


Oprichtgever:

Rijkswaterstaat, RIZA en DWW

Uitwerking systeemwerking Maas

rapport

december 2006

	bibliotheek postbus 177 - 2600 MH Delft waterbouwkundig laboratorium/WL
BB	69729
WL	Q4309
EXPL	WL Delft Hydraulics



C 151304

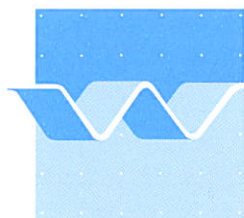
Opdrachtgever:
Rijkswaterstaat, RIZA en DWW

Uitwerking systeemwerking Maas

Thieu van Mierlo en Rolf van Buren

Rapport

december 2006



wL | delft hydraulics

Inhoud

1	Inleiding	1—1
1.1	Achtergrond	1—1
1.2	Het begrip Systeemwerking.....	1—1
1.3	Doel van het onderzoek	1—1
1.4	Omschrijving van uitgevoerde activiteiten	1—2
1.5	Wijze van rapporteren van onderzoeksresultaten.....	1—3
1.6	Organisatie van het onderzoek.....	1—3
1.7	Erkenning	1—3
1.8	Leeswijzer	1—3
2	Omschrijving dijkdoorbraakberekeningen langs bovenstroomse Rijntakken en bedijkte Maas	2—1
2.1	Het Rijntakken DelftFLS model	2—1
2.2	Omvang van het Rijntakken-Maas DelftFLS model.....	2—1
2.2.1	Bathymetrie en Dijkhoogten in het Rijntakken-Maas DelftFLS model	2—3
2.2.2	Calibratie van het Rijntakken-Maas DelftFLS model	2—4
2.3	Hydraulische randvoorwaarden	2—4
2.4	Dijkdoorbraaklocaties en dijkdoorbraakparameters.....	2—6
2.4.1	Dijkdoorbraaklocaties	2—6
2.4.2	Tijdstip van dijkdoorbraak	2—9
2.4.3	Bresgroeisecenario	2—9
2.4.4	Dijken bezwijken enkel op dijkdoorbraaklocaties.....	2—9
2.5	Inzet van de Gewande uitlaatwerken	2—10
2.6	Overzicht Dijkdoorbraakberekeningen	2—11

3	Resultaten van dijkdoorbraakberekeningen langs bovenstroomse Rijntakken en bedijkte Maas	3—1
3.1	Scenario L5T6GCGU (Weurt, linker Waaldijk)	3—3
3.2	Scenario L9T6GCGU (Locatie ter hoogte van de voormalige Beerse Overlaat, linker Maasdijk)	3—4
3.3	Scenario L9T6C4GU (Locatie ter hoogte van de voormalige Beerse Overlaat, linker Maasdijk, Dijkkring 36 gecompartmenteerd, geen uitlaatwerk)	3—5
3.4	Scenario L9T6C4WU (Locatie ter hoogte van de voormalige Beerse Overlaat, linker Maasdijk, Dijkkring 36 gecompartmenteerd, Gewande uitlaatwerk)	3—7
3.5	Scenario L10T6GCGU (Kraaijenbergse Plassen, linker Maasdijk)	3—8
3.6	Scenario L11T6GCGU (Hedikhuizen, linker Maasdijk)	3—9
3.7	Scenario L12T6GCGU (Balgooi, rechter Maasdijk)	3—10
3.8	Scenario L13T6GCGU (Hoenzadriel, rechter Maasdijk).....	3—11
3.9	Scenario L14T6GCGU (Nieuwe Schans, rechter Maasdijk)	3—12
3.10	Scenario L15T6GCGU (Heerewaarden, linker Waaldijk)	3—13
3.11	Scenario L16T6GCGU (Hurwenen, linker Waaldijk).....	3—15
3.12	Scenario L17T6GCGU (Grave, linker Maasdijk).....	3—16
3.13	Scenario L18T6GCGU (Neerloon, linker Maasdijk).....	3—17
3.14	Scenario L19T6GCGU (Boveneind, linker Maasdijk)	3—19
3.15	Scenario L20T6GCGU (Kessel, linker Maasdijk).....	3—20
4	Hydraulische Systeemwerkingseffecten op bovenstroomse Rijntakken en bedijkte Maas	4—1
4.1	Methode voor het kwantificeren van Hydraulische Systeemwerkingseffecten.....	4—1
4.2	Hydraulische effecten van Systeemwerking	4—2
4.3	Verschillen met normfrequenties van maatgevende waterstanden.	4—7
4.3.1	Decimeringshoogten langs bovenstroomse Rijntakken en bedijkte Maas.....	4—7

4.3.2	Verschillen met normfrequenties van maatgevende waterstanden langs de bedijkte Maas.....	4—8
4.4	Evaluatie Hydraulische Systeemwerkingsaspecten	4—10
5	Ruimtelijke generale uitspraken over hydraulische systeemwerkingseffecten op bovenstroomse Rijntakken en bedijkte Maas..	5—1
5.1	Wat wordt bedoeld met “Ruimtelijke generale uitspraken” en wanneer worden ze mogelijk geacht	5—1
5.2	Dijkdoorbraken waarmee is nagegaan in hoeverre “Ruimtelijke Generale uitspraken” mogelijk zijn.....	5—3
5.3	Ruimtelijke Generale uitspraken indien enkel positieve hydraulische effecten van systeemwerking optreden	5—3
5.3.1	Initiële verstoringen geïnduceerd door de dijkdoorbraken	5—3
5.3.2	Voortplanting van het Verschil in de Maximum Waterstand.....	5—6
5.3.3	In hoeverre zijn ruimtelijke generale uitspraken mogelijk in geval van enkel positieve hydraulische systeemwerkingseffecten	5—14
5.4	Zijn Ruimtelijke Generale Uitspraken mogelijk indien negatieve hydraulische systeemwerking optreedt?.....	5—18
5.5	Samenvatting	5—20
6	Literatuur	6—1
A	Overzicht van digitale databestanden.....	A—1
A.1	Overstromingsfilmpjes	A—1
A.2	Overige digitale data	A—2

Samenvatting

Omschrijving activiteiten:

DelftFLS dijkdoorbraakberekeningen (huidige studie; Van Mierlo, 2005; en Garcia, 2006) zijn gemaakt voor twintig verschillende dijkdoorbraaklocaties in het Nederlandse bovenstroomse stroomgebied van Rijn en Maas. Vijf dijkdoorbraakberekeningen zijn gemaakt waarin slechts één bepaalde dijkkring was gecompartmenteerd middels een nog aan te leggen compartimenteringsdijk. In één compartimenteringsberekening is ook de inzet van uitlaatwerken meegenomen, welke ingestroomd Maaswater weer naar de Maas terugvoeren. De compartimenteringsberekeningen zijn slechts beeldvormende (eerste verkennende) berekeningen. In elke berekening is slechts op één locatie langs de bedijkte Maas en de Nederlandse Rijntakken een dijk doorgebroken. Aangenomen is dat dijken die elders in het riviersysteem worden overstroomd niet bezwijken. Overstromingsschade is niet berekend. Hydraulische effecten van systeemwerking in het rivierenstelsel als gevolg van een lokale dijkdoorbraak zijn gekwantificeerd. Dit is gedaan door het vergelijken van maximale waterstanden (en debieten) in een referentieberekening zonder dijkdoorbraken met maximale waterstanden (en debieten) in een dijkdoorbraakberekening. Op deze wijze konden de hydraulische gevolgen van systeemwerking overzichtelijk in tabellen en figuren worden gepresenteerd. Verder zijn voor de bedijkte Maas verschillen met normfrequenties van maatgevende waterstanden bepaald, welke het gevolg zijn van optredende positieve en negatieve hydraulische systeemwerkingseffecten.

Onder *generale uitspraken* wordt verstaan het schatten van hydraulische effecten van systeemwerking gebruikmakend van reeds gemaakte dijkdoorbraakberekeningen. Het mogelijke gebruik van generale uitspraken zal in beleidstudies het aantal benodigde tijdrovende dijkdoorbraakberekeningen sterk reduceren. Van Mierlo (2005) en Garcia (2006) hebben aangetoond dat in het bovenrivierengebied van de Rijntakken generale uitspraken mogelijk zijn indien per dijkdoorbraaklocatie de karakteristieken van het dijkdoorbraakproces worden gevarieerd. In dit rapport is nagegaan in hoeverre het mogelijk is om voor een dijkdoorbraaklocatie hydraulische effecten van systeemwerking te schatten gebruikmakende van berekeningsresultaten, welke voor aangrenzende dijkdoorbraaklocaties beschikbaar zijn. Meer concreet is dit nagegaan voor dijkdoorbraaklocaties in het bovenrivierengebied van de Rijntakken en langs de bovenstroomse bedijkte Maas.

Conclusies:

Allereerst dient opgemerkt te worden dat de orde grootte van optredende hydraulische systeemwerkingseffecten en daaraan gerelateerde verschillen met normfrequenties van maatgevende waterstanden afhangen van de betreffende dijkdoorbraaklocatie, de maatgevende hydraulische condities en het gehanteerde bresgroeiscenario. Voor de gekozen dijkdoorbraaklocaties geldt dat dit in het algemeen locaties zijn waar een dijkdoorbraak het meest waarschijnlijk is. Gesteld kan worden dat realistische waarden zijn gekozen voor de gehanteerde hydraulische parameters en bijbehorend bresgroeiscenario.

In het merendeel van de DelftFLS berekeningen voor dijkdoorbraken in het bovenstroomse Nederlandse rivierengebied van Rijn en Maas treden significante vormen van hydraulische systeemwerking op, welke resulteren in deels verlagingen en deels verhogingen van lokale

rivierwaterstanden langs de bedijkte Maas en Nederlandse Rijntakken. In de berekeningsresultaten waarbij een dijkdoorbraak optreedt 6 uur voordat ter plaatse van de dijkdoorbraaklocatie de hoogste rivierwaterstand wordt bereikt zijn de positieve hydraulische effecten van systeemwerking marginaal in verhouding tot negatieve hydraulische effecten van systeemwerking (zie Tabel 4-1). Het zelfde geldt voor verschillen met normfrequenties van maatgevende waterstanden (zie Tabel 4-6). Naarmate het tijdstip van dijkdoorbraak eerder optreedt worden zowel de positieve als de negatieve hydraulische systeemwerkingseffecten groter; de positieve hydraulische systeemwerkingseffecten zijn niet meer marginaal te noemen maar blijven wel een orde kleiner dan optredende negatieve hydraulische systeemwerkingseffecten (zie Tabel 4-1 en Tabel 4-4). Met andere woorden het tijdstip van dijkdoorbraak is een cruciale factor voor de orde van grootte van optredende hydraulische effecten van systeemwerking. In de berekeningen is aangenomen dat overstroomde dijken niet bezwijken, hetgeen echter niet uit te sluiten valt. Het bezwijken van overstroomde dijken zal naar verwachting het systeemwerkingsproces in negatieve zin beïnvloeden.

Rekeninghoudend met de thans voorliggende berekeningsresultaten lijkt het verstandig om in eerste instantie te focussen op het meenemen van negatieve vormen van systeemwerking in veiligheidsbeschouwingen en te trachten deze negatieve effecten van systeemwerking te voorkomen dan wel te minimaliseren.

Gesteld kan worden dat de verkenningen van systeemwerking in het bovenrivierengebied van de Rijntakken (Van Mierlo, 2005; en Garcia 2006) en de onderhavige studie "Uitwerking Systeemwerking Maas" hebben bijgedragen aan het inzichtelijker maken van de consequenties die hydraulische systeemwerkingseffecten hebben voor de veiligheid tegen overstromen in het Nederlandse stroomgebied van Rijn en Maas.

Generale uitspraken met betrekking tot hydraulische effecten van systeemwerking zijn mogelijk. Meer precies generale uitspraken zijn mogelijk indien per dijkdoorbraaklocatie de karakteristieken van het dijkdoorbraakproces worden gevarieerd (zie Van Mierlo, 2005; en Garcia, 2006). Ruimtelijke generale uitspraken gebruikmakende van de resultaten van aangrenzende dijkdoorbraakberekeningen zijn mogelijk indien de betreffende dijkdoorbraaklocaties grenzen aan dezelfde dijkring en een onderling vergelijkbare cascaderwerking hebben. In geval van een gecompartmenteerde dijkring moeten dijkdoorbraaklocaties grenzen aan het zelfde gecompartmenteerde dijkringgebied. Dat ruimtelijke generale uitspraken mogelijk zijn is aangetoond middels de berekeningsresultaten van zes linker Maasdijkdoorbraken en drie rechter Waaldijkdoorbraken. Voor de linker Maasdijkdoorbraken resulteerde ruimtelijke interpolatie over een Maastraject van 9.7 km in goede schattingen van hydraulische systeemwerkingseffecten. Een ruimtelijke interpolatie over een Maastraject van 33.4 km resulteerde zonder correcties in minder nauwkeurige schattingen (zie Tabel 5-4). Voor de rechter Waaldijkdoorbraken bleek dat een ruimtelijke interpolatie over een Waaltraject van 32.1 km resulteert in goede schattingen van hydraulische systeemwerkingseffecten (zie §5.4). De voornaamste reden waarom een ruimtelijke interpolatie over een 9.7 km lang Maastraject en over een 32.1 km lang Waaltraject resulteren in veel betere generale uitspraken dan een ruimtelijke interpolatie over een 33.4 km lang Maastraject is het feit dat de ruimtelijke variatie in topvervlakking van hoogwatergolven in het 33.4 km lange Maastraject vele malen groter is dan de ruimtelijke variatie in topvervlakking van hoogwatergolven op het 9.7 km lange Maastraject en het 32.1 km lange Waaltraject.

Hiermee rekeninghoudend kan worden gesteld dat er geen standaard afstand kan worden gedefinieerd waarover in alle riviertrajecten ruimtelijke generale uitspraken tot bevredigende resultaten zullen leiden. Per riviertraject zal moeten worden nagegaan wat een acceptabele afstand is waarover ruimtelijk generale uitspraken resulteren in voldoende nauwkeurige schattingen van hydraulische systeemwerkingseffecten.

Aandachtspunten:

Behalve verschillen in maximale waterstanden, maximale debieten en verschillen met normfrequenties van maatgevende waterstanden is de opgetreden overstromingsschade ook van belang. Aanbevolen wordt om de overstromingsschade als gevolg van de beschouwde lokale dijkdoorbraken te bepalen.

De hydraulische effecten van systeemwerking moeten nog worden vertaald naar een verminderd of vermeerderd risico van overstromingen elders in het stroomgebied van Rijn en Maas. Het liefst zou men dit willen doen op basis van overstromingsrisico's (het gesommeerde product van kans op allerlei mogelijke overstromingen met hun bijbehorende schade). In de 1st Delft Cluster tranche is een methode ontwikkeld voor het bepalen van overstromingsrisico's waarin systeemwerkingseffecten worden meegenomen (Van Mierlo et al, 2007; Van Mierlo et al, 2003). Deze methode is succesvol toegepast op een sterk vereenvoudigde rivierconfiguratie. Momenteel loopt er in het kader van de 2^{de} Delft Cluster tranche een vervolgonderzoeksproject waarin deze methode verder wordt ontwikkeld. Het uiteindelijke doel is om middels deze methode overstromingsrisico's in het (Nederlandse) rivierengebied te bepalen waarbij systeemwerkingseffecten worden meegenomen. Voor de acceptatie van deze nieuwe methode is het van belang dat er een vertaalslag wordt gemaakt naar de huidige wijze van bepalen van overstromingskansen. Opgemerkt wordt dat het van belang is om systeemwerkingseffecten mee te nemen in veiligheidsstudies, waarin infrastructurele wijzigingen in het bestaande systeem van hoogwaterverdedigingswerken (bijv. de aanleg van een compartimenteringsdijk) worden overwogen. Dit is nodig om te verifiëren dat een maatregel, welke lokaal resulteert in een toename van de veiligheid tegen overstroming niet op landelijk niveau resulteert in een afname van de veiligheid tegen overstroming.

Aangetoond is dat generale uitspraken mogelijk zijn indien één karakteristieke bresgroei parameter per dijkgat wordt gevarieerd. Ook is aangetoond dat ruimtelijke generale uitspraken mogelijk zijn gebruikmakende van de berekeningsresultaten van aangrenzende dijkdoorbraken, welke zijn opgetreden onder dezelfde hydraulische randvoorwaarden en bresgroei parameters. Het lijkt voor de hand te liggen om ook na te gaan in hoeverre generale uitspraken mogelijk zijn indien meerdere parameters tegelijkertijd worden gevarieerd.

Samenvattend verdienen de volgende aandachtspunten nadere uitwerking:

- Het middels Hydra-modellen vertalen van de hydraulische effecten van systeemwerking in verschillen met normfrequenties van maatgevende waterstanden,
- Het vertalen van de hydraulische effecten van systeemwerking naar een verminderd of vermeerderd overstromingsrisico's van overige dijk(ring)en,
- Het laten bezwijken van overstroomde dijken op basis van het evalueren van faalmechanismen,

- Het analyseren van andere verschillen in hydraulische parameters. Zoals verschillen in de duur dat bepaalde waterstand niveaus in de referentieberekening en in de dijkdoorbraakberekening worden overschreden. Deze hydraulische parameters zijn benodigd in het evalueren van bijvoorbeeld het “piping” faalmechanisme,
- Nagaan in hoeverre generale uitspraken mogelijk zijn indien meerdere parameters per dijkdoorbraaklocatie worden gevarieerd.

I Inleiding

I.1 Achtergrond

Het Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling (RIZA) heeft aan WL | Delft Hydraulics de opdracht “Uitwerking systeemwerking Maas (bestelnummer 4500058981)” verstrekt. De opdracht “Uitwerking systeemwerking Maas” sluit nauw aan bij vergelijkbare opdrachten, verstrekt in 2005 door DWW (AK 053250 en AK 31520869) en RIZA (80515863) voor het verkennen van systeemwerking in het bovenrivierengebied van de Rijntakken (Van Mierlo 2005). Hiermee rekeninghoudend zijn in de voorliggende rapportage dezelfde conventies gebruikt als in de rapportage van de opdracht “Verkenning van systeemwerking in het bovenrivierengebied van de Rijntakken”.

I.2 Het begrip Systeemwerking

Ten gevolge van een dijkdoorbraak kan in bepaalde gevallen niet alleen de aangrenzende dijkkring overstromen, maar kunnen als gevolg van cascadowerking ook andere dijkkringen overstromen. Als gevolg van een dijkdoorbraak zal een deel van het aanstromende rivierwater in de overstroomde dijkkring(en) worden geborgen. Deze berging van rivierwater kan resulteren in een verlaging van waterstanden langs andere dijk(ring)en, waardoor de veiligheid van deze dijk(ring)en toeneemt. Echter indien de overstroomde dijkkring(en) onvoldoende capaciteit hebben om het ingestroomde rivierwater te bergen, dan is het mogelijk dat het ingestroomde rivierwater naar andere riviertakken weg stroomt. Indien zo'n ontvangende riviertak een kleinere afvoercapaciteit heeft dan de riviertak waarvan het water vandaan komt (bijv. Waalwater naar Maas, Rijnwater naar IJssel, IJsselwater naar Overijsselsche Vecht), dan kan dit leiden tot zeer hoge waterstanden op zo'n ontvangende riviertak en derhalve in een verlaging van de veiligheid voor dijk(ring)en gelegen langs zo'n ontvangende riviertak. Voor nadere informatie betreffende het begrip systeemwerking en de effecten van systeemwerking op het overstromingsrisico (product van de kans op overstroming en bijbehorende schade) wordt verwezen naar Van Mierlo et al, 2007 en naar Van Mierlo et al 2003.

I.3 Doel van het onderzoek

Het doel van het onderzoek was drieledig. Het eerste doel was het inventariseren en kwantificeren van hydraulische systeemwerkingseffecten in de bedijkte Maas van Boxmeer tot Dussen, gegeven de conditionele kans dat er slechts op één locatie een dijkdoorbraak optreedt. Het tweede doel was om na te gaan in hoeverre ruimtelijk gezien generale uitspraken met betrekking tot hydraulische systeemwerkingseffecten mogelijk zijn. Het derde doel was het nagaan in hoeverre het mogelijk is om voor dijken, gelegen langs Rijkswateren welke als primaire gevaarbron worden aangemerkt (c.q. Primaire waterkeringen categorie a en b; Hydraulische Randvoorwaarden 2001), een indicatie te geven van de mate van resulterende hydraulische systeemwerkingseffecten ten gevolge van een mogelijke lokale dijkdoorbraak.

1.4 Omschrijving van uitgevoerde activiteiten

Activiteiten gerelateerd aan het eerste onderzoeksdoel:

Hydraulische systeemwerkingseffecten zijn gekwantificeerd voor in totaal dertien dijkdoorbraaklocaties, respectievelijk tien Maasdijkdoorbraken en drie Waaldijkdoorbraken. In alle dijkdoorbraakscenario's is aangenomen dat er slechts één dijkdoorbraak optreedt en dat eventuele overstromde dijken niet bezwijken. Voor een dijkdoorbraak in de Maasdijk ter hoogte van de voormalige Beerse Overlaat zijn de hydraulische systeemwerkingseffecten van een compartimenteringsdijk in dijkkring 36 ten Oosten van 's-Hertogenbosch bepaald. Met klem wordt opgemerkt dat dit een berekening betreft voor een mogelijke dijkdoorbraak ter hoogte van de voormalige Beerse Overlaat, waarbij de dijk doorbreekt 6 uur voordat lokaal de hoogste rivierwaterstand wordt bereikt. Het betreft dus géén berekening waarin dijkkring 36 (Land van Heusden/de Maaskant) als noodoverloopgebied fungeert en Maaswater via de voormalige Beerse Overlaten wordt ingelaten ruim voor het tijdstip waarop de lokaal de hoogste rivierwaterstand wordt bereikt. Verder is een Beerse Overlaat dijkdoorbraakberekening gemaakt, waarin dijkkring 36 is gecompartmenteerd en ingestroomd Maaswater via een uitlaatwerk ter hoogte van Gewande naar de Maas wordt teruggevoerd. Opgemerkt wordt dat genoemde compartimenteringsberekening slechts een beeldvormende berekening is. Voorzien is dat de wijze waarop dijkkring 36 mogelijk zal worden gecompartmenteerd nog nader uitgewerkt zal worden. Genoemde hydraulische systeemwerkingseffecten zijn bepaald middels DelftFLS berekeningen. Een DelftFLS berekening resulteert in een enorme hoeveelheid data. In overleg met de opdrachtgever is besloten om in dit rapport slechts de meest significante aspecten van de dijkdoorbraakscenario's te benoemen. Het overgrote deel van bewerkte berekeningresultaten is enkel in digitale vorm (c.q. Excel spreadsheets, GIS rasterkaarten en overstromingsfilmpjes) op een DVD aan de opdrachtgever ter beschikking gesteld. In Appendix A wordt een overzicht gegeven van deze digitale databestanden.

Activiteiten gerelateerd aan het tweede onderzoeksdoel:

Nagegaan is in hoeverre ruimtelijk gezien generale uitspraken mogelijk zijn. Met ruimtelijke generale uitspraken wordt bedoeld het schatten van hydraulische systeemwerkingseffecten door te interpoleren tussen (of extrapoleren van) resultaten van eerder gemaakte dijkdoorbraakberekeningen voor naburig gelegen dijkdoorbraaklocaties. Het mogelijke gebruik van generale uitspraken zal in beleidstudies het aantal benodigde tijdrovende dijkdoorbraakberekeningen sterk reduceren. Gebruikmakende van de berekeningsresultaten van een zestal linker Maasdijkdoorbraken en een drietal linker Waaldijkdoorbraken is nagegaan in hoeverre ruimtelijk gezien generale uitspraken mogelijk zijn.

Activiteiten gerelateerd aan het derde onderzoeksdoel:

Voor primaire waterkeringen niet gelegen langs bovenstroomse Rijntakken en de bedijkte Maas (c.q. de zogenoemde "overige primaire waterkeringen categorie a", zijnde: Noordzeedijken/duinen, Westerscheldedijken, Oosterscheldedijken, benedenrivierdijken en meerdijken) is ook een inschatting van de hydraulische systeemwerkingseffecten gemaakt, welke optreden ten gevolge van het lokaal bezwijken van een dijkvak. Deze inschattingen zijn gebaseerd op enerzijds hydraulische berekeningen en anderzijds bepaald op basis van expert judgement.

I.5 Wijze van rapporteren van onderzoeksresultaten

In overleg met de opdrachtgever is besloten om de bevindingen van de onderhavige studie in twee afzonderlijke rapporten vast te leggen, zijnde:

1. Het voorliggende rapport “Uitwerking Systeemwerking Maas” (Van Mierlo, 2006a),
2. Het rapport “Verkenning systeemwerking in Nederland” (Van Mierlo, 2006b).

In het eerste (voorliggende) rapport zijn de bevindingen van de eerste twee onderzoeksdoelen (zie §1.3) en bijbehorende onderzoeksactiviteiten (zie §1.4) vastgelegd. De bevindingen van de derde onderzoeksactiviteit zijn vastgelegd in het rapport “Verkenning systeemwerking in Nederland”.

In het tweede rapport (Van Mierlo, 2006b) wordt tevens op grafische wijze een samenvatting gegeven van de verkenningen van hydraulische systeemwerkingseffecten in Nederland. Meer concreet betreft het een grafische samenvatting van de verkenningen van hydraulische systeemwerkingseffecten langs bovenstroomse Rijntakken en bedijkte Maas (zie hoofdstuk 4 van het voorliggende rapport; Van Mierlo, 2005; en Garcia 2006) en langs zogenoemde “overige primaire waterkeringen categorie a” (zie §1.4, derde onderzoeksdoel).

I.6 Organisatie van het onderzoek

Het onderzoek is uitgevoerd door Thieu van Mierlo en Rolf van Buren (WL | Delft Hydraulics). Het onderhavige onderzoek is namens Rijkswaterstaat begeleid door Robert Slomp (RIZA Lelystad) in samenspraak met Wim Silva (RIZA Arnhem) en Marcel van der Doef (DWW).

I.7 Erkenning

Door Johan Gudden van de Provincie Gelderland zijn DelftFLS modellen ter beschikking gesteld. Deze DelftFLS modellen zijn zodanig aangepast/ingericht dat hydraulische effecten van systeemwerking konden worden bepaald. Door Rene Piek van de Provincie Zuid-Holland en Durk-Jan Lagendijk van de Provincie Zeeland zijn de SOBEK1D2D hoogte schematisaties van diverse dijkkringen ter beschikking gesteld. Door Adri Beuns, RWS Directie Zeeland, zijn gegevens verstrekt over de oppervlakte en maatgevende waterstand van de diverse Zeeuwse wateren.

I.8 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt een omschrijving en overzicht gegeven van de gemaakte DelftFLS berekeningen voor dijkdoorbraken langs bovenstroomse Rijntakken en bedijkte Maas. In hoofdstuk 3 worden de resultaten van deze DelftFLS dijkdoorbraakberekeningen besproken. In hoofdstuk 4 worden de hydraulische systeemwerkingseffecten langs bovenstroomse Rijntakken en bedijkte Maas gepresenteerd en nader toegelicht. In hoofdstuk 5 wordt nagegaan in hoeverre het mogelijk is om langs bovenstroomse Rijntakken en bedijkte Maas ruimtelijke generieke uitspraken te doen over te verwachte hydraulische effecten van systeemwerking.

2 Omschrijving dijkdoorbraakberekeningen langs bovenstroomse Rijntakken en bedijkte Maas

In dit hoofdstuk worden de gemaakte dijkdoorbraakberekeningen langs bovenstroomse Rijntakken en bedijkte Maas omschreven. Allereerst wordt in §2.1 het Rijntakken-Maas DelftFLS model beschreven, waarmee de dijkdoorbraakberekeningen zijn gemaakt. Daarna wordt in §2.3 een overzicht gegeven van de gebruikte hydraulische randvoorwaarden. Vervolgens worden in §2.6 de diverse dijkdoorbraaklocaties en gehanteerde dijkdoorbraak parameters gegeven. In §2.5 wordt de inzet van de Gewande uitlaatwerken besproken. In §2.6 wordt een overzicht gegeven van alle gemaakte dijkdoorbraakberekeningen.

2.1 Het Rijntakken DelftFLS model

Alle dijkdoorbraakberekeningen zijn gemaakt met het Rijntakken-Maas DelftFLS model. DelftFLS is een software pakket waarin de twee dimensionale diepte-gemiddelde St. Venant vergelijkingen worden opgelost. DelftFLS is in staat om zowel stationaire als niet stationaire stroming door te rekenen evenals overgangen van sub-kritische stroming naar superkritische stroming en visa versa. DelftFLS heeft een robuust rekenschema en kan het inunderen van oorspronkelijk droog land simuleren

2.2 Omvang van het Rijntakken-Maas DelftFLS model

Het Rijntakken-Maas DelftFLS model heeft een 100 m rastergrid. Het model ligt grotendeels in Nederland en omvat slechts een klein gedeelte van de Duitse Nederrijn (zie Figuur 2-1).

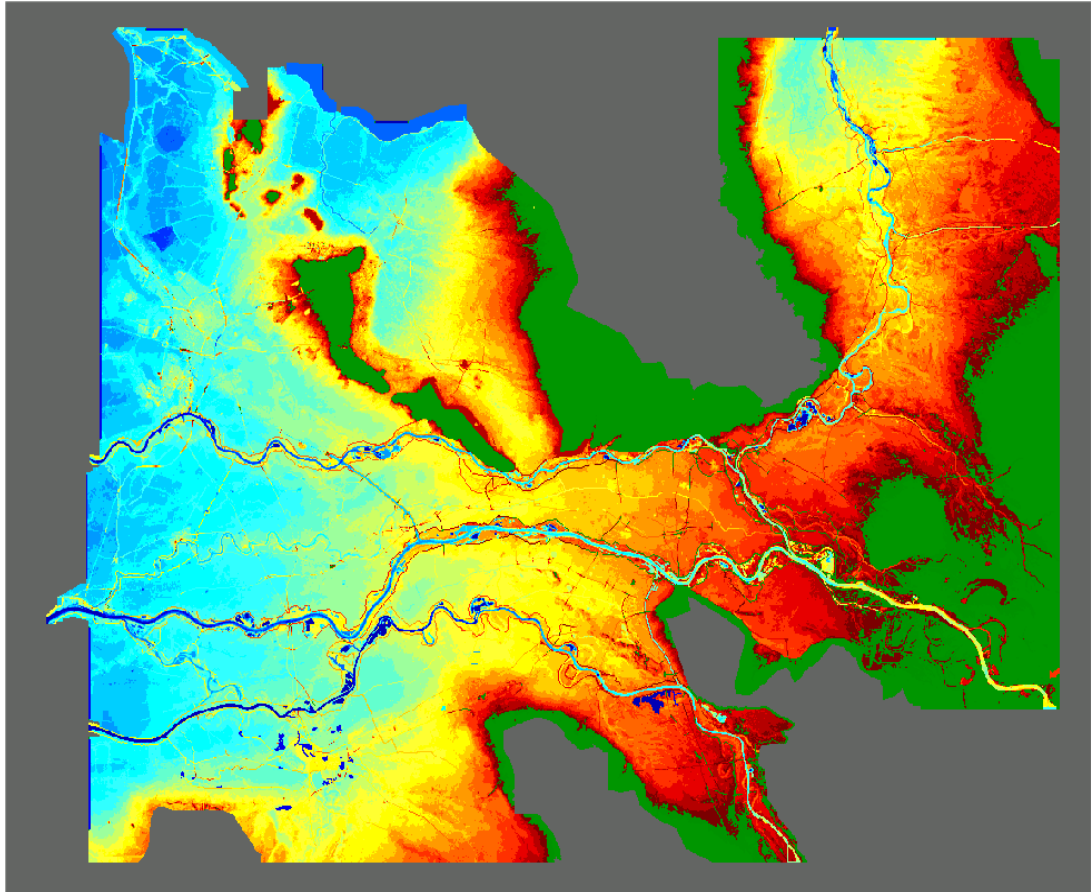
Het Rijntakken-Maas DelftFLS model omvat de volgende riviertrajecten:

1. Maas van Vierlingsbeek (km 141) tot Dussen (km 243.2),
2. Bovenrijn juist benedenstrooms van Rees (km 841.0) tot aan het splitsingspunt Pannerdensch Kop (km 867.06);
3. Waal van Pannerdensch Kop tot Werkendam (km 960.9);
4. Pannerdensch Kanaal van de Pannerdensch Kop tot aan het splitsingspunt IJsselkop (km 878.59);
5. Nederrijn-Lek van IJsselkop tot Ameide (km 963.2);
6. IJssel van IJsselkop tot Olst (km 957.4),

In het gemodelleerde stuk van de Nederrijn bevinden zich stuw Driel (km 891.75), stuw Amerongen (km 922.54) en stuw Hagestein (km 947.11). In het gemodelleerde stuk van de Maas bevinden zich stuw Sambeek (km 144.96), stuw Grave (km 174.62) en stuw Lith (km 200.75). Genoemde stuwen zijn niet in DelftFLS gemodelleerd. Alle stuwen in de Nederrijn en Maas zijn gestreken voor Rijnafvoeren te Lobith hoger dan 3.500 m³/s en Maasafvoeren te Borgharen hoger dan 1.250 m³/s. Aangezien het Rijntakken-Maas DelftFLS model enkel wordt gebruikt voor hoogwaterberekeningen, is het niet modelleren van genoemde stuwen toegestaan.

Het Rijntakken-Maas DelftFLS model omvat de volgende tweeëntwintig primaire dijkringen:

1. Dijkring 14 (Zuid-Holland), slechts deels opgenomen,
2. Dijkring 15 (Lopiker- en Krimpenerwaard), slechts deels opgenomen,
3. Dijkring 16 (Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden) slechts deels opgenomen,
4. Dijkring 24 (Land van Altena) slechts deels opgenomen,
5. Dijkring 35 (Donge) slechts deels opgenomen,
6. Dijkring 36 (Land van Heusden / de Maaskant) in zijn geheel opgenomen,
7. Dijkring 37 (Nederhemert) in zijn geheel opgenomen,
8. Dijkring 38 (Bommelerwaard), in zijn geheel opgenomen,
9. Dijkring 40 (Heerewaarden), in zijn geheel opgenomen,
10. Dijkring 41 (Land van Maas en Waal), in zijn geheel opgenomen
11. Dijkring 42 (Ooy en Millingen), in zijn geheel opgenomen inclusief een deel van de Duitse Düffelt polder
12. Dijkring 43 (Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden), in zijn geheel opgenomen,
13. Dijkring 44 (Kromme Rijn), tot aan Diemen opgenomen,
14. Dijkring 45 (Gelderse Vallei), in zijn geheel opgenomen,
15. Dijkring 46 (Eempolder), in zijn geheel opgenomen,
16. Dijkring 47 (Arnhem en Velperbroek), in zijn geheel opgenomen (opm: een deel van deze dijkring is opgenomen in de rivier schematisatie),
17. Dijkring 48 (Rijn en IJssel), in zijn geheel opgenomen,
18. Dijkring 49 (IJsselland), in zijn geheel opgenomen,
19. Dijkring 50 (Zutphen), in zijn geheel opgenomen,
20. Dijkring 51 (Gorssel), in zijn geheel opgenomen,
21. Dijkring 52 (Oost Veluwe), slechts deels opgenomen,
22. Dijkring 53 (Salland), slechts deels opgenomen,



Figuur 2-1 Het Rijntakken-Maas DelftFLS model

Het Rijntakken-Maas DelftFLS model is zodanig ingericht dat geanticipeerde hydraulische effecten van systeemwerking zich kunnen manifesteren en tevens zo goed mogelijk kunnen worden gekwantificeerd. Hiertoe zijn onder andere zogenoemde opvangbakken grenzend aan benedenstroomse dijkringen in de DelftFLS model schematisatie aangebracht.

2.2.1 Bathymetrie en Dijkhoogten in het Rijntakken-Maas DelftFLS model

(i) Bathymetrie:

De bathymetrie van de Rijntakken komt uit het Rampenbeheersingstrategieën Onderzoek (RBSO) project. Deze RBSO rivier bathymetrie komt qua inrichting overeen met riviersituatie in 2015, zoals voorzien in het project “Ruimte voor de Rivier”(VKA, versie september 2003). De bathymetrie van de Maas komt overeen met de rivier situatie zoals in 2003.

(ii) Dijkhoogten:

Alle Nederlandse dijk(ring)en zijn conform het DWW Agi bestand 2004 versie 1.1. Langs de Duitse Niederrhein (traject Rees-Lobith) zijn de dijken uitvoorzorg verhoogd teneinde overstromingen voor een permanente Bovenrijnafvoer van 17.000 m³/s te voorkomen. Verder is de Wilhelminasluis in de Afgedamde Maas verhoogd tot een niveau van NAP + 7.00 m. Dit is gedaan om te voorkomen dat bij genoemde permanente Bovenrijnafvoer via de Wilhelminasluis Waalwater weg stroomt naar de Afgedamde Maas.

2.2.2 Calibratie van het Rijntakken-Maas DelftFLS model

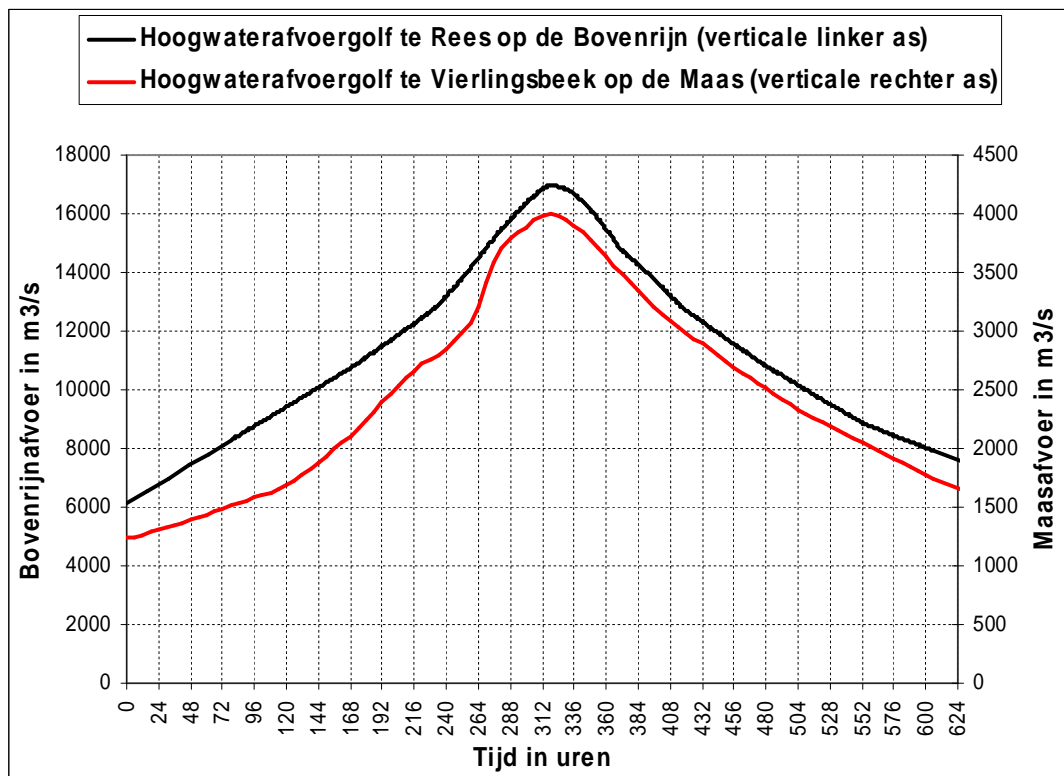
De Rijntakken zijn enkel gecalibreerd voor een permanente afvoer van 16.000 m³/s. Hierbij is gebruik gemaakt van de resultaten van een WAQUA berekening, welke door RIZA Arnhem ter beschikking is gesteld. Deze calibratie is uitgevoerd door dhr. Johan Gudden van de Provincie Gelderland. Het Maas traject van Vierlingsbeek tot Dussen is eveneens gecalibreerd door dhr. Johan Gudden van de Provincie Gelderland.

2.3 Hydraulische randvoorwaarden

In alle DelftFLS berekeningen zijn de volgende hydraulische randvoorwaarden gebruikt:

- een hoogwatergolf met een piekafvoer van 17.000 m³/s (zie Figuur 2-2) nabij Rees (Bovenrijn_Km841). Deze hoogwatergolf is bepaald middels de zogenoemde Lobith golfvormgenerator (HKV, 2003). Als gevolg van topvervlakking bedraagt ter hoogte van Lobith de piekafvoer nog 16.935 m³/s.
- een hoogwatergolf met een piekafvoer van 4.000 m³/s (zie Figuur 2-2) nabij Vierlingsbeek (Maas_Km141). Deze hoogwatergolf is afgeleid uit het zogeheten Lith (Maas_Km200.75) hoogwatergolvenbestand. Meer precies door het lineair schalen van een hoogwaterafvoergolf te Lith met een piekafvoer van 4094 m³/s waarbij de tijdas niet is gewijzigd. Het Lith hoogwatergolvenbestand betreft de voortplanting van hoogwatergolven te Borgharen (Maas_Km16) zoals berekend door WAQUA. De hoogwatergolven te Borgharen zijn bepaald middels de zogenoemde Borgharen golfvormgenerator (HKV, 2003). Het opleggen van de Lith hoogwatergolf bij Vierlingsbeek, betekent feitelijk dat de topvervlakking in het bedijkte Maas traject van Vierlingsbeek naar Lith is verwaarloosd.
- De piek van de hoogwatergolf op de Bovenrijn bij Lobith (c.q. Rees) valt samen met de piek van de hoogwatergolf op de Maas bij Vierlingsbeek (zie Figuur 2-2). Diermanse en Van Vuren (2002) tonen aan dat statistisch gezien in het benedenrivierengebied van de Rijn (c.q. bij Werkendam) en de Maas (c.q. bij Lith) de pieken van hoogwatergolven gelijktijdig optreden. De looptijd van een Rijnhoogwatergolf van Lobith naar Werkendam is nagenoeg gelijk aan de looptijd van een Maashoogwatergolf van Vierlingsbeek naar Lith. Hiermee rekeninghoudend is gekozen om de piek van de hoogwatergolf bij Rees en de piek van de hoogwatergolf bij Lith samen te laten vallen, en
- Q-h relaties (zie Tabel 2-1) bij Dussen (Maas_Km243.2), Werkendam (Waal_Km960.9), Ameide (Lek_Km 963.2) en Olst (IJssel_Km957.4).

In de referentie situatie (c.q. géén dijkdoorbraken) kan de Rijnhoogwatergolf en de Maashoogwatergolf met respectievelijk een piekafvoer 17.000 m³/s van 4.000 m³/s (zie Figuur 2-2) door het riviersysteem worden afgevoerd zonder dat primaire Rijntakkendijken en Maasdijken worden overstroomd.



Figuur 2-2 Hoogwaterafvoergolf nabij Rees (Bovenrijn_Km841.0) en Vierlingsbeek (Maas_Km141.0)

Tabel 2-1 Q-h relaties gebruikt als randvoorwaarden in het Rijntakken-Maas DelftFLS model

Dussen Maas_Km243.2		Werkendam Waal_Km960.9		Ameide Lek_Km963.2		Olst IJssel_Km957.4	
Waterstand	Debiet	Waterstand	Debiet	Waterstand	Debiet	Waterstand	Debiet
<i>m</i>	<i>m³/s</i>	<i>m</i>	<i>m³/s</i>	<i>m</i>	<i>m³/s</i>	<i>m</i>	<i>m³/s</i>
0.37	50	0.35	682	0.42	19	1.02	174
0.43	100	0.40	845	0.76	148	1.83	285
0.56	232	0.50	1159	0.80	251	2.73	418
0.58	250	0.56	1263	0.95	463	3.62	561
0.60	500	0.60	1331	1.17	628	4.33	712
0.62	735	0.62	1413	1.07	716	4.68	857
0.63	750	0.75	1808	1.24	811	5.02	1008
0.87	1000	0.95	2304	1.45	921	5.26	1129
1.16	1250	1.04	2609	1.66	1029	5.49	1311
1.50	1500	1.39	3302	1.97	1207	5.70	1531
1.76	1750	1.54	3710	2.24	1358	5.96	1772
2.02	2000	1.91	4716	2.54	1538	6.26	2011
2.24	2250	2.13	5311	3.15	1891	6.54	2237
2.49	2500	2.49	6195	3.85	2277	6.80	2454
2.71	2741	2.77	6967	4.28	2507	7.02	2648
2.72	2750	3.02	7684	4.43	2635	7.25	2852
2.94	3000	3.17	8101	4.81	2903	7.48	3062
3.13	3250	3.46	8953	5.08	3082	7.71	3272
3.33	3500	3.65	9585	5.38	3300		
3.44	3652	3.82	10173	6.10	5000		
3.52	3750	4.02	10775				
3.71	4000	4.50	20000				
3.87	4250						
4.03	4500						
4.18	4712						
4.36	5000						
4.60	5500						
4.70	6000						
4.74	6500						

2.4 Dijkdoorbraaklocaties en dijkdoorbraakparameters

2.4.1 Dijkdoorbraaklocaties

In totaal zijn twintig verschillende dijkdoorbraaklocaties beschouwd (Figuur 2-3, Figuur 2-4 en Tabel 2-2). In dit rapport worden voor dertien van deze locaties (c.q. L5, L9, L10, L11, L12, L13, L14, L15, L16, L17, L18, L19 en L20) de resultaten van dijkdoorbraakberekeningen gegeven. Voor de resultaten van dijkdoorbraakberekeningen voor de overige zeven dijkdoorbraaklocaties wordt verwezen naar Van Mierlo (2005). Behalve locaties Den Nul (L8) zijn de dijkdoorbraaklocaties door RIZA geselecteerd als locaties waar een dijkdoorbraak het meest waarschijnlijk is. Hierbij is gebruik gemaakt van door Hydra B en Hydra+ berekende overstromingskansen (Stijnen, 2005 en Van den Bosch, 2005). Met klem wordt opgemerkt dat dijkdoorbraaklocatie L9 enkel is gelegen ter hoogte van de voormalige Beerse Overlaten. In een dijkdoorbraakberekening op locatie L9 fungeert dijkkring 36 niet als noodoverloopgebied, waarin Maaswater wordt ingelaten via de voormalige Beerse Overlaten.

Tabel 2-2 Overzicht van dijkdoorbraaklocaties

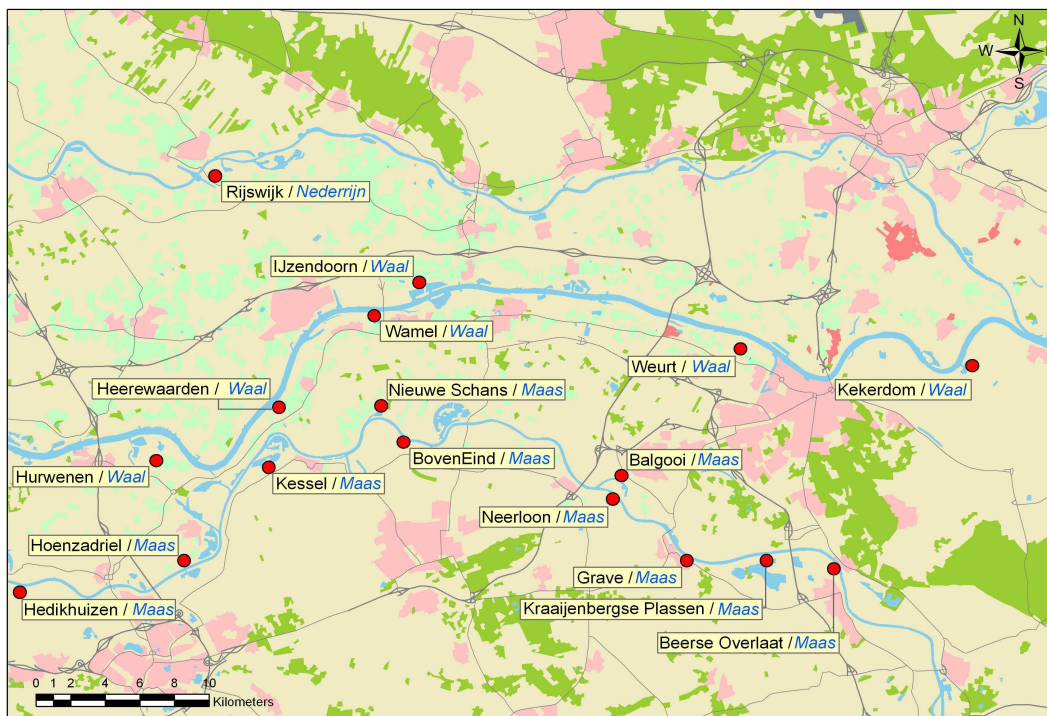
Overzicht van dijkdoorbraaklocaties		
Code	Locatie	Aangrenzende (primaire) dijkkring
L1	Lobith, Rijn_Km861.4, rechter Bovenrijndijk	Rijn en IJssel (dijkring 48)
L2	Kekerdome, Waal_Km872.7, linker Waaldijk	Ooy en Millingen (dijkring 42)
L3	IJzendoorn, Waal_Km908.4, rechter Waaldijk	Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden (dijkring 43)
L4	Rijswijk, Nederrijn_Km928.5, linker N.R.dijk	Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden (dijkring 43)
L5	Weurt, Waal_Km889.4, linker Waaldijk	Land van Maas en Waal (dijkring 41)
L6	Wamel, Waal_Km911.5 linker Waaldijk	Land van Maas en Waal (dijkring 41)
L7	Vierakker, IJssel_Km922.5, rechter IJsseldijk	Zutphen (dijkring 50)
L8	Den Nul, IJssel_Km959.1, rechter IJsseldijk	Salland (dijkring 53)
L9	Locatie ter hoogte van de voormalige Beerse Overlaat ¹⁾ , Maas_Km164.20, linker Maasdijk	Land van Heusden/De Maaskant (dijkring 36)
L10	Kraaijenbergse Plassen, Maas_Km169.10, linker Maasdijk	Land van Heusden/De Maaskant (dijkring 36)
L11	Hedikhuizen, Maas_Km225.8, linker Maasdijk	Land van Heusden/De Maaskant (dijkring 36)
L12	Balgooi, Maas_Km180.0, rechter Maasdijk	Land van Maas en Waal (dijkring 41)
L13	Hoenzadriel, Maas_Km215.2, rechter Maasdijk	Bommelerwaard (dijkring 38)
L14	Nieuwe Schans, Maas_Km196.65, rechter Maasdijk	Land van Maas en Waal (dijkring 41)
L15	Heerewaarden, Waal_Km920.5, linker Waaldijk	Heerewaarden (dijkring 40)
L16	Hurwenen, Waal_Km930.15, linker Waaldijk	Bommelerwaard (dijkring 38)
L17	Grave, Maas_Km173.90, linker Maasdijk	Land van Heusden/De Maaskant (dijkring 36)
L18	Neerloon, Maas_Km179.5, linker Maasdijk	Land van Heusden/De Maaskant (dijkring 36)
L19	Boveneind, Maas_Km194.8, linker Maasdijk	Land van Heusden/De Maaskant (dijkring 36)
L20	Kessel, Maas_Km206.5, linker Maasdijk	Land van Heusden/De Maaskant (dijkring 36)

Opmerkingen:

1. Met klem wordt opgemerkt dat dijkdoorbraaklocatie L9 enkel is gelegen ter hoogte van de voormalige Beerse Overlaten. In een dijkdoorbraakberekening op locatie L9 fungeert dijkkring 36 niet als noodoverloopgebied, waarin Maaswater wordt ingelaten via de voormalige Beerse Overlaten.
2. In dit rapport worden enkel resultaten gegeven voor dijkdoorbraken bij locaties L5, L9, L10, L11, L12, L13, L14, L15, L16, L17, L18, L19 en L20.
3. Voor resultaten van dijkdoorbraken op locaties L1, L2, L3, L4, L6, L7 en L8 wordt verwezen naar Van Mierlo (2005).



Figuur 2-3 Dijkdoorbraaklocaties L1, L2, L3, L4, L5, L6, L7 en L8 gelegen langs de Rijntakken.



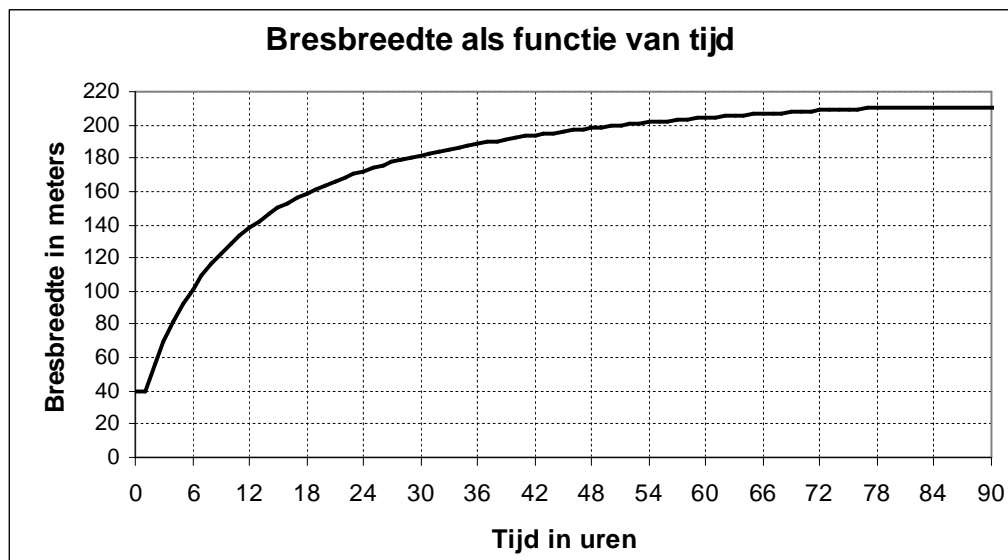
Figuur 2-4 Dijkdoorbraaklocaties L2, L3, L4, L5, L6 en L9 t/m L20 gelegen langs de Rijntakken en de bedijkte Maas.

2.4.2 Tijdstip van dijkdoorbraak

Voor alle dijkdoorbraakberekeningen, waarover in dit rapport wordt gerapporteerd, geldt dat de dijk doorbreekt 6 uur voordat ter plaatse van de dijkdoorbraaklocatie de top van de hoogwatergolf wordt bereikt. Van Mierlo (2005) geeft onder andere ook resultaten voor dijkdoorbraken bij Lobith (L1) en Kekerdom (L2), waarin de dijk doorbreekt eerder dan 6 uur voordat lokaal de hoogste rivierwaterstand wordt bereikt.

2.4.3 Bresgroeiscenario

In alle dijkdoorbraakberekeningen is aangenomen dat het dijkgat zich ontwikkelt conform het bresgroeiscenario zoals dat is gebruikt in het Niederrhein project (Lammersen, 2004). In dit bresgroeiscenario wordt in het eerste uur na doorbraak het dijkgat bij een constante breedte van ca. 39m uitgeschuurd tot maaiveldhoogte (maximum van binnendijkse- en buitendijkse maaiveldhoogte). Daarna groeit het dijkgat enkel nog in de breedte en wordt 78 uur na dijkdoorbraak een maximale dijkgatbreedte van 210 m bereikt (zie Figuur 2-5).



Figuur 2-5 Ontwikkeling van de breedte van een dijkdoorbraak als functie van de tijd na dijkdoorbraak

2.4.4 Dijken bezwijken enkel op dijkdoorbraaklocaties

Voor de volledigheid wordt opgemerkt dat in een DelftFLS berekening een dijk(vak) enkel kan bezwijken indien in de DelftFLS schematisatie een dijkdoorbraaklocatie ter plaatse van dit dijkvak is opgenomen. Voor alle overige dijkvakken geldt dat deze dijkvakken in een DelftFLS berekening niet kunnen bezwijken. Ook niet indien deze dijkvakken van de achterzijde worden belast dan wel worden overstroomd.

2.5 Inzet van de Gewande uitlaatwerken

In dijkdoorbraakscenario (c.q. L9T6C4WU, zie §3.4) is dijkkring 36 (Land van Heusden/de Maaskant) gecompartmenteerd middels een mogelijke compartimenteringdijk (C4) ten Oosten van 's-Hertogenbosch. In scenario L9T6C4WU wordt dijkkring 36 overstroomd ten gevolge van een dijkdoorbraak ter hoogte van de voormalige Beerse Overlaat (dijkdoorbraaklocatie L9) en wordt het ingestroomde Maaswater weer naar de Maas teruggevoerd middels uitlaatwerken ter hoogte van Gewande.

In scenario L9T6C4WU wordt gebruikgemaakt van twee uitlaatwerken te Gewande:

1. Een niet bestaande overlaat met een kruinhoogte van NAP + 3.2 m en een kruinlengte van 600 m. Deze overlaat wordt geacht in de linker Maasdijken te Gewande te zijn ingebouwd,
2. Een niet bestaande sluis te Gewande met een dagmaat van 25 m en een sluisbodem van NAP - 1.00 m.

Verder is in scenario L9T6WU aangenomen dat voor het draineren van dijkkring 36 openingen worden gemaakt (dan wel openingen worden opengezet) in verticale lijnelementen, welke fungeren als secundaire waterkeringen tijdens het draineren van de overstroomde dijkkring 36. Concreet betreft het volgende locaties: spoorlijn Rosmalen-Oss ter hoogte van Nuland, Verhoogde weg ter hoogte van Heeseind, Coupure in de dijk langs Hertogswetering ($x=154900$, $y=418800$), Coupure in de dijk langs Hertogswetering met kruising Huizendbeemd, twee openingen in de Kennedy Baan van Oss naar Lith, Duiker in Hertogswetering onder Burgemeester Delen Kanaal, kruising Hertogswetering met spoorlijn Oss-Nijmegen nabij Herpen, kruising Hertogswetering met de A50 van Heesch naar Wychen, kruising Graafsche Raam met N321 nabij Grave.

De overlaat te Gewande is geopend zodra de binnendijkse waterstand te Gewande 0.25 m hoger werd dan de buitendijkse Maaswaterstand te Gewande. Het openen van deze overlaat betreft het afgraven van de linker Maasdijk over een lengte van 600 m en tot een niveau van NAP + 3.2m. Aangenomen is dat 15 uur benodigd is om de Gewande overlaat te openen (c.q. het betreffende Maasdijkvak af te graven). Genoemde openingen in verticale lijnelementen, welke fungeren als secundaire waterkeringen in het drainage proces van dijkkring 16 zijn in de berekening geopend 18 uur nadat de maximale binnendijkse waterstand bij Gewande werd bereikt. De sluis te Gewande is geopend zodra binnendijkse waterstanden te Gewande lager werden dan NAP + 3.3m. Aangenomen is dat het openen van de sluis te Gewande een half uur duurt.

2.6 Overzicht Dijkdoorbraakberekeningen

In totaal zijn er in de huidige studie zestien DelftFLS berekeningen (zie Tabel 2-3) gemaakt. Vijftien dijkdoorbraakberekeningen en een referentieberekening, waarin géén dijkdoorbraken optreden. In totaal zijn er dertien potentiële dijkdoorbraaklocaties (L5, L9 t/m L20, zie Figuur 2-3, Figuur 2-4 en Tabel 2-2) beschouwd. In elke dijkdoorbraakberekening is slechts op één van deze dertien potentiële dijkdoorbraaklocaties ook daadwerkelijk de dijk doorgebroken. In elke dijkdoorbraakberekening breekt de dijk door 6 uur voordat ter plaatse van de dijkdoorbraaklocatie de top van de hoogwatergolf wordt bereikt. Een onderscheid kan gemaakt worden naar dertien dijkdoorbraakberekeningen waarin géén dijkringen zijn gecompartmenteerd en twee dijkdoorbraakberekeningen waarin enkel dijkring 36 (Land van Heusden/de Maaskant) was gecompartmenteerd middels een beoogde compartimenteringsdijk ten Oosten van 's-Hertogenbosch. Deze compartimenteringsdijk (C4) heeft een hoogte van NAP + 7.85 m en verbindt de linker Maasoever bij Gewande (Maas_Km214) met hogere gronden ter hoogte van de Gemeente Nistelrode. De compartimenteringsdijkhoogte van NAP + 7.85 m is iets boven het niveau van de linker Maasdijken ter hoogte van Gewande. Het verschil tussen de twee compartimenteringsdijkdoorbraakberekeningen is dat in berekening L9T6C4GU ingestroomd Maaswater niet naar de Maas wordt teruggevoerd, terwijl in berekening L9T6C4WU ingestroomd Maaswater middels uitlaatwerken ter hoogte van Gewande naar de Maas wordt teruggevoerd (zie §2.5).

Tabel 2-3 Overzicht van DelftFLS berekeningen

DelftFLS		Rapport Codering en Omschrijving van de DelftFLS berekeningen			
Model	Code	Code	Dijkdoorbraaklocatie en Tijdstip dijkdoorbraak	Compart./Uitlaatwerk	
RM	Ref	GD	Géén dijkdoorbraken	-	-
RM	01_RM	L5T6GCGU	L5: Weurt, Waal_Km889.4, linker Waaldijk	6	Géén compartimentering, géén uitlaatwerk
RM	02_RM	L9T6GCGU	L9: Locatie van de voormalige Beerse Overlaat ¹⁾ , Maas_km164.2, linker Maasdijk,	6	Géén compartimentering, géén uitlaatwerk
RM	03_RM	L9T6C4GU	L9: Locatie van de voormalige Beerse Overlaat ¹⁾ , Maas_km164.2, linker Maasdijk,	6	C4 , Compart. Dijkkring 36, Géén uitlaatwerk
RM	04_RM	L9T6C4WU	L9: Locatie van de voormalige Beerse Overlaat ¹⁾ , Maas_km164.2, linker Maasdijk,	6	C4 , Compart. Dijkkring 36, Gewande uitlaatwerk
RM	05_RM	L10T6GCGU	L10: Kraaijenbergse Plassen, Maas_Km169.10, linker Maasdijk	6	Géén compartimentering, géén uitlaatwerk
RM	06_RM	L11T6GCGU	L11: Hedikhuizen, Maas_Km225.8, linker Maasdijk	6	Géén compartimentering, géén uitlaatwerk
RM	07_RM	L12T6GCGU	L12: Balgooi, Maas_Km180.0, rechter Maasdijk	6	Géén compartimentering, géén uitlaatwerk
RM	08_RM	L13T6GCGU	L13: Hoenzadriel, Maas_Km215.2, rechter Maasdijk	6	Géén compartimentering, géén uitlaatwerk
RM	09_RM	L14T6GCGU	L14: Nieuwe Schans, Maas_Km196.65, rechter Maasdijk	6	Géén compartimentering, géén uitlaatwerk
RM	10_RM	L15T6GCGU	L15: Heerwaarden, Waal_Km920.5, linker Waaldijk	6	Géén compartimentering, géén uitlaatwerk
RM	11_RM	L16T6GCGU	L16: Hurwenen, Waal_Km930.15, linker Waaldijk	6	Géén compartimentering, géén uitlaatwerk
RM	12_RM	L17T6GCGU	L17: Grave, Maas_Km173.90, linker Maasdijk	6	Géén compartimentering, géén uitlaatwerk
RM	13_RM	L18T6GCGU	L18: Neerloon, Maas_Km179.5, linker Maasdijk	6	Géén compartimentering, géén uitlaatwerk
RM	14_RM	L19T6GCGU	L19: Boveneind, Maas_Km194.8, linker Maasdijk	6	Géén compartimentering, géén uitlaatwerk
RM	15_RM	L20T6GCGU	L20: Kessel, Maas_Km206.5, linker Maasdijk	6	Géén compartimentering, géén uitlaatwerk

Opmerkingen:

1. Met klem wordt opgemerkt dat dijkdoorbraaklocatie L9 enkel is gesitueerd ter hoogte van de voormalige Beerse Overlaten. In een dijkdoorbraakberekening ter plaatse van locatie L9 worden deze voormalige Beerse Overlaten niet meegenomen. Kortom een dijkdoorbraakberekening op locatie L9 is dus géén berekening waarin dijkkring 36 (Land van Heusden/de Maaskant) als Noodoverloopgebied fungeert en Maaswater via de voormalige Beerse Overlaten wordt ingelaten.

3 Resultaten van dijkdoorbraakberekeningen langs bovenstroomse Rijntakken en bedijkte Maas

In dit hoofdstuk worden enkel de belangrijkste hydraulische aspecten van de dijkdoorbraakberekeningen langs bovenstroomse Rijntakken en bedijkte Maas besproken (zie §3.1 t/m § 3.15). In Tabel 3-1 wordt een beknopt overzicht gegeven. Voor een analyse van de effecten van systeemwerking wordt verwezen naar hoofdstuk 4. Opgemerkt dient te worden dat de compartimenteringberekeningen (zie §3.3 en §3.4) slechts beeldvormende (eerste verkennende) berekeningen zijn. Naar verwachting zal de wijze van mogelijke compartimentering van dijkkring 36 (Land van Heusden/de Maaskant) nog nader worden uitgewerkt.

Tabel 3-1 Overzicht van meest belangrijkste hydraulische aspecten van de dijkdoorbraakberekeningen

Dijkdoorbraakberekening Code: Dijkdoorbraaklocatie	Compartimentering Uitlaatwerk	Overstroomde Dijkkringen		Ingestroomd water stroomt (terug) naar
		Primair ²⁾	Overige	
L5T6GCGU: Weurt, linker Waaldijk	Géén Comp, géén uitlaatwerk	41	24 ³⁾ , 35 ³⁾ , 36, 38, 39 en 40	Maas
L9T6GCGU: Locatie van de voormalige Beerse Overlaat ¹⁾ , linker Maasdijk	Géén Comp, géén uitlaatwerk	36	Geen	n.v.t.
L9T6C4GU: Locatie van de voormalige Beerse Overlaat ¹⁾ , linker Maasdijk	Dijkkring 36, Geen uitlaatwerk	36	Geen	n.v.t.
L9T6C4WU: Locatie van de voormalige Beerse Overlaat ¹⁾ , linker Maasdijk	Dijkkring 36, Gewande uitlaatwerk	36	Geen	Maas (Gewande uitlaatwerk)
L10T6GCGU: Kraaijenbergse Plassen, linker Maasdijk	Géén Comp, géén uitlaatwerk	36	Geen	n.v.t.
L11T6GCGU: Hedikhuizen, linker Maasdijk	Géén Comp, géén uitlaatwerk	36	Geen	n.v.t.
L12T6GCGU: Balgooi, rechter Maasdijk	Géén Comp, géén uitlaatwerk	41	40	Maas
L13T6GCGU: Hoenzadriel, rechter Maasdijk	Géén Comp, géén uitlaatwerk	38	24 ³⁾	Afgedamde Maas
L14T6GCGU: Nieuwe Schans, rechter Maasdijk	Géén Comp, géén uitlaatwerk	41	Geen	n.v.t.
L15T6GCGU: Heerewarden, linker Maasdijk	Géén Comp, géén uitlaatwerk	40	24 ³⁾ , 35 ³⁾ , 36, 38, 39 en 41	Maas
L16T6GCGU: Hurwenen, linker Waaldijk	Géén Comp, géén uitlaatwerk	38	24 en 37	Afgedamde Maas
L17T6GCGU: Grave, linker Maasdijk	Géén Comp, géén uitlaatwerk	36	Geen	n.v.t.
L18T6GCGU: Neerloon, linker Maasdijk	Géén Comp, géén uitlaatwerk	36	35	n.v.t.
L19T6GCGU: Boveneind, linker Maasdijk	Géén Comp, géén uitlaatwerk	36	35	n.v.t.
L20T6GCGU: Kessel, linker Maasdijk	Géén Comp, géén uitlaatwerk	36	Geen	n.v.t.

Opmerkingen:

1. Met klem wordt opgemerkt dat dijkdoorbraaklocatie L9 enkel is gesitueerd ter hoogte van de voormalige Beerse Overlaten. In een dijkdoorbraakberekening ter plaatse van locatie L9 worden deze voormalige Beerse Overlaten niet meegenomen. Kortom een dijkdoorbraakberekening op locatie L9 is dus géén berekening waarin dijkkring 36 (Land van Heusden/de Maaskant) als noodoverloopgebied fungeert en Maaswater via de voormalige Beerse Overlaten wordt ingelaten.
2. Primaire dijkkring is de dijkkring waarin de dijkdoorbraak optreedt,
3. Naar verwachting zal dijkkring 24 of 35 ook overstromen.

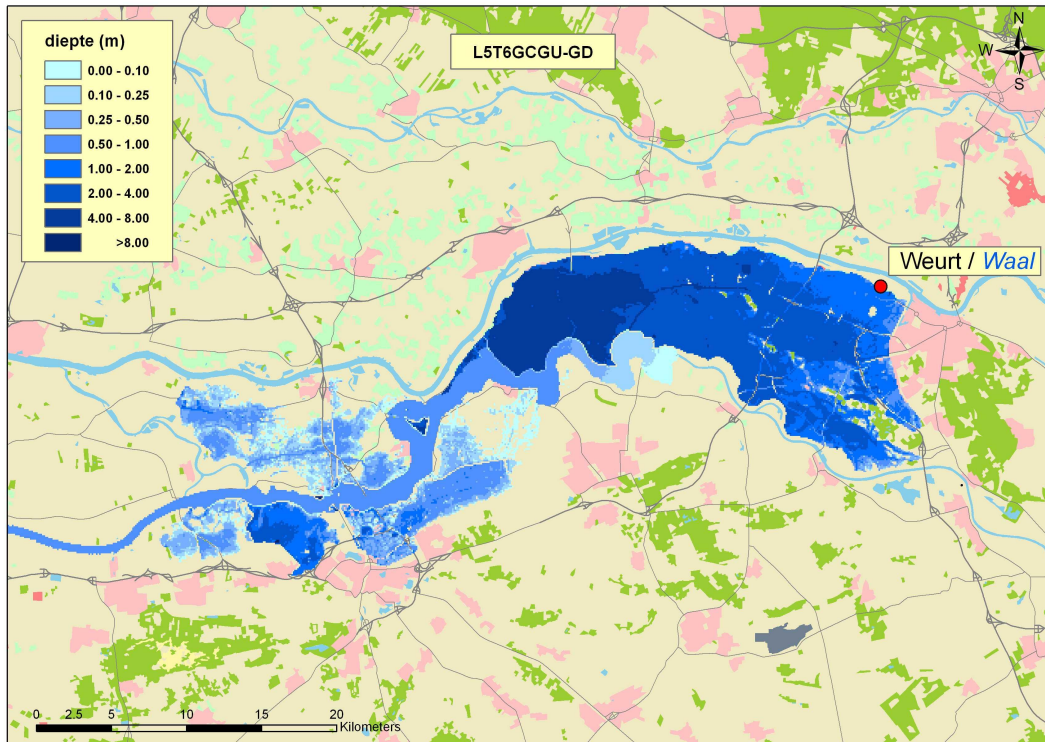
3.1 Scenario L5T6GCGU (Weurt, linker Waaldijk)

In scenario L5T6GCGU breekt op locatie L5 (Weurt, Waal_Km889.4, linker Waaldijk) de dijk door 6 uur voordat ter plaatse de hoogste rivierwaterstand wordt bereikt. Ingestroomd water wordt niet middels een uitlaatwerk weer naar een rivier teruggevoerd. Als gevolg van deze dijkdoorbraak overstroomt niet enkel de aangrenzende dijkkring 41 (Land van Maas en Waal), maar overstromen ook dijkringen 36 (Land van Heusden/de Maaskant), 38 (Bommelerwaard), 39 (Alem) en 40 (Heerewaarden). Het maximale dijkgatdebiet bedraagt 2.775 m³/s. Waalwater ingestroomd in dijkkring 41 stroomt verder naar de Maas dit gebeurt door het overstromen van de rechter Maasdijken tussen km196.0 (Nieuwe Schans) tot km204.5 (aansluiting Maasdijk op Waaldijk). Deze instroom van Waalwater op de Maas resulteert in:

- de volledige overstroming van dijkkring 39 en 40,
- het overstromen van de linker Maasdijk ter hoogte km200 (Lithoyen), km210 (Alem), km213 (Alemsche broek), km217-219 (Oud Empel), km221-226.5 (Bokhoven-Hedikhuizen) en km229 (Heusden). Ten gevolge van deze overstromde linker Maasdijken, overstroomt vrijwel geheel het deel van dijkkring 36 gelegen ten westen van de lijn Lith-Nuland; ten noorden van de spoorlijn Nijmegen-'s-Hertogenbosch; en ten noorden van de A59 van 's-Hertogenbosch naar Waalwijk,
- het overstromen van de rechter Maasdijk ter hoogte van km210 (Alem), km214-216 (Hoenzadriel) en km218-220 (A2 tot Hedel). Ten gevolge van deze overstromde rechter Maasdijken, overstroomt vrijwel geheel dijkkring 38 met uitzondering van het uiterst westelijke deel gelegen ten Oosten van de dijk door de Meidijksche Wielen.

Opgemerkt wordt dat indien overstromde Maasdijken bezwijken, dit naar verwachting zal resulteren in grotere benedenstroomse overstromingen als mede het mogelijk overstromen van dijkkring 24 (Land van Altena) en 35 (Donge). In Figuur 3-1 worden verschillen in maximaal opgetreden waterstanden getoond tussen scenario L5T6GCGU en de referentieberekening GD zonder dijkdoorbraken.

Opm: voor overstromde binnendijkse gebieden zijn de verschillen in maximaal opgetreden waterstanden gelijk aan de opgetreden overstromingsdiepten.



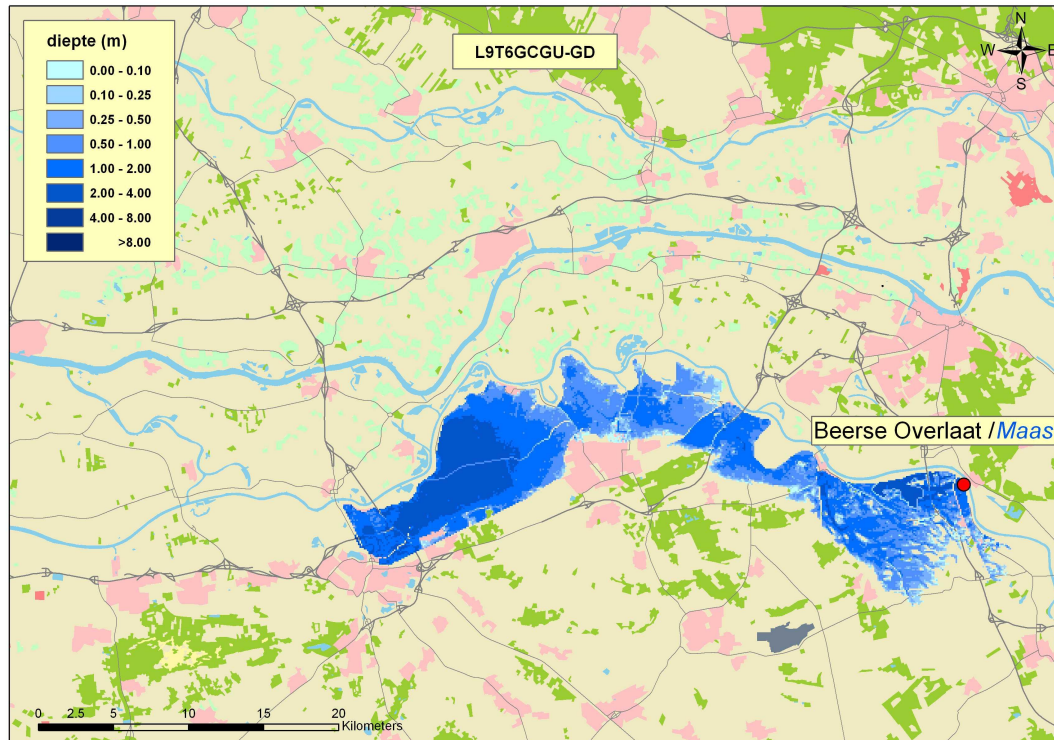
Figuur 3-1 Verschillen in maximaal opgetreden waterstanden tussen scenario L5T6GCGU (dijkdoorbraak bij Weurt 6 uur voordat ter plaatse de hoogste rivierwaterstand wordt bereikt; geen compartimentering; geen uitlaatwerk) en de referentieberekening GD zonder dijkdoorbraken.

3.2 Scenario L9T6GCGU (Locatie ter hoogte van de voormalige Beerse Overlaat, linker Maasdijk)

In scenario L9T6GCGU breekt op locatie L9 (locatie ter hoogte van de voormalige Beerse Overlaat, Maas_Km164.2, linker Maasdijk) de dijk door 6 uur voordat ter plaatse de hoogste rivierwaterstand wordt bereikt. Met klem wordt opgemerkt dat in scenario LGT6GCGU de inzet van de voormalige Beerse Overlaten niet is meegenomen. Kortom een dijkdoorbraakberekening op locatie L9 betreft dus géén berekening waarin dijkkring 36 (Land van Heusden/de Maaskant) als noodoverloopgebied fungeert en waarin Maaswater middels de voormalige Beerse Overlaten wordt ingelaten. Ingestroomd water wordt niet middels een uitlaatwerk weer naar de rivier teruggevoerd. Als gevolg van deze dijkdoorbraak overstroomt enkel de aangrenzende dijkkring 36 (Land van Heusden/de Maaskant). Het maximale dijkgatdebiet bedraagt slechts $458 \text{ m}^3/\text{s}$, hetgeen geringer is dan het maximale dijkgatdebiet in bijvoorbeeld scenario L10T6GCGU (zie §3.5). Dit komt doordat direct achter de dijkdoorbraaklocatie ter hoogte van de voormalige Beerse Overlaat de verhoogde spoorweg Nijmegen-Boxmeer is gelegen. Voor de volledigheid wordt opgemerkt dat duikers in de model schematisatie zijn opgenomen op die plaatsen waar wegen ongelijkvloers deze spoorweg doorkruisen. Ten gevolge van de dijkdoorbraak worden de lagere gronden in dijkkring 36 vrijwel volledig overstroomt met uitzondering van het gebied ten Noorden van de spoorlijn van 's-Hertogenbosch tot Oss en het gebied ten Westen van de autoweg 's-Hertogenbosch-Zaltbommel, welke beide als waterkerend lijnobject in de model schematisatie zijn opgenomen. Bij Gewande wordt een maximale

binnendijkse waterstand van NAP+5.21m bereikt. In Figuur 3-1 worden verschillen in maximaal opgetreden waterstanden getoond tussen scenario L9T6GCGU en de referentieberekening GD zonder dijkdoorbraken.

Opn: voor overstroomde binnendijkse gebieden zijn de verschillen in maximaal opgetreden waterstanden gelijk aan de opgetreden overstromingsdiepten.



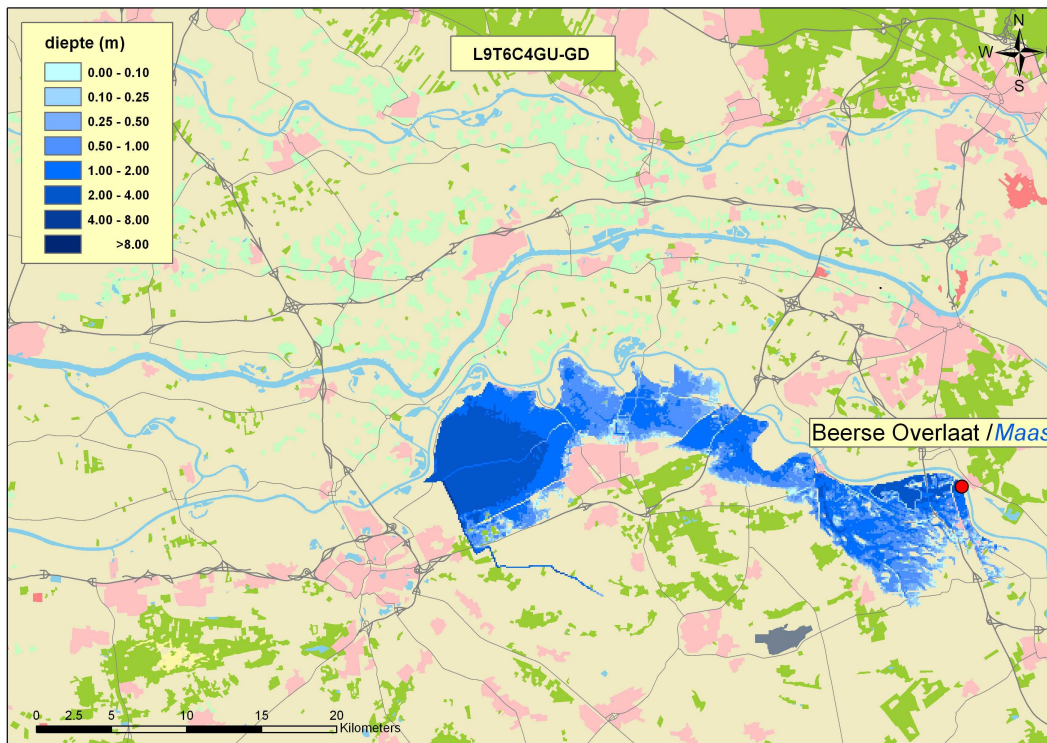
Figuur 3-2 Verschillen in maximaal opgetreden waterstanden tussen scenario L9T6GCGU (dijkdoorbraak ter hoogte van de voormalige Beerse Overlaat 6 uur voordat ter plaatse de hoogste rivierwaterstand wordt bereikt; geen compartimentering; geen uitlaatwerk) en de referentieberekening GD zonder dijkdoorbraken

3.3 Scenario L9T6C4GU (Locatie ter hoogte van de voormalige Beerse Overlaat, linker Maasdijk, Dijkkring 36 gecompartmenteerd, geen uitlaatwerk)

In scenario L9T6C4GU breekt op locatie L9 (Locatie ter hoogte van voormalige Beerse Overlaat, Maas_Km164.2, linker Maasdijk) de dijk door 6 uur voordat ter plaatse de hoogste rivierwaterstand wordt bereikt. In scenario L9T6C4GU is dijkkring 36 (Land van Heusden/de Maaskant) gecompartmenteerd middels een geplande NAP+7.85m hoge compartimenteringsdijk ten Oosten van 's-Hertogenbosch, welke de linker Maasoever bij Gewande (Maas_Km214) verbindt met hogere gronden ter hoogte van de Gemeente Nistelrode. Met klem wordt opgemerkt dat in scenario L9T6C4GU de inzet van de voormalige Beerse Overlaten niet is meegenomen. Met andere woorden dijkkring 36 fungeert evenals in scenario L9T6GCGU (zie §3.2) niet als noodoverloopgebied. Ingestroomd water wordt niet middels een uitlaatwerk weer naar de rivier teruggevoerd. Als gevolg van de dijkdoorbraak overstroomt enkel de aangrenzende dijkkring 36 (Land van Heusden/de Maaskant). Het tijdsafhankelijke verloop van het dijkgatdebit in scenario L9T6C4GU is

identiek aan het dijkgatdebietverloop in scenario L9T6C4GU (zie §3.2). Ten gevolge van de dijkdoorbraak worden de lagere gronden in dijkkring 36 vrijwel volledig overstroomt met uitzondering van het gebied ten Westen van de genoemde compartimenteringsdijk en ten Noorden van de spoorlijn van 's-Hertogenbosch naar Oss. De genoemde spoorlijn wordt nabij Nuland overstroomt, waarna de N50 van Rosmalen naar Heesch als waterkerend lijnobject fungeert. Bij Gewande wordt een maximale binnendijkse waterstand van NAP+5.88m bereikt, hetgeen 0.67m hoger is dan in scenario L9T6GCGU (zie §3.2). In Figuur 3-3 worden verschillen in maximaal opgetreden waterstanden getoond tussen scenario L9T6C4GU en de referentieberekening GD zonder dijkdoorbraken.

Opm: voor overstroomde binnendijkse gebieden zijn de verschillen in maximaal opgetreden waterstanden gelijk aan de opgetreden overstromingsdiepten.

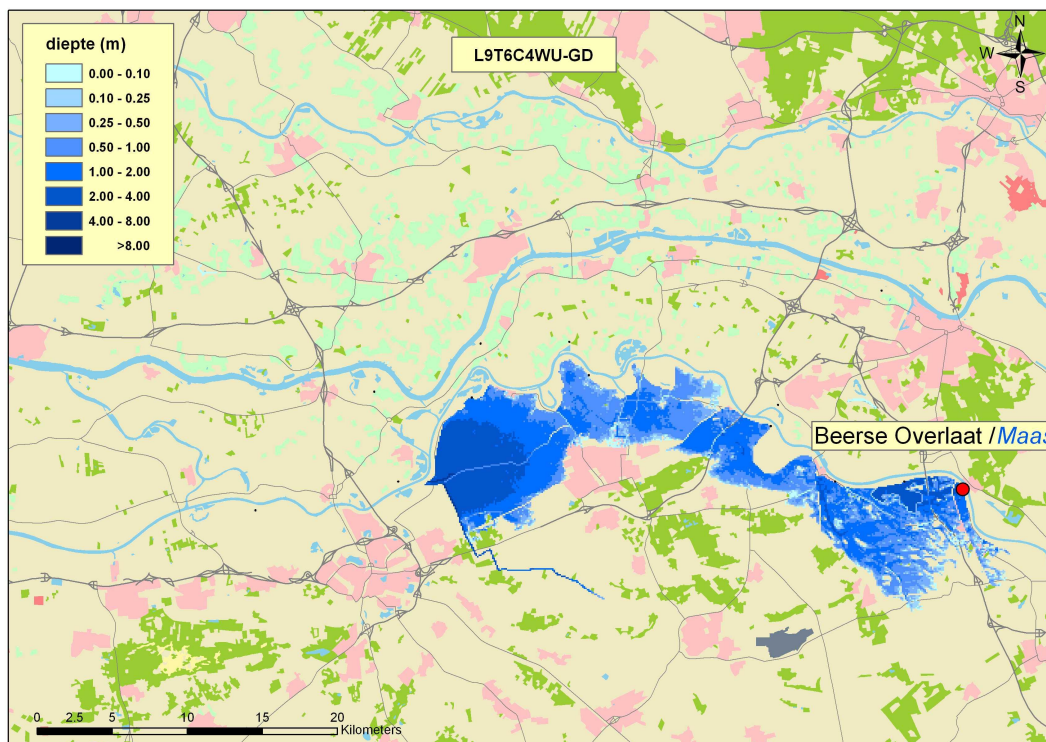


Figuur 3-3 Verschillen in maximaal opgetreden waterstanden tussen scenario L9T6C4GU (dijkdoorbraak ter hoogte van de voormalige de Beerse Overlaat 6 uur voordat ter plaatse de hoogste rivier waterstand wordt bereikt; geen compartimentering; geen uitlaatwerk) en de referentieberekening GD zonder dijkdoorbraken

3.4 Scenario L9T6C4WU (Locatie ter hoogte van de voormalige Beerse Overlaat, linker Maasdijk, Dijkkring 36 gecompartmenteerd, Gewande uitlaatwerk)

In scenario L9T6C4WU breekt op locatie L9 (Locatie ter hoogte van de voormalige Beerse Overlaat, Maas_Km164.2, linker Maasdijk) de dijk door 6 uur voordat ter plaatse de hoogste rivierwaterstand wordt bereikt. Scenario L9T6C4WU is op dezelfde wijze gecompartmenteerd als scenario L9T6C4GU middels een compartimenteringsdijk ten Oosten van 's-Hertogenbosch (voor nadere informatie zie §3.3). Met klem wordt opgemerkt dat in scenario L9T6C4WU de inzet van de voormalige Beerse Overlaten niet is meegenomen. Met andere woorden dijkkring 36 fungeert evenals in scenario's L9T6GCGU (zie §3.2) en L9T6C4GU niet als noodoverloopgebied. Als gevolg van de dijkdoorbraak overstroomt enkel de aangrenzende dijkkring 36 (Land van Heusden/de Maaskant). Het tijdsafhankelijke verloop van het dijkgatdebiet in scenario L9T6C4WU is identiek aan het dijkgatdebietverloop in scenario L9T6C4GU en L9T6GCGU. In scenario L9T6C4WU wordt ingestroomd Maaswater middels de Gewande uitlaatwerken teruggevoerd naar de Maas. Voor meer informatie over de inzet van de Gewande uitlaatwerken wordt verwezen naar §2.5. Het overstroomde gebied is vergelijkbaar met het gebied dat in scenario L9T6C4GU (zie §3.3) wordt overstroomd. In het gebied ten Oosten van Oss en ten Noorden van de N50 van Rosmalen naar Oss zijn de maximale waterstanden in scenario L9T6C4WU ca. 0.40-0.60m lager dan in scenario L9T6C4GU. Voor het overige overstroomde gebied geldt dat verschillen in maximale waterstanden tussen scenario L9T6C4WU en scenario L9T6C4GU slechts enkele centimeters bedragen. Bij Gewande wordt een maximale binnendijkse waterstand van NAP+5.42m bereikt, hetgeen 0.46m lager is dan in scenario L9T6C4GU (zie §3.3) en 0.21m hoger is dan in scenario L9T6GCGU (zie §3.2). In Figuur 3-4 worden verschillen in maximaal opgetreden waterstanden getoond tussen scenario L9T6C4WU en de referentieberekening GD zonder dijkdoorbraken.

Opm: voor overstroomde binnendijkse gebieden zijn de verschillen in maximaal opgetreden waterstanden gelijk aan de opgetreden overstromingsdiepten.

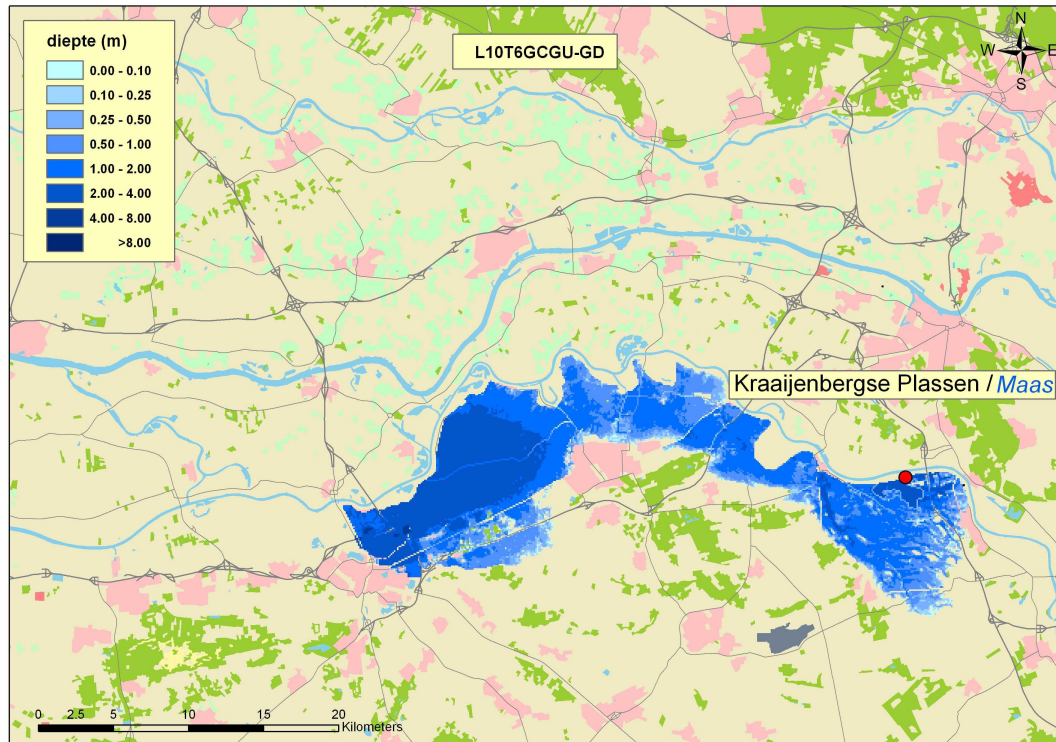


Figuur 3-4 Verschillen in maximaal opgetreden waterstanden tussen scenario L9T6C4WU (dijkdoorbraak ter hoogte van de voormalige Beerse Overlaat 6 uur voordat ter plaatse de hoogste rivierwaterstand wordt bereikt; geen compartimentering; inzet van Gewande uitlaatwerk) en de referentieberekening GD zonder dijkdoorbraken

3.5 Scenario L10T6GCGU (Kraaijenbergse Plassen, linker Maasdijk)

In scenario L10T6GCGU breekt op locatie L10 (Kraaijenbergse Plassen, Maas_Km169.10, linker Maasdijk) de dijk door 6 uur voordat ter plaatse de hoogste rivierwaterstand wordt bereikt. Ingestroomd water wordt niet middels een uitlaatwerk weer naar de rivier teruggevoerd. Als gevolg van de dijkdoorbraak overstroomt enkel de aangrenzende dijkkring 36 (Land van Heusden/de Maaskant). Het maximale dijkgatdebiet bedraagt $777 \text{ m}^3/\text{s}$. Ten gevolge van de dijkdoorbraak worden de lagere gronden in dijkkring 36 vrijwel volledig overstroomt met uitzondering van het gebied ten Westen van de autoweg 's-Hertogenbosch-Zaltbommel, welke als waterkerend lijnobject in de model schematisatie is opgenomen. In scenario L10T6GCGU overstroomt ook de spoorlijn 's-Hertogenbosch tot Oss en de N50 van Rosmalen-Heesch ter hoogte van Maliskamp tot aan de Grootte Wetering. In Figuur 3-5 worden verschillen in maximaal opgetreden waterstanden getoond tussen scenario L10T6GCGU en de referentieberekening GD zonder dijkdoorbraken.

Opn: voor overstroomde binnendijkse gebieden zijn de verschillen in maximaal opgetreden waterstanden gelijk aan de opgetreden overstromingsdiepten.

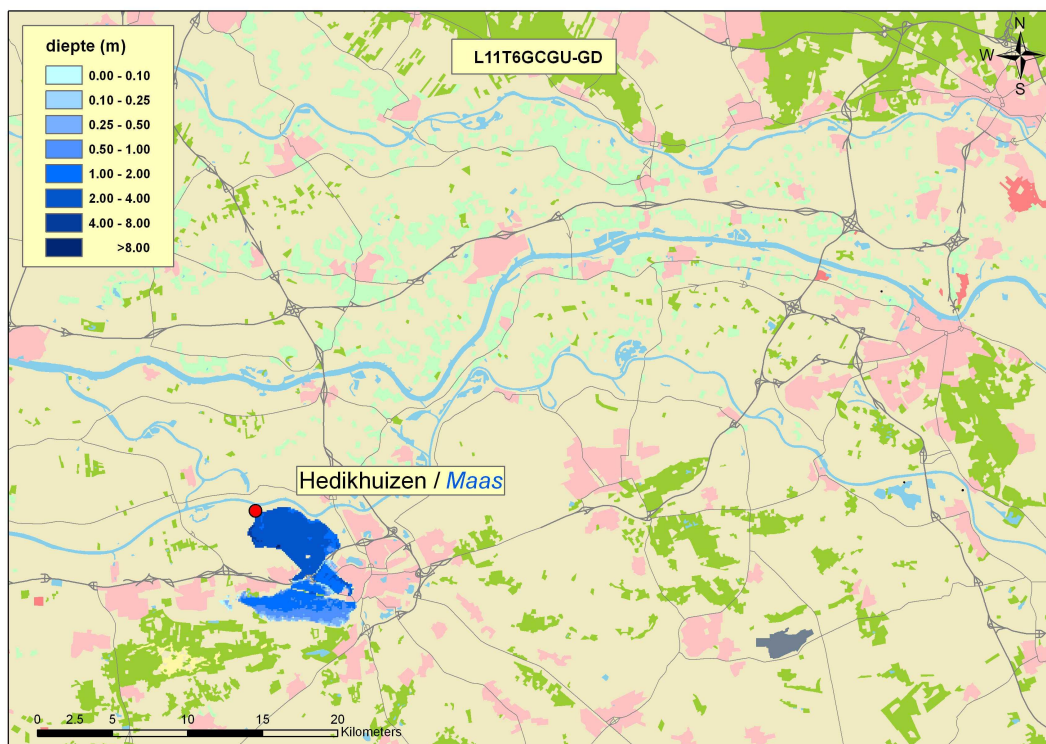


Figuur 3-5 Verschillen in maximaal opgetreden waterstanden tussen scenario L10T6GCGU (dijkdoorbraak bij Kraaijbergse Plassen 6 uur voordat bij Kekerdom de hoogste rivierwaterstand wordt bereikt; geen compartimentering; geen uitlaatwerk) en de referentieberekening GD zonder dijkdoorbraken

3.6 Scenario L11T6GCGU (Hedikhuizen, linker Maasdijk)

In scenario L11T6GCGU breekt op locatie L11 (Hedikhuizen, Maas_Km225.8, linker Maasdijk) de dijk door 6 uur voordat ter plaatse de hoogste rivierwaterstand wordt bereikt. Ingestroomd water wordt niet middels een uitlaatwerk weer naar de rivier teruggevoerd. Het maximale dijkgatdebiet bedraagt $880 \text{ m}^3/\text{s}$. Als gevolg van deze dijkdoorbraak overstroomt slechts een zeer klein deel van de aangrenzende dijkkring 36 (Land van Heusden/de Maaskant). Het maximale dijkgatdebiet bedraagt $880 \text{ m}^3/\text{s}$. Slechts een klein deel van dijkkring 36 overstroomt doordat op relatief korte afstand achter het dijkgat het instromende Maaswater wordt gekeerd, respectievelijk aan de westzijde door de dijk van Hedikhuizen (aansluiting op de Maasdijk) via Haarsteeg, Vlijmen, Nieuwkuijk naar Drunen; aan de oostzijde door de dijk langs de gekanaliseerde Dieze, hoge gronden om jachthaven Ertveld en de spoorlijn 's-Hertogenbosch -Eindhoven; en aan de zuidzijde door de dijk langs het Kanaal van 's-Hertogenbosch en de verhoogde "Nieuwe weg" van Nieuwkuijk naar Distel. In Figuur 3-6 worden verschillen in maximaal opgetreden waterstanden getoond tussen scenario L11T6GCGU en de referentieberekening GD zonder dijkdoorbraken.

Opmerking: voor overstroomde binnendijkse gebieden zijn de verschillen in maximaal opgetreden waterstanden gelijk aan de opgetreden overstromingsdiepten.

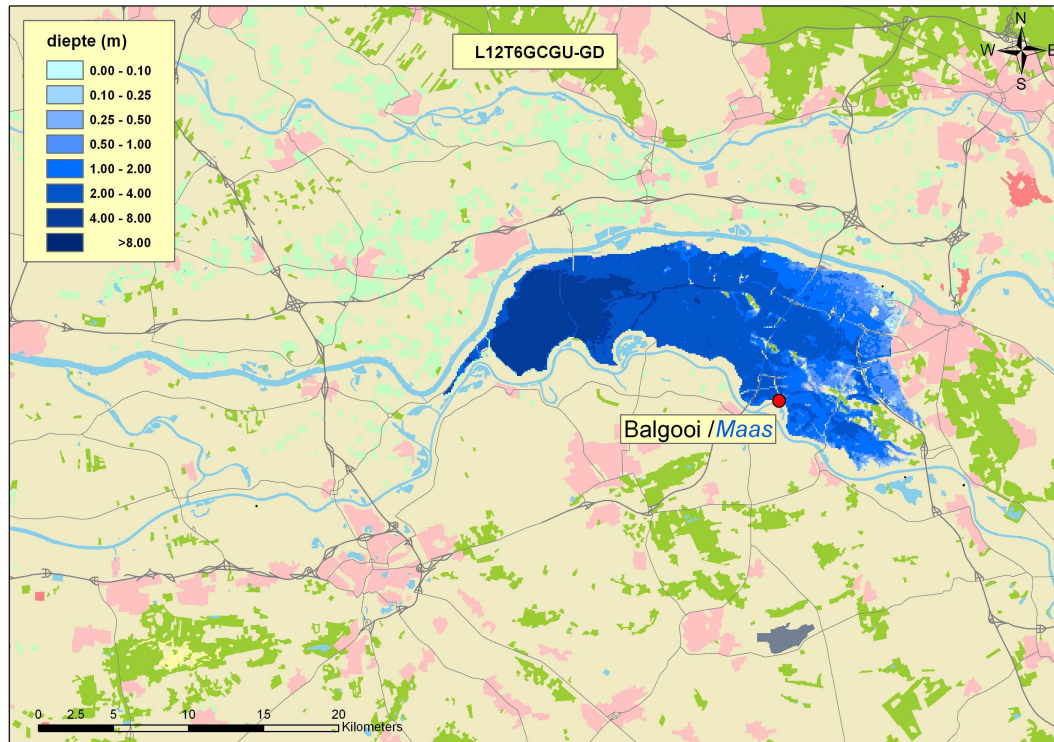


Figuur 3-6 Verschillen in maximaal opgetreden waterstanden tussen scenario L11T6GCGU (dijkdoorbraak bij Hedikhuizen 6 uur voordat ter plaatse de hoogste rivierwaterstand wordt bereikt; geen compartimentering; geen uitlaatwerk) en de referentieberekening GD zonder dijkdoorbraken

3.7 Scenario L12T6GCGU (Balgooi, rechter Maasdijk)

In scenario L12T6GCGU breekt op locatie L12 (Balgooi, Maas_Km180.0, rechter Maasdijk) de dijk door 6 uur voordat ter plaatse de hoogste rivierwaterstand wordt bereikt. Ingestroomd water wordt niet middels een uitlaatwerk weer naar de rivier teruggevoerd. Als gevolg van deze dijkdoorbraak overstroomt niet enkel de aangrenzende dijkkring 41 (Land van Maas en Waal), maar overstroomt ook dijkkring 40 (Heerewaarden). Het maximale dijkgatdebit bedraagt $1.435 \text{ m}^3/\text{s}$. Het bij Balgooi in dijkkring 41 ingestroomde Maaswater stroomt weer terug naar de Maas. Dit gebeurt doordat de rechter Maasdijken tussen km197.5 (Greffeling) tot km204.5 (aansluiting Maasdijk op Waaldijk) grotendeels worden overstroomd. Het overstroomd van de Maasdijk ter hoogte van de aansluiting op de Waaldijk resulteert in een volledige overstroming van de relatief kleine dijkkring 40. Verder wordt dijkkring 41 ten gevolge van de dijkdoorbraak bij Balgooi ook nagenoeg compleet overstroomd. Opgemerkt dient te worden dat indien overstroomde Maasdijken bezwijken, dit zal resulteren in grotere Maasafvoeren, welke mogelijk kunnen resulteren in verdere overstromingen langs de Maas. In Figuur 3-7 worden verschillen in maximaal opgetreden waterstanden getoond tussen scenario L12T6GCGU en de referentieberekening GD zonder dijkdoorbraken.

Opm: voor overstroomde binnendijkse gebieden zijn de verschillen in maximaal opgetreden waterstanden gelijk aan de opgetreden overstromingsdiepten.

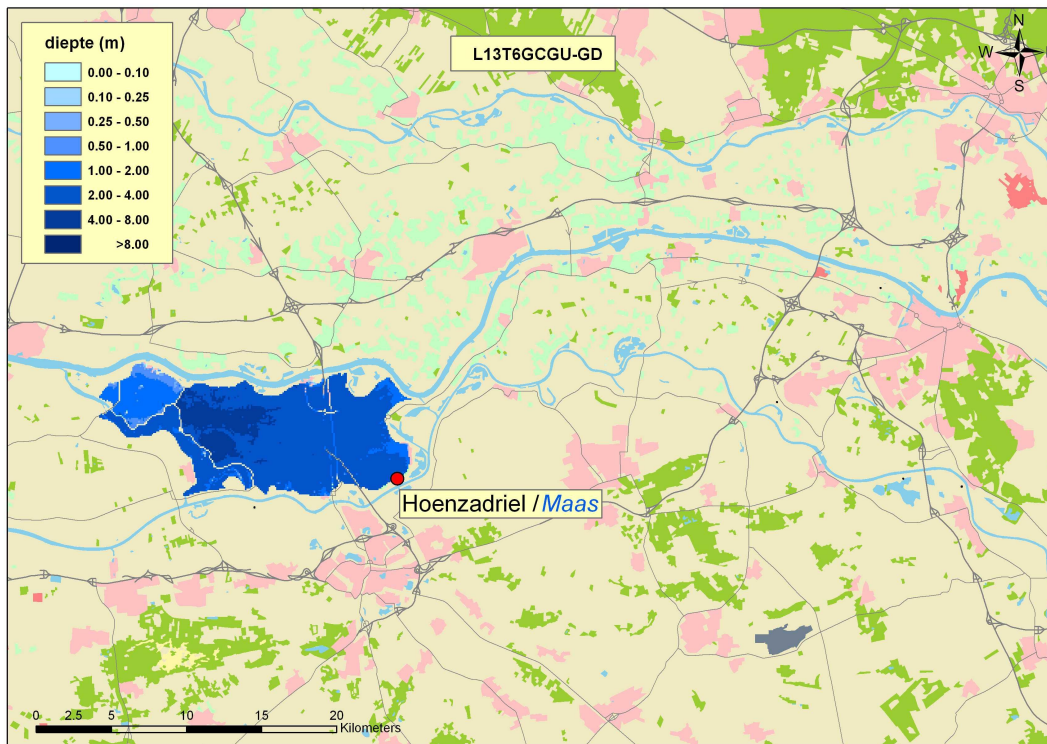


Figuur 3-7 Verschillen in maximaal opgetreden waterstanden tussen scenario L12T6GCGU (dijkdoorbraak bij Balgooi 6 uur voordat ter plaatse de hoogste rivierwaterstand wordt bereikt, geen compartimentering; geen uitlaatwerk) en de referentieberekening GD zonder dijkdoorbraken

3.8 Scenario L13T6GCGU (Hoenzadriël, rechter Maasdijk)

In scenario L13T6GCGU breekt op locatie L13 (Hoenzadriël, Maas_Km215.2, rechter Maasdijk) de dijk door 6 uur voordat ter plaatse de hoogste rivierwaterstand wordt bereikt. Ingestroomd water wordt niet middels een uitlaatwerk weer naar de rivier teruggevoerd. Als gevolg van deze dijkdoorbraak overstroomt de gehele aangrenzende dijkkring 38 (Bommelerwaard). Het maximale dijkgatdebiet bedraagt 939 m³/s. Het bij Hoenzadriël in dijkkring 38 ingestroomde Maaswater stroomt naar de Afgedamde Maas. Dit gebeurt doordat de linker Afgedamde Maasdijken ter hoogte van Nederhemert (km 234) en Aalst (km238) worden overstroomd. De dijk in de Bommelerwaard lopend door de Meidijksche Wielen, welke dijk een verbinding vormt tussen de linker Afgedamde Maasdijken en de rechter Waaldijken, wordt niet overstroomd. Het gebied in de Bommelerwaard ten westen van de dijk door de Meidijksche Wielen wordt als volgt overstroomd. Het Maaswater dat vanuit de Bommelerwaard bij Nederhemert en Aalst de Afgedamde Maas opstroomt, stroomt vervolgens weer de Bommelerwaard in doordat de linker dijken van de Afgedamde Maas ter hoogte van Poederoyen (km 240.5) en Poederoyensehoek (km 242) worden overstroomd. De drie verbindende primaire waterkeringen categorie b in de Afgedamde Maas (c.q. de Afsluitdijk Andel en Wilhelminasluisen; de Keersluis Heusdensche Kanaal; en de Bergse Maasdijk) worden niet overstroomd. Opgemerkt dient te worden dat indien overstroomde Afgedamde Maasdijken bezwijken, dit naar verwachting zal resulteren in het overstroomen van dijkkring 24 (Land van Altena). In Figuur 3-8 worden verschillen in maximaal opgetreden waterstanden getoond tussen scenario L13T6GCGU en de referentieberekening GD zonder dijkdoorbraken.

Opm: voor overstroomde binnendijkse gebieden zijn de verschillen in maximaal opgetreden waterstanden gelijk aan de opgetreden overstromingsdiepten.

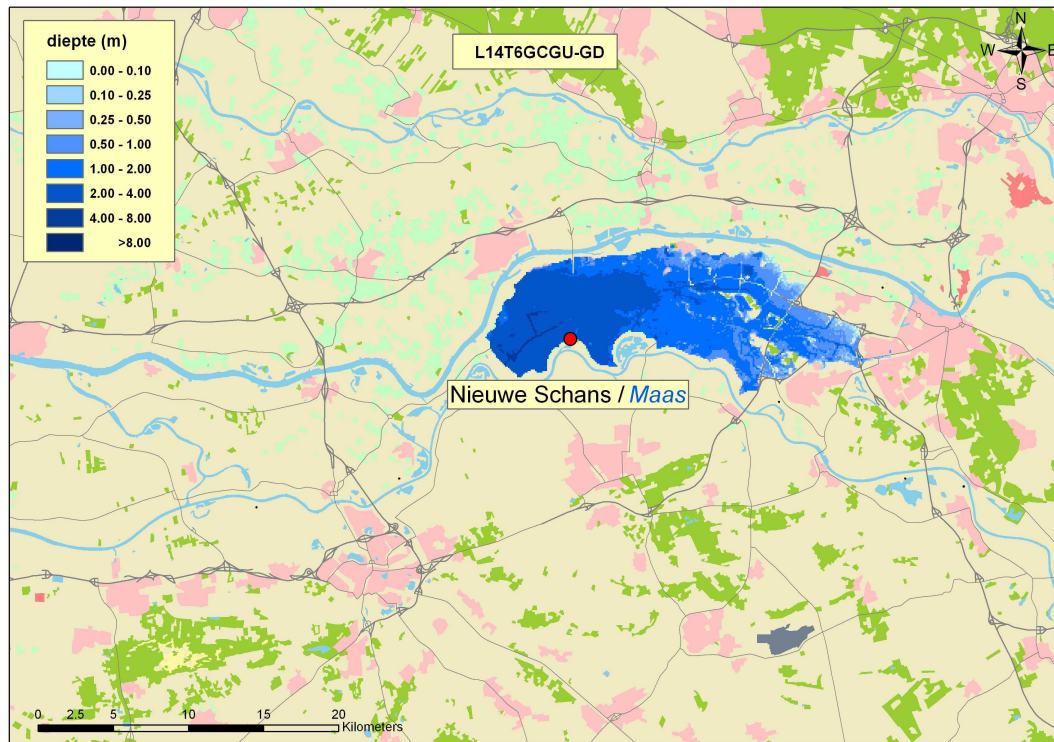


Figuur 3-8 Verschillen in maximaal opgetreden waterstanden tussen scenario L13T6GCGU (dijkdoorbraak bij Hoenzadriel 6 uur voordat ter plaatse de hoogste rivierwaterstand wordt bereikt; geen compartimentering; geen uitlaatwerk) en de referentieberekening GD zonder dijkdoorbraken

3.9 Scenario L14T6GCGU (Nieuwe Schans, rechter Maasdijk)

In scenario L14T6GCGU breekt op locatie L14 (Nieuwe Schans, Maas_Km196.65, rechter Maasdijk) de dijk door 6 uur voordat ter plaatse de hoogste rivierwaterstand wordt bereikt. Ingestroomd water wordt niet middels een uitlaatwerk weer naar de rivier teruggevoerd. Als gevolg van deze dijkdoorbraak overstroomt enkel de aangrenzende dijkring 41 (Land van Maas en Waal). Het maximale dijkgatdebit bedraagt $792 \text{ m}^3/\text{s}$. In tegenstelling tot in scenario L12T6GCGU (zie §3.7) waarin een dijkdoorbraak bij Balgooi optreedt, worden in scenario L14T6GCGU rechter Maasdijken niet overstroomd. In scenario L14T6GCGU wordt dijkring 40 (Heerewaarden) niet overstroomd. Verder kan worden opgemerkt dat in scenario L14T6GCGU een kleiner deel van dijkring 41 overstroomt dan in scenario L12T6GCGU. In Figuur 3-9 worden verschillen in maximaal opgetreden waterstanden getoond tussen scenario L14T6GCGU en de referentieberekening GD zonder dijkdoorbraken.

Opm: voor overstroomde binnendijkse gebieden zijn de verschillen in maximaal opgetreden waterstanden gelijk aan de opgetreden overstromingsdiepten.



Figuur 3-9 Verschillen in maximaal opgetreden waterstanden tussen scenario L14T6GCGU (dijkdoorbraak bij Nieuwe Schans 6 uur voordat ter plaatse de hoogste rivierwaterstand wordt bereikt; geen compartimentering, geen uitlaatwerk) en de referentieberekening GD zonder dijkdoorbraken

3.10 Scenario L15T6GCGU (Heerewaarden, linker Waaldijk)

In scenario L15T6GCGU breekt op locatie L15 (Heerewaarden, Waal_Km920.5, linker Waaldijk) de dijk door 6 uur voordat ter plaatse de hoogste rivierwaterstand wordt bereikt. Ingestroomd water wordt niet middels een uitlaatwerk weer naar de rivier teruggevoerd. Als gevolg van deze dijkdoorbraak overstroomt niet enkel de aangrenzende dijkkring 40 (Heerewaarden), maar overstroomt ook dijkkringen 36 (Land van Heusden/de Maaskant), 38 (Bommelerwaard), 39 (Alem) en 41 (Land van Maas en Waal). Het maximale dijkgatdebit bedraagt 2.060 m³/s. Een klein gedeelte van het bij Heerewaarden in dijkkring 40 ingestroomde Waalwater stroomt direct dijkkring 41 in doordat de oostelijke Maasdijk om dijkkring 40 ter hoogte van Heerewaarden wordt overstroomd. Echter veruit het grootste deel van het ingestroomde Waalwater stroomt door naar de Maas. Dit gebeurt doordat de zuidelijke Maasdijk om dijkkring 40 volledig wordt overstroomd. De instroom van Waalwater op de Maas resulteert in:

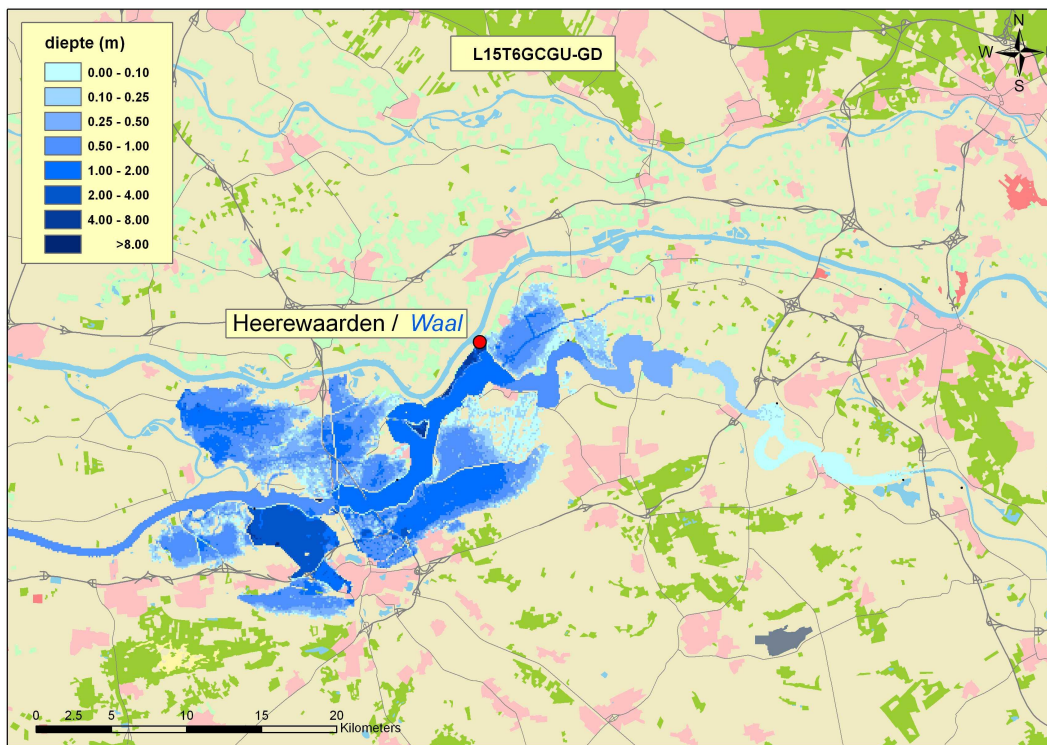
- De volledige overstrooming van dijkkring 39 en 40,
- Het overstroomen van de rechter Maasdijken ter hoogte van km 197-198 (Greffeling) en km 193.5 (Maasbommel) samen met de eerder genoemde Maasdijk om dijkkring 40 ter hoogte van Heerewaarden. Ten gevolge van deze overstroomde rechter Maasdijken overstroomt een relatief klein deel van dijkkring 41 ten westen van de lijn Westerveld-Velddijk,
- Het overstroomen van de linker Maasdijken ter hoogte van km 200 (Lithoyen), km 207-209 (Maren-Kessel), km 213-214 (Het Wild – Gewande), km 214-217

(Gewande – autoweg Rosmalen-Zaltbommel), km 220-226 (Crèvecoeur-Hedikhuizen) en km 228 (Herpt). Ten gevolge van deze overstroomde linker Maasdijken, overstroomt vrijwel geheel het deel van dijkkring 36 gelegen ten westen van de lijn Lithoyen-Geffen; ten noorden van de spoorlijn Nijmegen-‘s-Hertogenbosch, en ten noorden van het afwateringskanaal van ‘s-Hertogenbosch.

- Het overstromen van de rechter Maasdijken ter hoogte van km 210 (Alem), 214-216.5 (Hoenzadriel) en 218-219.5 (Hedelsche Waard). Ten gevolge van deze overstroomde rechter Maasdijken, overstroomt dijkkring 38 vrijwel geheel met uitzondering van het uiterst westelijke deel gelegen ten Oosten van de dijk door de Meidijksche Wielen.

Opgemerkt wordt dat indien overstroomde Maasdijken bezwijken, dit naar verwachting zal resulteren in grotere benedenstroomse overstromingen als mede het mogelijke overstromen van dijkkring 24 (Land van Altena) en dijkkring 35 (Donge). In Figuur 3-10 worden verschillen in maximaal opgetreden waterstanden getoond tussen scenario L15T6GCGU en de referentieberekening GD zonder dijkdoorbraken.

Opm: voor overstroomde binnendijkse gebieden zijn de verschillen in maximaal opgetreden waterstanden gelijk aan de opgetreden overstromingsdiepten.



Figuur 3-10 Verschillen in maximaal opgetreden waterstanden tussen scenario L15T6GCGU (dijkdoorbraak bij Heerewaarden 6 uur voordat ter plaatse de hoogste rivierwaterstand wordt bereikt, geen compartimentering; geen uitlaatwerk) en de referentieberekening GD zonder dijkdoorbraken

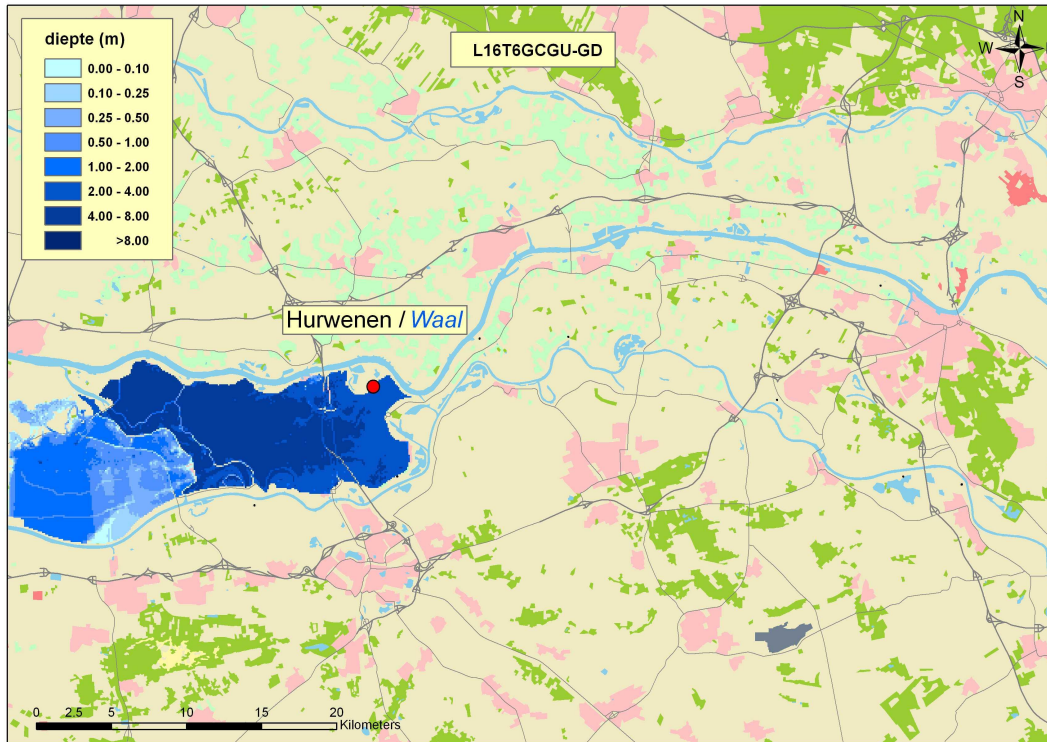
3.11 Scenario L16T6GCGU (Hurwenen, linker Waaldijk)

In scenario L16T6GCGU breekt op locatie L16 (Hurwenen, Waal_Km930.15, linker Waaldijk) de dijk door 6 uur voordat ter plaatse de hoogste rivierwaterstand wordt bereikt. Ingestroomd water wordt niet middels een uitlaatwerk weer naar de rivier teruggevoerd. Als gevolg van deze dijkdoorbraak overstroomt niet enkel de gehele aangrenzende dijkkring 38 (Bommelerwaard), maar overstroomt ook dijkkring 37 (Nederhemert) en 24 (Land van Altena). Het maximale dijkgatdebiet bedraagt $1.729 \text{ m}^3/\text{s}$. Waalwater ingestroomd in dijkkring 38 stroomt verder naar de Afgedamde Maas. Dit gebeurt door het vrijwel over haar gehele lengte overstromen van de rechter Afgedamde Maasdijken, respectievelijk ter hoogte van Afgedamde Maas km 229-230 (Slijkwell-Welleind) en km 233-243 (Nederhemert Noord tot aan de primaire verbindende waterkering categorie b: Afsluitdijk Andel en Wilhelminasluis). Deze instroom van Waalwater op de Afgedamde Maas resulteert in:

- De volledige overstrooming van dijkkring 37,
- Het overstromen van de “Maasdijk” langs het Heusdensch Kanaal ten zuiden van Wijk en Aalburg tot aan de primaire verbindende waterkering categorie b: Keersluis Heusdensch Kanaal. Het overstromen van de linker Afgedamde Maasdijken ter hoogte van km 234-235 (Wijk en Aalburg-Spijk), km 237-240 (Veen-De Haar) en km 241-243 (Andel tot aan de primaire verbindende waterkering categorie b: Afsluitdijk Andel en Wilhelminasluis). Ten gevolge van bovengenoemde overstroomde dijken, overstroomt het complete deel van het in de DelftFLS schematisatie opgenomen gedeelte van dijkkring 24. Het maximale debiet in de opvangbak (zie §2.2) van dijkkring 24 bedraagt $1116 \text{ m}^3/\text{s}$. Derhalve zal dijkkring 24 compleet overstromen.

Opgemerkt wordt dat indien overstroomde Afgedamde Maasdijken bezwijken, dit naar verwachting zal resulteren in grotere overstromingsdiepten. Echter geschat wordt dat in zo'n geval de linker Maasdijken niet zullen overstromen, met andere woorden dat dijkkring 36 (Land van Heusden/de Maaskant) en dijkkring 35 (Donge) niet zullen overstromen. In Figuur 3-11 worden verschillen in maximaal opgetreden waterstanden getoond tussen scenario L16T6GCGU en de referentieberekening GD zonder dijkdoorbraken.

Opm: voor overstroomde binnendijkse gebieden zijn de verschillen in maximaal opgetreden waterstanden gelijk aan de opgetreden overstromingsdiepten.

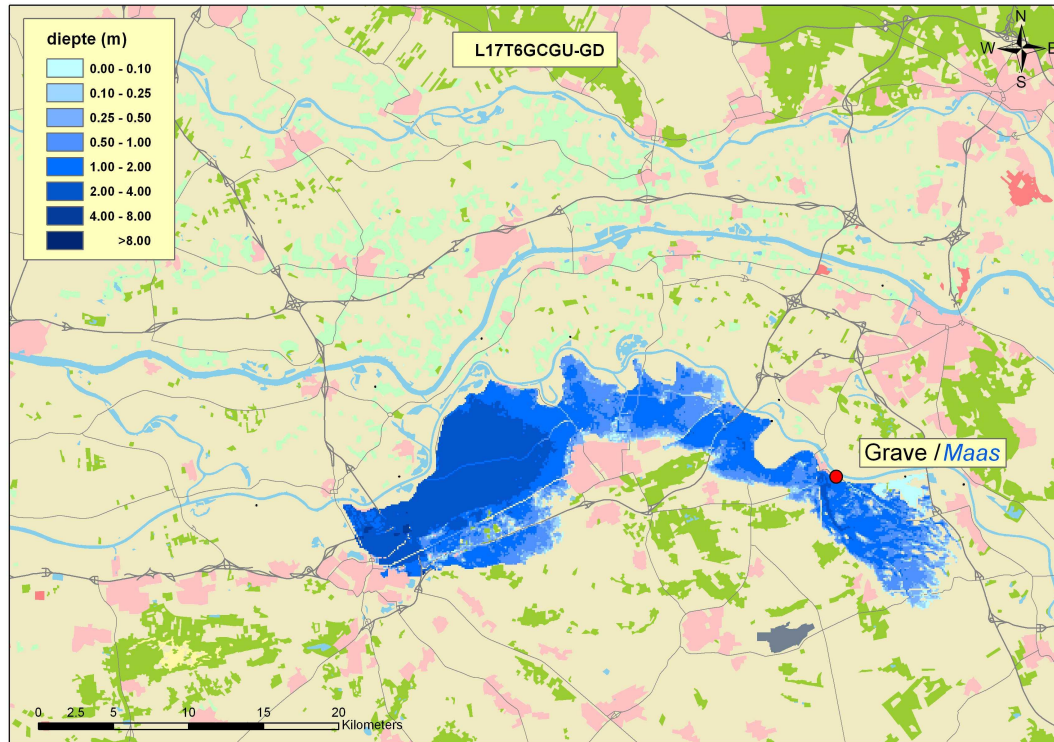


Figuur 3-11 Verschillen in maximaal opgetreden waterstanden tussen scenario L16T6GCGU (dijkdoorbraak bij Hurwenen 6 uur voordat ter plaatse de hoogste rivierwaterstand wordt bereikt; geen compartimentering, geen uitlaatwerk) en de referentieberekening GD zonder dijkdoorbraken

3.12 Scenario L17T6GCGU (Grave, linker Maasdijk)

In scenario L17T6GCGU breekt op locatie L17 (Grave, Maas_Km173.90, linker Maasdijk) de dijk door 6 uur voordat ter plaatse de hoogste rivierwaterstand wordt bereikt. Ingestroomd water wordt niet middels een uitlaatwerk weer naar de rivier teruggevoerd. Als gevolg van de dijkdoorbraak overstroomt enkel de aangrenzende dijkkring 36 (Land van Heusden/de Maaskant). Het maximale dijkgatdebit bedraagt $715 \text{ m}^3/\text{s}$. Ten gevolge van de dijkdoorbraak worden de lagere gronden in dijkkring 36 vrijwel volledig overstroomd met uitzondering van het gebied ten Westen van de autoweg 's-Hertogenbosch-Zaltbommel, welke als waterkerend lijnobject in de model schematisatie is opgenomen. In scenario L17T6GCGU overstroomt ook de spoorlijn 's-Hertogenbosch tot Oss en de N50 van Rosmalen-Heesch ter hoogte van Maliskamp tot aan de Grootte Wetering. Het overstroomde gebied in scenario L17T6GCGU is vergelijkbaar met het overstroomde gebied in scenario L10T6GCGU (zie §3.5), waarbij maximale waterdiepten in scenario L10T6GCGU lokaal ca. 0.20 m groter zijn dan in scenario L17T6GCGU. In Figuur 3-12 worden verschillen in maximaal opgetreden waterstanden getoond tussen scenario L17T6GCGU en de referentieberekening GD zonder dijkdoorbraken.

Opm: voor overstroomde binnendijkse gebieden zijn de verschillen in maximaal opgetreden waterstanden gelijk aan de opgetreden overstroomingsdiepten.



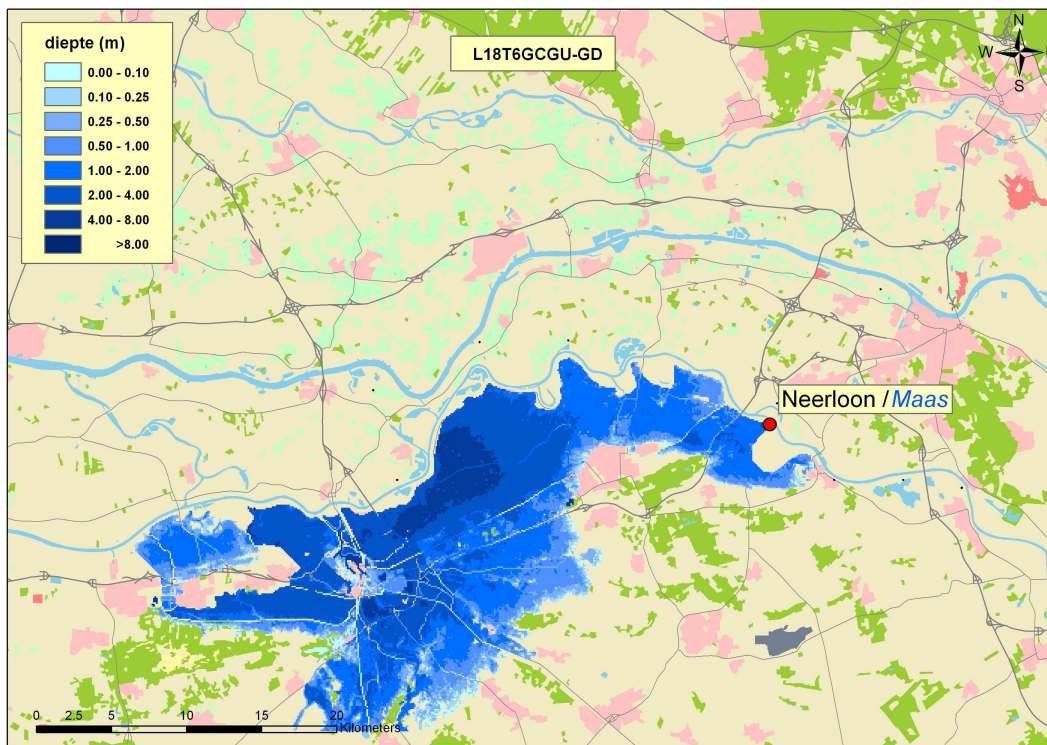
Figuur 3-12 Verschillen in maximaal opgetreden waterstanden tussen scenario L17T6GCGU(dijkdoorbraak bij Grave 6 uur voordat ter plaatse de hoogste rivierwaterstand wordt bereikt, geen compartimentering; geen uitlaatwerk) en de referentieberekening GD zonder dijkdoorbraken

3.13 Scenario L18T6GCGU (Neerloon, linker Maasdijk)

In scenario L18T6GCGU breekt op locatie L18 (Neerloon, Maas_Km179.5, linker Maasdijk) de dijk door 6 uur voordat ter plaatse de hoogste rivierwaterstand wordt bereikt. Ingestroomd water wordt niet middels een uitlaatwerk weer naar de rivier teruggevoerd. Als gevolg van de dijkdoorbraak overstroomt de aangrenzende dijkkring 36 (Land van Heusden/de Maaskant) en een zeer gering deel van dijkkring 35 (Donge). Het maximale dijkgatdebit bedraagt 1.049 m³/s. Ten gevolge van de dijkdoorbraak worden de lagere gronden in dijkkring 36 grotendeels overstroomd met uitzondering van het gebied ten Oosten van Grave. In scenario L18T6GCGU wordt de autoweg van Zaltbommel naar 's-Hertogenbosch op diverse plaatsen overstroomd. In scenario's L9T6GCGU (§3.2), L10T6GCGU (§3.5), en L17T6GCGU (§3.12) en L20T6GCGU (§3.15) overstroomt deze autoweg niet en fungeert feitelijk als een soort compartimenteringsdijk. De op elkaar aansluitende dijken ten zuiden van Drunen en Nieuwkuijk, ten westen van Vlijmen, Haarsteeg en Hedikhuizen (aansluiting op rechter Maasdijk) vormen een soort hoefijzervormige dijk, welke niet wordt overstroomd. Echter de autoweg van Vlijmen naar 's-Hertogenbosch wordt wel overstroomd. Hierdoor stroomt water via het Moerputten Natuurreservaat en het afwateringskanaal van 's-Hertogenbosch naar het uiterst westelijke deel van dijkkring 36 en leidt daar vervolgens tot overstromingen. Genoemde hoefijzervormige dijk voorkomt dat het gebied rond Heusen, Drunen, Nieuwkuijk en Vlijmen worden overstroomd. Verder wordt de binnenstad van Heusden ook niet overstroomd. In de rechter Maasdijk tussen Bokhoven en Heusden (c.q. benedenstrooms van 's-Hertogenbosch) liggen zandkernen, die open gegraven kunnen worden. Indien deze

zandkernen worden open gegraven op het moment dat de autoweg van Vlijmen naar ‘s-Hertogenbosch wordt overstroomd, dan zal dit resulteren in geringere overstromingen van het deel van dijkkring 36 dat ten westen van ‘s-Hertogenbosch ligt. In scenario L18T6GCGU overstroomt ook het meer zuidelijk gelegen gedeelte (o.a. Vught, inclusief het dal van de Essche Stroom en Kleine Aa) van dijkkring 36 tot dat hoge gronden (NAP±7.00m worden bereikt. Voor de volledigheid moet worden opgemerkt dat deze hoge gronden net buiten de DelftFLS schematisatie vallen. Verder wordt de spoorlijn van ‘s-Hertogenbosch naar Eindhoven overstroomd. Hierdoor stroomt het water verder richting Waalwijk. Meer precies het water stroomt verder ten zuiden van de dijk langs het afvoerkanaal van ‘s-Hertogenbosch, welke dijk zelf niet wordt overstroomd. Als gevolg hiervan overstroomt een klein gedeelte van Waalwijk, gelegen in dijkkring 35 (Donge). In Figuur 3-13 worden verschillen in maximaal opgetreden waterstanden getoond tussen scenario L18T6GCGU en de referentieberekening GD zonder dijkdoorbraken.

Opm: voor overstroomde binnendijkse gebieden zijn de verschillen in maximaal opgetreden waterstanden gelijk aan de opgetreden overstromingsdiepten.



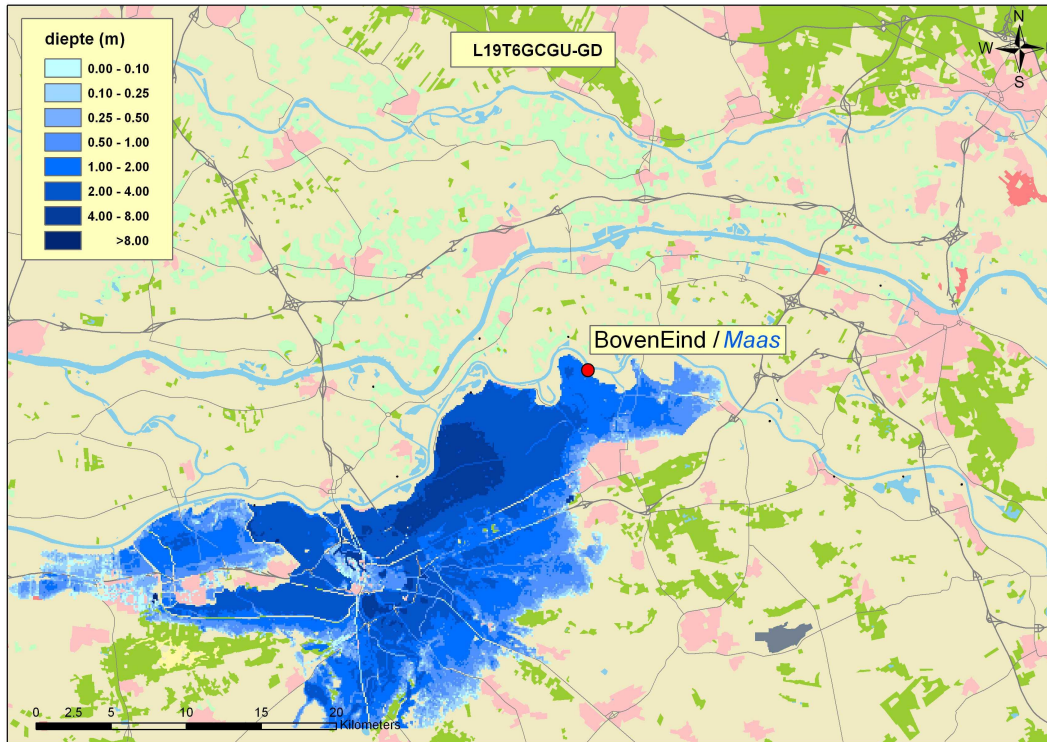
Figuur 3-13 Verschillen in maximaal opgetreden waterstanden tussen scenario L18T6GCGU (dijkdoorbraak bij Neerloon 6 uur voordat ter plaatse de hoogste rivierwaterstand wordt bereikt, geen compartimentering; geen uitlaatwerk) en de referentieberekening GD zonder dijkdoorbraken

3.14 Scenario L19T6GCGU (Boveneind, linker Maasdijk)

In scenario L19T6GCGU breekt op locatie L19 (Boveneind, Maas_Km194.8, linker Maasdijk) de dijk door 6 uur voordat ter plaatse de hoogste rivierwaterstand wordt bereikt. Ingestroomd water wordt niet middels een uitlaatwerk weer naar de rivier teruggevoerd. Als gevolg van de dijkdoorbraak overstroomt de aangrenzende dijkkring 36 (Land van Heusden/de Maaskant) en een substantieel deel van dijkkring 35 (Donge). Het maximale dijkgatdebiet bedraagt 1.138 m³/s. Ten gevolge van de dijkdoorbraak worden de lagere gronden in dijkkring 36 grotendeels overstroomd met uitzondering van het gebied ten Oosten van de spoorlijn Oss-Ravenstein. In scenario L19T6GCGU wordt evenals in scenario L18T6GCGU (§3.13) de autoweg van Zaltbommel naar 's-Hertogenbosch op diverse plaatsen overstroomd. In scenario's L9T6GCGU (§3.2), L10T6GCGU (§3.5), L17T6GCGU (§3.12) en L20T6GCGU (§3.15) overstroomt deze autoweg niet en fungeert feitelijk als een soort compartimenteringsdijk. De op elkaar aansluitende dijken ten zuiden van Drunen en Nieuwkuijk, ten westen van Vlijmen, Haarsteeg en Hedikhuizen (aansluiting op rechter Maasdijk) vormen een soort hoefijzervormige dijk, welke enkel lokaal ter hoogte van Zeeg, gelegen ten Oosten van Drunen, wordt overstroomd. Echter de autoweg van Vlijmen naar 's-Hertogenbosch wordt wel overstroomd. Hierdoor stroomt water via het Moerputten Natuurreservaat en het afwateringskanaal van 's-Hertogenbosch naar het uiterst westelijke deel van dijkkring 36 en leidt daar vervolgens tot overstromingen. Genoemde hoefijzervormige dijk voorkomt dat de hogere delen van Drunen, Nieuwkuijk en Vlijmen niet worden overstroomd. Evenals in scenario L18T6GCGU wordt de binnenstad van Heusden niet overstroomd. In de rechter Maasdijk tussen Bokhoven en Heusden (c.q. benedenstreams van 's-Hertogenbosch) liggen zandkernen, die open gegraven kunnen worden. Indien deze zandkernen worden open gegraven op het moment dat de autoweg van Vlijmen naar 's-Hertogenbosch wordt overstroomd, dan zal dit resulteren in geringere overstromingen van het deel van dijkkring 36 dat ten westen van 's-Hertogenbosch ligt. In scenario L19T6GCGU overstroomt evenals in scenario L18T6GCGU (§3.13) ook het meer zuidelijk gelegen gedeelte (o.a. Vught, inclusief het dal van de Essche Stroom en Kleine Aa) van dijkkring 36 tot dat hoge gronden (NAP±7.00m) worden bereikt. Voor de volledigheid moet worden opgemerkt dat deze hoge gronden net buiten de DelftFLS schematisatie vallen. Verder overstroomt de spoorlijn van 's-Hertogenbosch naar Eindhoven. Hierdoor stroomt het water verder richting Waalwijk, meer precies het water stroomt verder ten zuiden van de dijk langs het afvoerkanaal van 's-Hertogenbosch, welke dijk zelf niet wordt overstroomd. Als gevolg hiervan overstroomt een substantieel deel van dijkkring 35 (Donge). In Figuur 3-14 worden verschillen in maximaal opgetreden waterstanden getoond tussen scenario L19T6GCGU en de referentieberekening GD zonder dijkdoorbraken.

Opgemerkt wordt dat scenario L19T6GCGU het nul-scenario was in de studie uitgevoerd door de commissie Luteijn. Sinds 2001 is het DelftFLS model verbeterd en uitgebreid. Daardoor is het overstromingspatroon in scenario L19T6GCGU iets anders dan in de studie uitgevoerd door de commissie Luteijn.

Opm: voor overstroomde binnendijkse gebieden zijn de verschillen in maximaal opgetreden waterstanden gelijk aan de opgetreden overstromingsdiepten.

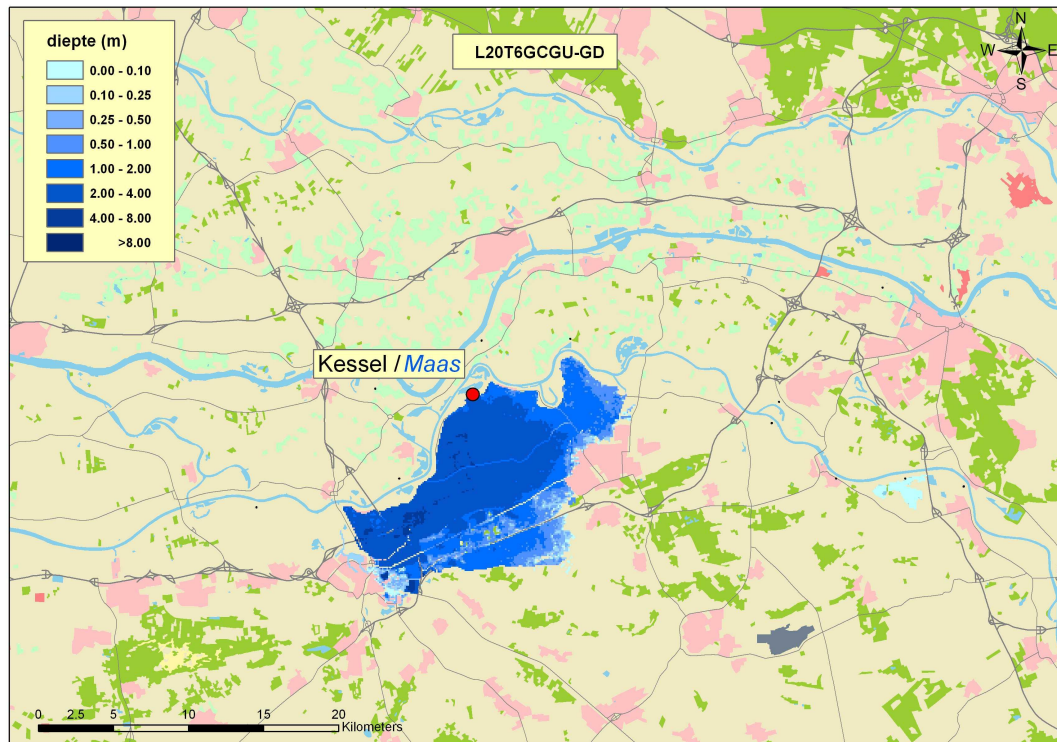


Figuur 3-14 Verschillen in maximaal opgetreden waterstanden tussen scenario L19T6GCGU(dijkdoorbraak bij Boveneind 6 uur voordat ter plaatse de hoogste rivierwaterstand wordt bereikt, geen compartimentering; geen uitlaatwerk) en de referentieberekening GD zonder dijkdoorbraken

3.15 Scenario L20T6GCGU (Kessel, linker Maasdijk)

In scenario L20T6GCGU breekt op locatie L20 (Kessel, Maas_Km206.5, linker Maasdijk) de dijk door 6 uur voordat ter plaatse de hoogste rivierwaterstand wordt bereikt. Ingestroomd water wordt niet middels een uitlaatwerk weer naar de rivier teruggevoerd. Als gevolg van deze dijkdoorbraak overstroomt enkel de aangrenzende dijkring 36 (Land van Heusden/de Maaskant). Het maximale dijkgatdebiet bedraagt $1.137 \text{ m}^3/\text{s}$. Ten gevolge van de dijkdoorbraak worden de lagere gronden in dijkring 36 grotendeels overstroomd met uitzondering van het gebied ten Oosten van het Burgemeester Delen Kanaal. In scenario L20T6GCGU wordt de autoweg van Zaltbommel naar 's-Hertogenbosch niet overstroomd. Daarom wordt het uiterst westelijke deel van dijkring 36 niet overstroomd. In scenario L20T6GCGU is het overstroomde zuidelijk deel van dijkring 36 nagenoeg gelijk aan het zuidelijke deel dat in scenario L10T6GCGU (zie §3.5) wordt overstroomd. In Figuur 3-15 worden verschillen in maximaal opgetreden waterstanden getoond tussen scenario L20T6GCGU en de referentieberekening GD zonder dijkdoorbraken.

Opm: voor overstroomde binnendijkse gebieden zijn de verschillen in maximaal opgetreden waterstanden gelijk aan de opgetreden overstromingsdiepten.



Figuur 3-15 Verschillen in maximaal opgetreden waterstanden tussen scenario L20T6GCGU(dijkdoorbraak bij Kessel 6 uur voordat ter plaatse de hoogste rivierwaterstand wordt bereikt, geen compartimentering; geen uitlaatwerk) en de referentieberekening GD zonder dijkdoorbraken

4 Hydraulische Systeemwerkingseffecten op bovenstroomse Rijntakken en bedijkte Maas

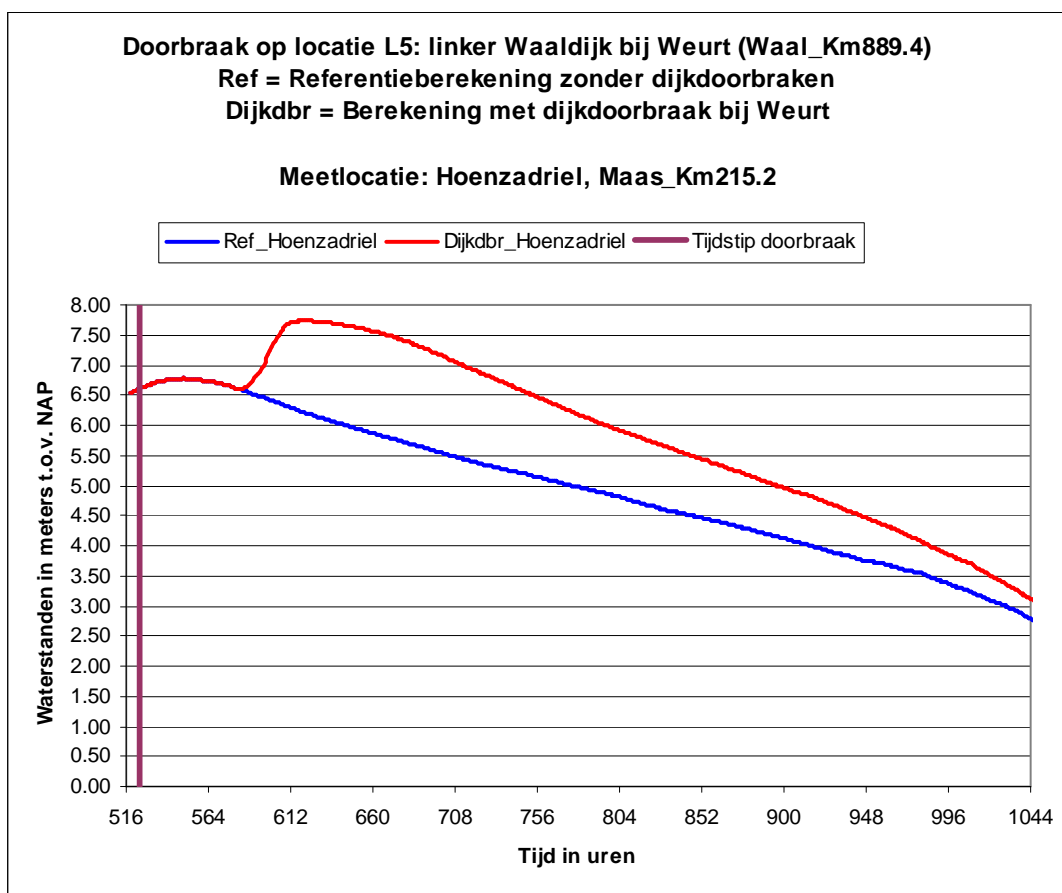
In dit hoofdstuk worden hydraulische systeemwerkingseffecten geanalyseerd, welke optreden in het bovenriviereengebied van de Rijntakken en op de bedijkte Maas bovenstrooms van Dussen ten gevolge van de in hoofdstuk 3 besproken dijkdoorbraken. In §4.1 wordt de gehanteerde methode voor het kwantificeren van de hydraulische effecten van systeemwerking toegelicht. In §4.2 wordt een overzicht gegeven van opgetreden hydraulische systeemwerkingseffecten. In §4.3 wordt nagegaan wat verschillen zijn met normfrequenties van maatgevende waterstanden op de Maas ten gevolge van optredende hydraulische systeemwerkingseffecten. Vervolgens worden de resultaten in §4.4 samengevat en nader toegelicht.

4.1 Methode voor het kwantificeren van Hydraulische Systeemwerkingseffecten

De hydraulische effecten van systeemwerking gegeven de conditionele kans dat er slechts op één locatie een dijkdoorbraak optreedt, zijn als volgt bepaald. Per berekening is voor diverse rivierlocaties de hoogst opgetreden waterstand en het hoogst opgetreden debiet bepaald. Vervolgens is per rivierlocatie het *Vershil in de Maximum Waterstand* gedefinieerd als de hoogst opgetreden waterstand in de referentieberekening minus de hoogst opgetreden waterstand in een specifieke dijkdoorbraakberekening. Op gelijke wijze is het *Vershil in het Maximum Debiet* gedefinieerd.

Indien voor een bepaalde rivierlocatie het verschil in de maximum waterstand positief is, dan betekent dit dat de hydraulische effecten van systeemwerking ook positief zijn. Immers in de dijkdoorbraakberekening is de hoogste waterstand lager dan de hoogste waterstand in de referentieberekening zonder dijkdoorbraken. Het zal duidelijk zijn dat voor negatieve verschillen in de maximum waterstand geldt dat de hydraulische effecten van systeemwerking lokaal negatief zijn. Het tijdstip waarop in de dijkdoorbraakberekening de hoogste waterstand optreedt, komt meestal niet overeen met het tijdstip waarop in de referentieberekening de hoogste waterstand optreedt. Dit is duidelijk te zien in Figuur 4-1, waar waterstanden te Hoenzadriel (Maas_Km215.2) worden gegeven voor het geval géén dijkdoorbraken optreden en voor scenario L5T6GCGU waarin de linker Waaldijk te Weurt doorbreekt. In Figuur 4-1 bedraagt voor Hoenzadriel het verschil in de maximum waterstand $-0.96 (= 6.78 - 7.74)$ m. Waterstanden te Hoenzadriel ten gevolge van een dijkdoorbraak te Weurt zijn hoger dan zonder dijkdoorbraken, doordat ingestroomd Waalwater vanuit dijkkring 41 doorstroomt naar de Maas (zie §3.1).

In de methode van kwantificeren van hydraulische effecten van systeemwerking wordt enkel gekeken naar verschillen in maximaal opgetreden waterstanden en debieten. Het lijkt echter ook interessant om per locatie te kijken naar verschillen in de tijdsduur waarover een specifieke waterstand wordt overschreden.



Figuur 4-1 Berekende waterstanden bij Hoenzadriel, Maas_km215.2 voor de referentie situatie zonder dijkdoorbraken en voor scenario L5T6GCGU: doorbraak in de linker Waaldijk bij Weurt, Waal_Km889.4.

4.2 Hydraulische effecten van Systeemwerking

Conform de methode, beschreven in §4.1, zijn verschillen in de maximum waterstand en de verschillen in het maximum debiet bepaald. In Tabel 4-1 en Tabel 4-2 wordt respectievelijk per meetlocatie het verschil in de maximum waterstand en per meetraai het verschil in het maximum debiet gegeven voor dijkdoorbraakberekeningen, welke zijn gemaakt in kader van de onderhavige studie. In Tabel 4-3 en Tabel 4-4 wordt het verschil in de maximum waterstand gegeven voor dijkdoorbraakberekeningen, welke eerder zijn gemaakt in het kader van de studie “Verkenning van systeemwerking in het bovenrivierengebied van de Rijntakken (zie Van Mierlo, 2005)”. In de koptekst van genoemde tabellen is de volgende codering aangehouden:

- *Codering dijkdoorbraaklocaties:*
 - L1:** Lobith, Rijn_Km861.4, rechter Bovenrijndijk,
 - L2:** Kekerdom, Waal_Km872.7, linker Waaldijk,
 - L3:** IJzendoorn, Waal_Km908.4, rechter Waaldijk,
 - L4:** Rijswijk, Nederrijn_Km928.5, linker Nederrijndijk,
 - L5:** Weurt, Waal_Km889.4, linker Waaldijk,
 - L6:** Wamel, Waal_Km911.5 linker Waaldijk,

- L7:** Vierakker, IJssel_Km922.5, rechter IJsseldijk, en
- L8:** Den Nul, IJssel_Km959.1, rechter IJsseldijk
- L9:** Locatie voormalige Beerse Overlaat, Maas_Km164.2, linker Maasdijk,
- L10:** Kraaijenbergse Plassen, Maas_Km169.1, linker Maasdijk,
- L11:** Hedikhuizen, Maas_Km225.8, linker Maasdijk,
- L12:** Balgooi, Maas_Km180.0, rechter Maasdijk,
- L13:** Hoenzadriel, Maas_Km215.2, rechter Maasdijk,
- L14:** Nieuwe Schans, Maas_Km196.65, rechter Maasdijk,
- L15:** Heerewaarden, Waal_Km920.5, linker Waaldijk,
- L16:** Hurwenen, Waal_Km930.15, linker Waaldijk,
- L17:** Grave, Maas_Km173.9, linker Maasdijk,
- L18:** Neerloon, Maas_Km179.5, linker Maasdijk,
- L19:** Boveneind, Maas_Km194.8, linker Maasdijk, en
- L20:** Kessel, Maas_Km206.5, linker Maasdijk.
- *Codering van referentieberekening:*
- GD:** Géén dijkdoorbraken en ook géén compartimentering van dijkringen
- *Codering van dijkdoorbraakberekeningen:*
- LxTyGC(GU):** Dijkdoorbraak op locatie Lx; Tijdstip van dijkdoorbraak y uur voordat op locatie Lx de hoogste rivierwaterstand wordt bereikt; Géén compartimentering van dijkringen; Géén uitlaatwerken.
- L3T6C1:** Dijkdoorbraak op locatie L3 (IJendoorn); Tijdstip van dijkdoorbraak 6 uur voordat bij IJendoorn de hoogste rivier waterstand wordt bereikt; en Compartimentering van dijkkring 43 (Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden) door het verhogen van de oostelijke Amsterdam-Rijn Kanaaldijk tot NAP+10.5m,
- L5T6C2:** Dijkdoorbraak op locatie L5 (Weurt); Tijdstip van dijkdoorbraak 6 uur voordat bij Weurt de hoogste rivier waterstand wordt bereikt; en Compartimentering van dijkkring 41 (Land van Maas en Waal) middels een beoogde dijk ten Zuiden/Oosten van Oude Wetering, Broekse Leigraaf, Rijksche Wetering, en Grote Wetering. Tevens is de Maasdijk vanaf de Grote Wetering tot aan de Waaldijk alsmede een deel van de Westelijke dijk langs het Maas en Waal Kanaal zodanig verhoogt dat deze compartimenteringsdijk niet overstroomt
- L8T6C3:** Dijkdoorbraak op locatie L8 (Den Nul); Tijdstip van dijkdoorbraak 6 uur voordat bij Den Nul de hoogste rivier waterstand wordt bereikt; Compartimentering van dijkkring 53 (Salland) middels een geplande weg/dijk ten Zuiden/Oosten van Zwolle met kruinhoogte van NAP+6.5m.
- L9T6C4GU:** Dijkdoorbraak op locatie L9 (locatie voormalige Beerse Overlaat); Tijdstip van dijkdoorbraak 6 uur voordat ter plaatse van de doorbraaklocatie de hoogste rivierwaterstand wordt bereikt; Compartimentering van dijkkring 36 (Land van Heusden/de Maaskant) middels een compartimenteringsdijk ten Oosten van 's-Hertogenbosch met een hoogte van NAP+7.85m, welke de linker Maasoever bij Gewande (Maas_Km214) verbindt met hogere gronden ter hoogte van de Gemeente Nistelrode, en
- L9T6C4WU:** Conform L9T6C4GU; Inzet van Gewande uitlaatwerken (zie §2.5)

Tabel 4-1 Verschillen in waterstanden als gevolg van dijkdoorbraken bij locaties L5 en L9 t/m L20; Dijken breken door 6 uur voordat ter plaatse van de dijkdoorbraaklocatie de hoogste rivierwaterstand wordt bereikt.

Verschillen in de Maximum Waterstand Referentie berekening minus Dijkdoorbraakberekening															
Dijkdoorbraak locatie	L5	L9			L10	L11	L12	L13	L14	L15	L16	L17	L18	L19	L20
Referentie berekening	GD	GD	GD	GD	GD	GD	GD	GD	GD	GD	GD	GD	GD	GD	GD
Dijkdoorbraak berekening	L5T6 GCGU	L9T6 GCGU	L9T6 C4GU	L9T6 C4WU	L10T6 GCGU	L11T6 GCGU	L12T6 GCGU	L13T6 GCGU	L14T6 GCGU	L15T6 GCGU	L16T6 GCGU	L17T6 GCGU	L18T6 GCGU	L19T6 GCGU	L20T6 GCGU
MeetLocatie	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m
<i>Bovenrijn</i>															
L1 Lobith, Bovenrijn_Km861.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Waal</i>															
Kekerdom, Waal_Km871.9	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
L2_Kekerdom, Waal_Km872.7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
L5_Weurt, Waal_Km889.4	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Andelst, Waal_Km897.3	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
L3_Ijzendoorn, Waal_Km908.4	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
L6_Wamel, Waal_Km911.50	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dreumel, Waal_Km916.40	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
L15_Heerewrdn, Waal_Km920.5	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
L16_Hurwenen, Waal_Km930.15	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Gameren, Waal_Km937.1	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
Gorinchem, Waal_Km955.2	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Pannerdensch Kanaal</i>															
PanKanBegin, PKan_Km869.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PanKanEind, PKan_Km878	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Nederrijn-Lek</i>															
Nude, Nederrijn_Km905.1	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
L4_Rijswijk, Nederrijn_Km928.5	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
De Heul, Lek_Km938.7	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Almeide, Lek_Km963.2	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>IJssel</i>															
Westervoort, IJssel_Km880.3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Velperbroek, IJssel_Km882.3	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fraterwaard, IJssel_Km904	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
L7_Vierakker, IJssel_Km922.5	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Zulphen, IJssel_Km925.9	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Gorssele, IJssel_Km940.4	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Deventer, IJssel_Km944.3	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Olst, IJssel_Km957.4	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Maas</i>															
Groeningen, Maas_Km142	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Gennep, Maas_Km155.3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
L9_BeerseO, Maas_Km164.20	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
L10_K.Plassen, Maas_Km169.1	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
L17_Grave, Maas_Km173.9	0.00	0.02	0.02	0.02	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	-0.03	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00
L12 & L18, Maas_Km180	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	-0.09	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00
L14_N.Schans, Maas_Km196.65	-0.51	0.04	0.04	0.04	0.04	0.00	0.03	0.00	0.01	-0.58	0.00	0.04	0.03	0.01	0.00
Gewande, Maas_Km213.4	-0.97	0.07	0.07	0.07	0.07	0.00	0.07	0.01	0.03	-1.07	0.00	0.07	0.07	0.03	0.01
L13_Hoenszadr, Maas_Km215.2	-0.96	0.07	0.07	0.07	0.07	0.00	0.07	0.01	0.03	-1.06	0.00	0.07	0.07	0.03	0.01
L11_Hedikhn, Maas_Km225.8	-0.90	0.08	0.08	0.08	0.08	0.01	0.08	0.02	0.03	-0.94	0.00	0.08	0.08	0.04	0.02
Drongelen, Maas_Km235	-0.82	0.08	0.08	0.08	0.08	0.01	0.07	0.02	0.03	-0.86	0.00	0.07	0.07	0.04	0.02
Dussen, Maas_Km243.2	-0.69	0.06	0.06	0.06	0.07	0.01	0.06	0.01	0.03	-0.72	0.00	0.06	0.06	0.03	0.02

Tabel 4-2 Verschillen in debieten als gevolg van dijkdoorbraken bij locaties L5 en L9 t/m L20; Dijken breken door 6 uur voordat ter plaatse van de dijkdoorbraaklocatie de hoogste rivierwaterstand wordt bereikt.

Verschillen in het Maximum Debiet																
Referentie berekening minus Dijkdoorbraakberekening																
Dijkdoorbraak locatie	L5	L9				L10	L11	L12	L13	L14	L15	L16	L17	L18	L19	L20
Referentie berekening	GD	GD	GD	GD	GD	GD	GD	GD	GD	GD	GD	GD	GD	GD	GD	
Dijkdoorbraak berekening	L5T6	L9T6	L9T6	L9T6	L10T6	L11T6	L12T6	L13T6	L14T6	L15T6	L16T6	L17T6	L18T6	L19T6	L20T6	
MeetLocatie	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	
<i>Bovenrijn</i>																
Rees, Bovenrijn_Km837.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
L1 Lobith, Bovenrijn_Km861.19	-13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Waal</i>																
WaalBegin, Waal_Km869.1	-226	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
L2 Kekerdom, Waal_Km874.0	-266	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
L5 Weurt, Waal_Km889.9	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Andelst, Waal_Km897.2	17	0	0	0	0	0	0	0	0	-42	0	0	0	0	0	
L3 IJzendoorn, Waal_Km909.6	46	0	0	0	0	0	0	0	0	-207	-68	0	0	0	0	
L6 Wamel, Waal_Km910.9	49	0	0	0	0	0	0	0	0	-246	-86	0	0	0	0	
Dreumel, Waal_Km917.9	54	0	0	0	0	0	0	0	0	-357	-136	0	0	0	0	
L15 Heerewdh, Waal_Km921.0	62	0	0	0	0	0	0	0	0	10	-174	0	0	0	0	
L16 Hurwenen, Waal_Km930.55	86	0	0	0	0	0	0	0	0	20	13	0	0	0	0	
Gameren, Waal_Km937.20	93	0	0	0	0	0	0	0	0	31	22	0	0	0	0	
Werkendam, Waal_Km960.9	130	0	0	0	0	0	0	0	0	58	47	0	0	0	0	
<i>Pannerdensch Kanaal</i>																
PanKanBegin, Pkan_Km869.5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
PanKanEind, Pkan_Km878.0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Nederrijn-Lek</i>																
Driel, Nederrijn_Km890.97	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Nude, Nederrijn_Km905.1	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
L4 Rijswijk, Nederrijn_Km928.0	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
De Heul, Lek_Km939.0	27	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
Ameide, Lek_Km963.2	31	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
<i>IJssel</i>																
Westervoort, IJssel_Km880.0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Velperbroek, IJssel_Km882.3	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Fraterwaard, IJssel_Km905.1	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
L7 Vierakker, IJssel_Km923.1	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Zutphen, IJssel_Km925.9	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Gorssel, IJssel_Km940.8	25	0	0	0	0	0	-1	0	0	1	0	0	0	0	0	
Deventer, IJssel_Km944.5	36	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	
Olst, IJssel_Km957.4	38	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	
<i>Maas</i>																
Vierlingsbeek, Maas_Km141.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Gennep, Maas_Km155.3	0	-26	-26	-26	-5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
L9 Katwijk, Maas_Km164.6	0	4	4	4	-137	0	-49	0	0	0	0	-77	-57	0	0	
L10 K.Plassen, Maas_Km169.3	0	6	6	6	3	0	-63	0	0	0	0	-96	-74	0	0	
L17 Grave, Maas_Km172.95	0	9	9	9	6	0	-106	0	0	0	0	4	-118	0	0	
L12 & L18, Maas_Km180.45	0	17	17	17	14	0	7	0	0	2	0	10	7	-26	0	
Dieden, Maas_Km187.5	0	20	20	20	17	0	11	0	-17	3	0	15	11	-59	0	
L14 N.Schans, Maas_Km197.05	0	32	32	32	30	0	2	-7	0	6	0	26	1	0	-36	
StAndries, Maas_Km208	-1482	47	47	47	44	-37	29	-109	5	-1875	0	39	28	7	0	
Gewande, Maas_Km211.2	-1435	58	58	58	55	-85	39	-201	12	-1829	0	51	38	15	2	
L13 Hoenzadri, Maas_Km215.6	-1427	66	66	66	64	-125	50	3	16	-1768	0	58	50	19	5	
L11 Hedikhzn, Maas_Km226.2	-1075	78	78	78	78	5	69	10	28	-1146	0	73	69	33	11	
Drongelen, Maas_Km236	-1035	83	83	83	84	9	79	14	33	-1087	0	80	78	39	16	
Dussen, Maas_Km243.2	-1033	85	85	85	86	13	82	17	37	-1088	0	83	81	43	19	
<i>Overrijn</i>																
Instream door het dijkgat	-2775	-458	-458	-458	-777	-880	-1435	-939	-792	-2060	-1729	-715	-1049	-1138	-1137	
Instream in Dijkkring 14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Instream in Dijkkring 15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Instream in Dijkkring 16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Instream in Dijkkring 24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1116	0	0	0	0	
Instream in Dijkkring 35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-16	0	
Uitstroom uit Dijkkring 44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Uitstroom uit Dijkkring 45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Uitstroom uit Dijkkring 46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Tabel 4-3 Verschillen in waterstanden als gevolg van dijkdoorbraken bij locaties L1 t/m L8 (zie Tabel 2-2); Dijken breken door 6 uur voordat ter plaatse van de dijkdoorbraaklocaties de hoogste rivierwaterstand wordt bereikt (bron: Van Mierlo, 2005)

Verschillen in de Maximum Waterstand																	
Referentie berekening <i>minus</i> Dijkdoorbraak berekening																	
Dijkdoorbraak locatie	L1		L2		L3			L4		L5		L6		L7		L8	
Referentie berekening	GD	GD	GD	GD	L3 T6GC	GD	GD	GD	L5 T6GC	GD	GD	GD	GD	GD	GD	L8 T6GC	
Dijkdoorbraak berekening	L1 T6GC	L2 T6GC	L3 T6GC	L3 T6C1	L3 T6C1	L4 T6GC	L5 T6GC	L5 T6C2	L5 T6C2	L6 T6GC	L7 T6GC	L8 T6GC	L8 T6C3	L8 T6C3	L8 T6C3	L8 T6GC	
MeetLocatie	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	
<i>Bovenrijn</i>																	
L1_Lobith, Bovenrijn_Km861.19	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Waal</i>																	
Kekerdom, Waal_Km871.9	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
L2_Kekerdom, Waal_Km872.7	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
L5_Weurt, Waal_Km889.4	0.04	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Andelst, Waal_Km897.3	0.05	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.03	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
L3_Ijzendoorn, Waal_Km908.4	0.06	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.03	0.03	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
L6_Wamel, Waal_Km911.50	0.06	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.03	0.03	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Dreumel, Waal_Km916.40	0.07	0.05	0.02	0.02	0.00	0.00	0.04	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Gameren, Waal_Km937.10	0.07	0.06	0.03	0.03	0.00	0.00	0.05	0.05	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Nederrijn-Lek</i>																	
Nude, Nederrijn_Km905.10	0.04	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
L4_Rijswijk, Nederrijn_Km928.5	0.06	0.04	0.00	-0.55	-0.55	0.01	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
De Heul, Lek_Km938.7	0.03	0.03	0.00	-0.52	-0.52	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>IJssel</i>																	
Westervoort, IJssel_Km880.3	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Velperbroek, IJssel_Km882.30	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Fraterwaard, IJssel_Km904	-0.25	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
L7_Vierakker, IJssel_Km922.5	-0.24	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Zutphen, IJssel_Km925.9	-0.23	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Gorsseel, IJssel_Km940.4	-0.22	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.02	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Deventer, IJssel_Km944.3	-0.22	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.02	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
L8_Den Nul, IJssel_Km959.10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	0.00	0.00	
Wapenveld, IJssel_Km971.7	-0.23	0.10	0.01	0.01	0.00	0.00	0.04	0.04	0.00	0.01	0.07	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	

Tabel 4-4 Verschillen in waterstanden als gevolg van dijkdoorbraken bij locaties L1 en L2, Dijken breken respectievelijk door 6, 30 en 70 uur (L1) en 6, 20 en 34 uur (L2) voordat ter plaatse van de dijkdoorbraaklocatie de hoogste rivierwaterstand wordt bereikt (bron: Van Mierlo, 2005)

Verschillen in de Maximum Waterstand Referentie <i>minus</i> Dijkdoorbraak						
Dijkdoorbraak locatie	L1			L2		
Referentie berekening	GD	GD	GD	GD	GD	GD
Dijkdoorbraak berekening	L1T6GC	L1T30GC	L1T70GC	L2T6GC	L2T20GC	L2T34GC
MeetLocatie	m	m	m	m	m	m
<i>Bovenrijn</i>						
L1_Lobith, Bovenrijn_Km861.19	0.02	0.28	0.65	0.00	0.11	0.25
<i>Waal</i>						
Kekerdom, Waal_Km871.9	0.03	0.27	0.61	0.01	0.13	0.29
L2_Kekerdom, Waal_Km872.7	0.03	0.29	0.63	0.01	0.14	0.31
L5_Weurt, Waal_Km889.4	0.04	0.31	0.65	0.03	0.16	0.34
Andelst, Waal_Km897.3	0.05	0.32	0.61	0.03	0.17	0.35
L3_IJzendoorn, Waal_Km908.4	0.06	0.35	0.66	0.04	0.19	0.38
L6_Wamel, Waal_Km911.50	0.06	0.35	0.66	0.04	0.19	0.39
Dreumel, Waal_Km916.40	0.07	0.36	0.67	0.05	0.20	0.40
Gameren, Waal_Km937.10	0.07	0.37	0.66	0.06	0.21	0.41
<i>Nederrijn-Lek</i>						
Nude, Nederrijn_Km905.10	0.04	0.20	0.28	0.02	0.11	0.21
L4_Rijswijk, Nederrijn_Km928.5	0.06	0.26	0.33	0.04	0.15	0.25
De Heul, Lek_Km938.7	0.03	0.26	0.34	0.03	0.13	0.24
<i>IJssel</i>						
Westervoort, IJssel_Km880.3	0.02	0.21	0.30	0.01	0.10	0.22
Velperbroek, IJssel_Km882.30	0.03	0.21	0.26	0.01	0.11	0.21
Fraterwaard, IJssel_Km904	-0.25	-0.48	-0.76	0.04	0.11	0.24
L7_Vierakker, IJssel_Km922.5	-0.24	-0.48	-0.72	0.05	0.13	0.24
Zutphen, IJssel_Km925.9	-0.23	-0.47	-0.69	0.05	0.12	0.23
Gorsseel, IJssel_Km940.4	-0.22	-0.46	-0.65	0.06	0.14	0.24
Deventer, IJssel_Km944.3	-0.22	-0.46	-0.66	0.06	0.14	0.24
L8_Den Nul, IJssel_Km959.10	-	-	-	-	-	-
Wapenveld, IJssel_Km971.7	-0.23	-0.58	-0.78	0.10	0.19	0.27

4.3 Verschillen met normfrequenties van maatgevende waterstanden.

In deze paragraaf worden verschillen met de normfrequentie van maatgevende waterstanden bepaald, welke het gevolg zijn van de optredende hydraulische systeemwerkingseffecten. In §4.3.1 worden decimeringshoogten gegeven en wordt tevens dit begrip toegelicht. Vervolgens worden in §4.3.2 verschillen met normfrequenties van maatgevende waterstanden op de Maas bepaald.

4.3.1 Decimeringshoogten langs bovenstroomse Rijntakken en bedijkte Maas

Slomp (2006) geeft decimeringshoogten, berekend met Hydra modellen, voor primaire waterkeringen langs zoete wateren en maakt hierbij een onderscheid tussen:

- “*decimeringshoogte voor waterstand*”, zijnde het gemiddelde van het absolute verschil in hoogte tussen toetspeil en waterstand met een overschrijdingsfrequentie, die 10 keer hoger en lager is dan die van het toetspeil. Slomp (2006) verduidelijkt dit begrip met het volgende voorbeeld. Voor rivierlocatie Bovenrijn_Km860 is de normfrequentie gelijk aan $1/1250^{\circ}$ per jaar. Het verschil in waterstand tussen een frequentie van $1/12500^{\circ}$ per jaar en de normfrequentie van $1/1250^{\circ}$ per jaar bedraagt 0.865m. Het verschil tussen de normfrequentie van $1/1250^{\circ}$ per jaar en een

frequentie van $1/125^e$ per jaar bedraagt 0.976m. De decimeringshoogte voor de waterstand voor rivier locatie Bovenrijn_Km860 is derhalve gelijk aan 0.9205 [$= (0.865 + 0.976) / 2$].

- “*decimeringshoogte voor benodigde kruinhoogte*”, zijnde het gemiddelde van het absolute verschil in hoogte tussen het hydraulisch belastingniveau bij normfrequentie en hydraulisch belastingniveau met een overschrijdingsfrequentie, die 10 keer hoger en lager is dan die van het hydraulisch belastingniveau bij normfrequentie. Hierbij wordt 0.1 l/s als kritiek overslagdebiet genomen.

Langs bovenstroomse Rijntakken en de bedijkte Maas zijn windopzet en golfoploop te verwaarlozen. Derhalve is hier enkel de “decimeringshoogte voor waterstand” van belang.

In

Tabel 4-5 worden “decimeringshoogten voor de waterstand” gegeven voor meetlocaties, waarvoor in Tabel 4-1, Tabel 4-3 en Tabel 4-4 verschillen in de maximum waterstand zijn gegeven. De “decimeringshoogten voor de waterstand” zijn per meetlocatie geïnterpoleerd tussen waarden gegeven in Slomp (2006).

4.3.2 Verschillen met normfrequenties van maatgevende waterstanden langs de bedijkte Maas

Ten gevolge van systeemwerking kan lokaal de maatgevende waterstand worden verhoogd (c.q. een negatief hydraulisch systeemwerkingseffect) dan wel worden verlaagd (c.q. een positief hydraulisch systeemwerkingseffect). Onder maatgevende waterstand wordt hier verstaan die waterstand, met bijbehorende normfrequentie van $1/x^e$ jaar, welke nog veilig door het betreffende dijkvak moeten kunnen worden gekeerd. Deze definitie is conform het Hydraulisch Randvoorwaardenboek (2001). Indien negatieve hydraulische systeemwerking optreedt, dan resulteert dit feitelijk in een lokale verhoging van de maatgevende waterstand. Met andere woorden lokaal voor het dijkvak treedt niet de waterstand met de normfrequentie van $1/x^e$ jaar op, maar er treedt lokaal een hogere maatgevende waterstand op met een lagere overschrijdingsfrequentie. In analogie geldt dat positieve hydraulische systeemwerkingseffecten resulteren in lagere lokale maatgevende waterstanden, welke een hogere overschrijdingsfrequentie hebben dan de geldende normfrequentie.

In Tabel 4-6 zijn ter illustratie geschatte verschillen met normfrequenties van maatgevende waterstanden op de Maas gegeven als gevolg van hydraulische systeemwerkingseffecten, welke optreden ten gevolge van een doorbraak in de linker Maasdijk ter hoogte van de Kraaijenbergse Plassen (c.q. scenario L10T6GCGU, zie §3.5) en ten gevolge van een dijkdoorbraak in de linker Waaldijk ter hoogte van Heerewaarden (c.q. scenario L15T6GCGU, zie §3.10). Met klem wordt opgemerkt dat het slechts schattingen betreft van verschillen met normfrequenties van maatgevende waterstanden. Deze schattingen zijn gemaakt (“personal communication by” dhr. F.L.M. Diermanse) door een lineair verband [c.q. $h = b + {}^{10}\text{Log}(T) * m$] aan te nemen ter hoogte van de normfrequentie (T_n); waarin $T =$ overschrijdingsfrequentie van waterstand h ; $b = {}^{10}\text{Log}(T_n) * \text{decimeringshoogte}$; en $m =$ decimeringshoogte. Opgemerkt wordt dat de overstromingsfrequenties in Tabel 4-6 middels Hydra-B nauwkeuriger kunnen worden bepaald. In Tabel 4-6 is te zien dat ten gevolge van (vooral negatieve) hydraulische systeemwerkingseffecten er zeer grote verschillen optreden met normfrequenties van maatgevende waterstanden.

Tabel 4-5 “Decimeringshoogten voor de waterstand” (zie §4.3) voor meetlocaties waarvoor in Tabel 4-1, Tabel 4-3 en Tabel 4-4 verschillen in de maximum waterstand zijn gegeven (bron: Slomp, 2006).

MeetLocatie	Decimeringshoogte voor de waterstand m	MeetLocatie	Decimeringshoogte voor de waterstand m
		<i>IJssel</i>	
<i>Bovenrijn</i>			
L1_Lobith, Bovenrijn_Km861.19	0.9206	Westervoort, IJssel_Km880.3	0.5565
		Velperbroek, IJssel_Km882.3	0.4758
<i>Waal</i>			
Kekerdom, Waal_Km871.9	0.8290	Fraterwaard, IJssel_Km904)	0.7120
L2_Kekerdom, Waal_Km872.7	0.8323	L7_Vierakker, IJssel_Km922.5	0.7703
L5_Weurt, Waal_Km889.4	0.8303	Zutphen, IJssel_Km925.9	0.7817
Andelst, Waal_Km897.3	0.8038	Gorsse, IJssel_Km940.4	0.8184
L3_IJzendoorn, Waal_Km908.4	0.8295	Deventer, IJssel_Km944.3	0.8205
L6_Wamel, Waal_Km911.50	0.8413	Olst, IJssel_Km957.4	0.7550
Dreumel, Waal_Km916.40	0.8556	L8_Den Nul, IJssel_Km959.10	0.7615
L15 Heerewrdn, Waal_Km920.5	0.8503	Wapenveld, IJssel_Km971.7	0.7219
		<i>Maas</i>	
L16 Hurwenen, Waal_Km930.15	0.8466	Gennepe, Maas_Km155.3	0.6570
Gameren, Waal_Km937.1	0.9421	L9 BeerseO, Maas_Km164.20	0.7630
Gorinchem, Waal_Km955.2	0.8894	L10 K.Plassen, Maas_Km169.1	0.6955
		L17 Grave, Maas_Km173.9	0.7054
<i>Pannerdensch Kanaal</i>			
PanKanBegin, Pkan_Km869.5	0.7695	L12 & L18, Maas_Km180	0.7080
PanKanEind, Pkan_Km878	0.7115	L14 N.Schans, Maas_Km196.65	0.7089
<i>Nederrijn-Lek</i>			
Nude, Nederrijn_Km905.1	0.6262	Gewande, Maas_Km213.4	0.7892
L4_Rijswijk, Nederrijn_Km928.5	0.6588	L13 Hoenzadrl, Maas_Km215.2	0.8030
De Heul, Lek_Km938.7	0.7748	L11 Hedikhzn, Maas_Km225.8	0.7730
Almeide, Lek_Km963.2	0.8546	Drongelen, Maas_Km235	0.7100
		Dussen, Maas_Km243.2	0.5644

Tabel 4-6 Geschatte verschillen met normfrequenties van maatgevende waterstanden op de Maas ten gevolge van positieve en negatieve hydraulische systeemwerkingseffecten (c.q. verschillen in de maximum waterstand), welke optreden in dijkdoorbraakscenario L10T6GCGU (zie §3.5) en dijkdoorbraakscenario L15T6GCGU (zie §3.10)

		Dijkdoorbraakscenario						
		L10T6GCGU			L15T6GCGU			
MeetLocatie	Decimerings- hoogten voor de waterstand	Norm freq.	dh_Max	Abs(dh_Max) gedeeld door decimerings- hoogte	freq. t.g.v. systeem- werking	dh_Max	Abs(dh_Max) gedeeld door decimerings- hoogte	freq. t.g.v. systeem- werking
			m	-	1/x° jaar	m	-	1/x° jaar
<i>Maas</i>								
Gennepe, Maas_Km155.3	0.66	1/1250	0.00	0.0000	1/1250	0.00	0.000	1/1250
L9 BeerseO, Maas_Km164.20	0.76	1/1250	0.01	0.0092	1/1223	0.00	0.000	1/1250
L10 K.Plassen, Maas_Km169.1	0.70	1/1250	0.01	0.0129	1/1213	-0.01	0.009	1/1275
L17 Grave, Maas_Km173.9	0.71	1/1250	0.01	0.0184	1/1198	-0.03	0.044	1/1383
L12 & L18, Maas_Km180	0.71	1/1250	0.02	0.0240	1/1182	-0.09	0.130	1/1685
L14 N.Schans, Maas_Km196.65	0.71	1/1250	0.04	0.0578	1/1094	-0.58	0.821	1/8278
Gewande, Maas_Km213.4	0.79	1/1250	0.07	0.0912	1/1013	-1.07	1.352	1/28113
L13 Hoenzadrl, Maas_Km215.2	0.80	1/1250	0.07	0.0909	1/1013	-1.06	1.314	1/25747
L11 Hedikhzn, Maas_Km225.8	0.77	1/1250	0.08	0.1061	1/979	-0.94	1.219	1/20679
Drongelen, Maas_Km235	0.71	1/2000	0.08	0.1099	1/1552	-0.86	1.217	1/32955
Dussen, Maas_Km243.2	0.56	1/2000	0.07	0.1169	1/1527	-0.72	1.276	1/37732

Opmerkingen:

1. Voor definitie van “Decimeringshoogten voor de waterstand” zie §4.3.1; Bron: Slomp (2006)
2. Norm freq. = overschrijdingsfrequentie van de waterstand (1/jaar), welke nog veilig door het betreffende dijkvak moet kunnen worden gekeerd (Hydraulisch Randvoorwaardenboek, 2001).
3. dh_Max = Verschil in de Maximum Waterstand (voor definitie, zie §4.1).
4. freq. t.g.v. systeemwerking = overschrijdingsfrequentie (1/jaar) rekeninghoudend met positieve of negatieve hydraulische systeemwerkingseffecten, welke optreden ten gevolge van de betreffende lokale dijkdoorbraak.

4.4 Evaluatie Hydraulische Systeemwerkingsaspecten

Allereerst wordt met klem opgemerkt dat de orde van grootte van de hydraulische effecten van systeemwerking (zie Tabel 4-1 t/m Tabel 4-4) alsmede de geschatte verschillen met normfrequenties van maatgevende waterstanden (zie Tabel 4-6) afhankelijk zijn van:

- De gekozen Bovenrijnafvoergolf te Rees met een piekafvoer van $17.000 \text{ m}^3/\text{s}$,
- De gekozen Maasafvoergolf: huidige studie, afvoergolf te Vierlingsbeek met een piekafvoer van $4.000 \text{ m}^3/\text{s}$; in Van Mierlo (2005): permanente Maasafvoer van $3.650 \text{ m}^3/\text{s}$,
- De gekozen locaties van mogelijke dijkdoorbraken,
- De aanname voor het tijdstip van dijkdoorbraak, uitgedrukt als het aantal uren voordat ter plaatse de hoogste rivierwaterstand wordt bereikt,
- Het gekozen bresgroeiscenario, waarin 78 uur na dijkdoorbraak een maximale bresbreedte van 210 m wordt bereikt, en
- De aanname dat nergens anders dijkdoorbraken optreden, ook niet indien dijken van de achterzijde worden belast dan wel worden overstroomd.

Afhankelijk van het overheersende systeemwerkingsmechanisme zijn verschillen in de maximum waterstand en verschillen in het maximum debiet lokaal soms positief en soms negatief (zie Tabel 4-1 t/m Tabel 4-4). In het algemeen kan worden gesteld dat de effecten van systeemwerking ten gevolge van een specifieke dijkdoorbraak aanzienlijke proporties kunnen aannemen. Behalve het overstromen van aangrenzende en overige dijkkringen zijn waterstandsverhogingen (negatieve hydraulische systeemwerkingseffecten) tot 1.10m op de Maas substantieel te noemen. Deze waterstandverhoging treedt op in scenario L15T6GCGU (linker Waaldijkdoorbraak bij Heerewaarden) waarin de dijk doorbreekt 6 uur voordat lokaal de hoogste rivierwaterstand wordt bereikt. Dijkdoorbraakscenario L5T6GCGU (linker Waaldijkdoorbraak bij Weurt) resulteert in waterstandsverhogingen tot 1.00m op de Maas. Deze waterstandverhogingen op de Maas zijn een orde groter dan de waterstandsverhogingen op de IJssel ten gevolge van een rechter Bovenrijndijkdoorbraak bij Lobith (L1T6GC) en een linker Lekdijkdoorbraak bij IJzendoorn (L3T6C1) waarbij dijkkring 43 (Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden) is gecompartmenteerd. In scenario L1T6GC en L3T6C1 treedt dijkdoorbraak ook op 6 uur voordat lokaal de hoogste rivierwaterstand is bereikt. Het feit dat maatgevende hoogwaterstanden op de Waal ca. 2 m hoger zijn dan op de Maas is de voornaamste reden waarom in scenario L5T6GCGU en L15T6GCGU resulterende waterstandsverhogingen groter zijn dan in scenario's L1T6GC en L3T6C1. Waterstandverlagingen (positieve hydraulische systeemwerkingseffecten) van 0.05m op de Rijntakken en 0.10m op de Maas, voor situaties waarin de dijk doorbreekt 6 uur voordat lokaal de hoogste rivierwaterstand wordt bereikt, zijn gering te noemen. Indien een dijk eerder doorbreekt kunnen zowel positieve als negatieve systeemwerkingseffecten groter worden. Dit is te zien in Tabel 4-4 waarin hydraulische systeemwerkingseffecten zijn gegeven indien de Bovenrijndijk bij Lobith (L1) en de Waaldijk bij Kekerdijk (L2) veel eerder doorbreken dan 6 uur voordat lokaal de hoogste rivierwaterstand wordt bereikt.

Verschillen met normfrequenties van maatgevende waterstanden op de Maas als gevolg van (vooral negatieve) hydraulische systeemwerkingseffecten zijn significant te noemen. Een verschil met de normfrequentie ter hoogte van Maas_Km213.4 (Gewande) van $1/1250^{\circ}$ jaar (normfrequentie) naar $1/28113^{\circ}$ jaar ten gevolge van negatieve systeemwerking is zeer significant. Hiermee is het verschil met de normfrequentie ter hoogte van Maas_Km225.8 (Hedikhuizen) van $1/1250^{\circ}$ jaar (normfrequentie) naar $1/979^{\circ}$ jaar ten gevolge van positieve systeemwerking minimaal te noemen.

Samenvattend kan worden gesteld dat hydraulische effecten van systeemwerking langs de bovenstroomse bedijkte Maas en bovenstroomse Rijntakken niet kunnen worden verwaarloosd.

Met betrekking tot Tabel 4-1 t/m Tabel 4-4 kan het volgende worden opgemerkt:

- In de berekeningsresultaten waarbij een dijkdoorbraak optreedt 6 uur voordat ter plaatse van de dijkdoorbraaklocatie de hoogste rivierwaterstand wordt bereikt zijn de positieve hydraulische effecten van systeemwerking marginaal in verhouding tot negatieve hydraulische effecten van systeemwerking.
- Naarmate bij Lobith (L1) en Kekerdom (L2) de dijk eerder doorbreekt (zie Tabel 4-4) worden zowel de positieve als negatieve hydraulische effecten van systeemwerking groter. Tevens zijn de positieve hydraulische effecten van systeemwerking niet meer marginaal te noemen. Echter de positieve hydraulische systeemwerkingseffecten blijven een orde kleiner dan de negatieve hydraulische systeemwerkingseffecten. Verder geldt dat als gevolg van het eerder doorbreken van een dijk positieve effecten van systeemwerking echter niet altijd hoeven toe te nemen. Stel dat bij Kekerdom de dijk zodanig vroeg doorbreekt dat het totale volume dat in dijkkring 42 (Ooij en Millingen) geborgen kan worden al is ingestroomd voordat de top van de hoogwatergolf Kekerdom passeert. In zo'n geval zullen de hydraulische effecten van systeemwerking nagenoeg nul zijn.
- Een linker Waaldijkdoorbraak bij Hurwenen (scenario L16T6GCGU) resulteert niet in waterstandsverhogingen op de Maas. Dit komt doordat in dijkkring 38 (Bommelwaard) ingestroomd Waalwater via de Afgedamde Maas verder stroomt naar dijkkring 24 (Land van Altena) en daar in een DelftFLS opvangbak stroomt (zie ook §2.2).
- Direct bovenstrooms van het dijkgat treedt afzuiging op. Hierdoor wordt het bovenstroomse hydraulische verhang richting dijkgat groter. Daarom kan voor gelijkblijvende bovenstroomse waterstanden een aanzienlijk groter debiet richting dijkdoorbraaklocatie stromen. Dit fenomeen treedt bijvoorbeeld op voor een dijkdoorbraak bij Weurt (scenario L5T6GCGU, zie Tabel 4-2) waar bij het splitsingspunt Pannerdensche Kop een aanzienlijk groter debiet de Waal instroomt dan in de referentieberekening zonder dijkdoorbraken. Het meest prominent is dit verschijnsel voor een dijkdoorbraak bij Kekerdom (scenario L2T6GC). Voor dijkdoorbraken benedenstrooms van Wamel (zie scenario L6T6GC) geldt dat de debietverdeling over de Pannerdensche Kop niet meer wordt beïnvloedt door een mogelijke doorbraak in linker Waaldijken. Voor de verschillen in het maximum debiet behorende bij scenario's L2T6GC en L6T6GC wordt verwezen naar Tabel 6-3 in Van Mierlo (2005).
- Naarmate een meetlocatie verder benedenstrooms van een dijkdoorbraaklocatie ligt en onder voorwaarde dat er géén terugstroming van bovenstrooms ingestroomd rivierwater plaatsvindt, worden de positieve effecten van systeemwerking groter.

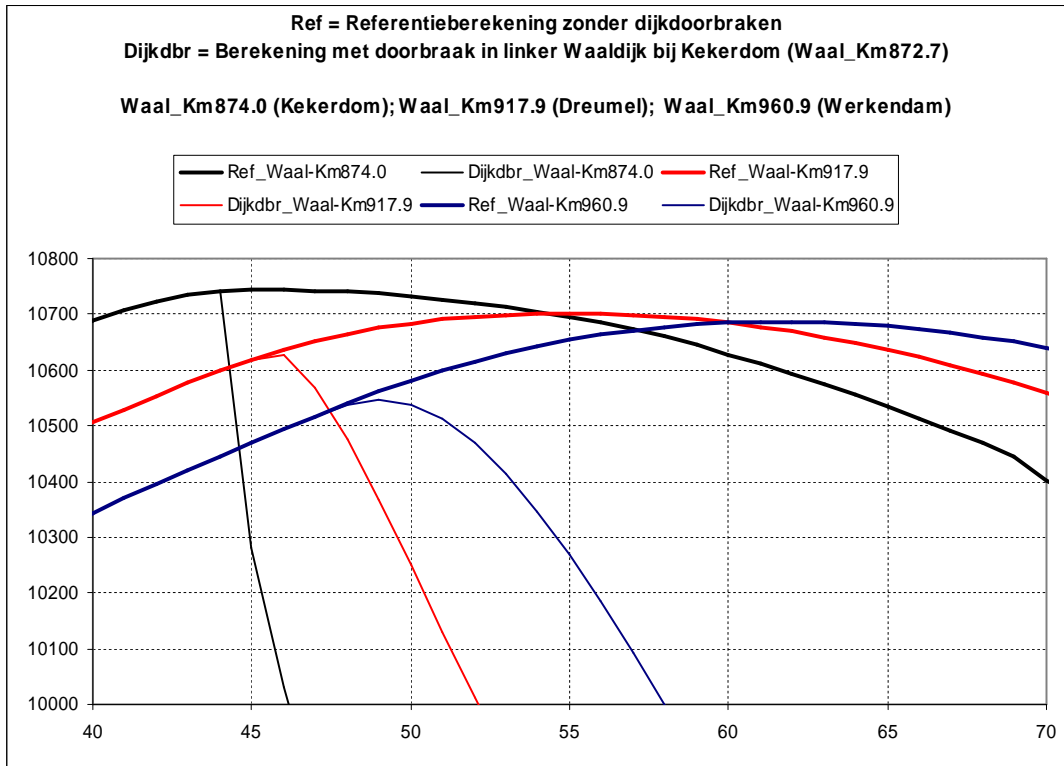
Zie bijvoorbeeld de verschillen in de maximum waterstand voor een doorbraak in de linker Waaldijk bij Kekerdom (scenario L2T6GC in Tabel 4-3). Dit fenomeen kan als volgt worden verklaard. Ter plaatse van het dijkgat wordt het volume in de hoogwatergolf sterk gereduceerd, hetgeen resulteert in een sterk smallere (afgeknotte) hoogwaterpiek. De topvervlakking van deze afgeknotte hoogwaterpiek is groter dan die van de oorspronkelijke hoogwatergolf. Hoe verder benedenstrooms hoe meer topvervlakking er opgetreden is en hoe groter derhalve het verschil wordt tussen het maximum debiet in de referentieberekening en het maximum debiet in de dijkdoorbraakberekening. Lokaal groter verschillen in het maximum debiet betekent lokaal grotere verschillen in de maximum waterstand. In Figuur 4-2 is dit fenomeen op grafische wijze geïllustreerd voor een dijkdoorbraak in de linker Waaldijk (Km872.7) bij Kekerdom (c.q. scenario L2T6GC; zie Van Mierlo 2005). Ter hoogte van Waal_Km 874.0 (Kekerdom, juist benedenstrooms van de dijkdoorbraaklocatie) bedraagt het verschil in het maximum debiet 3 m³/s. Meer precies het maximum debiet in de referentieberekening (géén dijkdoorbraak) bedraagt 10744 m³/s en het maximum debiet in de dijkdoorbraakberekening bedraagt 10741 m³/s. Meer benedenstrooms ter hoogte van Waal_Km917.9 (Dreumel) bedraagt het verschil in het maximum debiet 75 (=10702-10627) m³/s. Nog verder benedenstrooms ter hoogte van Waal_Km960.9 (Werkendam) bedraagt het verschil in het maximum debiet 141 (=10687-10546) m³/s.

- Hydraulische systeemwerkingseffecten op de Rijntakken voor een dijkdoorbraak bij Weurt (L5) worden gegeven in Tabel 4-1 (c.q. scenario L5T6GCGU) en in Tabel 4-3 (c.q. scenario L5T6GC). De resultaten in genoemde tabellen verschillen minder dan één centimeter. De reden voor deze kleine verschillen is het feit dat de Maas schematisatie/modellering in scenario L5T6GCGU en scenario L5T6GC verschillen. In scenario L5T6GCGU is het Maastraject van Vierlingsbeek (Maas_Km141) tot Dussen (Maas_Km243.2) gemodelleerd en is bij Vierlingsbeek een hoogwatergolf met een piekafvoer van 4.000 m³/s opgelegd (zie §2.3). In scenario L5T6GC is het Maastraject van Mook (Maas_Km165) tot St. Andries (Maas_Km208) gemodelleerd, waar bij Mook een permanente afvoer van 3.650 m³/s is opgelegd (zie §3.1 in Van Mierlo, 2005).

Verschillen in de maximum waterstand en het maximum debiet evenals verschillen met normfrequenties van maatgevende waterstanden zijn zeer indicatief voor het vastleggen van hydraulische effecten die verschillende vormen van systeemwerking met zich meebrengen. Echter een afweging of gegeven een specifieke dijkdoorbraak over het gehele stroomgebied gezien de effecten van systeemwerking positief of negatief zijn, kan niet alleen gemaakt worden door het bestuderen van verschillen in maximale waterstanden, verschillen in maximale debieten en verschillen met normfrequenties van maatgevende waterstanden. In zo'n afweging moet de opgetreden overstromingsschade ten gevolge van de dijkdoorbraak worden gewogen tegen de verandering in de kans en de bijbehorende schade dat elders in het stroomgebied dijk(ring)en wel of niet overstromen als gevolg van deze dijkdoorbraak. Met andere woorden het jaarlijkse overstromingsrisico van het dijkdoorbraakscenario (=jaarlijkse kans op dijkdoorbraak maal optredende schade) moet vergeleken worden met het jaarlijkse overstromingsrisico voor de conditie dat geen dijkdoorbraak op de beschouwde locatie optreedt.

In de 1^e Delft Cluster tranche is een methode ontwikkeld voor het bepalen van overstromingsrisico's waarbij effecten van systeemwerking worden meegenomen. Deze methode is succesvol toegepast op een sterk geschematiseerde rivierconfiguratie met eenvoudige beschrijvingen van faalmechanismen, een beperkt aantal doorbraaklocaties, en aannamen voor verdelingsfuncties van dijksterkte en bovenstroomse hoogwaterafvoergolven (zie Van Mierlo et al, 2007 en Van Mierlo et al, 2003). Momenteel loopt er in het kader van de 2^e Delft Cluster tranche een vervolgonderzoeksproject waarin deze methode verder wordt ontwikkeld. Het uiteindelijke doel is om op een efficiënte en objectieve wijze overstromingsrisico's in Nederland te kunnen bepalen, waarbij relevante systeemwerkingsaspecten worden meegenomen. Voor de acceptatie van deze nieuwe methode is het van belang dat er een vertaalslag wordt gemaakt na de huidige wijze van bepalen van overstromingskansen. Met andere woorden hoe sluiten overstromingskansen volgens de nieuwe methode aan op overstromingskansen volgens de huidige methode. Het bepalen van overstromingskansen en overstromingsrisico's is complex vanwege allerlei correlaties. Bijvoorbeeld in dijkdoorbraakscenario L5T6GCGU blijkt dat de kans dat linker en rechter Maasdijken worden overstroomd (c.q. bezwijken) is gecorreleerd aan de kans op een doorbraak van de linker Waaldijk bij Weurt (zie ook §3.1). In de bovengenoemde nieuwe methode worden dit soort statistische correlaties automatisch meegenomen. Dit omdat de interactie tussen rivierafvoeren, het bezwijken van dijken en de daaraan gerelateerde overstromingen integraal worden meegenomen.

De complexiteit van systeemwerking ten spijt, tonen de resultaten in Tabel 4-1 t/m Tabel 4-4 en Tabel 4-6 aan dat bepaalde vormen van systeemwerking moeten worden meegenomen teneinde een juiste inschatting te kunnen maken voor overstromingskansen en overstromingsrisico's in Nederland. Daarom is het gewenst om in de huidige methode van het bepalen van overstromingskansen op zijn minst de hydraulische effecten van sommige vormen van systeemwerking mee te kunnen nemen.



Figuur 4-2 Verschillen in de voortplanting op de Waal van de referentie hoogwatergolf (lokaal gelabeld als Ref_Waal-Kmxyz) en de voortplanting van de sterk smallere (afgeknotte) hoogwatergolf (lokaal gelabeld als Dijkdbr_Waal-Kmxyz). De smallere (afgeknotte) hoogwatergolf wordt geïnduceerd door een dijkdoorbraak in de linker Waaldijk bij Kekeedom (Waal_Km872.7); Scenario L2T6GC, bron: Van Mierlo (2005)

5 Ruimtelijke generale uitspraken over hydraulische systeemwerkingseffecten op bovenstroomse Rijntakken en bedijkte Maas

In dit hoofdstuk is nagegaan in hoeverre ruimtelijke (c.q. tussen dijkdoorbraaklocaties) generale uitspraken mogelijk zijn in het bovenrivierengebied van de Rijntakken en op de bedijkte Maas, bovenstrooms van Dussen. In §5.1 wordt het begrip “*ruimtelijke generale uitspraak*” omschreven en wordt tevens aangegeven wanneer ruimtelijke generale uitspraken mogelijk worden geacht. In §5.2 wordt een overzicht gegeven van de dijkdoorbraakscenario’s waarmee is nagegaan in hoeverre ruimtelijke generale uitspraken mogelijk zijn. In §5.3 is nagegaan in hoeverre ruimtelijk generale uitspraken mogelijk zijn indien enkel positieve hydraulische systeemwerkingseffecten optreden. In §5.4 is nagegaan in hoeverre ruimtelijk generale uitspraken mogelijk zijn indien ook negatieve hydraulische systeemwerkingseffecten optreden. In §5.5 worden de bevindingen beknopt samengevat.

5.1 Wat wordt bedoeld met “Ruimtelijke generale uitspraken” en wanneer worden ze mogelijk geacht

Met een *generale uitspraak* wordt bedoeld het bepalen van hydraulische effecten van systeemwerking als functie van wijzigingen in specifieke parameters zonder dat er aanvullende dijkdoorbraakberekeningen worden gemaakt. Een generale uitspraak is in feite het schatten van hydraulische effecten van systeemwerking door te interpoleren tussen (of het extrapoleren van) resultaten van eerder gemaakte dijkdoorbraakberekeningen. Van Mierlo (2005) en Garcia (2006) tonen aan dat generale uitspraken mogelijk zijn indien per dijkdoorbraaklocatie de karakteristieken van het dijkdoorbraakproces worden gevarieerd. Met een *ruimtelijke generale uitspraak* wordt bedoeld het schatten van hydraulische systeemwerkingseffecten gebruikmakende van berekeningsresultaten, beschikbaar voor aangrenzende dijkdoorbraaklocaties. Het (mogelijke) gebruik van generale uitspraken betekent dat in beleidstudies het aantal benodigde dijkdoorbraakberekeningen sterk kan worden gereduceerd.

Ruimtelijke generale uitspraken worden mogelijk geacht zolang het debiet dat een dijkgat instroomt relatief klein is ten opzichte van het heersende afvoerregiem en lokale verschillen in topvervlakking langs het betreffende riviertraject niet te groot zijn. Verder moet in de eerste uren/dag(en) na dijkdoorbraak het onderlinge verschil in het dijkgatdebiet niet te groot zijn. Bovendien is het van belang dat dijkdoorbraken op de locaties, waartussen wordt geïnterpoleerd/geëxtrapoleerd, resulteren in ruimtelijk vergelijkbare overstromingen (inclusief eventuele cascadowerking). Het voorgaande kan als volgt nader worden toegelicht. Een dijkgatdebiet veroorzaakt een *initiële* verstoring op het heersende afvoerregiem. Zo’n *initiële* verstoring plant zich voort in het riviersysteem (riviertakken inclusief overstromde gebieden). Indien twee locaties voldoende dicht bij elkaar liggen dan kunnen onder gelijke hydraulische omstandigheden *initiële* verstoringen, welke ontstaan als

gevolg van dijkdoorbraken op nabij gelegen locaties, zich op vergelijkbare wijze door het riviersysteem voortplanten. In een dergelijke geval zal het mogelijk zijn om voor tussenliggende locaties ruimtelijke generale uitspraken te doen. Echter indien twee dijkdoorbraaklocaties te ver uiteen liggen, dan kunnen generale uitspraken niet meer mogelijk zijn doordat zich de volgende hydraulische verschijnselen kunnen manifesteren:

- Grote onderlinge verschillen in hydraulische systeemwerkingseffecten (c.q. *Vershil in de Maximum Waterstand* en *Vershil in het Maximum Debiet*, zie §4.1) ter hoogte van de beschouwde dijkdoorbraaklocaties. Deze mogelijke onderlinge verschillen per dijkdoorbraaklocatie kunnen als volgt worden verklaard. Het verschil in de maximum waterstand ter hoogte van een dijkdoorbraaklocatie hangt af van de lokale ongestoorde hoogwatergolf (c.q. hoogwatergolf in geval van géén dijkdoorbraken) en het tijdstip van dijkdoorbraak, uitgedrukt als het aantal uren voordat lokaal de hoogste rivierwaterstand wordt bereikt. Ter verduidelijking, stel een dijkvak breekt bij een waterstand van NAP+11.80m door 6 uur voordat lokaal de hoogste waterstand van NAP+11.90m is bereikt, dan bedraagt per definitie ten tijde van dijkdoorbraak het *verschil in de maximum waterstand* ter hoogte van het dijkgat 0.10m. Indien in een riviertraject lokaal grote verschillen in topvervlakking optreden en/of lokaal grote verschillen in afvoercapaciteit, dan zal dit per dijkdoorbraaklocatie resulteren in grote variaties voor het *verschil in de maximum waterstand* ten tijde van dijkdoorbraak.
- Per dijkdoorbraaklocatie zijn er grote verschillen in het initiële dijkgatdebietverloop (c.q. *verschil in dijkgatdebiet in de eerste uren/dag(en) na dijkdoorbraak*), resulterend in steile en minder steile zogenoemde afgeknotte benedenstroomse hoogwatergolven. Voor gelijke piekafvoeren resulteert de voortplanting van een steile afgeknotte hoogwatergolf in meer topvervlakking (c.q. kleinere maximale benedenstrooms debieten) dan de voortplanting van een minder steile afgeknotte hoogwatergolf. De mogelijke variatie per dijkdoorbraaklocatie in steilheid van afgeknotte hoogwatergolven kan als volgt worden verklaard. Naarmate per dijkdoorbraaklocatie het overstroemde/overstroombare gebied groter is, zal het dijkgatdebiet sneller kunnen toenemen en ook minder snel afnemen. Dientengevolge zal een steilere afgeknotte hoogwatergolf ontstaan op het riviertraject benedenstrooms van het dijkgat. Indien op korte afstand achter het dijkgat verticale lijnelementen aanwezig, welke de instroming in het dijkgat relatief snel gestuwd/onvolkomen maken, dan zal het dijkgatdebiet minder snel toenemen en ook sneller kunnen afnemen. Dientengevolge zal een minder steile afgeknotte hoogwatergolf ontstaan. *Voor de volledigheid* wordt opgemerkt dat indien een dijk doorbreekt vele uren voordat lokaal de hoogste waterstand wordt bereikt, het in principe mogelijk is dat op de rivier ter hoogte van het dijkgat de waterstand tijdelijk lager is maar later alsnog de hoogste waterstand van de ongestoorde hoogwatergolf wordt bereikt. In zo'n geval is het bergende vermogen van het gebied achter het dijkgat te klein in verhouding tot het potentieel instroomvolume. In alle tot nu toe gemaakte dijkdoorbraakberekeningen (huidige studie; Van Mierlo, 2005; en Garcia, 2006) heeft een dergelijke situatie zich niet voorgedaan.
- Per dijkdoorbraaklocatie zijn er grote verschillen in ruimtelijk overstroemd gebied (inclusief cascadowerking). Stel dat op locatie X1 ingestroomd rivierwater doorstroomt naar een andere rivier (bijv. van Waal naar Maas), terwijl op locatie X2 ingestroomd rivierwater niet naar een andere rivier doorstroomt. Het zal duidelijk zijn dat in zo'n geval interpolatie van hydraulische systeemwerkingseffecten tussen locaties X1 en X2 niet mogelijk is.

5.2 Dijkdoorbraken waarmee is nagegaan in hoeverre “Ruimtelijke Generale uitspraken” mogelijk zijn

In overleg met de begeleiders van de onderhavige studie (zie §1.6) is besloten om gedetailleerd na te gaan in hoeverre *ruimtelijke generale uitspraken* mogelijk zijn voor doorbraken in linker Maasdijken langs dijkkring 36 (Land van Heusden/de Maaskant). In deze dijkdoorbraken stroomt in het dijkgat ingestroomd Maaswater niet terug naar de Maas (of naar een andere rivier). Daarom resulteren deze dijkdoorbraken *enkel in positieve hydraulische systeemwerkingseffecten*. Meer concreet zijn de resultaten van de volgende zes linker Maasdijkdoorbraakscenario's geanalyseerd:

1. L9T6GCGU (zie §3.2): Ter hoogte voormalige Beerse Overlaat (Maas_Km164.2),
2. L10T6GCGU (zie §3.5): Kraaijenbergse Plassen (Maas_Km169.10),
3. L17T6GCGU (zie §3.12): Grave (Maas_Km173.9),
4. L18T6GCGU (zie §3.13): Neerloon (Maas_Km179.5)
5. L19T6GCGU (zie §3.14): Boveneind (Maas_Km194.8), en
6. L20T6GCGU (zie §3.15): Kessel (Maas_Km206.5).

Verder is gekeken in hoeverre *ruimtelijke generale uitspraken* mogelijk zijn indien ook *negatieve hydraulische systeemwerkingseffecten* optreden. Meer concreet is gekeken naar de berekeningsresultaten van de volgende drie linker Waaldijkdoorbraakscenario's:

1. L5T6GCGU (zie §3.1): Weurt (Waal_Km889.4),
2. L15T6GCGU (zie §3.10): Heerewaarden (Waal_Km920.5), en
3. L16T6GCGU (zie §3.11): Hurwenen (Waal_Km930.15).

5.3 Ruimtelijke Generale uitspraken indien enkel positieve hydraulische effecten van systeemwerking optreden

In §5.3.1 worden voor dijkdoorbraken op locaties L9, L10 en L17 t/m L20 de verschillen in initiële verstoringen (c.q. dijkgatdebietverloop en afgeknotte hoogwatergolf ter hoogte van het dijkgat) toegelicht. In §5.3.2 wordt per dijkdoorbraaklocatie de verschillen in de voortplanting van de initiële verstoringen (c.q. het verschil in de maximum waterstand, zie §4.1) verklaard. Vervolgens wordt in §5.3.3 nagegaan in hoeverre ruimtelijke generale uitspraken mogelijk zijn indien enkel positieve hydraulische effecten van systeemwerking optreden.

5.3.1 Initiële verstoringen geïnduceerd door de dijkdoorbraken

In Tabel 5-1 worden karakteristieken van het instromingproces in dijkdoorbraakscenario's L9T6GCGU, L10T6GCGU en L17T6GCGU t/m L20T6GCGU gegeven. Figuur 5-1 en Figuur 5-2 tonen voor genoemde scenario's respectievelijk het dijkgatdebietverloop en de afgeknotte hoogwatergolf direct benedenstrooms van het dijkgat.

Linker Maasdijkdoorbraken bij locaties L9, L10 en L17 t/m L20 resulteren in significant verschillende dijkgatdebietverlopen en significant verschillende steile afgeknotte benedenstroomse hoogwatergolven (zie Figuur 5-1 en Figuur 5-2):

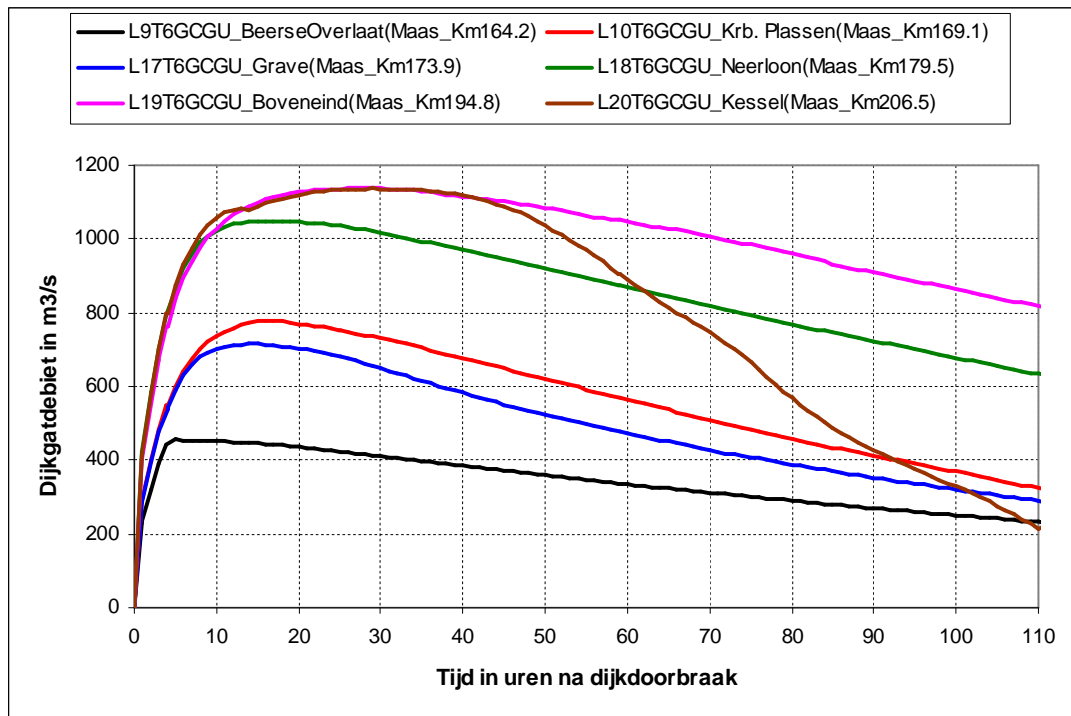
- In scenario's L9T6GCGU, L10T6GCGU en L17T6GCGU liggen op korte afstand achter het dijkgat verticale lijnelementen ten gevolge waarvan de instroming in het dijkgat al enkele uren na dijkdoorbraak onvolkomen wordt. Ook kan een relatief

klein volume water worden geborgen voordat deze verticale lijnelementen overstroomd, waarna het water verder dijkkring 36 instroomt. Het snel onvolkomen worden van de instroming en het geringe waterbergende volume, resulteert in een relatief minder snelle toename van het instroomdebiet direct na dijkdoorbraak. Deze minder snelle toename van het instroomdebiet resulteert in een minder steile afgeknotte benedenstroomse hoogwatergolf direct na dijkdoorbraak dan in scenario's L18T6GCGU, L19T6GCGU en L20T6GCGU. Voor scenario's L9T6GCGU, L10T6GCGU en L17T6GCGU geldt dat achter de verticale lijnelementen een groot overstroombaar gebied ligt waardoor het instroomdebiet slechts langzaam afneemt. In scenario L9T6GCGU is het maximum instroomdebiet en instroomvolume kleiner dan in scenario's L10T6GCGU en L17T6GCGU (zie Tabel 5-1). Scenario's L10T6GCGU en L17T6GCGU hebben vergelijkbare maximum instroomdebieten en instroomvolumen. Vanwege genoemde verschillen is enkele uren na dijkdoorbraak de afgeknotte hoogwatergolf in scenario L9T6GCGU minder steil is dan in scenario's L10T6GCGU en L17T6GCGU.

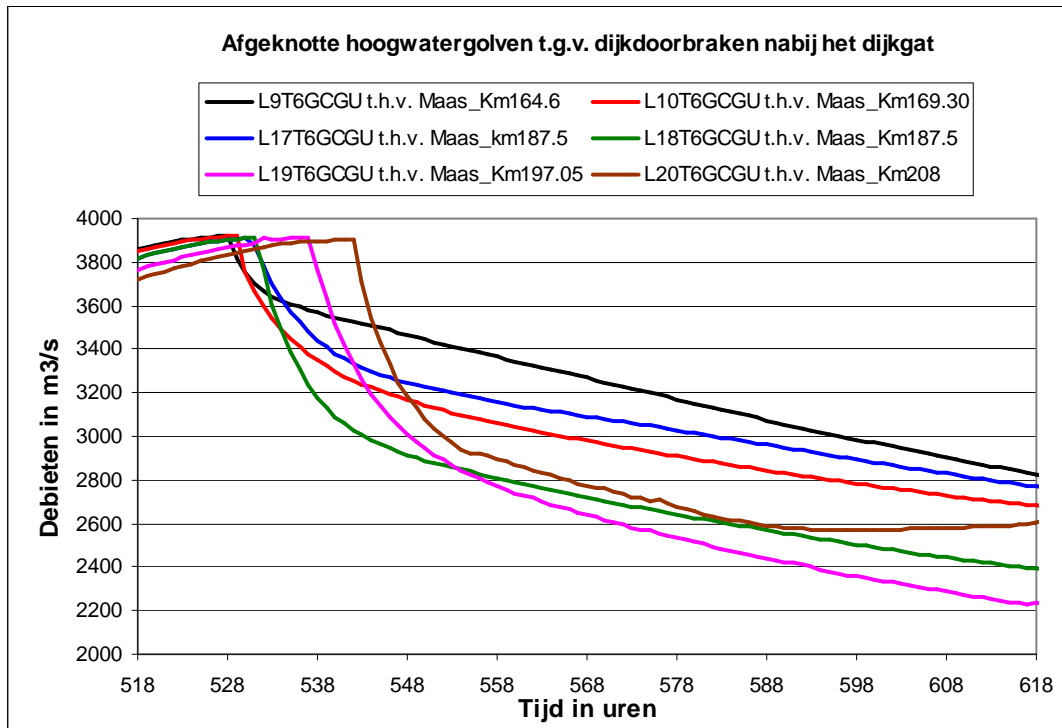
- In scenario L18T6GCGU wordt de instroming in het dijkgat ook al enkele uren na dijkdoorbraak onvolkomen ten gevolge van verticale lijnelementen gelegen achter dijkgatlocatie L18. Echter in scenario L18T6GCGU kan in tegenstelling tot scenario's L9T6GCGU, L10T6GCGU en L17T6GCGU een groter volume water worden geborgen voordat deze lijnelementen worden overstroomd. Tevens is in scenario L18T6GCGU het initiële verval over het dijkgat (en daarom ook het dijkgatdebiet) groter omdat het terrein direct achter dijkgatlocatie L18 in verhouding tot hoogwaterstanden relatief lager ligt dan in dijkgatlocatie L9, L10 en L17. Door het grotere waterbergende volume en initiële verval over het dijkgat kan in scenario L18T6GCGU het instroomdebiet direct na dijkdoorbraak sneller toenemen dan in scenario's L9T6GCGU, L10T6GCGU en L17T6GCGU. Als gevolg van deze sneller toename van het instroomdebiet is de L18T6GCGU afgeknotte benedenstroomse hoogwatergolf direct na dijkdoorbraak steiler dan de L9T6GCGU, L10T6GCGU en L17T6GCGU afgeknotte benedenstroomse hoogwatergolven,
- In scenario's L19T6GCGU en L20T6GCGU wordt de instroming in het dijkgat pas enkele dagen na dijkdoorbraak onvolkomen, waardoor het instroomdebiet veel sneller toeneemt dan in scenario's L18T6GCGU, L9T6GCGU, L10T6GCGU en L17T6GCGU. Deze snellere toename van het instroomdebiet in scenario's L19T6GCGU en L20T6GCGU resulteert in steilere afgeknotte benedenstroomse hoogwatergolven dan in scenario's L18T6GCGU, L9T6GCGU, L10T6GCGU en L17T6GCGU. In scenario L20T6GCGU wordt het instroomdebiet sneller onvolkomen en neemt sneller weer af dan in scenario L19T6GCGU. De voornaamste reden hiervoor is dat het overstroombare gebied (en daarom ook het ingestroomde volume) in scenario L20T6GCGU geringer is dan in scenario L19T6GCGU (zie ook Figuur 3-14 en Figuur 3-15).

Tabel 5-1 Karakteristieken van het dijkgatdebiet behorende bij doorbraken in linker Maasdijken langs dijkkring 36 (Land van Heusden/de Maaskant)

Scenario & Locatie	Instromingskarakteristieken		
	Onvolkomen instroming x uur na dijkdoorbraak	Maximum Instroomdebiet m ³ /s	Instroomvolume 10 ⁶ m ³
L9T6GCGU_BeerseOverlaat(Maas_Km164.2)	4	458	198
L10T6GCGU_Kraaijenb. Plassen(Maas_Km169.1)	8	777	274
L17T6GCGU_Grave(Maas_Km173.9)	6	715	298
L18T6GCGU_Neerloon(Maas_Km179.5)	7	1049	712
L19T6GCGU_Boveneind(Maas_Km194.8)	68	1138	671
L20T6GCGU_Kessel(Maas_Km206.5)	31	1137	329



Figuur 5-1 Verloop van het dijkgatdebiet ter hoogte voormalige Beerse Overlaat (L9), bij Kraaijenbergse Plassen (L10), Grave (L17), Neerloon (L18), Boveneind (L19) en Kessel (L20) indien de linker Maasdijk doorbreekt 6 uur voordat lokaal de hoogste waterstand wordt bereikt.



Figuur 5-2 Afgeknotte hoogwatergolven direct benedenstrooms van het dijkgat ten gevolge van dijkdoorbraken L9T6GCGU, L10T6GCGU en L17T6GCGU t/m L20T6GCGU

5.3.2 Voortplanting van het Verschil in de Maximum Waterstand

In deze paragraaf wordt de voortplanting van het verschil in de maximum waterstand (zie §4.1) geïnitieerd door dijkdoorbraken op locaties L9, L10, L17 t/m L20 geanalyseerd. Tabel 5-2 geeft per rivier traject zogenoemde “*alpha-factoren*”, gedefinieerd als de ratio van benedenstroomse dh_{Mx} en bovenstroomse dh_{Mx} ; waar dh_{Mx} het verschil is in de maximum waterstand (zie ook Tabel 4-1). In Figuur 5-3 zijn deze “*alpha-factoren*” grafisch weergegeven. Figuur 5-4 t/m Figuur 5-11 tonen afgeknotte Maashoogwatergolven respectievelijk ter hoogte van locatie voormalige Beerse Overlaat, Kraaijenbergse Plassen, Grave, L12&L18, Nieuwe Schans, Gewande en Hoenzadriel.

Indien linker Maasdijken doorbreken op locaties L9, L10 en L17 t/m L20 stroomt het ingestroomde Maaswater niet terug naar de Maas. Zoals al opgemerkt in §4.4 worden positieve effecten van systeemwerking groter in benedenstroomse richting onder de voorwaarde dat er géén terugstroming van bovenstrooms ingestroomd rivierwater plaatsvindt. De reden hiervoor is dat de topvervlakking van de referentiegolf geringer is dan de topvervlakking van de afgeknotte hoogwatergolf, welke ontstaat als gevolg van een dijkdoorbraak. Echter “*alpha-factoren*” (zie Tabel 5-2) in het Maastraject Hedikhuizen(Km225.8) – Drongelen(Km235) – Dussen(Km243.2) zijn kleiner zijn dan 1(één). Dit betekent echter niet dat in genoemd traject géén topvervlakking van afgeknotte hoogwatergolven optreedt. In Tabel 4-2 is te zien dat in genoemd traject de verschillen in het maximum debiet wel toenemen. Het feit dat verschillen in de maximum waterstand afnemen (c.q. “*alpha-factor*” < 1) komt doordat bij Dussen(Km243.2) een Q-h randvoorwaarde in het DelftFLS model (zie §2.3) is opgelegd. In een Q-h randvoorwaarde wordt het hysteresis effect niet meegenomen. Daarom worden in het riviertraject direct bovenstrooms van

Dussen te lage maximale hoogwaterstanden berekend. Dit geldt zowel voor de referentie hoogwatergolf als voor een afgeknotte hoogwatergolf. Daarom wordt in het riviertraject direct bovenstrooms van Dussen te kleine verschillen in de maximum waterstand berekend. Hoe verder bovenstrooms van een Q-h rand hoe geringer het hysteresis effect wordt. Dit is ook de reden waarom “*alpha-factoren*” in het riviertraject Hedikhuizen(Km225.8)–Drongelen(Km235) kleiner zijn dan in het riviertraject Drongelen(Km235)–Dussen(Km243.2). Rekeninghoudend met het hysteresis effect van de Q-h rand bij Dussen is besloten om in de analyse van de voortplanting van het verschil in de maximum waterstand het riviertraject van Hedikhuizen(Km225.8)–Dussen(Km243.2) buiten beschouwing te laten.

Linker Maasdijkdoorbraken bij locaties L9, L10 en L17 t/m L20 resulteren in significant verschillende “*alpha-factoren*” (zie Tabel 5-2). Per riviertraject hangt de grootte van een “*alpha-factor*” af van het onderlinge verschil in topvervlakking tussen de referentie hoogwatergolf en de afgeknotte hoogwatergolf. Per riviertraject wordt de mate van topvervlakking bepaald door de vorm (of steilheid) van de instromende hoogwatergolf en de hydraulische karakteristieken van het riviertraject (c.q. hydraulische ruwheden in zomerbed en winterbed; en verhouding bergend en stroomvoerend dwarsprofiel). Hoe steiler een hoogwatergolf, hoe groter de hydraulische ruwheid, en hoe groter het bergende dwarsprofiel in verhouding tot het stroomvoerend dwarsprofiel des te meer topvervlakking in een specifiek riviertraject kan optreden. Voor alle afgeknotte hoogwatergolven (c.q. verstoringen ten gevolge van dijkdoorbraken L9, L10 en L17 t/m L20) geldt dat deze zich sneller voortplanten dan de referentie hoogwatergolf. Met andere woorden het tijdsverschil tussen het optreden van de hoogste waterstand in de referentie hoogwatergolf en het optreden van de hoogste waterstand in de afgeknotte hoogwatergolven wordt in benedenstroomse richting steeds groter (zie Figuur 5-5 t/m Figuur 5-11).

In Tabel 5-2 zijn voor scenario LxT6GCGU géén “*alpha-factoren*” berekend, gebruikmakend van het verschil in de maximum waterstand van meetpunten liggend bovenstrooms van dijklocatie Lx. De reden hiervoor is dat bovenstrooms van het dijkgat een ander fysisch verschijnsel optreedt dan benedenstrooms van het dijkgat. Benedenstrooms van het dijkgat treedt topvervlakking op in de voortplanting van de LxT6GCGU afgeknotte hoogwatergolf, welke ter hoogte van dijkdoorbraaklocatie Lx wordt geïnitieerd. Bovenstrooms van het dijkgat treden waterstandverlagingen op ten gevolge van afzuiging ter plaatse van het dijkgat.

Hieronder worden per riviertraject de verschillen in “*alpha-factoren*” tussen dijkdoorbraakscenario’s L9T6GCGU, L10T6GCGU en L17T6GCGU t/m L20T6GCGU besproken (zie Tabel 5-2):

- In het Maastraject Km164.2-169.1 (Locatie voormalige Beerse Overlaat-Kraaienbergse Plassen) treedt slechts geringe topvervlakking op van de L9T6GCGU afgeknotte hoogwatergolf (zie Figuur 5-4 en Figuur 5-5). Daarom is de *alpha-factor* voor scenario L9T6GCGU relatief klein.

- In het Maastraject Km169.1-173.9 (Kraaijenbergse Plassen-Grave) treedt topvervlakking op in de uitwaarden tussen Overasselt en Nederasselt. Ter hoogte van Kraaijenbergse Plassen (Maas_Km169.10) is de L10T6GCGU afgeknotte hoogwatergolf steiler dan de L9T6GCGU afgeknotte hoogwatergolf (zie Figuur 5-5). Daarom is de topvervlakking van de L10T6GCGU afgeknotte hoogwatergolf groter dan de topvervlakking van de L9T6GCGU afgeknotte hoogwatergolf. Als gevolg van dit verschil in topvervlakking is de “*alpha-factor*” in scenario L10T6GCGU groter dan in scenario L9T6GCGU.
- In het Maastraject Km173.9-180 (Grave-L12&L18) treedt topvervlakking op in de uiterwaarden rondom dijkkring 36a (Keent). Ter hoogte van Grave (Maas_Km173.9) hebben de L10T6GCGU en L17T6GCGU afgeknotte hoogwatergolf vergelijkbare steilheid, welke steiler is dan de L9T6GCGU afgeknotte hoogwatergolf (zie Figuur 5-6). Als gevolg van het verschil in steilheid en de daaraan gerelateerde verschil in topvervlakking zijn de “*alpha-factoren*” in scenario L10T6GCGU en L17T6GCGU nagenoeg gelijk en tevens groter dan in scenario L9T6GCGU.
- In het Maastraject Km180-196.65 (L12&L18-Nieuwe Schans) treedt relatief veel topvervlakking op in de Loonse Waard, Niftrische Waarden, Liendensche Waarden en jachthaven de Gouden Ham. Ter hoogte van meetlocatie L12&L18 (Maas_Km180) hebben de L9T6GCGU en L10T6GCGU afgeknotte hoogwatergolf een vergelijkbare steilheid (zie Figuur 5-7). Het zelfde geldt min of meer voor de L17T6GCGU en L18T6GCGU afgeknotte hoogwatergolf (eerste uren na dijkdoorbraak). Als gevolg van de verschillen in steilheid en de daaraan gerelateerde verschillen in topvervlakking zijn de “*alpha-factoren*” in scenario L9T6GCGU en L10T6GCGU nagenoeg gelijk. Het zelfde geldt voor de “*alpha-factoren*” in scenario L17T6GCGU en L18T6GCGU.
- In het Maastraject Km196.65-213.4 (Nieuwe Schans-Gewande) treedt relatief veel topvervlakking op in de Alphense Waarden, de Lithse Ham, Boven-Drielsche Uiterwaard en in de uiterwaarden en plassen rondom dijkkring 39 (Alem). Ter hoogte van Nieuwe Schans (Maas_Km196.65) hebben de L9T6GCGU, L10T6GCGU en L17T6GCGU afgeknotte hoogwatergolf een vergelijkbare steilheid (zie Figuur 5-8). De L18T6GCGU afgeknotte hoogwatergolf is steiler dan de drie voorgenoemde afgeknotte hoogwatergolven. De L19T6GCGU afgeknotte hoogwatergolf is veel steiler dan de vier voorgenoemde afgeknotte hoogwatergolven. Als gevolg van de verschillen in steilheid en de daaraan gerelateerde verschillen in topvervlakking zijn: de “*alpha-factoren*” in scenario’s L9T6GCGU, L10T6GCGU en L17T6GCGU nagenoeg gelijk; is de “*alpha-factor*” in de scenario L18T6GCGU groter dan in de drie voorgenoemde scenario’s; en is “*alpha-factor*” in de scenario L19T6GCGU groter dan in de vier voorgenoemde scenario’s.
- Het Maastraject Km213.4-215.2 (Gewande-Hoenzadriel) is slechts 1.8 kilometer lang. Daarom treedt er in dit Maastraject géén noemenswaardige topvervlakking op (vergelijk Figuur 5-9 en Figuur 5-10). Daarom zijn de “*alpha-factoren*” in scenario’s L9T6GCGU, L10T6GCGU en L17T6GCGU t/m L20T6GCGU nagenoeg gelijk aan 1(één).

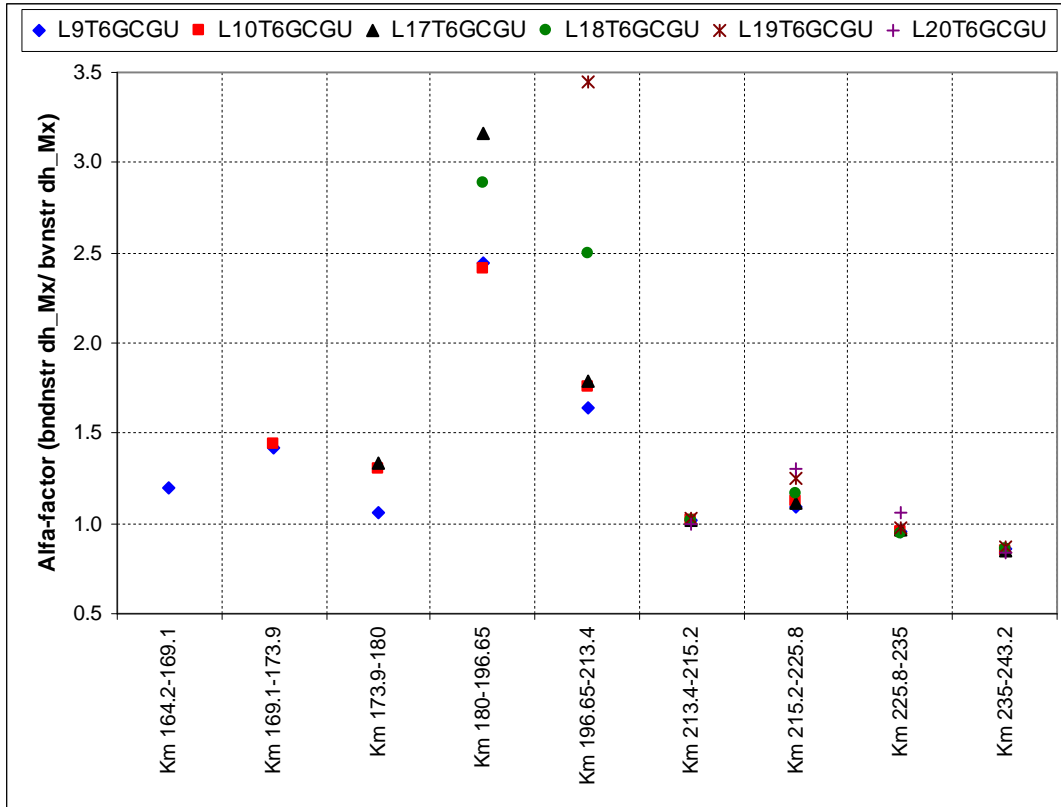
- In het Maastraject Km215.2-225.8 (Hoenzadriel-Hedikhuizen) treedt topvervlakking op ter hoogte van de Koornwaard, Bovenwaarden, Hedelsche Waard en Benedenwaarden. Ter hoogte van Hoenzadriel (Maas_Km215.2) hebben de L9T6GCGU, L10T6GCGU, L17T6GCGU en L18T6GCGU afgeknotte hoogwatergolf een vergelijkbare steilheid (zie Figuur 5-10). De L19T6GCGU afgeknotte hoogwater golf is steiler dan de vier voorgenoemde afgeknotte hoogwatergolven. De L20T6GCGU afgeknotte hoogwater golf is veel steiler dan de vijf voorgenoemde afgeknotte hoogwatergolven. Als gevolg van de verschillen in steilheid en de daaraan gerelateerde verschillen in topvervlakking zijn: de “*alpha-factoren*” in scenario’s L9T6GCGU, L10T6GCGU, L17T6GCGU en L18T6GCGU nagenoeg gelijk; is de “*alpha-factor*” in de scenario L19T6GCGU groter dan in de vier voorgenoemde scenario’s; en is “*alpha-factor*” in de scenario L20T6GCGU groter dan in de vijf voorgenoemde scenario’s.

Tabel 5-2 Alpha-factoren per riviertraject in scenario’s L9T6GCGU, L10T6GCGU en L17T6GCGU t/m L20T6GCGU afgeleid uit DelftFLS berekeningsresultaten.

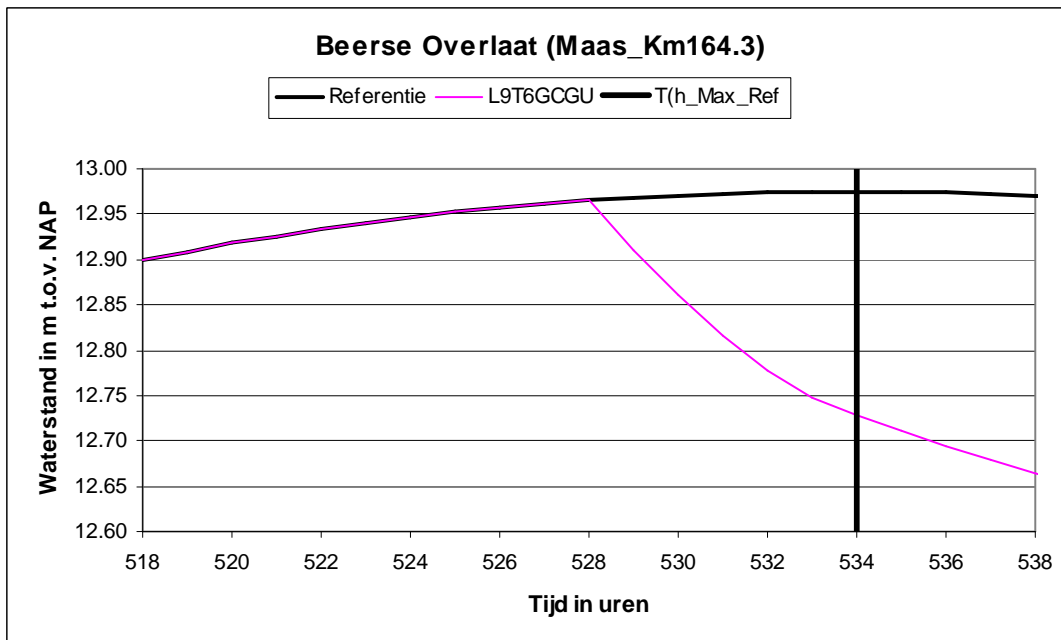
Meetlocatie	Rivier traject Maas km	Dijkdoorbraakscenario											
		L9T6GCGU		L10T6GCGU		L17T6GCGU		L18T6GCGU		L19T6GCGU		L20T6GCGU	
		dh_Mx	Alpha	dh_Mx	Alpha	dh_Mx	Alpha	dh_Mx	Alpha	dh_Mx	Alpha	dh_Mx	Alpha
Beerse Ovl		0.010											
	164.2-169.1		1.20										
K.Plassen		0.012		0.009									
	169.1-173.9		1.42		1.44								
Grave		0.017		0.013		0.009							
	173.9-180		1.06		1.31		1.33						
L12&L18		0.018		0.017		0.012		0.009					
	180-196.65		2.44		2.41		3.17		2.89				
N.Schans		0.044		0.041		0.038		0.026		0.009			
	196.65-213.4		1.64		1.76		1.79		2.50		3.44		
Gewande		0.072		0.072		0.068		0.065		0.031		0.013	
	213.4-215.2		1.01		1.01		1.01		1.02		1.03		1.00
Hoenzadriel		0.073		0.073		0.069		0.066		0.032		0.013	
	215.2-225.8		1.10		1.12		1.12		1.17		1.25		1.31
Hedikhuizen		0.080		0.082		0.077		0.077		0.040		0.017	
	225.8-235		0.95		0.95		0.96		0.95		0.97		1.06
Drongelen		0.076		0.078		0.074		0.073		0.039		0.018	
	235-243.2		0.86		0.85		0.85		0.86		0.87		0.83
Dussen		0.065		0.066		0.063		0.063		0.034		0.015	

Opmerkingen:

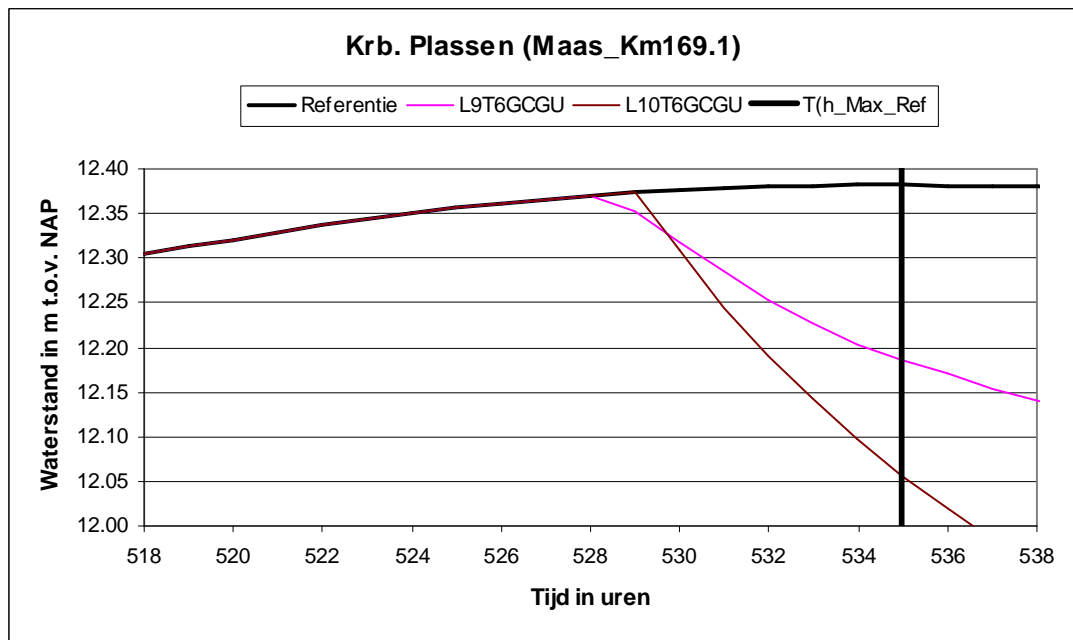
1. *dh_Mx*: het Verschil in Maximum Waterstand (§4.1) per meetlocatie en dijkdoorbraakscenario (zie Tabel 4-1)
2. *Alpha*: per rivier traject de ratio van benedenstroomse *dh_Mx* en bovenstroomse *dh_Mx*



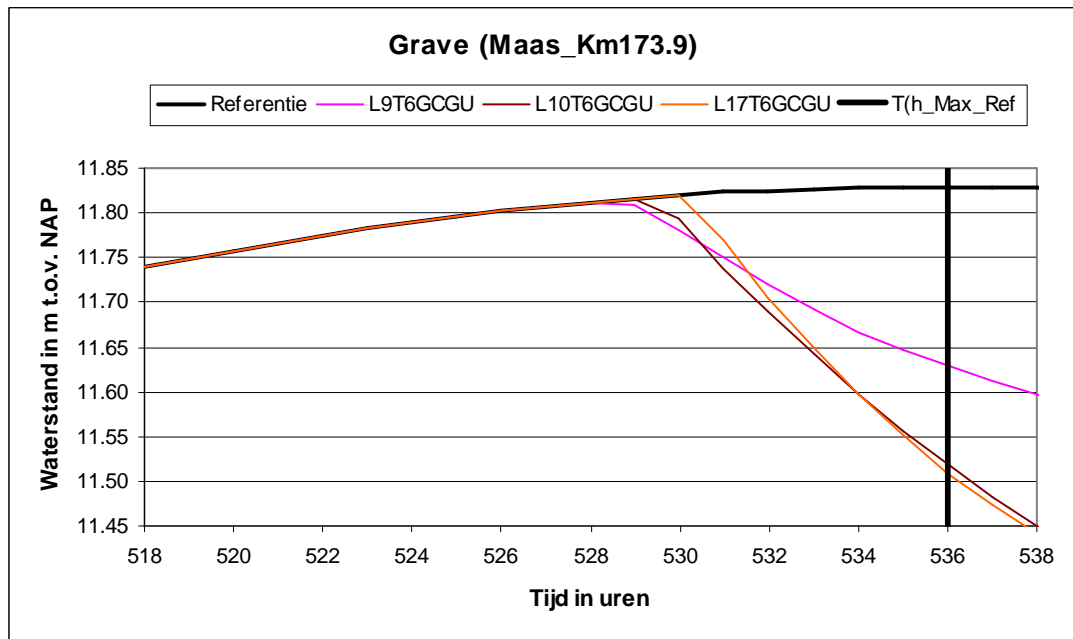
Figuur 5-3 Alfa-factoren (c.q. benedenstrooms dh_Mx / bovenstrooms dh_Mx; waarin dh_Mx het Verschil in de Maximum Waterstand, zie §4.1) per Maas traject in scenario's L9T6GCGU, L10T6GCGU en L17T6GCGU t/m L20T6GCGU



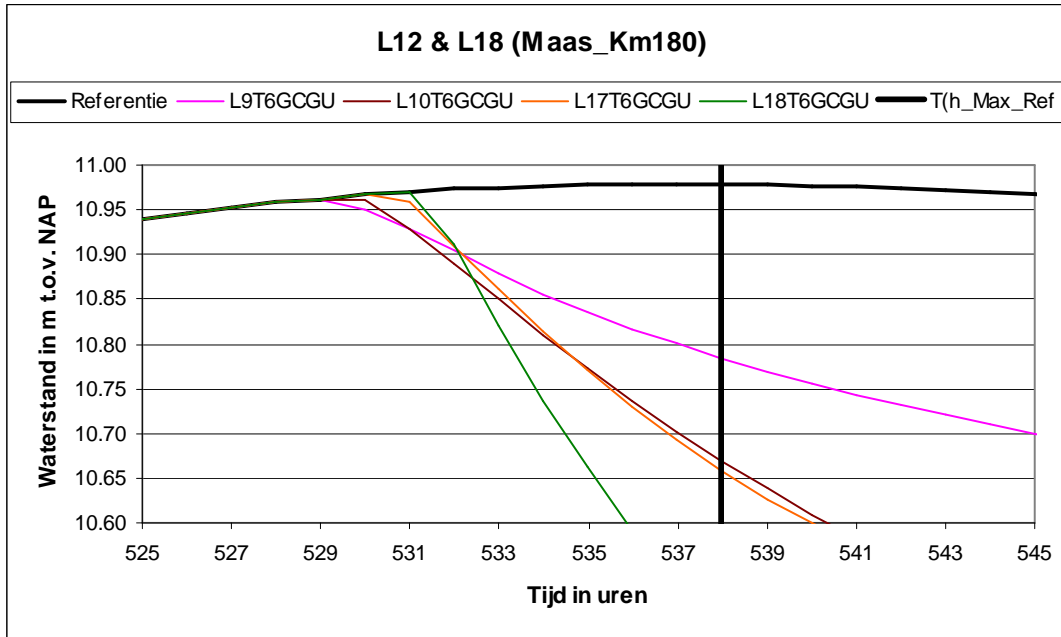
Figuur 5-4 Meetlocatie Locatie voormalige Beerse Overlaat (Maas_Km164.2): Referentie hoogwatergolf; afgeknotte hoogwatergolven in scenario L9T6GCGU; T(h_Max_Ref) is het tijdstip waarop in de referentie berekening ter hoogte van de voormalige Beerse Overlaat de hoogste waterstand wordt bereikt



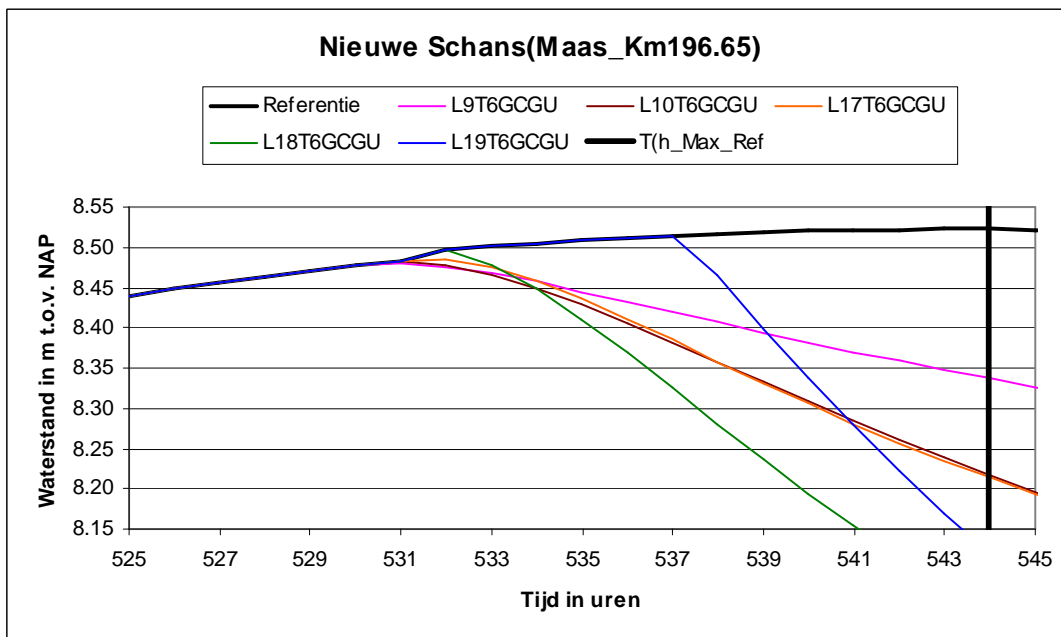
Figuur 5-5 Meetlocatie Kraaijensbergse Plassen (Maas_Km169.1): Referentie hoogwatergolf; afgeknotte hoogwatergolven in scenario's L9T6GCGU en L10T6GCGU; T(h_Max_Ref) is het tijdstip waarop in de referentie berekening bij Grave de hoogste waterstand wordt bereikt



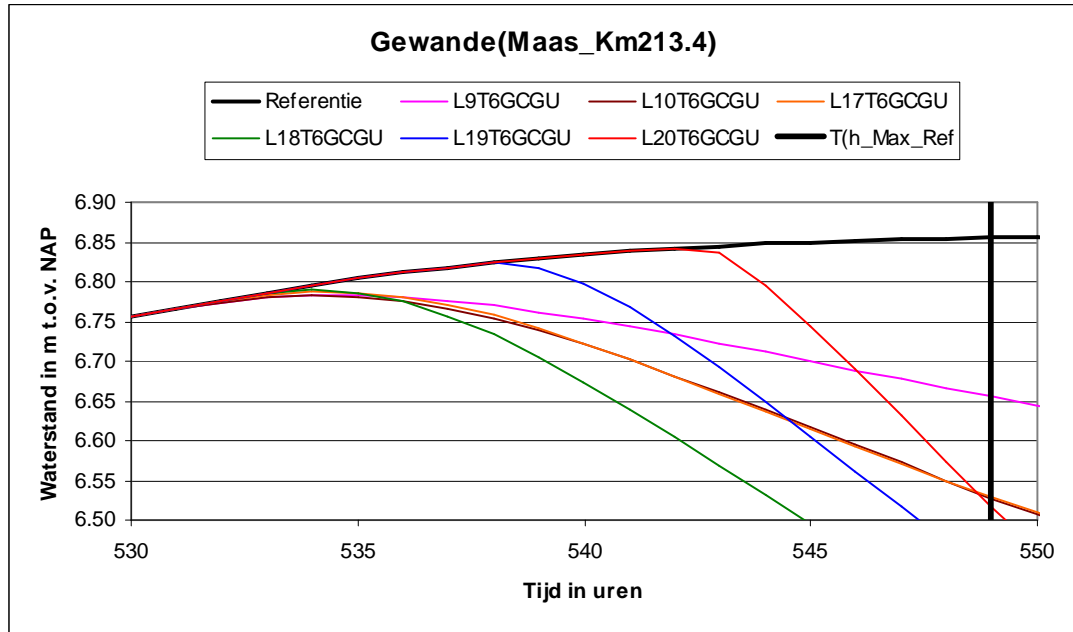
Figuur 5-6 Meetlocatie Grave (Maas_Km173.9): Referentie hoogwatergolf; afgeknotte hoogwatergolven in scenario's L9T6GCGU, L10T6GCGU en L17T6GCGU; T(h_Max_Ref) is het tijdstip waarop in de referentie berekening bij Grave de hoogste waterstand wordt bereikt



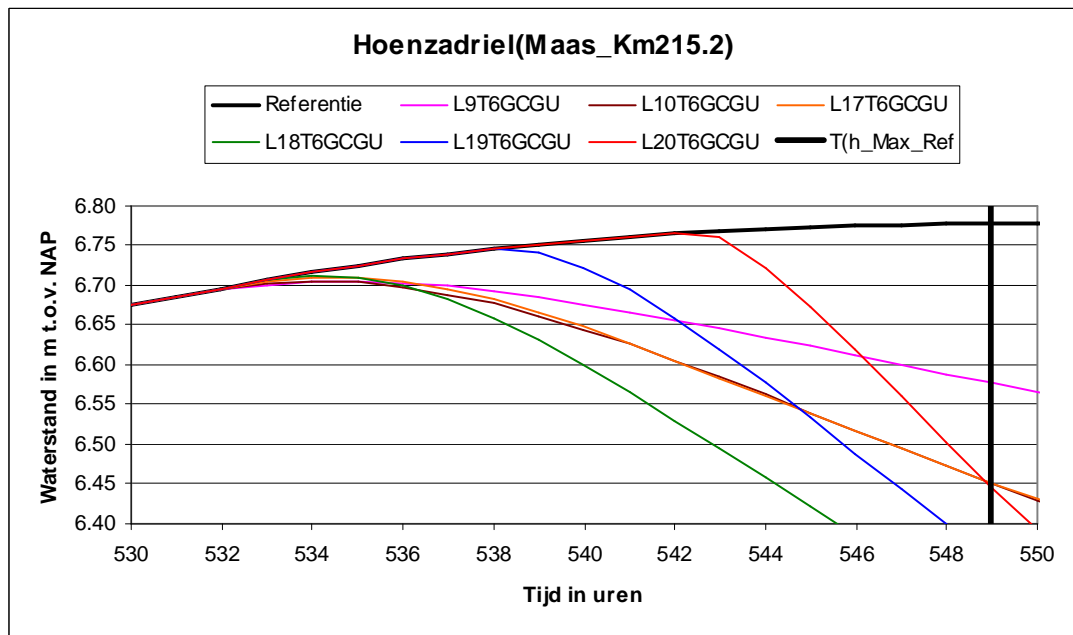
Figuur 5-7 Meetlocatie L12&L18 (Maas_Km180): Referentie hoogwatergolf; afgeknotte hoogwatergolven in scenario's L9T6GCGU, L10T6GCGU, L17T6GCGU en L18T6GCGU; T(h_Max_Ref) is het tijdstip waarop in de referentie berekening bij L12&L18 de hoogste waterstand wordt bereikt



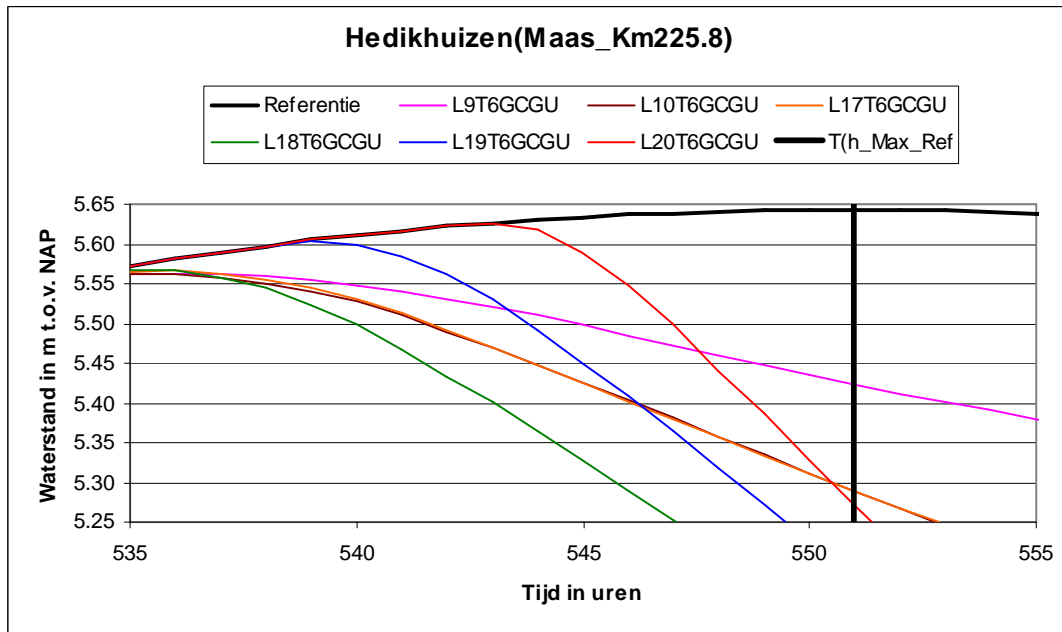
Figuur 5-8 Meetlocatie Nieuwe Schans (Maas_Km196.65): Referentie hoogwatergolf; afgeknotte hoogwatergolven in scenario's L9T6GCGU, L10T6GCGU en L17T6GCGU t/m L19T6GCGU; T(h_Max_Ref) is het tijdstip waarop in de referentie berekening bij Nieuwe Schans de hoogste waterstand wordt bereikt



Figuur 5-9 Meetlocatie Gewande (Maas_Km213.4): Referentie hoogwatergolf; afgeknotte hoogwatergolven in scenario's L9T6GCGU, L10T6GCGU en L17T6GCGU t/m L20T6GCGU; T(h_Max_Ref) is het tijdstip waarop in de referentie berekening bij Gewande de hoogste waterstand wordt bereikt



Figuur 5-10 Meetlocatie Hoenzadriel (Maas_Km215.2): Referentie hoogwatergolf; afgeknotte hoogwatergolven in scenario's L9T6GCGU, L10T6GCGU en L17T6GCGU t/m L20T6GCGU; T(h_Max_Ref) is het tijdstip waarop in de referentie berekening bij Hoenzadriel de hoogste waterstand wordt bereikt



Figuur 5-11 Meetlocatie Hedikhuizen Referentie hoogwatergolf; afgeknotte hoogwatergolven in scenario's L9T6GCGU, L10T6GCGU en L17T6GCGU t/m L20T6GCGU; T(h_Max_Ref) is het tijdstip waarop in de referentie berekening bij Hoenzadriël de hoogste waterstand wordt bereikt

5.3.3 In hoeverre zijn ruimtelijke generieke uitspraken mogelijk in geval van enkel positieve hydraulische systeemwerkingseffecten

In deze paragraaf wordt ingegaan op de vraag in hoeverre *ruimtelijke generieke uitspraken* voor verschillen in de maximum waterstand (zie §4.1) mogelijk zijn indien enkel positieve hydraulische systeemwerkingseffecten optreden en derhalve benedenstrooms van het dijkgat géén elders ingestroomd rivierwater op de rivier terugstroomt. Het een en ander geldt ook voor ruimtelijke generieke uitspraken voor verschillen in het maximum debiet.

Als volgt is een inschatting gemaakt in hoeverre ruimtelijke generieke uitspraken voor verschillen in de maximum waterstand mogelijk zijn:

1. Voor dijkdoorbraakscenario L10T6GCGU zijn alpha-factoren afgeleid (zie Tabel 5-3), waarbij gebruik is gemaakt van de L9T6GCGU en L17T6GCGU alpha-factoren, welke zijn afgeleid uit DelftFLS berekeningsresultaten (zie §5.3.2). In het eerste riviertraject is de L10T6GCGU alpha-factor gelijk aan de L9T6GCGU alpha-factor. In de overige riviertrajecten is de L10T6GCGU alpha-factor het gemiddelde van de L9T6GCGU en de L17T6GCGU alpha-factor.
2. Voor dijkdoorbraakscenario L19T6GCGU zijn op gelijke wijze alpha-factoren bepaald, gebruikmakende van de alpha-factoren voor scenario's L18T6GCGU en L20T6GCGU (zie Tabel 5-3).
3. Vervolgens zijn voor dijkdoorbraakscenario's L10T6GCGU en L19T6GCGU verschillen in de maximum waterstand berekend uitgaande van het initiële verschil in de maximum waterstand en de bovengenoemde alpha-factoren (zie Tabel 5-4).

Met betrekking tot de resultaten van de ruimtelijke generale uitspraken voor scenario's L10T6GCGU en L19T6GCGU (zie Tabel 5-4) kan het volgende worden opgemerkt. Voor scenario L10T6GCGU zijn de middels interpolatie (IP) en middels DelftFLS (FLS) bepaalde waarden voor verschillen in de maximum waterstand nagenoeg gelijk. Voor scenario L19T6GCGU is dit echter niet het geval. Dit kan als volgt verklaard worden:

1. Met betrekking tot de ruimtelijke interpolatie van de L10T6GCGU afgeknotte hoogwatergolf dient allereerst te worden opgemerkt dat het riviertraject (km164.2-173.9), waarover ruimtelijk is geïnterpoleerd slechts een lengte heeft van 9.7 km en dat in dit riviertraject relatief weinig topvervlakking optreedt (zie vijfde alinea in §5.3.2). De L9T6GCGU initiële afgeknotte hoogwatergolf is minder steil dan de L10T6GCGU initiële afgeknotte hoogwatergolf (zie Figuur 5-2). Bovendien treedt in de voortplanting van de L9T6GCGU afgeknotte hoogwatergolf over een lengte van 4.9 km (traject km164.2-169.1) meer topvervlakking op dan in de voortplanting van de L10T6GCGU afgeknotte hoogwatergolf. Ten gevolge hiervan zijn de L9T6GCGU alpha-factoren te klein om de voortplanting van de L10T6GCGU afgeknotte hoogwatergolf te beschrijven. De L17T6GCGU en L10T6GCGU initiële afgeknotte hoogwatergolf hebben een vergelijkbare steilheid. In de voortplanting van de L17T6GCGU afgeknotte hoogwatergolf treedt over een lengte van 4.8 km (riviertraject km169.1-173.9) minder topvervlakking op dan in de voortplanting van de L10T6GCGU afgeknotte hoogwatergolf. Ten gevolge hiervan zijn de L17T6GCGU alpha-factoren te groot voor de L10T6GCGU afgeknotte hoogwatergolf. Met uitzondering van het eerste riviertraject (km169.1-173.9) zijn de L10T6GCGU alpha-factoren het gemiddelde van de L9T6GCGU en de L17T6GCGU alpha-factoren. Doordat de L9T6GCGU alpha-factoren te klein zijn en de L17T6GCGU alpha-factoren te groot zijn, resulteert genoemde middeling in goede L10T6GCGU alpha-factoren en derhalve in goede schattingen voor verschillen in de maximum waterstand (zie Tabel 5-4).
2. Met betrekking tot de ruimtelijke interpolatie van de L19T6GCGU afgeknotte hoogwatergolf dient allereerst te worden opgemerkt dat het riviertraject (km180-213.4), waarover ruimtelijk is geïnterpoleerd een lengte heeft van 33.4 km en dat in dit riviertraject relatief veel topvervlakking optreedt (zie vijfde alinea in §5.3.2). De L18T6GCGU initiële afgeknotte hoogwatergolf is slechts ietsje minder steil dan de L19T6GCGU afgeknotte hoogwatergolf (zie Figuur 5-2). Verder treedt in de voortplanting van de L18T6GCGU afgeknotte hoogwatergolf over een lengte van 16.65 km (traject km180-196.65) meer topvervlakking op dan in de voortplanting van de L19T6GCGU afgeknotte hoogwatergolf. In genoemd riviertraject (km180-196.65) treedt relatief veel topvervlakking op. Ten gevolge hiervan zijn de L18T6GCGU alpha-factoren beduidend te klein voor de L19T6GCGU afgeknotte hoogwatergolf. De L19T6GCGU en L20T6GCGU initiële afgeknotte hoogwatergolf hebben een vergelijkbare steilheid. In de voortplanting van de L20T6GCGU afgeknotte hoogwatergolf treedt over een lengte van 16.75 km (riviertraject km196.65-213.4) minder topvervlakking op dan in de voortplanting van de L19T6GCGU afgeknotte hoogwatergolf. Ten gevolge hiervan zijn de L20T6GCGU alpha-factoren te groot voor de L19T6GCGU afgeknotte hoogwatergolf. In het eerste riviertraject (km196.65-213.4) is de L19T6GCGU alpha-factor gelijk aan de L18T6GCGU alpha-factor, welke beduidend te klein is. In de overige riviertrajecten zijn de L18T6GCGU alpha-factoren ook te klein, echter deze worden in het eerder genoemde middelingproces gecompenseerd door de te grote

L20T6GCGU alpha-factoren. Het middelingproces resulteert in redelijke L19T6GCGU alpha-factoren voor de overige riviertrajecten. Echter omdat in het eerste rivier traject de L19T6GCGU alpha-factor beduidend te klein is, zijn de geschatte verschillen in de maximum waterstand significant (en systematisch) te klein (zie Tabel 5-4). Indien enkel voor de L19T6GCGU alpha-factor in het eerste riviertraject een waarde van 3.44 (c.q. waarde conform DelftFLS, zie Tabel 5-2) wordt toegepast dan worden middels interpolatie (IP) en middels DelftFLS (FLS) bepaalde waarden voor verschillen in de maximum waterstand nagenoeg gelijk.

Afwijkingen tussen middels interpolatie (IP) en middels DelftFLS (FLS) bepaalde waarden voor verschillen in de maximum waterstand zullen groter zijn:

1. naarmate het riviertraject waarover ruimtelijk wordt geïnterpoleerd langer is,
2. naarmate er meer topvervlakking optreedt in het riviertraject waarover ruimtelijk wordt geïnterpoleerd, en
3. naarmate de steilheid van de initiële afgeknotte hoogwatergolven, waartussen ruimtelijk wordt geïnterpoleerd, onderling meer verschillend zijn.

Het bovenstaande in achtnemende wordt gesteld dat ruimtelijke generale uitspraken mogelijk zijn (zie ook Tabel 5-4) indien enkel positieve hydraulische systeemwerkingseffecten optreden en derhalve benedenstreams van het dijkgat géén elders ingestroomd rivierwater op de rivier terugstroomt. Echter er kan géén standaard afstand worden gedefinieerd waarover ruimtelijke interpolatie tot acceptabele resultaten leidt. Per riviertraject zal moeten worden nagegaan wat een acceptabele afstand is waarover ruimtelijke generale uitspraken mogelijk zijn.

Het maken van ruimtelijke generale uitspraken voor verschillen in de maximum waterstand zou men als volgt kunnen doen:

1. Bepaling van het initiële verschil in de maximum waterstand ter hoogte van de dijkdoorbraaklocatie. Dit verschil is per definitie gelijk aan de maximum waterstand van de ongestoorde hoogwatergolf (c.q. hoogwatergolf in geval van géén dijkdoorbraak) minus de rivierwaterstand ten tijde van dijkdoorbraak.
2. Bepaling van het verloop van het dijkgatdebiet en initiële afgeknotte (rivier) hoogwatergolf ter hoogte van het dijkgat. Voor Nederlandse situaties is vooral het dijkgatdebietverloop in de eerste uren/dag(en) na dijkdoorbraak van belang. Dit dijkgatdebietverloop kan worden bepaald met een lokaal hydrodynamisch model of worden geschat op basis van de ongestoorde hoogwatergolf, karakteristieken van het bresgroeiproces, en de hydraulische eigenschappen van het binnendijkse gebied achter het dijkgat. Gecontroleerd dient te worden of rivierwaterstanden na dijkdoorbraak hoger worden dan de rivierwaterstand ten tijde van dijkdoorbraak. Dit kan voorkomen indien het bergende vermogen van het gebied achter het dijkgat te gering is in verhouding tot het volume water in de ongestoorde hoogwatergolf. In alle tot nu toe gemaakte dijkdoorbraakberekeningen (huidige studie; Van Mierlo, 2005; en Garcia, 2006) heeft zich zo'n situatie niet voorgedaan.
3. Bepaling/schatting van de “alpha-factor” per riviertraject behorende bij de initiële afgeknotte hoogwatergolf. Alpha-factoren zijn afhankelijk van de topvervlakking van de ongestoorde hoogwatergolf en de topvervlakking van de initiële afgeknotte hoogwatergolf. De mate van topvervlakking hangt af van de hydraulische karakteristieken van het riviertraject en de vorm (c.q. steilheid) van de instromende hoogwatergolf (zie §5.3.2). Alpha-factoren per riviertraject kunnen worden geschat op basis van vergelijkbare instromende afgeknotte hoogwatergolven. Alpha-factoren

kunnen ook worden bepaald door de voortplanting van een initiële afgeknotte hoogwatergolf te berekenen met een (1D) hydrodynamische rivier model, waarin geen dijkkringen zijn opgenomen. Feitelijk zijn dan géén ruimtelijke uitspraken meer nodig. Het verschil in de maximum waterstand kan dan immers worden bepaald uit de lokale maximum waterstand van de ongestoorde hoogwatergolf en de berekende lokale maximum waterstand van de initiële afgeknotte hoogwatergolf. Ook kan men overwegen om middels een (1D) hydrodynamisch rivier model een database van alpha-factoren op te bouwen voor diverse mogelijke dijkdoorbraaklocaties, bresgroeiscenario's en hydraulische randvoorwaarden. Gebruikmakende van zo'n database kan men vervolgens een schatting maken voor de benodigde alpha-factoren.

4. Bepaling van het verschil in de maximum waterstand. Per meetlocatie kan het verschil in de maximum waterstand worden berekend gebruikmakend van het initiële verschil in de maximum waterstand en de geschatte “alpha-factoren” per riviertraject (c.q. conform de methode gehanteerd in Tabel 5-4).

Tabel 5-3 Geïnterpoleerde alpha-factoren voor scenario's L10T6GCGU en L19T6GCGU.

Rivier traject		Alpha-factoren per dijkdoorbraakscenario					
Plaatsnamen	Maas km	L9T6 GCGU	L10T6 GCGU ¹⁾	L17T6 GCGU	L18T6 GCGU	L19T6 GCGU ²⁾	L20T6 GCGU
Beerse Ovl-K.Plassen	164.2-169.1	1.20					
K.Plassen-Grave	169.1-173.9	1.42	1.42				
Grave-L12&L18	173.9-180	1.06	1.20	1.33			
L12&L18-N.Schans	180-196.65	2.44	2.81	3.17	2.89		
N.Schans-Gewande	196.65-213.4	1.64	1.71	1.79	2.50	2.50	
Gewande-Hoenzadriel	213.4-215.2	1.01	1.01	1.01	1.02	1.01	1.00
Hoenzadriel-Hedikhuizen	215.2-225.8	1.10	1.11	1.12	1.17	1.24	1.31
Hedikhuizen-Drongelen	225.8-235	0.95	0.96	0.96	0.95	1.00	1.06
Drongelen-Dussen	235-243.2	0.86	0.85	0.85	0.86	0.85	0.83

Opmerkingen:

1. Alpha factoren voor scenario's L9T6GCGU, L17T6GCGU, L18T6GCGU en L20T6GCGU zijn afgeleid uit DelftFLS berekeningsresultaten (zie Tabel 5-2).
2. Voor het eerste riviertraject is de L10T6GCGU alpha-factor gelijk aan de L9T6GCGU alpha-factor; voor overige riviertrajecten is de L10T6GCGU alpha-factor het gemiddelde van de L9T6GCGU en L17T6GCGU alpha-factor.
3. Voor het eerste riviertraject is de L19T6GCGU alpha-factor gelijk aan de L18T6GCGU alpha-factor; voor overige riviertrajecten is de L19T6GCGU alpha-factor het gemiddelde van de L18T6GCGU en L20T6GCGU alpha-factor.

Tabel 5-4 Verschillen in de Maximum Waterstand (zie §4.1) voor scenario's L10T6GCGU en L19T6GCGU zoals berekend door DelftFLS en zoals berekend gebruikmakende van geïnterpoleerde alpha-factoren (zie Tabel 5-3)

		Verschillen in de Maximum Waterstand (zie §4.1)					
Meet-locatie	Rivier traject	L10T6GCGU			L19T6GCGU		
	Maas km	IP ¹ m	FLS ² m	FLS - IP m	IP ¹ m	FLS ² m	FLS - IP m
Beerse Ovl							
	164.2-169.1						
K.Plassen		0.009					
	169.1-173.9	1.42					
Grave		0.013	0.013	0.000			
	173.9-180	1.20					
L12&L18		0.015	0.017	0.002			
	180-196.65	2.81					
N.Schans		0.043	0.041	-0.002	0.009		
	196.65-213.4	1.71			2.50		
Gewande		0.073	0.072	-0.001	0.023	0.031	0.008
	213.4-215.2	1.01			1.01		
Hoenzadriel		0.074	0.073	-0.001	0.023	0.032	0.009
	215.2-225.8	1.11			1.24		
Hedikhuizen		0.082	0.082	0.000	0.028	0.040	0.012
	225.8-235	0.96			1.00		
Drongelen		0.079	0.078	-0.001	0.028	0.039	0.011
	235-243.2	0.85			0.85		
Dussen		0.067	0.066	-0.001	0.024	0.034	0.010

Opmerkingen:

1. IP = het Verschil in de Maximum Waterstand (zie §4.1) berekend op basis van geïnterpoleerde alpha-factoren (zie Tabel 5-3)
2. FLS = door DelftFLS berekend Verschil in de Maximum Waterstand (zie §4.1)

5.4 Zijn Ruimtelijke Generale Uitspraken mogelijk indien negatieve hydraulische systeemwerking optreedt?

Indien behalve positieve ook negatieve hydraulische systeemwerkingseffecten optreden, hangt de toepasbaarheid van ruimtelijke generale uitspraken af van:

- de aspecten opgesomd in vierde alinea van §5.3.3, en
- de mate waarin de dijkdoorbraken, waartussen wordt geïnterpoleerd, resulteren in ruimtelijk vergelijkbare cascaderwerking, waarmee vooral wordt bedoeld het proces van doorstromen van ingestroomd rivierwater naar andere riviertrajecten.

Ruimtelijke generale uitspraken tussen dijkdoorbraaklocaties, welke aan *verschillende* (primaire) dijktringen grenzen, zijn niet mogelijk indien negatieve hydraulische systeemwerkingseffecten optreden. Deze uitspraak wordt hierna onderbouwd met de hydraulische systeemwerkingseffecten, welke op de Maas optreden (zie Tabel 5-5) ten gevolge van linker Waaldijkdoorbraken bij Weurt (L5), Heerwaarden (L15) en Hurwenen (L16):

1. Bij een dijkdoorbraak bij Weurt (L5) stroomt in dijkkring 41 (Land van Maas en Waal) ingestroomd Waalwater door naar de Maas (zie §3.1). Bij een dijkdoorbraak bij Heerwaarden (L15) stroomt in dijkkring 40 (Heerwaarden) ingestroomd

Waalwater ook door naar de Maas (zie §3.10). In scenario L15T6GCGU zijn de negatieve hydraulische systeemwerkingseffecten op de Maas (zie Tabel 4-1) ondanks het geringere maximale dijkgatdebiet (zie Tabel 4-2) groter dan in scenario L5T6GCGU. Dit komt doordat het waterbergende vermogen van dijkkring 40 (Heerewaarden) aanzienlijk kleiner is dan het waterbergende vermogen van dijkkring 41 (Land van Maas en Waal). Kortom een ruimtelijke generale uitspraak voor hydraulische systeemwerkingseffecten op de Maas, gebruikmakende van berekeningsresultaten voor dijkdoorbraakscenario's L5T6GCGU en L15T6GCGU is niet zinvol.

2. In een dijkdoorbraak bij Hurwenen (L16) stroomt in dijkkring 38 (Bommelerwaard) ingestroomd Waalwater niet door naar de Maas (zie §3.11); derhalve zijn er ook géén hydraulische systeemwerkingseffecten op de Maas. Kortom een ruimtelijke generale uitspraak voor hydraulische systeemwerkingseffecten op de Maas, gebruikmakende van berekeningsresultaten voor dijkdoorbraakscenario's L16T6GCGU en L5T6GCGU (of L15T6GCGU) is niet zinvol.

Ruimtelijke generale uitspraken tussen dijkdoorbraaklocaties, welke aan *dezelfde* (primaire) dijkkring grenzen en tevens vergelijkbare cascaderwerking hebben, worden wel mogelijk geacht ook indien negatieve hydraulische systeemwerkingseffecten optreden. Van Mierlo (2005) geeft berekeningsresultaten voor linker Waaldijkdoorbraken bij Weurt (L5) en Wamel (L6), waarbij Waalwater een niet gecompartmenteerde dijkkring 41 (Land van Maas en Waal) instroomt en vervolgens over nagenoeg dezelfde rechter Maasdijken (c.q. vergelijkbare cascaderwerking) doorstroomt naar de Maas. Ten gevolge van een dijkdoorbraak bij Weurt (Waal_Km889.4) en bij Wamel (Waal_Km911.5) stroomt respectievelijk een maximum debiet van 2.000 m³/s en 1.800 m³/s naar de Maas. Dit verschil van 200 m³/s is het gevolg van het feit dat waterstanden op de Waal bij Wamel lager zijn dan bij Weurt, zodat ook het verhang richting overstroomde Maasdijken bij een dijkdoorbraak bij Wamel geringer is dan bij een dijkdoorbraak bij Weurt. Genoemde Waalwaterstanden hangen enkel af van de betreffende Waalhoogwatergolf en de hydraulische karakteristieken van het 32.1 km lange Waaltraject van Weurt naar Wamel. Derhalve wordt het mogelijk geacht om negatieve hydraulische systeemwerkingseffecten op de Maas te schatten voor een linker Waaldijkdoorbraak gelegen tussen Weurt en Wamel, gebruikmakende van berekeningsresultaten voor een dijkdoorbraak bij Weurt en Wamel. Kortom ruimtelijke generale uitspraken voor negatieve hydraulische systeemwerkingseffecten zijn mogelijk indien dijkdoorbraaklocaties aan dezelfde (primaire) dijkkring grenzen en er vergelijkbare cascaderwerking optreedt. In geval van een gecompartmenteerde dijkkring zullen de dijkdoorbraaklocaties moeten grenzen aan het zelfde gecompartmenteerde dijkkringgebied opdat vergelijkbare cascaderwerking kan optreden. Echter, evenals voor enkel positieve hydraulische systeemwerking, kan er géén standaard afstand worden gedefinieerd waarover ruimtelijke generale uitspraken mogelijk zijn indien ook negatieve hydraulische systeemwerkingseffecten optreden. Per riviertraject zal moeten worden nagegaan wat een acceptabele afstand is waarover ruimtelijke generale uitspraken mogelijk zijn.

Tabel 5-5 Verschillen in Maximum Waterstand op de Maas (zie Tabel 4-1) ten gevolge van Linker Waaldijkdoorbraken bij Weurt (L5), Heerewaarden (L15) en Hurwenen (L16)

Dijkdoorbraak locatie	Verschillen in de Maximum Waterstand Referentie berekening minus Dijkdoorbraakberekening		
	L5	L15	L16
Aangrenzende (primaire) dijkkring	Land van Maas en Waal (dijkkring 41)	Heerewaarden (dijkkring 40)	Bommelerwaard (dijkkring 38)
Referentie berekening	GD	GD	GD
Dijkdoorbraak berekening	L5T6GCGU	L15T6GCGU	L16T6GCGU
MeetLocatie	m	m	m
<i>Maas</i>			
Groeningen, Maas_Km142	0.00	0.00	0.00
Gennep, Maas_Km155.3	0.00	0.00	0.00
L9 BeerseO, Maas_Km164.20	0.00	0.00	0.00
L10 K.Plassen, Maas_Km169.1	0.00	-0.01	0.00
L17 Grave, Maas_Km173.9	0.00	-0.03	0.00
L12 & L18, Maas_Km180	0.00	-0.09	0.00
L14 N.Schans, Maas_Km196.65	-0.51	-0.58	0.00
Gewande, Maas_Km213.4	-0.97	-1.07	0.00
L13 Hoenzadrl, Maas_Km215.2	-0.96	-1.06	0.00
L11 Hedikhzn, Maas_Km225.8	-0.90	-0.94	0.00
Drongelen, Maas_Km235	-0.82	-0.86	0.00
Dussen, Maas_Km243.2	-0.69	-0.72	0.00

5.5 Samenvatting

Van Mierlo (2005) en Garcia (2006) hebben aangetoond dat in het bovenrivierengebied van de Rijntakken generale uitspraken voor hydraulische systeemwerkingseffecten mogelijk zijn indien per dijkdoorbraaklocatie de karakteristieken van het dijkdoorbraakproces worden gevarieerd.

In de huidige studie is aangetoond dat langs de bedijkte Maas en het bovenrivierengebied van de Rijntakken ruimtelijke generale uitspraken (c.q. tussen twee dijkdoorbraaklocaties) onder de volgende voorwaarden mogelijk zijn:

- *In geval van enkel positieve hydraulische systeemwerkingseffecten:*
 1. De topvervlakking in het riviertraject, gelegen tussen twee dijkdoorbraaklocaties, mag niet te groot zijn. De topvervlakking in een riviertraject is een functie van de lengte van het riviertraject en de mate van topvervlakking per rivierkilometer.
 2. Het verschil in steilheid van de “initiële” afgeknotte hoogwatergolven, welke ter plaatse van de twee dijkdoorbraaklocaties worden geïnduceerd, mag niet te groot zijn.
- *In geval ook negatieve hydraulische systeemwerkingseffecten optreden:*
 1. Voldaan moet worden aan de twee hierboven genoemde voorwaarden; dit ten behoeve van interpolatie van positieve hydraulische systeemwerkingseffecten.
 2. De twee dijkdoorbraaklocaties moeten grenzen aan dezelfde (primaire) dijkkring en resulteren in vergelijkbare cascaderwerking (c.q. doorstroming van ingestroomd rivierwater naar ander riviertrajecten), en

3. In geval van een gecompartmenteerde dijkkring moet gelden dat de twee dijkdoorbraaklocaties aan het zelfde gecompartmenteerde dijkkringgebied grenzen en resulteren in vergelijkbare cascadowerking.

Per riviertraject zal moeten worden nagegaan wat de lengte is waarover acceptabele ruimtelijke generale uitspraken mogelijk zijn.

Voor de volledigheid moet worden opgemerkt dan in dit hoofdstuk enkel is gekeken naar de benedenstroomse voorplanting van “initiële” afgeknotte hoogwatergolven, welke ter plaatse van een dijkdoorbraaklocatie wordt geïnduceerd. Naar hydraulische systeemwerkingseffecten ten gevolge van afzuiging bovenstrooms van het dijkgat is niet gekeken. Dit is niet gebeurd omdat hiervoor géén (relevante) data beschikbaar was:

1. In de linker Maasdijkdoorbraakscenario's L9T6GCGU, L10T6GCGU en L17T6GCGU t/m L20T6GCGU is de afzuiging bovenstrooms van het dijkgat verwaarloosbaar (zie Tabel 4-1),
2. Enkel rechter Waaldijkdoorbraakscenario L5T6GCGU (Weurt) ligt voldoende dicht bij de Pannerdensch Kop om de bovenrijnafvoerdeling te beïnvloeden en derhalve positieve hydraulische systeemwerkingseffecten ten gevolge van afzuiging op Nederrijn-Lek, Pannerdensch Kanaal en IJssel te bewerkstelligen. Rechter Waaldijkdoorbraakscenario L15T6GCGU (Heerewaarden) en L16T6GCGU (Hurwenen) liggen te ver verwijderd van de Pannerdensch Kop om genoemde hydraulische systeemwerkingseffecten te bewerkstelligen (zie Tabel 4-1). In ruimtelijke generale uitspraken zal met dit afvoerdeling aspect rekening gehouden moeten worden

Echter gesteld kan worden dat naar verwachting ruimtelijke generale uitspraken voor bovenstrooms van het dijkgat optredende hydraulische systeemwerkingseffecten mogelijk zullen zijn.

6 Literatuur

- Aanpassingen golfvormgenerator in opdracht van RWS/RIZA, Lelystad, HKV Lijn in Water, sept 2004.
- Diermanse, F.L.M., Van Vuren, W., Het samenvallen van pieken op Rijn en Maas in het benedenriviergebied, WL memo aan Edwin Snippen en Gerard Blom (RIZA Dordrecht), 4 april 2002
- Garcia, Silvia M.H., MSc Thesis (WSE-HERBD-06.13), UNESCO-IHE, Institute for Water Education, April 2006.
- Hydraulische Randvoorwaarden 2001 voor het toetsen van primaire waterkeringen, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee / RIKZ, Dienst Weg- en Waterbouwkunde, Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling / Riza, December 2001.
- Lammersen, R., Grensoverschrijdende effecten van extreem hoogwater op de Niederrhein, Eindrapport, juli 2004, ISBN 9036956390.
- Slomp, R.M., Geerse, C.P.M. en Deugd, H. de, Onderbouwing hydraulische randvoorwaarden 2001 voor het benedenrivierengebied., mei 2005, RIZA-rapport 2002.017, ISBN 9036954371.
- Slomp, R.M., Decimeringshoogten Meren, Bovenrivieren, Benedenrivieren, Vecht en IJsseldelta, Rijkswaterstaat RIZA, Werkdocument 2006.085x, juni 2006.
- Stijnen, J.W. Gemaakte berekeningen voor rampenbeheersing (RBSO), HKV Lijn in Water , 2005.
- Van den Bosch, P., Bepaling aantal met noodmaatregelen te versterken dijken in 2015, Verslag projectuitvoering, A1475, Alkyon.
- Van Mierlo, M.C.L.M., Vrouwenvelder, A.C.W.M.; Calle, E.O.F., Vrijling, J.K.; Jonkman, S.N., De Bruijn, K.M.; Weerts, A.H., Assessment of flood risk accounting for river system behaviour, Intl. J. River Basin Management Vol. 5, No. 2 (2007) pp 1-12.
- Van Mierlo, Verkenning van systeemwerking in Nederland, WL rapport Q4309, december 2006b
- Van Mierlo, Verkenning van systeemwerking in het bovenrivierengebied van de Rijntakken, WL rapport Q4019, December 2005.
- Van Mierlo, M.C.L.M., Vrouwenvelder, A.C.W.M.; Calle, E.O.F., Vrijling, J.K.; Jonkman, S.N., De Bruijn, K.M.; Weerts, A.H. (2003), Effects of River System Behaviour on Flood Risk, Delft Cluster Project nr. DC 02.01.01. (<http://www.library.tudelft.nl/delftcluster> *Risk due to flooding*).

A Overzicht van digitale databestanden

In deze Appendix wordt een overzicht gegeven van de digitale data die op een DVD aan RIZA ter beschikking is gesteld in het kader van het onderhavige project. Hieronder is een onderscheid gemaakt tussen overstromingsfilmpjes en overige digitale data:

A.1 Overstromingsfilmpjes

De overstromingsfilmpjes van de diverse dijkdoorbraakberekeningen zijn opgenomen in de HIS Scenario Viewer. In Tabel A-1 is de codering van overstromingsfilmpjes in de HIS Scenario Viewer gegeven.

Tabel A-1 Codering van overstromingsfilmpjes in de HIS Scenario Viewer

Code His Viewer	Rapport Codering en Omschrijving van de DelftFLS berekeningen			
	Code	Dijkdoorbraaklocatie en Tijdstip dijkdoorbraak		Compartimentering/Uitlaatwerk
01_RM	L5T6GCGU	L5: Weurt, Waal_Km889.4, linker Waaldijk	6	Géén compart, géén uitlaatwerk
02_RM	L9T6GCGU	L9: Locatie van de voormalige Beerse Overlaat ¹⁾ , Maas_km164.2, linker Maasdijk,	6	Géén compart, géén uitlaatwerk
03_RM	L9T6C4GU	L9: Locatie van de voormalige Beerse Overlaat ¹⁾ , Maas_km164.2, linker Maasdijk,	6	C4 ²⁾ , Géén uitlaatwerk
04_RM	L9T6C4WU	L9: Locatie van de voormalige Beerse Overlaat ¹⁾ , Maas_km164.2, linker Maasdijk,	6	C4 ²⁾ , Gewande uitlaatwerk
05_RM	L10T6GCGU	L10: Kraaijenbergse Plassen, Maas_Km169.10, linker Maasdijk	6	Géén compart, géén uitlaatwerk
06_RM	L11T6GCGU	L11: Hedikhuizen, Maas_Km225.8, linker Maasdijk	6	Géén compart, géén uitlaatwerk
07_RM	L12T6GCGU	L12: Balgooi, Maas_Km180.0, rechter Maasdijk	6	Géén compart, géén uitlaatwerk
08_RM	L13T6GCGU	L13: Hoenzadriel, Maas_Km215.2, rechter Maasdijk	6	Géén compart, géén uitlaatwerk
09_RM	L14T6GCGU	L14: Nieuwe Schans, Maas_Km196.65, rechter Maasdijk	6	Géén compart, géén uitlaatwerk
10_RM	L15T6GCGU	L15: Heerewaarden, Waal_Km920.5, linker Waaldijk	6	Géén compart, géén uitlaatwerk
11_RM	L16T6GCGU	L16: Hurwenen, Waal_Km930.15, linker Waaldijk	6	Géén compart, géén uitlaatwerk
12_RM	L17T6GCGU	L17: Grave, Maas_Km173.90, linker Maasdijk	6	Géén compart, géén uitlaatwerk
13_RM	L18T6GCGU	L18: Neerloon, Maas_Km179.5, linker Maasdijk	6	Géén compart, géén uitlaatwerk
14_RM	L19T6GCGU	L19: Boveneind, Maas_Km194.8, linker Maasdijk	6	Géén compart, géén uitlaatwerk
15_RM	L20T6GCGU	L20: Kessel, Maas_Km206.5, linker Maasdijk	6	Géén compart, géén uitlaatwerk

Opmerkingen:

1. Met klem wordt opgemerkt dat dijkdoorbraaklocatie L9 enkel is gesitueerd ter hoogte van de voormalige Beerse Overlaten. In een dijkdoorbraakberekening ter plaatse van locatie L9 worden deze voormalige Beerse Overlaten niet meegenomen. Kortom een dijkdoorbraakberekening op locatie L9 is dus géén berekening waarin dijkkring 36 (Land van Heusden/de Maaskant) als Noodoverloopgebied fungeert en Maaswater via de voormalige Beerse Overlaten wordt ingelaten.
2. C4: Compartimentering dijkkring 36 (Land van Heusden/de Maaskant) middels een beoogde compartimenteringsdijk ten Oosten van 's-Hertogenbosch met een hoogte van NAP + 7.85 m, welke de linker Maasoever bij Gewande (Maas_Km214) verbindt met hogere gronden ter hoogte van de Gemeente Nistelrode.
3. Tijdstip van dijkdoorbraak is uitgedrukt in het aantal uren voordat ter plaatse van de dijkdoorbraaklocatie de hoogste rivierwaterstand in de referentieberekening wordt bereikt.

A.2 Overige digitale data

De overige digitale data zijn aangeleverd in 15 afzonderlijke folders, zijnde:

1. GD-L05T6GCGU Weurt(Waal)_Dkr41
2. GD-L09T6C4GU BeerseO(Maas)_Dkr36
3. GD-L09T6C4WU BeerseO(Maas)_Dkr36
4. GD-L09T6GCGU BeerseO(Maas)_Dkr36
5. GD-L10T6GCGU KrbPlassen(Maas)_Dkr36
6. GD-L11T6GCGU Hedikhzn(Maas)_Dkr36
7. GD-L12T6GCGU Balgooi(Maas)_Dkr41
8. GD-L13T6GCGU Hoenzadriel(Maas)_Dkr38
9. GD-L14T6GCGU NieuweSchans(Maas)_Dkr41
10. GD-L15T6GCGU Heerewaarden(Waal)_Dkr40
11. GD-L16T6GCGU Hurwenen(Waal)_Dkr38
12. GD-L17T6GCGU Grave(Maas)_Dkr36
13. GD-L18T6GCGU Neerloon(Maas)_Dkr36
14. GD-L19T6GCGU BovenEind(Maas)_Dkr36
15. GD-L20T6GCGU Kessel(Maas)_Dkr36

In de titel "XXXX-YYYY {tekst1}_{tekst2}" van bovenstaande folders is de volgende conventie aangehouden:

- XXXX = code van de referentieberekening (zie Tabel A-1)
- YYYY = code van de dijkdoorbraakberekening (zie Tabel A-1)
- {tekst1} = Omschrijving dijkdoorbraaklocatie, en
- {tekst2} = Aangrenzende (primaire) overstroomde dijkkring

Opm: GD betreft berekening zonder dijkdoorbraken en zonder compartimentering

Elke folder omvat zes of zeven verschillende digitale files. In de file namen is de volgende conventie aangehouden:

- REF = code van de referentie berekening, waarin geen dijkdoorbraken optreden
- DBR = code van de dijkdoorbraakberekening (zie Tabel A-1),
- Fls(Omschrijving) = In de omschrijving tussen de haakjes worden de bijbehorende codes van de DelftFLS berekeningen gegeven

Per file-type is de volgende data beschikbaar:

1. *DBR_Fls(Fls_DbrCode).acx*:
Deze GIS rasterkaart bevat voor elke 2D gridcel van de dijkdoorbraakberekening (DBR) de maximaal opgetreden resulterende stroomsnelheid $C = \sqrt{U^2 + V^2}$ in m/s.
2. *DBR_Fls(Fls code).ahx*:
Deze GIS rasterkaart bevat voor elke 2D gridcel van de dijkdoorbraakberekening (DBR) de maximaal opgetreden waterdiepte in m.
3. *DBR_Fls(Fls code).azx*:
Deze GIS rasterkaart bevat voor elke 2D gridcel van de dijkdoorbraakberekening (DBR) de maximaal opgetreden waterstand in m.
4. *REF-DBR_Fls(Fls_RefCode-Fls_DbrCode) Verschillen.xls*:
Dit spreadsheet bevat voor meetlocaties en meetraaien de maximale opgetreden waterstanden en debieten in de referentie situatie (REF) en in de dijkdoorbraakberekening (DBR). Deze spreadsheet bevat tevens voor meetlocaties figuren met daarin het waterstandsverloop in de referentieberekening en de dijkdoorbraakberekening alsmede het verschil in waterstanden tussen de referentieberekening en de dijkdoorbraakberekening. Idem voor het debietverloop op meetraaien.
5. *DBR-REF_Fls(Fls_RefCode-Fls_DbrCode) azx=ahx.asc*:
Deze GIS rasterkaart bevat voor elke 2D gridcel het verschil tussen de maximaal opgetreden waterstand in de dijkdoorbraakberekening (DBR) en de maximaal opgetreden waterstand in de referentieberekening (REF). Voor dijkdoorbraakscenario's zonder compartimentering zijn de bodemhoogten in de referentieberekening gelijk aan de bodemhoogten in de dijkdoorbraakberekening. Derhalve bevat deze GIS rasterkaart tevens de verschillen in maximaal opgetreden waterdiepten. In geval van een dijkdoorbraakscenario met compartimentering wijken de bodemhoogten enkel ter plaatse van de compartimenteringsdijk af van de bodemhoogten in de referentieberekeningen zonder compartimentering. Echter voor het overige deel van het 2D grid geldt dat verschillen in maximale waterstanden gelijk zijn aan verschillen in maximale waterdiepten.
6. *REF=DBR_Fls(Fls_RefCode=Fls_DbrCode).aht*:
Deze GIS rasterkaart bevat de bodemliggingen t.o.v. NAP voor zowel de referentieberekening als voor de dijkdoorbraakberekening.
7. *REF_Fls(Fls_RefCode).aht (enkel indien item no. 6 niet aanwezig is)*:
Deze GIS rasterkaart bevat de bodemliggingen t.o.v. NAP voor de referentieberekening.
8. *DBR_Fls(Fls_DBRcode).aht (enkel indien item no 6 niet aanwezig is)*:
Deze GIS rasterkaart bevat de bodemliggingen t.o.v. NAP voor de dijkdoorbraakberekening



WL | Delft Hydraulics

**Rotterdamseweg 185
postbus 177
2600 MH Delft
telefoon 015 285 85 85
telefax 015 285 85 82
e-mail info@wldelft.nl
internet www.wldelft.nl**

**Rotterdamseweg 185
p.o. box 177
2600 MH Delft
The Netherlands
telephone +31 15 285 85 85
telefax +31 15 285 85 82
e-mail info@wldelft.nl
internet www.wldelft.nl**

