

BIJLAGE 5. DEELRAPPORT RIVIERKUNDE: MER FASE 1 THORN-WESSEM



INHOUDSOPGAVE

Deelrapport rivierkunde: MER fase 1 Thorn-Wessem	1
1. Inleiding.....	4
1.1 Doel van het deelrapport rivierkunde	4
1.2 Leeswijzer.....	4
2 Werkwijze effectbeoordeling.....	5
2.1 Overzicht van alternatieven	5
2.2 Effectbeoordeling systeem- en dijkversterkingsopgave	5
2.3 Beleidskader.....	6
2.4 Beoordelingskader	7
2.4.1 Beoordelingskader: verandering van (maatgevende) waterstanden	8
2.4.2 Beoordelingskader: behoud van rivierbed.....	10
2.4.3 Beoordelingskader: robuustheid systeem	11
2.4.4 Beoordelingskader: verandering inundatiefrequentie uiterwaard	13
2.5 Rivierkundig instrumentarium	15
3 Huidige situatie en ontwikkelingen	17
3.1 Huidige situatie	17
3.2 Autonome ontwikkelingen.....	20
4 Uitkomsten effectbeoordeling.....	22
4.1 Effectbeoordeling systeemopgave	22
4.1.1 Robuustheid en integrale beoordeling systeemopgave	23
4.1.2 Effectentabel systeemopgave.....	25
4.2 Effectbeoordeling dijkversterkingsopgave	27
4.2.1 Effectentabel dijkversterkingsopgave.....	27
4.2.2 Mitigatie en compensatie	28
4.3 Effectbeoordeling inundatiefrequentie	32
4.4 Effectbeoordeling integrale alternatieven.....	35
4.5 Leemten in kennis	37
5 Nadere verkenning van inzetfunctie Thorn-Wessem	38
5.1 Uitgangspunten voor verkenning	38
5.2 Retentiegebied.....	39
5.2.1 Algemene werking retentiegebied en bijhorende inzetfunctie	39
5.2.2 Beschrijving inlaatwerk	40



5.2.3	Rivierkundige effecten bij maximaal behoud van retentiegebied	41
5.3	Bergingsgebied.....	45
5.3.1	Initiële instroomlocatie en inundatiefrequentie.....	45
5.3.2	Waterstandeffecten bij max. behoud van bergingsgebied.....	45
5.4	Verschillende aspecten m.b.t. inzetfunctie retentie.....	48
5.4.1	Aspecten van inzetfunctie retentie.....	48
5.4.2	Verwachtingswaarde van effecten van retentie.....	48
5.4.3	Locatie van de inlaat	49
5.4.4	Retentie versus berging	49
6	Conclusies en aanbevelingen	51
6.1	Conclusies uit MER fase 1	51
6.2	Aanbevelingen voor vervolg MER fase 2	52
7	Literatuur	53
	Bijlage 1: Begrippenlijst.....	54
	Bijlage 2: Overzichtskaarten van Thorn-Wessem	55
	Bijlage 3: Overzicht van alternatieven	62
	Bijlage 4: Waterstandseffecten.....	65
	Bijlage 5: Inundatiekaarten	67
	Bijlage 6: Overzichtskaarten van nadere verkenning inzet Thorn-Wessem	70
	Bijlage 7: Maximale waterstand nadere verkenning inzet Thorn-Wessem	75
	Bijlage 8: Maximale waterdiepten nadere verkenning inzet Thorn-Wessem	78
	Bijlage 9: Ingrepenkaart	81



1. Inleiding

1.1 Doel van het deelrapport rivierkunde

Dit deelrapport rivierkunde beschrijft de effecten op het thema rivierkunde van de alternatieven voor de dijkversterkingsopgave en de systeemopgave voor dijktraject Thorn-Wessem. Het deelrapport levert input voor het rapport (deel A en deel B) MER fase 1 dijktraject Thorn-Wessem [ref 3 en ref 4]. Het bevat daarnaast, als onderbouwing bij dit hoofdrapport, technische achtergrondinformatie over de rivierkundige beoordeling.

1.2 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 van dit deelrapport staat een beschrijving van de methodiek die is toegepast voor de effectbeoordeling, met hierin een overzicht van de alternatieven, beleids- en beoordelingskader en het rivierkundig instrumentarium. Hoofdstuk 3 bevat een rivierkundige beschrijving van de huidige situatie en een toelichting in hoeverre autonome ontwikkelingen zijn meegenomen bij de verschillende beoordelingscriteria. In hoofdstuk 4 volgen de uitkomsten van de beoordeling van de systeem- en dijkversterkingsopgave en de integrale alternatieven. Hoofdstuk 5 beschrijft een nadere verkenning van de inzet van Thorn-Wessem als retentiegebied, met als belangrijkste vraag of het gebied als retentiegebied (met een geoptimaliseerde inlaat) of als bergingsgebied (met behoud van huidige kruinhoogten) ingezet moet worden. Hoofdstuk 6 bevat de belangrijkste conclusies en de aanbevelingen. Een lijst met de definitie van begrippen die regelmatig terugkomen in deze rapportage staat in Bijlage 1.



2 Werkwijze effectbeoordeling

2.1 Overzicht van alternatieven

De uitwerking van de verschillende gebiedsopgaven leidt tot effecten in de omgeving. Om deze effecten inzichtelijk te maken zijn in het MER fase 1 Thorn-Wessem verschillende alternatieven voor iedere dijksectie opgesteld. Deze alternatieven zijn gecombineerd tot vier integrale alternatieven voor het gehele dijktraject. De integrale alternatieven zijn zo gekozen, dat alle alternatieven een plek hebben gekregen in de integrale alternatieven. Dit betekent niet dat het voorkeursalternatief uiteindelijk één van deze integrale alternatieven zal zijn. Op basis van een integrale afweging op dijksectieniveau wordt een voorkeursalternatief opgesteld.

De alternatieven en integrale alternatieven zijn nader toegelicht in [ref 3]. In Bijlage 3 van dit deelrapport staan toelichtende figuren voor de (integrale) alternatieven en een tabel met een overzicht van welke alternatieven zijn toegepast in ieder van de vier integrale alternatieven.

2.2 Effectbeoordeling systeem- en dijkversterkingsopgave

Het MER wordt in twee fasen opgesteld, gekoppeld aan de plan- en besluitvorming in de verkenningsfase (MER fase 1) en in de planuitwerkingsfase (MER fase 2). In MER fase 1 wordt een alternatievenafweging uitgevoerd die moet leiden tot een tracékeuze van het VKA. In MER fase 2 volgt een verdere (detail)inpassing van het VKA in de omgeving.

Bij de effectbeoordeling van het MER is gekozen om onderscheid te maken tussen de systeemopgave (op het niveau van een geheel dijktraject) en de dijkversterkingsopgave (op het niveau van alternatieven per dijksectie). Voor beide opgaven geldt dat alleen een (rivierkundige) beoordeling kan plaatsvinden als het gehele dijktraject gesloten en niet overstroombaar is. Elk alternatief (uitwerking) van beide opgaven wordt vergeleken met het basisalternatief “huidige kering binnendijs versterken”, die gelijk is aan integraal alternatief 1 uit het MER fase 1. Het basisalternatief zelf wordt eenmalig vergeleken met de MER-referentiesituatie, een situatie die identiek is aan integraal alternatief 1, maar dan wel uitgaat van actuele overstroombare kruinhoogtes. Het verschil hiertussen is het effect “loslaten overstroombaarheid” van het dijktraject.

Een dijkversterking in MER fase 1 bestaat zowel uit het ophogen en het eventueel verleggen van de dijk. De verhoging van de dijk levert een waterstandsverhoging en is gekoppeld aan de systeemopgave, doordat compensatie hiervan plaatsvindt door dijkverleggingen in vorm van systeemmaatregelen (vastgelegd in een bestuurlijke overeenkomst). De integrale verhoging van de kering op huidige locatie (het basisalternatief zonder een systeemmaatregel) wordt dan ook beoordeeld onder de systeemopgave. De verlegging (i.h.k.v. dijkversterking) kan zowel binnendijs (landinwaarts) of buitendijs (rivierwaarts) zijn. Bij een rivierwaartse verlegging geldt een zorgplicht (Artikel 6.15 Waterbesluit), waarvoor een inspanningsverplichting doorlopen moet worden (afwegingskader in redeneerlijn buitendijs versterken) om rivierwaartse ingrepen zoveel mogelijk te voorkomen. In dit rapport wordt dit afwegingskader niet onderbouwd en/of getoetst omdat dit breder is dan alleen rivierkunde. Wel wordt hier een inschatting gemaakt van het eventuele waterstandseffect. Als in MER fase 1 op dijksectieniveau geen sprake is van een dijkverlegging met het alternatief, dan wordt in MER fase 1 het uitgangspunt gehanteerd dat de dijk binnendijs wordt



versterkt op huidige locatie. In MER fase 2 (na tracékeuze VKA) gaat het om de inpassing hiervan. In deze fase wordt nader in detail onderzocht of een binnendijkse versterking op huidige locatie nog steeds realiseerbaar is. In sommige gevallen zal dit niet het geval zijn, waardoor de huidige kering gedeeltelijk en/of volledig buitendijks wordt versterkt. Hiervoor geldt eveneens een zorgplicht, waarbij het afwegingskader en compensatieregeling doorlopen moet worden conform de redeneerlijn “buitendijks versterken”.

2.3 Beleidskader

In Tabel 1 is het relevante beleid en wet- en regelgeving weergegeven voor het thema rivierkunde binnen het MER fase 1.

Tabel 1: Beleidskader en bijhorende regelgeving m.b.t. thema rivierkunde

Beleidskader of regelgeving	Inhoud & relevantie
Waterwet, 2009	De Waterwet regelt het beheer van oppervlaktewater en grondwater, en verbetert ook de samenhang tussen waterbeleid en ruimtelijke ordening. De Waterwet heeft verschillende wetten uit verleden vervangen, waaronder Wet beheer rijkswaterstaatswerken (Wbr).
Beleidslijn Grote Rivieren (BGR), 2006	De beleidslijn heeft als doel de beschikbare afvoer- en bergingscapaciteit van het rivierbed van de grote rivieren te behouden en ontwikkelingen tegen te gaan die de mogelijkheid tot rivierverruiming door verbreding en verlaging feitelijk onmogelijk maken. In de Beleidsregels Grote Rivieren (BGR) staat benoemd welke activiteiten (soort ingrepen) er mogen plaatsvinden in het zomer- en winterbed van de rivier en onder welke voorwaarden.
Rivierkundig Beoordelingskader 4.0, 2017	Het RBK wordt in de praktijk door RWS benut om tot een eenduidige toetsing te komen (m.b.t. artikel 7 uit de BGR) en beschrijft hoe rivierkundige effecten van voorgenomen ingrepen in de rivier bepaalt, beoordeeld en eventueel gecompenseerd moeten worden. In deze versie van het RBK is de nieuwe normering voor waterkeringen nog niet verwerkt, dit wordt op dit moment nog nader uitgewerkt door RWS. De afspraak met RWS is dat het RBK 4.0 vigerend is zolang er geen recentere versie beschikbaar is.
Zorgplicht (als onderdeel van de Waterwet)	Buitendijkse (rivierwaartse) dijkversterking betreft een activiteit in het rivierbed waarvoor een algemene zorgplicht van toepassing is (Artikel 6.15 Waterbesluit). De zorgplicht houdt (o.a.) in dat de beheerder zorg draagt voor ‘een zo gering mogelijke waterstandsverhoging of afname van het bergend vermogen van het oppervlaktewaterlichaam ten gevolge van het gebruik, alsmede het compenseren van resterende onvermijdbare waterstandseffecten’.
Redeneerlijn buitendijks versterken, 2018	De beoordeling van een buitendijkse versterking vindt plaats conform de redeneerlijn buitendijks versterken. De redeneerlijn biedt afwegingsruimte voor de dijkbeheerder om binnen het wettelijk kader de compensatie van waterstandseffecten plaats- en tijdsafhankelijk en op verschillende niveaus te realiseren.



2.4 Beoordelingskader

Het beoordelingskader voor de rivierkundige criteria m.b.t. MER-alternatieven is weergegeven in Tabel 2. Dit beoordelingskader voor de rivierkundige criteria maakt onderdeel uit van het overkoepelende MER fase 1 beoordelingskader, dat van toepassing is op de gehele opgave (HWBP, Deltaprogramma Maas en beekherstel). Voor het volledige beoordelingskader wordt verwezen naar het hoofdrapport MER fase 1 Thorn-Wessem [ref 3].

In het MER fase 1 worden de rivierkundige effecten overwegend kwantitatief bepaald en beschreven. Dat is passend bij het niveau van de te nemen voorkeursbeslissing. Bij de effectbeoordeling wordt er een onderscheid gemaakt tussen de systeem- en dijkversterkingsopgave. Bij beide opgaven wordt gekeken naar de criteria verandering van maatgevende waterstanden en behoud van rivierbed. Bij de systeemopgave wordt aanvullend gekeken naar de robuustheid van het gebied, waarbij vooral wordt gekeken of de systeemmaatregel goed te combineren is met de uitvoering van toekomstige maatregelen in het kader van het Deltaprogramma.

Tabel 2: Beoordelingscriteria voor het onderdeel rivierkunde, uitgelicht uit het overkoepelende MER fase 1 beoordelingskader [ref 3]

Beoordelingscriterium	Thema	Aspect	Meeteenheid
Verandering van (maatgevende) waterstanden	Systeem- en dijkversterkingsopgave (water)	Systeemmaatregel en rivierbeheer	cm
Behoud van rivierbed	Systeem- en dijkversterkingsopgave (water)	Systeemmaatregel en rivierbeheer	ha1
Robuustheid	Systeemopgave	Systeemmaatregel	n.v.t.

In dit deelrapport rivierkunde is voor de systeem- en dijkversterkingsopgave ook gekeken naar de verandering van inundatiefrequentie in de uiterwaard. Het bepalen van de inundatiefrequentie is een rivierkundige analyse, maar dit criterium wordt gebruikt in de effectbeoordeling voor woon- en leefomgeving. Omdat dit criterium geen onderdeel uitmaakt van de rivierkundige effectbeoordeling, wordt de verandering van inundatiefrequentie in aparte paragrafen beschreven (paragraaf 2.4.4 beschrijft de methodiek en in paragraaf 4.3 staan de resultaten).

¹ doordat er geen eenduidige maatgevende afvoer / waterstand aan de nieuwe normering ten grondslag ligt is behoud van rivierbed nu gemakshalve uitgedrukt in een oppervlak (ha) in plaats van in volume (m³)



2.4.1 Beoordelingskader: verandering van (maatgevende) waterstanden

Referentie voor verandering van waterstanden

Voor het gebied Thorn-Wessem spelen verschillende opgaven [ref 3]. Voor een juiste beoordeling van het beoordelingscriterium “verandering van de (maatgevende) waterstanden” is het van belang om de benodigde dijkverhogingen en de mogelijke dijkverleggingen los van elkaar te beschouwen. Als een rivierkundige berekening namelijk zowel een dijkverhoging als dijkverlegging bevat, is het niet mogelijk om te bepalen welk deel van het waterstandseffect door de dijkverhoging en welk deel door de dijkverlegging veroorzaakt wordt. Daarom is voor rivierkunde gekozen om voor de dijkverhoging en de dijkverleggingen verschillende referentieschematisaties te gebruiken. Het enige verschil tussen deze referentieschematisaties is de hoogte van de keringen in het projectgebied (het gebied waarbinnen het dijktraject Thorn-Wessem is gelegen):

- De dijkversterkingsopgave HWBP op de huidige locatie (oftewel de dijkverhoging), waarmee de kering niet-overstroombaar wordt, is in het MER fase 1 aangeduid als integraal alternatief 1. Dit integrale alternatief wordt rivierkundig getoetst aan een rivierkundige schematisatie waarbij de huidige kering in het projectgebied wel overstroombaar is, maar buiten het projectgebied zijn de keringen niet-overstroombaar. Voor de overstroombare keringen wordt uitgegaan van actuele kruinhoogtes. Deze schematisatie wordt ook wel de referentiesituatie genoemd van het MER fase 1 en sluit zo goed mogelijk aan op de huidige (veld)situatie. Met dit integrale alternatief wordt het rivierkundig effect in beeld gebracht behorend bij het “loslaten van de overstroombaarheid”.
- De mogelijke dijkverleggingen in kader van de systeemopgave en de dijkversterkingsopgave worden getoetst aan een rivierkundige schematisatie waarbij de huidige kering volledig versterkt en opgehoogd is. Deze situatie is gelijk aan het integrale alternatief 1.

Beoordelingskader

Voor de beoordeling van de (maatgevende) waterstanden gelden de volgende uitgangspunten:

- De effectbeoordeling op waterstanden vindt hoofdzakelijk plaats op basis van expert judgement (kwalitatieve beoordeling), waarbij zoveel mogelijk gebruik wordt gemaakt van eerdere uitgevoerde rivierkundige berekeningen. Waar expert judgement niet goed mogelijk is zijn aanvullende rivierkundige berekeningen uitgevoerd. Voor de beoordeling van ieder alternatief is de volgende redeneerlijn gebruikt:
 - Zijn er in de rivierkundige verkenning systeemwerking Thorn-Wessem rivierkundige berekeningen uitgevoerd die gebruikt kunnen worden om het waterstandseffect in te schatten? Als dat het geval is, zijn deze resultaten (in combinatie met expert judgement) gebruikt voor de effectbeoordeling. De eerdere rivierkundige berekeningen (verkenning) naar de systeemwerking van Thorn-Wessem zijn beschreven in een apart memo [ref 1].
 - Zijn er in de nadere verkenning van de inzetfunctie van Thorn-Wessem (zie hoofdstuk 5) rivierkundige berekeningen uitgevoerd die gebruikt kunnen worden om het waterstandseffect in te schatten? In dat geval zijn deze resultaten (in combinatie met expert judgement) gebruikt voor de effectbeoordeling.
 - Als eerdere rivierkundige berekeningen niet gebruikt kunnen worden, kan het effect dan toch op basis van expert judgement worden ingeschat? Dit is alleen gedaan voor



alternatieven waarvan wordt verwacht dat deze een beperkt waterstandseffect hebben.

- Als geen eerdere rivierkundige berekeningen beschikbaar zijn, maar wel mogelijk een significant waterstandseffect wordt verwacht, zijn aanvullende berekeningen uitgevoerd. Voor Thorn-Wessem zijn de referentiesituatie en 2 aanvullende berekeningen uitgevoerd met een dynamische maatgevende afvoergolf van 4.000 m³/s. **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** geeft een overzicht van deze aanvullende rivierkundige berekeningen voor dit MER fase 1. In deze tabel staan ook de twee berekeningen die zijn uitgevoerd voor de nadere verkenning van de inzetfunctie. Het rivierkundig instrumentarium dat hiervoor is gebruikt is beschreven in paragraaf 2.5. De effecten op de as van de rivier staan weergegeven in Bijlage 4.
- Bij het beoordelen van de waterstandseffecten is alleen gekeken naar het maximale effect op de as van de rivier in de vorm van waterstandsverhoging en/of waterstandsding. Hierbij is (nog) geen nader onderscheid gemaakt in effecten die worden veroorzaakt op het stromend regime en/of op het bergend regime.

Tabel 3: Overzicht van rivierkundige berekeningen MER fase 1 en nadere verkenning inzetfunctie Thorn-Wessem. Voor illustraties van de varianten, zie Bijlage 2 voor de MER fase 1 berekeningen en Bijlage 6 voor de berekeningen uit de nadere verkenning inzetfunctie

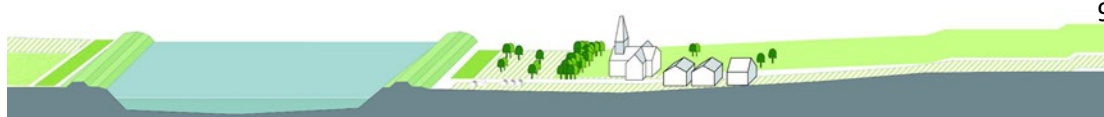
Berekening	Aanpassingen geometrie ¹⁾
Referentiesituatie (huidige situatie)	De huidige kering (overstroombaar met actuele kruinhoogtes)
Variant 1 MER fase 1 (integraal alternatief 1)	De huidige kering is zodanig versterkt dat deze niet overstroombaar is
Variant 2 MER fase 1 (bouwstenen dijksecties 2C en 3C)	Alle keringen niet overstroombaar + Dijkteruglegging 2C en 3C + Huidige kering verwijderen
Variant 4 nadere verkenning inzetfunctie (retentie)	Dijkteruglegging met maximale ruimte voor retentie + oostelijke instroomdrempel
Variant 5 nadere verkenning inzetfunctie (berging)	Dijkteruglegging met maximale ruimte voor berging + instroming over huidige kering

¹⁾ Bij de rivierkundige berekeningen voor dijktracé Thorn-Wessem zijn alleen aanpassingen aan de keringen gedaan. De bodemligging en vegetatie is niet gewijzigd.

Voor zowel de systeemopgave als de dijkversterkingsopgave wordt de verandering van maatgevende waterstanden uitgedrukt in een het aantal centimeters waterstandsverhoging of waterstandsding. Voor de dijkversterkingsopgave wordt aanvullend een score toegekend aan dit effect op de waterstanden. Het scoren van de effecten op maatgevende waterstanden vindt plaats aan de hand van een vijfpuntschaal (zie Tabel 4).

Tabel 4: Beoordelingskader verandering van (maatgevende) waterstanden op de as van de rivier – dijkversterkingsopgave

Score	Omschrijving
++	Waterstandsding van meer dan 0,5 cm
+	Waterstandsding tussen 0,1 cm en 0,5 cm
0	Waterstandsverandering tussen -0,1 cm en +0,1 cm
-	Waterstandsstijging tussen 0,1 cm en 0,5 cm
--	Waterstandsstijging van meer dan 0,5 cm



2.4.2 Beoordelingskader: behoud van rivierbed

Het rivierbed van de rivier is door RWS juridisch vastgelegd in (detail)kaarten toepassingsgebied van de Beleidslijn Grote Rivieren (BGR). In deze kaarten wordt onderscheid gemaakt tussen stromend en bergend regime van de rivier en bijzondere gebieden (artikel 2a-gebieden). Het doel van de systeemmaatregel is om de bergende of stroomvoerende functie binnendijs van het dijktraject zoveel mogelijk te behouden ten opzichte van de oorspronkelijke rivierbedding. Met alle systeemmaatregelen tezamen wordt de verhoogde waterstand die wordt veroorzaakt door het niet meer overstromen van de keringen op de Limburgse Maas zoveel mogelijk gecompenseerd. Voor de systeemmaatregelen zijn echter geen individuele taakstellingen afgeleid voor de mate waarin minimaal waterstandsdeling gerealiseerd moet worden. Om deze reden wordt naast het waterstandseffect ook gekeken naar de mate waarin rivierbed in oppervlak behouden blijft. Het criterium “behoud rivierbed” wordt in het MER fase 1 kwantitatief beoordeeld in vorm van een quotiënt van oppervlaktes zoals onderstaand weergegeven:

$$\text{Behoud rivierbed} = \frac{\text{Oppervlakte systeemmaatregel}}{\text{Oppervlakte beschikbare binnendijkse ruimte}_{(\text{stromend- en bergend regime})}} \cdot 100\%$$

De totale beschikbare ruimte binnendijs van het dijktraject is bepaald aan de hand van de formele BGR-indeling. Met behulp van een GIS-analyse is dit oppervlak aanvullend gecorrigeerd op ligging van hoge gronden en artikel 2a-gebieden (deelgebieden die geen onderdeel uitmaken van het juridisch rivierbed). De oppervlakte van de systeemmaatregelen is het gebied dat door het uitvoeren van de systeemmaatregel weer buitendijs komt te liggen, waarbij indien nodig dezelfde correctie is gemaakt voor hoge gronden en artikel 2a-gebieden. Op basis van beide oppervlaktes is vervolgens het doelbereik uitgedrukt in het percentage van het totale gebied dat wordt ingezet voor de systeemmaatregel.

Voor de dijkversterkingsopgave is op het niveau van de dijksecties dezelfde GIS-analyse uitgevoerd om de toename of afname van de beschikbare ruimte voor het rivierbed te bepalen. Deze toename of afname is echter niet omgerekend naar een percentage, maar alleen uitgedrukt in een oppervlakte (in hectares). Binnen de dijkversterkingsopgave gaat het primair om het waterstandseffect als gevolg van een (rivierwaartse) ingreep. In sommige gevallen zijn deze ingrepen te kleinschalig en/of zijn gelegen in stroomluwe lage gebieden, waardoor deze ingrepen geen waterstandseffect leveren bij een maatgevend hoogwater. Ondanks dat er geen waterstandseffecten zijn neemt het rivierbed wel af. In dit soort gevallen vindt een beoordeling en/of compensatie plaats op basis van het oppervlak (volume) van de ingreep.



2.4.3 Beoordelingskader: robuustheid systeem

Bij een systeemmaatregel speelt naast de criteria “waterstandseffect” en “behoud van rivierbed” ook het criterium “robuustheid” een rol. Een robuust riviersysteem is een systeem dat veranderingen (zowel door mens als natuur) makkelijk kan opvangen. Vanwege de klimaatverandering zullen de afvoeren en waterstanden op de rivier toenemen, wat ruimte vraagt voor de rivier. Anderzijds zijn er steeds meer vraagstukken in het kader van (gebieds)ontwikkelingen in het riviereengebied die ruimte van de rivier juist doen afnemen. Beide ontwikkelingen vragen afzonderlijk om een robuust riviersysteem, waarin de ligging en reserveringen van rivierkundige ingrepen steeds belangrijker worden om wijzigingen in het systeem te kunnen blijven opvangen. Het is hiervoor van belang dat het riviersysteem altijd blijft functioneren zoals dit bedoeld is. De verschillende (systeem)maatregelen dragen bij aan:

- Beperking van de waterstandstijging in de Maas die wordt veroorzaakt door het vervallen van de overstroombaarheidseis van de Limburgse keringen;
- Behoud van rivierbed wat tevens een dempende en vertragende werking heeft op de hoogwatergolf;
- Het niet verslechteren en/of het zelfs voorkomen van hydraulische knelpunten (flessenhalzen), die tevens de effectiviteit van nabij gelegen systeemmaatregelen en rivierverruimingen negatief kunnen beïnvloeden;
- Het vergroten van de betrouwbaarheid van de waterveiligheidssituatie doordat de zekerheid van instromen van bergingsgebieden wordt vergroot;
- Het behoud van ruimte en flexibiliteit voor toekomstige maatregelen ten behoeve van waterveiligheid en andere functies.

In aanvulling op het laatste punt is in het kader van o.a. het Deltaprogramma een groot aantal rivierkundige verruimingsmaatregelen op de rivier nader verkend om de klimaatverandering in de toekomst op te vangen.

Bij de beoordeling van de robuustheid wordt in deze fase van het MER fase 1 gekeken in hoeverre de uitwerking van de systeemmaatregel aan bovenstaande punten voldoet door voornamelijk te kijken naar of de maatregel toekomstbestendig is en mogelijk een knelpunt vormt voor het hydraulisch functioneren van een aantal langetermijn-maatregelen als gevolg van verandering in het stromingspatroon in de rivier. In sommige gevallen zal het versterken van de huidige kering (alternatief 1) een nieuw hydraulisch knelpunt vormen. Als werkhypothese wordt hiervoor de volgende definitie gehanteerd: er is sprake van een knelpunt wanneer het doorstroomprofiel van de rivier relatief klein is en/of wordt na dijkversterking- en verhoging in kader van HWBP (zeg doorstroomprofiel rivier ca. ≤ 400 meter breed op de Maas) en waar beperkte mogelijkheden zijn om de waterstanden te verlagen met rivierverruimende maatregelen (KRW en/of LTAR). Het aspect robuustheid wordt kwalitatief beoordeeld in een integrale context, waarbij de volgende redeneerlijn wordt gehanteerd:

- Een systeemmaatregel wordt als robuust beoordeeld als het doorstroomprofiel van de rivier zo goed mogelijk wordt gehandhaafd binnen het dijktraject en hiermee een bijdrage levert in het compenseren van de verhoging van overige keringen en tevens kansen oplevert om andere wijzigingen in het systeem op te vangen al dan niet in combinatie met toekomstige verruimingsmaatregelen.
- De robuustheid van een systeemmaatregel wordt als neutraal beoordeeld als het doorstroomprofiel van de rivier wordt verkleind binnen het dijktraject en hiermee een beperkte bijdrage levert in het compenseren van de verhoging van overige keringen en



beperkt kansen oplevert om andere wijzigingen in het systeem op te vangen al dan niet in combinatie met toekomstige verruimingsmaatregelen.

- Het niet uitvoeren van een systeemmaatregel is niet robuust als het ophogen en versterken van overige keringen binnen het dijktraject tot een aanzienlijke waterstandsverhoging leidt en geen andere wijzigingen in het systeem kan opvangen, waarbij zelfs mogelijk een hydraulisch knelpunt ontstaat of een verslechtering levert op een bestaande flessenhals, dat lokaal niet tot zeer lastig is op te lossen met toekomstige verruimingsmaatregelen.

In deze beoordeling worden alleen die langetermijn-maatregelen beoordeeld die zijn ingebracht in “GS advies NRD van 19 juni 2018” door Provincie Limburg voor Thorn-Wessem, Arcen en Well. Een groot aantal van deze maatregelen zijn langetermijn-reserveringen uit het Deltaprogramma. Voor systeemmaatregel Thorn-Wessem betreft dit de maatregelen “meestromen Lateraalkanaal en/of verlagen dam Lateraalkanaal”, “verbeteren doorstroming Maasplassen” en “oeververlaging Maasgouw Noord (Maasbracht – Molengreend en De Slaag)”. Deze langetermijn-maatregelen hebben geen formele status, maar een aantal van deze maatregelen worden door de overheid toch beschouwd als kansrijk en noodzakelijk voor de toekomst. Deze maatregelen zijn globaal aangegeven op een ingrepenkaart die in het jaar 2013 door Provincie Limburg tot stand is gekomen in het kader van Regioproces Deltaprogramma Limburg fase 2 m.b.t. voorkeursstrategie rivierkundige maatregelen. Op basis van deze kaart, die is weergegeven in Bijlage 9, kan een indruk worden verkregen over de omvang en ligging van deze maatregelen.



2.4.4 Beoordelingskader: verandering inundatiefrequentie uiterwaard

De beoordeling van verandering van inundatiefrequentie is uitgevoerd in de context van schade en/of hinder en de resultaten zijn daarom met name relevant voor de effectbeoordeling voor woon- en leefomgeving. De analyse zelf is echter een rivierkundig onderdeel en is daarom beschreven in dit deelrapport rivierkunde. Voor de beoordeling van de verandering van de inundatiefrequentie wordt gekeken naar de situatie met waterstanden behorend bij zichtjaar 2075 met en zonder huidige keringen (kaart 1 en kaart 2 in Bijlage 5). De situatie met de huidige overstroombare kering (kaart 1) is de referentie voor de verandering van de inundatiefrequentie. In de analyse wordt alleen gekeken naar het mechanisme overloop, waarbij de waterstand gelijk of hoger is dan de kruinhoogte.

Methodiek kaarten inundatiefrequentie

De inundatiefrequentie in beide kaarten is semi-kwantitatief bepaald aan de hand van een GIS-analyse. In de uitgevoerde GIS-analyse gelden de volgende uitgangspunten:

- Het inundatiepatroon van dijktraject Thorn-Wessem is indicatief bepaald door middel van een quick-scan methode door de waterstand bij de diverse herhalingstijden af te zetten tegen de maaiveldhoogte. De maaiveldhoogte komt grotendeels uit het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN2). Waar geen hoogte beschikbaar is in het AHN2 (gebieden waar permanent water staat) is het hoogtebestand aangevuld met gegevens uit het vigerende vergunningsmodel van RWS-ZN (Baseline-schematisatie maas-beno15_5-v4). Voor kaart 1 (situatie met huidige keringen) is de kruinhoogte van de huidige overstroombare keringen nog eens toegevoegd aan het hoogtebestand, waarbij de kruinhoogtes uit het actuele rivierkundige model van RWS-ZN (Baselineschematisatie maas-j15_5-v3) zijn gebruikt. Voor kaart 2 (situatie zonder keringen) is dit niet gedaan.
- De waterstanden zijn afkomstig uit de Hydra-database (Plausibele Middenwaarden). Dit is een door Rijkswaterstaat goedgekeurde database met waterstanden voor diverse afvoeren en herhalingstijden voor zichtjaren 2015, 2050 en 2100. De klimaatverandering is bij het vaststellen van deze waterstanden als autonome ontwikkeling meegenomen. De waterstanden voor 2075 zijn op basis van interpolatie tussen de jaren 2050 en 2100 bepaald. Op de fysieke waterstanden is in deze kaartserie een onzekerheidsmarge opgenomen die varieert van 0,25 – 0,35 cm. De waterstanden zijn omgezet naar een vlakdekkend bestand door het toepassen van een IDW (inverse distance weighting) interpolatietechniek. Voor de situatie met en zonder huidige keringen zijn dezelfde waterstanden toegepast.
- De gebruikte methode impliceert een ongelimiteerde aanvoer van water. Er wordt dus met deze methode geen rekening gehouden met de daadwerkelijke duur en (water)volume van hoogwatergolven. De methodiek houdt ook geen rekening met eventuele doorlaatfuncties in waterkerende elementen zoals bijvoorbeeld tunnels of andere constructies.
- Aan de hand van de inundatiepatronen kan een onderscheid worden gemaakt in inundatiefrequenties met intervallen in herhalingstijd (T) tussen T10, T30, T100, T300 en T1000 (het detailniveau). De inundatiefrequentie wordt dus altijd ingedeeld in één van de volgende klassen: < T10, T10 – T30, T30 – T100, T100 – T300, T300 – T1000 en niet overstroombaar.

Beoordeling op basis van inundatiekaarten en aanwezige bebouwing

Op basis van de twee kaarten met inundatiefrequenties (met en zonder huidige kering) kan de verandering van inundatiefrequentie worden bepaald voor zowel de dijkverhoging als dijkverleggingen. Bij het versterken van de huidige kering (integraal alternatief 1) heeft de



verandering van inundatiefrequentie betrekking op het hele gebied binnen het dijktraject. Bij een dijkverlegging vindt alleen een verandering van inundatiefrequentie plaats in het gebied van de dijkverlegging. Hierbij wordt wel verondersteld dat de huidige kering in de betreffende dijksectie wordt verwijderd. Met andere woorden:

- Bij het versterken van de huidige kering (integraal alternatief 1) neemt de inundatiefrequentie binnen het hele dijktraject af ten opzichte van de inundatiefrequentie in de situatie met de huidige kering (kaart 1) naar een situatie waarbij het gebied niet meer overstroomt, aangezien de keringen in dit geval niet overstroombaar zijn.
- Bij een buitendijkse verlegging van een dijksectie, neemt de inundatiefrequentie binnen het gebied van de verlegging af ten opzichte van de inundatiefrequentie in de situatie met de huidige overstroombare kering (kaart 1, waarbij het deelgebied in de huidige situatie nog buitendijks ligt). Er ontstaat een situatie waarbij het gebied niet langer overstroomt, aangezien de keringen in dit geval niet overstroombaar zijn.
- Bij een binnendijkse verlegging van een dijksectie, neemt de inundatiefrequentie binnen het gebied van de verlegging toe ten opzichte van de inundatiefrequentie in de situatie met de huidige kering (kaart 1). Er ontstaat een situatie zonder kering (kaart 2) waarbij dit gebied buitendijks komt te liggen.
- Als een dijksectie op de huidige locatie blijft liggen, vindt er geen verandering van de inundatiefrequentie plaats. Bij de dijksecties worden namelijk alleen dijkverleggingen beoordeeld; de verandering van de inundatiefrequentie als gevolg van dijkverhoging wordt beoordeeld onder het versterken van de huidige kering (integraal alternatief 1).

Naast de verandering in inundatiefrequentie wordt ook de aanwezigheid van bebouwing meegenomen in de effectbeoordeling (mate van relevantie). Wanneer de inundatiefrequentie verandert in een gebied met bebouwing zijn de gevolgen van deze verandering groter (zowel positief als negatief) dan dezelfde verandering in een gebied zonder bebouwing (zie Tabel 5). Voor de ligging van bebouwing is uitgegaan van het bestand Basisregistratie Adressen en Gebouwen (shapefile baglimburg20170809.shp).

Het scoren van de effecten voor de systeemmaatregelen en de dijksecties vindt, net als voor de veranderingen in waterstanden, plaats aan de hand van een vijfpuntschaal (Tabel 5).

Tabel 5: Beoordelingskader verandering van de inundatiefrequentie van de uiterwaard

Score	Omschrijving
++	Inundatiefrequentie neemt af met meer dan één klasse of met één klasse in een gebied met bebouwing
+	Inundatiefrequentie neemt af met één klasse
0	Inundatiefrequentie blijft gelijk
-	Inundatiefrequentie neemt toe met één klasse
--	Inundatiefrequentie neemt toe met meer dan één klasse of met één klasse in een gebied met bebouwing



2.5 Rivierkundig instrumentarium

Voor de rivierkundige beoordeling in het MER zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd en afgestemd met WL en RWS-ZN:

- Er wordt geschematiseerd met BASELINE 5.3.1.1373 en gesimuleerd met Simona 2016 (p12).
- Als basis wordt het meest recente Baseline & Waqua model gebruikt. Dit is het Baseline & Waqua model “BenO15_mknov-v4” (mknov staat voor Maaskades niet overstroombaar). Deze versie (mknov) moet ook worden toegepast voor de toekomstige toetsingen in kader van de Waterwet (vergunningen-traject). In dit model zijn de definitieve ontwerpen van maatregelen uit projecten Maaswerken en Ruimte voor de Rivier opgenomen. Dit betreft o.a. Vlaamse Ingrepen, Maaspark Well, Ooijen-Wanssum, hoogwatergeul Lomm en een tiental kleine ingrepen. Ook de projecten waarvoor in het recente verleden vergunningen zijn afgegeven, zijn opgenomen in het model.
- In specifieke gevallen zullen overstroombare kades worden toegepast. Om aan te sluiten op de huidige situatie worden hiervoor actuele kruinhoogtes toegepast (geen toekomstige Maaswerkenhoogte die in BenO-modellen standaard is opgenomen). De kruinhoogtes worden afgeleid uit het model “Maas-j15_5-v3”
- Aanvullend op dit model zijn een aantal actualisaties uitgevoerd op de tracéligging van een aantal dijktrajecten. Deze actualisatie is uitgevoerd op basis van een actueel dijktrajectbestand van Waterschap Limburg. De actualisatie heeft betrekking op het dijktraject 79 – Thorn-Wessem, dijktraject 78 – Heel, dijktraject 73 – Beesel, dijktraject 68 – Venlo-Velden, dijktraject 69 – Groot Boller, dijktraject 65 – Arcen en dijktraject 60 – Well. De kering wordt in deze MER-fase nog geschematiseerd op de as van de kruinlijn.
- Aanvullend op de actualisatie is de retentiewerking van Lateraalkanaal-West (LKW-Z en LKW-N) en Lob van Gennep (LvG) inactief gemaakt met behulp van hoogwatervrije lijnen. Hiermee wordt voorkomen dat de effectbepaling van bouwstenen en alternatieven tevens wordt beïnvloed door deze retentiegebieden (het aftoppen van de afvoerpiek). Op deze manier kunnen de bouwstenen en/of alternatieven zuiver met elkaar vergeleken worden.
- Aanvullend zijn drie rivierverruimingen meegenomen in het rivierkundig model waarvoor de minister op 12 oktober 2016 besloten heeft op korte termijn een MIRT-verkenning te starten (en het daardoor aannemelijk is dat deze, mogelijk in iets aangepaste vorm, op middellange termijn worden uitgevoerd). Dit zijn de Koploperprojecten Venlo, Oeffelt en Ravenstein-Lith. De uitwerking van deze ingrepen worden overgenomen uit de Plausibele Middenwaarden waarmee de hydraulische ontwerpbelastingen (HOB) voor de Maasvallei zijn bepaald [ref 2]. Om de geul in Koploperproject Venlo mogelijk te maken is de dijkverlegging (fase 1 van de systeemmaatregel Venlo-Velden) hierin meegenomen. Overige systeemmaatregelen bij Thorn-Wessem, Baarlo, Arcen en Well zijn bewust niet meegenomen, hiernaar wordt juist met dit model een nadere verkenning op uitgevoerd.
- De rivierkundige effecten worden bepaald met een dynamische afvoergolf van 4.000 m³/s. Met deze afvoergolf kunnen rivierkundige effecten goed in beeld worden gebracht voor de omgeving en deze afvoergolf is nog steeds vigerend voor de maatgevende afvoer (RBK 4.0). Met deze afvoergolf kunnen rivierkundige effecten inzichtelijk worden gemaakt op zowel het stromend als het bergend regime van BGR.
- De berekeningen zijn uitgevoerd met een grof rekenrooster. Dit betekent dat er bij aanpassingen in de schematisatie – meer dan bij een fijner rekenrooster - details verloren kunnen gaan. Het effect van een dijkverlegging kan hierdoor net iets groter of kleiner zijn dan wanneer een fijner rekenrooster gebruikt wordt. Omdat het niet mogelijk is om op basis



van de uitgevoerde berekeningen een bandbreedte of nauwkeurigheid te bepalen, worden de effecten op de waterstanden in dit rapport als exacte getallen gepresenteerd. De effecten kunnen echter iets afwijken als een fijner rekenrooster wordt gebruikt.



3 Huidige situatie en ontwikkelingen

Onderstaand volgt een algemene rivierkundige beschrijving van het projectgebied Thorn-Wessem m.b.t. huidige situatie (referentiesituatie MER fase 1: kades overstroombaar). Aanvullend volgt een systeembeschrijving van de Maas waarbij de keringen op de Limburgse Maas niet meer overstroombaar zijn. Opvolgend volgt een beschrijving hoe verschillende (autonome) ontwikkelingen zijn meegenomen in de beoordeling van de diverse aspecten uit het beoordelingskader.

3.1 Huidige situatie

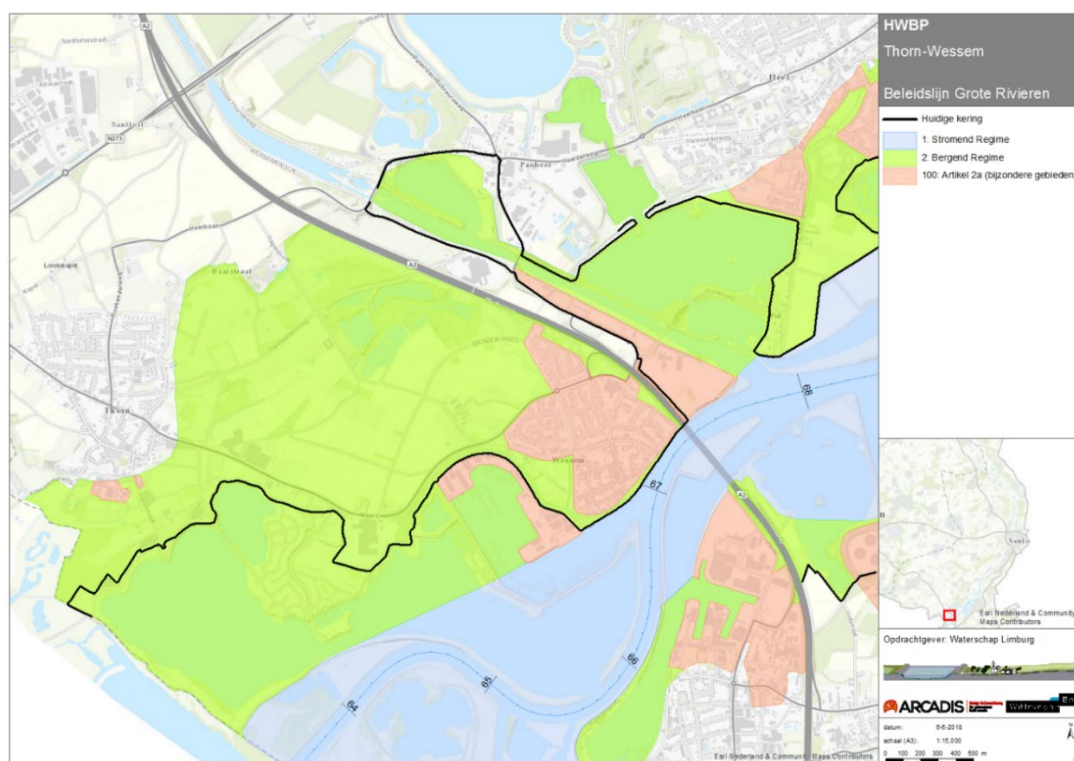
Het projectgebied van Thorn-Wessem (dijktraject 79) ligt in het stuwpannd (boven) van het stuwcomplex Linne. In dit stuwpannd wordt het waterpeil gestuurd op 20,85 m+NAP tot aan afvoeren van 1.000 m³/s. Onder deze omstandigheden stroomt er een beperkt debiet door het stuwcomplex om enige doorstroming op de Maas te hebben. Pas bij afvoeren boven de 1.000 m³/s wordt de Maas een vrij afstromende rivier en staan de stuwen volledig open. Op basis van Betrekkingslijnen Maas 2016/ 2017 komt deze situatie 8d/j voor. Pas bij afvoeren boven de 1.000 m³/s ontstaan in het algemeen stroomsnelheden op de Maas die voor scheepvaartbewegingen (o.a. dwarsstromingen) en voor de vaardiepte (morfologie) relevant kunnen zijn.

De huidige kering bij Thorn-Wessem is aangelegd naar aanleiding van de overstromingen van 1993 en 1995. De gemiddelde kruinhoogte van de huidige kering is 24,4 m+NAP. Er zijn twee punten waar de overstroming van de kering ongeveer tegelijkertijd begint. Het eerste punt is in het zuiden van Wessem, waar de Thornerbeek uitmondt in de haven waarbij de kering een kruinhoogte heeft van 23,7 m+NAP. Het tweede punt is vanuit de haven bij Wessem waarbij de kering een kruinhoogte heeft van 23,9 m+NAP. Deze waterstanden bij de instroompunten worden bereikt vanuit de as van de rivier bij een waterstand van om nabij 24,10 m+NAP op rkm 65. Op basis van betrekkingslijnen Maas 2016 / 2017 levert deze waterstand een overstromingsfrequentie op van ongeveer eens in de 230 jaar bij een afvoer van om nabij 3.400 m³/s (ter indicatie o.b.v. mechanisme overloop). Door dit stromingspatroon behoort het gebied binnen het dijktraject formeel tot het rivierbed. In kader van Beleidslijn Grote Rivieren (BGR) is het projectgebied Thorn-Wessem ingedeeld in stromend- en bergend regime van de rivier en is hiermee vergunningsplichtig in kader van de Waterwet (zie Figuur 1). De bijzondere gebieden (artikel 2a) zijn vergunningsvrij in kader van de Waterwet. Het projectgebied van Thorn-Wessem bevindt zich geheel in het bergend regime van BGR.

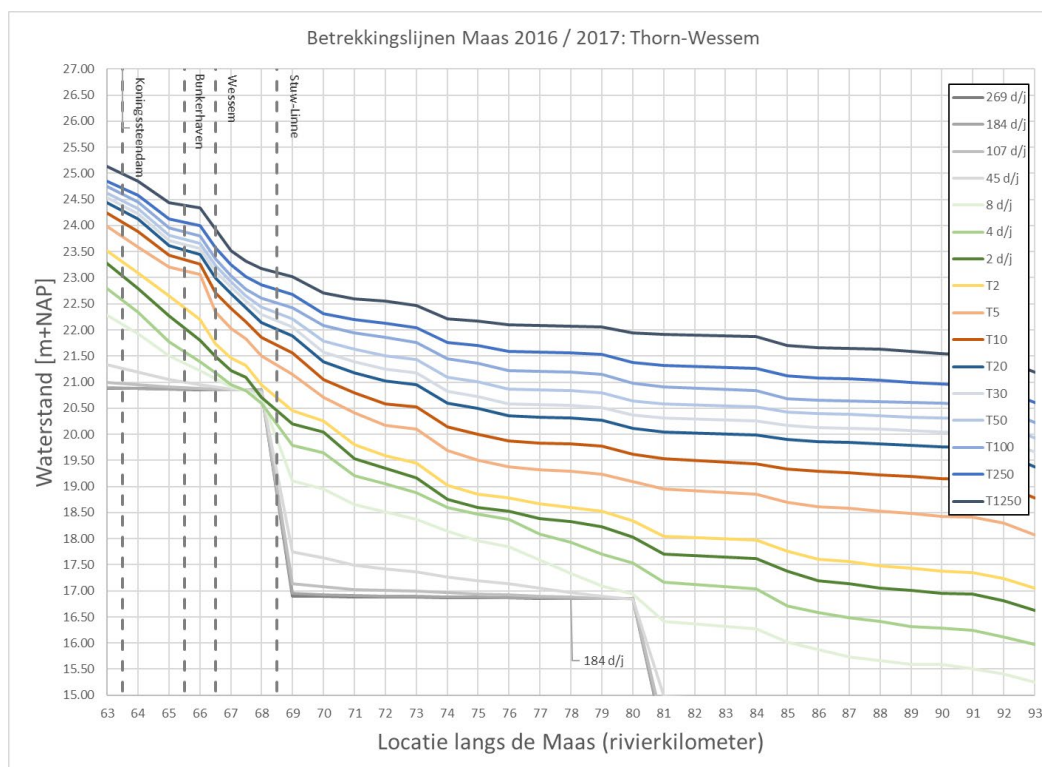
In Figuur 2 zijn verschillende verhanglijnen (betrekkingslijnen) weergegeven rondom het projectgebied van Thorn-Wessem. Bij een T250-situatie kan de waterstand oplopen tot 24,35 m+NAP (bovenstrooms) en 23,45 m+NAP (benedenstrooms) van het projectgebied. Bij een T1250-situatie kan de waterstand oplopen tot 25,0 m+NAP (bovenstrooms) en 23,75 m+NAP (benedenstrooms) van het projectgebied.



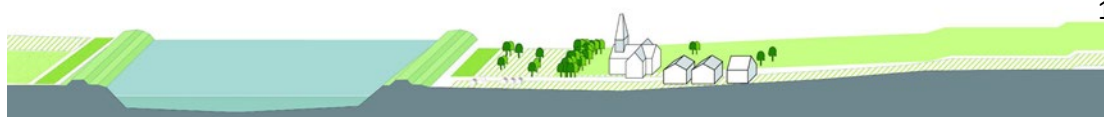
HWBP Noordelijke Maasvallei



Figuur 1: Indeling van stromend- en bergend regime in kader van Beleidslijn Grote Rivieren (BGR) rondom het dijktraject van Thorn-Wessem



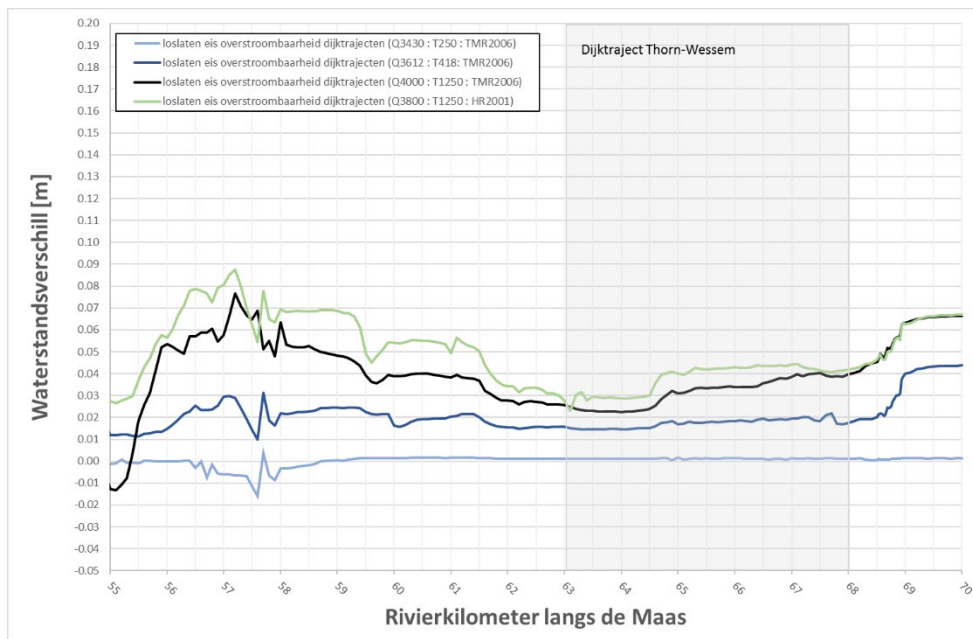
Figuur 2: Overzicht van absolute waterstanden rondom het plangebied Thorn-Wessem op basis van betrekkingslijnen Maas 2016/ 2017



Systeemwerking en loslaten overstroombaarheid van dijktrajecten langs de Maas

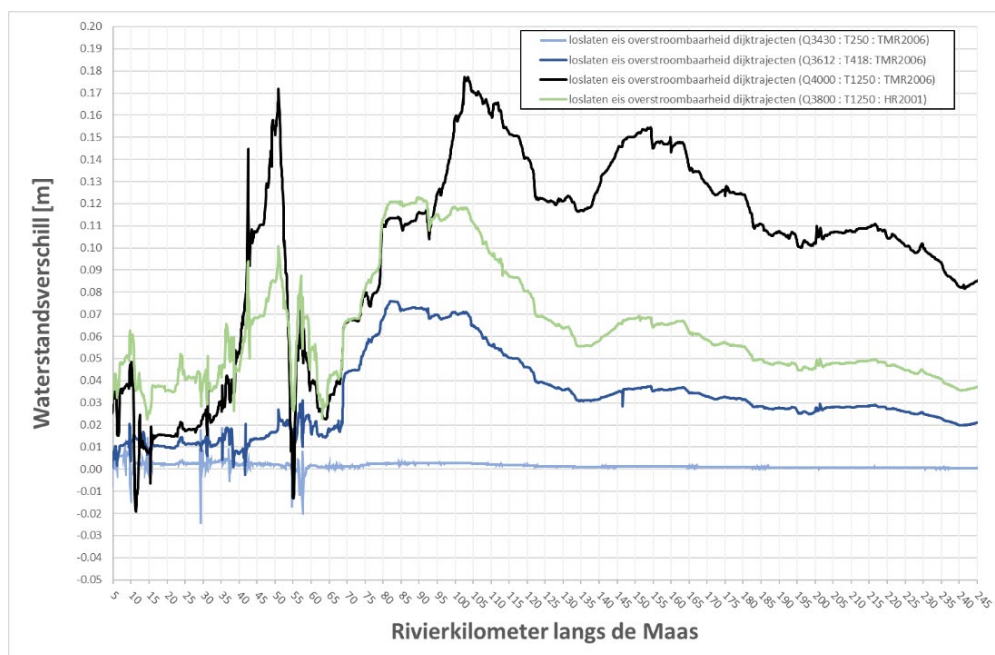
Het in standhouden van het huidige veiligheidssysteem langs de Limburgse Maasvallei met 42 overstroombare keringen is minder betrouwbaar en niet tot moeilijk uitvoerbaar voor alle beheerders langs de Maas. Om deze reden heeft Deltaprogramma Rivieren met regionale partijen een aanpak opgesteld om een robuust veiligheidssysteem op de Maas te ontwikkelen (Deltaprogramma Rivieren, 2014). Deze aanpak houdt in dat de overstroombaarheid van 42 dijktrajecten op de Limburgse Maas wordt losgelaten, waarbij de keringen niet meer overstroombaar zijn vanaf de oude 1/250^{ste} maatgevende afvoer i.r.t. overschrijdingskansen. De hiervoor benodigde verhoging van de primaire kering sluit aan met de eisen die gesteld worden bij de nieuwe normering die per 1 januari 2017 van kracht is. De verhoogde waterstand die wordt veroorzaakt door het niet meer overstromen van de keringen wordt beperkt door het toepassen van systeemmaatregelen bij 12 dijktrajecten, die een belangrijke bijdrage aan afvoer- en bergingscapaciteit van de rivier hebben. Deze trajecten worden zodanig aangepast dat de ruimte in het systeem zoveel mogelijk behouden blijft in relatie tot hun bergende en/of stroomvoerende functie.

Het niet overstroombaar maken van deze dijktrajecten levert lokaal een waterstandsverhoging op van circa 4 tot 5 cm bij Thorn-Wessem (zie Figuur 3 en Figuur 4 ter indicatie). Deze inzichten in verhoogde waterstanden zijn verkregen door de modelschematisaties “Maas-beno15_5-v4” en “Maas-beno_mknov15_5-v4” met elkaar te vergelijken, waarbij de keringen respectievelijk wel en niet overstroombaar zijn. Aanvullend zijn de retentiegebieden Lateraalkanaal-West (LKW-Z en LKW-N) en Lob van Gennep (LvG) in beide schematisaties dichtgezet en doorgerekend met verschillende hydraulische afvoergolven. Eén van de retentiegebieden die een positief effect heeft op het verlagen van de hoogwaterstanden is dijktraject 79 bij Thorn-Wessem. Het doel van dit retentiegebied is om het gebied bij hoge afvoeren te behouden voor het rivierbed, waarmee de piek van een hoogwatergolf afgetopt kan worden. Hiermee zullen de waterstanden in de Maasvallei en de Bedijkte Maas lager worden.



Figuur 3: Inschatting van verhoogde waterstand bij loslaten eis overstroombaarheid dijktrajecten op de gehele Maas rondom projectgebied Thorn-Wessem bij verschillende hydraulische condities (afvoergolven)





Figuur 4: Inschatting van verhoogde waterstand bij loslaten eis overstroombaarheid dijktrajecten op de gehele Maas bij verschillende hydraulische condities (afvoergolven)

3.2 Autonome ontwikkelingen

In deze paragraaf wordt per beoordelingscriterium toegelicht hoe autonome ontwikkelingen in het gebied zijn meegenomen in de effectbeoordeling. De volgende ontwikkelingen worden beschouwd als autonome ontwikkelingen:

- Klimaatverandering met toenemende waterstanden en afvoeren.
- Nieuwe normering van de keringen en loslaten van de overstroombaarheid van de keringen.
- Projecten die op (lange) termijn uitgevoerd worden.

Verandering van (maatgevende) hoogwaterstanden

De effectbeoordeling van dit criterium vindt plaats bij een 1/1250^{ste} maatgevende afvoer van 4.000 m³/s. Dit is een extreme afvoer waarmee de effecten op omgeving goed inzichtelijk kunnen worden gemaakt en is op dit moment nog de juridische maatgevende afvoer. Indien wenselijk kan deze afvoer in elk zichtjaar geplaatst worden. In huidige situatie heeft deze een frequentie van voorkomen (herhalings tijd T) van eens in de 1250 jaar. In zichtjaar 2075 (GRADE-afvoerstatistiek klimaatscenario W+) heeft deze afvoer een herhalings tijd om nabij T230.

Het loslaten van de overstroombaarheid van de keringen wordt meegenomen doordat de keringen buiten het projectgebied niet-overstroombaar zijn in de schematisatie. De invloed van wel of geen overstroombare keringen binnen het dijktraject van Thorn-Wessem wordt in het MER fase 1 onderzocht doordat zowel berekeningen zijn uitgevoerd met overstroombare keringen (de referentiesituatie) als niet-overstroombare keringen (het integrale alternatief 1).

De projecten die op termijn uitgevoerd worden zijn meegenomen doordat een schematisatie is gebruikt waarbij alle vergunde rivierkundige ingrepen zijn meegenomen en/of ingrepen waarvan



met enige zekerheid gesteld kan worden dat deze op termijn uitgevoerd gaan worden. Dit betreft onder andere de Koploperprojecten Venlo, Oeffelt en Ravenstein-Lith (zie ook paragraaf 2.5 voor verdere beschrijving van het rivierkundig instrumentarium). Er wordt bij de effectbeoordeling van maatgevende hoogwaterstanden geen rekening gehouden met langetermijn-maatregelen waarvan nog niet zeker is of deze uitgevoerd gaan worden, zoals de maatregelen in het kader van het Regioproces Deltaprogramma Limburg fase 2. De samenhang met deze maatregelen wordt apart beoordeeld onder het criterium “robuustheid”.

Behoud van rivierbed

De beoordeling van het criterium “behoud van rivierbed” vindt plaats aan de hand van oppervlaktes. Bij de systeemopgave wordt aanvullend nog een percentage uitgerekend ten opzichte van de totaal beschikbare oppervlakte. Deze wijze van beoordelen is vrijwel onafhankelijk van bovenstaande genoemde autonome ontwikkelingen. Alleen bij de correctie van de oppervlaktes, in relatie tot ligging van de hoge gronden (zie paragraaf 2.4.2), is rekening gehouden met klimaatverandering. Bij de bepaling en ligging van hoge gronden is namelijk gebruik gemaakt van waterstanden (incl. onzekerheidstoets) behorend bij het zichtjaar van 2075. De waterstanden zijn gebaseerd op uitkomsten van het rivierkundig model “Plausibele Middenwaarden” waarmee de hydraulische ontwerpbelastingen (HOB) voor de Maasvallei zijn bepaald (IO.10.001-DEF-B-Me-HBN en Waterstand per dijktraject, Bijlage 2.xlsx). Dit model gaat uit van de nieuwe normering bij alle keringen (loslaten van de overstroombaarheid). Ook is er in dit model rekening gehouden met de koploperprojecten Venlo, Oeffelt en Ravenstein-Lith en de systeemmaatregelen bij Thorn-Wessem, Venlo-Velden, Baarlo, Arcen en Well. Er wordt geen rekening gehouden met langetermijn-maatregelen waarvan nog niet zeker is of deze uitgevoerd gaan worden, zoals de maatregelen in het kader van het Regioproces Deltaprogramma Limburg fase 2.

Robuustheid

Aan de beoordeling van dit criterium ligt geen kwantitatieve analyse ten grondslag. Er wordt wel aangenomen dat in de toekomst hogere afvoeren optreden en dat hiervoor langetermijn-maatregelen nodig zijn, maar omdat de beoordeling kwalitatief is komen de hierboven genoemde autonome ontwikkelingen niet direct terug in de beoordeling. De langetermijn-projecten die voor dit criterium worden beschouwd zijn juist niet de projecten die met (enige) zekerheid worden uitgevoerd en worden daarom niet beschouwd als autonome ontwikkelingen.

Verandering van inundatiefrequentie van de uiterwaard

Bij de inundatiefrequentie wordt alleen gekeken naar het mechanisme overloop, waarbij de waterstand gelijk of hoger is dan de kruinhoogte. Voor de beoordeling van de verandering van de inundatiefrequentie wordt gekeken naar de situatie met waterstanden (incl. onzekerheidstoets) behorend bij het zichtjaar van 2075. De waterstanden zijn gebaseerd op uitkomsten van het rivierkundig model “Plausibele Middenwaarden” waarmee de hydraulische ontwerpbelastingen (HOB) voor de Maasvallei zijn bepaald (IO.10.001-DEF-B-Me-HBN en Waterstand per dijktraject, Bijlage 2.xlsx). Dit model gaat uit van de nieuwe normering bij alle keringen (loslaten van de overstroombaarheid). Ook is er in dit model rekening gehouden met de koploperprojecten Venlo, Oeffelt en Ravenstein-Lith en de systeemmaatregelen bij Thorn-Wessem, Venlo-Velden, Baarlo, Arcen en Well. Er wordt geen rekening gehouden met langetermijn-maatregelen waarvan nog niet zeker is of deze uitgevoerd gaan worden, zoals de maatregelen in het kader van het Regioproces Deltaprogramma Limburg fase 2.



4 Uitkomsten effectbeoordeling

Dit hoofdstuk bevat de beoordeling van de systeemopgave (doelbereik) en de dijkversterkingsopgave (rivierbeheer). Paragraaf 4.1 bevat de effectbeoordeling van de systeemopgave en in paragraaf 4.2 staat de effectbeoordeling van de dijkversterkingsopgave. Daarna wordt in paragraaf 4.3 de verandering van inundatiefrequentie toegelicht. Als laatste worden in paragraaf 4.4 de effecten van de integrale alternatieven beschreven op basis van expert judgement. De werkwijze van de effectbeoordeling en het beoordelingskader is toegelicht in hoofdstuk 2.

4.1 Effectbeoordeling systeemopgave

Binnen de systeemopgave van Thorn-Wessem (dijksecties 6 en 7) vindt de beoordeling plaats op basis van drie criteria. Het eerste criterium, de hoeveelheid waterstandsdeling die gerealiseerd wordt met de systeemmaatregel, heeft een sterke relatie met de compensatie voor “loslaten overstroombaarheid”. Alhoewel voor de systeemmaatregelen geen individuele taakstellingen zijn afgeleid in cm waterstandsdeling, moeten een twaalfstal systeemmaatregelen tezamen de verhoogde waterstand als gevolg van de dijkverhoging (i.h.k.v. de dijkversterkingsopgave) zoveel mogelijk compenseren. De waterstandsdeling heeft ook weer een relatie met het tweede criterium, de doelstelling m.b.t. zoveel mogelijk behoud van rivierbed. De toelichting en de beoordeling van deze criteria zijn direct beschreven in de effectentabel van de systeemopgave in paragraaf 4.1.2. De toelichting en beoordeling van het criterium “robuustheid” behoeft wat meer uitleg en wordt in paragraaf 4.1.1 nader toegelicht in een integrale context. Vervolgens is alleen een samenvatting van de beoordeling van dit criterium opgenomen in de effectentabel.

Bij de effectbeoordeling van de maatgevende waterstanden zijn voor Thorn-Wessem een aantal uitgangspunten gehanteerd die aanvullend zijn ten opzichte van de algemene methodiek (zie paragraaf 2.4):

- Voor het maximale effect van berging en retentie wordt alleen gekeken naar het effect rond rivierkilometer (hierna rkm) 80. Dit wordt gedaan om ‘lokale’ effecten tussen rkm 65 en 69 buiten beschouwing te laten. Deze lokale effecten zijn niet het gevolg van het ‘aftoppen’ van de hoogwatergolf, wat wordt beoogd bij berging en retentie, maar van plaatselijke wijzigingen in stromingspatronen. Deze effecten zijn na rkm 69 uitgewerkt. In sommige berekeningen zijn deze lokale effecten groter dan de maximale waterstandseffecten verder benedenstrooms (die rond rkm 80 liggen), terwijl dit in andere berekeningen juist niet zo is. Door alleen de maximale waterstanden met elkaar te vergelijken wordt geen goed beeld verkregen van het verschil tussen de systeemmaatregelen. Bij een vergelijking van de effecten rond rkm 80 is dit wel het geval; de verschillen in effecten die je hier ziet, werken over de hele Maas door.
- Er is verondersteld dat het effect van een oostelijke instroomopening nauwelijks af zal wijken van een westelijke instroomopening. Meer informatie over de locatie van de instroomopening staat in paragraaf 5.4.3.
- Voor de beoordeling van de effecten o.b.v. expert judgement is voor de systeemmaatregelen alleen maar gebruik gemaakt van de resultaten van de nadere verkenning van de inzetfunctie van Thorn-Wessem (zie hoofdstuk 5). In deze nadere verkenning voor de inzetfunctie zijn berekeningen uitgevoerd met een hoogwatergolf met



een maximale afvoer van 4.100 m³/s, i.p.v. de 4.000 m³/s waarbij de effecten beoordeeld worden in dit MER fase 1. In de praktijk kunnen wel kleine verschillen optreden door deze iets hogere afvoer, maar deze verschillen zijn nauwelijks van invloed voor de effectbeoordeling, en worden daarom genegeerd.

4.1.1 Robuustheid en integrale beoordeling systeemopgave

De dorpen Thorn en Wessem liggen aan de linkeroever van de Maas in een bergend deel van het rivierbed. Tussen de twee dorpen ligt een gebied met relatief weinig bebouwing. Als gevolg van klimaatverandering zullen de afvoeren en waterstanden in de toekomst op de Maas toenemen. Om hierop in te spelen zijn in recente verleden klimaatscenario's ontwikkeld tot aan het zichtjaar 2100. Tegelijkertijd was er de wens om de betrouwbaarheid van het huidige riviersysteem in de Limburgse Maasvallei (met 42 overstroombare keringen) te verbeteren en heeft Deltaprogramma Rivieren met regionale partijen een aanpak opgesteld om een robuust veiligheidssysteem op de Maas te ontwikkelen. Deze aanpak houdt in dat de overstroombaarheid van 42 dijktrajecten op de Limburgse Maas wordt losgelaten. De hiervoor benodigde verhoging van de primaire kering sluit aan met de eisen die gesteld worden bij de nieuwe normering die per 1 januari 2017 van kracht is. De verhoogde waterstand die wordt veroorzaakt door het niet meer overstroomd van de keringen wordt beperkt door het toepassen van een twaalfstal systeemmaatregelen, die een belangrijke bijdrage aan afvoeren/of bergingscapaciteit van de rivier hebben. Hiermee worden tevens keringen die niet optimaal in het rivierbed zijn gelegen alsnog op een betere locatie neergelegd. Met deze systeemmaatregelen wordt een belangrijk deel van het rivierbed behouden, wat mogelijkheden biedt om langetermijnverruimingsmaatregelen (o.a. Deltaprogramma) te realiseren, die zijn bedoeld om de klimaatverandering in de toekomst verder op te vangen. Doordat deze langetermijnmaatregelen (gebiedsreserveringen) een andere doelstelling hebben dan de systeemmaatregelen, kunnen deze echter niet worden gebruikt om de systeemmaatregelen te vervangen of te compenseren.

Door het ophogen van de huidige kering bij Thorn-Wessem (zonder systeemmaatregel) neemt het bergend vermogen van de rivier af (zie Figuur 1). Een verlies in bergend vermogen resulteert veelal in een waterstandsverhoging benedenstrooms van de ingreep over de hele Maas, dit ten gevolge van een hogere afvoer benedenstrooms van de ingreep. Bij de huidige maatgevende afvoer van 4.000 m³/s veroorzaakt het ophogen van de kering een maximale waterstandsverhoging van 2,3 cm nabij Venlo, waarbij het rivierbed erg smal is. Bij het Brabantse deel van de Maas is dit effect nog altijd 1 tot 1,5 cm. Het bestaande hydraulische knelpunt, tussen de landhoofden van de A2 direct benedenstrooms van Wessem (rkm 67,3), wordt ook lichtelijk negatief beïnvloed. Direct stroomafwaarts van het hydraulisch knelpunt stijgen de waterstanden met circa 1 cm (dit naast een lokale waterstandsval). Om de bovenstaande effecten nu en in de toekomst te voorkomen moet de kering op een logische manier in het rivierbed worden gepositioneerd, zodat het bergende rivierbed zoveel mogelijk behouden blijft.

De dorpskernen van Thorn en Wessem zijn bebouwd gebied. Dit bebouwde gebied dient beschermd te worden door de primaire waterkering. Tussen Thorn en Wessem ligt echter een relatief onbebouwd gebied, wat in de huidige situatie beschermd is. Dit gebied is rivierkundig gezien zeer geschikt om beschikbaar te houden voor (bergend) rivierbed. Door Thorn en Wessem te beschermen met een ringdijk en het tussenliggende gebied in te richten als bergings- of retentiegebied, kan ruimte voor het bergend rivierbed worden behouden. Dit heeft een waterstandsverlagend effect van ongeveer 3 tot 4 cm, afhankelijk van de inrichting als bergings- of retentiegebied en van de grootte



van het gebied wat behouden blijft voor de rivier. Dit effect werkt ook door over de hele Maas, hoewel het effect in benedenstroomse richting wel afneemt. Het effect van het ophogen van de overige keringen in Thorn-Wessem wordt dus ruimschoots gecompenseerd door de systeemmaatregel. Retentie- of bergingsgebieden zoals Thorn-Wessem zijn de enige maatregelen die in Limburg genomen kunnen worden om het eerder genoemde waterstandsverhogend effect op de Brabantse Maas tevens te verlagen. Voor dergelijke maatregelen is veel ruimte nodig, omdat er veel volume water in het gebied geborgen moet worden om een significant waterstandseffect te bereiken. Zulke gebieden komen niet veel voor op de Limburgse Maas, wat betekent dat er niet veel alternatieven zijn voor de systeemmaatregel Thorn-Wessem.

Een belangrijke keuze die moet worden gemaakt bij het uitvoeren van de systeemmaatregel is of deze als bergingsgebied of retentiegebied wordt ingezet. In hoofdstuk 5 wordt uitgebreid ingegaan op deze keuze.

Om hydraulische knelpunten ook in de toekomst op te kunnen lossen zijn in de omgeving van Thorn-Wessem verschillende aanvullende langetermijn-maatregelen bedacht. Deze betreffen de maatregelen “meestromen Lateraalkanaal en/of verlagen dam Lateraalkanaal”, “verbeteren doorstroming Maasplassen” en “oeververlaging Maasgouw Noord (Maasbracht – Molengreend en De Slaag)”. Deze langetermijn-maatregelen, die allemaal benedenstrooms van Thorn-Wessem liggen, hebben een stroomvoerend effect en verlagen de waterstanden in bovenstroomse richting. Hierdoor dragen deze maatregelen bij aan het oplossen van het bestaande hydraulische knelpunt bij de A2. Thorn-Wessem draagt hier minder direct aan bij, omdat het maximale effect verder benedenstrooms ligt. Voor al deze maatregelen geldt dat deze niet afhankelijk zijn van het uitvoeren van de systeemmaatregel bij Thorn-Wessem, oftewel het functioneren van deze maatregelen wordt niet verminderd als de systeemmaatregel bij Thorn-Wessem niet wordt uitgevoerd.

Omgekeerd kan het wel, het niet uitvoeren van de langetermijn-maatregelen kan wel een effect hebben op de werking van Thorn-Wessem als dit als bergingsgebied wordt ingezet. Bij de inzet als bergingsgebied wordt het niet primaire deel, gelegen tussen de primaire keringen bij Thorn en Wessem, op de huidige hoogte behouden. Dit betekent dat er bij de aanleg van het bergingsgebied moeilijker rekening gehouden kan worden met toekomstige ontwikkelingen. Als de waterstanden stijgen (door klimaatverandering) of dalen (door het uitvoeren van maatregelen) verandert de inundatiefrequentie en het bijhorende waterstandseffect. Dit kan zowel positief als negatief uitpakken voor het hydraulisch effect van het bergingsgebied. Bij de inzet als retentie kan met de aanleg van de drempel en de aanpassing hiervan eenvoudiger rekening worden gehouden met het uitvoeren van langetermijn-maatregelen en met toekomstige stijgingen van de maatgevende afvoer.

Hieruit kan geconcludeerd worden dat de systeemmaatregelen waarbij Thorn-Wessem als retentie wordt ingezet meer robuust en toekomstbestendig zijn dan de inzet als berging. Hierbij moet echter bedacht worden dat ook een retentiegebied altijd minder robuust is dan een rivierverruimingsmaatregel. De belangrijkste redenen hiervoor zijn dat retentie alleen goed werkt voor een specifieke afvoer en dat de werking van retentie afhankelijk is van de golfvorm (zie hoofdstuk 5 voor meer toelichting).



4.1.2 Effectentabel systeemopgave

In Tabel 6 is de effectbeoordeling van de systeemopgave weergegeven. Voor de beoordeling van maatgevende waterstanden is gebruik gemaakt van drie soorten berekeningen:

- Berekeningen uit de rivierkundige verkenning systeemwerking Thorn-Wessem [ref 1]. Deze berekeningen worden in de tabel “verkenningsberekeningen” genoemd. Voor de herleidbaarheid en onderbouwing van de inschatting wordt ook de betreffende variant of varianten van de verkenningsberekeningen genoemd (bijvoorbeeld “variant 4 uit de verkenning”).
- Berekeningen die zijn gedaan voor de nadere verkenning van de inzetfunctie van Thorn-Wessem (zie hoofdstuk 5). Deze berekeningen worden in de tabel “berekeningen voor nadere verkenning inzetfunctie” genoemd (bijvoorbeeld “variant 4 uit de nadere verkenning inzetfunctie”).
- Waar expert judgement, al dan niet met behulp van bovengenoemde berekeningen, niet mogelijk is zijn aanvullende berekeningen uitgevoerd. Deze berekeningen (voor een overzicht zie Tabel 3) worden aangeduid met “berekeningen MER fase 1”.

Bij de expert judgement beoordeling van effecten van berging en retentie is soms gebruik gemaakt van het verschil in volume water in het bergingsgebied tussen verschillende alternatieven. Omdat het effect van berging en retentie sterk afhankelijk is van het instromingspatroon in relatie tot de hoogwatergolf, kan dit alleen als de instroomdrempel identiek is (even lang en even hoog) of – in geval van retentie – als uitgegaan wordt van een optimale retentiewerking. Als dat niet zo is, kunnen effecten van verschillende varianten niet aan elkaar worden gerelateerd op basis van bergingsvolumes. Meer uitleg over de werking van retentiegebieden wordt gegeven in paragraaf 5.2.1.



Tabel 6: Effectbeoordeling systeemopgave (gehele dijktraject)

Doelbereik Thorn-Wessem: systeemopgave	Aspect	Criterium	Integrale alternatief 1: versterken huidige kering (ophogen en binnendijs versterken) Huidige kering versterken	Integrale alternatief 2: maximaal behoud winterbed met berging. Huidige kruinhoogte 23,90 m+NAP bij de haven van Wessem 6A en 7A, instroming over huidige dijk	Integrale alternatief 3: meer bescherming met retentie en beekverlegging. Drempelhoogte van retentie is 24,20 m+NAP 6B en 7A, oostelijke instroomopening	Integrale alternatief 4: maximale bescherming met retentie met beekverlegging. Drempelhoogte van retentie is 24,20 m+NAP 6A en 7B, westelijke instroomopening	Mitigerende maatregelen	Relatie met andere thema's/aspecten/dijksecties en cumulerende effecten
Alternatief 1 (gehele dijktraject) + Systeemmaatregel (dijksecties 6 en 7)	Doelbereik	Verandering van (maatgevende) waterstanden	Het niet-overstroombaar maken van het gehele dijktraject bij Thorn-Wessem heeft een maximaal waterstandsverhogend effect van 2,3 cm (nabij Venlo). Dit is gebaseerd op het verschil in waterstanden tussen de referentiesituatie en variant 1 (MER fase 1 berekeningen).	De dijkteruglegging naar secties 6A en 7A en het behouden van de huidige kering is doorgerekend in variant 5 van de nadere verkenning inzetfunctie voor Thorn-Wessem (zie hoofdstuk 5). Dit leidt tot een waterstandsdeling van 3,5 cm stroomafwaarts van Thorn en Wessem. Hierbij is het uitgangspunt dat de huidige dijk op dezelfde locatie blijft liggen en niet wordt teruggelegd naar tracé 2C en 3C. Als dit wel wordt gedaan, wordt het bergingsgebied kleiner. Hierdoor neemt het bergend waterstandseffect af met ruim 0,3 cm (o.b.v. volumeanalyse) en is het totale effect 3,2 cm waterstandsdeling. Met dit effect wordt het niet overstroombaar maken van het gehele dijktraject bij Thorn-Wessem gecompenseerd.	Uit variant 4 van de nadere verkenning inzetfunctie voor Thorn-Wessem (zie hoofdstuk 5) komt een waterstandseffect voor een maximaal retentiegebied van 3,9 cm waterstandsdeling. Uit de verkenningsberekeningen (zie ref 1) blijkt dat het verschil in waterstandseffect tussen een minimaal en maximaal retentiegebied 0,8 cm is. Op basis van een volume-analyse is bepaald dat het gebied tussen 6A en 6B iets minder dan 0,3 cm bijdraagt aan het verschil van 0,8 cm, en het gebied tussen 7A en 7B iets meer dan 0,5 cm. Op basis van deze deeeffecten wordt het effect van de totale systeemmaatregel (6B en 7A) geschat op 3,6 cm waterstandsdeling. Met dit effect wordt het niet overstroombaar maken van het gehele dijktraject bij Thorn-Wessem gecompenseerd.	Uit variant 4 van de nadere verkenning inzetfunctie voor Thorn-Wessem (zie hoofdstuk 5) komt een waterstandseffect voor een maximaal retentiegebied van 3,9 cm waterstandsdeling. Uit de verkenningsberekeningen (zie ref 1) blijkt dat het verschil in waterstandseffect tussen een minimaal en maximaal retentiegebied 0,8 cm is. Op basis van een volume-analyse is bepaald dat het gebied tussen 6A en 6B iets minder dan 0,3 cm bijdraagt aan het verschil van 0,8 cm, en het gebied tussen 7A en 7B iets meer dan 0,5 cm. Op basis van deze deeeffecten wordt het effect van de totale systeemmaatregel (6A en 7B) geschat op 3,4 cm waterstandsdeling. Met dit effect wordt het niet overstroombaar maken van het gehele dijktraject bij Thorn-Wessem gecompenseerd.		
		Behoud rivierbed	Er is geen dijkteruglegging in vorm van een systeemmaatregel. Hierdoor is behoud van rivierbed 0 ha. Dit komt neer op een percentage van 0% behoud van rivierbed ten opzichte van de beschikbare binnendijkse ruimte achter de huidige kering (312 ha).	Met deze systeemmaatregel wordt 255 ha rivierbed behouden. Dit komt neer op een percentage van 81,7% behoud van rivierbed ten opzichte van de beschikbare binnendijkse ruimte achter de huidige kering (312 ha).	Met deze systeemmaatregel wordt 237 ha rivierbed behouden. Dit komt neer op een percentage van 76,0% behoud van rivierbed ten opzichte van de beschikbare binnendijkse ruimte achter de huidige kering (312 ha).	Met deze systeemmaatregel wordt 230 ha rivierbed behouden. Dit komt neer op een percentage van 73,7% behoud van rivierbed ten opzichte van de beschikbare binnendijkse ruimte achter de huidige kering (312 ha).		
		Robuustheid	Niet robuust: opstuwing vanaf Thorn-Wessem over de hele lengte van de Maas.	Neutraal: compenseert de verhoging door ophogen kering en beperkt niet het functioneren van de langetermijn-maatregelen, maar werking is onzeker en aanpassingen in de toekomst zijn lastig en duur.	Robuust: compenseert de verhoging door ophogen kering en beperkt niet het functioneren van de langetermijn-maatregelen.	Robuust: compenseert de verhoging door ophogen kering en beperkt niet het functioneren van de langetermijn-maatregelen.		



4.2 Effectbeoordeling dijkversterkingsopgave

De dijkversterkingsopgave van Thorn-Wessem betreft een activiteit in het rivierbed waarvoor een algemene zorgplicht van toepassing is (Artikel 6.15 Waterbesluit). De beoordeling van een buitendijkse versterking vindt plaats conform de methodiek uit de redeneerlijn buitendijks versterken. Om deze reden vindt de beoordeling plaats op basis van twee criteria. Ieder alternatief voor een dijksectie wordt beoordeeld op verandering van (maat)gevende waterstanden en het behoud van het rivierbed. Bij de beoordeling is alleen voor het criterium verandering van waterstanden een score toegekend, omdat dit het meest relevante criterium is. Het behoud van rivierbed is voor de dijkversterkingsopgave van ondergeschikt belang, maar het geeft wel een indruk van de omvang van een dijkverlegging (zie ook eerdere toelichting in paragraaf 2.4.2). Daarom is ook dit criterium voor ieder alternatief bepaald, waarbij een positief getal een toename van het rivierbed betekent (binnendijkse verlegging) en een negatief getal een afname (rivierwaartse verlegging). De veranderingen in oppervlaktes van het rivierbed zijn afgerond op één decimaal.

De toelichting en de beoordeling van deze criteria zijn direct beschreven in de effectentabel van de dijkversterkingsopgave in paragraaf 4.2.1. Alternatief 1 is beoordeeld als een gesloten dijktraject onder de systeemopgave (zie ook paragraaf 2.2) en scoort in de effectentabel van de dijkversterkingsopgave dan ook “neutraal” op het niveau van een dijksectie. In paragraaf 0 volgt een korte toelichting m.b.t. mitigatie en compensatie.

4.2.1 Effectentabel dijkversterkingsopgave

In Tabel 7 is de effectbeoordeling van de dijkversterkingsopgave weergegeven. Voor de beoordeling van maatgevende waterstanden is vooral gebruik gemaakt van expert judgement. Waar expert judgement niet mogelijk is, zijn aanvullende berekeningen uitgevoerd. Deze berekeningen (voor een overzicht zie Tabel 3) worden aangeduid met “berekeningen MER fase 1”.

In Tabel 7 is het integrale alternatief 1 (de situatie met volledig binnendijks versterkte en verhoogde keringen op de huidige locatie) ook opgenomen, hoewel de integrale ophoging over alle dijksecties is beoordeeld onder de systeemopgave. Dit is gedaan om te verduidelijken dat het integrale alternatief 1 de referentie is voor de beoordeling van de overige alternatieven. Om deze reden scoort het integrale alternatief 1 in de tabel van de dijkversterkingsopgave overal “neutraal”, en is het voor de overige alternatieven meteen duidelijk of deze positief of negatief scoren ten opzichte van het integrale alternatief 1.

Bij de expert judgement beoordeling van effecten van berging en retentie is soms gebruik gemaakt van het verschil in volume water in het bergingsgebied tussen verschillende alternatieven. Omdat het effect van berging en retentie sterk afhankelijk is van het instromingspatroon in relatie tot de hoogwatergolf, kan dit alleen als de instroomdrempel identiek is (even lang en even hoog) of – in geval van retentie – als uitgegaan wordt van een optimale retentiewerking. Als dat niet zo is, kunnen effecten van verschillende varianten niet aan elkaar worden gerelateerd op basis van bergingsvolumes. Meer uitleg over de werking van retentiegebieden wordt gegeven in paragraaf 5.2.1.



4.2.2 Mitigatie en compensatie

- Buitendijkse (rivierwaartse) dijkversterking betreft een activiteit in het rivierbed waarvoor een algemene zorgplicht van toepassing is (Artikel 6.15 Waterbesluit). De beoordeling van een buitendijkse versterking vindt plaats conform de methodiek uit de redeneerlijn buitendijks versterken. De redeneerlijn buitendijks versterken biedt afwegingsruimte voor de dijkbeheerder om binnen het wettelijk kader de compensatie van waterstandseffecten plaats- en tijdsafhankelijk en op verschillende niveaus te realiseren.
- De beoordeling of er buitendijks versterkt mag worden (volgens de zorgplicht Waterwet) wordt in dit rapport niet onderbouwd en/of getoetst. Deze afweging is breder dan alleen rivierkunde. Een buitendijkse versterking met een waterstandsverhoging groter dan 1 mm op de as van de rivier en/of een verlies aan bergend vermogen van de rivier zal gecompenseerd moeten worden.
- Een uitzondering vormen (waterstands)effecten van (nieuwe) keringen die voor aansluiting op hoge gronden moeten zorgen. Het loslaten van de overstroombaarheid van de dijken (het ophogen van de dijken in de dijkversterkingsopgave) hoeft eveneens niet gecompenseerd te worden. Deze compensatie vindt plaats door middel van systeemmaatregelen.



Tabel 7: Effectbeoordeling dijkversterkingsopgave (dijksectie)

Water Thorn-Wessem	Aspect	Criterium	Integrale alternatief 1: versterken huidige kering (ophogen en binnendijks versterken) Huidige kering versterken	Score	Integrale alternatief 2: maximaal behoud winterbed met berging. Huidige kruinhoogte 23,90 m+NAP bij de haven van Wessem 6A en 7A, instroming over huidige dijk	Score	Integrale alternatief 3: meer bescherming met retentie en beekverlegging. Drempelhoogte van retentie is 24,20 m+NAP 6B en 7A, oostelijke instroomopening	Score	Integrale alternatief 4: maximale bescherming met retentie met beekverlegging. Drempelhoogte van retentie is 24,20 m+NAP 6A en 7B, westelijke instroomopening	Score	Mitigerende maatregelen	Relatie met andere thema's/aspecten/dijksecties en cumulerende effecten
Dijksectie 1	Rivierbeheer	Verandering van (maatgevende) waterstanden	1A huidige dijk versterken. De integrale ophoging over alle dijksecties wordt beoordeeld onder de systeemopgave (doelbereik) Uitgangspunt is dat in alternatief 1 versterking binnendijks plaatsvindt. Om deze reden scoort deze hier “neutraal”. In deze fase van het MER fase 1 gaat het om de tracékeuze (dijkverlegging) en niet om de inpassing hiervan.	0	1B huidige dijk versterken met vloeiende aansluiting op Grensdijk - teruglegging. Een dijkverlegging naar sectie 1B zal (vrijwel) geen effect hebben. Dat komt omdat de stroomsnelheid ter plaatse van deze verlegging vrijwel nul is (< 0,01 m/s) en het daarnaast ook nog eens een relatief kleine verlegging betreft.	0	1D huidige dijk versterken met vloeiende aansluiting op Grensdijk - buitenwaarts. Een dijkverlegging naar sectie 1D zal (vrijwel) geen effect hebben. Dat komt omdat de stroomsnelheid ter plaatse van deze verlegging vrijwel nul is (< 0,01 m/s) en het daarnaast ook nog eens een relatief kleine verlegging betreft.	0	Zie 1D	0		
		Behoud rivierbed	1A Dit alternatief betreft geen dijkverlegging. Hierdoor is behoud van rivierbed 0 ha.		1B Met dit alternatief wordt 2,6 ha rivierbed behouden.		1D Met dit alternatief wordt -1,7 ha rivierbed afgenomen.		Zie 1D			
Dijksectie 2	Rivierbeheer	Verandering van (maatgevende) waterstanden	2A2 huidige dijk versterken (met constructie) De integrale ophoging over alle dijksecties wordt beoordeeld onder de systeemopgave (doelbereik) Uitgangspunt is dat in alternatief 1 versterking binnendijks plaatsvindt. Om deze reden scoort deze hier “neutraal”. In deze fase van het MER fase 1 gaat het om de tracékeuze (dijkverlegging) en niet om de inpassing hiervan.	0	2C dijk verplaatsen naar de weg Meers. Dijkverlegging naar de weg Meers is beoordeeld onder dijksectie 3.		2A1 huidige dijk versterken. Geen veranderingen in dijktracé t.o.v. alternatief 1, dus geen effect op waterstanden.	0	zie 2A1	0		
		Behoud rivierbed	2A2 Dit alternatief betreft geen dijkverlegging. Hierdoor is behoud van rivierbed 0 ha.		2C Met dit alternatief wordt 18,4 ha rivierbed behouden.		2A1 Dit alternatief betreft geen dijkverlegging. Hierdoor is behoud van rivierbed 0 ha.		zie 2A1			



Dijksectie 3	Rivierbeheer	Verandering van (maatgevende) waterstanden	3A2 <i>Huidige dijk versterken met constructie.</i> De integrale ophoging over alle dijksecties wordt beoordeeld onder de systeemopgave (doelbereik) Uitgangspunt is dat in alternatief 1 versterking binnendijks plaatsvind. Om deze reden scoort deze hier “neutraal”. In deze fase van het MER fase 1 gaat het om de tracékeuze (dijkverlegging) en niet om de inpassing hiervan.	0	3C <i>Dijk verplaatsen naar de Meers.</i> Het waterstandseffect van de tracés 2C en 3C is gezamenlijk beoordeeld, omdat dit een rivierkundig gezien één dijksectie betreft. De binnendijkse teruglegging van de dijk naar dijksecties 2C en 3C heeft een waterstandsdeling op het stroomvoerende regime van 0,08 cm tot gevolg. Dit is gebaseerd op het verschil in waterstanden tussen de referentiesituatie en variant 2 (MER fase 1 berekeningen). Omdat dit minder is dan 0,1 cm, is dit beoordeeld als een neutraal effect. NB: als deze dijkeruglegging wordt gecombineerd met retentie, is het nieuwe buitendijkse gebied niet meer beschikbaar voor retentie. Dit betekent dat de retentie naar schatting 0,3 cm minder waterstandsdeling oplevert. In combinatie met retentie zou deze dijkverlegging dus “negatief” scoren.	0	3A1 <i>Huidige dijk versterken</i> Geen veranderingen in dijktracé t.o.v. alternatief 1, dus geen effect op waterstanden.	0	zie 3A1	0		
		Behoud rivierbed	3A2 Dit alternatief betreft geen dijkverlegging. Hierdoor is behoud van rivierbed 0 ha.		3C Met dit alternatief wordt 2,7 ha rivierbed behouden.		3A1 Dit alternatief betreft geen dijkverlegging. Hierdoor is behoud van rivierbed 0 ha.		zie 3A1			
Dijksectie 4	Rivierbeheer	Verandering van (maatgevende) waterstanden	4A2 <i>Kademuur</i> De integrale ophoging over alle dijksecties wordt beoordeeld onder de systeemopgave (doelbereik) Uitgangspunt is dat in alternatief 1 versterking binnendijks plaatsvindt. Om deze reden scoort deze hier “neutraal”. In deze fase van het MER fase 1 gaat het om de tracékeuze (dijkverlegging) en niet om de inpassing hiervan.	0	4A2 Geen veranderingen in dijktracé t.o.v. alternatief 1, dus geen effect op waterstanden.	0	4A1 <i>ophogen Maasboulevard, gezicht aan de maas door tweede kade met lokstroom Thornerbeek.</i> Geen veranderingen in dijktracé t.o.v. alternatief 1, dus geen effect op waterstanden.	0	4A3 <i>Niet-permanente waterkering zuidelijk deel Maasboulevard. Lokstroom van de beek via buitentalud.</i> Geen veranderingen in dijktracé t.o.v. alternatief 1, dus geen effect op waterstanden.	0		
		Behoud rivierbed	4A2 Dit alternatief betreft geen dijkverlegging. Hierdoor is behoud van rivierbed 0 ha.		4A2 Dit alternatief betreft geen dijkverlegging. Hierdoor is behoud van rivierbed 0 ha.		4A1 Dit alternatief betreft geen dijkverlegging. Hierdoor is behoud van rivierbed 0 ha.		4A3 Dit alternatief betreft geen dijkverlegging. Hierdoor is behoud van rivierbed 0 ha.			



Dijksectie 5	Rivierbeheer	Verandering van (maatgevende) waterstanden	5C via A2 en vervolgens afbuigen richting kanaal Wessem-Nederweert via Panheelderweg. De integrale ophoging over alle dijksecties wordt beoordeeld onder de systeemopgave (doelbereik) Uitgangspunt is dat in alternatief 1 versterking binnendijks plaatsvindt. Om deze reden scoort deze hier “neutraal”. In deze fase van het MER fase 1 gaat het om de tracékeuze (dijkverlegging) en niet om de inpassing hiervan.	0	5D dijkkring om Wessem, gebruik maken van grondlichaam A2. De binnendijkse verlegging naar tracé 5D zorgt voor een extra buitendijks gebied direct ten noorden van de A2. Dit gebied ligt in de luwte van de (niet-overstroombare) A2 en kan daarom alleen een bergend effect hebben. Dit waterstandsdalend effect is o.b.v. volume-analyse en optimale berging- en retentiewerking maximaal 0,13 cm. Dit (optimale) effect zal in de praktijk niet gehaald worden, maar voor de beoordeling is toch uitgegaan van een waterstandsdaling groter dan 0,1 cm.	+	5A A2 als waterkering. De dijkverlegging naar tracé 5A zorgt rivierkundig gezien voor hetzelfde nieuwe buitendijkse gebied als bij alternatief 2, omdat de A2 niet overstroombaar is. Hiervoor geldt dus dezelfde beoordeling als voor alternatief 2.	+	zie 5A	+		
		Behoud rivierbed	5C Dit alternatief betreft geen dijkverlegging. Hierdoor is behoud van rivierbed 0 ha.		5D Met dit alternatief wordt 22,3 ha rivierbed behouden. Hierbij is als uitgangspunt genomen dat dijksectie 5C overstroombaar blijft en het water bij hoogwater tot aan de A2 kan komen (ofwel dijksectie 5A).		5A Met dit alternatief wordt 22,3 ha rivierbed behouden.		zie 5A Met dit alternatief wordt 22,3 ha rivierbed behouden.			



4.3 Effectbeoordeling inundatiefrequentie

In Tabel 8 staat de beoordeling voor de verandering van inundatiefrequentie voor zowel de dijkversterkingsopgave als de systeemopgave. De verandering van de inundatiefrequentie voor het (binnendijks) versterken en ophogen van de keringen op de huidige locatie (integraal alternatief 1) kan niet per dijksectie worden beoordeeld en staat daarom bij de systeemopgave. Bij de dijkversterkingsopgave scoort het versterken en ophogen op de huidige locatie voor iedere dijksectie vervolgens “neutraal”. Op deze manier kan voor de overige alternatieven de verandering van inundatiefrequentie in een dijkverleggingsgebied vergeleken worden met het integrale alternatief 1.



Tabel 8: Effectbeoordeling verandering inundatiefrequentie (systeemopgave en dijkversterkingsopgave)

Water Thorn-Wessem: Verandering inundatiefrequentie	Aspect	Criterium	Integrale alternatief 1: versterken huidige kering (ophogen en binnendijks versterken) Huidige kering versterken	Score	Integrale alternatief 2: maximaal behoud winterbed met berging. Huidige kruinhoogte 23,90 m+NAP bij de haven van Wessem 6A en 7A, instroming over huidige dijk	Score	Integrale alternatief 3: meer bescherming met retentie en beekverlegging. Drempelhoogte van retentie is 24,20 m+NAP 6B en 7A, oostelijke instroomopening	Score	Integrale alternatief 4: maximale bescherming met retentie met beekverlegging. Drempelhoogte van retentie is 24,20 m+NAP 6A en 7B, westelijke instroomopening	Score	Mitigerende maatregelen	Relatie met andere thema's/aspecten/dijksecties en cumulerende effecten
Systeemmaatregel (dijksecties 6 en 7)	Rivierbeheer	Verandering van de inundatiefrequentie in de uiterwaard	Huidige kering versterken De inundatiefrequentie gaat van klasse T10-T30 naar niet-overstroombaar.	++	6A en 7A, instroming over huidige dijk De inundatiefrequentie (incl. onzekerheidstoeslag) in het gebied tussen secties 6A en 7A neemt af van klasse T10-T30 (initieel instroompunt buiten secties 6A en 7A) naar klasse T30-T100 (initieel instroompunt binnen secties 6A en 7A). De verandering in de inundatiefrequentie is klein, de een net onder T30 en de ander net boven T30. Dit heeft te maken doordat lengte waarover de huidige(overstroombare) kering behouden blijft nu korter wordt. In het gebied is bebouwing aanwezig.	++	6B en 7A, oostelijke instroomopening De inundatiefrequentie (incl. onzekerheidstoeslag) in het gebied tussen secties 6B en 7A neemt af van klasse T10-T30 naar klasse T30-T100. Dit laatste kan niet uit de kaarten worden gehaald, omdat de drempelhoogte van het retentiegebied niet overeenkomt met de huidige hoogte van de kering (de drempelhoogte is hoger). Dit is gebaseerd op een analyse van de hydra-punten i.r.t. de optimale drempelhoogte. In het gebied is bebouwing aanwezig.	++	6A en 7B, westelijke instroomopening De inundatiefrequentie (incl. onzekerheidstoeslag) in het gebied tussen secties 6B en 7A neemt af van klasse T10-T30 naar klasse T30-T100. Dit laatste kan niet uit de kaarten worden gehaald, omdat de drempelhoogte van het retentiegebied niet overeenkomt met de huidige hoogte van de kering (de drempelhoogte is hoger). Dit is gebaseerd op een analyse van de hydra-punten i.r.t. de optimale drempelhoogte. In het gebied is bebouwing aanwezig.	++		
Dijksectie 1	Rivierbeheer	Verandering van de inundatiefrequentie in de uiterwaard	1A De integrale ophoging over alle dijksecties wordt beoordeeld onder systeemopgave (doelbereik). Om een eventuele dijkverlegging te beoordelen scoort alternatief 1 op dijksectieniveau hier “neutraal” uitgaande van een binnendijkse versterking.	0	1B In het nieuwe stukje buitendijks gebied gaat de inundatiefrequentie voor ongeveer de helft van het gebied van klasse T10-T30 naar klasse <T10. Voor de andere helft blijft de inundatiefrequentie gelijk (klasse T10-T30). In het gebied is geen bebouwing aanwezig. Vanwege het zeer beperkte gebied waarvoor een verslechtering van de inundatiefrequentie plaatsvindt (en slechts één klasse), is dit effect als neutraal beoordeeld.	0	1D In het nieuwe binnendijkse gebied gaat de inundatiefrequentie van klasse <T10 naar niet-overstroombaar.	++	Zie 1D	++		
Dijksectie 2	Rivierbeheer	Verandering van de inundatiefrequentie in de uiterwaard	2A2 De integrale ophoging over alle dijksecties wordt beoordeeld onder systeemopgave (doelbereik). Om een eventuele dijkverlegging te beoordelen scoort alternatief 1 op dijksectieniveau hier “neutraal” uitgaande van een binnendijkse versterking.	0	2C Dijkverlegging naar de weg Meers is beoordeeld onder dijksectie 3.		2A1 Dijksectie blijft behouden t.o.v. alternatief 1, dus zelfde verandering in inundatieklasse.	0	zie 2A1	0		



Dijksectie 3	Rivierbeheer	Verandering van de inundatiefrequentie in de uiterwaard	3A2 De integrale ophoging over alle dijksecties wordt beoordeeld onder systeemopgave (doelbereik). Om een eventuele dijkverlegging te beoordelen scoort alternatief 1 op dijksectieniveau hier “neutraal” uitgaande van een binnendijkse versterking.	0	3C De binnendijkse verlegging naar tracés 2B en 3B resulteert in een toenemend inundatiepatroon van klasse T10-T30 naar klasse <T10. In het gebied is bebouwing aanwezig.	--	3A1 Dijksectie blijft behouden t.o.v. alternatief 1, dus zelfde verandering in inundatieklasse.	0	zie 3A1	0		
Dijksectie 4	Rivierbeheer	Verandering van de inundatiefrequentie in de uiterwaard	4A2 De integrale ophoging over alle dijksecties wordt beoordeeld onder systeemopgave (doelbereik). Om een eventuele dijkverlegging te beoordelen scoort alternatief 1 op dijksectieniveau hier “neutraal” uitgaande van een binnendijkse versterking.	0	4A2 Dijksectie blijft behouden t.o.v. alternatief 1, dus zelfde verandering in inundatieklasse.	0	4A1 Dijksectie blijft behouden t.o.v. alternatief 1, dus zelfde verandering in inundatieklasse.	0	4A3 Dijksectie blijft behouden t.o.v. alternatief 1, dus zelfde verandering in inundatieklasse.	0		
Dijksectie 5	Rivierbeheer	Verandering van de inundatiefrequentie in de uiterwaard	5C De integrale ophoging over alle dijksecties wordt beoordeeld onder systeemopgave (doelbereik). Om een eventuele dijkverlegging te beoordelen scoort alternatief 1 op dijksectieniveau hier “neutraal” uitgaande van een binnendijkse versterking.	0	5D De inundatiefrequentie blijft hetzelfde (klasse T300-T1000 in zichtjaar 2075).	0	5A De inundatiefrequentie blijft hetzelfde (klasse T300-T1000 in zichtjaar 2075).	0	zie 5A	0		



4.4 Effectbeoordeling integrale alternatieven

In Bijlage 3 staan toelichtende figuren voor de (integrale) alternatieven. In Tabel 9 is de effectbeoordeling van de integrale alternatieven weergegeven. Bij de effectbeoordeling gelden onderstaande specifieke uitgangspunten.

- Effecten van de systeem- en dijkversterkingsopgave kunnen in secties bij elkaar opgeteld worden als een benadering, maar het totale effect zal iets afwijken (samenhang effecten tussen dijksecties).
- Negatieve effecten (waterstandsverhogingen) uit de dijkversterkingsopgave mogen niet gecompenseerd worden door de systeemmaatregelen.
- Het niet uitvoeren van de systeemmaatregel kan niet gecompenseerd worden door langetermijn-maatregelen (gebiedsreserveringen) die bedoeld zijn om klimaatveranderingen in de toekomst op te vangen.



Tabel 9: Effectbeoordeling integrale alternatieven

Thorn-Wessem: Integrale alternatieven	Aspect	Criterium	Integrale alternatief 1: versterken huidige kering (ophogen en binnendijs versterken) Huidige kering versterken	Score	Integrale alternatief 2: maximaal behoud winterbed met berging. Huidige kruinhoogte 23,90 m+NAP bij de haven van Wessem 6A en 7A, instroming over huidige dijk	Score	Integrale alternatief 3: meer bescherming met retentie en beekverlegging. Drempelhoogte van retentie is 24,20 m+NAP 6B en 7A, oostelijke instroomopening	Score	Integrale alternatief 4: maximale bescherming met retentie met beekverlegging. Drempelhoogte van retentie is 24,20 m+NAP 6A en 7B, westelijke instroomopening	Score	Mitigerende maatregelen	Relatie met andere thema's/aspecten/dijksecties en cumulerende effecten
Integraal alternatief: Systeemopgave + dijkversterkingsopgave	Samenvatting	Verandering van (maatgevende) waterstanden	Het niet-overstroombaar maken van het gehele dijktraject bij Thorn-Wessem heeft een maximaal waterstandsverhogend effect van 2,3 cm (nabij Venlo). Dit is gebaseerd op het verschil in waterstanden tussen de referentiesituatie en variant 1 (MER fase 1 berekeningen). Dit effect zal zoveel mogelijk gecompenseerd moeten worden door de systeemmaatregel.	n.v.t.	In dit alternatief levert de systeemmaatregel in combinatie met de dijkteruglegging naar secties 2C en 3C een bergend effect op van 3,2 cm waterstandsดาลing. Met dit effect wordt het niet overstroombaar maken van het gehele dijktraject bij Thorn-Wessem gecompenseerd. De dijkteruglegging naar 2C en 3C levert ook een stroomvoerend effect op van 0,1 cm waterstandsดาลing, maar dit heeft geen invloed op het bergend effect. Het totale (bergend) effect van dit alternatief komt daarmee op 3,2 cm waterstandsดาลing.	n.v.t.	In dit alternatief levert de systeemmaatregel een effect op van 3,6 cm waterstandsดาลing. Met dit effect wordt het niet overstroombaar maken van het gehele dijktraject bij Thorn-Wessem gecompenseerd. Voor de teruglegging van dijksectie 5 wordt uitgegaan van een waterstandsverlagend bergend effect van 0,1 cm. De overige bouwstenen van dit alternatief hebben geen significant waterstandseffect. Het totale (bergend) effect van dit alternatief komt daarmee op 3,7 cm waterstandsดาลing.	n.v.t.	In dit alternatief levert de systeemmaatregel een effect op van 3,4 cm waterstandsดาลing. Met dit effect wordt het niet overstroombaar maken van het gehele dijktraject bij Thorn-Wessem gecompenseerd. Voor de teruglegging van dijksectie 5 wordt uitgegaan van een waterstandsverlagend bergend effect van 0,1 cm. De overige bouwstenen van dit alternatief hebben geen significant waterstandseffect. Het totale (bergend) effect van dit alternatief komt daarmee op 3,5 cm waterstandsดาลing.	n.v.t.		



4.5 Leemten in kennis

In kader van de nieuwe normering van primaire keringen is er geen sprake meer van een eenduidige maatgevende afvoer waarop rivierkundige ingrepen getoetst moeten worden i.r.t. Waterwet en het onderliggende Rivierkundig Beoordelingskader (RBK). Dit heeft te maken dat we overstappen van overschrijdingskansen (oude normering) naar overstromingskansen en overstromingsrisico's (nieuwe normeringen). Bij welke afvoeren rivierkundige ingrepen getoetst moeten worden m.b.t. de nieuwe normering is nu (nog) niet bekend. Op dit moment is het RBK 4.0 nog vigerend en gaat nog uit van de (oude) maatgevende afvoer van 4.000 m³/s. Voor de effectbeoordeling voor het MER fase 1 is deze leemten in kennis niet erg. Belangrijk is dat de effectbeoordeling van bouwstenen eenduidig gebeurt en representatief is voor een uitzonderlijke situatie met bijhorende waterstandseffecten.



5 Nadere verkenning van inzetfunctie Thorn-Wessem

Bij maximaal behoud van het rivierbed kan het buitendijkse gebied tussen Thorn en Wessem op twee verschillende manieren betrokken worden bij het rivierbed. Enerzijds kan er een specifiek inlaatwerk gerealiseerd worden, anderzijds kan de huidige kering tussen de nieuwe primaire keringen van Thorn en Wessem op de huidige hoogte gehandhaafd worden. Bij een inlaatwerk worden ook de niet-primaire keringen zodanig versterkt en opgehoogd dat deze niet-overstroombaar zijn. Bij het handhaven van de huidige kering wordt de inundatiefrequentie van het gebied niet gecontroleerd, waarbij de inundatiefrequentie sterk afhankelijk is van autonome en toekomstige ontwikkelingen die hiermee de waterstand op de rivier bepalen. Met een inlaatwerk (retentie) kan de inundatiefrequentie van het buitendijkse gebied wel gecontroleerd worden, waarbij het gebied vanaf een specifieke waterstand (ofwel Maasafvoer) te allen tijde zal inunderen. Het inlaatwerk kan relatief eenvoudig aangepast worden aan de autonome en toekomstige ontwikkelingen in het rivierengebied.

Om in het MER fase 1 een integrale afweging te kunnen maken zijn beide inzetfuncties van het buitendijkse gebied onderzocht. Hieronder worden eerst de uitgangspunten voor deze nadere verkenning toegelicht. Daarna wordt de inzet van Thorn-Wessem als retentiegebied beschouwd (incl. een inlaatwerk), gevolgd door een rivierkundige beschouwing van Thorn-Wessem met inzet op een bergingsgebied.

5.1 Uitgangspunten voor verkenning

Voor de nadere verkenning van de inzetfunctie van Thorn-Wessem gelden de volgende uitgangspunten:

- Het uitgangspunt is een maximaal retentiegebied. Dit komt vrijwel overeen met de dijksecties 6A en 7A, maar bij Thorn is de aansluiting van de kering op de hoge grond via de weg Meers gemaakt, waardoor een aantal gebouwen direct ten noorden van deze weg ook onderdeel worden van het retentiegebied. De ligging van de primaire kering in de rivierkundige berekening is weergegeven in de kaarten in Bijlage 6.
- Het retentiegebied Thorn-Wessem is hier ingezet om de faalkans van primaire keringen op faalmechanisme golfoverslag te verlagen. Dit voor primaire keringen die binnen HWBP-NM vallen met een 1/100^e (ondergrens)norm. Op basis van de Hydra-database (Plausibele Middenwaarden) is de gemiddelde dominante afvoer (waterstanden) onderliggend aan dit faalmechanisme voor deze keringen vastgesteld in het zichtjaar 2075 op een afvoer van 4.100 m³/s. Deze afvoer heeft in dit zichtjaar een herhalingstijd van T300.
- Er wordt gebruik gemaakt van (standaard)afvoergolven van het Deltamodel. Deze golven zijn tevens gebruikt bij de rivierkundige berekeningen in het rivierkundig model "Plausibele Middenwaarden, waarmee de hydraulische ontwerpbelastingen (HOB) voor de Maasvallei zijn bepaald.
- De standaardafvoergolf van 4.100 m³/s bestaat nog niet. Deze is aangemaakt door interpolatie tussen de bestaande afvoergolven van 4.000 m³/s en 4.200 m³/s.
- Na het passeren van de afvoergolf nemen de waterstanden in een retentie- of bergingsgebied af tot aan de minimale drempelhoogte. Er moet dus ook een ontwateringsvoorziening gerealiseerd worden om het retentiegebied volledig leeg te laten stromen. Hier is in deze rivierkundige analyse geen rekening mee gehouden.

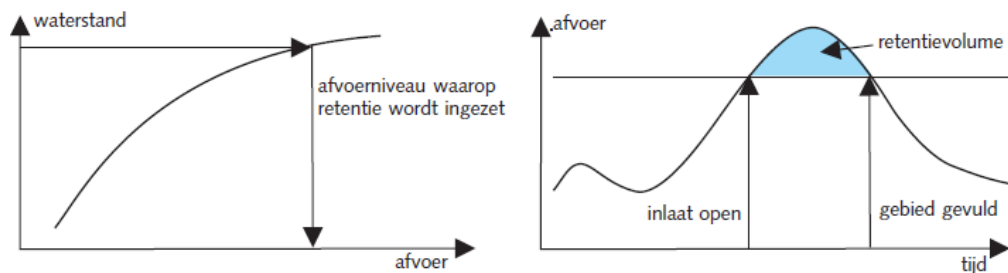


- Met overige aspecten zoals kwel en windrichtingen nabij de inlaat is in onderstaande rivierkundige berekeningen geen rekening gehouden.

5.2 Retentiegebied

5.2.1 Algemene werking retentiegebied en bijhorende inzetfunctie

Retentie is het tijdelijk bergen van water in een gebied, met name wanneer het rivierengebied weinig ruimte heeft om het water veilig te kunnen afvoeren. Retentie is de enige maatregel die een benedenstrooms effect heeft. Tijdens het passeren van de top van een hoogwatergolf wordt het water via een inlaatconstructie gecontroleerd ingelaten in het retentiegebied en vastgehouden tot de top van de afvoergolf is gepasseerd. Benedenstrooms van deze inlaatconstructie hoeft daardoor minder water door de rivier te worden afgevoerd, waardoor er lagere waterstanden optreden. De afvoergolf wordt als het ware afgevlakt. Nadat de hoogwatergolf is gepasseerd, wordt het water weer op de rivier geloosd. De waterstanden op de rivier zijn dan weer gezakt en het lozen van het geborgen water gebeurt in een dusdanig tempo dat niet opnieuw hoge waterstanden zullen optreden. In Figuur 5 is het principe van het afvlakken van de top van de hoogwatergolf te zien. Als het water stijgt, overstroomt de inlaat bij een van tevoren vastgestelde waterstand. Deze inlaat kan een vaste drempel zijn die op een 'optimale' hoogte is aangelegd, of een regelbare inlaat. Bij de retentiegebieden op de Maas wordt vooralsnog gewerkt met een vaste drempel. Vanaf het moment dat de inlaat overstroomt begint het retentiegebied gevuld te raken. Bij een optimale retentiewerking is het retentiegebied helemaal gevuld op het moment dat de waterstand weer is gedaald tot het niveau van de drempel, zoals in de figuur te zien is. De top van de hoogwatergolf (het blauwe vlak in Figuur 5) is dan afgevlakt en de afvoer benedenstrooms van het retentiegebied komt niet boven de horizontale lijn aan de onderkant van dit vlak uit.



Figuur 5: Principeschets werking retentie

De waterstandsvaling benedenstrooms van het retentiegebied werkt door over de hele lengte van de rivier, hoewel dit wel afneemt in benedenstroomse richting.

De werking van de maatregel retentie is sterk afhankelijk van een aantal factoren, waardoor een goede werking van de maatregel minder zeker is dan bij andere rivierverruimende maatregelen. Het moment van inzetten, en dus de hoogte van de inlaat, is cruciaal voor het effect. Als de inlaat te laag is, is het retentiegebied al te snel gevuld (voordat de hoogwatertop voorbij is) en is het effect niet optimaal of is er zelfs helemaal geen effect. Als de drempel te hoog is, stroomt er te weinig water in het retentiegebied en is de werking ook niet optimaal. De lengte van de inlaat is over het algemeen van minder groot belang dan de hoogte.



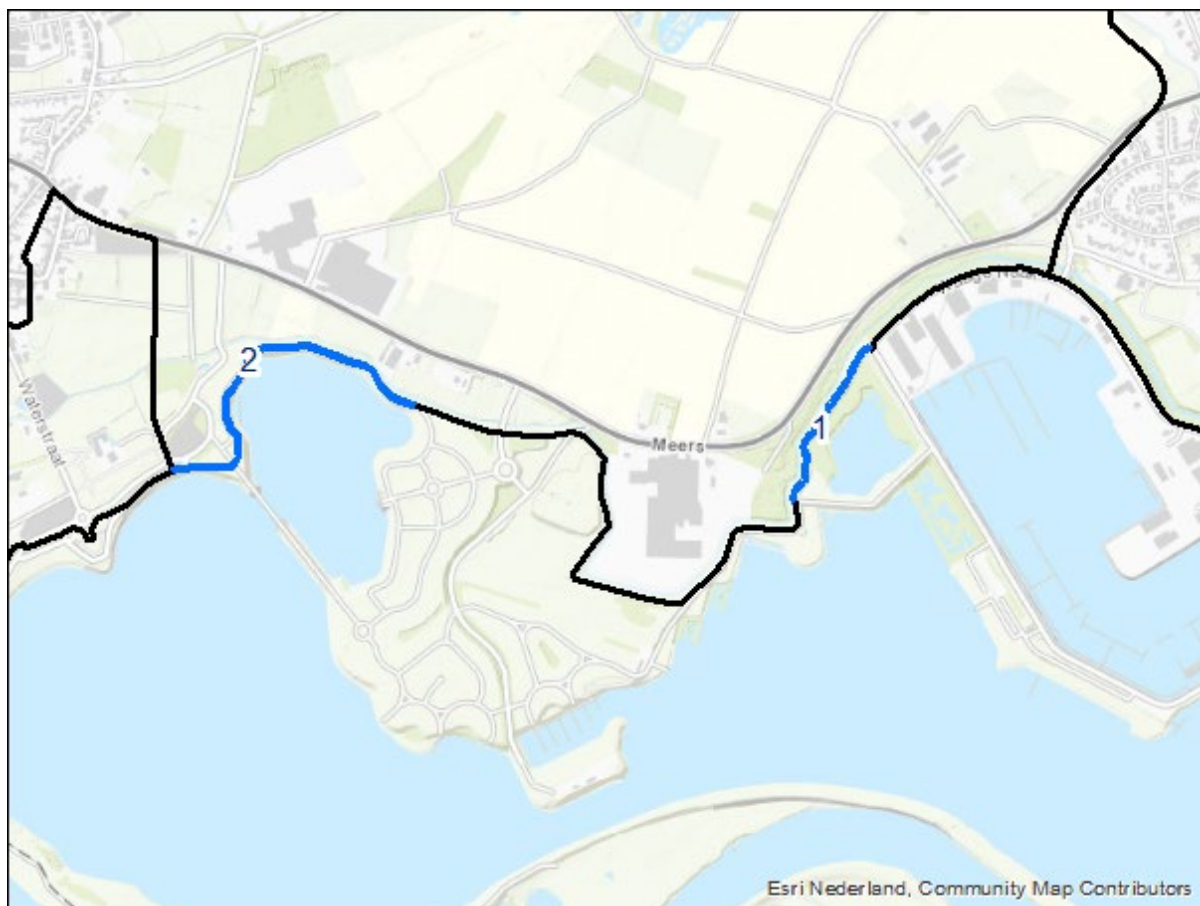
De werking is ook afhankelijk van de vorm van de hoogwatergolf. Als de top van de golf bijvoorbeeld breder is dan verwacht (langer duurt), is het gebied, evenals bij een te lage inlaat, te snel gevuld en is de werking niet optimaal. Een golf die steiler en hoger is dan verwacht, leidt ook tot een suboptimale werking van het retentiegebied. Omdat de retentiegebieden langs de Maas een inlaat hebben met een vaste drempel, kan niet worden geanticipeerd op verschillende golfvormen. De drempel is dan optimaal voor een 'standaardgolf', maar suboptimaal voor andere golfvormen. Retentie met een vaste drempel wordt dus geoptimaliseerd voor één bepaalde hoogwatergolf. Dit betekent dat een retentiegebied ook maar voor één bepaalde normfrequentie optimaal kan functioneren. Voor ieder retentiegebied moet worden afgewogen bij welke norm dit is. Omdat een retentiegebied alleen voor extreme hoogwaters wordt ingezet, is de overstromingsfrequentie van het retentiegebied zelf over het algemeen ook laag. Hierbij moet worden gedacht aan eens per tientallen jaren of zelfs nog minder vaak.

Golfoverslag en opwaaiing is voor de werking van een retentiegebied van minder belang. Deze parameters zijn wel belangrijk voor de stabiliteit van de kering, maar dit effect is verwaarloosbaar m.b.t. eventuele afname van de retentiecapaciteit.

5.2.2 Beschrijving inlaatwerk

Bij de inzet van Thorn-Wessem als retentiegebied zijn er twee mogelijke locaties voor een instroomdrempel (zie Figuur 6). De instroomdrempel nabij Wessem (locatie 1) is maximaal 360 m lang. De instroomdrempel nabij Thorn (locatie 2) is maximaal 740 m lang. De waterstanden bij hoogwater is op beide locaties identiek en hiermee niet onderscheidend. Dit als gevolg van de omliggende langsdammen die veelal niet overstroombaar zijn. Voor een goede aanstroom van water is de inlaat bij Wessem (locatie 1) het minst ingrijpend. Voor een realisatie van een inlaat bij Thorn (locatie 2) zijn ingrepen nodig die ingrijpender zijn m.b.t. de aanstroming. De inschatting is dat de locatie van de inlaat geen verschil maakt voor de rivierkundige effecten van het retentiegebied, behalve dat de drempelhoogte op locatie 2 iets hoger kan liggen vanwege de grotere beschikbare lengte. Daarom is in deze nadere verkenning alleen locatie 1 beschouwd, met de volledige drempellengte van 360 m.





Figuur 6: Mogelijke locaties van de inlaat voor retentie Thorn-Wessem

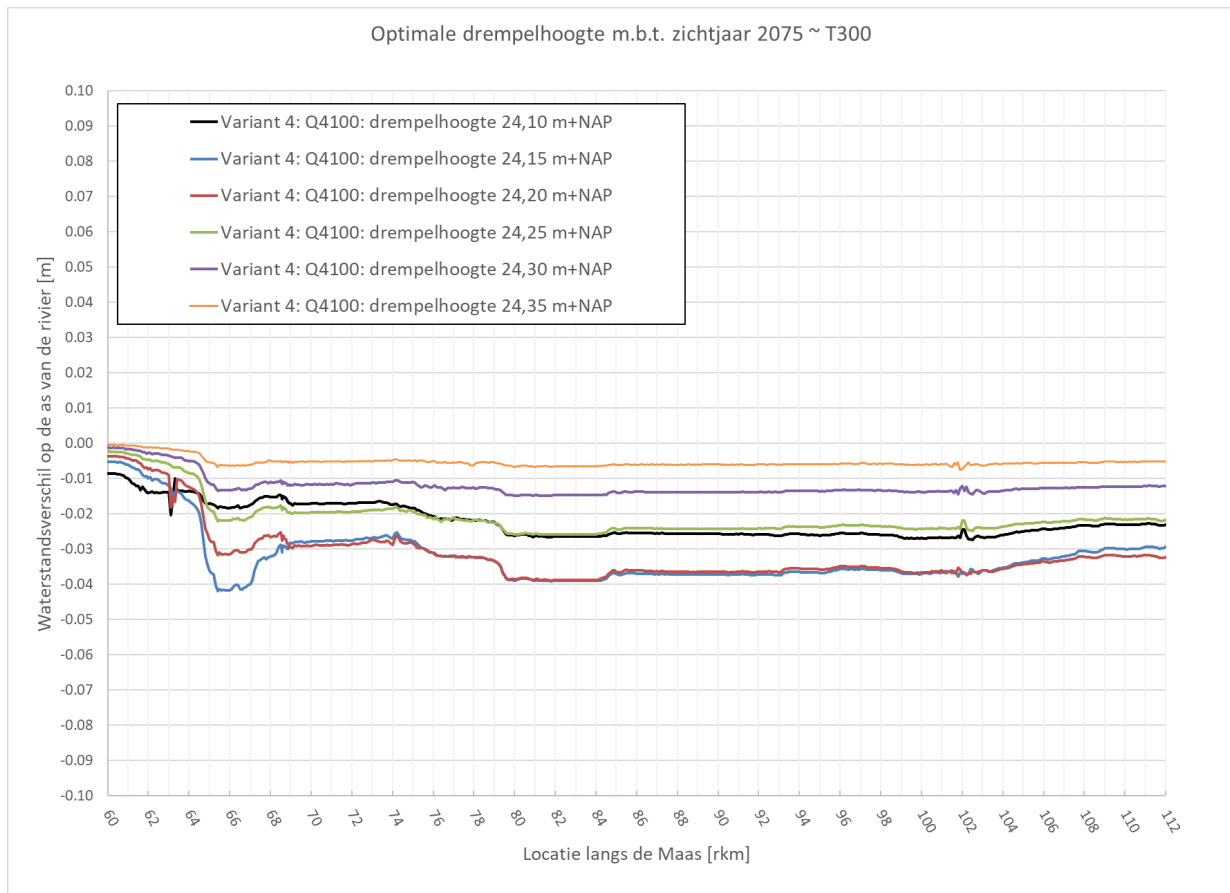
Om een goede aanstroom te garanderen is ook de kade aan de zuidkant van de plas verwijderd, zie Bijlage 6 voor kaarten van het bodemhoogtemodel en de overlaten in de referentie en de variant. In deze bijlage zijn ook kaarten opgenomen van de vegetatie, die overigens niet is gewijzigd in de variant.

5.2.3 Rivierkundige effecten bij maximaal behoud van retentiegebied

5.2.3.1 Op de as van de rivier

Voor de optimalisatie van de inlaat op locatie 1 zijn rivierkundige berekeningen uitgevoerd met verschillende drempelhoogtes. De lengte van de inlaat is in alle berekeningen hetzelfde gehouden (ruim 360 m). De berekeningen voor deze nadere verkenning van de inzetfunctie van het retentiegebied zijn gehouden in het kader van de verkennende studie. In deze verkennende studie wordt deze variant, met de inlaat op locatie 1, variant 4 genoemd. De berekening met de huidige kruinhoogte, die in paragraaf 5.3 wordt beschreven, wordt variant 5 genoemd. Deze varianten hebben geen direct raakvlak met variant 1 en 2 die in het kader van het MER fase 1 zijn uitgevoerd. In Figuur 7 zijn de waterstandseffecten van variant 4 op de as van de rivier te zien bij de verschillende drempelhoogtes.





Figuur 7: Waterstandseffect van variant 4 op de as van de rivier bij T300 ($Q\ 4.100\ m^3/s$) in het zichtjaar 2075

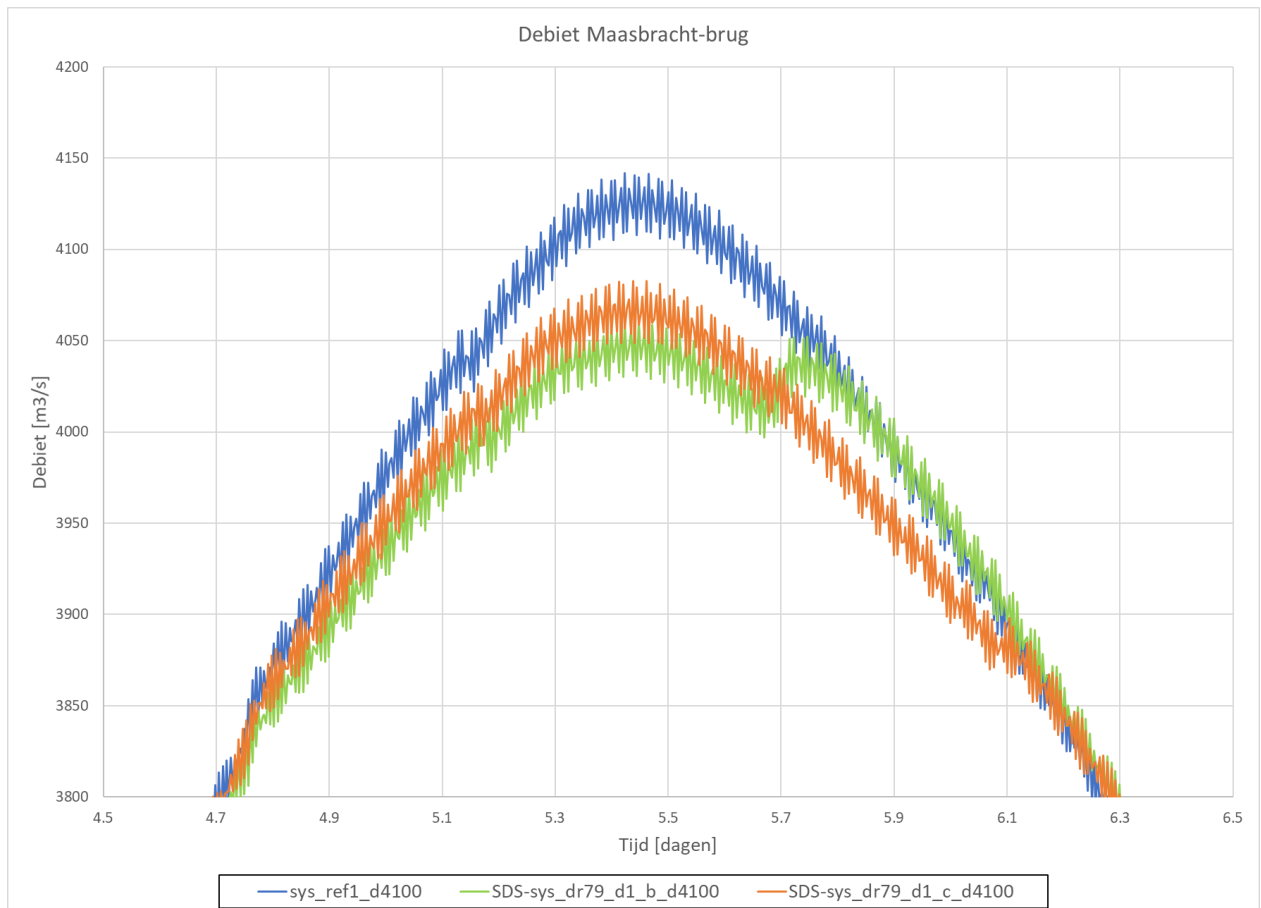
De drempelhoogtes die de grootste waterstandsvaling veroorzaken zijn 24,15 en 24,20 m+NAP. Het waterstandseffect bij deze drempels is vergelijkbaar, met als belangrijkste verschillen:

- Het maximale waterstandseffect is bij een drempel van 24,15 m+NAP iets groter dan bij een drempel van 24,20 m+NAP (resp. 4,2 en 3,9 cm). Dit komt vooral doordat de drempel van 24,15 tussen rivierkilometers 64,5 en 69 een duidelijk grotere waterstandsvaling veroorzaakt. Dit is niet het gevolg van het 'aftoppen' van de hoogwatergolf wat wordt beoogd bij berging en retentie, maar van plaatselijke wijzigingen in stromingspatronen. Deze effecten zijn na rkm 69 uitgewerkt.
- Het waterstandseffect bij een drempel van 24,20 m+NAP werkt langer door in benedenstroomse richting. Dit verschil begint bij rivierkilometer 106 en blijft daarna over de hele Maas bestaan. De gemiddelde waterstandsvaling is bij een drempel van 24,20 ook groter dan bij een drempel van 24,15. Gemeten vanaf rkm 55 (waar het waterstandseffect begint) tot aan het einde van de Maas is de gemiddelde waterstandsvaling bij een drempelhoogte van 24,20 m+NAP 2,36 cm, tegenover 2,16 cm bij een drempelhoogte van 24,15 m+NAP.

Het verschil in effect wordt veroorzaakt door de verschillende manieren waarop de hoogwatergolf wordt afgevlakt bij de verschillende drempelhoogtes. Bij een vaste drempelhoogte gebeurt dit altijd via een paraboolvorm; een vlakke aftopping (zoals in de schets in Figuur 5) kan alleen worden bereikt met een regelbare drempelhoogte. Figuur 8 laat zien dat het retentiegebied bij een drempelhoogte van 24,15 m+NAP na ongeveer 5,65 dagen (vanaf het begin van de berekening) vol is. Op dat moment is de top van de hoogwatergolf al gepasseerd. Zodra het retentiegebied vol is, wordt de afvoer benedenstrooms van het retentiegebied weer wat hoger, omdat de afvoer weer



teruggaat naar de referentiewaarden. Bij een drempelhoogte van 24,20 m+NAP is het tweede piekje niet te zien, omdat het retentiegebied pas later is gevuld. De maximale afvoer is bij deze drempelhoogte iets hoger dan bij een drempelhoogte van 24,15 m+NAP. Dit is vermoedelijk de verklaring voor de lagere waterstandsdeling tussen kilometers 64,5 en 69. Dat het effect bij een drempelhoogte van 24,20 m+NAP langer doorwerkt, komt o.a. doordat bij een hogere drempelhoogte meer water kan worden onttrokken aan de rivier (4,47 i.p.v. 4,34 miljoen m³).



Figuur 8: Afvoer rond de top van de hoogwatergolf (4.100 m³/s) direct benedenstrooms van het retentiegebied Thorn-Wessem bij Maasbracht-brug. De variant sys_dr79_d1_b (groene lijn) heeft een drempelhoogte van 24,15 m+NAP, de variant sys_dr79_d1_c (oranje lijn) heeft een drempelhoogte van 24,20 m+NAP

Vanwege de grotere gemiddelde waterstandsdeling, is een drempelhoogte van 24,20 m+NAP in deze verkenning als optimaal beschouwd. Deze berekening is dan ook nader uitgewerkt in deze verkenning. De overstromingsfrequente van deze drempel ligt rondom een herhalingstijd van eens per 810 jaar (op basis van betrekkinglijnen Maas 2016-2017 en rivierkilometer 65). Hierbij is wel alleen gekeken naar het mechanisme overloop en is (nog) geen rekening gehouden met de totale overstromingskans van het dijktraject.

5.2.3.2 Buiten de as van de rivier

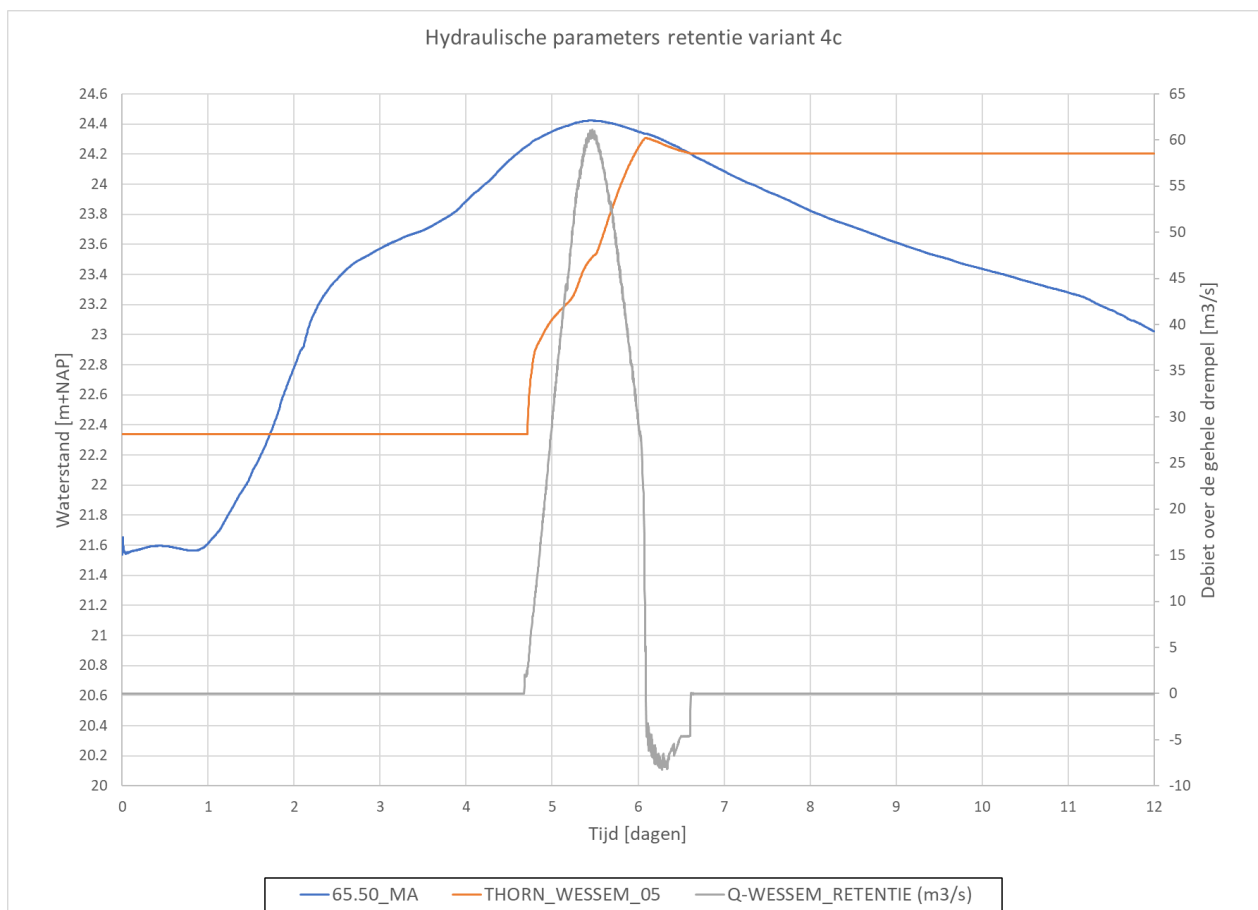
In Bijlage 7 zijn kaarten opgenomen van de maximale waterstand van variant 4. In de kaart is te zien dat de maximale waterstanden in het retentiegebied ongeveer even hoog zijn als direct daarbuiten. Het retentiegebied is volledig gevuld en op de top van de hoogwatergolf stijgen de waterstanden mee met de waterstanden op de rivier, waardoor de maximale waterstanden nog iets boven de drempelhoogte uitkomen. De maximale waterstand in het retentiegebied is ongeveer 24,30 m+NAP.



In Bijlage 8 zijn kaarten met de maximale waterdiepten te zien. De waterdiepte varieert over het algemeen tussen 1 en 2 m.

5.2.3.3 Hydraulische parameters in retentiegebied tijdens hoogwatergolf

In Figuur 9 zijn enkele hydraulische parameters getoond in en rondom het retentiegebied, die de werking van de retentie en de hydraulische parameters in het retentiegebied inzichtelijk maken. De blauwe lijn geeft de waterstanden op de as van de rivier weer bij rivierkilometer 65,50. De oranje lijn geeft de waterstand net achter de inlaat weer. In het begin is deze waterstand gelijk aan de initiële condities van de berekening; zolang de lijn vlak is, stroomt er geen water over de drempel. Dat is beter te zien op basis van de grijze lijn, die de afvoer over de inlaat weergeeft (hier hoort de rechter y-as bij). Als de waterstand bij de drempel boven 24,20 uitkomt, begint deze afvoer op te lopen. De maximale afvoer over de inlaat is ruim 60 m³/s. Het is goed te zien dat deze maximale afvoer op vrijwel hetzelfde moment plaatsvindt als de maximale waterstand op de as van de rivier; dit geeft aan dat de effectiviteit van de retentie maximaal is. De waterstand net achter de drempel loopt langzaam op naar ongeveer 24,30 m+NAP. Als de waterstand op de rivier daarna weer zakt, stroomt het overtollige water (al het volume water boven een niveau van 24,20 m+NAP) weer terug over de inlaat vanuit het retentiegebied naar de rivier. Dit is te zien aan de negatieve afvoer en aan de dalende waterstand net achter de drempel.



Figuur 9: Waterstand op de as van de rivier bij rkm 65,50 en net achter de inlaat (meetpunt THORN_WESSEM_05) en de afvoer over de inlaat (cross sectie Q-WESSEM_RETENTIE)



5.3 Bergingsgebied

5.3.1 Initiële instroomlocatie en inundatiefrequentie

In variant 5 uit deze nadere verkenning van de inzetfunctie wordt de oude kering (huidige kruinhoogte) tussen Thorn en Wessem gehandhaafd. De kruinhoogte van deze kering is het laagst rondom de haven bij Wessem en ligt op een hoogte van ongeveer 23,90 m+NAP. Via deze haven begint het gebied dan ook in te stromen bij het passeren van een hoogwatergolf. De overstromingsfrequentie (i.r.t. het mechanisme overloop) van deze kering rondom de haven ligt rondom een herhalingsstijd van eens per 230 jaar (op basis van betrekkinglijnen Maas 2016/ 2017 en rivierkilometer 65). Richting Thorn ligt de kering hoger en kan lokaal oplopen tot circa 25 m+NAP. In het rivierkundig model zit de huidige kade niet alleen als overlaat in het model, maar is de kade ook in het hoogtemodel opgenomen. In tegenstelling tot variant 4 is in deze variant geen correctie aangebracht in de bodemhoogte. In Bijlage 6 zijn kaarten van de bodemhoogte en vegetatie opgenomen.

5.3.2 Waterstandeffecten bij max. behoud van bergingsgebied

5.3.2.1 *Op de as van de rivier*

De drempelhoogte (nabij haven Wessem) oftewel de huidige kruinhoogte is in deze variant niet geoptimaliseerd voor een T300-situatie m.b.t. het zichtjaar 2075. De drempelhoogte ligt op 23,90 m+NAP en ligt hiermee lager dan de geoptimaliseerde drempelhoogte van 24,20 m+NAP. Toch levert deze niet-geoptimaliseerde variant een waterstandsverlaging op van maximaal 3,5 cm bij rkm 80 (zie Figuur 10). Verder stroomafwaarts blijft het effect 3 tot 5 mm kleiner dan bij variant 4. De gemiddelde waterstandsval op de as van de rivier over de hele Maas (vanaf km 55) is 1,97 cm.





Figuur 10: Waterstandseffect van variant 5 op de as van de rivier bij T300 (Q 4.100 m³/s) in het zichtjaar 2075. De waterstand van variant 4 (met optimale drempel) is voor het vergelijken ook in deze grafiek gezet

5.3.2.2 Buiten de as van de rivier

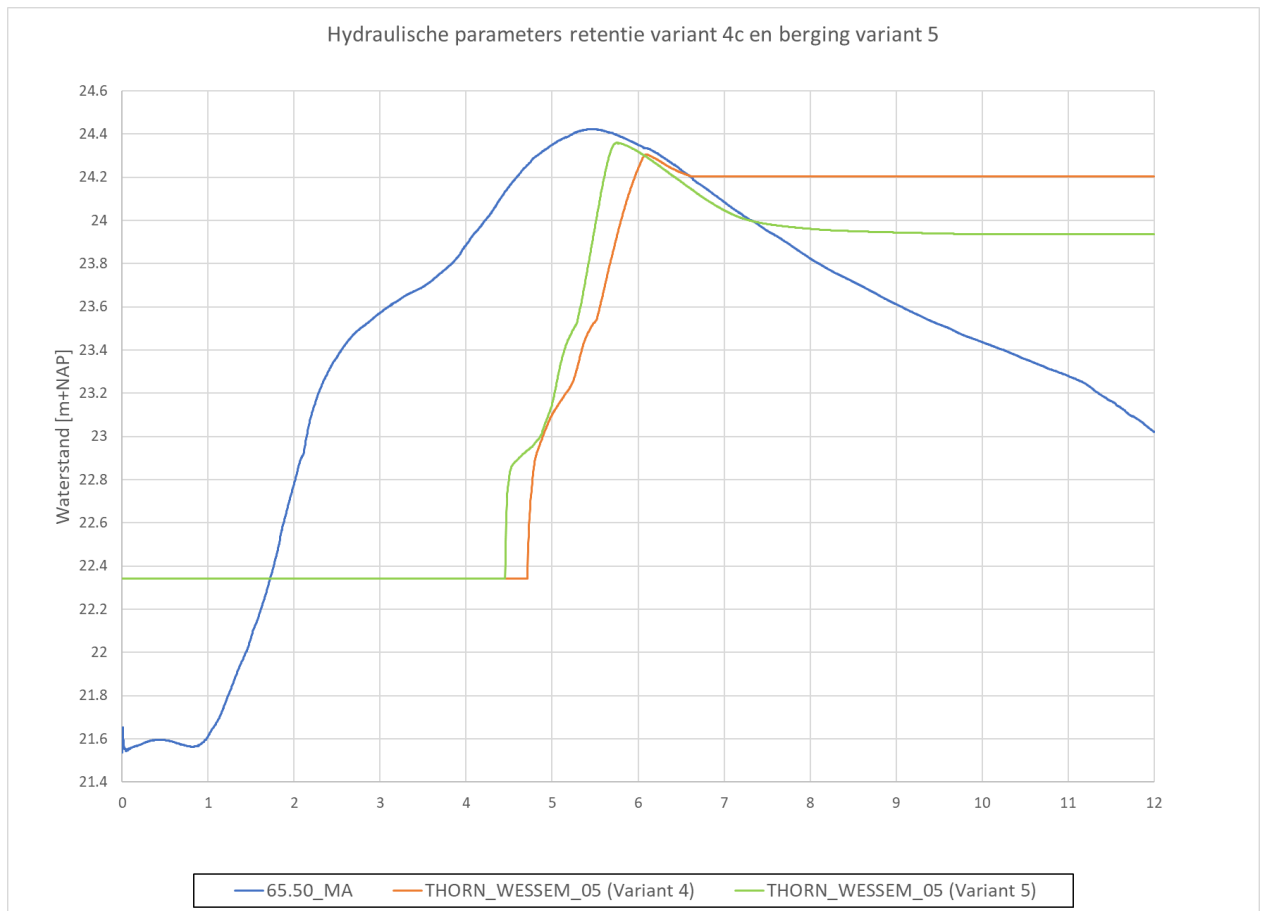
In Bijlage 6 staan kaarten van de maximale waterstand van variant 5. Evenals bij variant 4 zijn de maximale waterstanden in het gebied ongeveer even hoog als direct daarbuiten. De maximale waterstanden in het bergingsgebied zijn ongeveer 24,35 m+NAP en daarmee 5 cm hoger dan bij variant 4. De maximale waterdiepte is dus ook ongeveer 5 cm hoger dan bij variant 4.

5.3.2.3 Hydraulische parameters in bergingsgebied tijdens een extreme hoogwatergolf

Om een indruk te krijgen van het verloop van de waterstanden in het bergingsgebied is de waterstand in de tijd weergegeven net achter de inlaat van variant 4. Ook in variant 5 overstroomt dit punt vrijwel meteen nadat de kade bij de haven van Wessem overstroomt. In de grafiek is te zien dat het gebied, vanwege de lagere drempel, in variant 5 eerder instroomt dan bij variant 4. Doordat het gebied iets eerder vol is, stijgen de waterstanden ook iets verder door bij de top van de hoogwatergolf. Dit verklaart het eerder genoemde verschil van ongeveer 5 cm in de maximale waterstanden in het gebied. Nadat de top van de hoogwatergolf is gepasseerd, neemt de waterstand weer af tot aan het laagste punt van de drempel van ongeveer 23,90 m+NAP.



HWBP Noordelijke Maasvallei



Figuur 11: Waterstand op de as van de rivier bij rkm 65,50 en net achter de inlaat (meetpunt THORN_WESSEM_05) voor variant 4 en 5



5.4 Verschillende aspecten m.b.t. inzetfunctie retentie

5.4.1 Aspecten van inzetfunctie retentie

Een retentiegebied is een rivierkundige ingreep die verschillende aspecten kent. Onderstaand volgt een korte opsomming van deze aandachtspunten, die bij een verdere planuitwerking van Thorn-Wessem verder afgewogen moeten worden.

Een retentiegebied kenmerkt zich in:

- Met een retentiegebied wordt in het algemeen een groot oppervlak rivierbed behouden.
- Met een retentiegebied worden waterstanden stroomafwaarts van de ingreep verlaagd. Dit in tegenstelling tot andere rivierverruimende maatregelen die juist een waterstandsverlagend effect hebben in stroomopwaartse richting. Alleen met retentiegebieden in Limburg kunnen de waterstandsverhogende effecten als gevolg van “loslaten overstroombaarheid” op de Brabantse Maas verlaagd worden.
- Met een inlaatwerk kan het retentiegebied relatief eenvoudig aangepast worden aan de autonome en toekomstige ontwikkelingen in het rivierengebied m.b.t. waterstanden gerelateerd aan de instroomfrequentie (mechanisme overloop).
- In het algemeen is een het kosten-effectieve rivierkundige ingreep die weinig onderhoud vergt.

De aandachtspunten van een retentiegebied zijn:

- Retentiewerking is zeer gevoelig voor verandering van waterstanden en is hierdoor ook sterk afhankelijk van een afvoergolf (golfvorm- en duur). Zeker met retentiegebieden die in serie zijn geschakeld op de rivier neemt deze gevoeligheid verder toe. Een retentiegebied kan slechts optimaal functioneren voor een specifieke (afvoer)situatie. Bij een andere afvoersituatie werkt het retentiegebied niet optimaal. In paragraaf 5.4.2 wordt dit nader toegelicht.
- Door kwel en golfoverslag neemt de capaciteit van het retentiegebied af en hiermee dus ook de effectiviteit van het retentiegebied.
- Overstroombaarheid van keringen (aparte status) blijft met retentiegebieden toch bestaan.
- De kering van het retentiegebied faalt mogelijk eerder dan de inzetfunctie van het retentiegebied (faalmechanisme overloop en golfoverslag)

5.4.2 Verwachtingswaarde van effecten van retentie

De effectiviteit van een retentiegebied is sterk (en meer dan voor andere rivierverruimingsmaatregelen) afhankelijk van de vorm en hoogte van de afvoergolf. In deze nadere verkenning is uitgegaan van een standaardgolf (theoretische ontwerpvorm en hoogte) en is de inlaat hierop geoptimaliseerd. In de praktijk is de golf(vorm) vrijwel nooit hetzelfde waardoor het optimale effect gecorrigeerd moet worden naar een effectgemiddelde die in de praktijk dus lager ligt. In een eerdere studie “Retentiewerking Maas, Werking in het licht van de nieuwe normering” is een verkenning gedaan naar het effect van retentie bij verschillende vormen van afvoergolven [ref 6]. De overschatting van het effect op basis van de ontwerpstandaardafvoer is bij de vaste inlaat en inlaat met eenvoudige regeling ongeveer 50%. Dit betekent dat de maximale (optimale) effecten met 1/3 verminderd moeten worden om een beter beeld te krijgen van het effect van retentie bij verschillende vormen van afvoergolven.



5.4.3 Locatie van de inlaat

De locatie van de inlaat moet zodanig zijn gesitueerd dat er voldoende water het retentiegebied in kan stromen tijdens de top van de hoogwatergolf. Locatie 2 (zie Figuur 6) ligt wat minder voor de hand, omdat de inlaat dan ver van de rivier af ligt en het water door diverse smallere delen in het winterbed moet stromen rondom het bungalowpark Groeskamp, waardoor er mogelijk minder snel water onttrokken kan worden aan de rivier. Het waterstandsverloop is direct voor de inlaat bij locatie 2 echter nagenoeg gelijk aan locatie 1. Vanwege dit feit, en omdat de maximale benodigde afvoer over de inlaat (ruim $60 \text{ m}^3/\text{s}$) zeer waarschijnlijk op locatie 2 ook gehaald kan worden, is de verwachting dat het effect van een inlaat op locatie 2 nauwelijks af zal wijken van locatie 1. Het enige verschil is dat de beschikbare lengte op locatie 2 iets groter is, waardoor de drempelhoogte iets hoger kan worden als van deze lengte gebruik wordt gemaakt. Tenzij er echter sterke argumenten zijn om te kiezen voor een inlaat bij locatie 2, is een inlaat op locatie 1 een veiligere optie. Op deze locatie is er meer garantie dat er onder alle omstandigheden (dus bv. bij een afwijkende golfvorm) een grote hoeveelheid water het retentiegebied in kan stromen.

5.4.4 Retentie versus berging

Een conclusie is dat de rivierkundige effecten, tussen een bergend- of een retentiesysteem bij Thorn-Wessem, niet significant van elkaar verschillen. Een uitzondering hierop vormt de instroomfrequentie van het bergings- en/of het retentiegebied. De instroomfrequentie van een bergingsgebied (handhaven huidige kering met een minimale kruinhoogte van $23,9 \text{ m}+\text{NAP}$) stroomt beduidend vaker in dan bij inzet van een retentiegebied geoptimaliseerd voor een afvoer van $4.100 \text{ m}^3/\text{s}$ met een drempelhoogte van $24,2 \text{ m}+\text{NAP}$. Onderstaand is de instroomfrequentie van beide scenario's bepaald aan de hand van verschillende brongegevens in relatie tot het faalmechanisme overloop. Er wordt in onderstaande analyse (nog) geen rekening gehouden met de totale overstromingskans van het dijktraject waarbij rekening wordt gehouden met alle faalmechanismen. De fysieke drempelhoogte van $23,9$ en $24,2$ overstroomt bij een waterstand van $24,10$ en $24,30$ op rkm 65. Allereerst is de inundatiefrequentie bepaald voor de huidige situatie op basis van betrekkinglijnen Maas 2016 / 2017. Aanvullend is gekeken naar de inundatiefrequentie in het zichtjaar 2075 op basis van waterstanden uit de Hydra-database (Plausibele Middenwaarden). Dit voor zowel met en zonder onzekerheidstoeslag. Hierbij zijn de waterstanden van uitvoerpunt "MA_1_79-1_dk_00031" vertaald naar rkm 65. Voor beide analyses moet vermeld worden dat de waterstanden langs de kering sterk wordt bepaald door het wel of niet overstroomt van de verschillende (langs)dammen die rond de instroomdrempels van het bergings- en retentiegebied zijn gelegen.

Buiten het bergings- en of retentiegebied moet de primaire kering van Thorn-Wessem voldoen aan de nieuwe norm gerelateerd aan het ontwerpzichtjaar van 2075. De overstromingskans kent een ondergrens en een signaleringswaarde. De maximaal toelaatbare overstromingskans is de ondergrens rekening houdend met alle faalmechanismen. Voor dit dijktraject is de ondergrens $1/100$ met een doorsnede-eis van $1/417$. De signaleringswaarde is $1/300$.



HWBP Noordelijke Maasvallei

Tabel 10: Overzicht van rivierkundige effecten bij Thorn-Wessem bij een (standaard)afvoergolf van 4.100 m³/s en bijhorende inundatiefrequenties i.r.t. het faalmechanisme overloop met inzet van retentie-of bergingsgebied

	Maximale waterstandsverlaging [cm]	Gemiddelde waterstandsverlaging op systeemniveau [cm]	Maximale waterstand in het inundatiegebied [m+NAP]	Huidige instroomfrequentie op basis van betrekkinglijnen Maas 2016 / 2017 [gebeurtenis in jaren]	Instroomfrequentie in zichtjaar 2075 excl. onzekerheidstoelag [gebeurtenis in jaren]	Instroomfrequentie in zichtjaar 2075 incl. onzekerheidstoelag
Berging ~ drempel op 23,9 m+NAP	3,5	1,97	24,36	≈ T230	≈ T90	≈ T35
Retentie ~ drempel op 24,2 m+NAP	3,9	2,36	24,31	≈ T810	≈ T240	≈ T80



6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Conclusies uit MER fase 1

- Het retentiegebied Thorn-Wessem is hier ingezet om de faalkans van primaire keringen op faalmechanisme golfoverslag te verlagen. Dit voor primaire keringen die binnen HWBP-NM vallen met een $1/100^e$ (ondergrens)norm. Op basis van de Hydra-database (Plausibele Middenwaarden) is de gemiddelde dominante afvoer (waterstanden) onderliggend aan dit faalmechanisme voor deze keringen vastgesteld in het zichtjaar 2075 op een gemiddelde afvoer van $4.100 \text{ m}^3/\text{s}$. Deze afvoer heeft in dit zichtjaar een herhalingstijd van T300.
- Bij Thorn-Wessem heeft alleen de systeemmaatregel een significant waterstandseffect. De maximale waterstandsverlaging in vorm van retentie is berekend op 3,9 cm op de as van de rivier. De effectiviteit van een retentiegebied is sterk (en meer dan voor andere rivierverruimingsmaatregelen) afhankelijk van de vorm van de afvoergolf en wordt hierdoor veelal overschat met 50%. Dit betekent dat het maximale effect met $1/3$ verminderd moeten worden om een meer realistisch beeld te krijgen van het effect van retentie. Hier resulteert dat in een waterstandsverlaging van 2,6 cm.
- Bij een maatgevende afvoer van $4.100 \text{ m}^3/\text{s}$ heeft de inzet als bergingsgebied bijna hetzelfde effect als de inzet als retentiegebied. De instroomfrequentie van een bergingsgebied (handhaven huidige kering tussen Thorn en Wessem) is wel beduidend hoger, dan bij inzet van een retentiegebied dat geoptimaliseerd is voor een afvoer van $4.100 \text{ m}^3/\text{s}$ (respectievelijk $1/230$ en $1/810$ in de huidige situatie i.r.t. het mechanisme overloop). De inzet als bergingsgebied is minder robuust dan inzet als retentiegebied, omdat de werking minder zeker is en eventuele aanpassingen in de toekomst in relatie tot de instroomfrequentie moeilijker zijn aan te passen.
- De mogelijke dijkverleggingen in kader van de dijkversterkingen die zijn onderzocht hebben vrijwel geen effect, omdat het hele gebied in het bergende deel van de rivier ligt. Een dijkteruglegging naar secties 2C en 3C is niet aan te raden in combinatie met een retentiegebied. Het verlies aan retentie-effect is namelijk groter dan de toename aan stroomvoerende effect.



6.2 Aanbevelingen voor vervolg MER fase 2

- De Koningsteendam is niet standzeker en een eventuele verlaging van de dam heeft invloed op de waterstanden langs de kering van Thorn-Wessem. De maximale verhoging op de maximale waterstanden rondom de norm van ondergrens ($1/100^e$) en bijbehorende doorsnede-eis voor het HBN ($1/420^e$) op de keringen nabij Thorn-Wessem is berekend op 15 à 20 cm [ref 7]. Het advies is om rekening te houden met een aanvullende opgave in de dijkversterking bij verdere planuitwerking in vorm van een maximale waterstandsverhoging van ca. 10 cm. Dit aanvullend op de onzekerheden die standaard worden meegenomen in kader van de nieuwe normering.
- De inzetfunctie van het retentiegebied is nu ingericht op het optimaal aftoppen van een afvoergolf met een piekwaarde van $4.100 \text{ m}^3/\text{s}$ en heeft een herhalingsdij van T300 in het zichtjaar 2075. Dit ten behoeve van het verlagen van de faalkans op het mechanisme golfoverslag. Deze (afvoer)herhalingsdij T300 ligt binnen de faalkanseis van $1/420^e$ die gesteld worden aan de faalmechanismen overloop en overslag, maar buiten de totale overstromingskans van $1/100^e$ wanneer alle faalmechanismen in beschouwing worden genomen. Wel is deze gelijk aan de signaleringswaarde van T300. Er dient nader afgestemd te worden of deze inzetfunctie van het retentiegebied nog steeds wenselijk en toepasbaar is.



7 Literatuur

1. Klop, W, Agtersloot, R. & Weidema, P. (2018). Memo: Rivierkundige verkenning systeemwerking Thorn-Wessem (dijkkring 79), versie 1.0-1, kenmerk 7596, Ingenieursbureau Maasvallei (IBM), Waterschap Limburg (WL).
2. Vuren, S. van, Vieira da Silva, J. & Ouwerkerk, S. (2017). Memo 2: Uitgangspunten Hydraulische Ontwerpbelasting Maas – HOB Maasvallei Fase 1, HKV
3. Ingenieursbureau Noordelijke Maasvallei (2019). MER fase 1 dijktraject Thorn-Wessem deel A: Hoogwaterbeschermingsprogramma Noordelijke Maasvallei, kenmerk 11202, Waterschap Limburg.
4. Ingenieursbureau Noordelijke Maasvallei (2019). MER fase 1 dijktraject Thorn-Wessem deel B: Hoogwaterbeschermingsprogramma Noordelijke Maasvallei, kenmerk 9653, Waterschap Limburg.
5. Provincie Limburg (2013). Voorkeursstrategie: rivierkundige maatregelen, kaart 7 Regioproces Deltaprogramma Limburg, fase 2.
6. Barneveld, H.J., Pol, J. & Paarlberg, A. (2015). Retentiewerking Maas: werking in het licht van de nieuwe normering, concept, PR2962.10, HKV, Rijkswaterstaat WVL
7. Klop, E.R. & van Laarhoven S. (2019). Memo: Rivierkundige verkenning naar de verlaging van de koningsteendam, versie 1.0, kenmerk 11889, Ingenieursbureau Maasvallei (IBM), Waterschap Limburg (WL).



BIJLAGE 1: BEGRIPPENLIJST

WL	Waterschap Limburg
RWS	Rijkswaterstaat
HWBP	Hoogwaterbeschermingsprogramma
KRW	Kaderrichtlijn Water
Baseline-maatregelen	Het omzetten van een ontwerptekening in een Baseline-maatregel is de eerste activiteit in het traject van de bepaling van de rivierkundige effecten als veranderingen in waterstanden en stroomsnelheden.
Baseline-varianten	Een variant is een complete Baseline-boom (bijvoorbeeld een referentieschematisatie) waarin maatregelen kunnen worden gemixt.
WAQUA (Simona)	Numeriek model voor simulatie van de waterbeweging in twee dimensies (2D)
DPR	Deltaprogramma Rivieren
VKA	Voorkeursalternatief
RBK	Rivierkundig beoordelingskader voor ingrepen in de Grote Rivieren
BGR	Beleidslijn Grote Rivieren

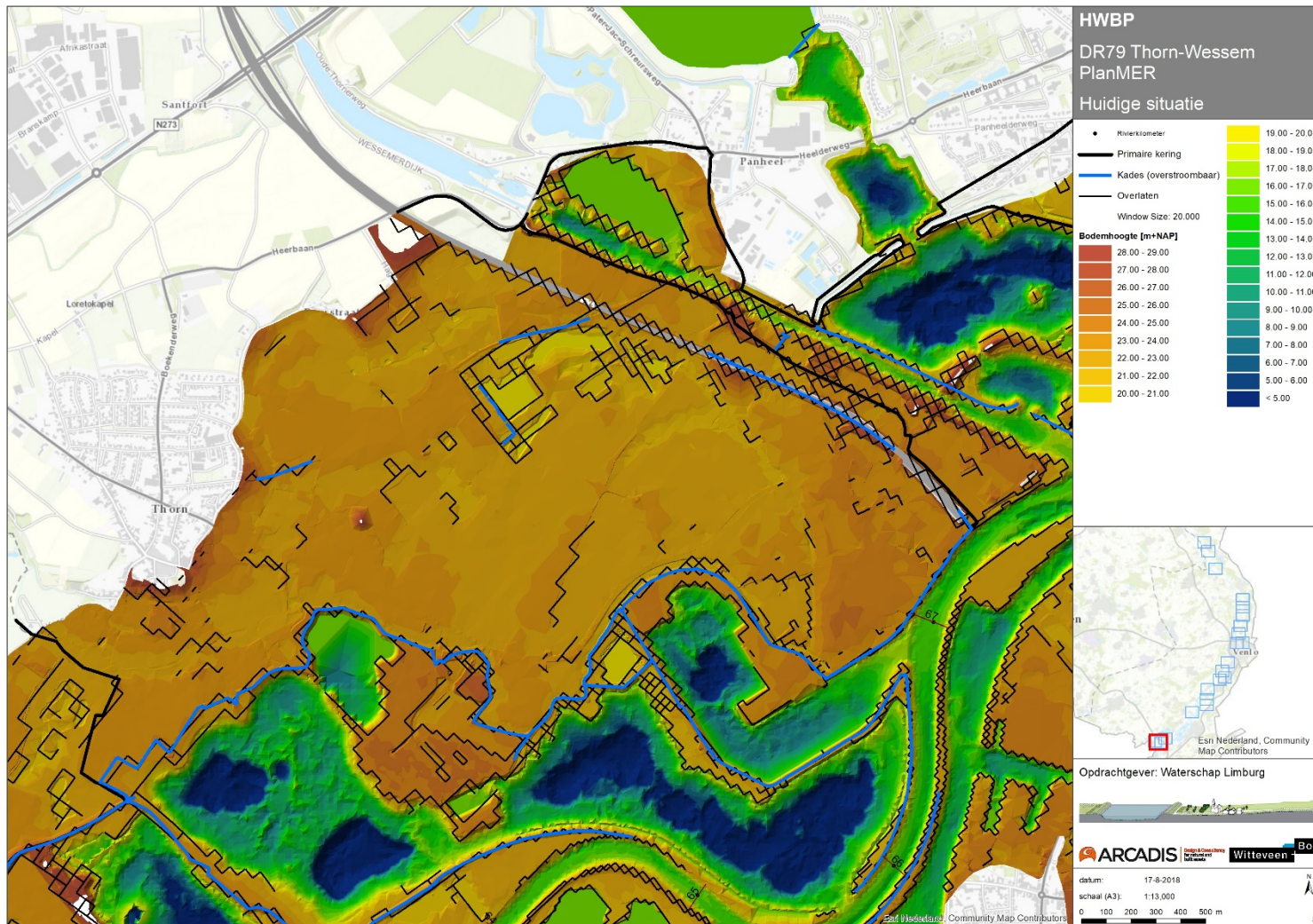


BIJLAGE 2: OVERZICHTSKAARTEN VAN THORN- WESSEM



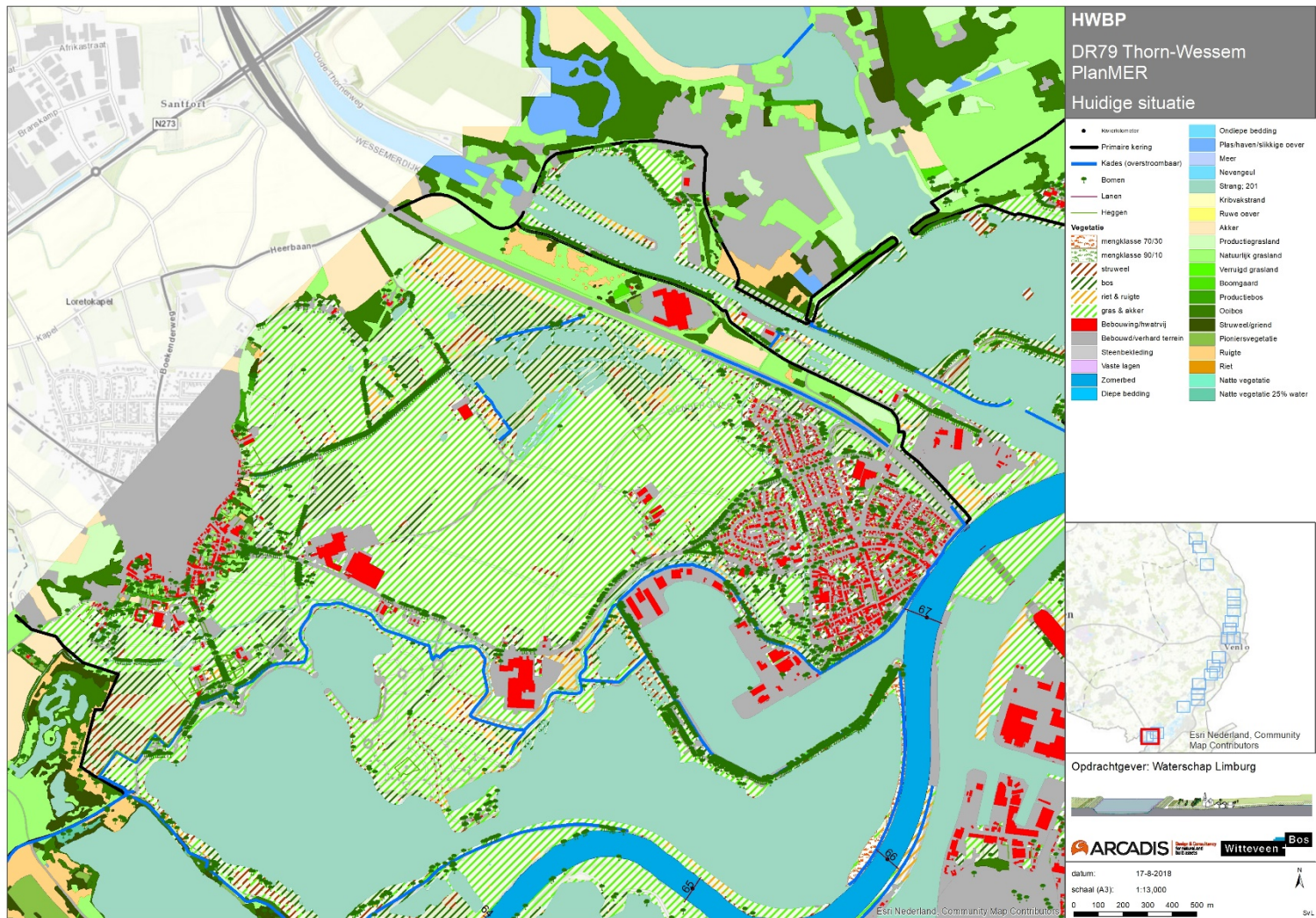
HWBP Noordelijke Maasvallei

Huidige situatie: Hoogtemodel



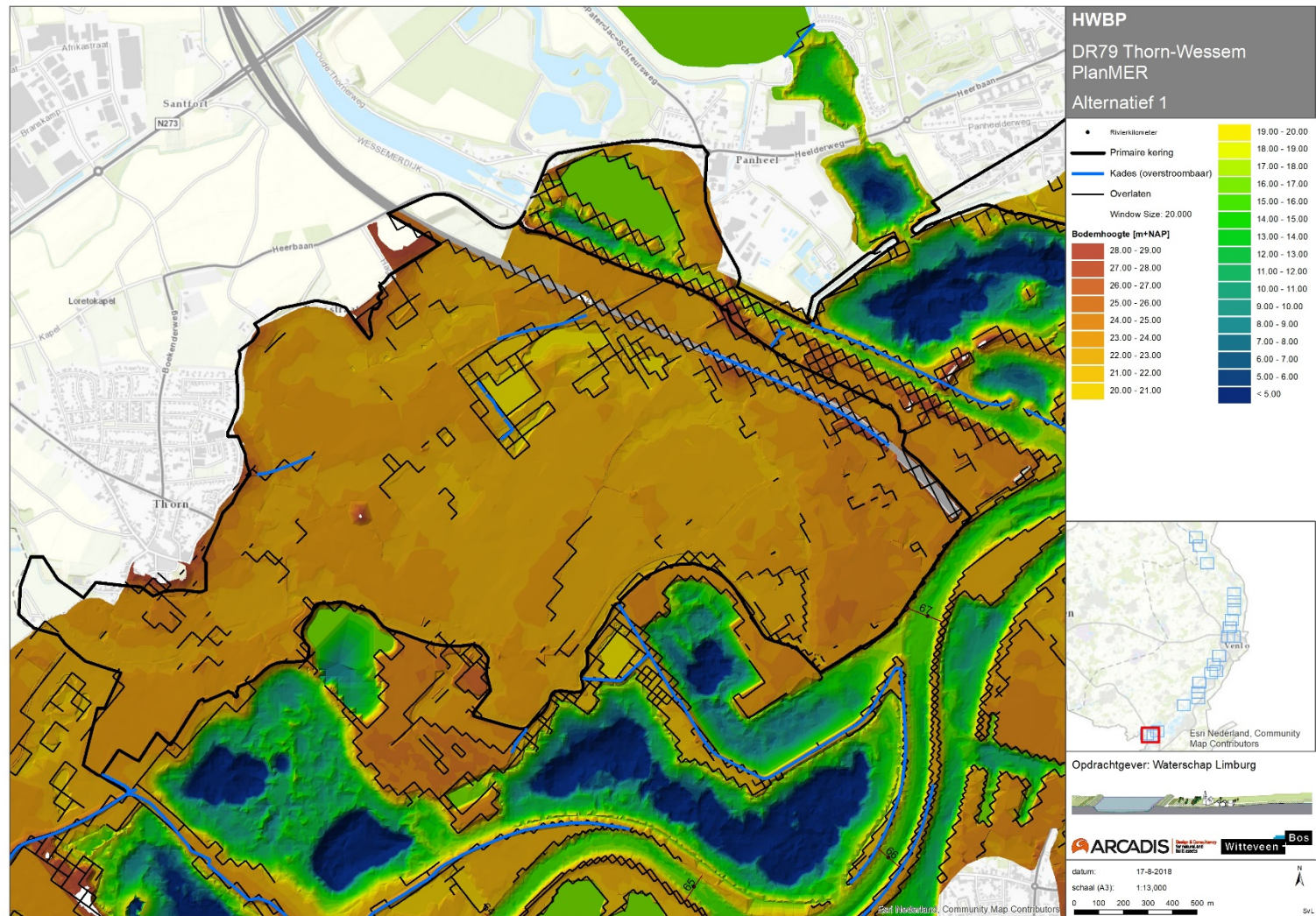
HWBP Noordelijke Maasvallei

Huidige situatie: Vegetatie



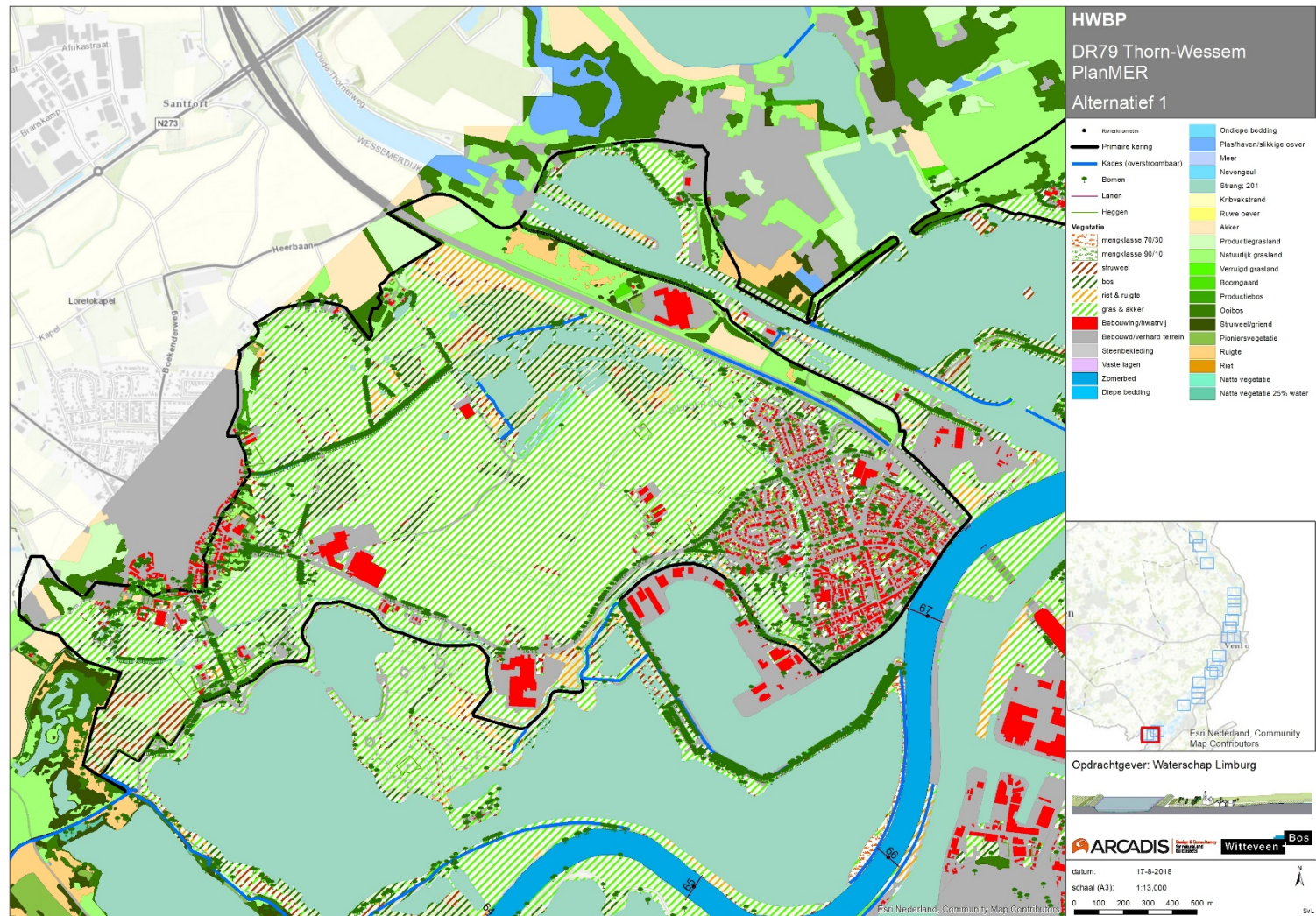
HWBP Noordelijke Maasvallei

Variant 1: Hoogtemodel



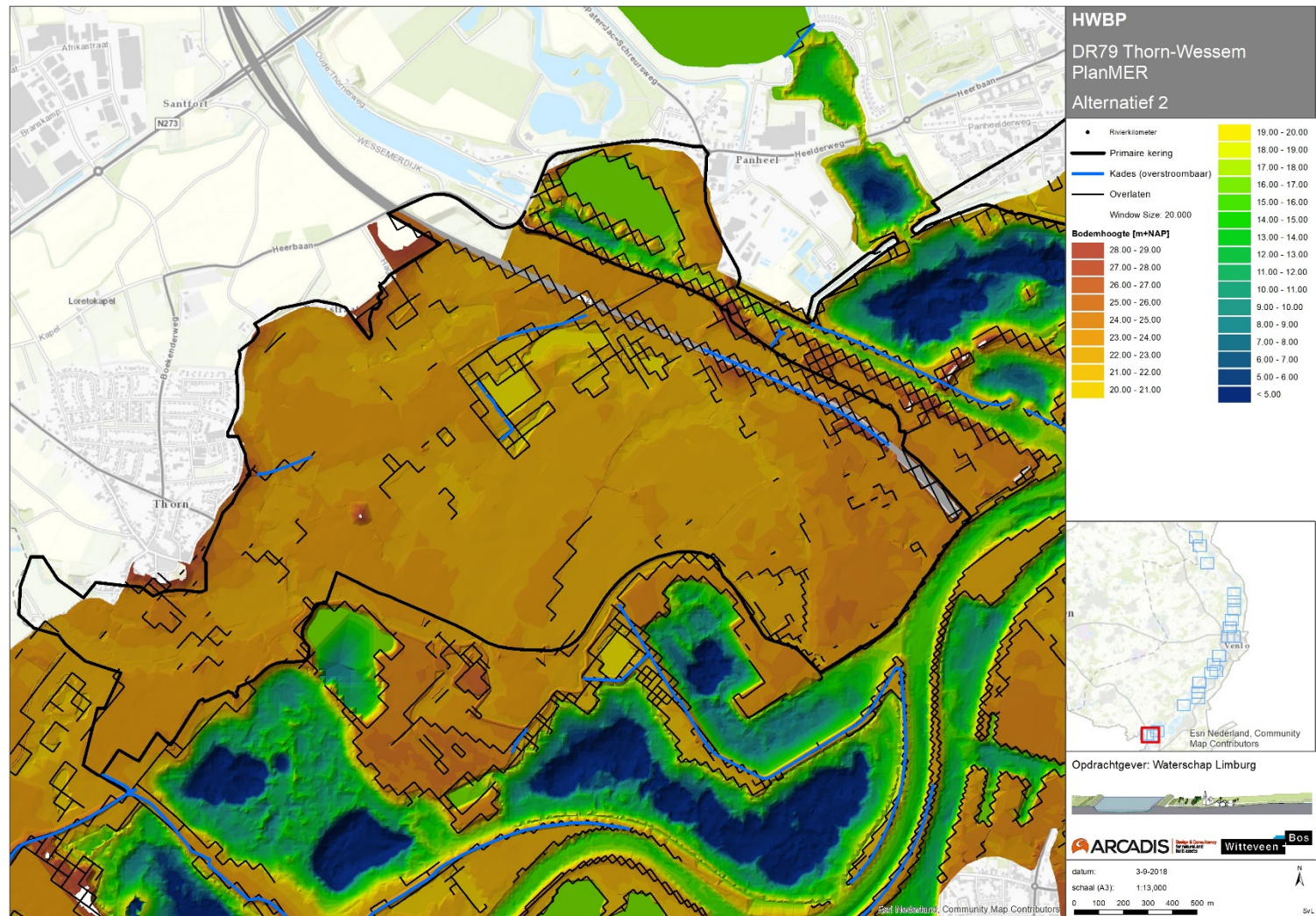
HWBP Noordelijke Maasvallei

Variant 1: Vegetatie



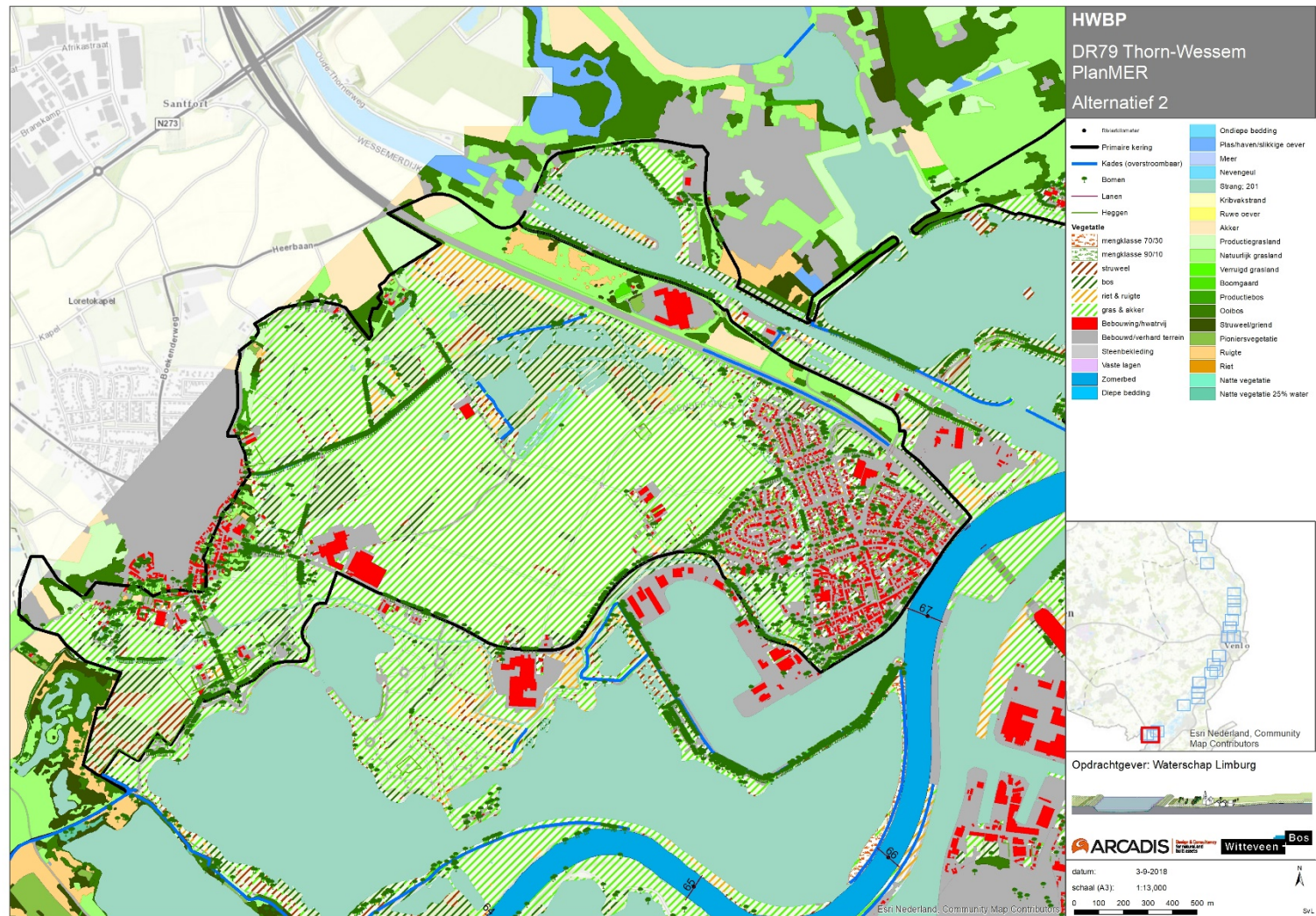
HWBP Noordelijke Maasvallei

Variant 2: Hoogtemodel



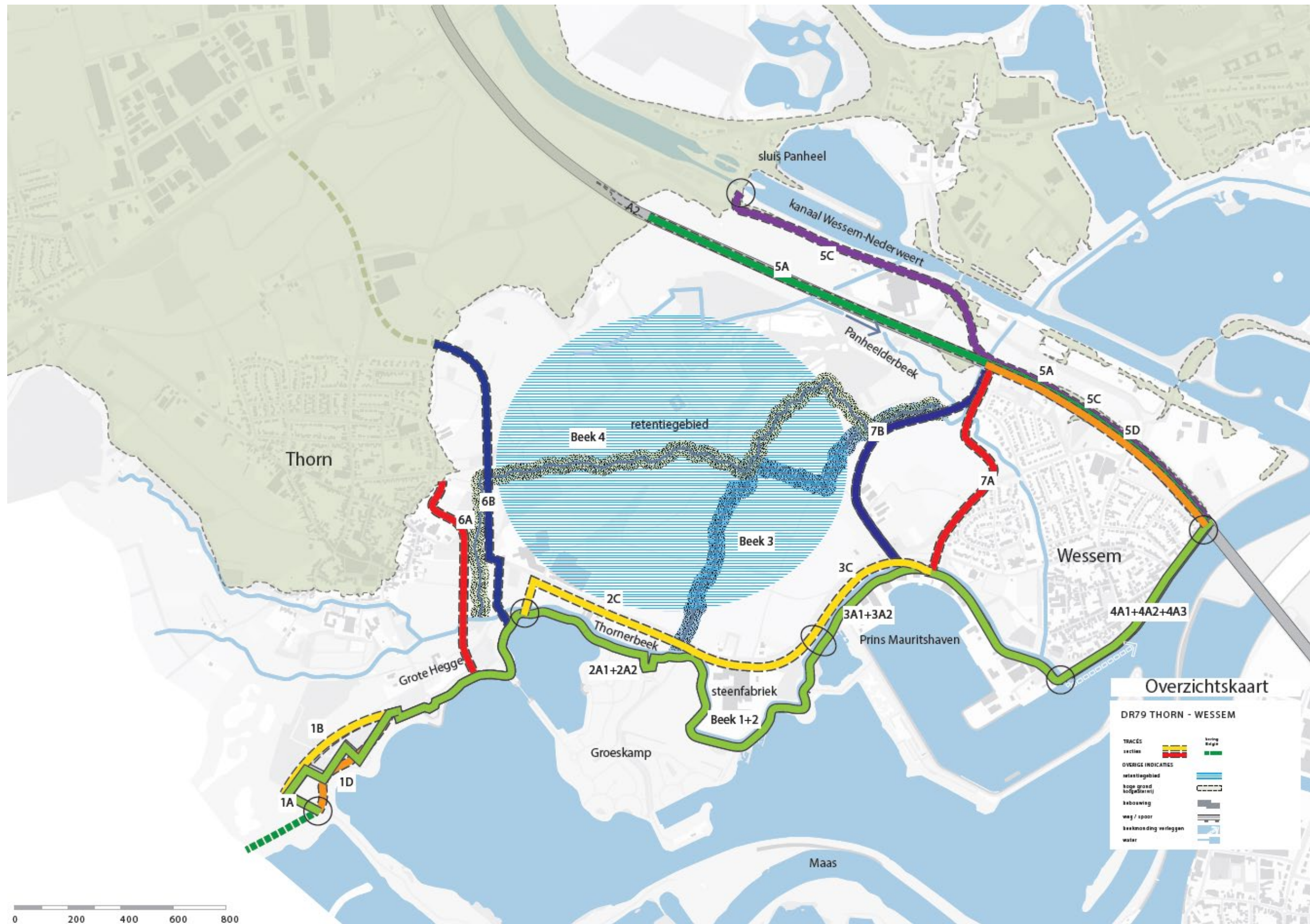
HWBP Noordelijke Maasvallei

Variant 2: Vegetatie



BIJLAGE 3: OVERZICHT VAN ALTERNATIEVEN





		Alternatieven				Toelichting (PM)
Integraal alternatief:		Alternatief 1: Versterken huidige kering, beek handhaven	Alternatief 2: Maximaal winterbed met retentie, beek handhaven + lokstroom	Alternatief 3: Meer bescherming met retentie en beekverlegging	Alternatief 4: Maximaal bescherming met retentie, beek handhaven	
Dijksecties						
1A	Huidige dijk versterken	X				
1B	Huidige dijk versterken met vloeiende aansluiting op Grensdijk - teruglegging		X			
1D	Huidige dijk versterken met vloeiende aansluiting op Grensdijk - buitenwaarts			X	X	
2A1	Huidige dijk versterken (met pipingberm, incl. beekverlegging)			X	X	Anders dan in NRD, waar kering bij alternatief 3 om Groeskamp heen gaat
2A2	Huidige dijk versterken (met constructie)	X				
2C	Dijk verplaatsen naar de weg Meers		X			
3A1	Huidige dijk versterken			X	X	
3A2	Huidige dijk versterken met constructie	X				
3C	Dijk verplaatsen naar de Meers		X			
4A1	Ophogen Maasboulevard, gezicht aan de Maas door tweede kade met lokstroom Thomerbeek			X		
4A2	Kademuur	X	X			
4A3	Niet-permanente waterkering zuidelijk deel Maasboulevard. Lokstroom van de beek via buitentalud				X	
5A	A2 als waterkering			X	X	Onderdoorgangen A2 worden maatregelen genomen (coupure etc)
5C	Via A2 en vervolgens afbuigen richting kanaal Wessem-Nederweert via Panheelderweg	X				
5D	Dijkkring om Wessem, gebruik maken van grondlichaam A2		X			Onderdoorgang A2 wordt maatregelen genomen (coupure etc) en verder retentiedijk rondom Wessem volgen (sectie 7)
6A	Retentiegebied west, langs bebouwingsrand Thom	nvt	X		X	
6B	Retentiegebied west, kering dicht langs dakpannenfabriek	nvt		X		
7A	Retentiegebied oost, langs bebouwingsrand Wessem	nvt	X	X		
7B	Retentiegebied oost, via Meggelsveldweg	nvt			X	
Beekvarianten						
1	Ligging beek huidige situatie; huidige kering versterken met kwelschermen/damwanden	X				
2	Ligging beek huidige situatie; kering via de Meers en Thomerweg		X			
3	Omleggen beek en aansluiten op benedenloop Panheelderbeek (inclusief verwijderen sifon Kanaal Wessem-Nederweert)				X	
4	Omleggen beek ten westen van dakpannenfabriek en aansluiten op benedenloop Panheelderbeek (inclusief verwijderen sifon Kanaal Wessem-Nederweert)			X		
Retentiegebied						
1	6B & 7A, incl. oostelijke instroomopening	nvt		X		
2	6A & 7B, incl. westelijke instroomopening	nvt			X	
3	6A & 7A, incl. instroming over huidige dijk	nvt	X			
		1A-2A2-3A2-4A2-5C Beek 1	1B-2C-3C-4A2-5D-6A-7A Beek 2	1D-2A1-3A1-4A1-5A-6B-7A Beek 4	1D-2A1-3A1-4A3-5A-6A-7B Beek 3	



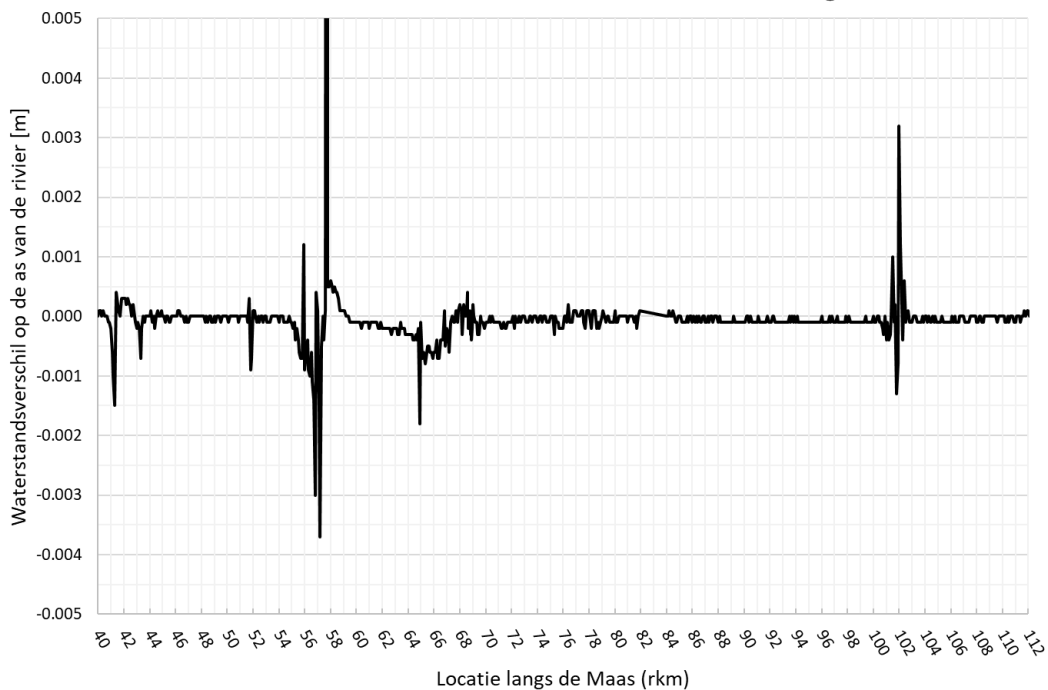
BIJLAGE 4: WATERSTANDSEFFECTEN



Waterstandseffect Thorn-Wessem in zichtjaar 2015:
variant 1 t.o.v. de huidige (overstroombare) kering



Waterstandseffect Thorn-Wessem in zichtjaar 2015:
variant 2 t.o.v. de niet-overstroombare kering

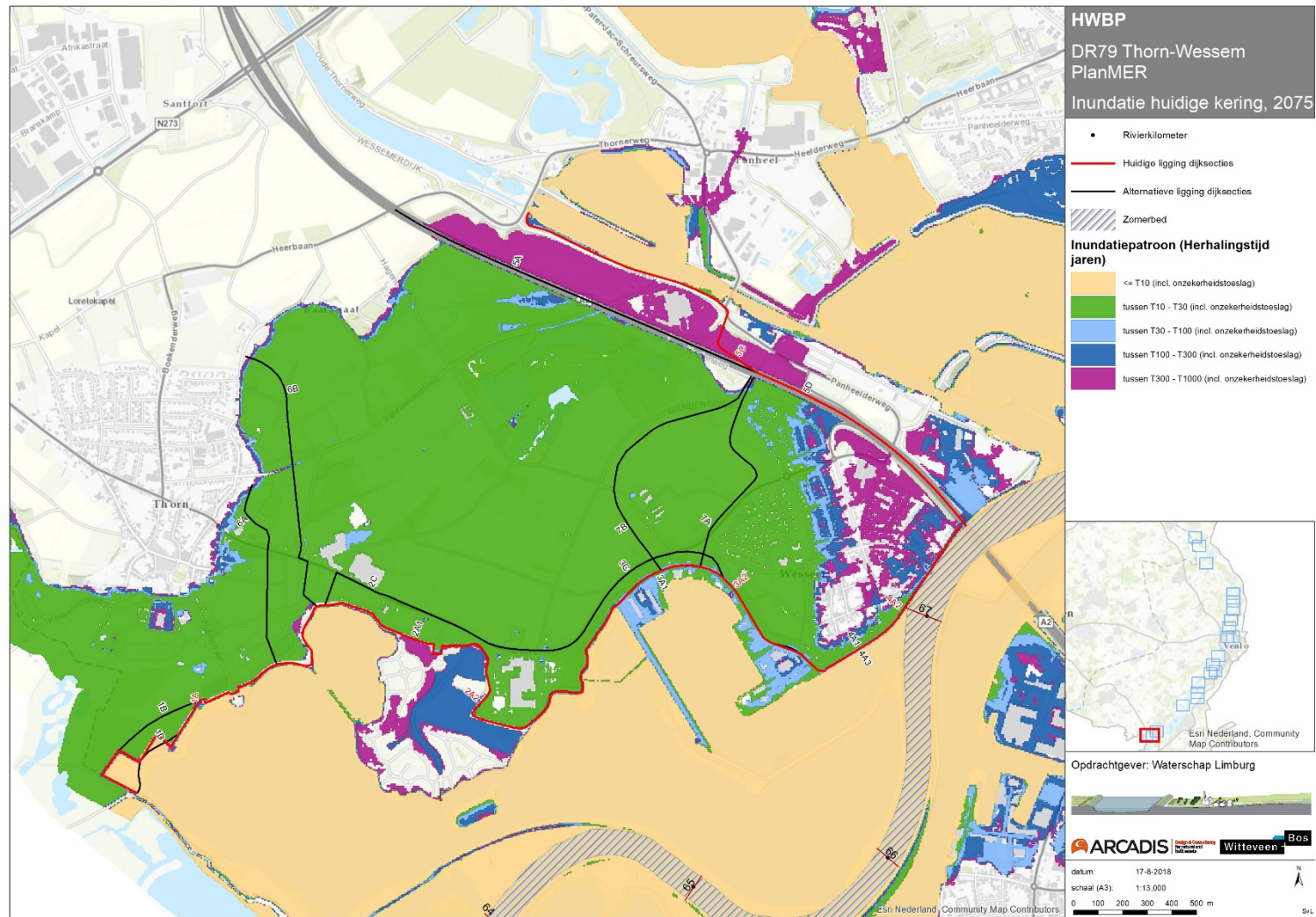


BIJLAGE 5: INUNDATIEKAARTEN



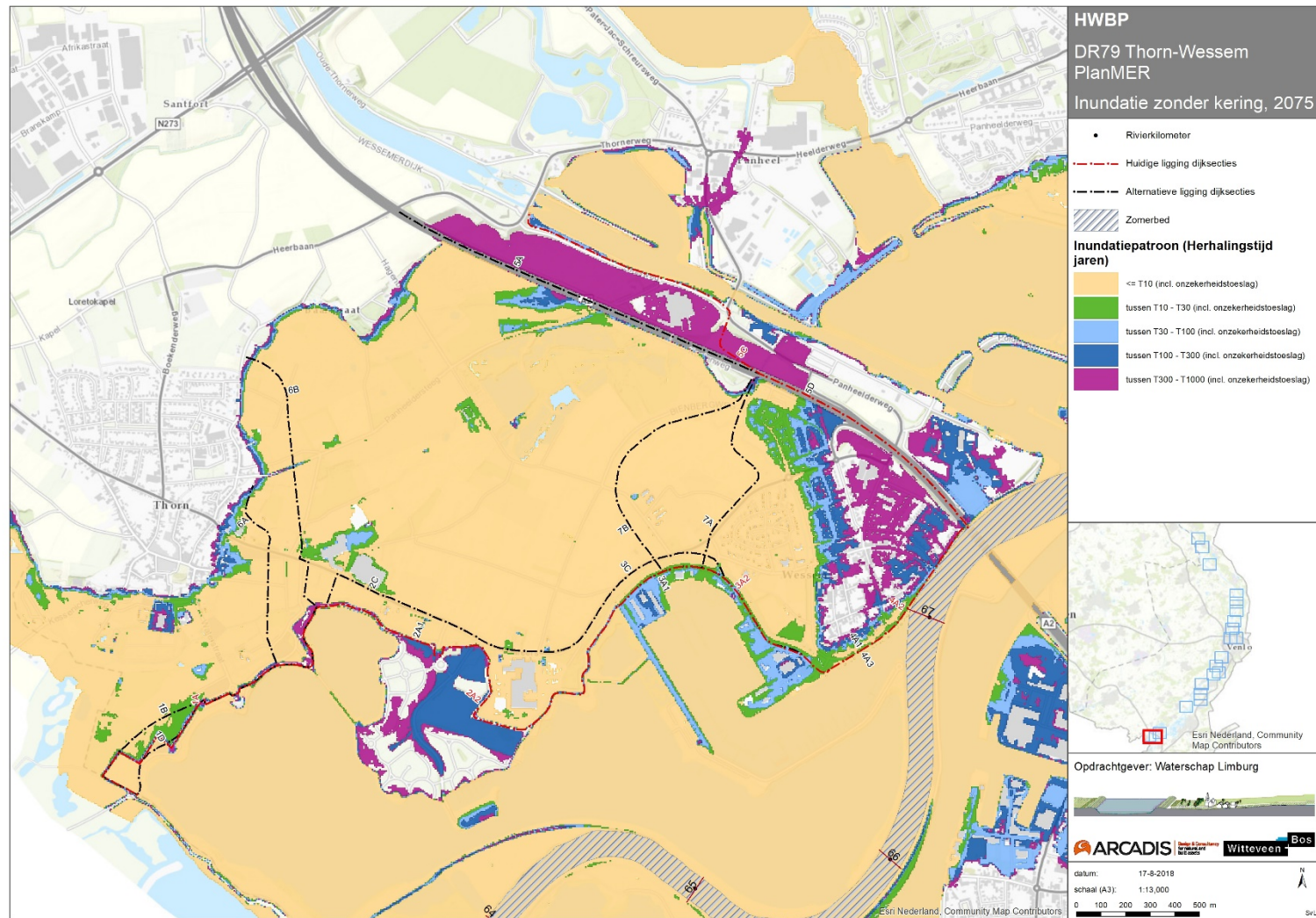
HWBP Noordelijke Maasvallei

Inundatiekaart voor de huidige (overstroombare) keringen voor het zichtjaar 2075



HWBP Noordelijke Maasvallei

Inundatiekaart voor de situatie zonder keringen voor het zichtjaar 2075

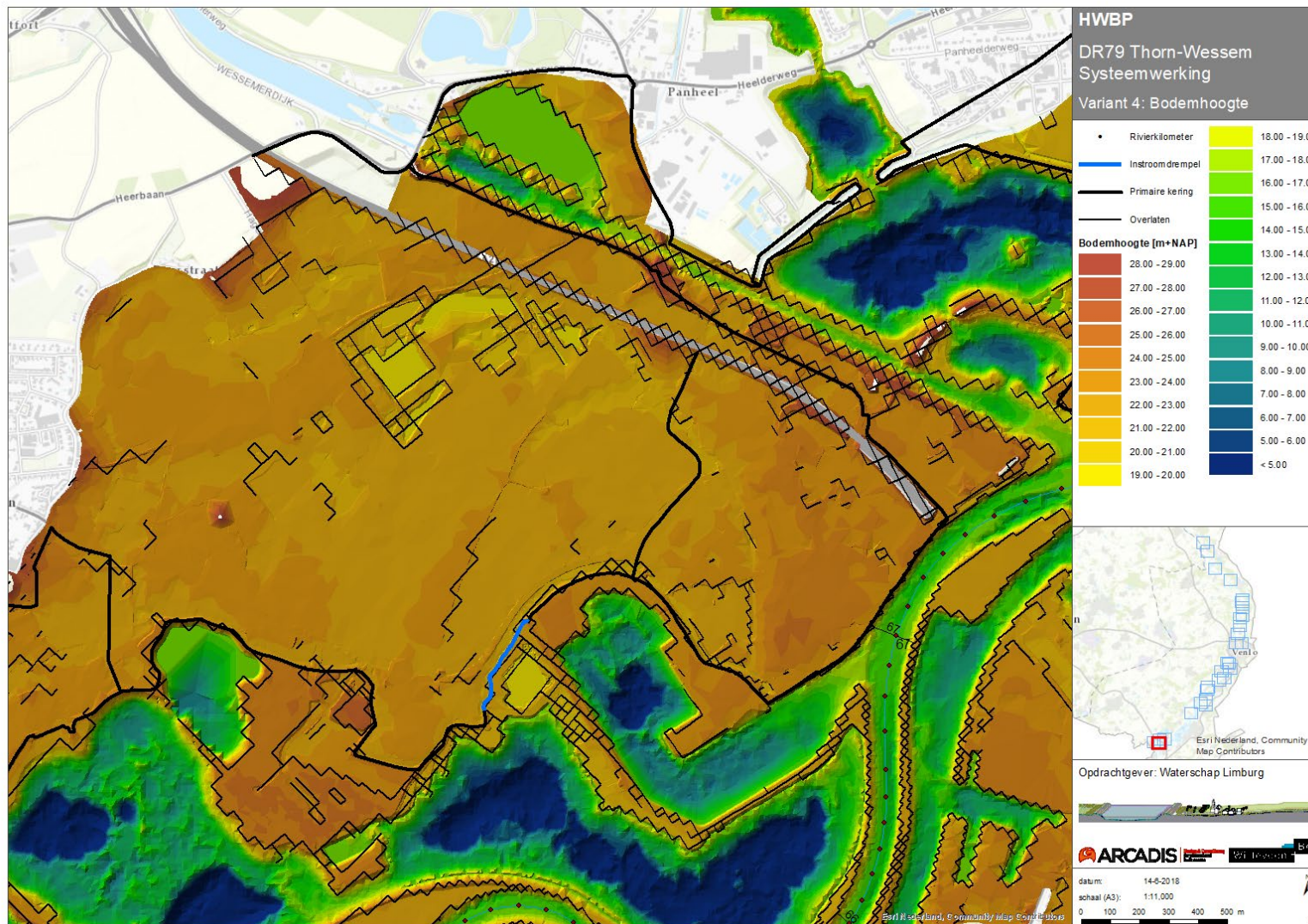


BIJLAGE 6: OVERZICHTSKAARTEN VAN NADERE VERKENNING INZET THORN-WESSEM

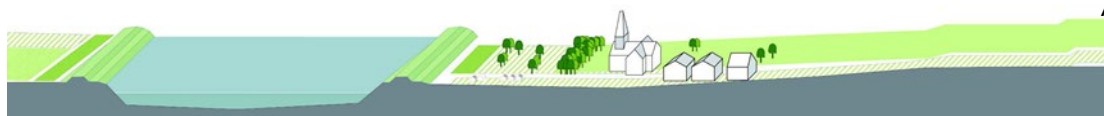
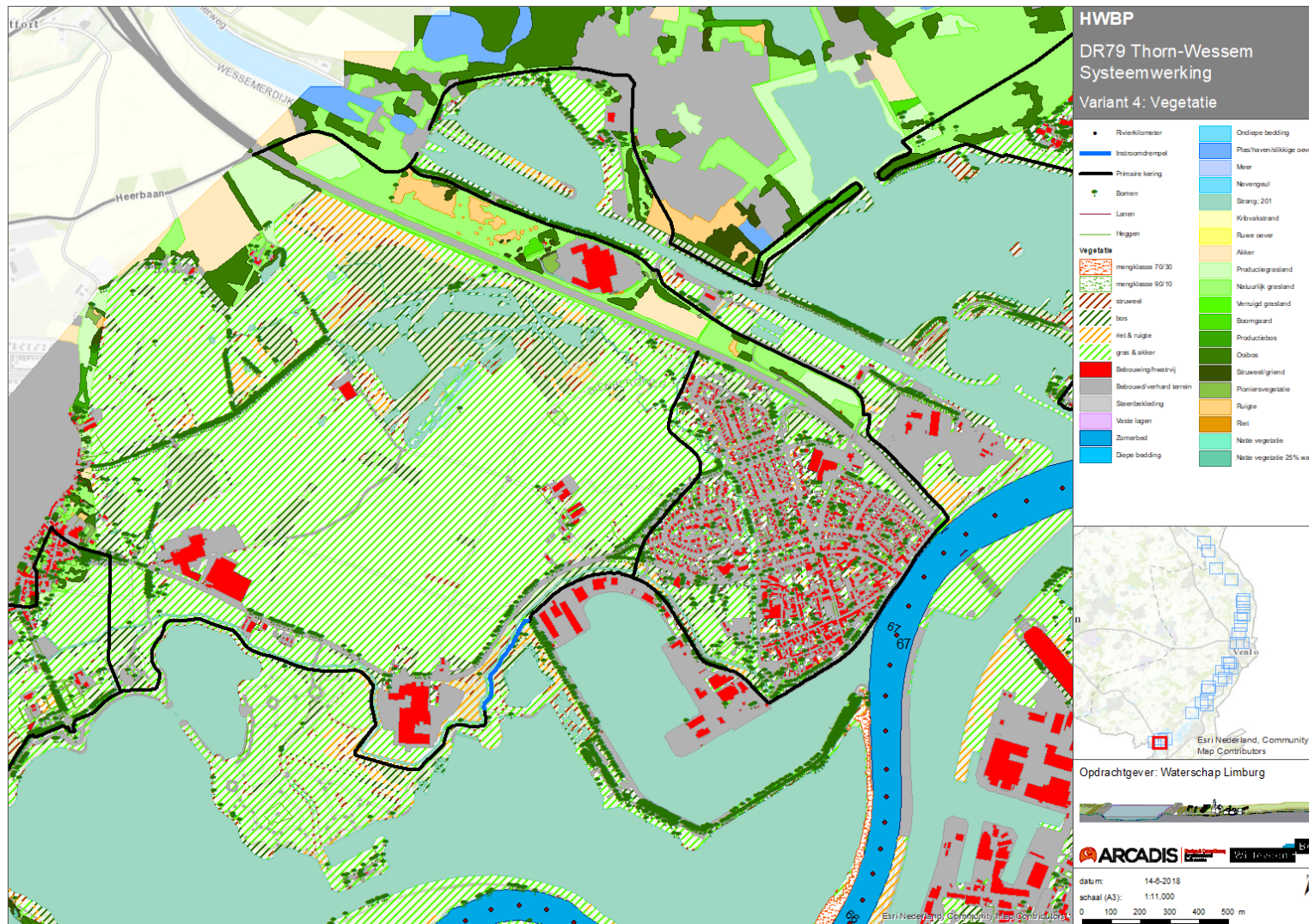


HWBP Noordelijke Maasvallei

Variant 4: Hoogtemodel

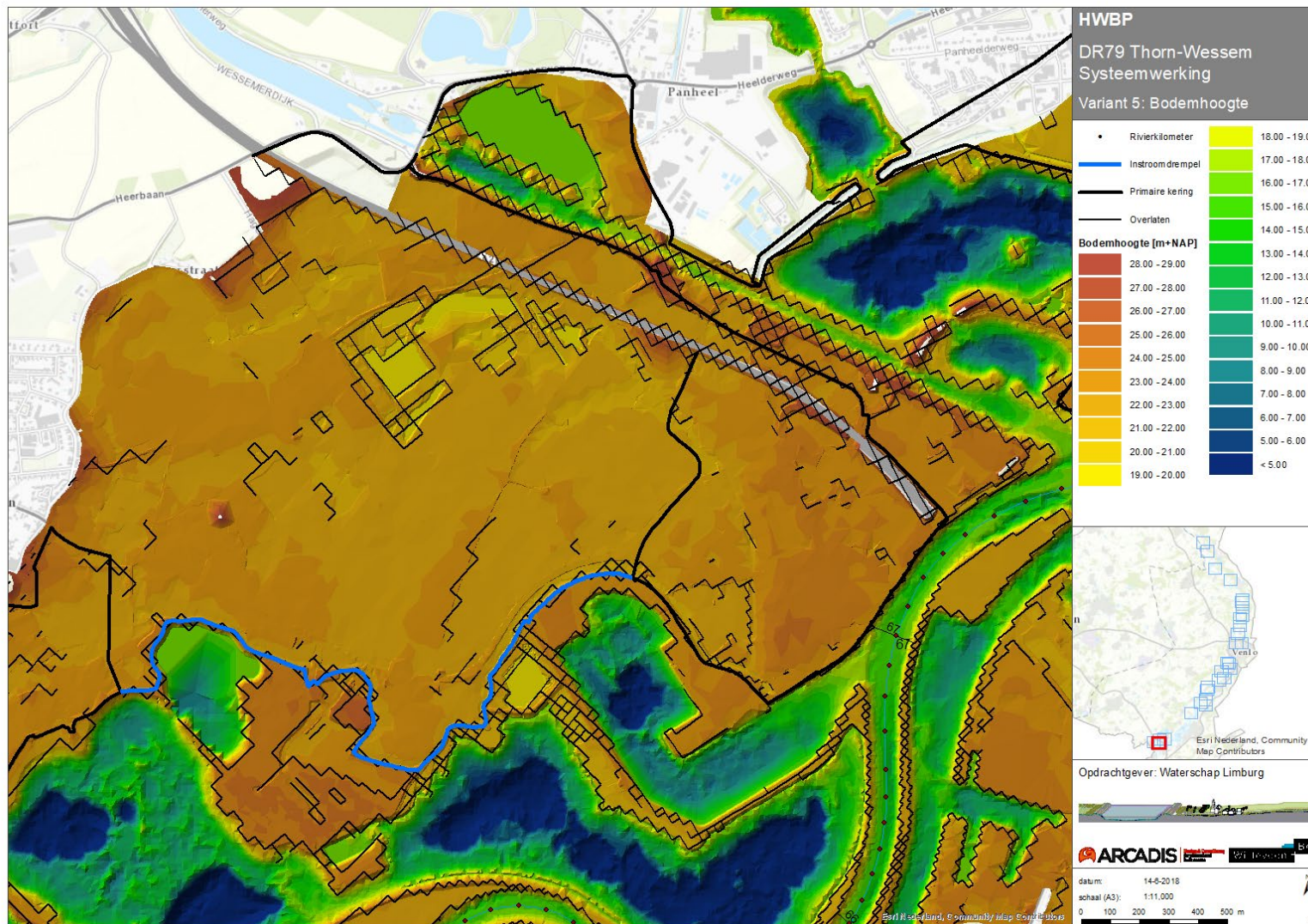


Variant 4: Vegetatie

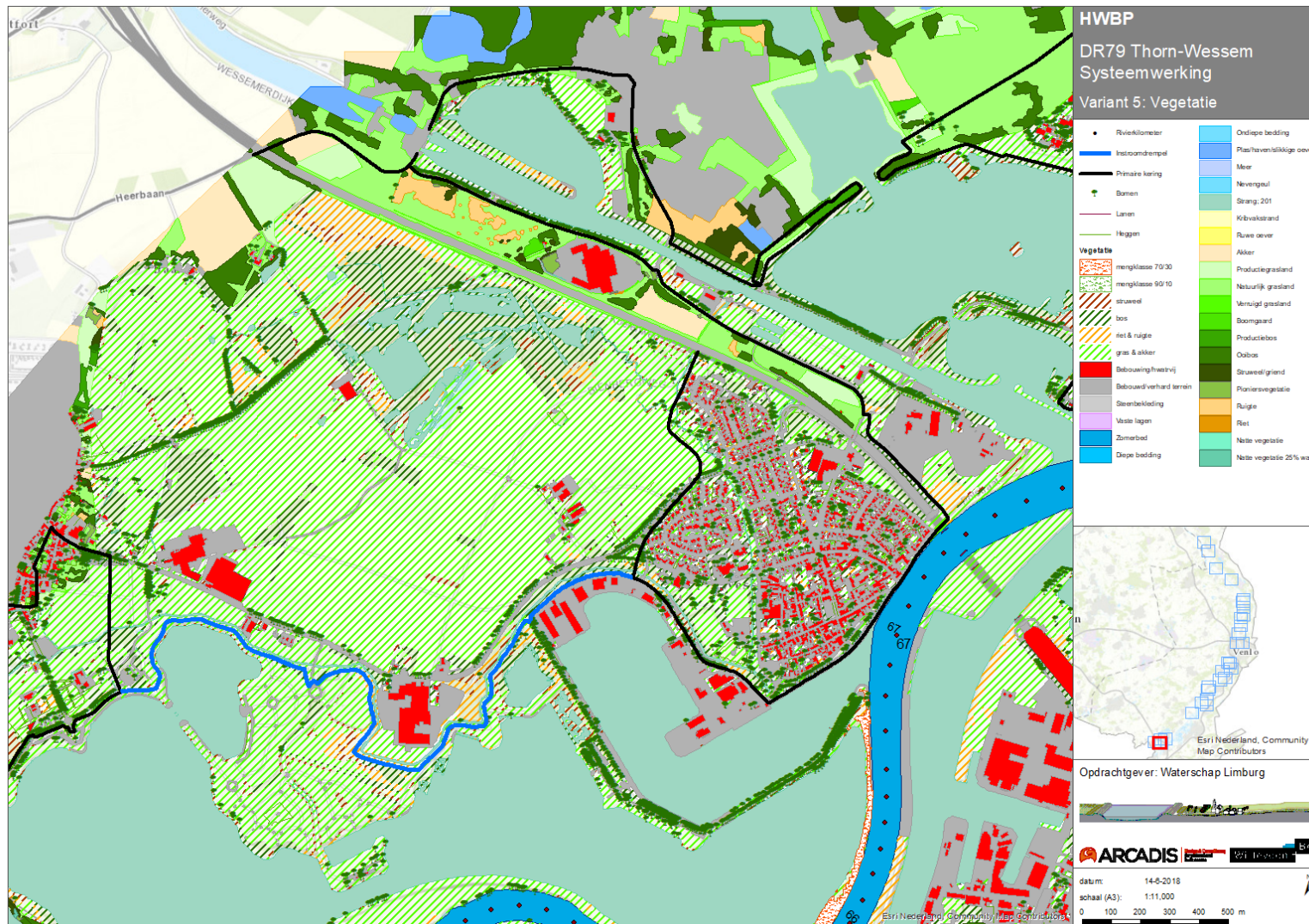


HWBP Noordelijke Maasvallei

Variant 5: Hoogtemodel



Variant 5: Vegetatie

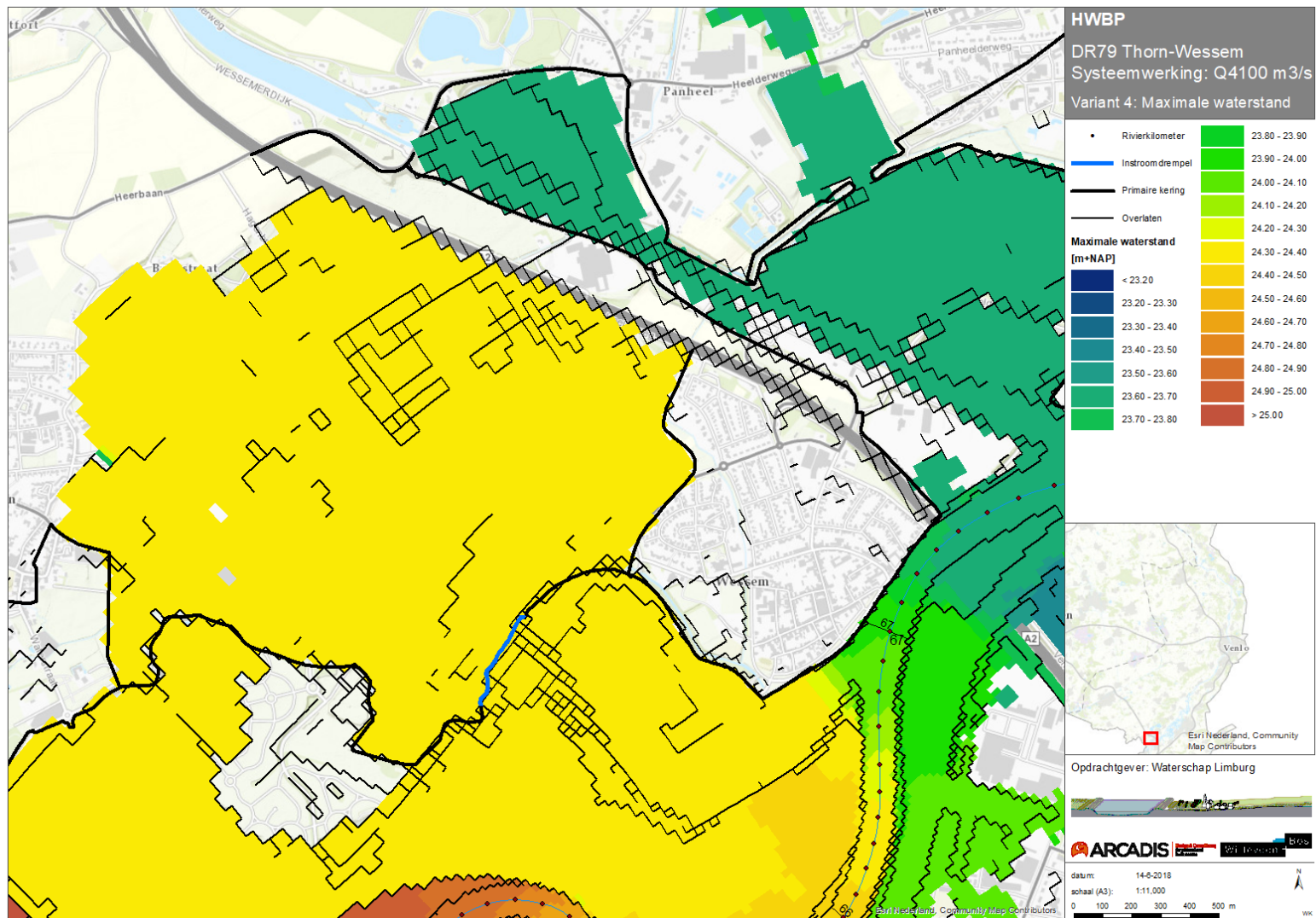


BIJLAGE 7: MAXIMALE WATERSTAND NADERE VERKENNING INZET THORN-WESSEM



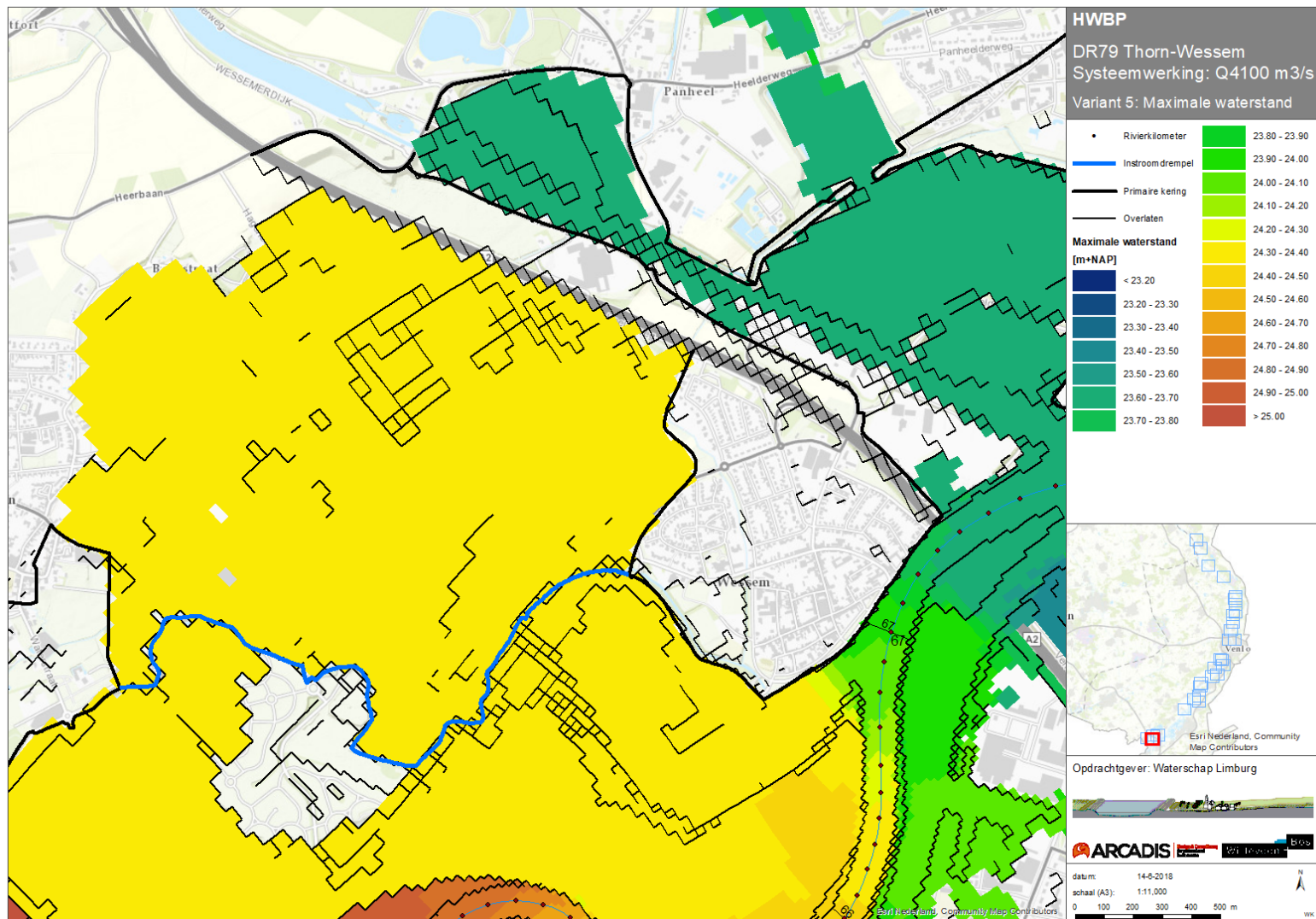
HWBP Noordelijke Maasvallei

Variant 4: Maximale waterstand



HWBP Noordelijke Maasvallei

Variant 5: Maximale waterstand

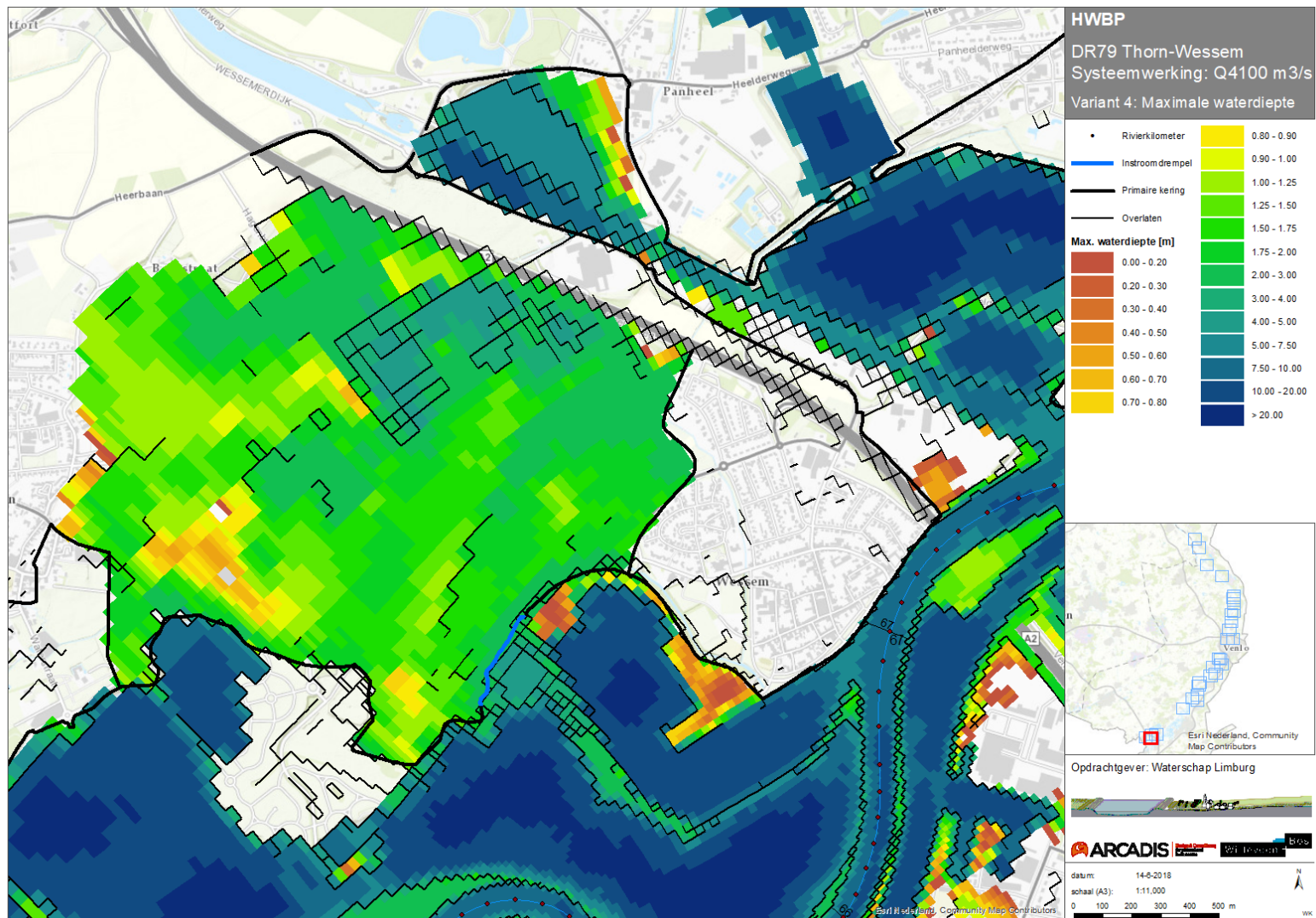


BIJLAGE 8: MAXIMALE WATERDIEPTEN NADERE VERKENNING INZET THORN-WESSEM



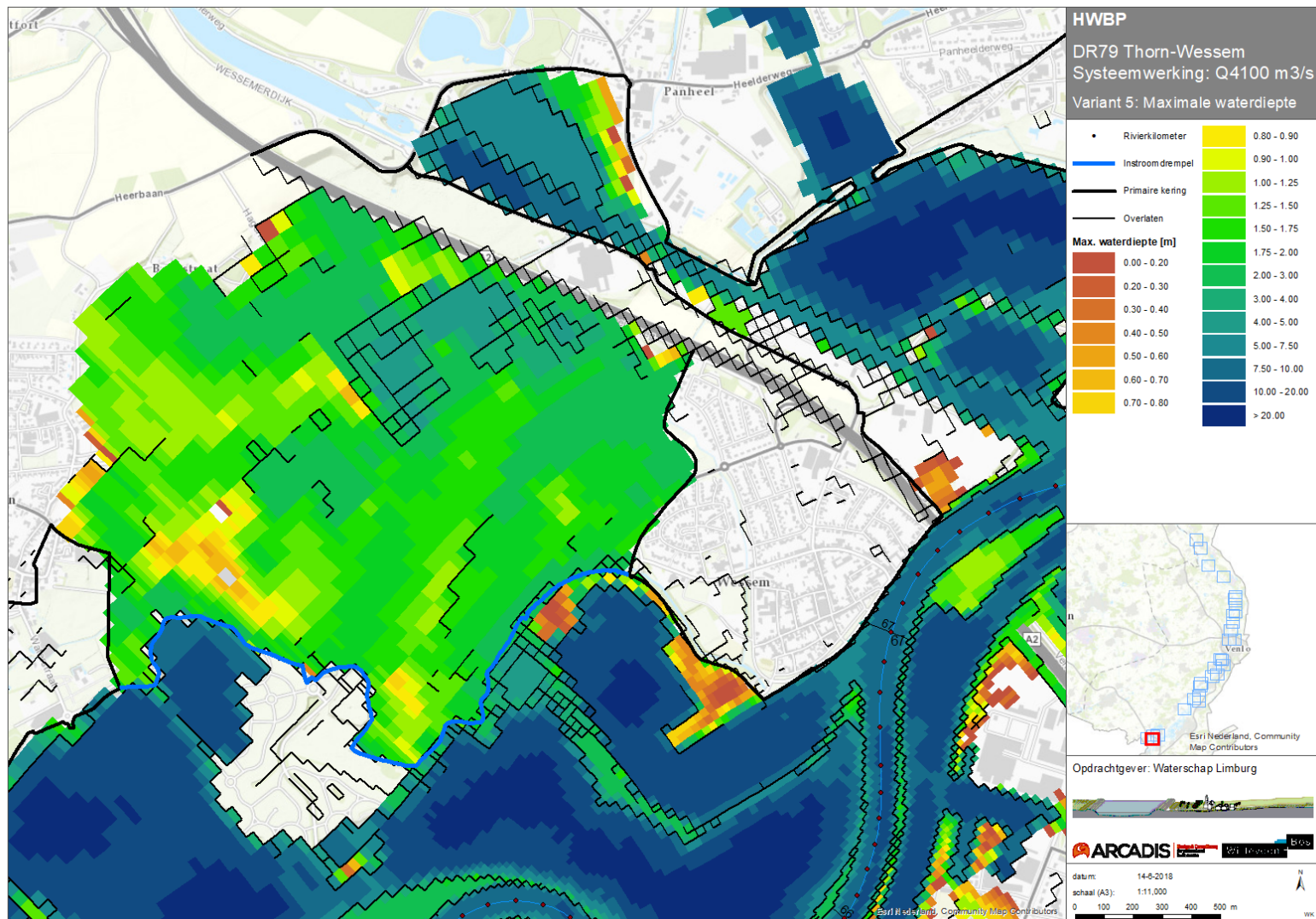
HWBP Noordelijke Maasvallei

Variant 4: Maximale waterdiepten



HWBP Noordelijke Maasvallei

Variant 5: Maximale waterdiepten



BIJLAGE 9: INGROPENKAART



Ingrepenkaart i.r.t. systeemmaatregel bij Thorn-Wessem © Provincie Limburg

