



Het optimaal benutten van hoogwatervrije terreinen in het Splitsingspuntengebied

Lectoraat Sustainable River Management

Hogeschool Van Hall Larenstein - Rijkswaterstaat

Rik Nuij en Raymond van Renswoude

31-5-2017

Colofon

“Het optimaal benutten van hoogwatervrije terreinen in het splitsingspuntengebied”

Rik Nuij

Opleiding: Land- en Watermanagement
Major: Grond-, Weg- en Waterbouw
Minor: Waterbouw, Hogeschool Rotterdam

Raymond van Renswoude

Opleiding: Land- en Watermanagement
Major: Grond-, Weg- en Waterbouw
Minor: Waterbouw, Hogeschool Rotterdam

Opdrachtverlening

Deze opdracht is door Rijkswaterstaat neergelegd bij het lectoraat Sustainable River Management van Hogeschool Van Hall Larenstein.

Hogeschool Van Hall Larenstein

Jeroen Rijke – Lectoraat Sustainable River Management
Sara Eeman – Hydrologiedocent



Rijkswaterstaat Oost Nederland

Bert Voortman – Projectleider studieopdracht splitsingspuntengebied



Rijkswaterstaat
Ministerie van Infrastructuur en Milieu

Plaats: Arnhem

Datum: 31-05-2017

Voorwoord

Voor u ligt ons afstudeeronderzoek “Het optimaal benutten van hoogwatervrije terreinen in het Splitsingspuntengebied”. Deze scriptie is geschreven in het kader van ons afstuderen aan de opleiding Land- en Watermanagement aan Hogeschool Van Hall Larenstein. Dit onderzoek is door Rijkswaterstaat neergelegd bij het lectoraat Sustainable River Management van Hogeschool Van Hall Larenstein, waarna Rik Nuij en Raymond van Renswoude dit onderzoek hebben uitgevoerd. Van februari 2017 tot en met mei 2017 zijn wij bezig geweest met het onderzoek en het schrijven van deze scriptie. Via deze weg willen wij Corné de Leeuw, Daniël van Putten en Bert Voortman bedanken voor hun fijne en inspiratieve begeleiding vanuit Rijkswaterstaat, en Sara Eeman voor de feedback als begeleider vanuit Hogeschool Van Hall Larenstein.

Wij wensen u veel leesplezier toe.

Rik Nuij en Raymond van Renswoude

Arnhem, 31 mei 2017

Samenvatting

De waterveiligheid wordt in Nederland onder andere gewaarborgd door het Deltaprogramma van Rijkswaterstaat. De maatregelen die hierbij worden ingezet om de waterveiligheid in het rivierengebied te garanderen, zijn een samenspel van dijkverbeteringen en rivierverruiming. Eén van de manieren om rivierverruiming toe te passen, is het afgraven van hoogwatervrije terreinen. Ingeval wordt overgegaan op afgraven, komt grond vrij die mogelijk toe te passen is bij dijkversterkingen en/of andere bouwprojecten. De grond dient bij hergebruik getoetst te worden op de chemische en fysische kwaliteit.

Het doel van dit onderzoek is inzicht geven hoe hoogwatervrije terreinen rond het splitsingspuntengebied ingezet kunnen worden ten behoeve van de hoogwaterveiligheidsopgave, waarbij de hydraulische effecten en de toepasbaarheid van de vrijgekomen grond de bepalende factoren zijn. Voor dit onderzoek zijn de hoogwatervrije terreinen, fabrieksterrein en terrein Staatsbosbeheer – Bemmelerwaard, Scherpekerpolder – Angeren, Stadsblokken – Arnhem en Riverstone Velp onderzocht.

Voor de hierboven genoemde hoogwatervrije terreinen zijn varianten gemaakt, die zorgen voor een waterstandverlaging in de rivier. Vervolgens zijn de varianten gemodelleerd, waarna de waterstandsverlaging per variant bij de splitsingspunten zijn bepaald. Hierna is gekeken welke varianten per splitsingspunt gecombineerd kunnen worden, zodat de effecten van de waterstandsverlagingen elkaar opheffen en de afvoerverdeling (ongeveer) gelijk blijft. Het maximale verschil in de waterstandverlaging die bij de Pannerdenschekop op één van de riviertakken mag afwijken is 0,2 centimeter, het maximale verschil in de waterstandverlaging die bij de IJsselkop op één van de riviertakken mag afwijken is 0,7 centimeter. Uit de resultaten van de modelberekeningen blijkt er dat combinaties tussen varianten mogelijk zijn, waarbij de waterstandsverlagingen ter hoogte van de splitsingspunten acceptabel blijven. De resultaten geven aan dat het geheel afgraven van de terreinen de grootste waterstandsverlaging oplevert. Het blijkt echter dat het efficiënter is de terreinen te stroomlijnen met de desbetreffende rivier, hierbij wordt minder grond ontgraven en wordt al een aanzienlijke waterstandsverlaging gecreëerd. Bovendien blijkt het weghalen van de hoogwatervrije vergunning efficiënt, dit levert bij alle varianten waterstandsverlaging op. Voordeel van deze maatregel is geen kosten worden gemaakt voor het afgraven van de (verontreinigde) grond.

De chemische en fysische kwaliteit van de vrijgekomen grond uit de hoogwatervrije terreinen is bepaald door bodemonderzoeken te analyseren. Om de toepasbaarheid van de vrijgekomen grond te bepalen is ten eerste de wettelijke regelgeving geanalyseerd, hieruit is gebleken dat een partij grond die de streefwaarde niet overschrijdt, onbeperkt toepasbaar is. Vervolgens is onderzocht welke constructieve eisen aan grond worden gesteld bij verschillende toepassingen in de Grond-, Weg- en Waterbouw. Uit de resultaten blijkt dat de zwaar verontreinigde grond geconcentreerd in hotspots aanwezig is op de hoogwatervrije terreinen. 15 procent van de onderzochte bodem in de terreinen is zwaar verontreinigd en dus niet toepasbaar, 35 procent van de onderzochte bodem in de terreinen is licht tot zwaar verontreinigd en dus beperkt toepasbaar en 50 procent van de onderzochte bodem is schoon en dus direct toepasbaar. De zandgrond in de hoogwatervrije terreinen kan toegepast worden als steunberm, isolatielaag, drainagelaag en (niet) constructieve ophoging/aanvulling. De zandige klei in de hoogwatervrije terreinen is toepasbaar als erosiebestendige deklaag en isolatielaag.

Inhoud

Voorwoord	2
Samenvatting	3
1. Inleiding.....	8
1.1. Aanleiding	8
1.2. Probleemstelling	9
1.3. Projectbegrenzing	10
1.4. Doel en onderzoeksvraag.....	10
1.5. Publiek.....	11
1.6. Leeswijzer.....	11
2. Theoretisch kader	12
2.1. Hoogwatervrije terreinen	12
2.2. Afvoerverdeling.....	13
2.2.1. Regelwerk Pannerden	14
2.2.2. Regelwerk Hondbroeksche Pleij	14
2.3. Benedenstroomse piek	15
2.4. Regelgeving en vergunningen omtrent afgraven van grond – Besluit Bodemkwaliteit	16
2.4.1. Gebiedsspecifiek en generiek kader	16
2.4.2. Toetsingswaarden Besluitbodemkwaliteit.....	16
2.4.3. Grootschalige toepassing.....	17
2.5. Grondsoorten.....	18
2.5.1. Invloed van grondparameters.....	19
2.6. Algemene toepassingen grond in de Grond-, Weg- en Waterbouw	20
2.6.1. Soorten toepassingen	20
3. Methodiek.....	23
3.1. Persoonlijke communicatie.....	23
3.2. Veldbezoek.....	23
3.3. Literatuurstudie	24
3.3.1. Voorkeursstrategieën van de rivieren in het splitsingspuntengebied.....	24
3.3.2. Wettelijk kader grond	24
3.3.3. Bodemonderzoeken.....	24
3.3.4. Rivierkundig beoordelingskader (RBK).....	24
3.4. Classificeren grondstromen	24
3.5. Rangschikking toepassingen grond.....	25
3.6. Hydraulische effecten modelleren.....	26
3.7. Multicriteria Analyse varianten	26

4.	Inventarisatie	27
4.1.	Bemmel	27
4.1.1.	Huidige situatie Bemmel	27
4.1.2.	Inventarisatie bodemonderzoek Bemmel	28
4.2.	Scherpekamp	29
4.2.1.	Huidige situatie Scherpekamp	29
4.2.2.	Inventarisatie bodemonderzoek Scherpekamp	30
4.3.	Stadsblokken Arnhem	31
4.3.1.	Huidige situatie Stadsblokken Arnhem	31
4.3.2.	Inventarisatie bodemonderzoek Stadsblokken	32
4.4.	Riverstone Velp	33
4.4.1.	Huidige situatie Riverstone Velp	33
4.4.2.	Inventarisatie bodemonderzoek Riverstone	34
5.	Varianten	35
5.1.	Bepaling varianten	35
5.2.	Fabrieksterrein en terrein Staatsbosbeheer Bemmel	35
5.3.	Scherpekamp Angeren	37
5.4.	Stadsblokken Arnhem	38
5.5.	Riverstone Velp	39
6.	Resultaten	40
6.1.	Resultaten Bemmel	40
6.1.1.	Variant 1	40
6.1.2.	Variant 2	40
6.1.3.	Variant 3	40
6.1.4.	Variant 4	40
6.1.5.	Variant 5	40
6.2.	Resultaten Scherpekamp	41
6.2.1.	Variant 1	41
6.2.2.	Variant 2	41
6.2.3.	Variant 3	41
6.3.	Resultaten Stadsblokken	41
6.3.1.	Variant 1	41
6.3.2.	Variant 2	41
6.3.3.	Variant 3	41
6.3.4.	Variant 4	42
6.4.	Resultaten Riverstone	42

6.4.1.	Variant 1 uitgangssituatie 1	42
6.4.2.	Variant 2 uitgangssituatie 2	42
6.4.3.	Variant 3 uitgangssituatie 2	42
6.5.	Analyse resultaten	43
6.5.1.	Vergelijking varianten Bemmel	43
6.5.2.	Vergelijking varianten Scherpekamp	44
6.5.3.	Vergelijking varianten Stadsblokken	45
6.5.4.	Vergelijking varianten Riverstone	46
6.6.	Mogelijkheden vrijkomende grond	47
6.7.	Optimaliseren hydraulische effecten	48
6.7.1.	Pannerdensche kop – Bemmel en Scherpekamp	48
6.7.2.	IJsselkop – Riverstone en Stadsblokken	50
6.8.	Terugkoppeling resultaten	52
6.8.1.	Bemmel	52
6.8.2.	Scherpekamp	52
6.8.3.	Stadsblokken	52
6.8.4.	Riverstone	52
7.	Conclusie	53
7.1.	Conclusie	53
7.2.	Discussie	54
7.3.	Aanbevelingen	55
	Bibliografie	56
	Reflectie	58
	Bijlage 1 Deellocaties Scherpekamp	59
	Bijlage 2 Deellocaties Stadsblokken	60
	Bijlage 3 Deellocaties Riverstone	61
	Bijlage 4 Bemmel – Variant 1	62
	Bijlage 5 Bemmel – Variant 2	63
	Bijlage 6 Bemmel – Variant 3	64
	Bijlage 7 Bemmel – Variant 4	65
	Bijlage 8 Bemmel – Variant 5	66
	Bijlage 9 Scherpekamp – Variant 1	67
	Bijlage 10 Scherpekamp – Variant 2	68
	Bijlage 11 Scherpekamp – Variant 3	69
	Bijlage 12 Stadsblokken – Variant 1	70
	Bijlage 13 Stadsblokken – Variant 2	71

Bijlage 14 Stadsblokken – Variant 3.....	72
Bijlage 15 Stadsblokken – Variant 4.....	73
Bijlage 16 Riverstone – Variant 1.....	74
Bijlage 17 Riverstone – Variant 2.....	75
Bijlage 18 Riverstone – Variant 3.....	76
Bijlage 19 Toepasbaarheid grond	77
Invloed van grondparameters.....	77
Bepalen weegfactoren constructieve gedragseigenschappen per grondparameter	78
Scores grondsoorten.....	78
Bijlage 20 Uitleg scores en weegfactoren Multicriteria analyse.....	81

1. Inleiding

1.1. Aanleiding

De Nederlandse rivierdelta is een dynamisch gebied, waar het land en water intensief gebruikt worden. Door het extremer wordend klimaat, krijgt Nederland onder andere te maken met hogere afvoeren van de Rijn. Indien geen ingrepen in het riviersysteem worden toegepast, wordt de kans op overstromingen in het Rivierengebied groter. Om ook in de toekomst naar een veilige rivierdelta te streven heeft het Rijk het Deltaprogramma opgesteld, in dit programma wordt het beleid op het gebied van waterveiligheid tot 2100 beschreven¹.

Het Deltaprogramma is onderverdeeld in negen deelprogramma's, het deelprogramma Rivieren richt zich op het verbeteren van de dijken en het anticiperen op hogere waterstanden door veranderingen in het klimaat, zie figuur 1. Voor het deelprogramma Rivieren werken Rijksoverheid, provincies, gemeenten, waterschappen en andere gebiedspartijen samen aan het opstellen van gebiedseigen opgaven in de vorm van een voorkeursstrategie. De voorkeursstrategie van het rivierengebied bestaat uit een samenspel van dijkverbeteringen en rivierverruimingen.

Deelprogramma's:

1. Veiligheid
2. Zoetwater
3. Nieuwbouw en herstructurering
4. Kust
5. Waddengebied
6. IJsselmeergebied
7. Rivieren
8. Rijnmond-Drechtsteden
9. Zuidwestelijke Delta

Eén van de manieren om rivierverruiming toe te passen, is het afgraven van hoogwatervrije terreinen in de uiterwaarden. Het gevolg van het afgraven van hoogwatervrije terreinen is dat opstuwing in het rivierbed wordt tegengegaan en een waterstandsverlaging bovenstrooms van het hoogwatervrije terrein optreedt². Deze waterstandsverlaging treedt op bij hoogwater, wanneer het verlaagde hoogwatervrije terrein mee stroomt met de desbetreffende rivier.

Figuur 1 Deelprogramma's Rijkswaterstaat

Bij het afgraven van hoogwatervrije terreinen komt grond vrij. Met het oog op milieubelangen en duurzaamheid wil het Rijk CO₂-uitstoot verminderen door functioneel om te gaan met vrijkomende grond uit bouwprojecten³. Hierdoor is het (financieel) interessant om te kijken hoe de vrijgekomen grond toegepast kan worden binnen het Deltaprogramma en andere bouwprojecten rondom het splitsingspuntengebied.

Het splitsingspuntengebied is het gebied waarbij de Rijn en het Pannerdensch kanaal zich aftakken. Ter hoogte van de Pannerdensche kop splitst de Rijn in het Pannerdensch kanaal en de Waal. Ter hoogte van de IJsselkop splitst het Pannerdensch kanaal in de IJssel en Neder-Rijn.

¹ Bron: (Rijksoverheid). *Deltaprogramma*. Opgeroepen op februari 2017, van Rijksoverheid.

² Bron: (Rijkswaterstaat, 2016). *Een blik vooruit op hoogwatervrije terreinen*. Velp: Van Hall Larenstein.

³ Bron: (Lectoraat Sustainable Flood Defense in River Systems, 2017). *Gesloten grondbalans bij dijkversterkingsprojecten*. Velp: Van Hall Larenstein.

1.2. Probleemstelling

Indien een rivierverruimingsproject nabij het splitsingspuntengebied wordt uitgevoerd, zoals het afgraven van een hoogwatervrij terrein, kan dit gevolgen hebben voor de afvoerverdeling tijdens hoogwater. Een hogere waterafvoer van een van de riviertakken leidt tot een hogere waterstand in de desbetreffende tak, waardoor de waterveiligheid benedenstrooms in het geding komt. Om de afvoerverdeling in evenwicht te houden dienen waterstandsverlagende maatregelen in de andere riviertak genomen te worden, zodat de afvoerverdeling in evenwicht blijft en de effecten elkaar opheffen. In tabel 1 staat de huidige en toekomstige maatgevende afvoerverdeling weergegeven.

Beleidsmatige Afvoerverdeling Rijntakken				
Rijntakken	Maatgevende Afvoer 2017 [m ³ /s]	Aandeel [%]	Maatgevende Afvoer 2050 [m ³ /s]	Aandeel [%]
Rijn (Lobith)	16000	100	17000	100
Waal	10160	64	10970	64
Pannerdensch Kanaal	5840	36	6036	36
Neder-Rijn	3380	21	3380	20
IJssel	2461	15	2656	16

Tabel 1 Afvoerverdeling Rijntakken huidige en toekomstige situatie⁴

Na het uitvoeren van rivier verruimende maatregelen over een relatief kort traject is het tevens mogelijk dat benedenstrooms van de ingreep opstuwung in het rivierpeil ontstaat. De verklaring hiervoor is dat door het afgraven van een hoogwatervrij terrein er meer water door de uiterwaarde gaat stromen, waardoor de stroomsnelheid in het zomerbed verlaagd wordt. Indien er na de rivier verruimende maatregel een versmalling van het riviertraject is, zorgt dit samen met de verlaagde stroomsnelheid voor een piek in de waterstand.

Indien tot afgraven overgegaan wordt, komt er grond vrij die mogelijk toe te passen is bij dijkversterkingen en/of andere bouwprojecten nabij het splitsingspuntengebied. Voordat de vrijgekomen grond toegepast wordt dient deze getoetst te worden op de chemische en fysische kwaliteit.

Bouwgrond dient aan generieke of gebiedseigen voorwaarden te voldoen die samenhangen aan de chemische kwaliteit van het gebied waar de grond wordt toegepast. Als de vrijgekomen grond de interventiewaarde van een bepaalde stof in dit gebied overschrijdt, kan de grond alleen toegepast worden als deze gesaneerd wordt. Echter, leidt sanering van de vrijgekomen grond tot een kostenpost, die niet gewenst is. De fysische kwaliteit geeft aan wat de draagkracht en het waterhoudend vermogen van de vrijgekomen grond zijn. De draagkracht en het waterhoudend vermogen geven aan welke toepassingen geschikt zijn voor de vrijgekomen grond⁵.

⁴ Bron: (David Kroekenstoel Rijkswaterstaat, 2017) *Rivierkundig beoordelingskader voor ingrepen in de Grote Rivieren 4.0, maart 2017*

⁵ Bron: (Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, 1996), *maart 2017*

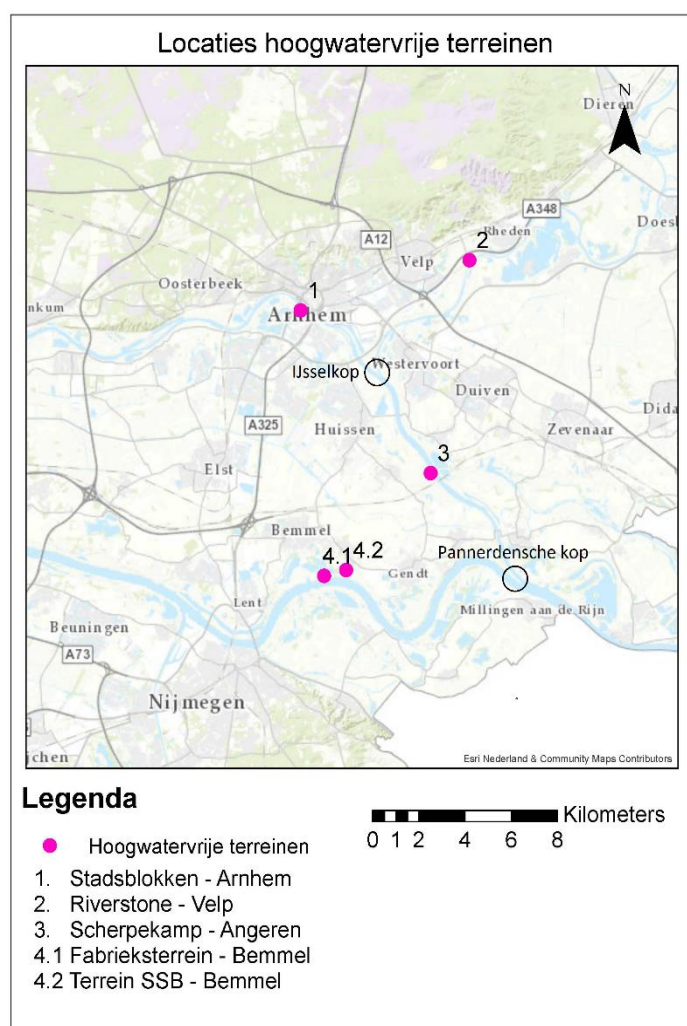
1.3. Projectbegrenzing

Het projectgebied omvat de uiterwaarden van het Pannerdensch kanaal, Neder-Rijn, Waal en IJssel met een afstand van ongeveer tien kilometer vanaf splitsingspunten Pannerdensch kop en IJsselkop. In overleg met rivierkundig specialisten van Rijkswaterstaat is bepaald welke hoogwatervrije terreinen in het onderzoek worden meegenomen, deze terreinen zijn weergegeven in figuur 2. Het beheer van de betreffende rivieren valt onder Rijkswaterstaat, de hoogwatervrije terreinen zijn in eigendom van de organisaties, weergegeven in tabel 2.

Dit onderzoek beperkt zich tot de hydraulische effecten van de rivieren en de mogelijke toepassingen van grond uit de hoogwatervrije terreinen. De riviermorfologie, uitvoerend bodemonderzoek en vrijgekomen materialen van de huidige bebouwing op de hoogwatervrije terreinen worden niet meegenomen in het onderzoek.

Naam:	Plaats:	Eigenaar:
Riverstone	Velp	OMRO vastgoed Velp
Scherpekamp	Angeren	Caprice
Stadsblokken	Arnhem	Gemeente Arnhem
Fabrieksterrein Bommel	Bommel	Wienerberger en K3 Delta
Terrein SBB	Bommel	Staatsbosbeheer

Tabel 2 Beheerders hoogwatervrije terreinen



Figuur 2 Locaties hoogwatervrije terreinen

1.4. Doel en onderzoeksvraag

Het doel van het onderzoek is erachter te komen hoe hoogwatervrije terreinen rond het splitsingspuntengebied ingezet kunnen worden ten behoeve van de hoogwaterveiligheidsopgave, waarbij de hydraulische effecten en de toepasbaarheid van de vrijgekomen grond optimaal zijn. Het resultaat van het onderzoek kan meegenomen worden in beslissingen rond toekomstige plannen binnen het Deltaprogramma.

Hoofdvraag

Hoe kunnen hoogwatervrije terreinen rond het splitsingspuntengebied worden ingezet ten behoeve van de hoogwaterveiligheidsopgave, waarbij de hydraulische effecten en de toepasbaarheid van de vrijgekomen grond optimaal zijn?

Deelvragen

Om een goed antwoord te verkrijgen op de hoofdvraag, zijn de onderstaande deelvragen opgesteld:

1. Welke fysische en chemische kenmerken van grond zijn doorslaggevend voor de toepasbaarheid van de vrijgekomen grond uit de hoogwatervrije terreinen?

2. Wat zijn de huidige situaties van de hoogwatervrije terreinen, kijkend naar de functie, toekomstvisie, bodemeigenschappen en fysieke kenmerken?
3. Welke ruimtelijke elementen kunnen doorslag geven op de hydraulische effecten en toepasbaarheid van de vrijgekomen grond, zodat de varianten opgesteld kunnen worden?
4. Hoe zijn de hydraulische effecten te verklaren bij de varianten die gemaakt zijn per hoogwatervrij terrein?
5. Voor welke toepassingen kan de grond uit de hoogwatervrije terreinen toegepast worden?
6. Bij welke combinaties tussen de gemaakte varianten van de hoogwatervrije terreinen nabij het splitsingspuntengebied, is de afvoerverdeling optimaal?

1.5. Publiek

Dit rapport is geschreven in het kader van het afstuderen van Rik Nuij en Raymond van Renswoude, Land- en Watermanagement studenten aan Hogeschool Van Hall Larenstein. Rijkswaterstaat heeft deze opdracht bij het lectoraat Sustainable River Management neergelegd, door lector Jeroen Rijke is deze afstudeeropdracht vervolgens neergelegd bij Rik Nuij en Raymond van Renswoude. Rijkswaterstaat biedt inhoudelijke begeleiding op het gebied van de hydraulische effecten, onderdeel van dit onderzoek.

1.6. Leeswijzer

In hoofdstuk 2 staat het theoretisch kader weergegeven, hier staat de benodigde achtergrondinformatie voor het uitvoeren van dit onderzoek. Hoofdstuk 3 geeft een beschrijving van de methodiek weer. In hoofdstuk 4 is de inventarisatie van de hoogwatervrije terreinen beschreven, hieronder vallen de huidige situaties en bodemonderzoeken. In hoofdstuk 5 staan de varianten van de hoogwatervrije terreinen. De waterstanddalingen, vergelijking van varianten, mogelijkheden van de vrijkomende grond en een optimalisatie van de hydraulische effecten staan in hoofdstuk 6 beschreven. Tot slot staan in hoofdstuk 7 de conclusie, discussie en aanbevelingen.

2. Theoretisch kader

In dit hoofdstuk wordt de relevante informatie en desbetreffende kaders verduidelijkt, die benodigd zijn voor het onderzoek. In dit hoofdstuk wordt beschreven wat hoogwatervrije terreinen zijn, de afvoerverdelingen ter hoogte van de splitsingspunten, de benedenstroomse piek, de wet- en regelgeving omtrent hergebruik van vrijkomende grond, grondsoorten en de mogelijke toepassingen van vrijgekomen grond in de Grond-, Weg- en Waterbouw.

2.1. Hoogwatervrije terreinen

Hoogwatervrije terreinen zijn terreinen rond rivieren die bij hoogwater veelal droog staan. Deze terreinen zijn van nature hooggelegen en/of door initiatiefnemers opgehoogd met als doel het uitvoeren van activiteiten in de uiterwaarden. Voorheen betroffen deze activiteiten voornamelijk baksteenindustrie en scheepsbouwwerven. Voorbeelden van huidige bestemmingen die hoogwatervrije terreinen hebben zijn natuur, industrie, wonen en recreatie. De hoogwatervrije terreinen vormen bij hoogwater een barricade in het stroombed, hierdoor ontstaat enig opstuwung in het waterpeil. Door het afgraven van een hoogwatervrij terrein wordt de opstuwung voorkomen en heeft de rivier meer ruimte om hogere afvoeren te kunnen verwerken. In figuur 3 is een hoogwatervrij terrein in de uiterwaarden van Opheusden weergegeven, dat als bestemming industrie heeft.

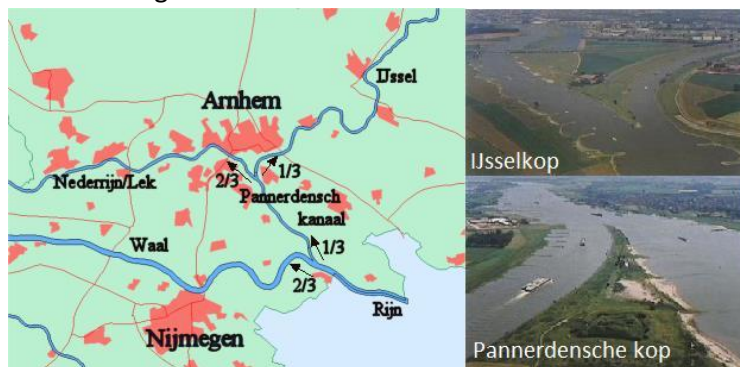


Figuur 3 Hoogwatervrij terrein in Opheusden

De term hoogwatervrij terrein houdt in dat de desbetreffende eigenaar geen Waterwet vergunning nodig heeft om het terrein op te hogen en/of bouwwerkzaamheden uit te voeren. In werkelijkheid liggen deze terreinen niet altijd hoger dan het omliggende maaiveld en is het mogelijk dat de terreinen bij hoogwater (deels) mee stromen met het winterbed van de rivier. Omdat de hoogwatervrije terreinen vanuit de Waterwet onbepaald opgehoogd mogen worden zijn deze als hoogwatervrij meegenomen in de rivierkundige modellen, dit houdt in dat het terrein als oneindig hoog in het model staat.

2.2. Afvoerverdeling

De afvoerverdeling in het Rijntakkengebied wordt onder andere geregeld ter plaatse van de splitsingspunten IJsselkop en Pannerdensche kop, zie figuur 4. Een vaste verdeling van de afvoer is belangrijk, een te hoge waterafvoer in een van de riviertakken zal ertoe leiden dat het risico op overstromingen benedenstrooms in de betreffende rivier toeneemt.



Figuur 4 Splitsingspunten Rijn

Ter hoogte van de Pannerdensche kop wordt de inkomende waterafvoer van de Rijn verdeeld in de Waal en het Pannerdensch kanaal. Ter hoogte van de IJsselkop wordt de inkomende afvoer van het Pannerdensch kanaal verdeeld in de Neder-Rijn en de IJssel. In tabel 3 staat de beleidsmatige afvoerverdeling van de Rijntakken weergegeven bij een maatgevende waterafvoer van 16.000 m³/s (huidig) en 17.000 m³/s (2050) bij Lobith. De maatgevende waterafvoer is de maximale hoeveelheid water die de rivier kan afvoeren zonder dat het achterland overstroomt.

In het programma van Ruimte voor de Rivier (2002) en het Nationaal Waterplan (2009), is besloten dat de Neder-Rijn en Lek ontzien dienen te worden bij een hogere afvoer dan 16.000 m³/s. De reden hiervan is dat door de fysieke beperkingen rondom de Neder-Rijn en Lek het bijna onmogelijk en te duur is om dijkverbeteringen en rivierverruiming uit te voeren. Dit houdt in dat er in de toekomst meer water via de Waal en IJssel afgevoerd dient te worden. Door deze beslissing is onder andere het Regelwerk Hondbroeksche Pleij aangelegd en is het Regelwerk Pannerden vernieuwd.

Doordat rivierverruimende ingrepen rond het splitsingspuntengebied invloed hebben op de afvoerverdeling en daarmee de bijhorende waterstanden, heeft Rijkswaterstaat vastgesteld dat de afvoerverdeling bij een splitsingspunt maximaal 5 m³/s mag afwijken. Dit resulteert zich in het feit dat het maximale waterstandsverschil in één van de riviertakken ter hoogte van de Pannerdensche kop 0,2 centimeter en ter hoogte van de IJsselkop 0,7 centimeter mag bedragen.

Beleidsmatige Afvoerverdeling Rijntakken				
Rijntakken	Maatgevende Afvoer 2017 [m ³ /s]	Aandeel [%]	Maatgevende Afvoer 2050 [m ³ /s]	Aandeel [%]
Rijn (Lobith)	16000	100	17000	100
Waal	10160	64	10970	64
Pannerdensch Kanaal	5840	36	6036	36
Neder-Rijn	3380	21	3380	20
IJssel	2461	15	2656	16

Tabel 3 Afvoerverdeling Rijntakken huidige en toekomstige situatie⁶

⁶ Bron: (David Kroekenstoel Rijkswaterstaat, 2017) *Rivierkundig beoordelingskader voor ingrepen in de Grote Rivieren 4.0*, maart 2017.

2.2.1. Regelwerk Pannerden

Het Regelwerk Pannerden verdeelt de waterafvoer tijdens hoogwater op de Rijn over de Waal en het Pannerdensch kanaal. Het regelbereik van de drempel van het Regelwerk Pannerden is functioneel bij een waterstand van 12,00 meter +NAP tot en met 17,00 meter +NAP. Het regelwerk is een betonnen constructie van 175 meter breed met staanders van vijf meter hoog. Tussen deze staanders wordt voor ieder hoogwaterseizoen betonnen balken geplaatst. Door bijplaatsen of wegnemen van betonnen balken verandert de hoogte van het regelwerk en is het mogelijk de afvoerverdeling van de Rijn te reguleren. De balken kunnen alleen tijdens laagwater worden geplaatst of weggenomen, tijdens hoogwater kan het regelwerk niet bijgesteld worden. In figuur 5 is het regelwerk Pannerden weergegeven.



Figuur 5 Regelwerk Pannerden⁷

2.2.2. Regelwerk Hondbroeksche Pleij

Het Regelwerk Hondbroeksche Pleij verdeelt de waterafvoer over de Neder-Rijn en de IJssel. Het regelbereik van het Regelwerk Hondbroeksche Pleij is functioneel bij een waterstand van 11,00 meter +NAP tot en met 15,20 meter +NAP. Regelwerk Hondbroeksche Pleij was onderdeel van de planologische kernbeslissing Ruimte voor de Rivieren, in de uiterwaard Hondbroeksche Pleij, hierbij zijn een dijkverlegging en een hoogwatergeul gerealiseerd. Tussen de staanders worden betonnen balken geplaatst, door bijplaatsen of wegnemen van de betonnen balken verandert de hoogte van het regelwerk en is het mogelijk de afvoerverdeling van het Pannerdensch kanaal te reguleren. In principe kunnen ook tijdens hoogwater de balken worden geplaatst of weggehaald, dit is in de praktijk echter nog nooit getest. In figuur 6 is het regelwerk Hondbroeksche Pleij weergegeven.



Figuur 6 Regelwerk Hondbroeksche Pleij Westervoort⁸

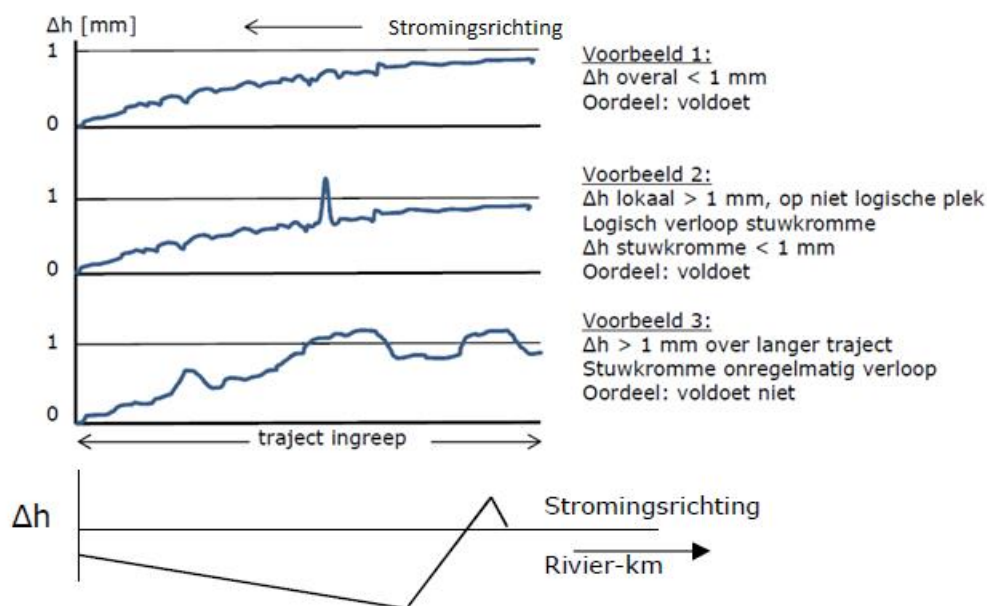
⁷ Bron: (Both) *Marijke's Natuurfotografie (2015), maart 2017*

⁸ Bron: (Hommel) *Ronald de Hommel fotografie (2013), maart 2017*

2.3. Benedenstroomse piek

Bij rivierverruimende maatregelen is het mogelijk dat benedenstrooms van de maatregel een piek in de waterstand ontstaat. De benedenstroomse piek wordt veroorzaakt doordat bij rivierverruiming de stroomsnelheid ter hoogte van de maatregel lager wordt, in combinatie met een smaller traject benedenstrooms van de maatregel.

Het bevoegd gezag (Rijkswaterstaat) kan de benedenstroomse piek accepteren indien deze niet groter is dan één millimeter. Wanneer de stuwkromme logisch verloopt, de piek lokaal voortkomt en er sprake is van een netto waterstandsverlaging mag de benedenstroomse piek groter zijn dan één millimeter. Er is sprake van een netto waterstandsverlaging indien het oppervlakte van de waterstandsverhoging kleiner is dan het oppervlakte van de waterstandsverlaging in de grafiek. In figuur 7 is een situatie weergegeven die de één millimeter tolerantie verduidelijkt⁹.



Figuur 7 Principeschets van 3 situaties tolerantie 1mm (boven) en verduidelijking netto waterstandsverlaging (onder) (David Kroekenstoel Rijkswaterstaat, 2017)

⁹ Bron: (David Kroekenstoel Rijkswaterstaat, 2017) *Rivierkundig Beoordelingskader voor ingrepen in de Grote Rivieren*. Water, Verkeer en Leefomgeving. Rijkswaterstaat.

2.4. Regelgeving en vergunningen omtrent afgraven van grond – Besluit Bodemkwaliteit

Voor het toepassen van een partij grond zijn twee beleidsvormen van toepassing, namelijk het gebiedsspecifiek beleid en het generiek beleid. Bovendien is het binnen het Besluitbodemkwaliteit (Bbk) mogelijk om grond toe te passen in een grootschalige toepassing, hierbij kan verontreinigde grond onder milieuhygiënische voorwaarden toegepast worden op een schonere (water)bodem.

2.4.1. Gebiedsspecifiek en generiek kader

Gemeenten en waterkwaliteitsbeheerders kunnen ervoor kiezen om een gebiedsspecifiek beleid toe te passen, dit houdt in dat zij normen kunnen vaststellen die strenger of soepeler zijn dan de generieke normen.

Indien een partij grond hergebruikt wordt in een andere (water)bodem, dient deze getoetst te worden op basis van toetsingscriteria die gelden voor het beleid dat van toepassing is voor de desbetreffende (water)bodem. Het beleid dat geldt voor de toepassing hangt samen met het gebruik van de bodem. De toetsingscriteria zijn opgesteld aan de hand van bodemfuncties (gebiedsspecifiek beleid) en bodemklassen (generiek beleid). In tabel 4 zijn de verschillende bodemfuncties en bodemklassen weergegeven voor het betreffende beleid.

In het generiek beleid wordt onderscheid gemaakt in water- en landbodem, waarvoor geldt dat landbodem die de maximale waarde voor de klasse industrie overschrijdt, niet toegepast mag worden in een waterbodem.

In figuur 8 is ter verduidelijking weergegeven aan welke kwaliteit de vrijkomende grond getoetst dient te worden voordat deze toegepast kan worden in een (water)bodem¹⁰.

Gebiedsspecifiek beleid (Bodemfuncties)	Generiek beleid (Bodemfunctieklassen)
1. Wonen met tuin 2. Plaatsen waar kinderen spelen 3. Groen met natuurwaarden	Wonen (landbodem) Klasse A (waterbodem)
4. Ander groen, bebouwing, infrastructuur en industrie 5. Moestuinen en volkstuinten	Industrie (landbodem) Klasse B (waterbodem)
6. Natuur 7. Landbouw	Kwaliteit moet voldoen aan de Achtergrondwaarden

Tabel 4 Bodemfuncties en Bodemklassen



Figuur 8 Ruimte voor waarden binnen het Generiek en Gebiedsspecifiek beleid

2.4.2. Toetsingswaarden Besluitbodemkwaliteit

Binnen het Bbk zijn verschillende toetsingswaarden die aangeven in hoeverre de grond wel of niet verontreinigd is.

Streefwaarde/achtergrondwaarde:

Het gehalte dat op grond van natuurlijk voorkomende waarden maximaal te verwachten is (referentieniveau) of overeenkomt met de detectiegrens van de huidige analysemethoden. De streefwaarde/achtergrondwaarde geeft het uiteindelijk te bereiken kwaliteitsniveau voor de bodem

¹⁰ Bron: (De Overheid, 2017) *Besluit Bodemkwaliteit*. Opgehaald van Wetten Overheid.

aan. In het geval dat de vrijkomende grond onder de streefwaarde/achtergrondwaarde blijft, is de grond onbeperkt toepasbaar voor hergebruik. Bij overschrijding van de streefwaarde/achtergrondwaarde is de grond licht tot matig verontreinigd.

Tussenwaarde:

De tussenwaarde wordt bepaald door de interventie- en streefwaarde/achtergrondwaarde van de grond bij elkaar op te tellen, waarvan de uitkomst door twee wordt gedeeld. In het geval de gehalten in de grond onder tussenwaarde liggen, maar boven de streefwaarde, wordt over licht verontreinigde grond gesproken (klasse A of wonen). Wanneer de gehalten in de grond boven de tussenwaarde liggen, maar onder de interventiewaarde, wordt over matig verontreinigde grond gesproken (klasse B of industrie). In het geval dat er sprake is van een lichte of matige verontreiniging, is de grond beperkt toepasbaar voor hergebruik. Bij overschrijding van de tussenwaarde is de grond matig verontreinigd.

Interventiewaarde:

De concentratie in grond waarboven ernstige vermindering of dreigende vermindering optreedt van de functionele eigenschappen die de bodem heeft voor mens, plant of dier. Indien de grond de interventiewaarde overschrijdt is de grond niet toepasbaar voor hergebruik en dient de grond getransporteerd te worden naar een erkend verwerker of gesaneerd te worden voordat deze hergebruikt kan worden. Bij overschrijding van de interventiewaarde is de grond zwaar verontreinigd¹¹.

2.4.3. Grootschalige toepassing

Binnen het Bbk is mogelijk om een partij licht tot matig verontreinigde grond toe te passen in een schonere bodem, namelijk in een grootschalige toepassing. Bij een grootschalige toepassing dient rekening gehouden te worden met de constructieve eisen, soorten toepassingen en toetsingscriteria.

Constructieve eisen

Er is sprake van een grootschalige toepassing als het volume minimaal 5.000 m³ en de toepassingshoogte minimaal twee meter bedraagt. Voor wegen en spoorwegen geldt een minimale toepassingshoogte van 0,5 meter. Tevens dient over een grootschalige toepassing een leeflaag aangebracht te worden van 0,5 meter. De leeflaag dient dezelfde kwaliteit te hebben als de bodem waarop de toepassing wordt toegepast.

Soorten toepassingen

Volgens het Bbk worden de volgende toepassingen beschreven als een grootschalige toepassing:

- In bouw- en wegconstructies, waaronder wegen, spoorwegen en geluidswallen;
- Het afdekken van saneringslocaties of stortplaatsen, met het oog op het voorkomen van nadelige gevolgen voor de omgeving;
- In ophogingen van waterbouwkundige constructies en voor het verondiepen en dempen van oppervlaktewater, met het oog op de hoogwaterbescherming, de doelstellingen van de Kaderrichtlijn water, bevordering van natuurwaarden en de vlote en veilige afwikkeling van de scheepvaart;
- In aanvullingen, waaronder de herinrichting en stabilisering van voormalige winplaatsen voor delfstoffen.

¹¹ Bron: *Besluit Bodemkwaliteit* (De Overheid, 2017), Opgehaald van Wetten Overheid maart 2017

Ophogingen van industrieterreinen, woningbouwlocaties, verspreiding of tijdelijke opslag van baggerspecie vallen niet onder het toetsingskader van een grootschalige toepassing.

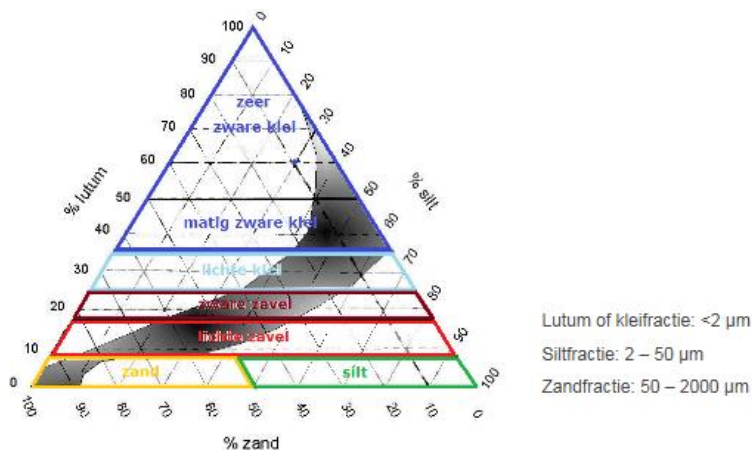
Toetsingscriteria grootschalige toepassing

Voor een grootschalige toepassing gelden emissiewaarden om te voorkomen dat ontoelaatbare uitloging naar het grondwater plaatsvindt. De emissiewaarden bestaan uit toetsingswaarden en maximale waarden. Indien de kwaliteit van een partij grond niet voldoet aan de toetsingswaarden moet er een uitloogonderzoek uitgevoerd worden om te toetsen of de partij grond wel aan de maximale emissiewaarden voldoet.

2.5. Grondsoorten

Grondsoorten worden ingedeeld op basis van het gehalte aan lutum-, silt- en zandfractie en organisch stofgehalte. De textuurdriehoek in figuur 9 geeft de verhoudingen weer die terug te vinden zijn voor de natuurlijke Nederlandse gronden. De verhouding aan lutum-, silt- en zandfractie en het organisch stofgehalte gaan gelijk met de constructieve eigenschappen die het type grond kan hebben. De indeling van grondsoorten is voornamelijk gebaseerd op het lutumgehalte dat aangetroffen wordt in de grond. Het lutumgehalte van zandgronden is 0 tot 8%, van zavelgronden 8 tot 25% en van kleigronden meer dan 25%. Veengronden kenmerken zich aan het hoge organische stofgehalte, van 30 tot 60%.

Zandfracties bestaan uit korrelig materiaal en vormen geen onderlinge bindingen, hierdoor is er ruimte tussen de korrels die ervoor zorgt dat zand weinig vocht vasthoudt. Doordat zand uit loskorrelig materiaal bestaat zorgt dit ervoor dat zandgronden verticale en horizontale spanningen gemakkelijker over een draagvlak kunnen spreiden, wat de stabiliteit en draagkracht bevordert. Lutumfracties bestaan uit zeer klein samenhangend materiaal (kleiner dan 2 micrometer). Doordat klei uit samenhangend materiaal bestaat, kunnen kleigronden veel water en voedingsstoffen vasthouden. Hierdoor kan klei minder goed verticale en horizontale spanningen opvangen, waardoor de draagkracht en stabiliteit verminderd¹².



Figuur 9 Textuurdriehoek Nederlandse gronden Bron: (Jongmans, van den Berg, Sonneveld, Peek, & van den Berg van Saparoea, 2012), *De Landschappen van Nederland*

¹² Bron: (Nutrinorm) *Indeling van grondsoorten en bodemstructuur* & (Jongmans, van den Berg, Sonneveld, Peek, & van den Berg van Saparoea, 2012), *De Landschappen van Nederland*

2.5.1. Invloed van grondparameters

De parameters die invloed hebben op de constructieve gedragseigenschappen van toepassingen in de Grond-, Weg- en Waterbouw zijn het vochtgehalte, volumieke dichtheid, lutumgehalte, humusgehalte en plasticiteitsindex. Deze parameters dragen positief of negatief bij aan constructieve gedragseigenschappen, zie tabel 5. De constructieve gedragseigenschappen die gelden voor toepassingen zijn verwerkbaarheid, evenwichtsdragend vermogen, consolidatie, draagvermogen, erosiebestendigheid en waterdichtheid. Door middel van tabel 5 kan bepaalt worden wat de parameters voor invloed hebben op de constructieve eigenschappen, waaraan het soort toepassing zich kenmerkt.

Constructieve gedragseigenschappen	Parameters	Invloed op constructieve eigenschappen
Verwerkbaarheid	Vochtgehalte Dichtheid Plasticiteitsindex	- + +
Evenwichtsdragvermogen stabiliteit	Vochtgehalte Lutumgehalte Dichtheid Plasticiteitsindex	- - + -
Consolidatie Zwel/krip	Humusgehalte Lutumgehalte Plasticiteitsindex Vochtgehalte Dichtheid	- - - - +
Draagvermogen, vormverandering E-modulus	Humusgehalte Lutumgehalte Plasticiteitsindex Vochtgehalte Dichtheid	- - - - +
Erosiebestendigheid	Lutumgehalte Plasticiteitsindex Vochtgehalte Dichtheid	+ + - +
Waterdichtheid	Lutumgehalte Plasticiteitsindex Vochtgehalte Dichtheid	+ + - +
+ Parameter heeft een gunstige invloed op de eigenschap - Parameter heeft een ongunstige invloed op de eigenschap		

Tabel 5 Invloed van parameters op de constructieve gedragseigenschappen Bron: Rijksoverheid. (2017, april). Bestemmen van baggerspecie en producten, Toepassen producten uit baggerspecie in wegenbouw¹³

¹³ Rijksoverheid. (2017, april). Bestemmen van baggerspecie en producten, Toepassen producten uit baggerspecie in wegenbouw

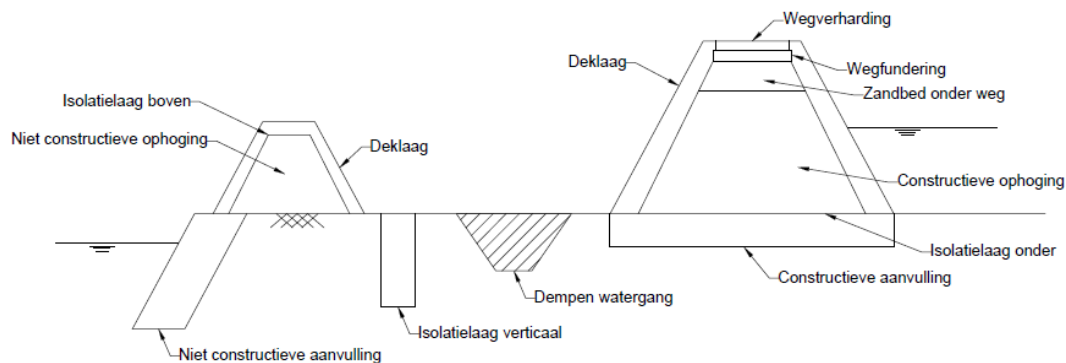
2.6. Algemene toepassingen grond in de Grond-, Weg- en Waterbouw

Toepassingen van grond in de Grond-, Weg- en Waterbouw zijn aanvullingen en ophogingen die gekenmerkt worden aan constructieve gedrageigenschappen. In figuur 10 staan de toepassingen weergegeven, die vervolgens beschreven worden. Deze toepassingen hoeven niet per se onder een grootschalige toepassing te vallen. Verder dienen alle toepassingen onder de milieuhygiënische voorwaarden te voldoen volgens de kaders van het Bbk, zoals beschreven in paragraaf 2.4.

2.6.1. Soorten toepassingen

Ten behoeve van het bestemmen van de vrijgekomen grond uit de hoogwatervrije terreinen zijn binnen de Grond-, Weg- en Waterbouw de volgende toepasmogelijkheden beschreven:

- Constructieve ophoging/aanvulling
- Niet constructieve ophoging/aanvulling
- Drainagelaag
- Steunberm
- Isolatielaag
- Erosiebestendige deklaag
- Toeslagmateriaal



Figuur 10 Toepassingen in de weg -en waterbouw

Constructieve ophoging/aanvulling

Een constructieve ophoging of aanvulling kan gebruikt worden onder (spoor)wegen, dijken en terreinophogingen voor industrie en woningbouw. De grond moet voor een constructieve ophoging/aanvulling voldoende draagkracht bieden, niet inklinken, weinig water kunnen vasthouden en makkelijk te verwerken zijn.

Niet constructieve ophoging/aanvulling

Vrijkomende grond die gebruikt wordt voor een niet constructieve ophoging/aanvulling hoeft niet aan erosiebestendige of draagkrachtige eisen te voldoen. Elk type grond kan toegepast worden voor een niet constructieve ophoging. Voorbeelden van een niet constructieve ophoging/aanvulling zijn geluidswallen en recreatieterreinen.

Aanvullen watergangen

Het kan gewenst zijn watergangen te dempen. Het is mogelijk alle typen grond toe te passen voor het dempen van watergangen binnen de kaders van het Bbk, zolang het dempen ervoor zorgt dat de bodem niet gaat inklinken (voornamelijk bij klei- en veengronden)¹⁴.

Drainagelaag

Drains zorgen voor de waterafvoer van een neerslagoverschot naar het oppervlaktewater of een riolering. Doordat een drainagelaag water moet afvoeren dienen de constructieve grondeigenschappen waterdoorlatend te zijn. Een drainagelaag is meestal opgebouwd uit een grofkorrelige zand en/of grindlaag in combinatie met een geotextiel. Boven de grove zandlaag wordt vaak fijnere grond toegepast voor een filtrerende werking, hierdoor spoelen geen verontreinigingen naar het oppervlaktewater of een riolering¹⁵.

Steunberm

Een steunberm wordt gebruikt in dijkversterkingsprojecten ten behoeve van de verzwaring van de teen of het binnentalud, hierdoor wordt meer tegendruk geven bij hogere waterstanden tegen de dijk. Tevens zorgt een steunberm ervoor dat de kwelweglengte verlengd wordt, zodat piping wordt tegengegaan. Voor een steunberm dient de partij grond uit doorlatend materiaal te bestaan die voldoende draagkracht biedt, zodat opgesloten water uit de dijk kan stromen. Zandgronden zijn geschikt voor de toepassing steunberm¹⁶.

Isolatielaag

Isolatielaag boven, onder of verticaal, dit is een waterdichte laag bestaande uit klei. Een isolatielaag wordt toegepast om een verontreinigde kern te af te dekken, deze laag dient dezelfde chemische kwaliteit te hebben als de omliggende bodem waarop de toepassing wordt uitgevoerd. Verder dient een isolatielaag geen water door te laten, zodat verontreinigingen geïmmobiliseerd worden.¹⁷

Erosiebestendige deklaag

Een erosiebestendige deklaag wordt aan of nabij het oppervlak van een dijk aangebracht met als doel het beschermen van de kern tegen (atmosferische) aantasting. Deklaagconstructies zijn te onderverdelen in de volgende toepassingen:

- Deklaag onder een graslandbekleding;
- Deklaag op een talud onder een 'harde' bekleding (bijvoorbeeld een steenfundering).

De klei die als deklaag wordt toegepast vervult veelal de functie om de doorlatendheid te beperken, tevens kan de kleideklaag ook als substraatfunctie dienen voor de bekleding. Het type klei dat toegepast wordt voor de deklaag bepaalt mede het type bekleding voor de dijk. De belangrijkste eigenschap van erosiebestendige lagen is de vormvastheid. De vormvastheid hangt samen met het watergehalte na aanbrenging en mate van verdichting. Voor de opbouw van dijken wordt klei onderverdeeld in drie categorieën, klasse-I (erosiebestendig), klasse-II (matig erosiebestendig) en

¹⁴ Bron: (Rijksoverheid, 2017). Bestemmen van baggerspecie en producten, Toepassen producten uit baggerspecie in wegenbouw, opgeroepen op april 2017.

¹⁵ Bron: (Rijksoverheid, 2017). Isolatie, bovenafdichting, uitvoeringsvormen, drainagelaag, opgeroepen op april 2017.

¹⁶ Bron: (Deltaris, 2012). *Stabilisatie binnentalud met steunberm*. Opgehaald van Noodmaatregelen Waterkeringen

¹⁷ Bron: (De Overheid, 2017) *Besluit Bodemkwaliteit*. Opgehaald van Wetten Overheid.

klasse-III (weinig erosiebestendig). De erosiebestendigheid is voornamelijk gebaseerd op de Atterbergse-grenzen (vloeigrens en uitrolgrens) en het zandgehalte¹⁸.

Toeslagmateriaal

Grond en baggerspecie kan worden gebruikt als toeslagmateriaal voor (asfalt)beton. Beton is een mengsel van cement, water, toeslagmateriaal (zand en grind) en bindmiddelen. Grof zand is nodig voor het creëren van beton en daarom direct toepasbaar. Voor fijner zand is een onderzoek gaande die aangeeft of deze geschikt is als toeslagmateriaal¹⁹.

¹⁸ (Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, 1996). *Klei voor dijken*. Delft

¹⁹ Bron: (Rijksoverheid, 2017). *Bestemmen van baggerspecie en producten, Toepassen producten uit baggerspecie als toeslagmateriaal voor beton en asfalt, opgeroepen op april 2017*.

3. Methodiek

Het onderzoek bestaat uit drie fases, de inventarisatie, het verwerken van gegevens en ten slotte het rapporteren en concluderen. Bij het onderzoek zijn meerdere methodes toegepast, in dit hoofdstuk wordt daarop ingegaan.

De toegepaste methodes zijn:

- Persoonlijke communicatie;
- Veldbezoek;
- Literatuurstudie;
- Classificeren grondstromen;
- Rangschikking toepassingen grond;
- Hydraulische effecten modelleren;
- Multicriteria analyse (MCA).

3.1. Persoonlijke communicatie

Binnen Rijkswaterstaat en Hogeschool Van Hall Larenstein is veel kennis aanwezig over verschillende aspecten die bij hoogwatervrije voorkomen. Om van deze kennis gebruik te maken zijn er gesprekken gehouden met medewerkers van Rijkswaterstaat en docenten van Hogeschool Van Hall Larenstein. De volgende aspecten zijn besproken tijdens deze gesprekken:

- Ruimtelijke ordening, hierdoor wordt kennis gewonnen over toekomstvisie en plannen die het Rijk wil doorvoeren met het Deltaprogramma;
- Geotechniek, hierdoor wordt kennis gewonnen welke fysische kwaliteiten benodigd zijn voor toepassingen in de Grond-, Weg- Waterbouw;
- Bodemkwaliteit, hierdoor wordt kennis gewonnen over de mogelijkheden van het toepassen van vrijgekomen grond vanuit het milieukundig aspect;
- Hydraulica, hierdoor wordt kennis gewonnen over de effecten van rivierverruiming en rivierkundige eisen nabij het splitsingspuntengebied;
- Regelgeving en vergunningen, hierdoor wordt kennis gewonnen welke wetten en vergunningen gelden bij het afgraven- en verwerken van grond van de hoogwatervrije terreinen.

De persoonlijke communicatie gaat samen met het verkrijgen van relevante rapportages, die gebruikt worden in het literatuuronderzoek zoals bodemonderzoeken en voorkeurstrategieën van het splitsingspuntengebied. Ook wordt in samenspraak met rivierkundige specialisten binnen Rijkswaterstaat varianten opgesteld per hoogwatervrij terrein, die vervolgens worden doorgerekend in een hydraulisch model.

3.2. Veldbezoek

In de inventarisatie van het onderzoek is een veldbezoek verricht. Tijdens dit veldbezoek zijn de hoogwatervrije terreinen die binnen het onderzoek vallen bezocht, hierbij is gekeken naar het huidige gebruik en de ruimtelijke kenmerken.

3.3. Literatuurstudie

In het onderzoek is het theoretisch kader, inventarisatie en de resultaten deels beschreven met behulp van beschikbare rapportages. De volgende rapportages zijn daarvoor gebruikt:

- Voorkeursstrategieën voor de Rivieren rondom het splitsingspuntengebied → theoretisch kader, inventarisatie, variantenstudie;
- Wettelijke voorwaarden voor het afgraven en toepassen van (verontreinigde) grond → theoretisch kader;
- Bodemonderzoeken hoogwatervrije terreinen → inventarisatie, resultaten;
- Rivierkundig beoordelingskader → theoretisch kader, resultaten.

3.3.1. Voorkeursstrategieën van de rivieren in het splitsingspuntengebied

Er zijn rapportages bestudeerd waarin beschreven staat welke voorkeursstrategieën in het splitsingspuntengebied worden toegepast. De voorkeursstrategieën zijn gebruikt voor de bepaling van de hoogwatervrije terreinen in dit onderzoek en is er duidelijkheid gecreëerd hoe maatregelpakketten door Rijkswaterstaat op de lange termijn worden gefaseerd.

3.3.2. Wettelijk kader grond

Wettelijke voorwaarden op het gebied van afgraven- en verwerken van vrijgekomen grond van hoogwatervrije terreinen zijn achterhaald van de overheidssites van Rijkswaterstaat en Provincie Gelderland, zie ook de bronnenlijst.

3.3.3. Bodemonderzoeken

Het beschrijven van de uitkomsten van bodemonderzoeken die uitgevoerd zijn in de hoogwatervrije terreinen is een relevant deel van het onderzoek. Ten eerste is de chemische kwaliteit van de grond bepaald, zodat een uitspraak gedaan kan worden of de grond überhaupt hergebruikt kan en mag worden. Vervolgens zijn de fysische eigenschappen bepaald, hierdoor is het mogelijk een uitspraak over de mogelijke toepassingen te doen.

3.3.4. Rivierkundig beoordelingskader (RBK)

Het RBK wordt door Rijkswaterstaat gebruikt als leidraad voor rivierkundige ingrepen. Het RBK is voor dit onderzoek gebruikt om te achterhalen wat de afvoerdeling ter hoogte van de splitsingspunten is en wat toelaatbaar is voor de benedenstroomse piek.

3.4. Classificeren grondstromen

De vrijgekomen grond wordt beoordeeld op chemische kwaliteit, daarbij wordt gebruik gemaakt van de referentiewaarden die binnen de kaders van het Besluit bodemkwaliteit vallen.

Categorieën:

De chemische kwaliteit van de vrijgekomen grond verschilt per locatie van de afgraving van een hoogwatervrij terrein. Om de chemische kwaliteit goed te kunnen ordenen is gebruik gemaakt van onderstaande categorieën.

- Categorie 0: grond die de streefwaarde niet overschrijdt, de grond is onbeperkt toepasbaar voor hergebruik
- Categorie 1: grond die tussen de streef- en tussenwaarde ligt, de grond is beperkt toepasbaar voor hergebruik
- Categorie 2: grond die tussen de tussen- en interventiewaarde ligt, de grond is beperkt toepasbaar voor hergebruik
- Categorie 3: grond die de interventiewaarde overschrijdt, de grond is niet toepasbaar voor hergebruik

Per hoogwatervrij terrein wordt het gebied opgedeeld in deellocaties zoals deze benoemd zijn in de bodemonderzoeken. Door het terrein onder te verdelen in deellocaties is het eenvoudiger te bepalen hoeveel en welke grond vrijkomt uit de toebehorende categorie²⁰.

3.5. Rangschikking toepassingen grond

Om te bepalen welke toepassingen geschikt zijn voor de grond uit de hoogwatervrije terreinen, wordt de grond gerangschikt per toepassing. Bij de categorisering van de toepasbaarheid van de grond, worden scores gegeven aan de grondparameters waarvan constructieve gedragseigenschappen afhankelijk zijn, zie tabel 6. Per type grond worden de scores vervolgens vermenigvuldigd met een weegfactor. Afhankelijk van de constructieve gedragseigenschappen en soort toepassing, worden de scores bij elkaar opgeteld of afgetrokken waardoor er een differentiatie in resultaten ontstaat per type grond. Nadat de resultaten bekend zijn wordt het type grond gerangschikt van niet toepasbaar naar goed toepasbaar voor de beschreven toepassingen. De toepassingen waarvoor de grond gerangschikt wordt zijn: constructieve ophoging/aanvulling, niet constructieve ophoging/aanvulling, drainagelaag, steunberm, isolatielaag, erosiebestendige deklaag, toeslagmateriaal. Voor een niet constructieve ophoging is elk type grond toepasbaar en grind en grofzand is nodig als toeslagmateriaal.

Score:	Definitie:
0	De parameter draagt niet mee aan de eigenschap
1	De parameter draagt lichtelijk mee aan de eigenschap
2	De parameter draagt redelijk mee aan de eigenschap
3	De parameter draagt mee aan de eigenschap
4	De parameter draagt veel mee aan de eigenschap
5	De parameter draagt zeer veel mee aan de eigenschap

Tabel 6 Score, Parameters en Range

Grondparameters, criteria:
Vochtgehalte
Volumieke dichtheid
Plasticiteitsindex
Humusgehalte
Lutumgehalte

Range:	Definitie:	
< 0	-	Niet toepasbaar
0 / 20	+/-	Matig toepasbaar
20 / 40	+	Toepasbaar
40 >	++	Goed toepasbaar

* Elk type grond is toepasbaar voor een niet constructieve ophoging/aanvulling.		
** Voor toeslagmateriaal is grofzand en grind nodig, momenteel is er onderzoek bezig naar de toepasmogelijkheden van fijner zand.		
-	Niet toepasbaar	Niet toepasbaar
+/-	Matig toepasbaar	Toepasbaar onder voorwaarden en/of in combinatie met een ondersteunende constructie
+	Toepasbaar	Toepasbaar in combinatie met een ondersteunende constructie
++	Goed toepasbaar	Direct toepasbaar

Tabel 7 Toelichting categorisering

²⁰ Bron: (De Overheid, 2017) *Besluit Bodemkwaliteit*. Opgehaald van Wetten Overheid, Februari 2017

3.6. Hydraulische effecten modelleren

Om te bepalen welke hydraulische effecten optreden bij het afgraven van de hoogwatervrije terreinen worden er modellen gemaakt met behulp van het modelleringsprogramma Waqua. Met dit programma wordt het watersysteem van de Rijntakken gesimuleerd. Uit de simulatie komen vervolgens de waterstandsverlaging als gevolg van de genomen maatregelen. De uitkomsten uit Waqua zijn gebaseerd op empirisch bepaalde ruwheidseenheden in een schematisatie van een 2D-model, waar 16.000 m³/s water doorheen stroomt.

De basis van een Waqua-model is een beschrijving van het buitendijkse gebied met onder andere de bodemhoogtes, kades en vegetatietypen. Deze gegevens zijn opgeslagen in een geografische/ruimtelijke database. Met behulp van de ArcGIS-applicatie Baseline kan deze geografische informatie worden omgezet tot een modelschematisatie voor Waqua.

De ArcGIS-applicatie Baseline werkt vanuit een basismodel met een uitgangssituatie die bestaat uit verschillende landschappelijke kenmerken. Om de kenmerken aan te passen dient een variant gemaakt te worden waarin de oude kenmerken plaatsmaken voor de nieuwe kenmerken, op het gebied van onder andere bodemhoogtes, kades en vegetatietypen. Het basismodel in combinatie met de variant geeft vervolgens de nieuwe situatie weer. Hierna zijn er per hoogwatervrij terrein een aantal varianten gemaakt en doorgerekend met Waqua²¹.

Voor de hydraulische berekeningen is gebruik gemaakt van de Baseline-database Rijn-beno 15_5-v2. In deze basis-schematisatie zijn voor de Huissensche waarden en Meinerswijk in totaal 46 toekomstige verbeteringen/aanvullingen opgenomen.

3.7. Multicriteria Analyse varianten

Om de beste variant voor het afgraven van de hoogwatervrije terreinen te bepalen wordt een multicriteria analyse uitgevoerd. Door middel van een multicriteria analyse wordt een keuze gemaakt tussen diverse varianten op basis van meerdere criteria. Aan de hand van de weegfactor en de toegekende scores wordt duidelijk welke gemaakte varianten de beste zijn.

De hoogwatervrije terreinen worden beoordeeld op waterstandsverlaging, benedenstroomse piek, chemische bodemkwaliteit, toepasbaarheid vrijkomende grond, ruimtelijke ordening en kostenefficiëntie.

²¹ Bron: (David Kroekenstoel Rijkswaterstaat, 2017) *Rivierkundig beoordelingskader voor ingrepen in de Grote Rivieren 4.0*, maart 2017 & (Rijkswaterstaat, 2017) *Helpdesk water*

4. Inventarisatie

In dit hoofdstuk wordt van de hoogwatervrije terreinen Bemmelse, Scherpekamp, Stadsblokken en Riverstone de huidige situatie en de inventarisatie van de bodem beschreven.

4.1. Bemmelse

4.1.1. Huidige situatie Bemmelse

De beschreven hoogwatervrije terreinen in de uiterwaarden van Bemmelse zijn het terrein van Staatsbosbeheer en het fabrieksterrein van K3-Delta en Wienerberger. De terreinen liggen ter hoogte van rivierkilometer 879 van de Waal, de afstand van de terreinen tot aan de Pannerdensche kop bedraagt 12 kilometer.

In de uiterwaarden van Bemmelse liggen twee hoogwatervrije terreinen. Eén terrein is in eigendom van K3-Delta en steenfabriek Wienerberger, de functie van dit terrein is industrie. Het ander terrein is in eigendom van Staatsbosbeheer en heeft als functie natuur. Het fabrieksterrein is in totaal 25,5 hectare groot en heeft een gemiddelde hoogte van 14,0 meter +NAP. Het terrein van Staatsbosbeheer is in totaal 8,4 hectare groot en heeft een gemiddelde hoogte van 14,5 meter +NAP. De omliggende uiterwaarden hebben een gemiddelde hoogte van 10,0 meter +NAP. Tussen het fabrieksterrein, terrein Staatsbosbeheer en de winterdijk ligt een zomerkade, deze zomerkade heeft een hoogte van 13,3 meter +NAP²². Een overzicht van de terreinen staat weergegeven in figuur 11.



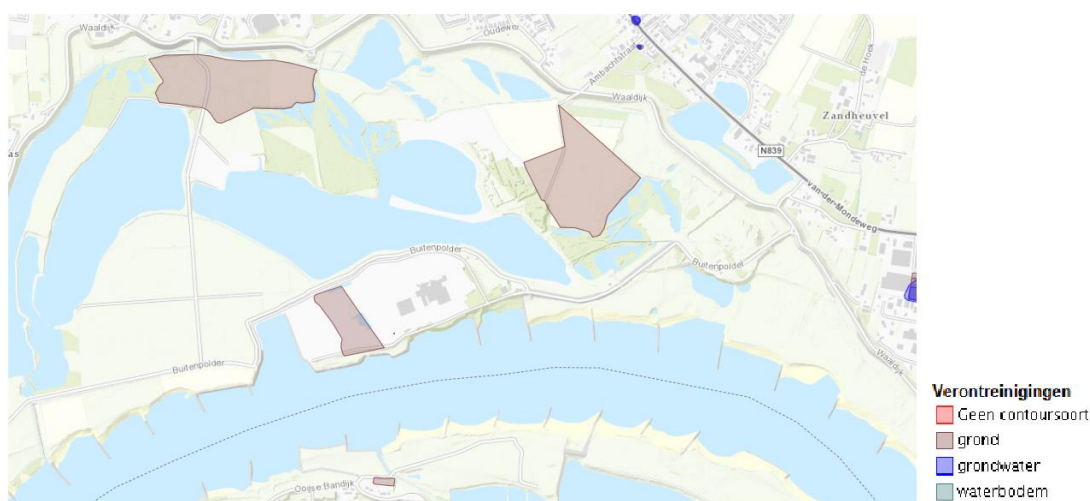
Figuur 11 Overzicht hoogwatervrije terreinen Bemmelse

²² Bron: (Ersi Nederland & Community Maps Contributors, AHN)

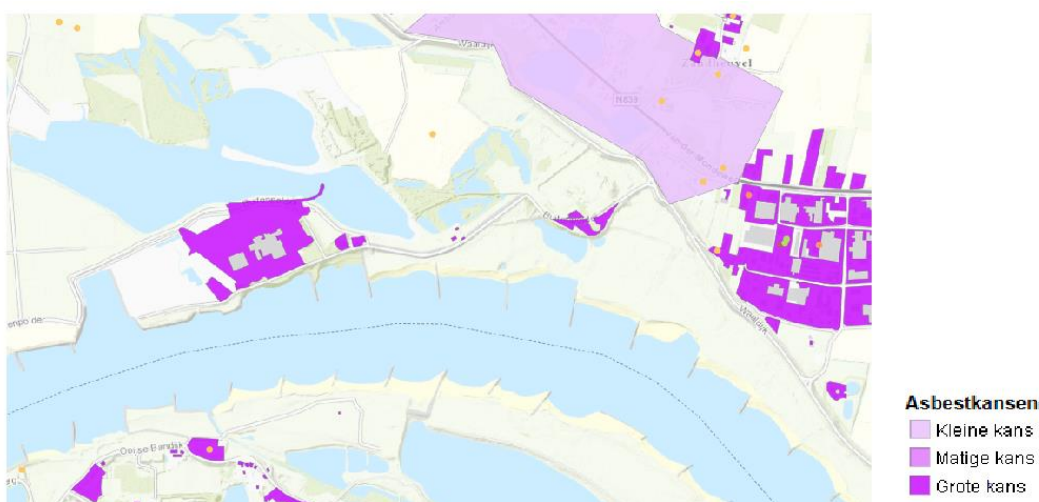
4.1.2. Inventarisatie bodemonderzoek Bemmelse Waard

Voor de Bemmelse Waard is op drie locaties bodemverontreinigingen geconstateerd, namelijk op het fabrieksterrein van K3delta en Wienerberger, noordelijk tegen de winterdijk en een gebied tegen de oostzijde, zie figuur 12. De bodemverontreiniging voor het fabrieksterrein overschrijdt de interventiewaarde, van dit terrein is geen verdere informatie beschikbaar omtrent de bodem, hierdoor is het niet mogelijk hoeveelheden verontreinigde grond te bepalen. Van het terrein van Staatsbosbeheer is geen bodemonderzoek bekend, daardoor is het niet mogelijk een uitspraak te doen over de verontreinigingen in de bodem.

Bovendien heeft de Provincie Gelderland een kaart opgesteld waar mogelijke asbestverontreinigingen zitten, zie figuur 13. Uit deze kaart blijkt dat het fabrieksterrein en het terrein van Staatsbosbeheer beiden een grote kans hebben op asbestverontreinigingen²³.



Figuur 12 Verontreinigingen in de Bemmelse Waard²⁴



Figuur 13 Asbestkansen in de Bemmelse Waard²⁵

²³ Bron: (Gemeente Lingewaard, 2016) *herinrichtingsplan Bemmelse Waard 2016, Gemeente Lingewaard, opgeroepen op april 2017*.

²⁴ Bron: (Provincie Gelderland, 2017) *Bodemverontreinigingen. Bemmelse Waard, Gelderland, Nederland*.

²⁵ Bron: (Provincie Gelderland, 2017) *Asbest verdachte activiteiten. Bemmelse Waard, Gelderland, Nederland*.

4.2. Scherpekamp

4.2.1. Huidige situatie Scherpekamp

Het hoogwatervrije terrein Scherpekamp ligt ter hoogte van rivierkilometer 874 van het Pannerdensch kanaal, de afstand van het terrein tot aan de Pannerdensche kop bedraagt 7 kilometer.

Ten westen van het terrein van Scherpekamp wordt in de toekomst een geul afgegraven door K3-Delta, met als doel het verkopen van het vrijkomende zand. Door middel van een inlaat in de zomerkade stroomt het water de geul in. Door deze geul wordt lokaal in de uiterwaarden van de Huissensche waarden een waterstandsverlaging van vijf centimeter gerealiseerd, de geul heeft geen invloed op de waterstandsverlaging op de as van het Pannerdensch kanaal²⁶. Het hoogwatervrije terrein Scherpekamp is in eigendom van steenfabriek Caprice en Peters Maritiem, de functie van dit terrein is industrie. Het terrein is in totaal 19,5 hectare groot en heeft een gemiddelde hoogte van 14,5 meter +NAP. De omliggende uiterwaarden hebben een gemiddelde hoogte van 11 meter +NAP. Om het hoogwatervrije terrein ligt een zomerkade die zuidelijk oploopt van 13,5 meter +NAP naar 15,5 meter +NAP²⁷ aan de noordzijde. Een overzicht van het terrein staat weergegeven in figuur 14.



Figuur 14 Overzicht hoogwatervrij terrein Scherpekamp

²⁶ Bron: (Frank Harbers (HSRO), Claus van den Brink (Arcadis), 2013). *Notitie Hoogwaterveiligheid Looweer*, (Rijkswaterstaat, 2016) *Kadeverlaging Scherpekamp, Huissensche Waarden*

²⁷ Bron: (Ersi Nederland & Community Maps Contributors, AHN)

4.2.2. Inventarisatie bodemonderzoek Scherpekamp

Historisch bodemonderzoek

Steenfabriek Scherpekamp bestond rond 1974 uit meerdere kleine en grote kleiwinputten, in deze putten werden de ongebakken stenen in de wind voorgedroogd. Deze putten moesten gedurende hoge waterstanden in het Pannerdensch kanaal bemalen worden, waarna besloten is om in 1975 de putten op te hogen met pyrietslak en niet voor productie geschikte klei en bouw- en sloopafval. Pyrietslak in de ophogingen van dit terrein is een bulkafvalstof afkomstig van zwavelzuurfabrieken in West-Duitsland, bestaande uit hoge concentraties aan toxische zware metalen, arseen en sulfaat²⁸.

Resultaten bodemonderzoek

Over een oppervlak van 30.860 m² is chemisch en fysisch bodemonderzoek uitgevoerd op het terrein van Scherpekamp. De uitkomsten van het onderzoek zijn niet heel gedetailleerd, waardoor het alleen mogelijk is per deellocatie de categorie te bepalen. In bijlage 1 staat een kaart met de deellocaties weergegeven. De verontreiniging wordt voornamelijk veroorzaakt door pyrietslakken, wat in het verleden als ophoogmateriaal is gebruikt. De verontreinigingen bestaan uit arseen, sulfaat en de zware metalen cadmium, lood, koper, nikkel en zink. De dominante grondsoort die voorkomt is matig fijn zand, die in de deellocaties B, C en D puinhoudend zijn.

Uit de locaties A, B en D komt 58.600 m³ schone grond vrij in de categorie 0 en is vrij toepasbaar. Uit de locaties C en E komt samen 52.400 m³ zwaar verontreinigde grond vrij in de categorie 3, deze grond dient bij afgraving gesaneerd of afgevoerd te worden naar een erkend verwerker. Bij het afgraven van de grond in de locaties B, C en D dient het puin gescheiden te worden van de grond.

De niet onderzochte delen van het terrein beschikken naar alle waarschijnlijkheid ook over matig fijn zand, wat puinhoudend is. Tevens bevatten de niet onderzochte delen waarschijnlijk (bijna) geen pyrietslak, aangezien deellocaties C en E de bronlocaties voor pyrietslak zijn, bij de overige delen is er een zeer kleine kans op lokaal zwerfpyriet. Hierdoor is het aannemelijk dat de grond van de niet onderzochte delen onder de categorie 0 valt en dus vrij toepasbaar is. Bij het volledig afgraven van het hoogwatervrije terrein komt 616.000 m³ grond vrij.

Scherpekamp					
Deellocatie	Oppervlakte [m ²]	Hoogte t.o.v. maaiveld [m]	Vrijkomende grond [m ³]	Categorie	Grondsoort
A	5500	4	22000	0	Matig fijn zand
B	1800	4	7200	0	Matig fijn zand, matig puinhoudend
C	13900	3,5	48650	3	Matig fijn zand, sterk puinhoudend
E	1260	3	3780	3	Matig fijn zand
D	8400	3,5	29400	0	Matig fijn zand, matig puinhoudend

Tabel 8 Uitkomsten resultaten Scherpekamp

²⁸ Bron: (Ing. H.C.M. Bosch, 2016). *Milieukundig bodemonderzoek Project Huissensche Waarden*. Bodem. Waddinxveen: Inpijn Blokpoel Milieu B.V. (Arcadis, 2006). *Nader bodemonderzoek Scherpekamp*

4.3. Stadsblokken Arnhem

4.3.1. Huidige situatie Stadsblokken Arnhem

Het hoogwatervrije terrein van Stadsblokken is in eigendom van de gemeente Arnhem. Het terrein ligt ter hoogte van rivierkilometer 883 van de Neder-Rijn, de afstand tot aan de IJsselkop bedraagt 5 kilometer. Op dit moment liggen er plannen om meer natuur, cultuur en recreatie op het terrein van Stadsblokken te realiseren.

Ten zuiden van het terrein van Stadsblokken is een strang gesitueerd waar permanent water in staat. Op het terrein bevinden zich 2 havens, in een haven liggen nu woonboten, de andere haven heeft momenteel geen functie. De huidige functies van het terrein zijn wonen en recreatie. Het terrein is in totaal 19 hectare groot en heeft een gemiddelde hoogte van 13 meter +NAP. Het maaiveld van de omliggende uiterwaarden heeft een gemiddelde hoogte van 10,5 meter +NAP²⁹. Een overzicht van het hoogwatervrije terrein staat weergegeven in figuur 15.



Figuur 15 Overzicht hoogwatervrij terrein Stadsblokken

²⁹ Bron: (Ersi Nederland & Community Maps Contributors, AHN)

4.3.2. Inventarisatie bodemonderzoek Stadsblokken

Historisch bodemonderzoek

Van 1889 tot 1979 heeft het terrein van Stadsblokken de functie industrie gehad en was er een scheepsbouwmaatschappij gevestigd op het terrein. Toen de scheepsbouwmaatschappij in 1979 sloot, zijn de gebouwen gesloopt, maar de oude funderingen, zijn niet verwijderd. Bovendien waren in het verleden op het westelijke deel van het terrein 15 oude olieopslagplaatsen aanwezig³⁰.

Resultaten bodemonderzoek

Over het gehele terrein van Stadsblokken, een oppervlak van 184.000 m², is een chemisch en fysisch onderzoek uitgevoerd. De uitkomsten van deze onderzoeken zijn gedetailleerd, per deellocatie is het mogelijk de hoeveelheid grond van een categorie te bepalen. In bijlage 2 staat een kaart met de deellocaties weergegeven. In het gebied van stadsblokken is geen dominante grondsoort aanwezig, de voorkomende grondsoorten zijn (matig) grof zand en matig zandige klei. De verontreinigingen bestaan uit minerale olie, Pak en de zware metalen zink, lood en cadmium.

Bij het volledig afgraven van het terrein komt 329.000 m³ schone grond vrij in de categorie 0 en is vrij toepasbaar. In totaal komt 163.000 m³ licht verontreinigde grond en 21.000 m³ matig verontreinigde grond vrij die beperkt toepasbaar is. Bij het volledige afgraving van het terrein komt 39.000 m³ zwaar verontreinigde grond vrij in de categorie 3, deze grond dient bij afgraving gesaneerd of afgevoerd te worden naar een erkend verwerker.

Stadsblokken								
Deellocatie	Oppervlakte [m ²]	Hoogte t.o.v. maaiveld [m]	Vrijkomende grond [m ³]	Categorie 0 [m ³]	Categorie 1 [m ³]	Categorie 2 [m ³]	Categorie 3 [m ³]	Grondsoort
A	22400	3	67200	66550	0	0	650	Grof zand
B	33100	3	99300	91100	1600	0	6600	Matig grof zand
C	9500	3	28500	15500	6350	2050	4600	Zandige klei
D	10700	3	32100	29250	5300	4050	4450	Matig fijn zand
E	4000	3	12000	8150	750	1350	1750	Matig grof zand
F	16800	3	50400	26070	7050	250	6080	Zandige klei
G	87500	3	262500	92700	142000	13000	14800	Zandige klei
Totaal			552000	329320	163050	20700	38930	

Tabel 9 Uitkomsten resultaten Stadsblokken

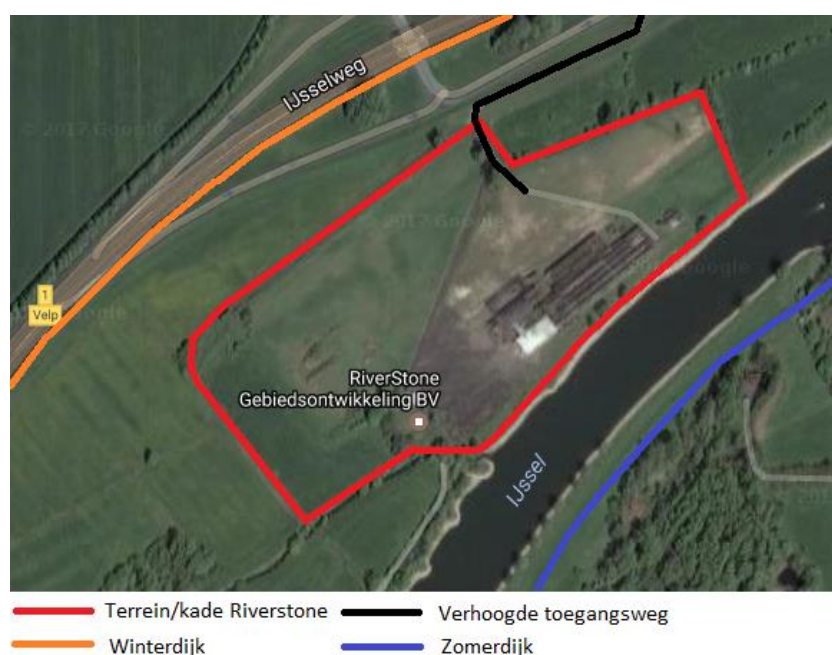
³⁰ (Ragna Jansen, Arcadis, 2013) *Risicobeoordeling ASM terrein Arnhem*. Arcadis, Milieu. Arcadis.

4.4. Riverstone Velp

4.4.1. Huidige situatie Riverstone Velp

Het hoogwatervrije terrein Riverstone is in eigendom van OMRO Vastgoed. Het terrein ligt ter hoogte van rivierkilometer 886 van de IJssel, de afstand tot aan de IJsselkop bedraagt 8 kilometer. Op het terrein van Riverstone staat een steenfabriek die van 1902 tot 1987 in gebruik is geweest, sindsdien heeft het terrein geen functie meer gehad. Op dit moment liggen er plannen om een natuurgebied te ontwikkelen³¹.

Het terrein is in totaal 9 hectare groot en heeft een gemiddelde hoogte van 12,5 meter +NAP. Het terrein wordt omringd door een kade met een gemiddelde hoogte van 13,5 meter +NAP. De omliggende uiterwaarden hebben een gemiddelde hoogte van 10,5 meter +NAP. De verhoogde toegangsweg heeft een hoogte van 14 meter +NAP³². Een overzicht van het hoogwatervrije terrein staat weergegeven in figuur 16.



Figuur 16 Overzicht hoogwatervrij terrein Riverstone

Rivierklimaatpark IJsselpoort

Het klimaatpark IJsselpoort is een initiatief, waarbij plannen gemaakt worden voor de uiterwaarden IJssel tussen Arnhem en Giesbeek, hierbij komen de thema's water, natuur en recreatie aan bod komen. Riverstone is in dit gebied gelegen, in de huidige plannen is Riverstone geen onderdeel van het Rivierklimaatpark IJsselpoort. In de huidige plannen bedraagt de maximale waterstanddaling bij dit project maximaal 25 centimeter³³.

³¹ Bron: (Krijn van den Herik (Deltaprogramma Rivieren), 2016). *Voorkeursstrategie naar het jaar 2100*.

³² Bron: (Ersi Nederland & Community Maps Contributors, AHN).

³³ Bron: (Jesse, 2017) *Klimaatpark IJsselpoort*.

4.4.2. Inventarisatie bodemonderzoek Riverstone

Historisch bodemonderzoek

In 1949 stonden op het terrein enkele gebouwen, een opslagplaats voor grondstoffen en een lager gelegen opslagplaats. Vervolgens zijn in 1964 de activiteiten uitgebreid, tevens is de huidige bebouwing van de steenfabriek geplaatst. In 1974 is een deel ten noorden van de steenfabriek opgehoogd met storthopen, waarin afgewerkte olie, zware stookolie en asbest aanwezig is. Tussen de periode 1981-1989 is een deel van de in 1974 aangelegde storthopen weer verwijderd.

Resultaten bodemonderzoek

Over bijna het gehele terrein van Riverstone is een chemisch en fysisch onderzoek uitgevoerd. De uitkomsten van deze onderzoeken zijn gedetailleerd, van elke deellocatie is het mogelijk de hoeveelheid vrijgekomen grond per categorie te bepalen. In bijlage 3 staat een kaart met de deellocaties weergegeven. De verontreinigingen bestaan uit PAK, minerale olie, asbest en de zware metalen zink, cadmium, kwik, koper en nikkel. Op het terrein van Riverstone is geen dominante grondsoort aanwezig, de voorkomende grondsoorten zijn (matig) zandige klei, zwak siltige klei, matig grof zand en zeer grof zand. In de deellocaties B, E en H zit er puin in de ondergrond.

Bij het afgraven van de deellocaties komt 34.100 m³ schone grond vrij in de categorie 0 en is vrij toepasbaar. In totaal komt 128.200 m³ licht verontreinigde grond en 4600 m³ matig verontreinigde vrij die beperkt toepasbaar is. Bij volledige afgraving van het terrein komt 32.600 m³ zwaar verontreinigde grond vrij in de categorie 3, deze grond dient bij afgraving gesaneerd of afgevoerd te worden naar een erkend verwerker. Bij het volledig afgraven van het hoogwatervrije terrein komt 199.500 m³ grond vrij³⁴.

Riverstone								
Deellocatie	Oppervlakte [m ²]	Hoogte t.o.v. maaiveld[m]	Vrijkomende grond [m ³]	Categorie 0 [m ³]	Categorie 1 [m ³]	Categorie 2 [m ³]	Categorie 3 [m ³]	Grondsoort
A	3670	2,5	9175	5505	1835	1835	0	Zandige klei
B	10366	2,5	25915	0	25915	0	0	Puinlaag, matig grof zand
C	18136	2,5	45340	3401	41940	0	0	Zwak siltige klei, matig grof zand
D	1918	2,5	4795	0	2877	0	1918	Matig zandige klei
E	24633	2,5	61582,5	0	43108	0	18475	Puinlaag, zwak siltige klei
F	5012	2,5	12530	0	12530	0	0	Zwak siltige klei
G	7007	2,5	17518	7007	0	0	10511	Zeer grof zand, zwak siltige klei
H	4470	2,5	11175	8381	0	2794	0	Matig grof zand, matig zandige klei (puinhoudend)
I	4605	2,5	11513	9786	0	0	1727	Zeer grof zand, zwak siltig en matig zandige klei
Totaal			199544	34080	128205	4629	32631	

Tabel 10 Uitkomsten resultaten Riverstone

³⁴ Bron: (Mevr. ing. I.M. Bruns, 1998). *Locatie-onderzoek naar voormalige steenfabriek "de Groot" te Rheden*. Verhoeve Milieu B.V., Milieu. Hengelo: Verhoeve Milieu B.V.

5. Varianten

In dit hoofdstuk worden de varianten van de hoogwatervrije terreinen beschreven. Deze varianten zijn in samenspraak met rivierkundig specialisten van Rijkswaterstaat gemaakt.

5.1. Bepaling varianten

Volledig afgraven hoogwatervrij terrein

Het volledige afgraven van een hoogwatervrij terrein creëert over het algemeen de meeste waterstanddaling op, daarom wordt het volledig afgraven van de terreinen als variant in het onderzoek meegenomen.

Stroomlijnen terreinen

Bij varianten waarbij een hoogwatervrij terrein gestroomlijnd wordt, kunnen verontreinigde hotspots vermeden worden en kan het overige deel van het terrein haar functie behouden. Stroomlijnen is in vergelijking met het volledig afgraven goedkoper doordat er minder grondverzet is.

Weghalen hoogwatervrije vergunning

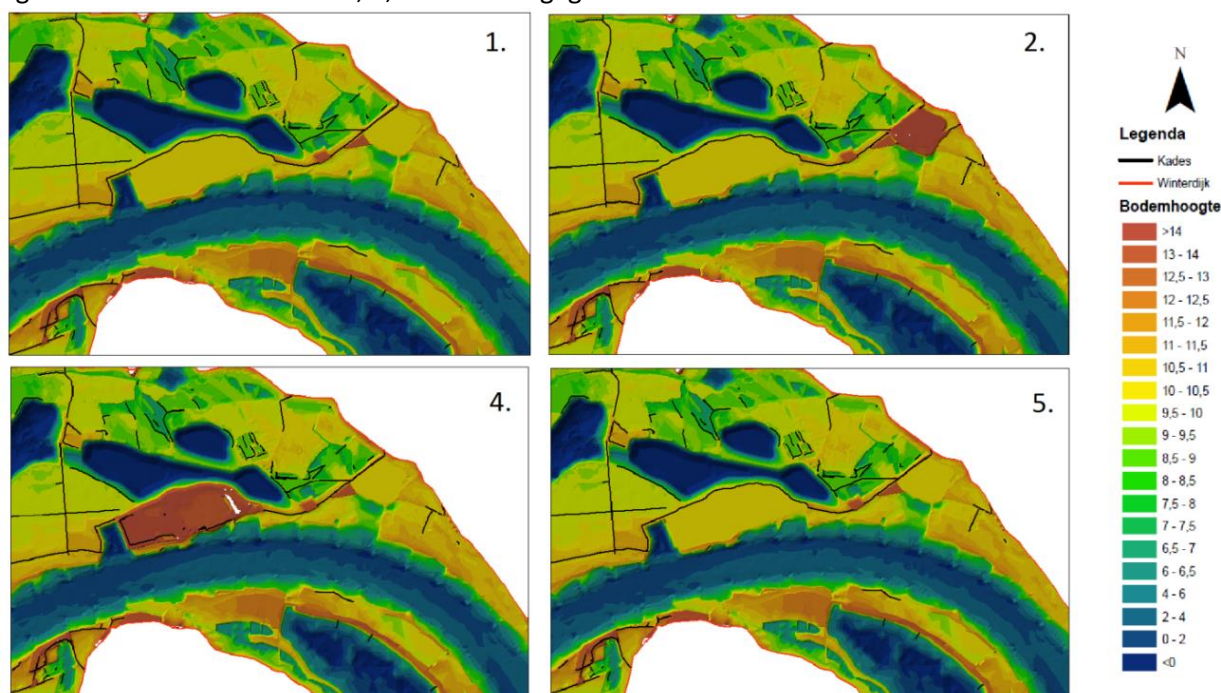
In de modellen van Rijkswaterstaat worden hoogwatervrije terreinen niet meegenomen, de terreinen worden als een obstakel van oneindig hoog gezien. Door het wegnemen van de hoogwatervrije vergunning wordt een waterstandsverlaging gerealiseerd, dit is de meest goedkope en eenvoudige ingreep.

Verlagen kades

De uiterwaarden liggen vol met kades die zorgen dat de uiterwaarden niet onderlopen met water. Kades zorgen echter voor opstuwing bij hoogwater, het verlagen van de kades zorgen voor een waterstanddaling bij hoogwater.

5.2. Fabrieksterrein en terrein Staatsbosbeheer Bemmelse

In deze paragraaf worden de resultaten van de varianten 1 tot en met 5 van Bemmelse beschreven, in figuur 17 staan de varianten 1, 2, 4 en 5 weergegeven.



Figuur 17 Bemmelse, varianten 1, 2, 4 en 5

Variant 1

In variant 1 worden het fabrieksterrein van K3-Delta en Wienerberger en het terrein van Staatsbosbeheer volledig afgegraven tot het huidige niveau van het maaiveld, op een hoogte van 10,5 meter +NAP. De zomerkade tussen de 2 hoogwatervrije terreinen is in deze variant verlaagd van 13,3 meter +NAP naar 12,64 meter +NAP, zodat bij een debiet van 8000 m³/s bij Lobith, het water over de zomerkade loopt. De afvoer van 8.000 m³/s is een forse afvoer, die gemiddeld eens in de 3 jaar voorkomt. Ter hoogte van beide terreinen wordt een nieuwe kade aangebracht op een hoogte van 12,64 meter +NAP.

Variant 2

In variant 2 wordt het fabrieksterrein van K3-Delta en Wienerberger volledig afgegraven tot het huidige niveau van het maaiveld, op een hoogte van 10,5 meter +NAP. Het terrein van Staatsbosbeheer wordt in deze variant niet afgegraven en de zomerkade tussen de 2 hoogwatervrije terreinen blijft op het huidige niveau van 13,3 meter +NAP liggen. Ter hoogte van het fabrieksterrein wordt een nieuwe kade aangebracht op een hoogte van 13,3 meter +NAP.

Variant 3

In deze variant wordt de vergunningen van beide hoogwatervrije terreinen gehaald, waardoor de actuele hoogten van de terreinen in het model worden meegenomen.

Variant 4

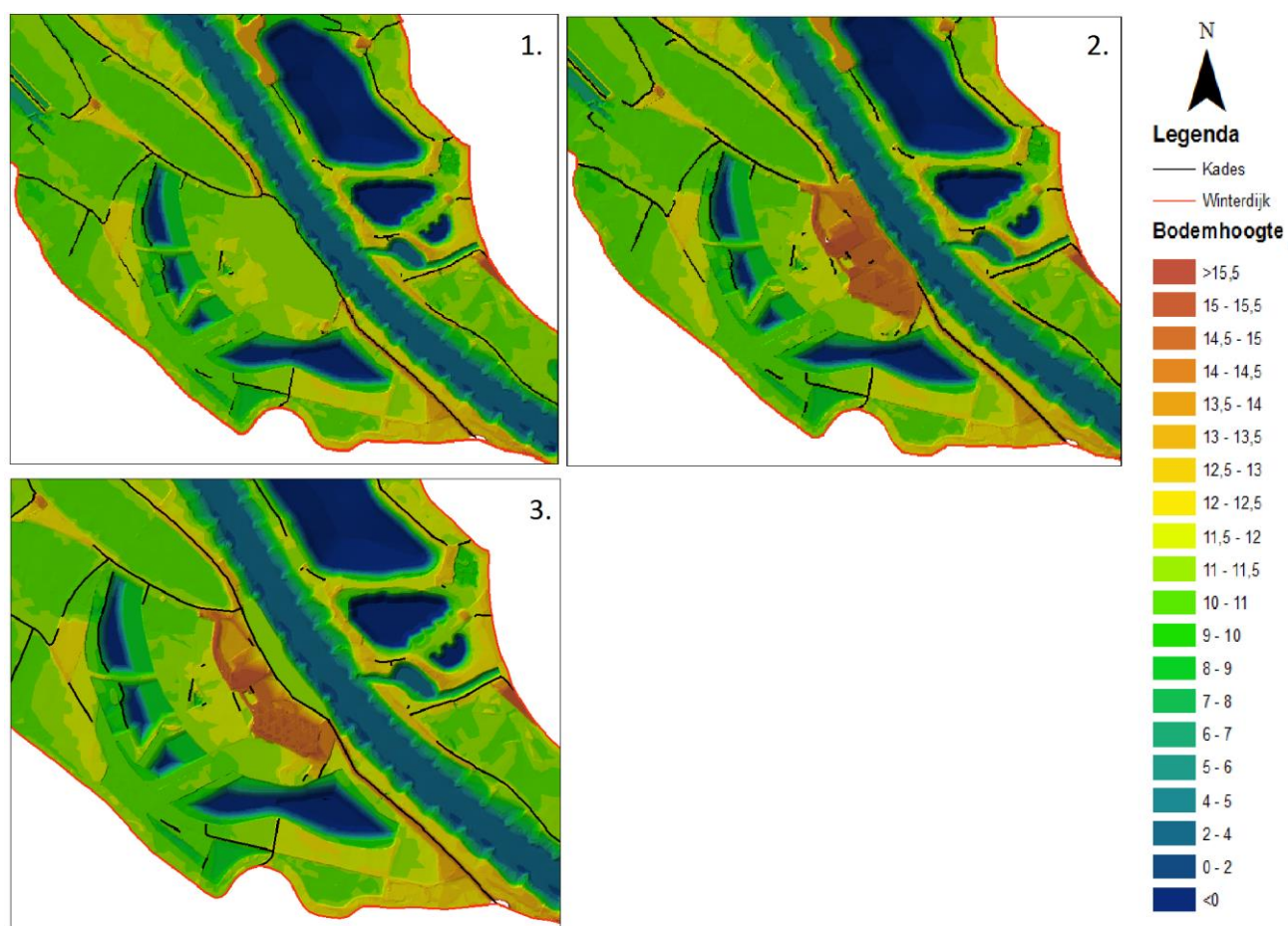
In variant 4 wordt het terrein van Staatsbosbeheer volledig afgegraven tot het huidige niveau van het maaiveld, op een hoogte van 10,5 meter +NAP. Het fabrieksterrein wordt in deze variant niet afgegraven en de zomerkade blijft op het huidige niveau van 13,3 meter +NAP liggen. Ter hoogte van het terrein van Staatsbosbeheer wordt een nieuwe kade aangebracht op een hoogte van 13,3 meter +NAP.

Variant 5

In variant 5 wordt het fabrieksterrein van K3-Delta en Wienerberger en het terrein van Staatsbosbeheer volledig afgegraven tot het huidige niveau van het maaiveld, op een hoogte van 10,5 meter +NAP. De zomerkade is in deze variant niet verlaagd en blijft het huidige niveau van 13,3 meter +NAP gehandhaafd. Ter hoogte van beide terreinen wordt een nieuwe kade aangebracht op een hoogte van 13,3 meter +NAP.

5.3. Scherpekamp Angeren

In deze paragraaf worden de resultaten van de varianten 1 tot en met 3 van Scherpekamp beschreven, in figuur 18 staan de varianten 1 tot en met 3 weergegeven.



Figuur 18 Scherpekamp, varianten 1, 2 en 3

Variant 1

In variant 1 wordt het fabrieksterrein van Scherpekamp afgegraven tot het huidige niveau van het maaiveld, op een hoogte van 11 meter +NAP. Het huidige bedrijventerrein van Scherpekamp dient als zomerkade, indien het terrein afgegraven wordt moet er een nieuwe kade aangebracht worden die aansluit op de hoogtes van de huidige kades. De huidige kade aan de zuidelijke kant staat op een hoogte van 15,5 meter +NAP, terwijl de noordelijke kade 13,5 meter +NAP is. In deze variant wordt een nieuwe kade aangebracht, waarvan de hoogtes oplopen vanaf de huidige noordelijke kade naar de huidige hoogte van de huidige zuidelijke kade.

Variant 2

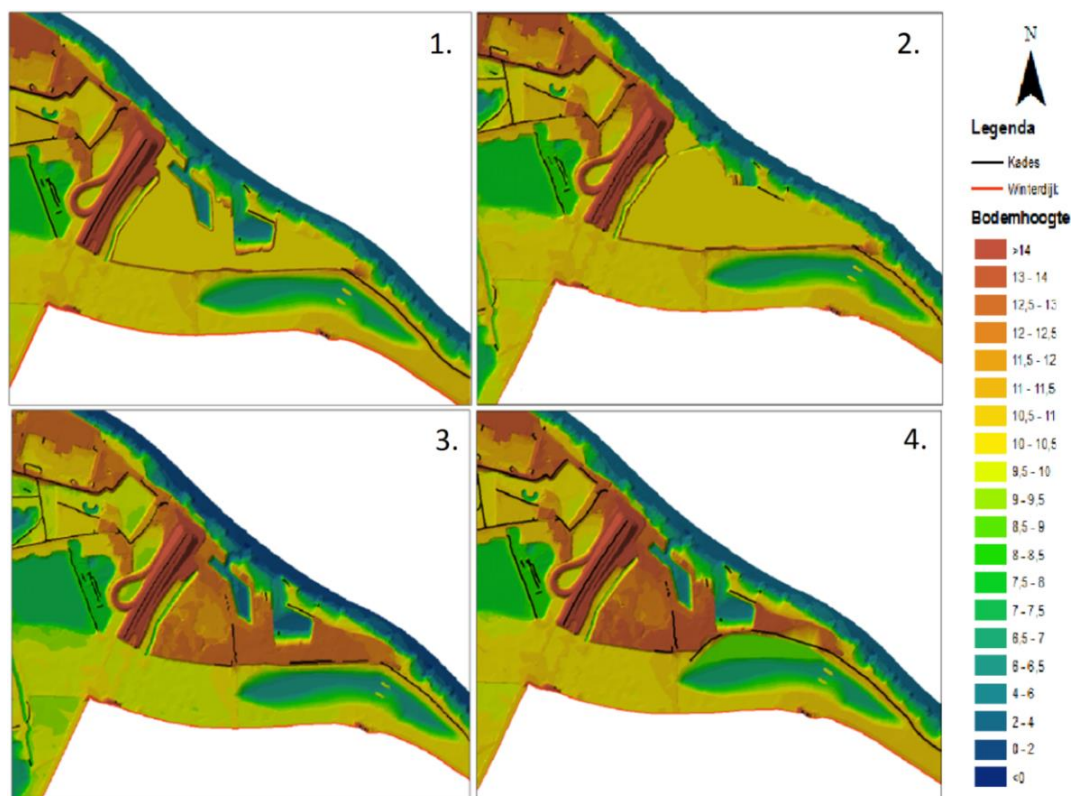
In deze variant wordt de vergunning van het hoogwatervrije terrein gehaald, waardoor de actuele hoogte het terrein in het model wordt meegenomen.

Variant 3

In variant 3 wordt het fabrieksterrein van Scherpekamp gestroomlijnd met de stromingsbaan van het Pannerdensch kanaal. Bij deze variant worden de huidige kades die een beperking vormen voor de doorstroming verwijderd. De nieuwe kade loopt op vanaf de hoogte van de huidige noordelijke kade naar de huidige hoogte van de huidige zuidelijke kade. Door het stroomlijnen van het terrein worden de verontreinigde spots vermeden.

5.4. Stadsblokken Arnhem

In deze paragraaf worden de resultaten van de varianten 1 tot en met 4 van Stadsblokken beschreven, in figuur 19 staan de varianten 1 tot en met 4 weergegeven.



Figuur 19 Stadsblokken, varianten 1, 2, 3 en 4

Variant 1

In variant 1 wordt het Stadsblokken terrein volledig afgegraven tot het huidige niveau van het maaiveld, op een hoogte van 10,5 meter +NAP. De zuidelijke kade van Stadsblokken blijft in deze variant dienen als zomerkade.

Variant 2

In variant 2 wordt het volledige terrein van Stadsblokken afgegraven tot het huidige niveau van het maaiveld, op een hoogte van 10,5 meter +NAP. In deze variant worden de 2 oude havens op het terrein opgevuld met de vrijkomende grond uit het terrein. Voor het opvullen van de havens is een hoeveelheid grond benodigd van 150.000 m³, uit tabel 9 blijkt dat uit het terrein voldoende schone grond vrijkomt om de havens te dempen.

Variant 3

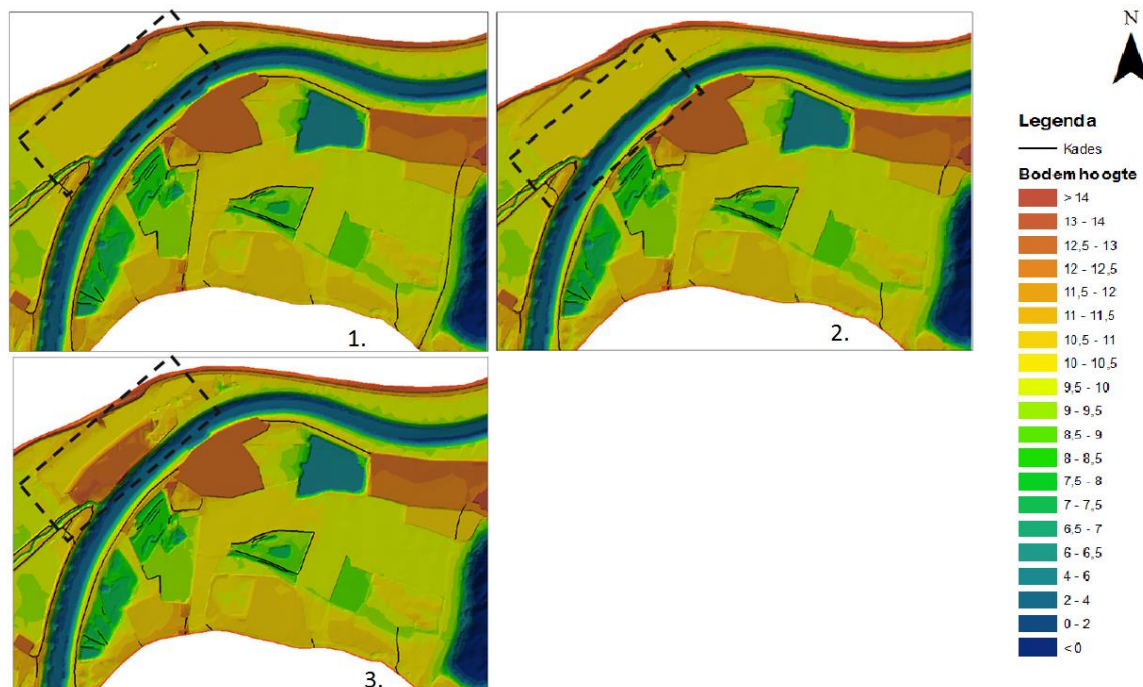
In deze variant wordt de vergunning van het hoogwatervrije terrein gehaald, waardoor de actuele hoogte van het terrein in het model wordt meegenomen.

Variant 4

In variant 4 wordt het Stadsblokken terrein gestroomlijnd met de Neder-Rijn door de strang ten zuiden van het terrein te verbreden. Door het stroomlijnen worden de meest verontreinigde spots op het terrein vermeden, echter komt in deze variant wel een kleine hoeveelheid verontreinigde grond vrij. De hoogte van het gestroomlijnde terrein wordt afgegraven tot 9,0 meter +NAP, de oude zuidelijke zomerkade wordt verlegd naar het noorden en is vastgesteld op een hoogte van 13,5 meter +NAP.

5.5. Riverstone Velp

In deze paragraaf worden de resultaten van de varianten 1 tot en met 3 van Riverstone beschreven, in figuur 20 staan de varianten 1 tot en met 3 weergegeven. De varianten van Riverstone zijn afkomstig uit het rapport “Een blik vooruit op hoogwatervrije terreinen”, een onderzoek van Bernd Ongena en Sanne Relou, afstudeerders bij Rijkswaterstaat in 2016.



Figuur 20 Riverstone, varianten 1, 2 en 3

Uitgangssituaties varianten

Bij het maken van Riverstone zijn met 2 verschillende uitgangssituaties gewerkt, de huidige situatie (uitgangssituatie 1) en een situatie met de meest actuele plannen van het Rivierklimaatpark IJsselpoort (uitgangssituatie 2). Door het uitvoeren van Rivierklimaatpark IJsselpoort, wordt een verlaging in de waterstand gecreëerd, hierdoor wordt het waterstandsverlagend effect van Riverstone verminderd. Daarom wordt Rivierklimaatpark IJsselpoort als uitgangssituatie meegenomen in de varianten.

Variant 1, uitgangssituatie 1

In variant 1 wordt het terrein van Riverstone vanuit uitgangssituatie 1 (huidig) volledig afgegraven tot het huidige niveau van het maaiveld, op een hoogte van 10,30 meter +NAP. De kades rondom het terrein worden afgegraven tot het niveau van het maaiveld, op een hoogte van 10,30 meter +NAP.

Variant 2, uitgangssituatie 2

In variant 2 wordt het terrein van Riverstone vanuit uitgangssituatie 2 (Rivierklimaatpark IJsselpoort) volledig afgegraven tot het huidige niveau van het maaiveld, op een hoogte van 10,30 meter +NAP. De kades rondom het terrein worden afgegraven tot het niveau van het maaiveld, op een hoogte van 10,30 meter +NAP.

Variant 3, uitgangssituatie 2

In variant 3 wordt het terrein van Riverstone vanuit uitgangssituatie 2 (Rivierklimaatpark IJsselpoort) gestroomlijnd. Dit houdt in dat het terrein aan de noordzijde van Riverstone ontgraven wordt op een hoogte van 10,30 meter. De kades rondom het terrein worden afgegraven tot het niveau van het maaiveld, op een hoogte van 10,30 meter +NAP.

6. Resultaten

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de modelberekeningen uit Waqua beschreven en geanalyseerd per hoogwatervrij terrein. In bijlagen 4 tot en met 18 staan per variant een weergave van de maatregel en de daarbij horende waterstandsverlaging.

6.1. Resultaten Bemmelt

In deze paragraaf worden de resultaten van de varianten 1 tot en met 5 van Bemmelt beschreven, in figuur 17 staan de varianten van Bemmelt naast elkaar weergegeven.

6.1.1. Variant 1

Het afgraven van het fabrieksterrein en het terrein van Staatsbosbeheer en het verlagen van de kade, variant 1, geeft een waterstandsverlaging van 4,6 centimeter bovenstrooms van de ingreep, ter hoogte van de Pannerdensche kop is de waterstandsverlaging 2,1 centimeter. De benedenstroomse piek van variant 1 bedraagt 4,6 centimeter.

6.1.2. Variant 2

Variant 2 is het afgraven van het fabrieksterrein, dit levert een waterstandsverlaging van 4,2 centimeter op bovenstrooms van de ingreep, ter hoogte van de Pannerdensche kop is de waterstandsverlaging 1,1 centimeter. De benedenstroomse piek van variant 2 bedraagt 4,1 centimeter.

6.1.3. Variant 3

Bij variant 3 wordt de vergunning van het hoogwatervrije terrein gehaald, dit levert de minste waterstandsverlaging op, 0,9 centimeter bovenstrooms van de ingreep. De waterstandsverlaging ter hoogte van de Pannerdensche kop is 0,1 centimeter. De benedenstroomse piek van variant 3 bedraagt 1,0 centimeter.

6.1.4. Variant 4

Bij variant 4 wordt het terrein van Staatsbosbeheer afgegraven, dit levert een waterstandsverlaging van 3,3 centimeter bovenstrooms van de ingreep. De waterstandsverlaging ter hoogte van de Pannerdensche kop is 1,5 centimeter. De benedenstroomse piek van variant 4 bedraagt 1,5 centimeter.

6.1.5. Variant 5

Bij variant 5 wordt het fabrieksterrein en het terrein van Staatsbosbeheer afgegraven, de kade blijft op de huidige hoogte liggen. Dit levert een waterstandsverlaging van 4,6 centimeter bovenstrooms van de ingreep. De waterstandsverlaging ter hoogte van de Pannerdensche kop is 2,1 centimeter. De benedenstroomse piek van variant 5 bedraagt 4,5 centimeter.

6.2. Resultaten Scherpekamp

In deze paragraaf worden de resultaten van de varianten 1 tot en met 3 van Scherpekamp beschreven, in figuur 18 staan de varianten van Scherpekamp naast elkaar weergegeven.

6.2.1. Variant 1

Variant 1 is het volledig afgraven van het terrein Scherpekamp, dit levert een waterstandsverlaging van 2,7 centimeter op bovenstrooms van de ingreep, ter hoogte van de Pannerdensche kop is de verlaging 0,9 centimeter. Variant 1 heeft geen benedenstroomse piek.

6.2.2. Variant 2

Bij variant 2 wordt de vergunning van het hoogwatervrije terrein gehaald, dit levert de minste waterstandsverlaging op, 0,7 centimeter bovenstrooms van de ingreep. De waterstandsverlaging ter hoogte van de Pannerdensche kop is 0,2 centimeter. Variant 2 heeft geen benedenstroomse piek.

6.2.3. Variant 3

Bij variant 3 wordt het terrein van Scherpekamp gestroomlijnd met de stromingsbaan van het Pannerdensch kanaal. Deze variant levert bovenstrooms van de ingreep een waterstandsverlaging op van 2,3 centimeter. De waterstandsverlaging ter hoogte van de Pannerdensche kop bedraagt 0,8 centimeter. De benedenstroomse piek van variant 3 bedraagt 0,3 centimeter.

6.3. Resultaten Stadsblokken

In deze paragraaf worden de resultaten van de varianten 1 tot en met 4 beschreven, in figuur 19 staan de varianten van Stadsblokken naast elkaar weergegeven.

6.3.1. Variant 1

Het volledig afgraven van het hoogwatervrije terrein stadsblokken, variant 1, geeft een waterstandsverlaging van 4,6 centimeter bovenstrooms van de ingreep. Ter hoogte van de IJsselkop is de waterstandsverlaging 2,9 centimeter. Ter hoogte van de Pannerdensche kop is de waterstandsverlaging 1,0 centimeter. De benedenstroomse piek van variant 1 bedraagt 0,3 centimeter.

6.3.2. Variant 2

Variant 2 is het volledig afgraven van het hoogwatervrije terrein Stadsblokken en het dempen van de havens met de vrijkomende grond. Deze variant geeft een waterstandsverlaging van 5,1 centimeter bovenstrooms van de ingreep. Ter hoogte van de IJsselkop is de waterstandsverlaging 3,3 centimeter. Ter hoogte van de Pannerdensche kop is de waterstandsverlaging 1,1 centimeter. De benedenstroomse piek van variant 2 bedraagt 0,6 centimeter.

6.3.3. Variant 3

Bij variant 3 wordt de vergunning van het hoogwatervrije terrein gehaald, dit levert een waterstandsverlaging op van 3,4 centimeter bovenstrooms van de ingreep. De waterstandsverlaging ter hoogte van de IJsselkop is 1,1 centimeter. Ter hoogte van de Pannerdensche kop is de waterstandsverlaging 0,4 centimeter. De benedenstroomse piek van variant 2 bedraagt 0,2 centimeter.

6.3.4. Variant 4

Bij variant 4 wordt het terrein van Stadsblokken gestroomlijnd met de zuidelijk gelegen strang. Variant 4 levert een waterstandsverlaging op van 2,4 centimeter bovenstrooms van de ingreep, ter hoogte van de IJsselkop is de waterstandsverlaging 1,7 centimeter. Ter hoogte van de Pannerdensche kop is de waterstandsverlaging 0,6 centimeter. De benedenstroomse piek van variant 4 bedraagt 0,2 centimeter.

6.4. Resultaten Riverstone

In deze paragraaf worden de resultaten van de varianten 1 tot en met 3 van Riverstone beschreven, in figuur 20 staan de varianten van Riverstone naast elkaar weergegeven.

6.4.1. Variant 1 uitgangssituatie 1

Het afgraven van gehele terrein van Riverstone, waarbij het Rivierklimaatpark IJsselpoort niet wordt meegenomen in de uitgangssituatie, levert de grootste waterstandsverlaging op, 9,0 centimeter direct achter de ingreep. De waterstandsverlaging ter hoogte van de IJsselkop bedraagt 3,2 centimeter en ter hoogte van de Pannerdensche kop 1,2 centimeter. De benedenstroomse piek van variant 1 bedraagt 8,5 centimeter.

6.4.2. Variant 2 uitgangssituatie 2

Variant 2 is het volledig afgraven van het terrein Riverstone, waarbij het rivierklimaatpark IJsselpoort wordt meegenomen in de uitgangssituatie. Bij variant 2 treedt een waterstandsverlaging van 6,2 centimeter op direct achter de ingreep. De waterstandsverlaging ter hoogte van de IJsselkop bedraagt 2,0 centimeter en ter hoogte van de Pannerdensche kop 0,8 centimeter. De benedenstroomse piek van variant 2 bedraagt 7,2 centimeter.

6.4.3. Variant 3 uitgangssituatie 2

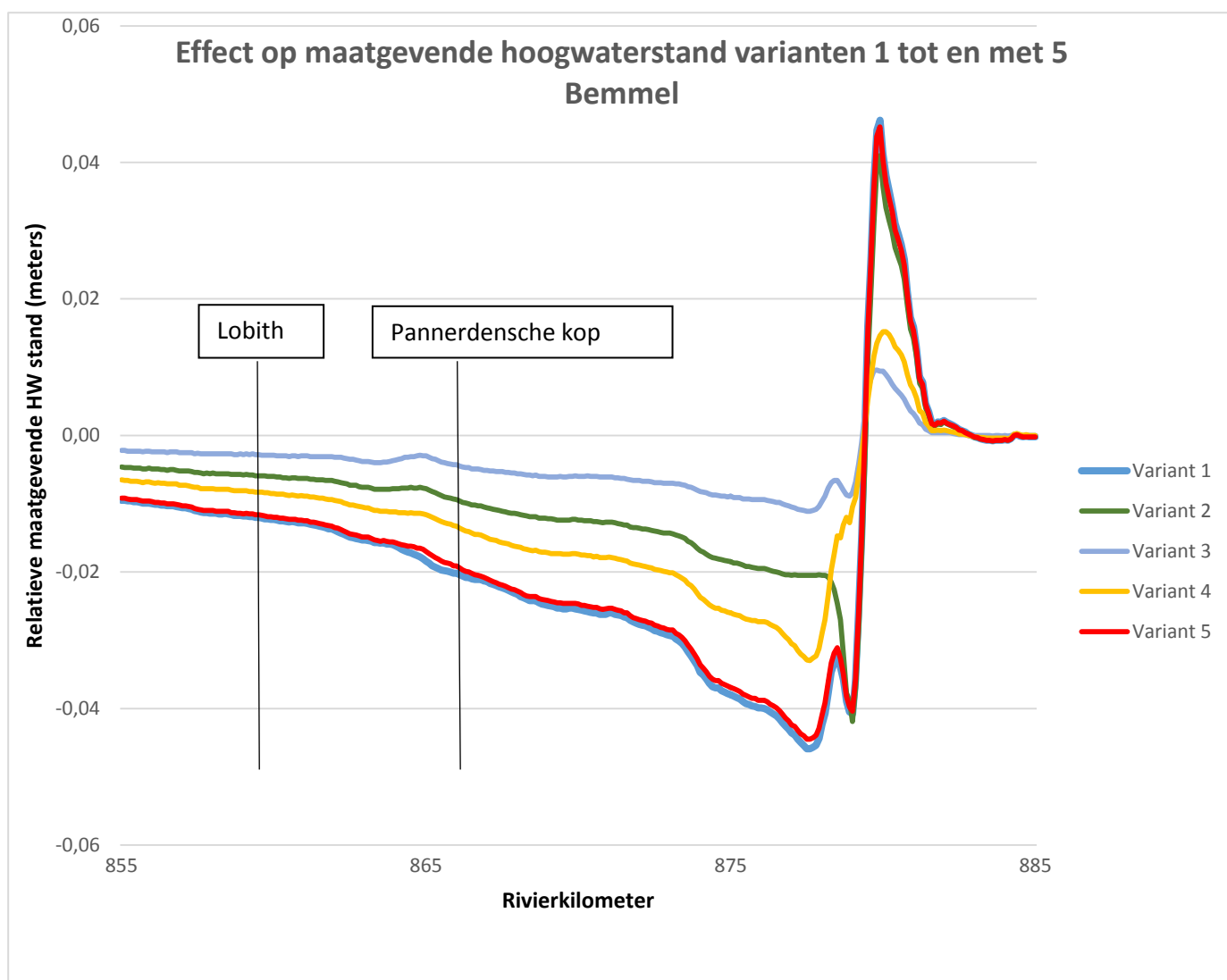
Bij variant 3 wordt het terrein van Riverstone gestroomlijnd met de IJssel, waarbij het Rivierklimaatpark IJsselpoort wordt meegenomen in de uitgangssituatie. Variant 3 levert een waterstandsverlaging op van 3,6 centimeter direct achter de ingreep. De waterstandsverlaging ter hoogte van de IJsselkop bedraagt 1,0 centimeter en ter hoogte van de Pannerdensche kop 0,4 centimeter. De benedenstroomse piek van variant 3 bedraagt 4,6 centimeter.

6.5. Analyse resultaten

In deze paragraaf worden de hydraulische effecten geanalyseerd per hoogwatervrij terrein, waarbij een vergelijking van de varianten wordt beschreven.

6.5.1. Vergelijking varianten Bemmelen

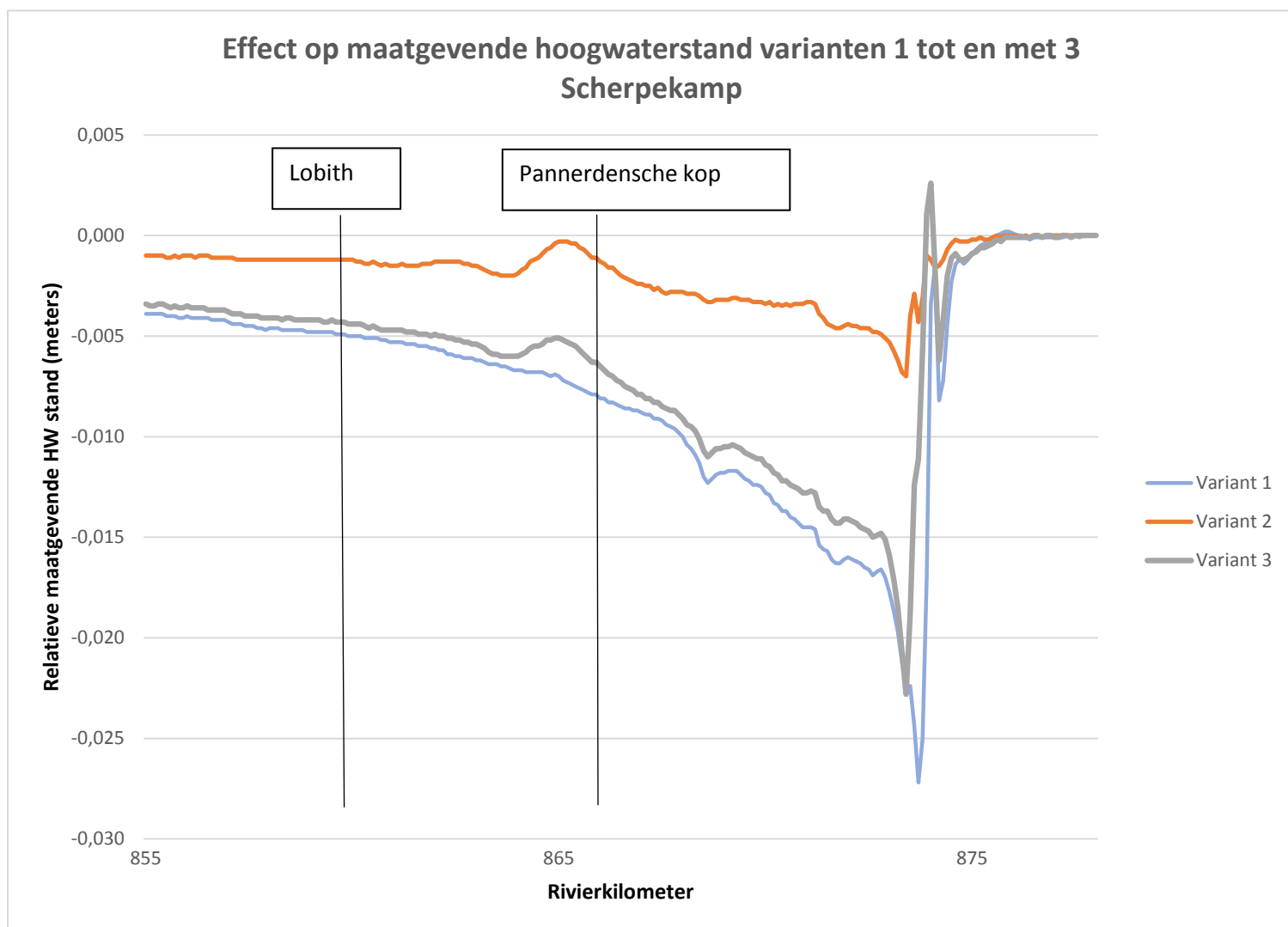
Uit de vergelijking van de varianten in grafiek 1 blijkt dat variant 1 en 5 nagenoeg hetzelfde waterstandsverlagend effect hebben, hieruit kan vastgesteld worden dat het verlagen van de zomerkade niet effectief is. Variant 3 levert de minste waterstandsverlaging op. Variant 4 heeft relatief gezien een lage benedenstroomse piek. Ook is op te merken dat bij varianten 1, 3 en 5 een extra piek in de waterstandsverlaging ontstaat. Deze tweede piek is te verklaren doordat er twee hoogwatervrije terreinen worden meegenomen in de variant. Bovendien blijkt dat het verlagen van de kade tussen de 2 hoogwatervrije terreinen nauwelijks effect heeft, zie variant 1 en 5. Wat nog meer opvalt is dat het geheel afgraven van het terrein van Staatsbosbeheer (8 hectare, variant 4) een grotere waterstandsverlaging geeft dan het geheel afgraven van het fabrieksterrein (25 hectare, variant 2).



Grafiek 1 Vergelijking resultaten Bemmelen

6.5.2. Vergelijking varianten Scherpekamp

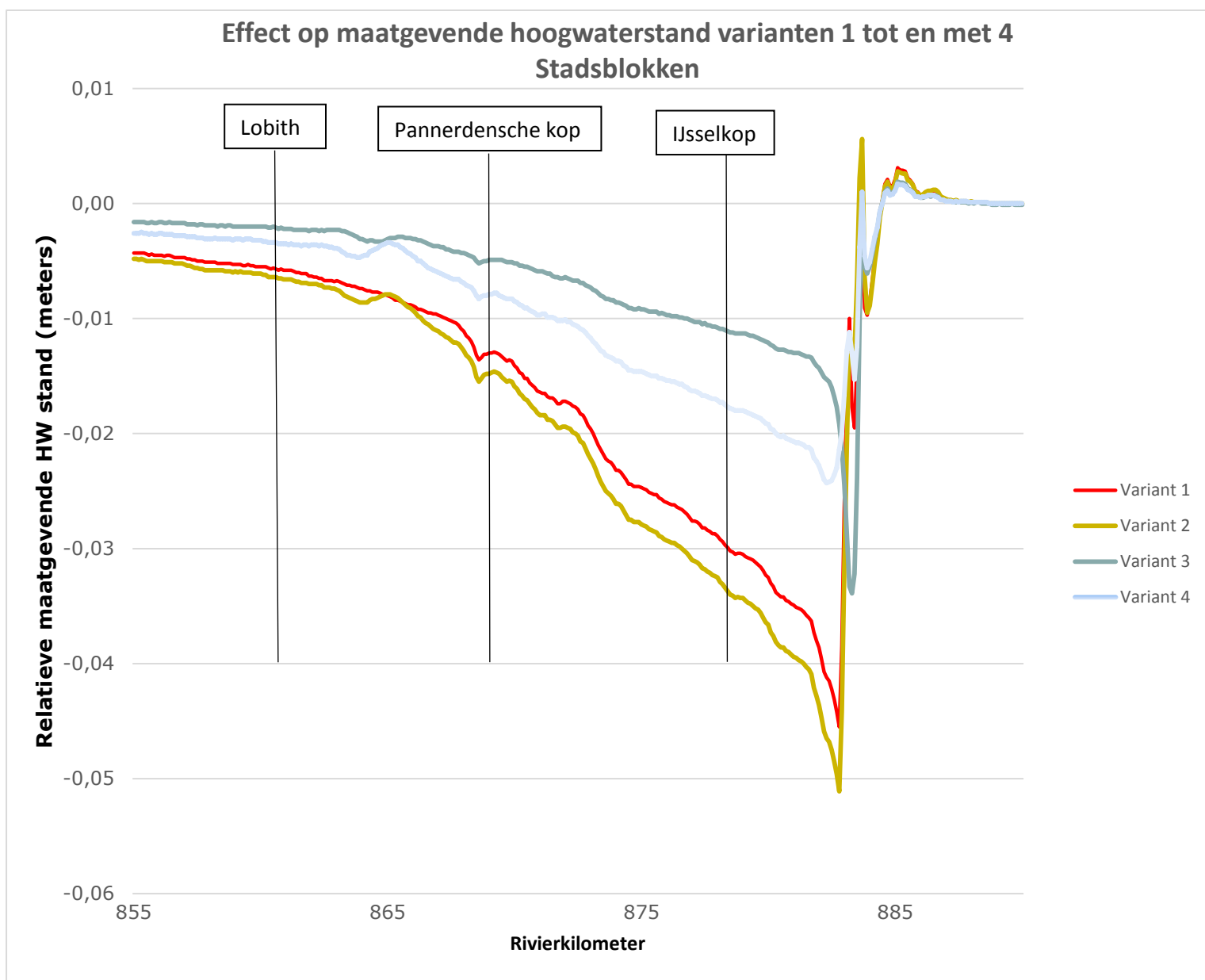
Uit de vergelijking van de varianten in grafiek 2 blijkt dat bij variant 1, bovenstrooms van de ingreep het grootste waterstandsverlagend effect optreedt. Variant 2 heeft de minste waterstandsverlaging. De waterstandsverlagingen van varianten 1 en 3 zijn nagenoeg gelijk, hieruit blijkt dat het stroomlijnen (kosten) efficiënter is dan het geheel afgraven. Opvallend is dat variant 1 en 2 geen piek benedenstrooms van de ingreep hebben, variant 3 heeft een kleine piek van 0,3 centimeter benedenstrooms van de ingreep. De piek die optreedt bij variant 3 is te verklaren doordat hier de kade een stuk landinwaarts is verlegd, waardoor een groter oppervlak mee stroomt met het winterbed, waarna vervolgens het traject stroomafwaarts weer versmalt.



Grafiek 2 Vergelijking resultaten Scherpekamp

6.5.3. Vergelijking varianten Stadsblokken

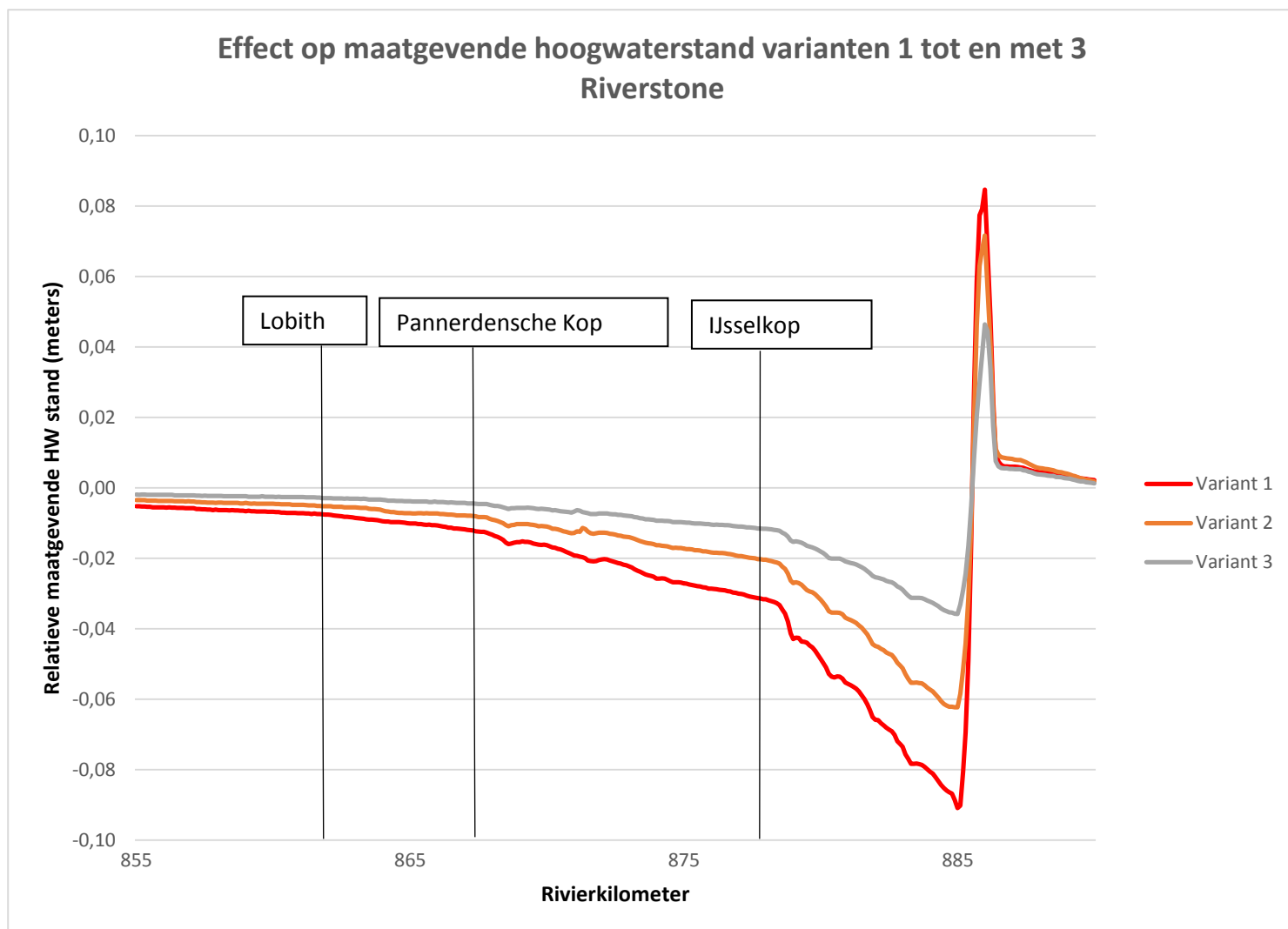
Uit de vergelijking van de varianten in grafiek 3 blijkt dat variant 2 het grootste waterstandsverlagend effect heeft. Variant 1 heeft de tweede grootste waterstandsverlaging, het verloop van de waterstandsverlaging van variant 1 en 2 is nagenoeg hetzelfde. Opvallend is dat variant 3 direct achter de ingreep een groter waterstandsverlaging geeft dan variant 4, terwijl vanaf rivierkilometer 884 variant 3 een grotere waterstandsverlaging geeft. De grote waterstandsval bij variant 3 is te verklaren doordat hier de hoogwatervrije vergunning eraf wordt gehaald, terwijl bij variant 4 (stroomlijnen) het terrein waar de vergunning op ligt niet gewijzigd wordt.



Grafiek 3 Vergelijking resultaten Stadsblokken

6.5.4. Vergelijking varianten Riverstone

Uit de vergelijking van de varianten in grafiek 4 blijkt dat variant 1 het grootste waterstandsverlagend effect heeft, variant 2 heeft de tweede grootste waterstandsverlaging en variant 3 de kleinste. Opvallend is dat het verloop van het effect van de varianten nagenoeg hetzelfde is. Opvallend is de zeer grote benedenstroomse piek bij de varianten, deze piek is te verklaren doordat de ruimte tussen de winterdijken van de IJssel benedenstrooms van de ingreep zeer smal is (150 meter).



Grafiek 4 Vergelijking resultaten Riverstone

6.6. Mogelijkheden vrijkomende grond

De toepasmogelijkheden van grond zijn afhankelijk aan constructieve gedragseigenschappen die beïnvloed worden door de volgende parameters:

- Vochtgehalte;
- Volumieke dichtheid;
- Lutumgehalte;
- Humusgehalte;
- Plasticiteitsindex.

De hierboven genoemde parameters dragen positief of negatief bij aan de constructieve gedragseigenschappen van grond. In bijlage 19 is beschreven welke invloed de parameters hebben op de constructieve gedragseigenschappen en hoeveel deze bijdragen aan de soort toepassing. De constructieve gedragseigenschappen die invloed hebben op de soort toepassing zijn; verwerkbaarheid, stabiliteit, consolidatie, draagvermogen, erosiebestendigheid en waterdichtheid.

Toepassing	Zandige klei	Matig Fijn zand	Matig Grof zand	Grof zand
Constructieve ophoging/aanvulling	-	++	++	++
Drainagelaag	-	+/-	+/-	+/-
Steunberm	-	++	++	++
Isolatielaag	++	+/-	+/-	+/-
Erosiebestendige deklaag	++	-	-	-
Niet constructieve ophoging/aanvulling*	++	++	++	++
Toeslagmateriaal**	-	+/-	+/-	+
* Elk type grond is toepasbaar voor een niet constructieve ophoging/aanvulling.				
** Voor toeslagmateriaal is grofzand en grind nodig, momenteel is er onderzoek bezig naar de toepasmogelijkheden van fijner zand.				
- Niet toepasbaar	Niet toepasbaar			
+/- Matig toepasbaar	Toepasbaar onder voorwaarden en/of in combinatie met een ondersteunende constructie			
+ Toepasbaar	Toepasbaar in combinatie met een ondersteunende constructie			
++ Goed toepasbaar	Direct toepasbaar			

Tabel 11 Toepasbaarheid vrijkomende grond hoogwatervrije terreinen

In tabel 11 staan de dominante grondsoorten uit de hoogwatervrije terreinen weergegeven en in hoeverre deze te gebruiken zijn voor een bepaalde toepassing binnen de Grond-, Weg- en Waterbouw. In deze tabel is te zien dat zandige klei gebruikt kan worden voor een isolatielaag en een erosiebestendige deklaag, de zandige lagen zijn toepasbaar voor toepassingen waarvan de eigenschappen draagkrachtig of waterdoorlatend dienen te zijn. Grof zand kan bovendien ook gebruikt worden voor toeslagmateriaal.

6.7. Optimaliseren hydraulische effecten

Om de beste varianten van Bommel, Scherpekamp, Riverstone en Stadsblokken te bepalen is een multicriteria analyse uitgevoerd. De scores uit de MCA worden per splitsingspunt met elkaar vergeleken. De criteria die geanalyseerd zijn, zijn waterstandsverlaging, benedenstroomse piek, chemische bodemkwaliteit, toepasbaarheid vrijkomende grond, ruimtelijke ordening en kostenefficiëntie. In bijlage 20 staat de uitleg van de scores per criterium weergegeven. Een aanbeveling van de combinatie wordt gegeven op basis van de uitkomst uit de MCA en het minimale toelaatbare afwijking in de waterstandsverlagingen ter hoogte van de splitsingspunten. In tabel 12 staan de weegfactoren per criterium weergegeven.

Criterium	Weegfactor
Waterstandsverlaging	5
Benedenstroomse piek	3
Chemische bodemkwaliteit	3
Toepasbaarheid grond	2
Ruimtelijke ordening	2
Kostenefficiëntie	4

Tabel 12 Criteria

6.7.1. Pannerdensche kop – Bommel en Scherpekamp

MCA Bommel

Uit de MCA van Bommel blijkt dat variant 3, het wegnemen van de hoogwatervrije vergunning, met een score van 63 punten de beste variant is. Variant 4, het afgraven van het terrein van Staatsbosbeheer is met 62 punten ook een goede variant. De toepasbaarheid van de grond is in deze MCA niet meegenomen, omdat er geen relevante informatie over de grond beschikbaar is.

MCA Bommel	Waterstandsverlaging	Benedenstroomse piek	Chemische bodemkwaliteit	Toepasbaarheid grond	Ruimtelijke ordening	Kostenefficiëntie	Totale score
Variant 1	20	6	9	0	2	8	45
Variant 2	15	6	9	0	2	8	40
Variant 3	10	12	15	0	10	16	63
Variant 4	15	12	9	0	10	16	62
Variant 5	20	6	9	0	2	8	45

Tabel 13 Multicriteria Analyse Bommel

MCA Scherpekamp

Uit de MCA van Scherpekamp blijkt dat variant 3, het stroomlijnen van de stromingsbaan van het Pannerdensch kanaal, met een score van 69 punten de beste variant is. Variant 1, het volledig afgraven van het hoogwatervrije terrein, heeft hydraulisch gezien bijna hetzelfde effect, nadeel van deze variant in vergelijking met variant 3, is dat het volledige terrein afgegraven dient te worden, wat met het oog op de ruimtelijke ordening en kosten zeer inefficiënt is.

MCA Scherpekamp	Waterstandsverlaging	Benedenstroomse piek	Chemische bodemkwaliteit	Toepasbaarheid grond	Ruimtelijke ordening	Kostenefficiëntie	Totale score
Variant 1	15	15	9	8	2	8	57
Variant 2	10	15	15	0	8	12	60
Variant 3	15	12	12	8	6	16	69

Tabel 14 Multicriteria Analyse Scherpekamp

Optimale combinatie varianten Bemmelen en Scherpekamp

Rijkswaterstaat heeft vastgesteld dat bij een ingreep in het splitsingspuntengebied, de maximale waterstandsverlaging ter hoogte van de Pannerdensch kop op één van de takken maximaal 0,2 centimeter mag bedragen

Uitgaande van de MCA is de combinatie van variant 4 bij Bemmelen en variant 3 van Scherpekamp het meest optimaal. Het verschil in waterstandsverlaging ter hoogte van de Pannerdensch kop is echter 0,7 centimeter, in het geval dat deze varianten worden uitgevoerd is het genoodzaakt nog een andere maatregel in het Pannerdensch Kanaal uit te voeren. Uit tabel 15 komt voort dat variant 2 van Bemmelen in combinatie met variant 1 van Scherpekamp en variant 3 van Bemmelen in combinatie met variant 2 van Scherpekamp uitgevoerd kan worden.

Bemmelen		Scherpekamp	
Variant 1	2,1 cm	Variant 1	0,9 cm
Variant 2	1,1 cm	Variant 2	0,2 cm
Variant 3	0,1 cm	Variant 3	0,8 cm
Variant 4	1,5 cm		
Variant 5	2,1 cm		

Tabel 15 Waterstandsverlaging varianten Bemmelen en Scherpekamp ter hoogte van de Pannerdensch kop

6.7.2. IJsselkop – Riverstone en Stadsblokken

MCA Riverstone

Uit de MCA van Riverstone blijkt dat variant 3, het stroomlijnen van de stromingsbaan van de IJssel, met een score van 65 punten de beste variant is. Varianten 1 en 2, het volledig afgraven van Riverstone geven een waterstandsverlaging van 9,5 en 6,0 centimeter bovenstrooms van de ingreep, tegenover een waterstandsverlaging van 4,0 centimeter van variant 3 bovenstrooms van de ingreep. Echter dient bij variant 3 veel minder grond afgegraven te worden, wat positief is voor de chemische bodemkwaliteit, ruimtelijke ordening en kostenefficiëntie.

MCA Riverstone	Waterstandsverlaging	Benedenstroomse piek	Chemische bodemkwaliteit	Toepasbaarheid grond	Ruimtelijke ordening	Kostenefficiëntie	Totale score
Variant 1	25	3	9	6	6	8	57
Variant 2	20	3	9	6	6	8	52
Variant 3	15	6	12	6	10	16	65

Tabel 16 Multicriteria Analyse Riverstone

MCA Stadsblokken

Uit de MCA van Stadsblokken blijkt dat variant 4, het stroomlijnen van de strang ten zuiden van Stadsblokken met een score van 74 punten de beste variant is. Varianten 1 en 2, het volledig afgraven van Stadsblokken geven een waterstandsverlaging van 4,6 en 5,1 centimeter direct achter de ingreep. Het grote nadeel van varianten 1 en 2 is dat er veel verontreinigde grond vrijkomt en dat het niet kostenefficiënt is aangezien een grote hoeveelheid grond afgegraven dient te worden.

MCA Stadsblokken	Waterstandsverlaging	Benedenstroomse piek	Chemische bodemkwaliteit	Toepasbaarheid grond	Ruimtelijke ordening	Kostenefficiëntie	Totale score
Variant 1	20	12	6	6	6	8	58
Variant 2	20	12	6	6	6	8	58
Variant 3	15	12	15	0	10	16	68
Variant 4	15	12	15	6	10	16	74

Tabel 17 Multicriteria Analyse Stadsblokken

Optimale combinatie varianten Riverstone en Stadsblokken

Rijkswaterstaat heeft vastgesteld dat bij een ingreep in het splitsingspuntengebied, de maximale waterstandsverlaging ter hoogte van de IJsselkop op één van de takken maximaal 0,7 centimeter en ter hoogte van de Pannerdensche kop maximaal 0,2 centimeter mag bedragen.

Uitgaande van de MCA is de combinatie van variant 3 bij Riverstone en variant 4 bij Stadsblokken het meest optimaal. De effecten op de afvoerverdeling bij de IJsselkop en Pannerdensche kop zijn bij beiden acceptabel.

Uit tabel 18 komen de mogelijke combinaties voort, variant 1 Riverstone en variant 1 Stadsblokken, variant 1 Riverstone en variant 2 Stadsblokken en variant 2 Riverstone en variant 4 Stadsblokken, variant 3 Riverstone en variant 3 Stadsblokken, variant 3 Riverstone en variant 4 Stadsblokken.

IJsselkop				Pannerdensche kop			
Riverstone		Stadsblokken		Riverstone		Stadsblokken	
Variant 1	3,2 cm	Variant 1	2,9 cm	Variant 1	1,2 cm	Variant 1	1,0 cm
Variant 2	2,0 cm	Variant 2	3,3 cm	Variant 2	0,8 cm	Variant 2	1,1 cm
Variant 3	1,0 cm	Variant 3	1,1 cm	Variant 3	0,4 cm	Variant 3	0,4 cm
		Variant 4	1,7 cm			Variant 4	0,6 cm

Tabel 18 Waterstandsverlaging varianten Riverstone en Stadsblokken ter hoogte van de IJsselkop en Pannerdensche kop

6.8. Terugkoppeling resultaten

In deze paragraaf worden de resultaten teruggekoppeld aan de bevindingen per hoogwatervrij terrein.

6.8.1. Bommel

Voor de toepasbaarheid van de grond in de hoogwatervrije terreinen van Bommel kan geen uitspraak worden, doordat er geen relevante bodemonderzoeken beschikbaar zijn. Wel is bekend dat er grond aanwezig is die de interventiewaarde overschrijdt. Uit de multicriteria analyse komt voort dat variant 3, het weghalen van de hoogwatervrije vergunning het meest optimaal is. Tevens scoort variant 4, het afgraven van het terrein van Staatsbosbeheer goed. Variant 4 levert een relatieve grote waterstandsverlaging voor het afgraven van een klein terrein.

6.8.2. Scherpekamp

De grond uit Scherpekamp bestaat uit matig fijn zand, wat toegepast kan worden in steunbermen, isolatielagen, drainagelagen en (niet) constructieve ophogingen/aanvullingen. De interventiewaarde wordt echter lokaal overschreden, deze grond kan niet toegepast worden. Uit de multicriteria analyse komt voort dat variant 3, het stroomlijnen van het terrein van het terrein met het Pannerdensch kanaal het meest optimaal is.

6.8.3. Stadsblokken

De grond uit Stadsblokken bestaat uit grof zand, matig grof zand, matig fijn zand en zandige klei. Het zand kan toegepast worden in steunbermen, isolatielagen, drainagelagen en (niet) constructieve ophogingen/aanvullingen. De zandige klei kan toegepast worden als isolatielaag, erosiebestendige deklaag en niet constructieve ophoging/aanvulling. In de eerste meter onder het maaiveld overschrijdt de interventie waarde voor een groot deel de interventiewaarde, deze grond kan niet toegepast worden. Uit de multicriteria analyse komt voort dat variant 4, het stroomlijnen van de strang ten zuiden van Stadsblokken het meest optimaal is.

6.8.4. Riverstone

De grond uit Riverstone bestaat uit grof zand, matig grof zand en zandige klei. Het zand kan toegepast worden in steunbermen, isolatielagen, drainagelagen en (niet) constructieve ophogingen/aanvullingen. De zandige klei kan toegepast worden als isolatielaag, erosiebestendige deklaag en niet constructieve ophoging/aanvulling. Het terrein van Riverstone bevat veel licht verontreinigde grond, 128.000 m³ van de 200.000 m³ grond overschrijdt de streefwaarde, plaatselijk wordt bovendien de interventiewaarde overschreden. Uit de multicriteria analyse komt voort dat variant 3, het stroomlijnen van Riverstone, met het Rivierklimaatpark IJsselpoort als uitgangspunt, het meest optimaal is.

7. Conclusie

7.1. Conclusie

Het doel van het onderzoek is het bepalen hoe hoogwatervrije terreinen in het splitsingspuntengebied ingezet kunnen worden ten behoeve van de hoogwaterveiligheidsopgave, hierbij dienen de hydraulische effecten en de toepasbaarheid van de vrijgekomen grond optimaal te zijn. Het resultaat van dit onderzoek kan meegenomen worden rond toekomstige plannen binnen het Deltaprogramma.

Uit de categorisering van de vrijgekomen grond komt voort dat elk type grond uit de hoogwatervrije terreinen in aanmerking komt voor toepassingen binnen de Grond-, Weg- en Waterbouw. Indien de chemische kwaliteit van de grond uit de hoogwatervrije terreinen niet aan de wettelijke eisen voor bouwgrond voldoet, dient deze grond gesaneerd of afgevoerd te worden naar een erkend verwerker. De grond dient draagkrachtig te zijn en waterdoorlatend, in het geval de grond wordt gebruikt voor een toepassing waar constructieve eisen aan gesteld zijn. De zandgronden uit de hoogwatervrije terreinen kunnen toegepast worden als steunbermen, drainagelagen en constructieve ophogingen/aanvullingen. Voor erosiebestendige deklagen en isolatiemateriaal dient de grond een hoge waterdichtheid te hebben en vervormbaar te zijn om atmosferische belastingen op te vangen, de zandige klei uit de hoogwatervrije terreinen is hiervoor toepasbaar. Elke type grond kan toegepast worden als een niet constructieve ophoging. Grof zand is toepasbaar als toeslagmateriaal voor (asfalt)beton.

Uit de resultaten van de hydraulische effecten blijkt dat er combinaties mogelijk zijn tussen de varianten, waarbij het verschil in de afvoerverdeling per riviertak bij het splitsingspunt niet meer dan 5 m³/s bedraagt. De beste combinatie van de hoogwatervrije terreinen in de Waal – Pannerdensch kanaal, met het oog op de afvoerverdeling, is variant 3 Bemmel met variant 2 Scherpekamp. Bij deze varianten wordt voor beide terreinen de hoogwatervrije vergunning opgeheven. De beste combinatie in de Neder-Rijn – IJssel, met het oog op de afvoerverdeling, is variant 4 Stadsblokken met variant 3 Riverstone, bij deze varianten worden beide terreinen met de baan van de rivier gestroomlijnd.

De resultaten geven aan dat geheel afgraven van de terreinen de grootste waterstandverlaging oplevert. Echter blijkt wel dat het (kosten)efficiënter is om hoogwatervrije terreinen te stroomlijnen met de desbetreffende rivier in plaats van geheel afgraven, hierbij wordt al een aanzienlijke waterstandsverlaging gecreëerd. Bij stroomlijnen dient minder grond ontgraven te worden, kunnen verontreinigde spots vermeden worden en is met het oog op ruimtelijke ordening ook eenvoudiger uitvoerbaar. Bovendien blijkt het weghalen van de hoogwatervrije vergunning efficiënt, dit levert in bij alle varianten een waterstandverlaging op. Bij deze maatregel worden geen kosten gemaakt voor het afgraven van (verontreinigde) grond.

7.2. Discussie

De waterstandverlagingen die berekend zijn met het programma Waqua zijn in millimeters nauwkeurig. De uitkomsten uit Waqua zijn gebaseerd op empirisch bepaalde ruwheidseenheden in een schematisatie van een 2D-model, waar $16.000 \text{ m}^3/\text{s}$ water doorheen stroomt. Doordat de uitkomsten uit Waqua een schematisatie is van de werkelijkheid, is de mogelijkheid er dat de uitkomsten afwijken van de werkelijke situatie. Het Waqua-model is echter recent het nauwkeurigste model om hydraulische effecten mee door te rekenen, daarom is het onnodig geacht om de uitkomsten uit Waqua in twijfel te trekken.

Doordat de uitkomsten uit Waqua doorgerekend zijn met de maatgevende waterafvoer ($16.000 \text{ m}^3/\text{s}$), zijn de hydraulische effecten voor lage- en middenafvoeren niet bekend. Het gevolg van het meenemen van de hydraulische effecten bij lage- en middenafvoeren kan zijn dat deze effecten niet acceptabel zijn, terwijl de hydraulische effecten bij de maatgevende afvoer wel acceptabel zijn. Bovendien is er geen onderzoek uitgevoerd naar de morfologische effecten die kunnen optreden bij de varianten van de hoogwatervrije terreinen.

Uit de multicriteria analyse komt voort dat de combinatie van variant 4 Bemmelerwaard (afgraven Staatsbosbeheer) en variant 3 Scherpekerpolder (stroomlijnen) de beste combinatie is. Echter is het verschil in de waterstandverlaging bij de Pannerdenschekop $0,7$ centimeter richting de Waal, terwijl de waterstandsverlaging maximaal $0,2$ centimeter mag bedragen. Indien de combinatie van 4 Bemmelerwaard en 3 Scherpekerpolder toch interessant geacht wordt voor de hoogwaterveiligheidsopgave rond het splitsingspuntengebied, is het mogelijk deze combinatie uit te voeren met een maatregel die ervoor zorgt dat er meer water naar de Neder-Rijn of IJssel toe trekt.

De chemische en fysische kwaliteit van de grond in de hoogwatervrije terreinen zijn vastgesteld door het analyseren van de beschikbare bodemrapporten. Van de terreinen Scherpekerpolder, Riverstone en Stadsblokken zijn meerdere bodemrapporten beschikbaar, de uitkomsten waren per terrein per bodemrapport constant hetzelfde. Hierdoor kan gesteld worden dat bij een herhaling van een analyse van de bodem, de resultaten hetzelfde zouden zijn en dus valide. Echter zijn er voor Bemmelerwaard geen bodemonderzoeken beschikbaar en is er voor Scherpekerpolder alleen bodemonderzoek verricht voor een aantal deellocaties. Om over de grond van Scherpekerpolder een definitieve uitspraak te doen, dient een bodemonderzoek uitgevoerd te worden over het gehele terrein. Doordat er geen bodemonderzoek verricht is voor de hoogwatervrije terreinen in Bemmelerwaard kan er geen uitspraak gedaan worden over de toepasbaarheid van de desbetreffende grond.

7.3. Aanbevelingen

Uit dit onderzoek blijkt dat het weghalen van de hoogwatervrije vergunning een effectieve waterstandsverlaging oplevert die kostenefficiënt is. Bovendien blijkt dat het stroomlijnen van de hoogwatervrije terreinen meer waterstandsverlaging oplevert per kuub afgegraven grond, dan varianten waarbij het terrein geheel afgegraven wordt. Een advies op deze bevindingen is het starten van een onderzoek, waarbij gekeken wordt hoe de eigenaren van de terreinen ertegenover staan om de hoogwatervrije vergunning op te heffen. De hoogwatervrije vergunning eraf halen is het meest kostenefficiënt en is makkelijker uit te voeren dan het afgraven van een hoogwatervrij terrein, doordat er geen verdere ingrepen (afgravingen/kadeverlagingen) op het terrein dienen plaats te vinden.

Voor dit onderzoek is uitsluitend gerekend met de maatgevende hoogwaterstand van 16.000 m³/s bij Lobith. Om alle effecten op de afvoerverdeling ter hoogte van de splitsingspunten in beeld te krijgen, is het van belang dat de varianten ook doorgerekend worden met lage- en middenafvoeren. Op dit moment is niet bekend wat de effecten van deze afvoeren op de splitsingspunten zijn.

Klimaatpark IJsselpoort en Stadsblokken-Meinerswijk zijn toekomstige plannen in de uiterwaarden van de Neder-Rijn en IJssel, waar natuur, recreatie en hoogwaterveiligheid de speerpunten zijn. De hoogwatervrije terreinen Stadsblokken en Riverstone vallen binnen de projectgrenzen van deze plannen. Het is interessant om de gemaakte varianten van Riverstone en Stadsblokken in deze plannen te bekijken, ofwel mee te nemen. Tevens zorgen de plannen van Klimaatpark IJsselpoort en Stadsblokken-Meinerswijk ervoor dat er meer water richting de IJssel en Neder-Rijn wordt getrokken, dit maakt het interessant om het hydraulisch gunstig gelegen terrein van Staatsbosbeheer mee te nemen in de studie naar de hoogwaterveiligheidsopgave rond het splitsingspuntengebied. Verder is de benedenstroomse piek bij de varianten van Riverstone dermate hoog, dat gekeken dient te worden of deze te accepteren is volgens normen van het rivierkundig beoordelingskader voor ingrijpen in grote rivieren.

Bovendien wordt aanbevolen een aanvullend onderzoek uit te voeren naar de morfologische effecten. Als gevolg van de waterstandsverlaging is het mogelijk dat er ongewenste erosie/sedimentatie in het stroombed van de rivieren optreedt.

Bibliografie

- Arcadis. (2006). *Nader onderzoek Scherpekamp te Angeren*. Arcadis, Bodem. Arcadis.
- Both, M. d. *Regelwerk Pannerden*. Marijke's Natuurfotografie .
- David Kroekenstoel Rijkswaterstaat. (2017). *Rivierkundig Beoordelingskader voor ingrepen in de Grote Rivieren*. Water, Verkeer en Leefomgeving. Rijkswaterstaat.
- De Overheid. (2017). *Besluit Bodemkwaliteit*. Opgehaald van Wetten Overheid: <http://wetten.overheid.nl/BWBR0022929/2016-05-24>
- De Overheid. (2017). *Waterwet*. Opgeroepen op maart 2017, van Wetten Overheid: <http://wetten.overheid.nl/BWBR0025458/2017-01-01>
- Deltaris. (2012, november). *Stabilisatie binnentalud met steunberm*. Opgehaald van Wiki Noodmaatregelen: http://v-web002.deltares.nl/sterktenoodmaatregelen/index.php/Stabilisatie_binnentalud_met_steunberm
- Ersi Nederland & Community Maps Contributors, AHN. (sd). AHV viewer.
- Frank Harbers (HSRO), Claus van den Brink (Arcadis). (2013, maart 18). Notitie Hoogwaterveiligheid Looveer. *Notitie Hoogwaterveiligheid Looveer*. Gelderland, Nederland: Rijkswaterstaat.
- Gemeente Lingewaard. (2016). *Herinrichtingsplan Bemmelse Waard 2016*. Gemeente Lingewaard.
- Grondmij Arnhem. (2015). *Verkennd waterbodemonderzoek Bemmelse Waard, Definitief*. Grondmij Nederland B.V. Arnhem.
- Hommel, R. d. *Regelwerk Hondbroeksche Pleij Westervoort*. Ronald de Hommel Fotografie.
- Ing. H.C.M. Bosch. (2016). *Milieukundig bodemonderzoek Project Huissensche Waarden*. Bodem. Waddinxveen: Inpijn Blokpoel Milieu B.V.
- Ir. G.J. van Bergen. (1994). *Saneringsonderzoek Stadsblokken-Meinerswijk*. Royal Haskoning DHV, Milieu. Royal Haskoning DHV.
- Jesse, P. (2017). Klimaatpark IJsselpoort. (R. Nuij, & R. van Renswoude, Interviewers)
- Jongmans, A., van den Berg, M., Sonneveld, M., Peek, G., & van den Berg van Saparoea, R. (2012). *De Landschappen van Nederland*. Wageningen Academic Publishers.
- Krijn van den Herik (Deltaprogramma Rivieren). (2016). *Voorkeursstrategie naar het jaar 2100*. Provincies Gelderland en Overijssel, Waterschappen Rijn en IJssel, Groot Salland en Vallei en Veluwe, Rijkswaterstaat en het Deltaprogramma Rivieren, Deltaprogramma Rivieren. Rijksoverheid.
- Lectoraat Sustainable Flood Defense in River Systems. (2017). *Gesloten grondbalans bij dijkversterkingsprojecten*. Velp: van Hall Larenstein.
- Marieke Hulshof, Gijs Frencken. (2011). *Gebiedsvisie Stadsblokken-Meinerswijk*. Arnhem: Gemeente Arnhem.
- Mevr. ing. I.M. Bruns . (1998). *Locatie-onderzoek naar voormalige steenfabriek "de Groot" te Rheden*. Verhoeve Milieu B.V., Milieu. Hengelo: Verhoeve Milieu B.V.

- Nutrinorm. (sd). *Bodemstructuur*. Opgehaald van Nutrinorm: <http://www.nutrinorm.nl/nl-nl//bodem/aandachtspunten-op-bodems/bodemstructuur>
- Nutrinorm. (sd). *Vaststellen van de textuur*. Opgehaald van Nutrinorm: <http://www.nutrinorm.nl/nl-nl//bodem/aandachtspunten-op-bodems/vaststellen-van-de-textuur>
- Provincie Gelderland. (2017). Asbest verdachte activiteiten. Bemmelen, Gelderland, Nederland.
- Provincie Gelderland. (2017). Bodemverontreinigingen. Bemmelen, Gelderland, Nederland.
- Ragna Jansen, Arcadis. (2013). *Risicobeoordeling ASM terrein Arnhem*. Arcadis, Milieu. Arcadis.
- Rijksoverheid. (2017). *Bestemmen van baggerspecie en producten, Toepassen producten uit baggerspecie als toeslagmateriaal voor beton en asfalt*. Opgeroepen op april 2017, van Bodemrichtlijn: <https://www.bodemrichtlijn.nl/Bibliotheek/bodemsaneringstechnieken/h-behandelen-en-bestemmen-va9446/h8-bestemmen-van-baggerspecie-en-producten/bestemmen-van-baggerspecie-en-producten-toepassen-producten-uit-b9678>
- Rijksoverheid. (2017, april). *Bestemmen van baggerspecie en producten, Toepassen producten uit baggerspecie in wegenbouw*. Opgehaald van Bodemrichtlijn: <https://www.bodemrichtlijn.nl/Bibliotheek/bodemsaneringstechnieken/h-behandelen-en-bestemmen-va9446/h8-bestemmen-van-baggerspecie-en-producten/bestemmen-van-baggerspecie-en-producten-toepassen-producten-uit-b9676>
- Rijksoverheid. (2017, april). *Isolatie, bovenafdicthting, uitvoeringsvormen, drainagelaag*. Opgehaald van Bodemrichtlijn: <https://www.bodemrichtlijn.nl/Bibliotheek/bodemsaneringstechnieken/f-isolatie/f2-methode-bovenafdicthting/isolatie-bovenafdicthting-uitvoeringsvormen-drainagelaag>
- Rijksoverheid. (sd). *Deltaprogramma*. Opgeroepen op februari 2017, van Rijksoverheid: <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/deltaprogramma/inhoud/deltaprogramma-bescherming-tegen-overstromingen-en-zoetwatertekort>
- Rijksoverheid. (sd). *Richtlijn herstel en beheer (water)bodemkwaliteit*. Opgehaald van bodemrichtlijn: <https://www.bodemrichtlijn.nl/Bibliotheek/bodemsaneringstechnieken/h-behandelen-en-bestemmen-va9446/h8-bestemmen-van-baggerspecie-en-producten/bestemmen-van-grond-en-baggerspecie-en-producten-toepassing-van-b9664>
- Rijkswaterstaat. (2016). *Een blik vooruit op hoogwatervrije terreinen*. velp: van Hall Larenstein.
- Rijkswaterstaat. (2016). *Kadeverlaging Scherpekamp*. Rijkswaterstaat.
- Rijkswaterstaat. (2017, februari 21). *WAQUA*. Opgeroepen op maart 2017, van www.helpdeskwater.nl: <https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/applicaties-modellen/applicaties-per/watermanagement/watermanagement/waqua/>
- Rijkswaterstaat. (sd). *Bodemrichtlijn*. Opgeroepen op maart 2017, van www.bodemrichtlijn.nl
- Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen. (1996). *Klei voor dijken*. Delft: RWS.

Reflectie

In de reflectie wordt kritisch teruggekeken naar het onderzoeksproces van Rik Nuij en Raymond van Renswoude. Hieronder valt een reflectie op het literatuuronderzoek, de gehanteerde onderzoeksmethodologie, de onderzoeksuitkomsten en het persoonlijk functioneren.

De beschikbare theorie die opgezocht is, was bruikbaar voor het onderzoek, de inzichten uit de bodemrapporten, ten behoeve van de chemische- en fysische kwaliteit van de hoogwatervrije terreinen waren het meest bruikbaar. Alleen van de hoogwatervrije terreinen in Bemmelen was het niet mogelijk om bodemrapporten van te verkrijgen. De beschreven theorie in het theoretisch kader bood een goed houvast voor het vervolg van het onderzoek. Met name voor het onderdeel, optimaal omgaan met de vrijkomende grond, is het theoretisch kader een goed houvast geweest. Uiteindelijk bleek dat meer literatuuronderzoek nodig was dan gepland, het hergebruik van vrijkomende grond was complexer dan in het onderzoeksplan gedacht. Hierbij zijn wij op weg geholpen door collega's van Rijkswaterstaat die wel over deze kennis beschikken.

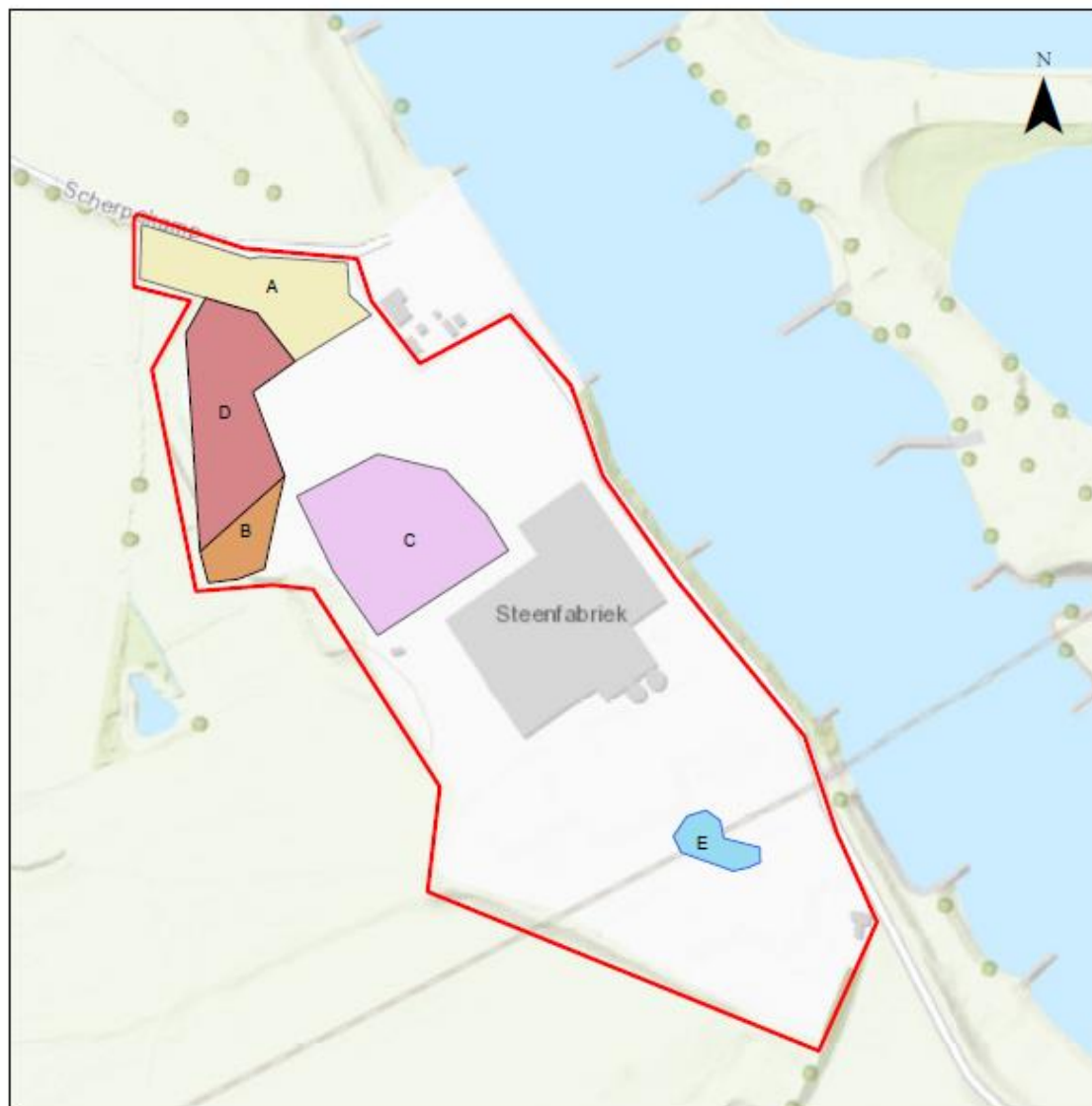
In het onderzoeksplan is beschreven dat de interviews duidelijk en uitgebreid toegelicht zouden worden, echter was dit niet nodig geacht, aangezien de gewonnen informatie marginaal voor het onderzoek was.

De onderzoeksuitkomsten bieden voldoende inzicht om tot relevante aanbevelingen te komen. De resultaten waren voor ons deels lastig in te schatten. Het was al wel bij ons bekend dat er verontreinigingen in de bodem van de terreinen zat, maar het was wel verassend uiteindelijk dat meer dan de helft van de grond in de hoogwatervrije terreinen schoon is. Of de waterstandsverlagingen elkaar zouden opheffen bij de splitsingspunten hadden we niet een verwachtingspatroon bij, aangezien we nog niet echt een idee hadden wat de te verwachten waterstandsverlagingen waren.

De samenwerking gedurende het onderzoek was goed, afspraken werden nagekomen en de kwaliteit van de producten zijn goed. Onderling zijn er wel discussies geweest, deze problemen hebben we samen opgelost en hebben geen verdere negatieve gevolgen gehad voor het onderzoek. Leerpunt voor ons is om duidelijk te hebben welke producten voor het onderzoek geleverd moeten worden en welke zaken voor het onderzoek relevant zijn. Wij hebben veel momenten gehad dat we zoekende waren, wat relevant en benodigd was voor het onderzoek.

Bijlage 1 Deellocaties Scherpekamp

Deellocaties Scherpekamp



Legenda

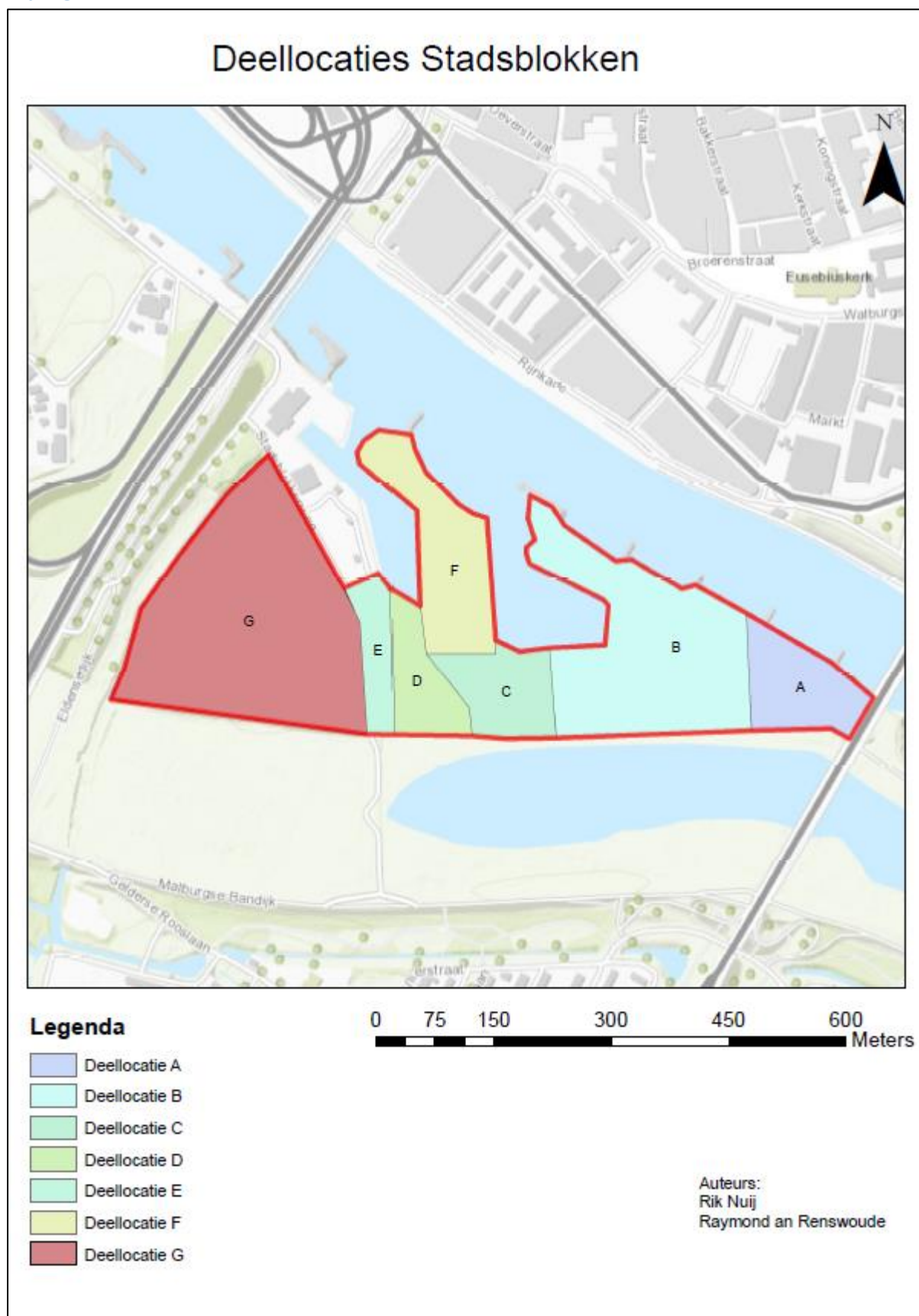
- Deellocatie A
- Deellocatie B
- Deellocatie C
- Deellocatie D
- Deellocatie E

0 50 100 200 300 400 Meter

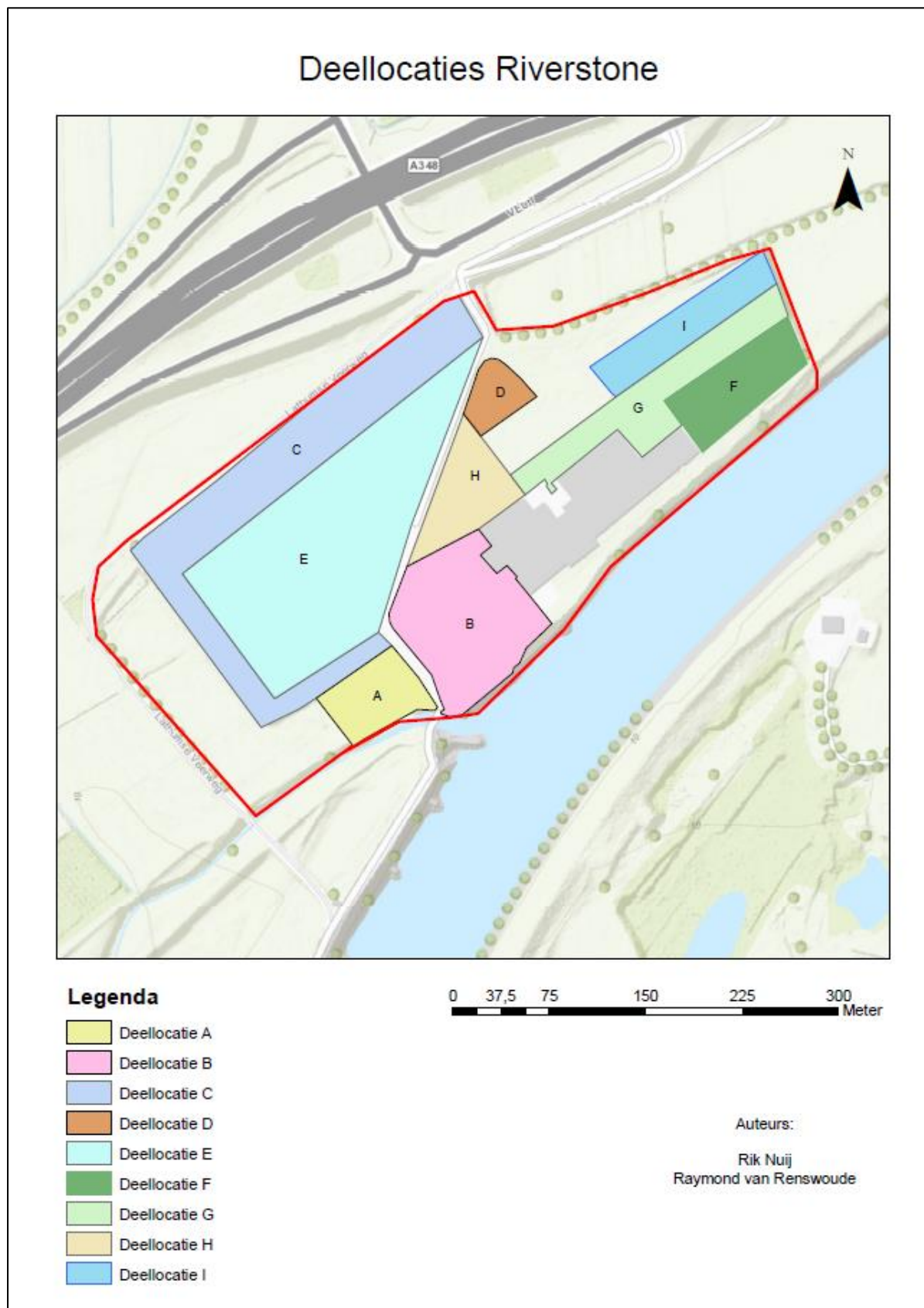
Auteurs:

Rik Nuij
Raymond van Renswoude

Bijlage 2 Deellocaties Stadsblokken

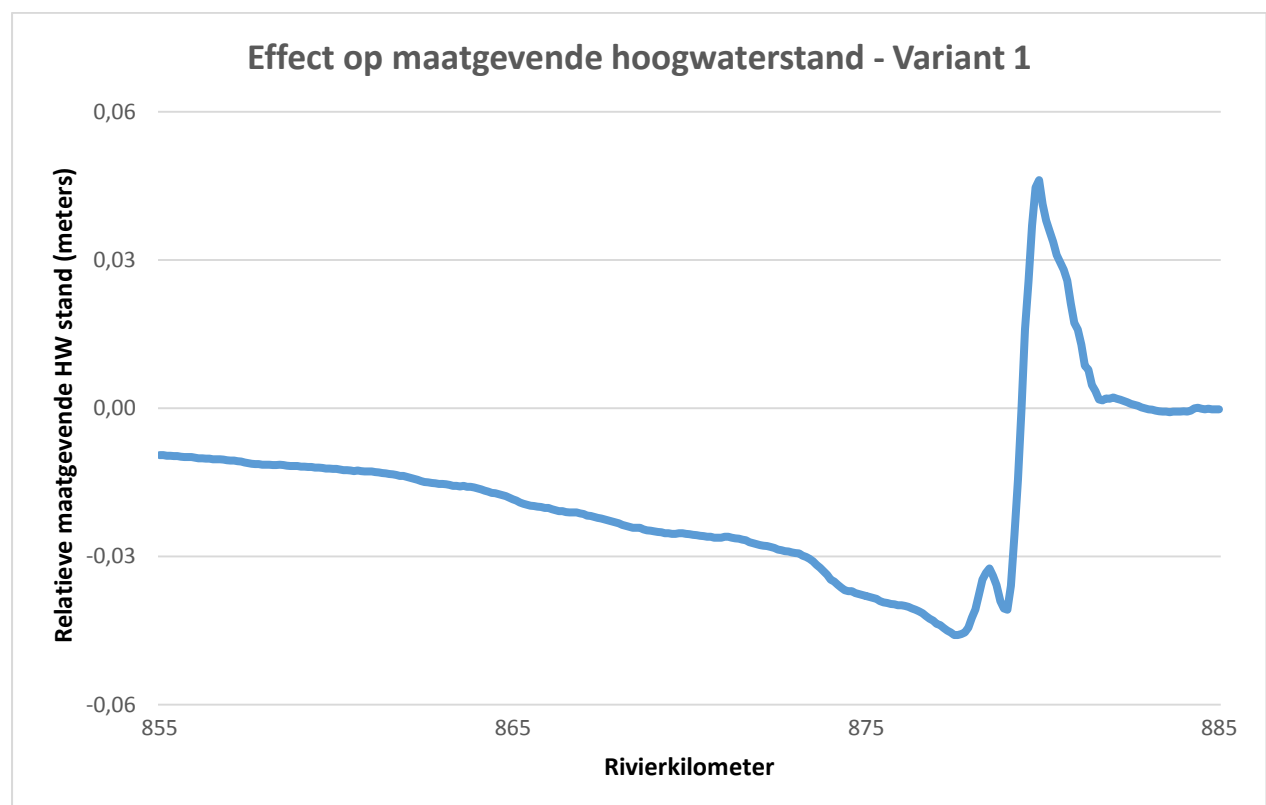
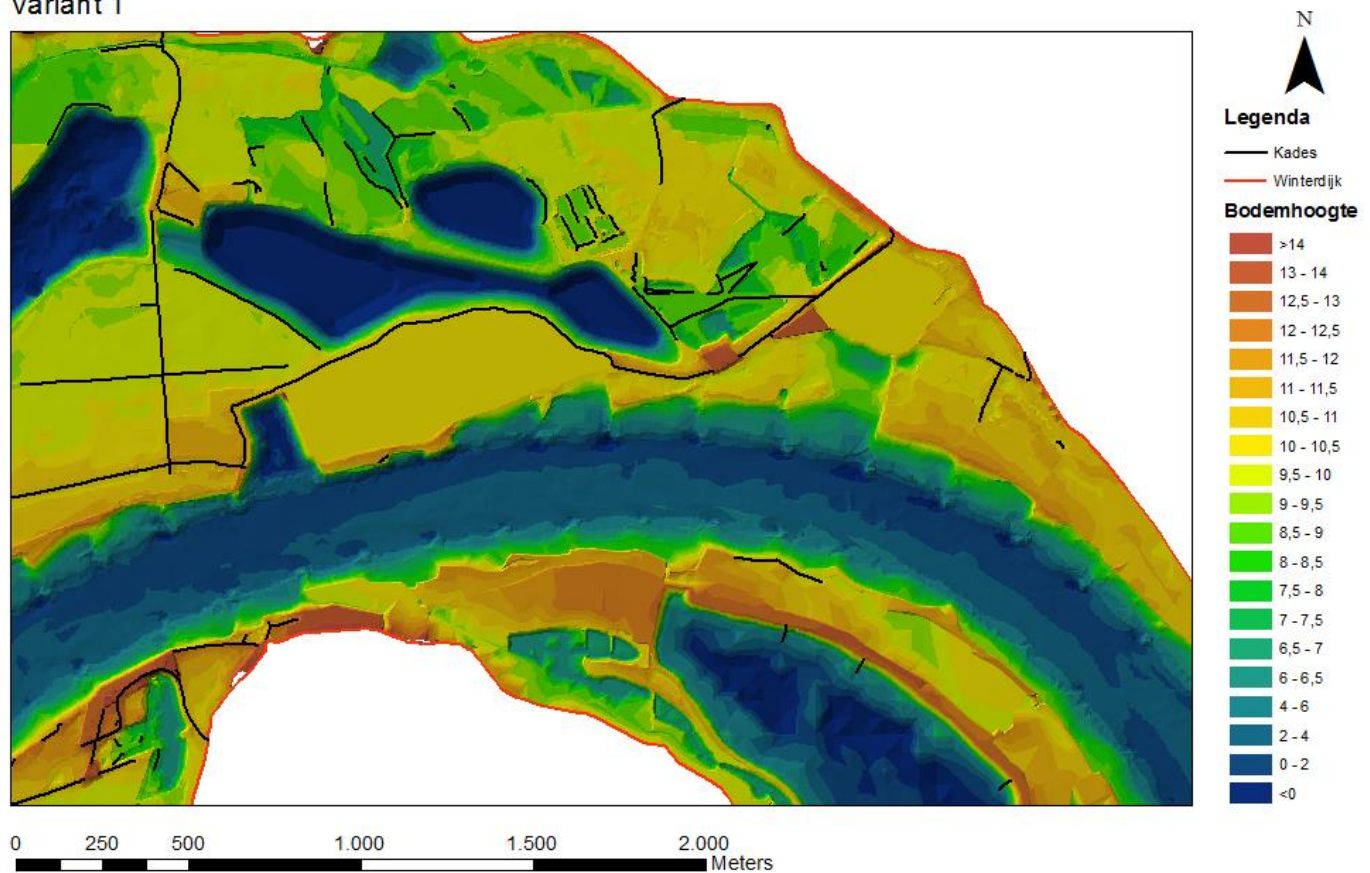


Bijlage 3 Deellocaties Riverstone



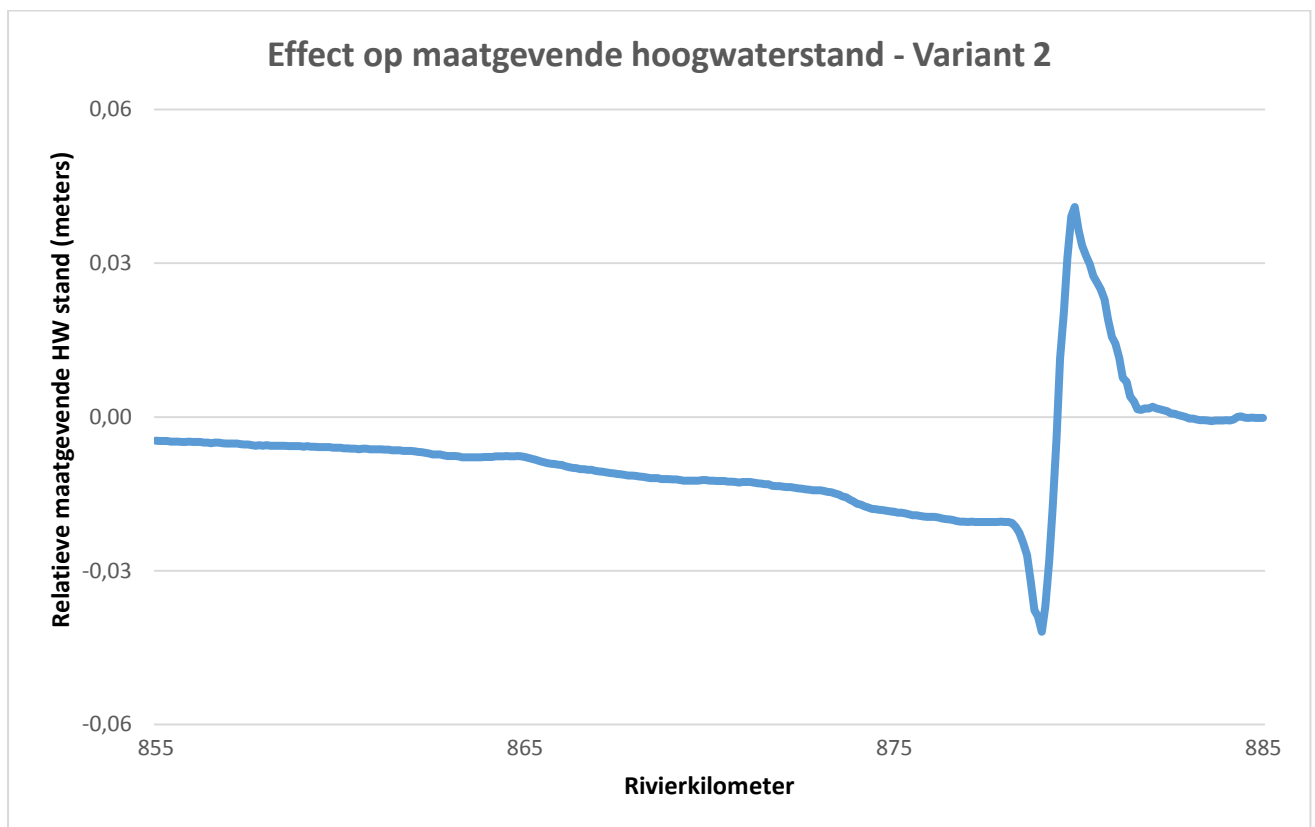
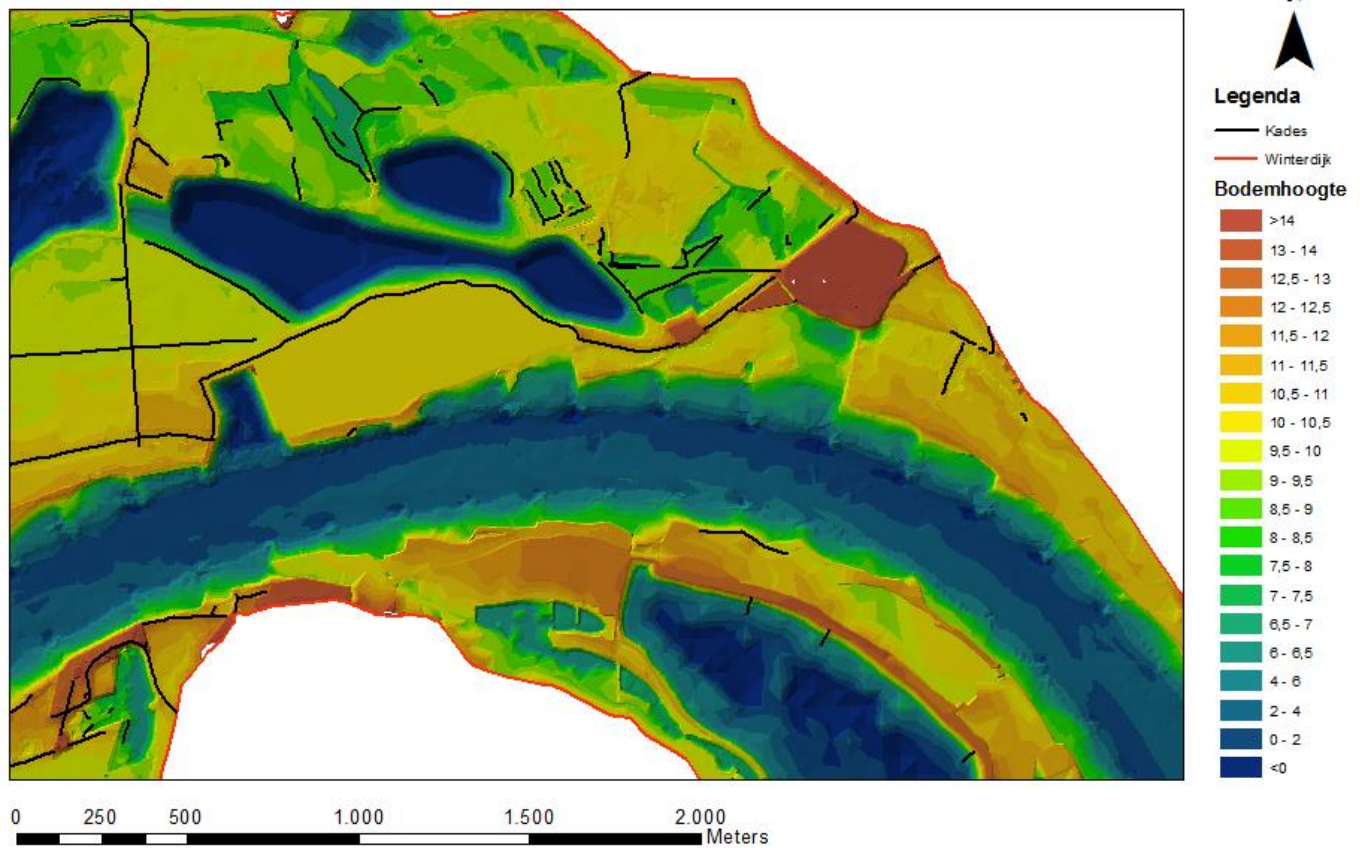
Bijlage 4 Bemmeler – Variant 1

Variant 1



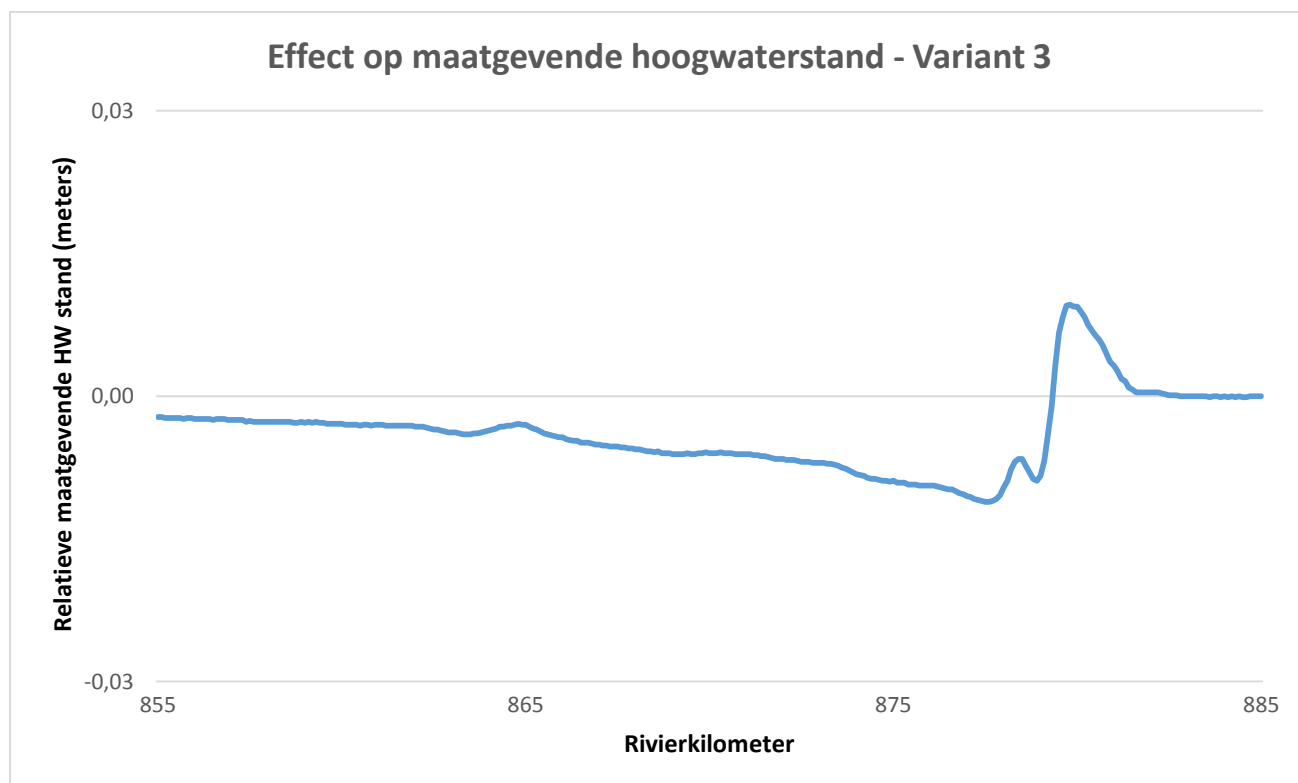
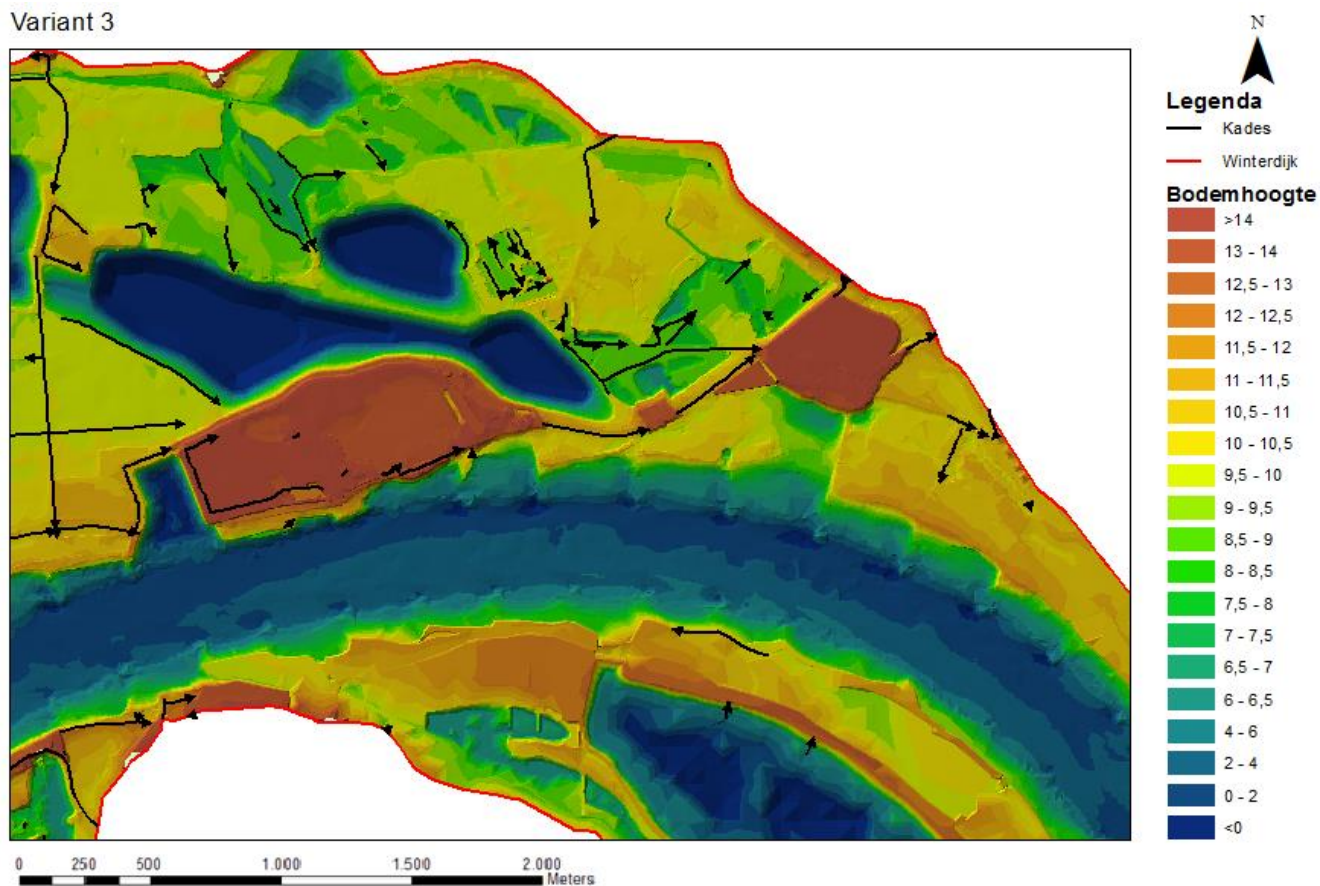
Bijlage 5 Bemmeler – Variant 2

Variant 2



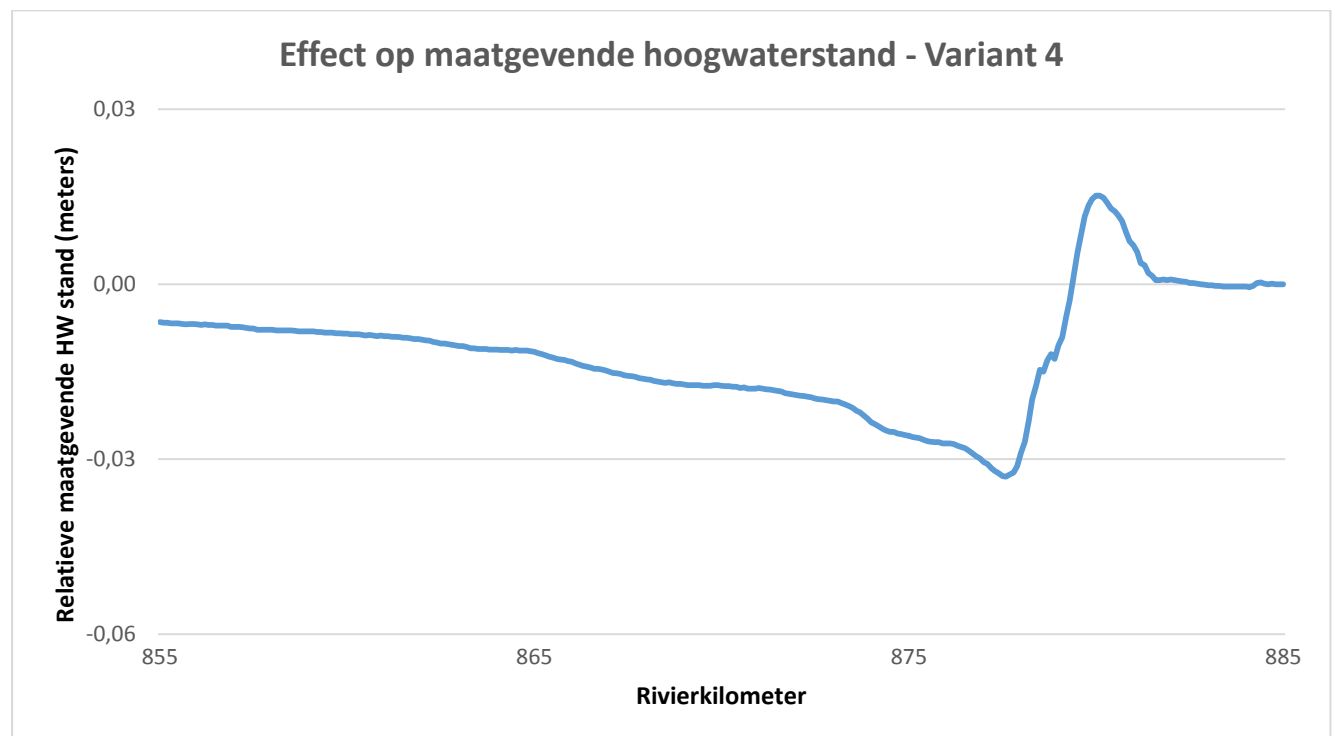
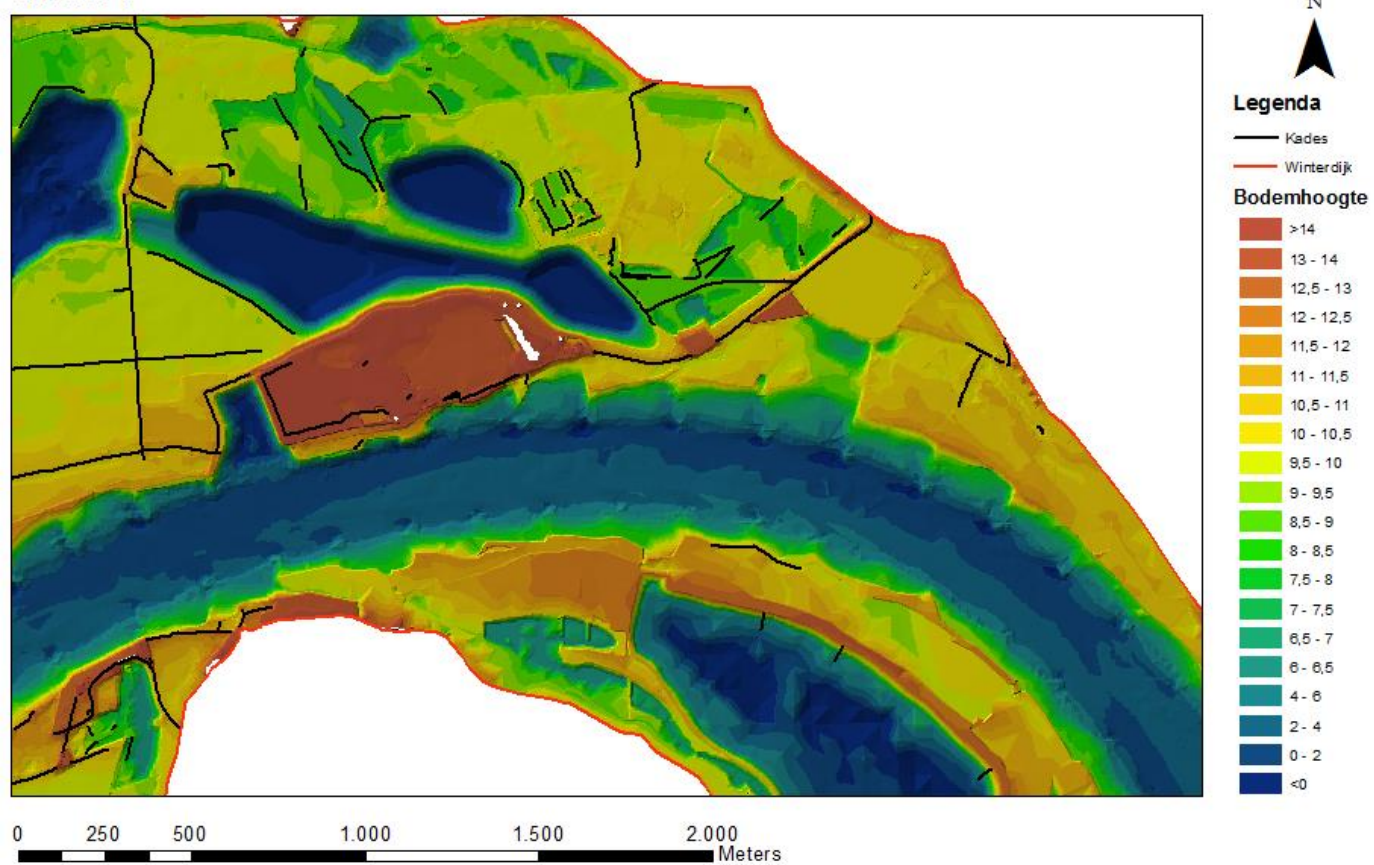
Bijlage 6 Bemmel – Variant 3

Variant 3



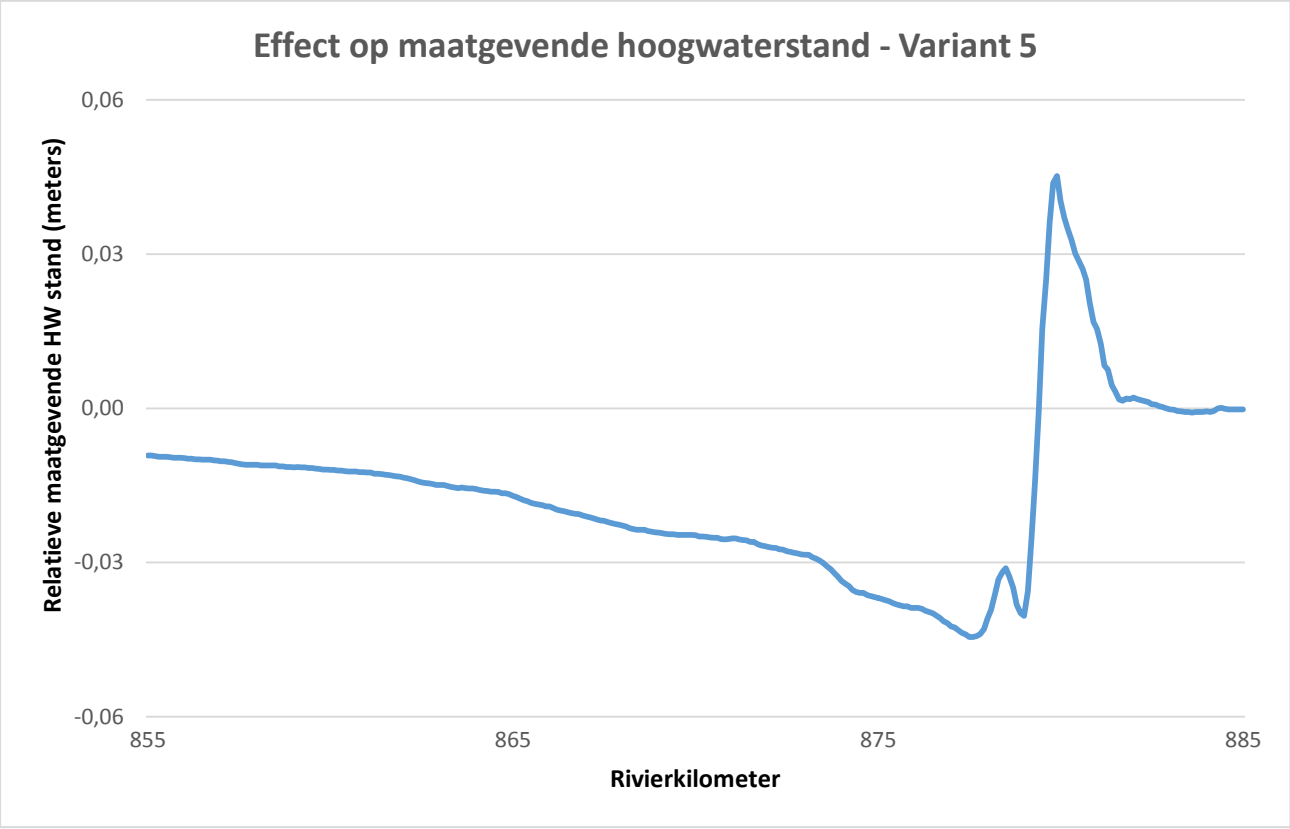
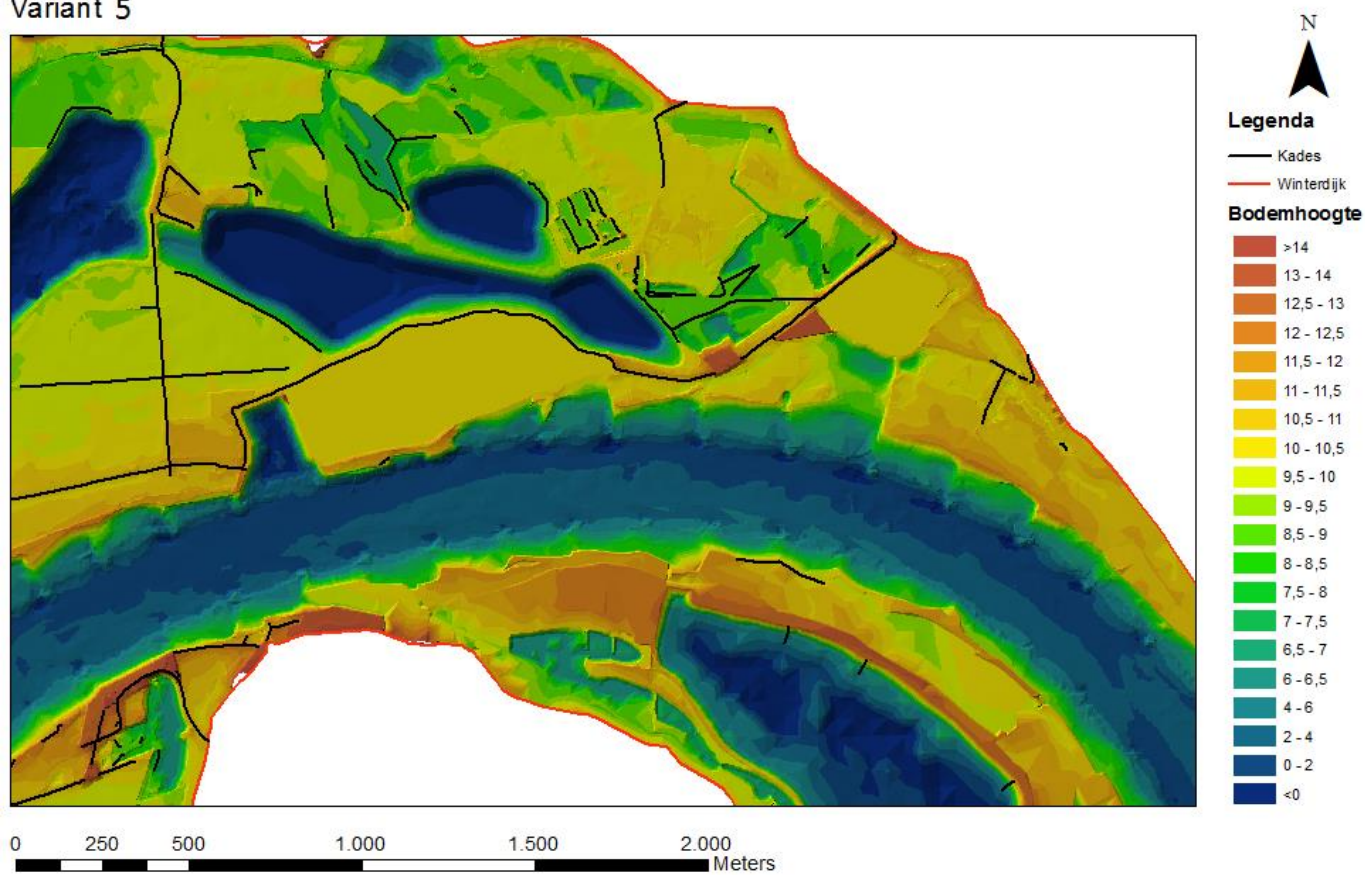
Bijlage 7 Bemmeler – Variant 4

Variant 4



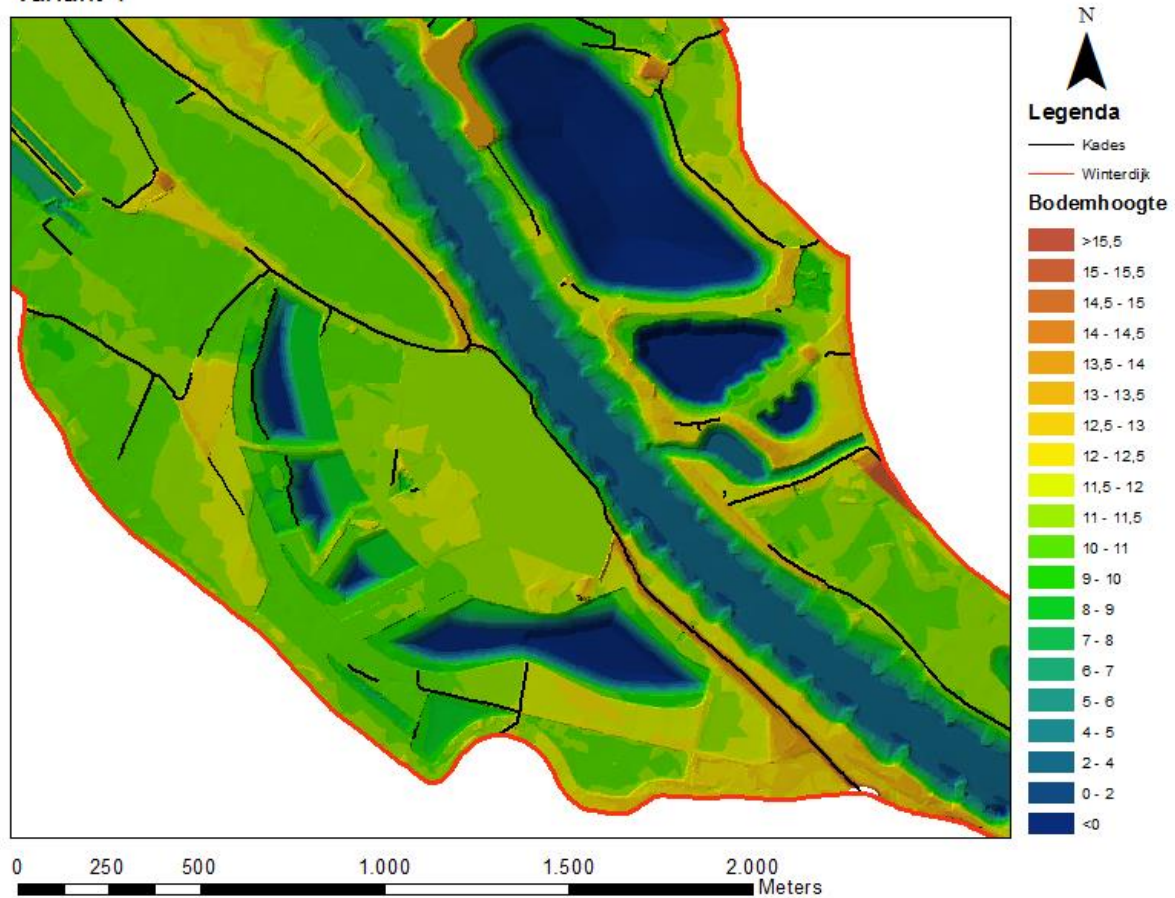
Bijlage 8 Bemmeler – Variant 5

Variant 5

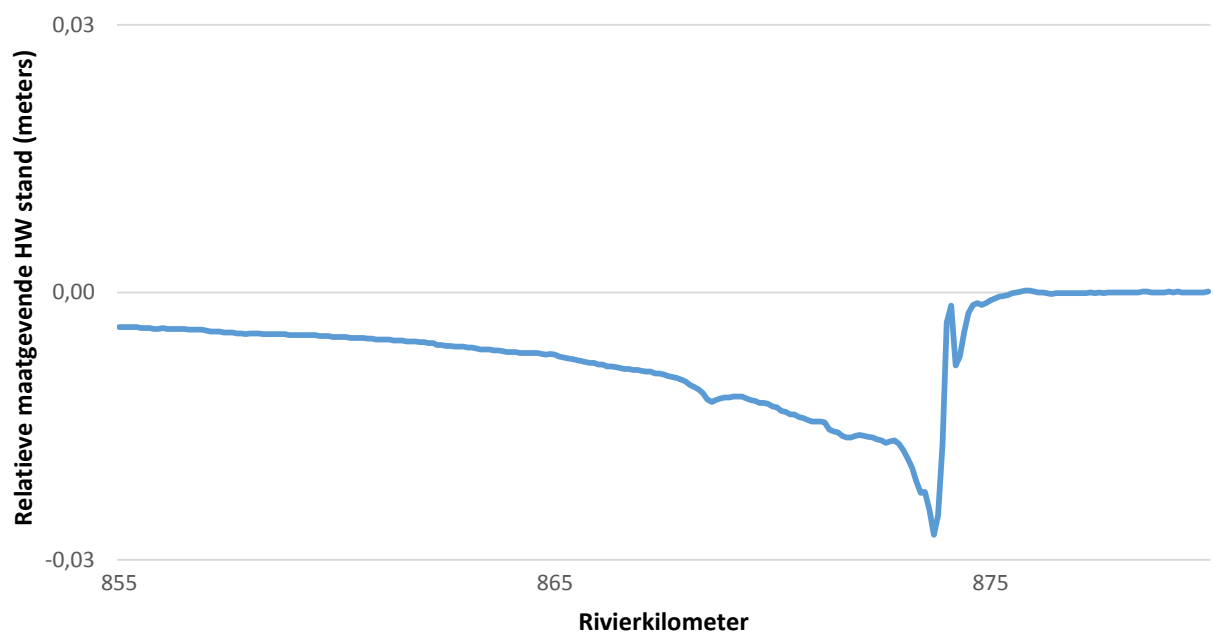


Bijlage 9 Scherpekamp – Variant 1

Variant 1

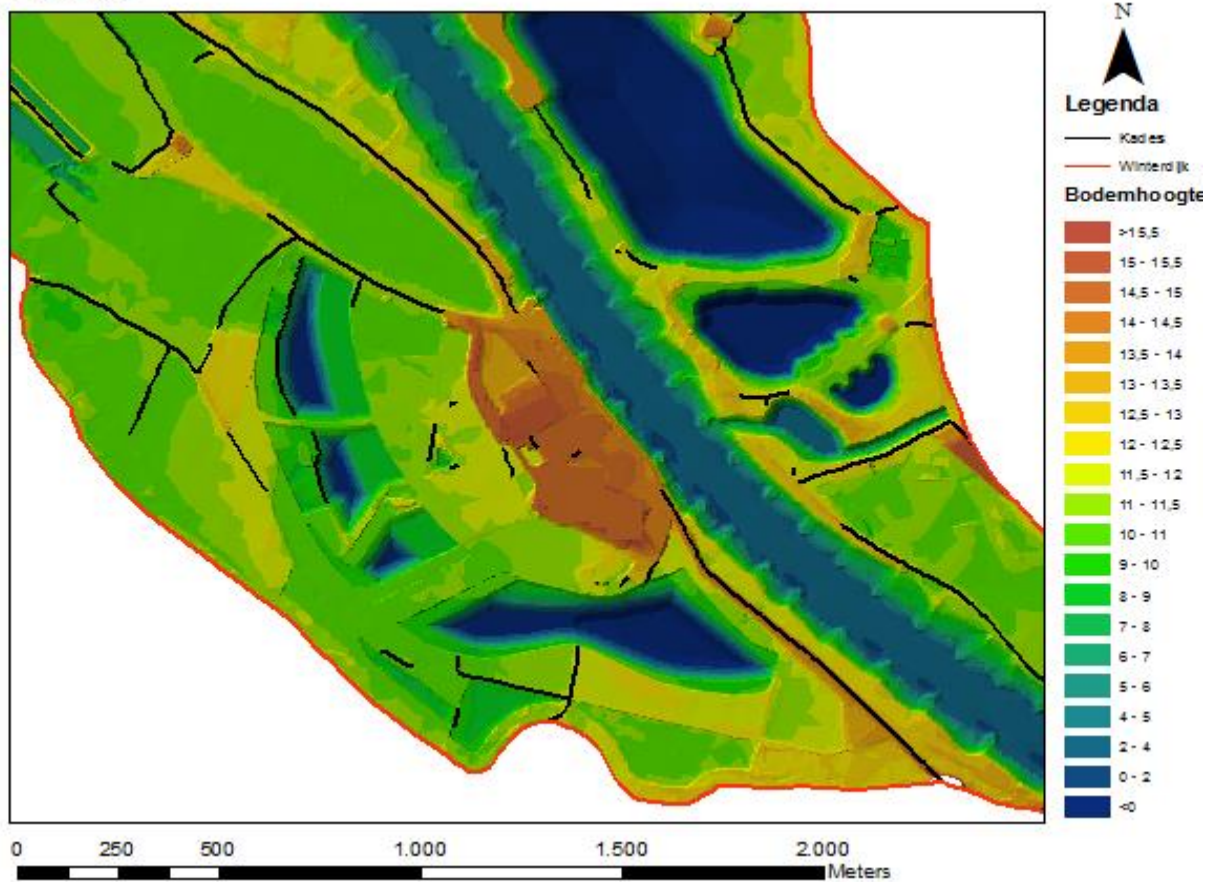


Effect op maatgevende hoogwaterstand - Variant 1

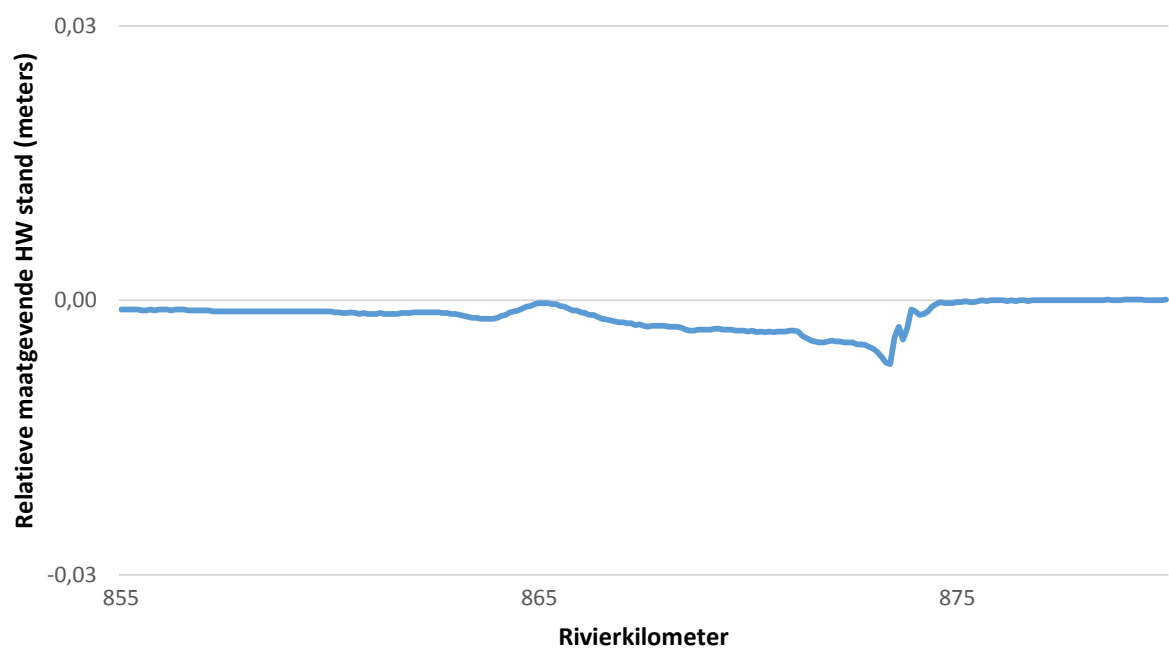


Bijlage 10 Scherpekamp – Variant 2

Variant 2

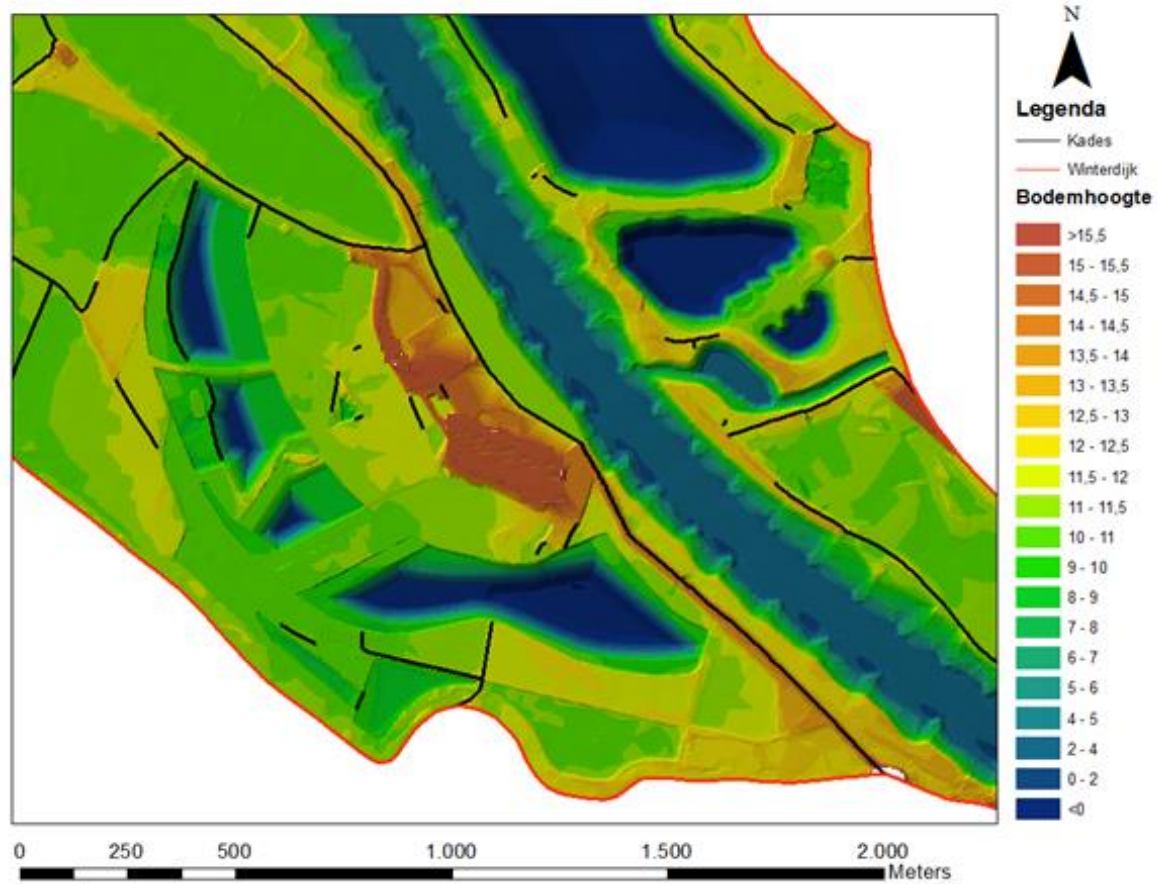


Effect op maatgevende hoogwaterstand - Variant 2

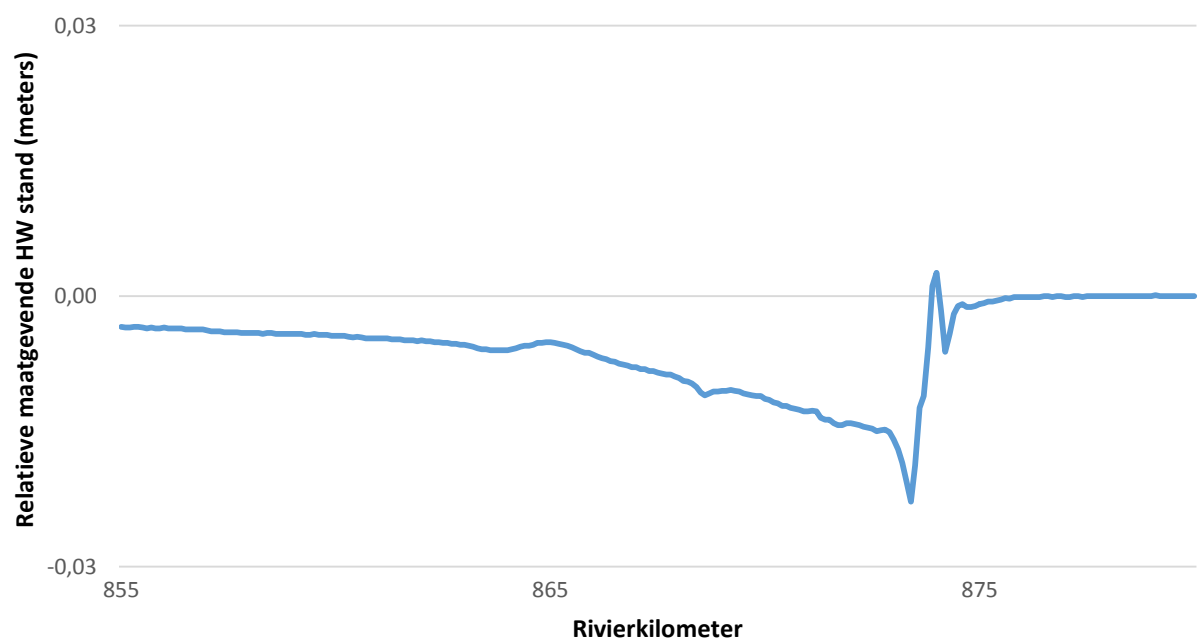


Bijlage 11 Scherpekamp – Variant 3

Variant 3

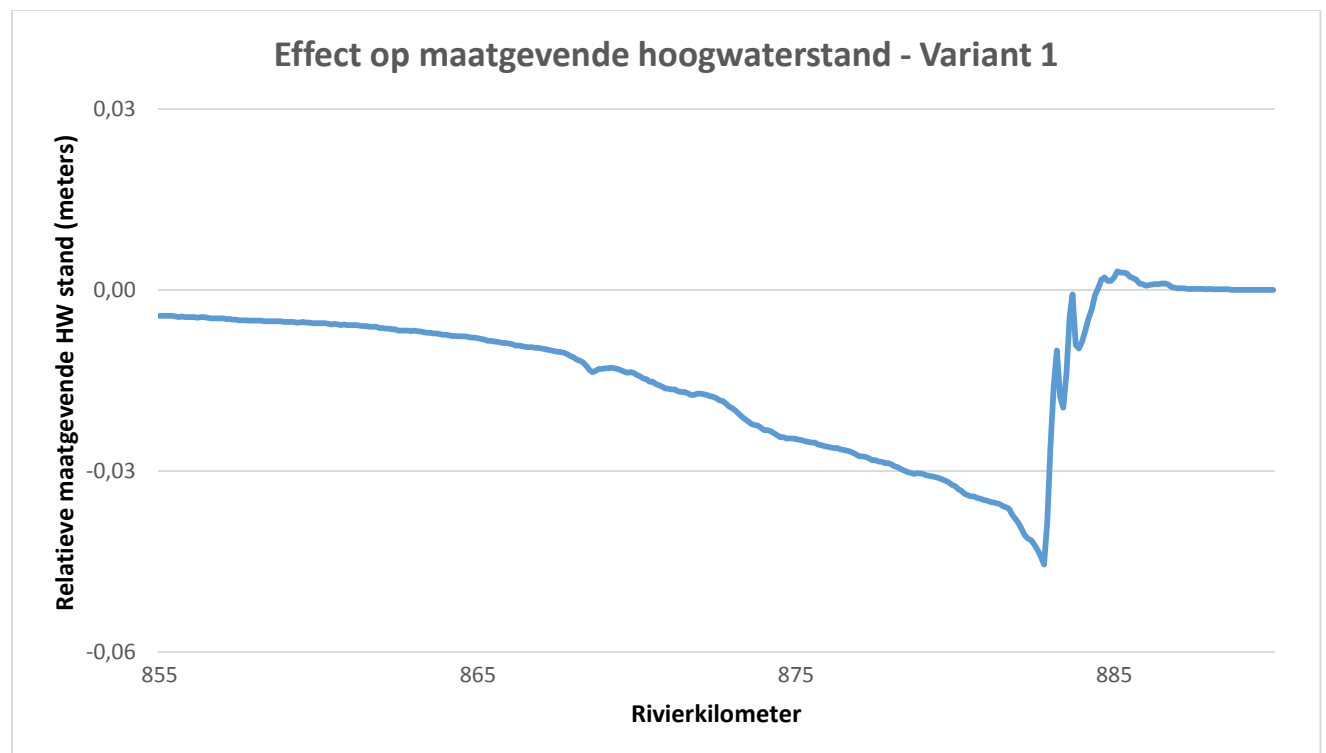
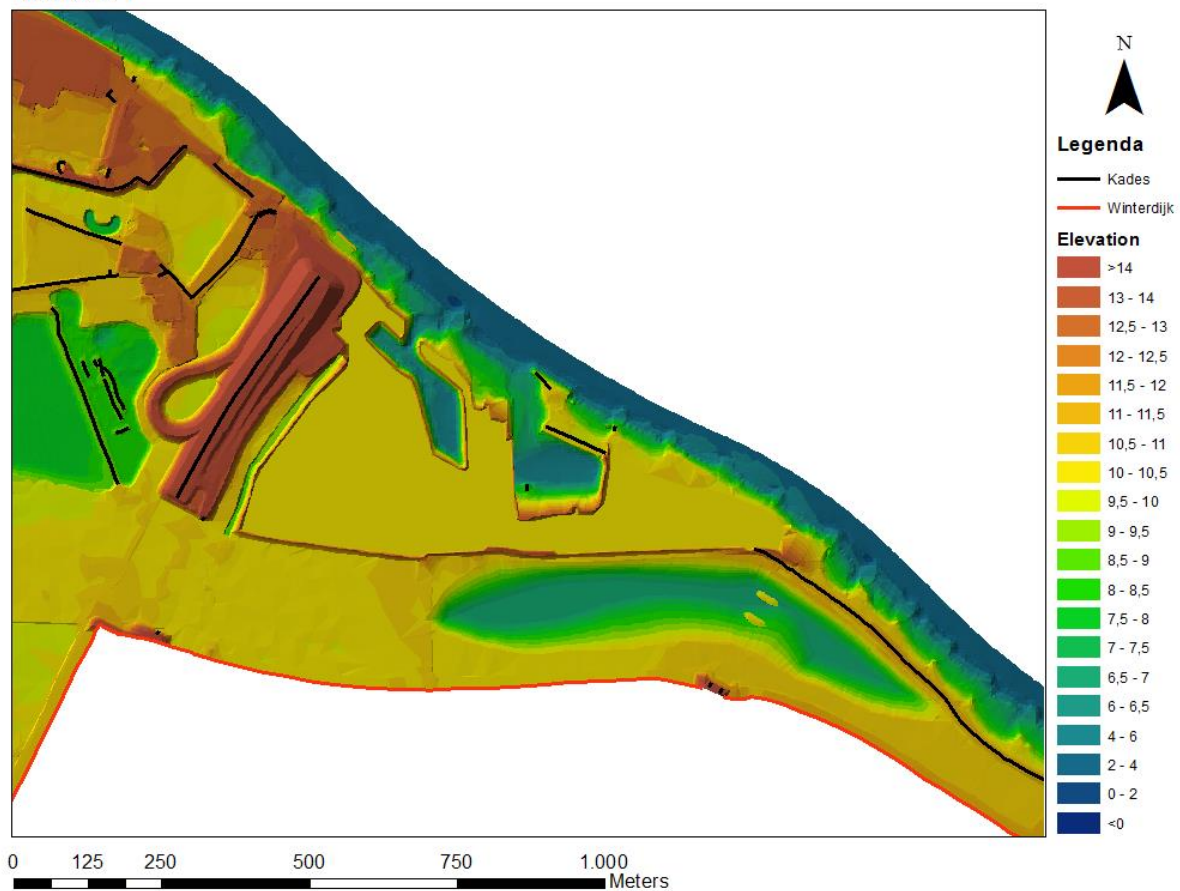


Effect op maatgevende hoogwaterstand - Variant 3



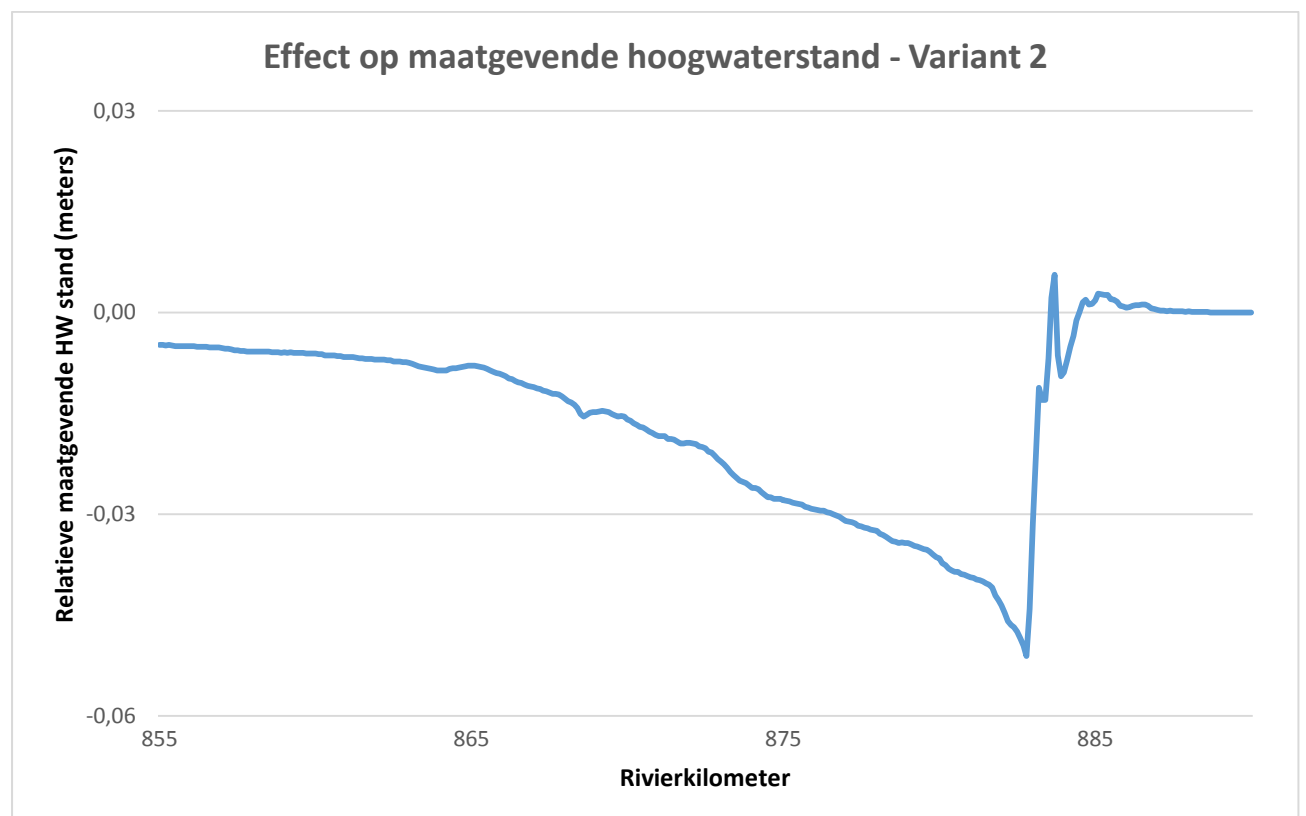
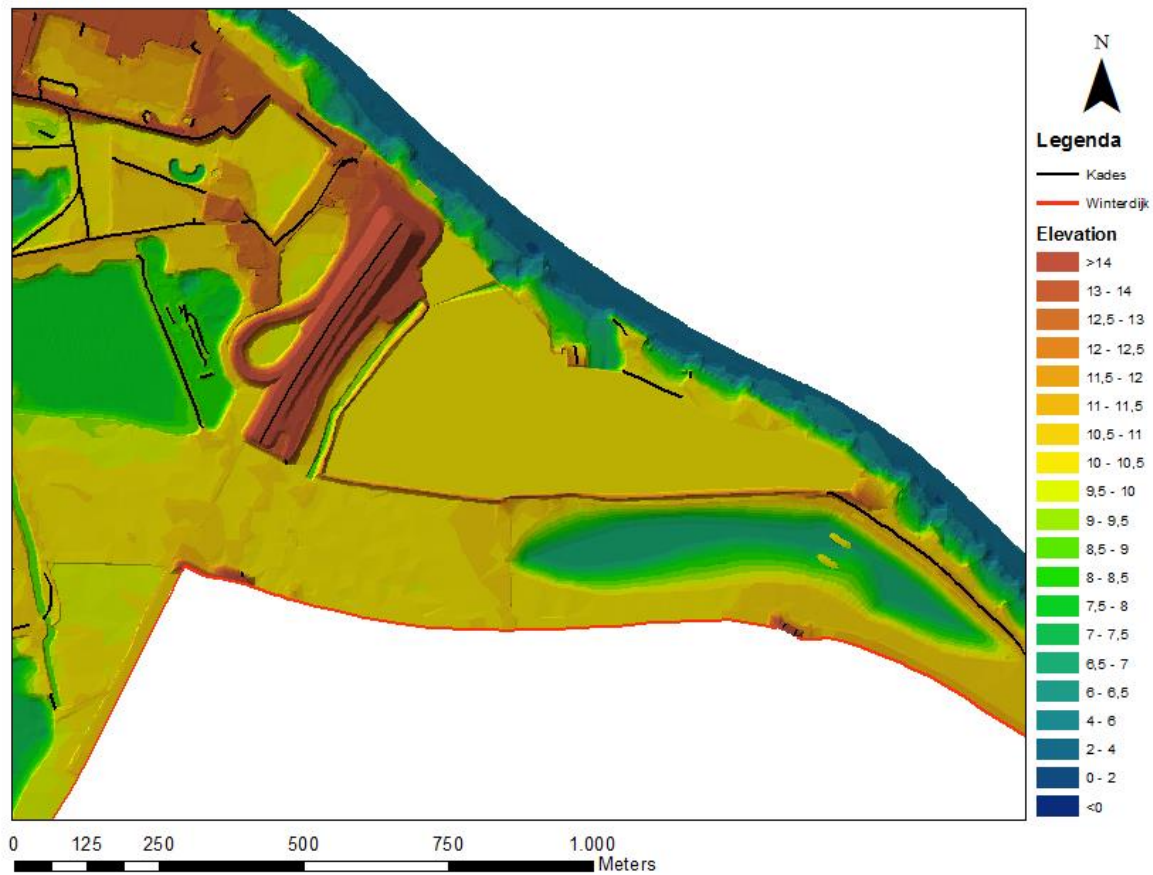
Bijlage 12 Stadsblokken – Variant 1

Variant 1



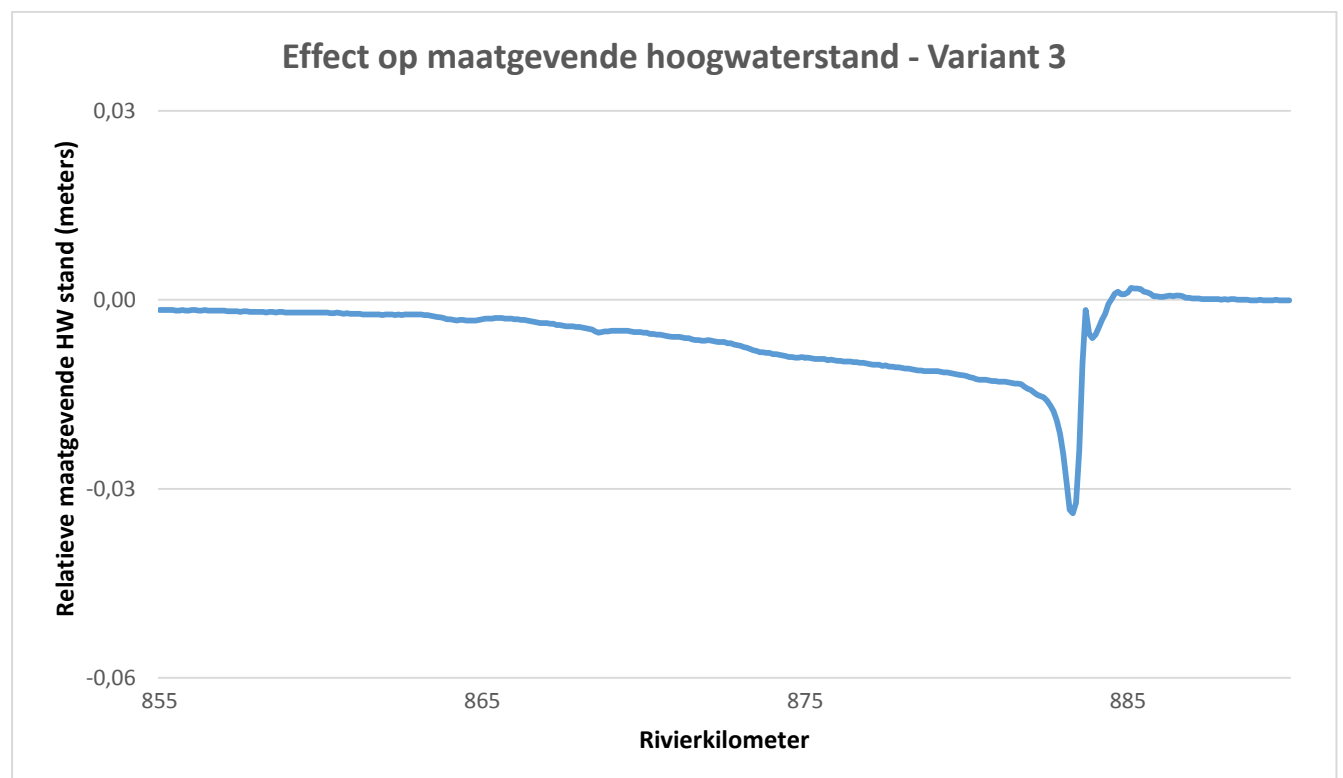
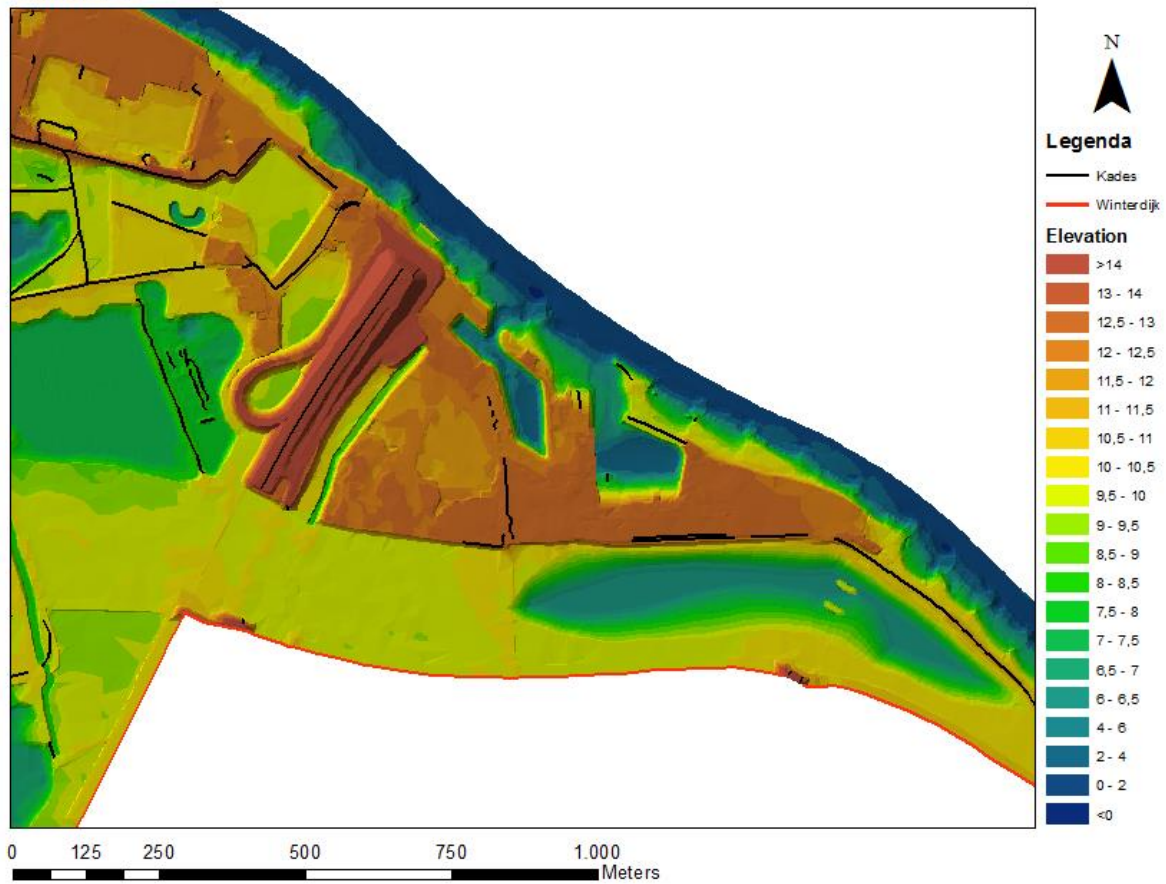
Bijlage 13 Stadsblokken – Variant 2

Variant 2



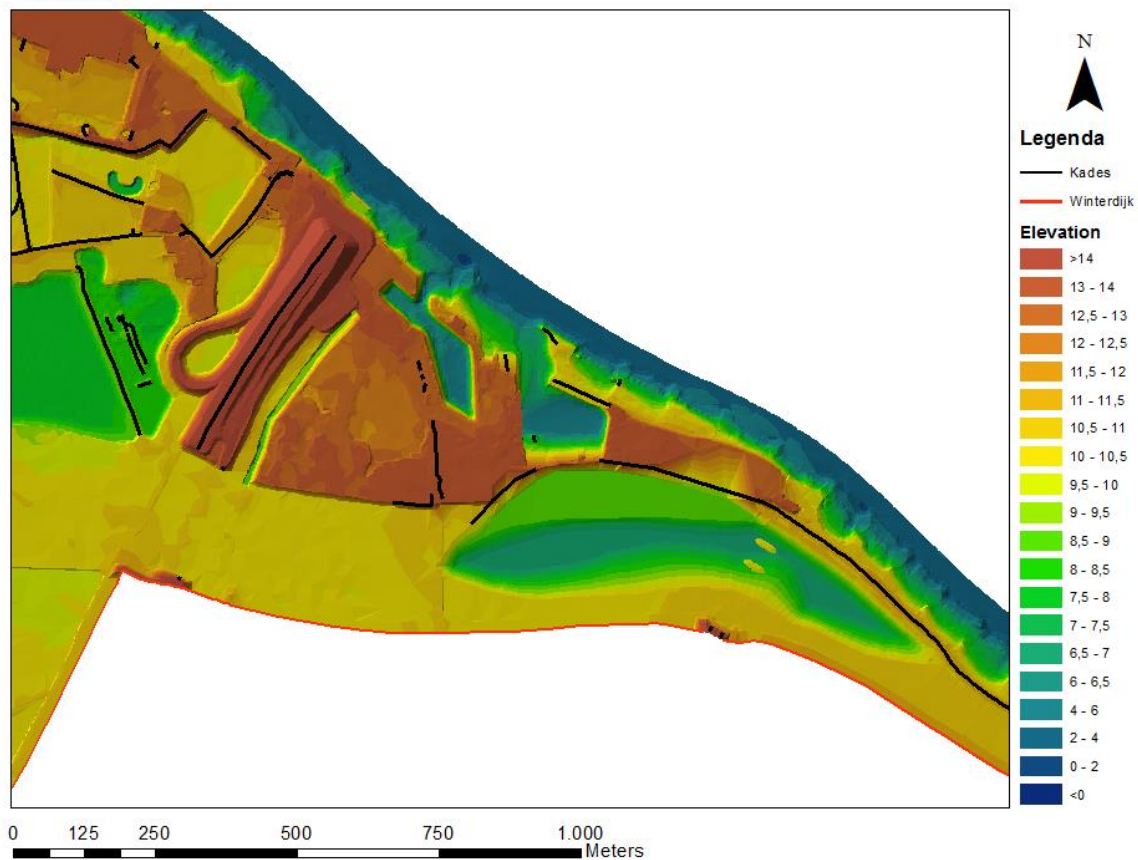
Bijlage 14 Stadsblokken – Variant 3

Variant 3

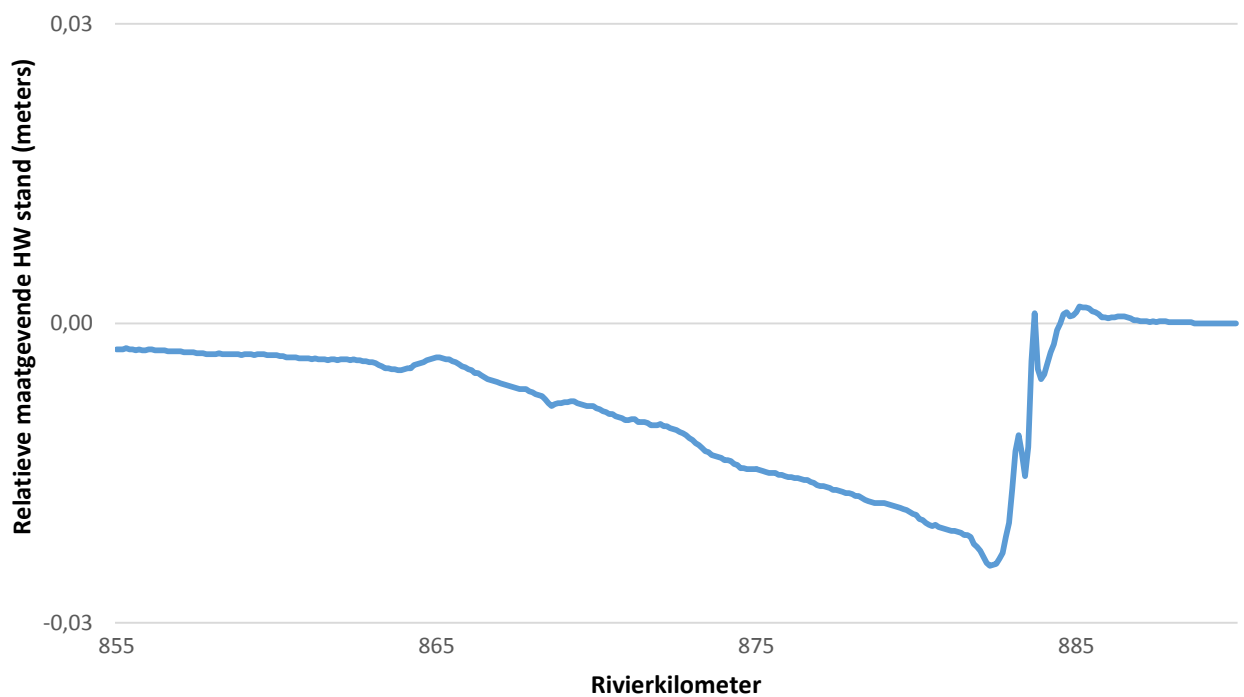


Bijlage 15 Stadsblokken – Variant 4

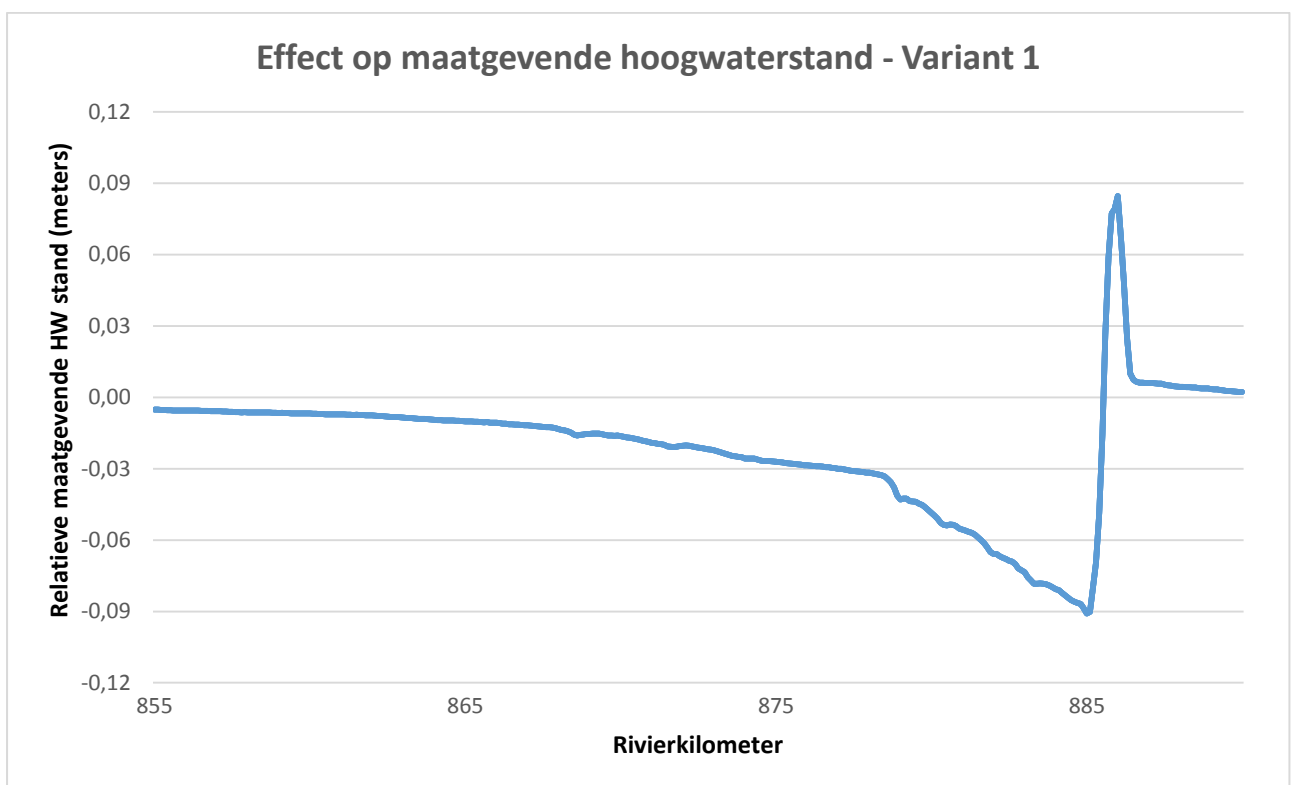
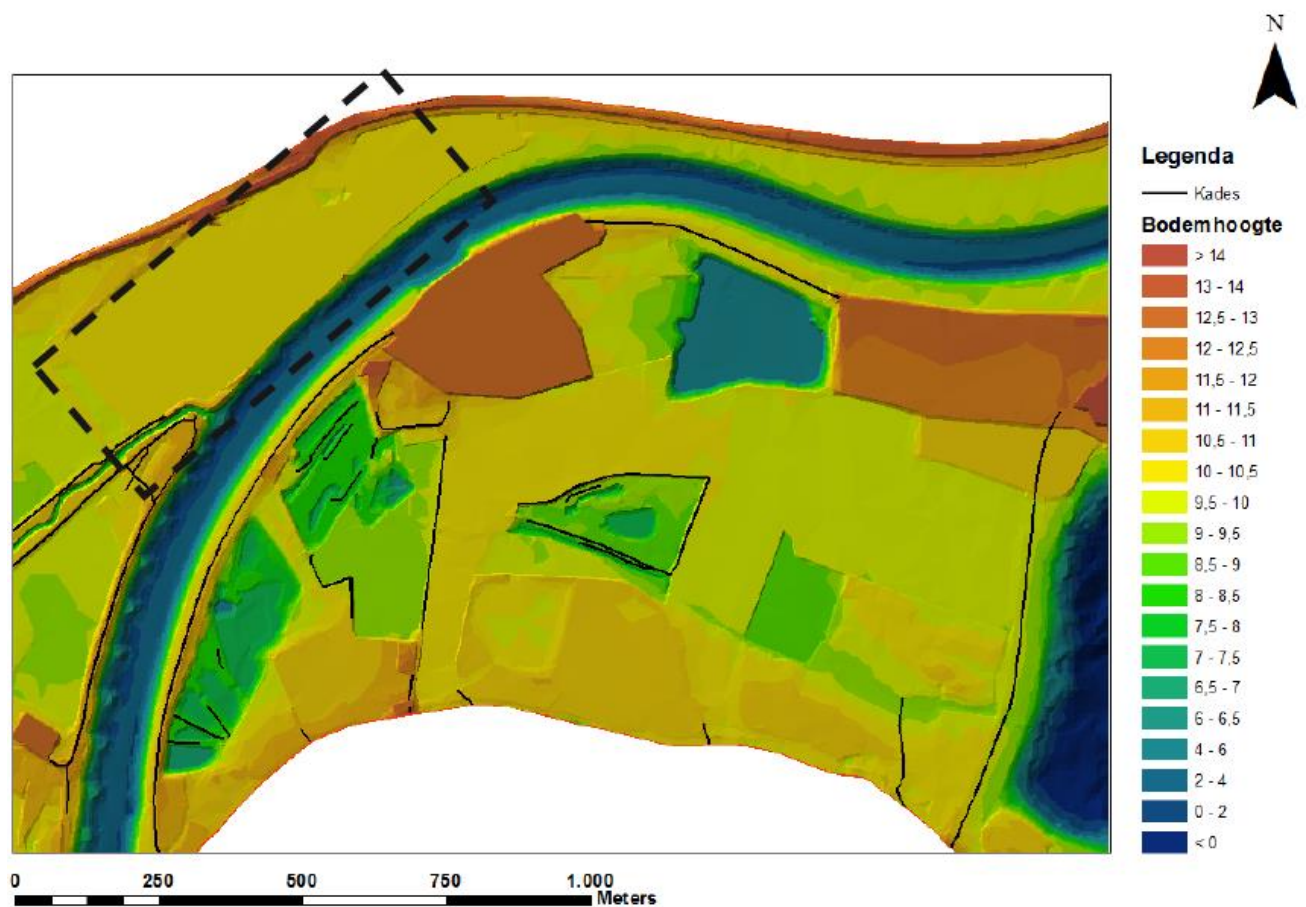
Variant 4



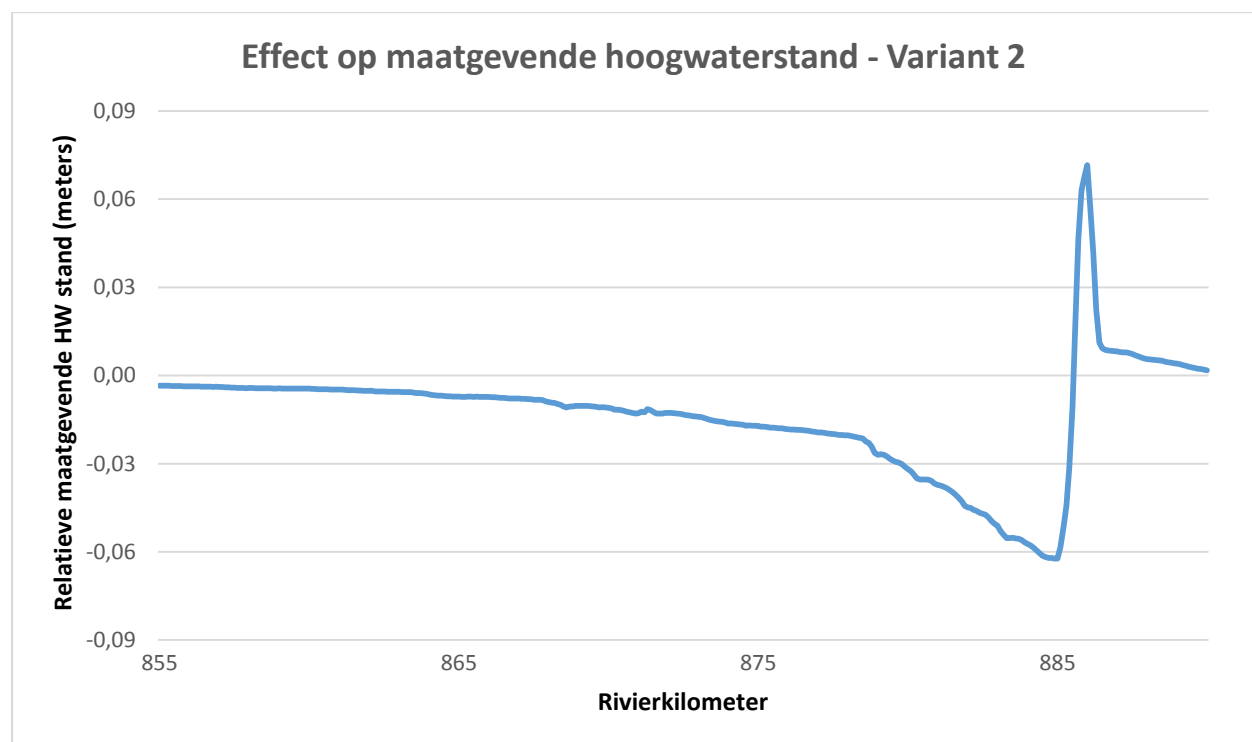
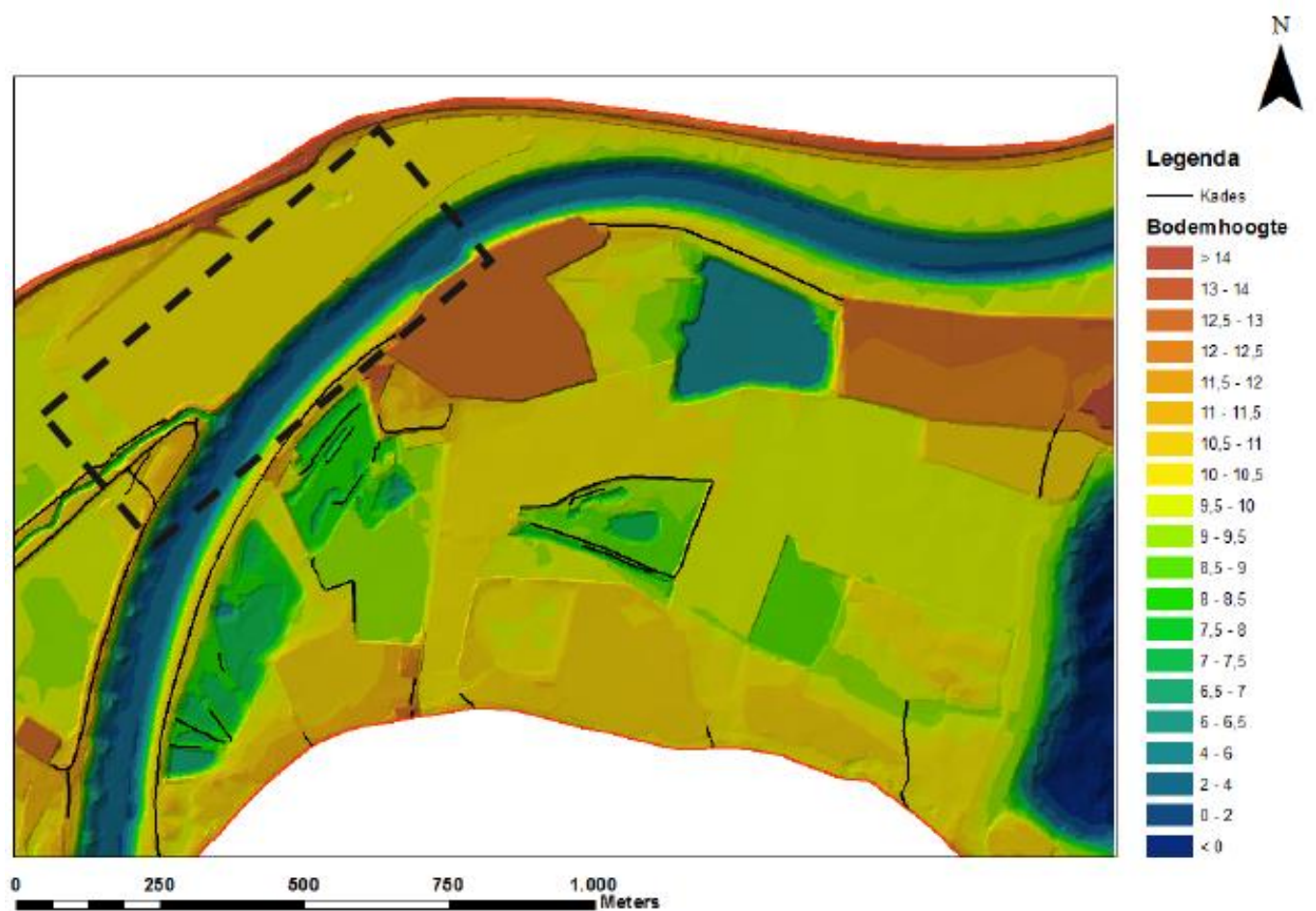
Effect op maatgevende hoogwaterstand - Variant 4



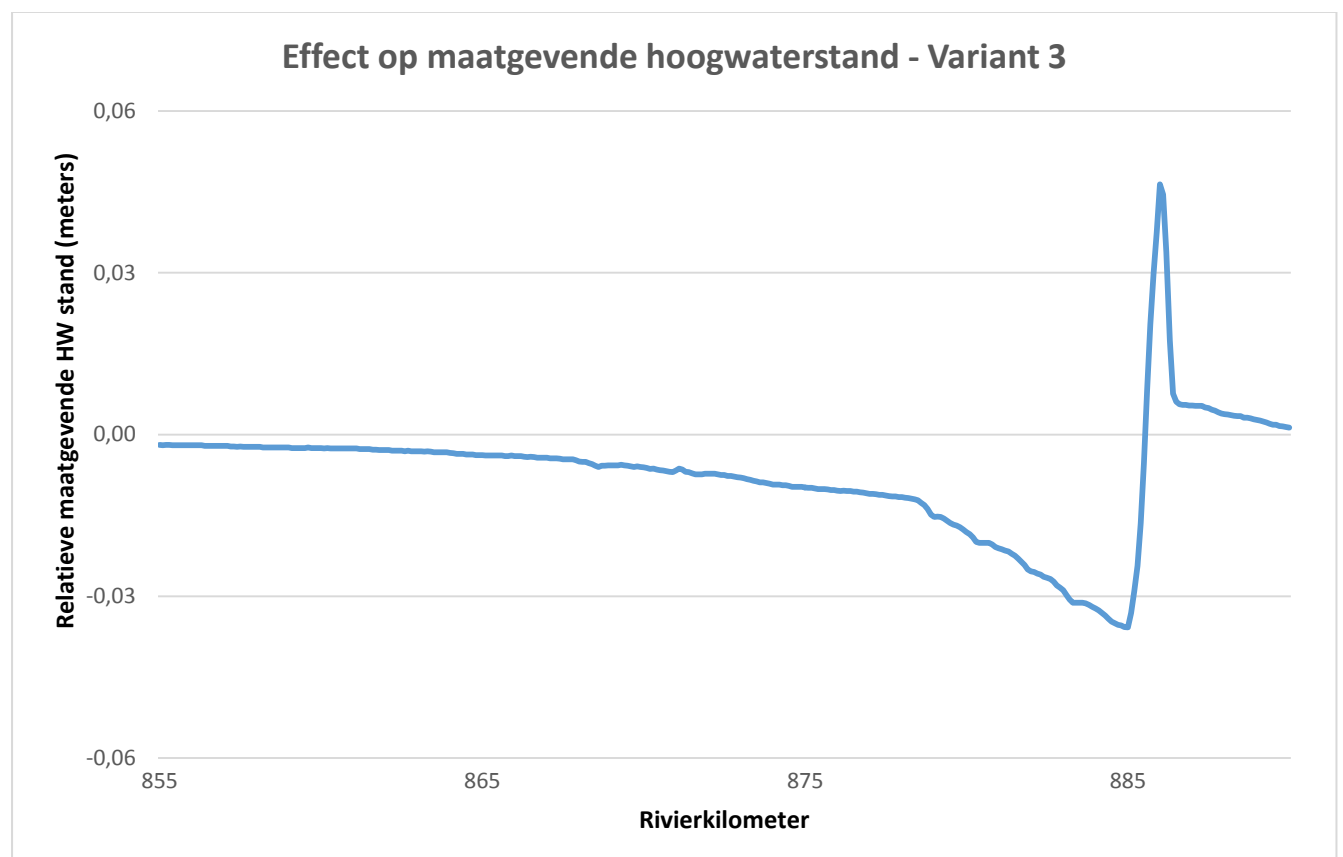
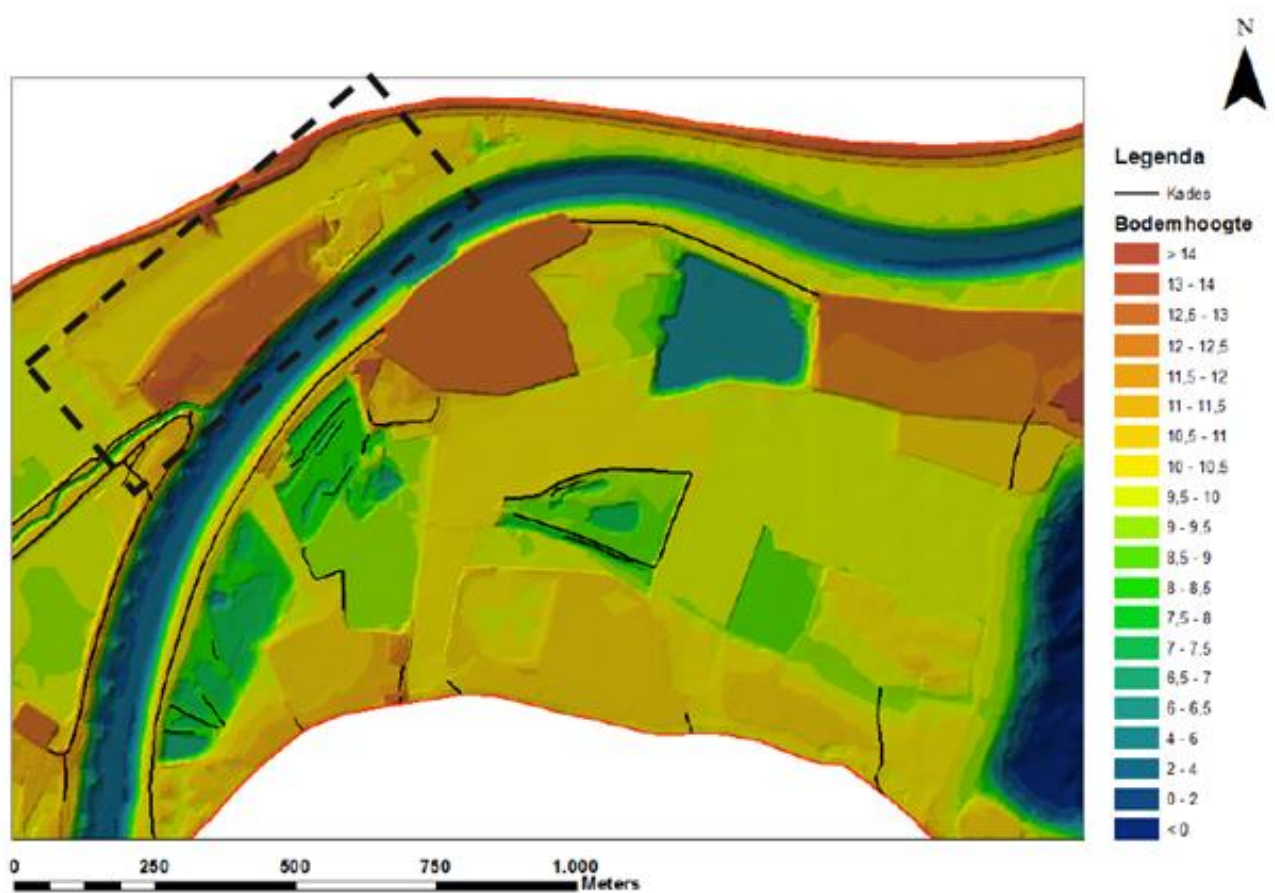
Bijlage 16 Riverstone – Variant 1



Bijlage 17 Riverstone – Variant 2



Bijlage 18 Riverstone – Variant 3



Bijlage 19 Toepasbaarheid grond

Om de toepassing van de vrijgekomen grondsoorten te bepalen zijn een aantal stappen doorlopen. Ten eerste zijn de invloeden van grondparameters op de constructieve gedragseigenschappen die gelden voor toepassingen bepaald. Vervolgens is een weegfactor aan de grondparameters per constructieve gedragseigenschap gegeven. Hierna zijn de grondparameters per vrijkomende grondsoort beoordeeld, waarna de uitkomsten bepaald zijn door de scores van de constructieve gedragseigenschap per parameters bij elkaar op te trekken of af te trekken. Vervolgens is via een range vastgesteld of de grondsoort per toepassing toepasbaar is. De dominante grondsoorten die vrijkomen uit de hoogwatervrije terreinen zijn, zandige klei, matig fijn zand, matig grof zand en grof zand.

Invloed van grondparameters

De parameters die invloed hebben op de constructieve gedragseigenschappen van toepassingen in de GWW zijn vochtgehalte, volumieke dichtheid, lutumgehalte, humusgehalte en plasticiteitsindex. Deze parameters zijn positief of negatief voor de constructieve gedragseigenschap, waar ze ook op beoordeeld zijn, zie tabel 19. De constructieve gedragseigenschappen die gelden voor toepassingen zijn verwerkbaarheid, evenwichtsdragend vermogen, consolidatie, draagvermogen, erosiebestendigheid en waterdichtheid.

Constructieve gedragseigenschappen	Parameters	Invloed op constructieve eigenschappen
Verwerkbaarheid	Vochtgehalte	-
	Dichtheid	+
	Plasticiteitsindex	+
Evenwichtsdraagvermogen stabiliteit	Vochtgehalte	-
	Lutumgehalte	-
	Dichtheid	+
	Plasticiteitsindex	-
Consolidatie Zwel/krip	Humusgehalte	-
	Lutumgehalte	-
	Plasticiteitsindex	-
	Vochtgehalte	-
	Dichtheid	+
Draagvermogen, vormverandering E-modulus	Humusgehalte	-
	Lutumgehalte	-
	Plasticiteitsindex	-
	Vochtgehalte	-
	Dichtheid	+
Erosiebestendigheid	Lutumgehalte	+
	Plasticiteitsindex	+
	Vochtgehalte	-
	Dichtheid	+
Waterdichtheid	Lutumgehalte	+
	Plasticiteitsindex	+
	Vochtgehalte	-
	Dichtheid	+
+ Parameter heeft een gunstige invloed op de eigenschap		
- Parameter heeft een ongunstige invloed op de eigenschap		

Tabel 19 Invloed van parameters op de constructieve gedragseigenschappen³⁵

³⁵ Bron: (Rijksoverheid, 2017) *Bestemmen van baggerspecie en producten, Toepassen producten uit baggerspecie in wegenbouw*. Opgehaald van Bodemrichtlijn

Bepalen weegfactoren constructieve gedragseigenschappen per grondparameter

De beschreven toepassingen in het theoretisch kader dienen voor een bepaalde tijd hun functie te behouden. De toepassingen constructieve ophoging, drainagelaag en steunberm moeten zodanig zijn dat ze voldoende stabiliteit kunnen bieden, draagkrachtig zijn en weinig inkrimpen. Een laag vochtgehalte en daarmee lage waterdichtheid zorgt ervoor dat het gevaar op instabiliteit door hoge waterspanningen afneemt. Een hoger volumieke dichtheid zorgt voor meer draagkracht en stabiliteit. Doordat de dichtheid en het vochtgehalte een grote rol spelen op het constructieve gedrag is de weegfactor op 5 gezet. Het lutumgehalte, humusgehalte en de plasticiteitsindex hebben negatieve invloeden op de draagkracht en stabiliteit van grond, maar beduidend minder invloed dan het vochtgehalte en de dichtheid, daarom krijgen deze parameters een weegfactor 3.

Het percentage lutum, plasticiteitsindex en een grote waterdichtheid zorgen ervoor dat de deklaag erosiebestendig is, hierin speelt de volumieke dichtheid een kleinere rol dan bij de andere constructieve eigenschappen. De volumieke dichtheid heeft door de kleinere invloed op de erosiebestendigheid en waterdichtheid een weegfactor 2 gekregen. De plasticiteitsindex en het vochtgehalte heeft door de grotere invloed op de erosiebestendigheid en waterdichtheid een weegfactor 5 gekregen.

De parameters die geen invloed hebben op de eigenschappen hebben een weegfactor 0 gekregen.

Grondparameter	Weegfactor verwerkbaarheid	Weegfactor stabiliteit	Weegfactor consolidatie	Weegfactor draagvermogen	Weegfactor erosiebestendigheid	Weegfactor Waterdichtheid
Vochtgehalte	5	5	5	5	5	5
Volumieke dichtheid	5	5	5	5	2	2
Plasticiteitsindex	3	3	3	3	5	5
Humusgehalte	0	0	3	3	0	0
Lutumgehalte	0	3	3	3	5	5

Tabel 20 Weegfactoren constructieve gedragseigenschappen

Scores grondsoorten

Grond bestaat uit een percentage organisch materiaal(humus), zandgehalte, lutumgehalte en water. Kleigronden kenmerken zich aan het percentage lutum van minimaal 25% (gronddeeltjes kleiner dan 2 micrometer), terwijl zandgronden bestaan uit gronddeeltjes tussen de 63 micrometer en 2 millimeter.

Klei heeft bij afgraving een groter vochtgehalte dan zand. Dit komt doordat klei water gemakkelijker kan vasthouden door de platte lutumdeeltjes, terwijl de poriën tussen de grotere zandkorrels het water gemakkelijk afvoert. Door de grotere ruimte tussen de korrels van zand is de score voor het vochtgehalte van zandige klei op 3 gezet en voor de zandgronden op 2. De volumieke dichtheid van de grondsoort hangt samen met de structuur van de grond. Zandkorrels zijn zwaarder dan lutum. Doordat kleigronden minimaal 25% uit lutum bestaat betekend dat de volumieke dichtheid van kleigronden lager is dan zandgronden, hierdoor is de score voor volumieke dichtheid van zandgronden op 5 gezet en de zandige kleigrond een 3. De plasticiteitsindex zegt wat over hoeveel water nodig is voor de overgang van een vaste toestand naar een plastische toestand en vice versa. Doordat zand uit korrelige deeltjes bestaat en daarmee alleen een vaste vorm heeft is de score voor de plasticiteitsindex op 0 gezet. De zandige kleigrond is een semi-vaste stof door het hoge zandgehalte en is meer water nodig om de zandige kleigrond vloeibaar te maken, hierdoor is de score voor de plasticiteitsindex op 3 gezet. Organisch materiaal is in de zandgronden nauwelijks aangetroffen en bij de kleigrond plaatselijk, daarom is de parameter humusgehalte voor de zandgronden op 1 gezet en voor de zandige kleigrond op 2. Doordat in zandgronden nauwelijks lutumdeeltjes worden aangetroffen en klei uit minimaal 25 % lutum bestaat is de score voor het percentage lutum voor zandige klei op 4 gezet en voor de zandgronden op 0.

Grond Parameters	Zandige klei	Matig fijn zand	Matig grof zand	Grof zand
Vochtgehalte	3	2	2	2
Volumieke dichtheid	2	4	4	5
Plasticiteitsindex	3	0	0	0
Humusgehalte	2	1	1	1
Lutumgehalte	4	0	0	0

Tabel 21 Scores van de grondparameters op de dominante grondsoorten

0	De grondsoort draagt niet mee aan de parameter
1	De grondsoort draagt lichtelijk mee aan de parameter
2	De grondsoort draagt redelijk mee aan de parameter
3	De grondsoort draagt mee aan de parameter
4	De grondsoort draagt veel mee aan de parameter
5	De grondsoort draagt zeer veel mee aan de parameter

Tabel 22 Scores van de grondparameters

De constructieve gedragseigenschappen hebben positieve en/of negatieve invloed op het type toepassing. In tabel 22 is weergegeven welke bijdrage de constructieve gedragseigenschap heeft op het type toepassing. Onderstaand staan de toepassingen met de bijbehorende constructieve gedragseigenschappen, door deze bij elkaar op (positieve invloed) of af te trekken (negatieve invloed) komen de scores uit tabel 23.

Constructieve ophoging/aanvulling

De constructieve gedragseigenschappen die invloed hebben op constructieve ophogingen/aanvullingen zijn verwerkbaarheid, evenwichtsdragendvermogen, consolidatie, draagvermogen, erosiebestendigheid en waterdichtheid.

Drainagelaag

De constructieve gedragseigenschappen die invloed hebben op de drainagelaag zijn verwerkbaarheid en waterdichtheid.

Steunberm

De constructieve gedragseigenschappen die invloed hebben op de steunberm zijn verwerkbaarheid, evenwichtsdragendvermogen, draagvermogen en waterdichtheid.

Isolatielaag

De constructieve gedragseigenschap die invloed heeft op de isolatielaag is waterdichtheid en dient de grond verwerkbaar te zijn.

Erosiebestendige deklaag

De constructieve gedragseigenschappen die invloed hebben op de erosiebestendige deklaag zijn erosiebestendigheid en waterdichtheid.

Niet constructieve ophoging/aanvulling

Voor de niet constructieve ophoging/aanvulling zijn de benodigde constructieve gedragseigenschappen niet bepaalt, dit was niet nodig geacht aangezien alle soorten grond hierin toegepast kunnen worden.

Fijn toeslagmateriaal

Voor fijn toeslagmateriaal voor beton zijn de benodigde grondeigenschappen niet bepaalt, het is algemeen bekend dat klei hier niet voor toepasbaar is en dat grof zand het best hier toepasbaar voor is.

	Zandige klei	Matig Fijn zand	Matig Grof zand	Grof zand
Constructieve ophoging/aanvulling	-28	54	54	54
Drainagelaag	-14	15	15	15
Steunberm	-43	42	42	42
Isolatielaag	42	15	15	15
Erosiebestendige deklaag	56	0	0	0
Niet constructieve ophoging/aanvulling*	++	++	++	++
Fijn toeslagmateriaal**	-	+/-	+/-	+
* Elk type grond is toepasbaar voor een niet constructieve ophoging/aanvulling.				
** Voor toeslagmateriaal is grofzand en grind nodig, momenteel is er onderzoek bezig naar de toepasmogelijkheden van fijner zand.				

Tabel 23 Scores toepassing per dominante grondsoort

Nadat de scores zijn toegereikt aan de soort toepassing, zijn deze gerangschikt onder een range om een differentiatie te krijgen tussen de mate van toepasbaarheid van de vrijgekomen grond per type toepassing. In tabel 24 is de range met de definitie weergegeven. In tabel 25 staat voor welke toepassingen de dominante grondsoorten beschikbaar zijn.

Range	Definitie
< 0	- Niet toepasbaar
0 / 20	+/- Matig toepasbaar
20 / 40	+ Toepasbaar
> 40	++ Goed toepasbaar

Tabel 24 Range

Toepassing	Zandige klei	Matig Fijn zand	Matig Grof zand	Grof zand
Constructieve ophoging/aanvulling	-	++	++	++
Drainagelaag	-	+/-	+/-	+/-
Steunberm	-	++	++	++
Isolatielaag	++	+/-	+/-	+/-
Erosiebestendige deklaag	++	-	-	-
Niet constructieve ophoging/aanvulling*	++	++	++	++
Toeslagmateriaal**	-	+/-	+/-	+
* Elk type grond is toepasbaar voor een niet constructieve ophoging/aanvulling.				
** Voor toeslagmateriaal is grofzand en grind nodig, momenteel is er onderzoek bezig naar de toepasmogelijkheden van fijner zand.				

Tabel 25 Toepassingen per dominante grondsoort

Bijlage 20 Uitleg scores en weegfactoren Multicriteria analyse

Waterstandsverlaging

Waterstandsverlaging heeft een weegfactor 5, omdat het speerpunt van dit onderzoek is hoe hoogwatervrije terreinen benut kunnen worden voor de hoogwaterveiligheid, waarin het creëren van waterstandsverlaging essentieel is. De waterstandsverlaging is beoordeeld op 3 kilometer bovenstrooms van de ingreep. Dit komt doordat bovenstrooms van de ingreep een zeer grote piek in de waterstandsverlaging kan ontstaan, die vervolgens binnen één kilometer weer sterk is verminderd, zie grafiek 1, variant 2 Bemmeler.

Waterstandsverlaging op 3 kilometer van ingreep (weegfactor 5)	Score
Treedt geen waterstanddaling op (0 cm)	1
Treedt nauwelijks waterstanddaling op (0-1 cm)	2
Treedt redelijke waterstanddaling (1-3 cm)	3
Treedt grote waterstanddaling op (3-5 cm)	4
Treedt zeer grote waterstanddaling op (>5 cm)	5

Tabel 26 Scores waterstandsverlaging

Kostenefficiëntie

Kostenefficiëntie heeft een weegfactor 4, het beschikbare budget dient ten behoeve van de waterveiligheidsopgave zo efficiënt mogelijk uitgegeven te worden. De kostenefficiëntie per variant is bepaald door naar de verhouding tussen de ontgraven hoeveelheid grond en de daarbij horende waterstandsverlaging te kijken.

Kostenefficiëntie (weegfactor 4)	Score
Variant is helemaal niet kostenefficiënt	1
Variant is niet kostenefficiënt	2
Variant is redelijk kostenefficiënt	3
Variant is kostenefficiënt	4
Variant is zeer kostenefficiënt	5

Tabel 27 Scores kostenefficiëntie

Benedenstroomse piek

Er is een weegfactor 3 gegeven aan de benedenstroomse piek, aangezien een grote benedenstroomse piek voor problemen kan zorgen met betrekking tot de waterveiligheid. Echter kan deze piek geminimaliseerd worden door benedenstrooms van de piek een rivier verruimende maatregel uit te voeren. In onderstaande tabel is weergegeven welke score wordt toegereikt bij de benedenstroomse piek.

Benedenstroomse piek (weegfactor 3)	Score
Treedt een zeer grote piek op (> 5 cm)	1
Treedt een grote piek op (3-5 cm)	2
Treedt een redelijke piek op (1-3 cm)	3
Treedt nauwelijks een piek op (0-1 cm)	4
Treedt geen piek op (<0 cm)	5

Tabel 28 Scores benedenstroomse piek

Chemische bodemkwaliteit

De chemische bodemkwaliteit heeft een weegfactor 3 gekregen, het saneren van vrijkomende verontreinigde grond is duur, echter is het mogelijk om met bepaalde varianten de verontreinigde spots te vermijden. De scores zijn gebaseerd op de hoeveelheid verontreinigde grond dat vrijkomt bij afgraving in vergelijking met de hoeveelheid schone grond dat vrijkomt bij afgraving, dit verschilt per hoogwatervrij terrein.

Chemische bodemkwaliteit (weegfactor 3)	Score
Komt bij variant een zeer grote hoeveelheid verontreinigde grond vrij	1
Komt bij variant een grote hoeveelheid verontreinigde grond vrij	2
Komt bij variant een redelijke hoeveelheid verontreinigde grond vrij	3
Komt bij variant nauwelijks verontreinigde grond vrij	4
Komt bij variant geen verontreinigde grond vrij	5

Tabel 29 Scores chemische bodemkwaliteit

Toepasbaarheid grond

De toepasbaarheid van de grond heeft een weegfactor 2 gekregen aangezien de eigenschappen van elk type grond geschikt is voor een effectieve toepassing. In onderstaande tabel is weergegeven welke score wordt toegereikt bij de toepasbaarheid van grond.

Toepasbaarheid grond (weegfactor 2)	Score
De grond die vrijkomt is voor geen toepassing te gebruiken	1
De grond die vrijkomt is voor een aantal toepassingen te gebruiken	2
De grond die vrijkomt is voor een redelijk aantal toepassingen te gebruiken	3
De grond die vrijkomt is voor een groot aantal toepassingen te gebruiken	4
De grond die vrijkomt is voor een zeer groot aantal toepassingen te gebruiken	5

Tabel 30 Scores toepasbaarheid grond

Ruimtelijke ordening

Ruimtelijke ordening heeft een weegfactor 2 gekregen, aangezien Rijkswaterstaat momenteel geen grote urgentie heeft om de hoogwatervrije terreinen te benutten voor de hoogwaterveiligheidsopgave.

Ruimtelijke ordening (weegfactor 2)	Score
Zeer moeilijk om terrein in bezit te krijgen	1
Moeilijk om terrein in bezit te krijgen	2
Redelijke kans om terrein in bezit te krijgen	3
Kans om terrein in bezit te krijgen	4
Zeer grote kans om terrein in bezit te krijgen	5

Tabel 31 Scores ruimtelijke ordening