) voor de Maasvallei en de bedijkte Maas. In [redacted] (2017) is beschreven dat dit model een van de 9 uitgangspunten is voor de hydraulische ontwerpbelastingen (HOB) voor de Maas.

Nadere toelichting
Het HOB-model heeft als basis het zogenaamde Beno-model van 2015. Dit is het officiële beheer- en onderhoudsmodel van Rijkswaterstaat Zuid-Nederland dat voor de bestaande situatie wordt aangehouden. In deze basisschematisatie zijn de maatregelen ingebouwd die behoren tot de Plausibele Middenwaarden, te weten de Koploperprojecten Venlo, Oeffelt en Ravenstein-Lith en de systeemwerkingsmaatregelen Baarlo, Venlo-Velden, Arcen, Well en Thorn – Wessem.

- Ravenstein-Lith: zomerbedverbreding bij (i) Megen, Alphen 1 en 2, (ii) Maasbommel - Oijensche Middenwaard en (iii) Waarden, weerdvergravingen bij Demen-Dieden en Diedensche Uiterdijk, aanleg van een geul ter plaatse van het kasteel van Ooijen en doorsteek bij de Gouden Ham;
- Oeffelt: opening in het landhoofd van de brug van de provinciale weg N264 over een afstand van 240 m en 120 m en weerdvergraving ter plaatse van de brug naar 9,5m +NAP;
- Venlo-Velden: Dijkteruglegging en aanleg nevengeul Venlo-Velden ten zuiden van de A67;
- Systeemwerkingsmaatregelen Dijkteruggeleggingen: Baarlo (dijktraject 70), Venlo-Velden (dijktraject 68), Arcen (dijktraject 65) en Well (dijktraject 60);
- Retentiegebieden Lateraalkanaal-West (LKW), Thorn en Lob van Gennep.

In het model is geanticipeerd op de dijkversterkingen die in de Maasvallei zijn voorzien, om aan de nieuwe normen te voldoen. De hoogte van de keringen is daarbij gelijk gesteld aan de kruinhoogte die nodig is om tot 2075 aan de

[2] DGWB = Directoraat-Generaal Water en Bodem

overstromingskansnorm (ondergrens) te voldoen. Dit betreft de kruinhoogte die nodig is om aan de nieuwe normen te voldoen in combinatie met klimaatverandering die tot 2075 wordt verwacht (op basis van het klimaatscenario KNMI'06 W+) (dus 50 jaar vooruit).
Dit model komt overeen met het model gebruikt in de gevoeligheidsanalyse 3a in [redacted] et al (2017): "Invloed van positieve systeemwerking zonder inzet noodmaatregel (nr. 3a)".

Voor de Lob van Gennep is voor de huidige situatie uitgegaan van:

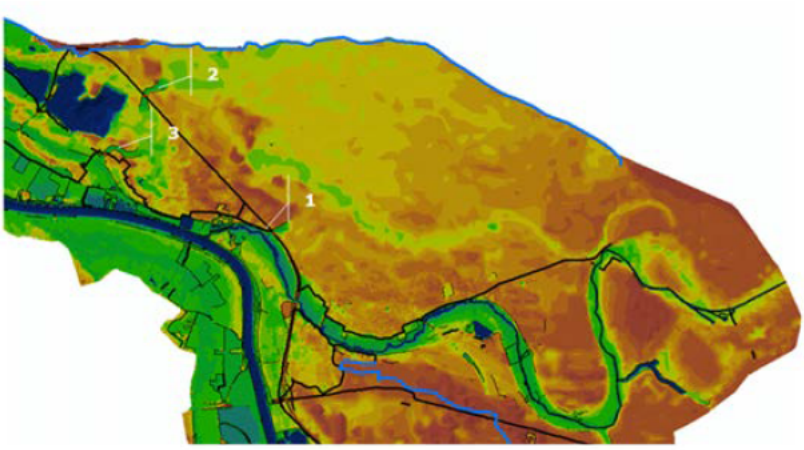
1. De huidige hoogtes incl. sluitstukkades (in 2018). De hoogte van deze keringen is gelijk aan de hoogtes van beno15-model en gebaseerd op de 'oude' norm van een overschrijdingskans van 1:250^{e} per jaar.
2. Een verlaging in de kering (ter plaatse van N271 bij rkm 156,5) op 13,45 m+NAP. Dit verlaagde traject is 325 m breed.

A.2 Modeluitbreidingen

Om het overstromingspatroon in het gebied van de Lob van Gennep zo goed mogelijk weer te geven zijn de volgende detailleringen in het gebied aangebracht:

- De provinciale weg N271 is op de juiste hoogte gelegd (was in oorspronkelijke model een oneindig hoge 'wand');
- De kade rondom Ottersum is verwijderd, omdat deze in werkelijkheid niet bestaat;
- De waterdoorlatende duikers in het gebied zijn toegevoegd, om ook de afwatering na overstromen te simuleren, zie Figuur 24:
  - 1-Duiker Kroonbeek/N271 (3,25 m^2 doorstroom oppervlak);
  - 2-Duiker Tielebeek/N271 (0,785 m^2 doorstroomoppervlak) en
  - 3-Duiker/doorvoer Tielebeek/dijk (1,25 m^2 doorstroomoppervlak);
- Toevoegen van gebieden die potentieel wel kunnen overstromen maar nog niet in het model waren opgenomen:
  - Het gebied in het oosten bij Ven-Zelderheide;
  - Het gebied ten oosten van Gennep;
  - Een deel van het Duitse stroomgebied van de Niers.
- De sturing van keersluis van de Mookerplas is aangepast, zodat het leeglopen van het gebied realistischer wordt beschreven. Dit wordt bereikt, door bij vallend water de keersluis weer te openen.

Figuur 24
Duikers in het rekenmodel

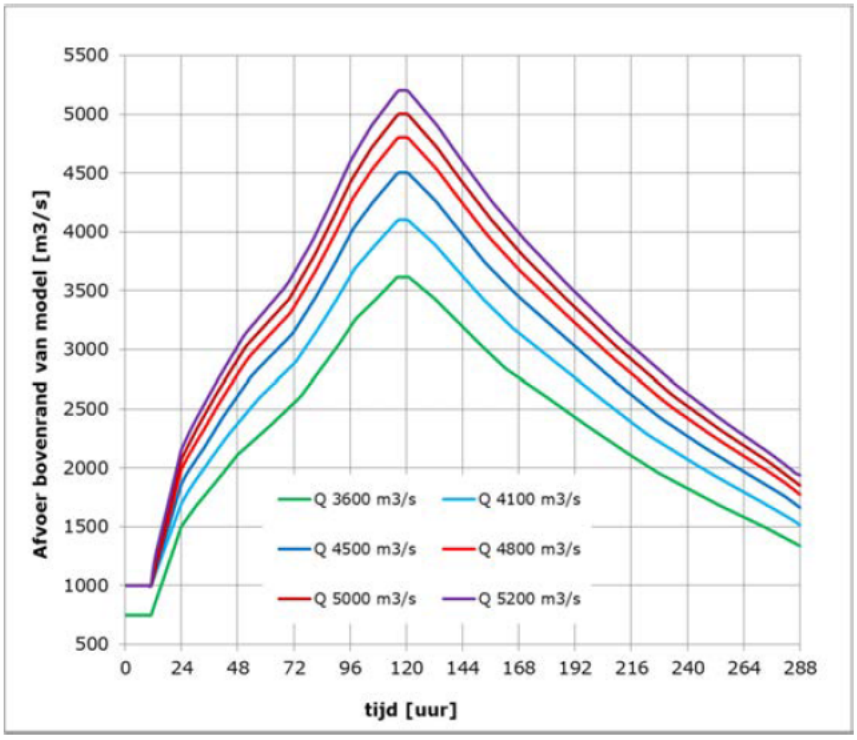


B Gehanteerde uitgangspunten

B.1 Afvoeren

De berekeningen zijn uitgevoerd met hoogwatergolven bij de bovenstroomse rand van het model bij de Belgisch-Nederlandse grens. Deze golven zijn gelijk aan die gebruikt voor de wettelijke beoordelingen.
Figuur 25 toont de standaardgolven.

Figuur 25 Doorgerekende afvoergolven St. Pieter



De bijbehorende terugkeertijd van de golven in het zichtjaar 2075 (na klimaatverandering scenario W+) is opgenomen in Tabel 3.

Tabel 3 Topafvoeren golven bij St. Pieter en bijbehorende herhalingstijd in 2075

Topafvoer bij St. Pieter [m^3/s]	Herhalingstijd in Jaren*
3.600	100
4.100	300
4.500	1.200
4.800	4.900
5.000	16.600
5.200	55.100

*Afgerond naar 100-tallen

B.2 Dijkhoogte Reguliere Dijken

Bij het alternatief Reguliere Dijken worden de dijken rond de Lob van Gennep ontworpen op basis van de veiligheidsnorm van 1/300^{e} per jaar. Het ontwerpinstrumentarium voor dijkversterkingen geeft aan dat bij elk dijktraject bekeken moet worden hoe de zogenaamde faalkansbegroting wordt verdeeld over de diverse faalmechanismen van een dijk. Binnen de ruimte van het ontwerpinstrumentarium wordt de dijk bij Reguliere Dijken zo ontworpen, dat in het geval van overstroming dit met de grootste waarschijnlijkheid zal plaatsvinden door overloop en een dijkdoorbraak veel minder waarschijnlijk is. Gekozen wordt dus voor een zo sterk mogelijke dijk binnen het vigerende ontwerpinstrumentarium. Dit biedt zowel voor het gebied (gevolgen kleiner bij overloop dan bij doorbraak, betere inpassingsmogelijkheden door lagere kruinhoogte) als voor de waterbergende werking (hogere betrouwbaarheid omdat dijkdoorbraak op een ongunstige locatie tot gevolg heeft dat het vasthouden van water nog maar slecht mogelijk is) voordelen.
Binnen de faalkansbegroting gaat 50% van de ruimte naar hoogte. De ruimte voor sterkte en kunstwerken wordt gereduceerd naar 20% en de 30% voor de 'overige faalmechanismen' blijft gehandhaafd. De kruinhoogte wordt hiermee gebaseerd op hydraulische belastingen met een overschrijdingskans van 1/600^{e} per jaar.

Bij de uitgevoerde modelberekeningen voor de verkenning Lob van Gennep is voor de dijkhoogte uitgegaan van de waterstand behorende bij een afvoer met een overschrijdingskans van 1/600^{e} per jaar. Om te komen tot werkelijke dijkhoogtes, dient aanvullend rekening gehouden te worden met statistische en modelonzekerheden, door deze te verdisconteren via een onzekerheidstoeslag danwel door deze onzekerheden te integreren in de dijkhoogteberekening.
Het is goed op te merken dat de huidige onzekerheidstoeslag (danwel het integreren van onzekerheden) niet vergelijkbaar is met de vroegere robuustheidstoeslag bij dijkontwerpen. De onzekerheidstoeslag is er niet om een extra robuustheid in te bouwen in het ontwerp, maar om de doorwerking van de diverse onzekerheden die spelen bij de bepaling van hydraulische belastingen te verdisconteren. Dit gaat dan onder andere over onzekerheden van invoerparameters en stochasten bij de modellering van waterstanden. Wanneer al deze onzekerheden probabilistisch meegenomen zouden worden, maakt dit niet alleen de grootte van de onzekerheidsmarge rond de hydraulische belastingen zichtbaar, maar leidt dit gemiddeld gezien ook tot hogere belastingen. De onzekerheidsmarge 'corrigeert' als het ware voor dit verschil met berekeningen die met de standaardinstellingen van parameters en variabelen zijn uitgevoerd.

Bij de modellering van de waterstandseffecten van het alternatief Reguliere Dijken is het verschil tussen de optredende waterstand en de dijkhoogte zeer bepalend. Het zou hierbij niet correct zijn om modelberekeningen voor benutting van de waterbergende werking (eigenschappen) van het gebied en effecten op de Maas met de gebruikelijke standaardinstellingen te

combineren met dijkhoogtes waarin de onzekerheidstoeslag opgenomen is. De waterstanden in het model zijn dan in verhouding te laag. Om deze reden is in de modelberekeningen, om te komen tot een reëlere benadering, uitgegaan van dijkhoogtes exclusief onzekerheidstoeslag.



Hoofdkantoor
HKV lijn in water BV
Botter 11-29
8232 JN Lelystad

Nevenvestiging
Informaticalaan 8
2628 ZD Delft

0320 294242
info@hkv.nl
www.hkv.nl