

# Rivierkundige systeembeschouwing

## Alem – Sint Andries

### *stap 2: Kansen + aanvullende berekeningen*

Wiebe de Jong & Quintijn van Agten,  
Royal HaskoningDHV  
11 februari 2022



# Inhoud

## Aanvullende Berekeningen

De volgende initiatieven (uit stap 2) zijn in de aanvullende opdracht rivierkundig doorgerekend bij maatgevend hoogwater en beoordeeld o.b.v. expert judgement

### Rivierverruimende maatregelen:

1. [Dam bij Alem doorstroombaar maken \(open maken oude Maasarm\)](#)
2. [Dijkteruglegging Alem \(bij Alem\)](#)
3. [Weerdverlaging langs de Maas](#)
4. [hydraulische optimalisatie buitenpolder Heerewaarden/Schutwaard \(open maken dam tussen de twee plassen\).](#)

Bovenstaande maatregelen zijn rivierkundig los doorgerekend, daarnaast zijn er 2 combinatie sommen gemaakt:

- [Combinatie som A1 = maatregel 1 + 4](#)
- [Combinatie som B2 = maatregel 1 + 3 + 4](#)

# Inhoud stap 2 (kansen) Rivierkundige systeembeschouwing

De volgende initiatieven in het gebied zijn rivierkundig bekeken o.b.v. expert judgement

## Overig initiatieven:

- [Stromingsdynamiek Piekenwaard terug brengen](#)
- [Vergraving Marensche waarden \(zandwinning\)](#)
- [Dijkversterkingstraject Lith-Bokhoven](#)
- [Dijkversterkingsproject Meanderende Maas](#)
- [Ooibos ontwikkeling \(natuur\)](#)
- [KRW maatregelen](#)
- [Natuurontwikkeling Alem in stapsteengebied Sint Andries](#)
- Waterreservoirs langs de Maas
- Ruimte voor Maasdriel

**Daarnaast is er gekeken naar de volgende punten binnen stap 2:**

[Kansrijke combinaties](#)

[No regret maatregelen](#)

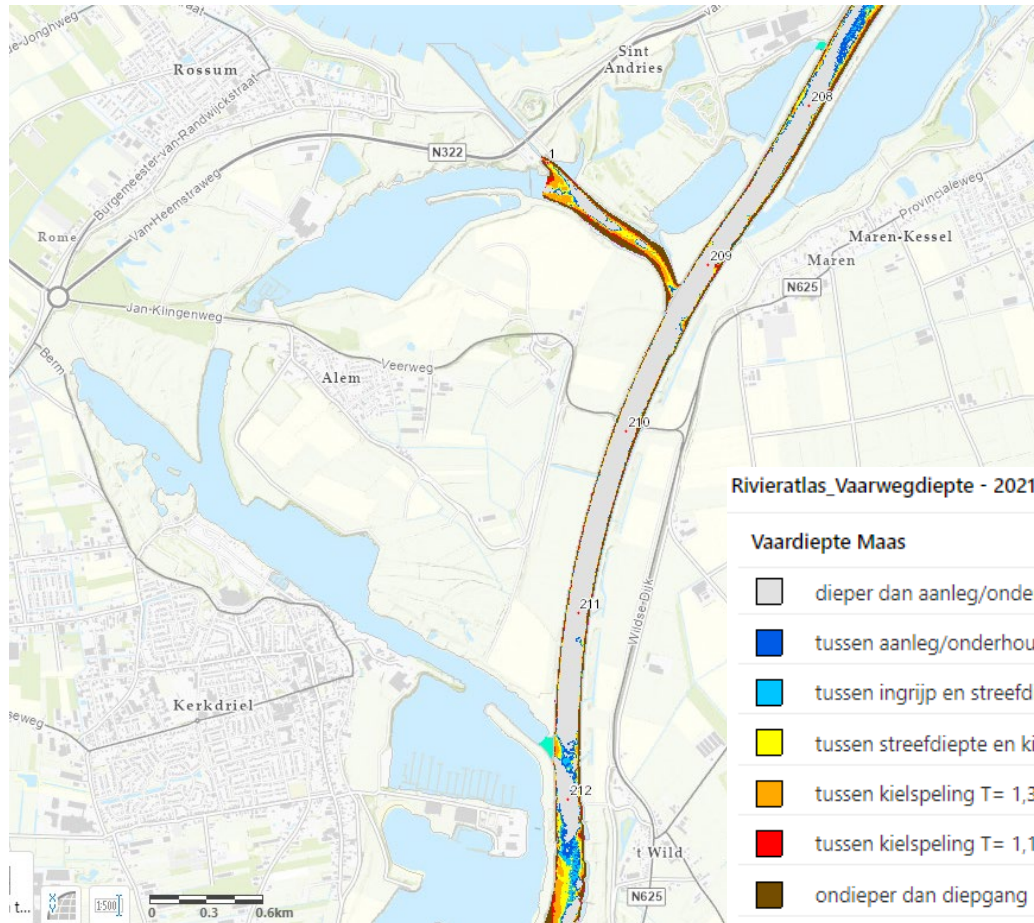
[Aandachtspunten klimaatverandering](#)

# Beoordelingscriteria voor Rivierverruimende maatregelen

- **Waterstand in de as van de rivier.**
  - Negatief = Waterstandsopstuwing bij MHW (4118 m<sup>3</sup>/s bij Borgharen)
  - Positief = Waterstandsdeling bij MHW (4118 m<sup>3</sup>/s bij Borgharen)
- **Dwarsstroming**
  - Dwarsstromingseffecten spelen bij lage afvoeren en middel hoge afvoeren tot 2302 m<sup>3</sup>/s bij Borgharen-dorp ( 1 x per 10 jaar herhalingstijd).
- **Morfologie**
  - Voor de effecten op morfologie word er gekeken naar veranderingen bij afvoeren tot 2.000 m<sup>3</sup>/s (bij Borgharen, 1 x per 5 jaar herhalingstijd).
  - Meer water door de uiterwaard resulteert in het algemeen tot aanzanding in de hoofdgeul.

# Morfologie huidige situatie

Op het traject rkm 208 – 212 is de vaardiepte in de afgelopen jaren (2014 -2021) altijd dieper dan de aanleg/onderhoudsdiepte geweest. Wat laat zien dat de vaardiepte in de huidige situatie ruim voldoende is. Op dit traject hebben we dus te maken met overdiepte.

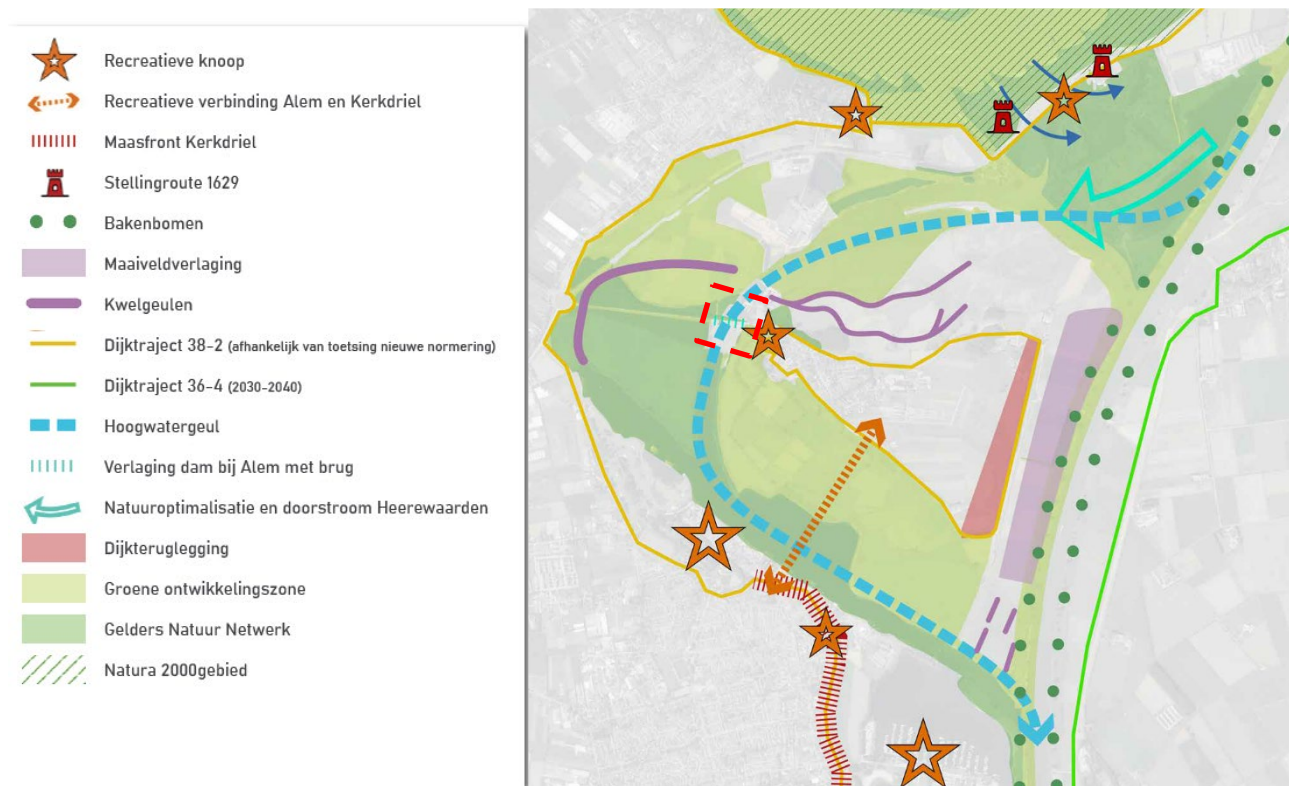


Getijden Maas  
Vaarwegeisen en Waterpeil (vanaf 2018)  
MLW = 20 cm NAP  
**Aanleg/onderhoudshoogte:** -500 cm NAP  
**Ingrijphoogte:** -480 cm NAP  
**Streefhoogte:** -470 cm NAP  
**Kielspeling T1,3/T1,25:** -435 cm NAP  
**Kielspeling T1,1:** -365 cm NAP  
**Diepgang maatgevend schip:** -330 cm NAP

# 1. Dam bij Alem doorstroombaar maken (openen Oude Maasarm)

## Ingreep

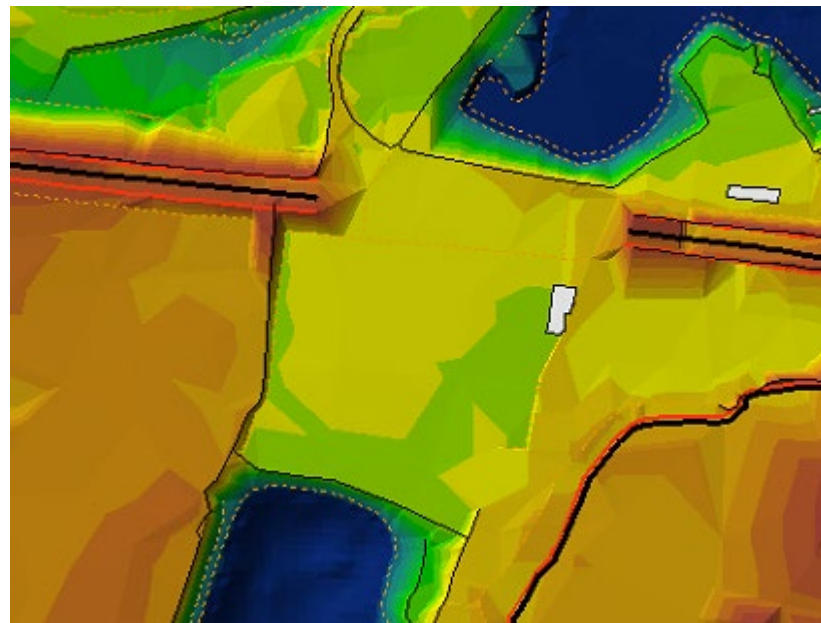
- De lichtblauwe lijn in onderstaande kaart geeft de nieuwe open verbinding weer. Binnen de rode stippellijn wordt de dam verlaagd en een brug of duiker constructie gerealiseerd in/onder de Jan Klingeweg. Er wordt een stroomvoerende hoogwatergeul gecreëerd.
- Aandachtspunt: de nieuwe hoogte van de dam bepaalt hoe vaak de oude Maasarm meestroomt en daarmee hoe groot het waterstandseffect is (hoe lager de drempel en hoe breder de opening, hoe groter het waterstandseffect) en wat de effecten zijn voor scheepvaart en aanzanding en daarmee baggerwerk (hoe hoger de drempel of hoe smaller de opening, hoe minder negatief het effect op deze aspecten).



# Beschrijving modelschematisatie Dam bij Alem

(maatregel 1)

- Deze maatregel (id: 'ma\_alemdam\_a2') bestaat uit het verlagen van de dam (naar 4,35 (westzijde) – 5 (oostzijde) m NAP) over ongeveer 180 m, plus verwijderen/aanpassen van vegetatie rondom. Zie onderstaand screenshot uit het Baseline model.
- De Maasoeverpark maatregel (CSO, id: 'ma\_alemdam\_a1') is als basis gebruikt, deze maatregel is ingepast op de nieuwe referentie van het Maasmodel.
- Kenmerk maatregel (id): 'ma\_alemdam\_a2'.



## Legenda

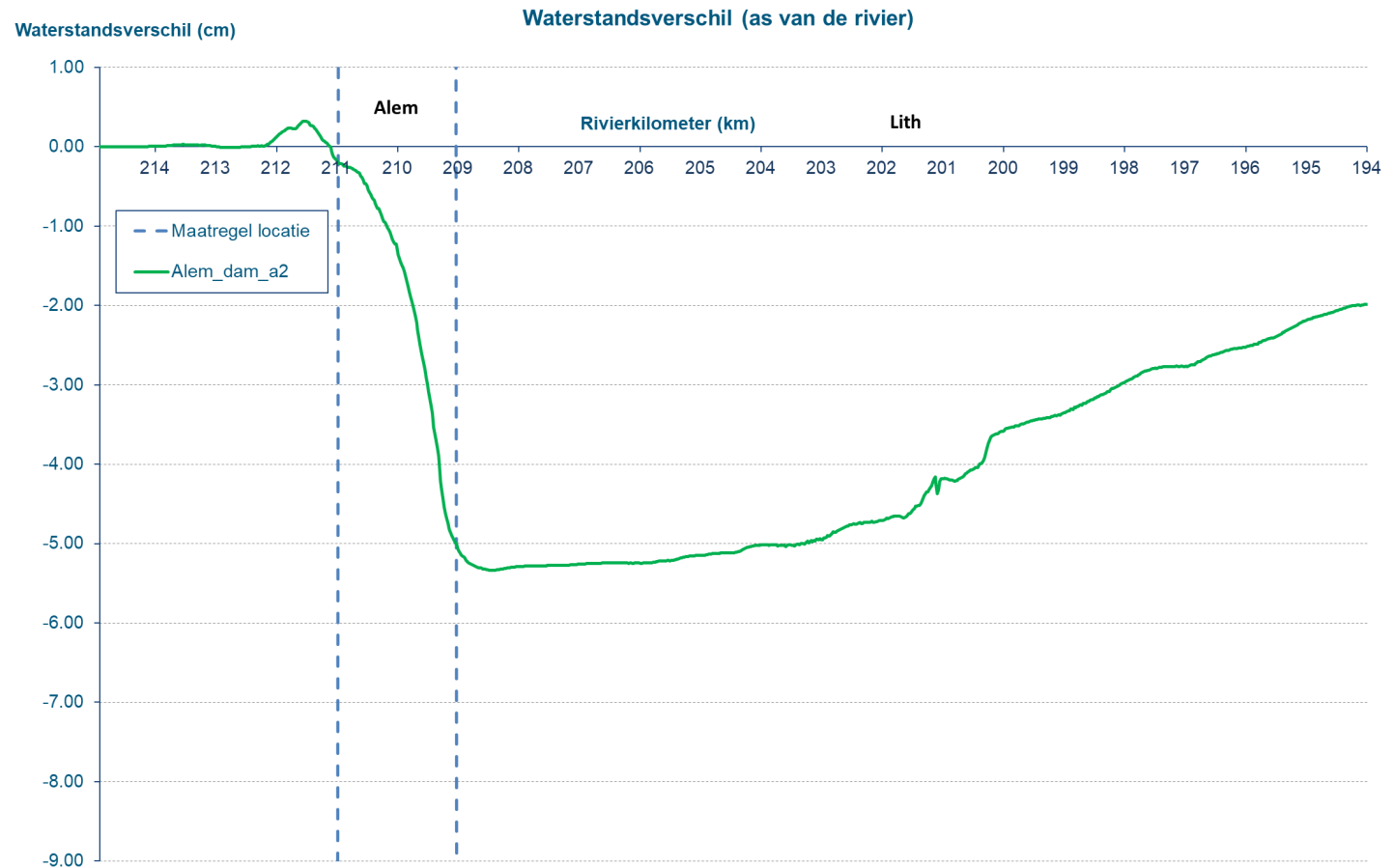
- hoogwatervrij\_vlakken
- kades\_routes
- hoogteverschillijnen\_routes
- breuklijnen\_routes
- bandijken\_routes
- rivierkilometer\_lijnen
- rivierassen

## bodemhoogte [m+NAP]

- 7 - 99
- 6.5 - 7
- 6 - 6.5
- 5.5 - 6
- 5 - 5.5
- 4.5 - 5
- 4 - 4.5
- 3.5 - 4
- 3 - 3.5
- 2.5 - 3
- 2 - 2.5
- 1.5 - 2
- 0.5 - 1
- 0 - 0.5
- 22.68 - 0

# Waterstandseffect in de as van de rivier

- Max daling: 5,34 cm
- Max opstuwing: 0,32 cm



Bij een afvoer van 4118 m<sup>3</sup>/s bij Borgharen



# Waterstandseffect 2D Alem\_dam\_a2

- Ten westen van Alem aan de zuidzijde van de dam treedt langs de banddijk een opstuwung op van maximaal 2,1 cm.
- Langs de dijk tussen Lith en Bokhoven is de waterstandsdeling bij Lith (rkm 202) 4,7 cm en neemt toe tot maximaal 5,3 cm (rkm 208), daarna daalt de waterstandsdeling naar 0, gevolgd door een minimale opstuwung van 3 mm (rkm 212). Benedenstrooms van rkm 212 is er geen effect meer.

## Legenda

— rivierkilometer\_lijnen

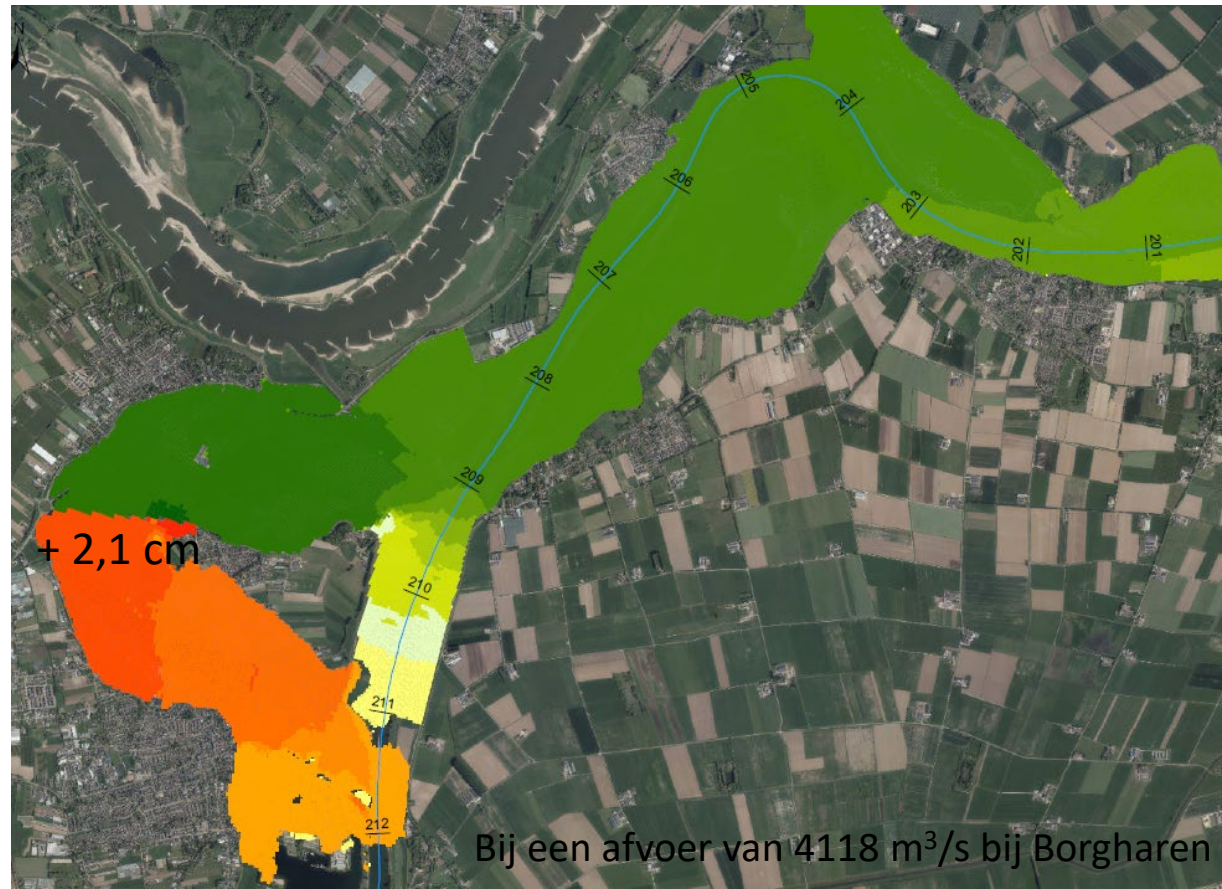
— rivierassen

Alem\_dam\_a2\_S4118\_water\_level\_Diff

Waterstandseffect (mm)

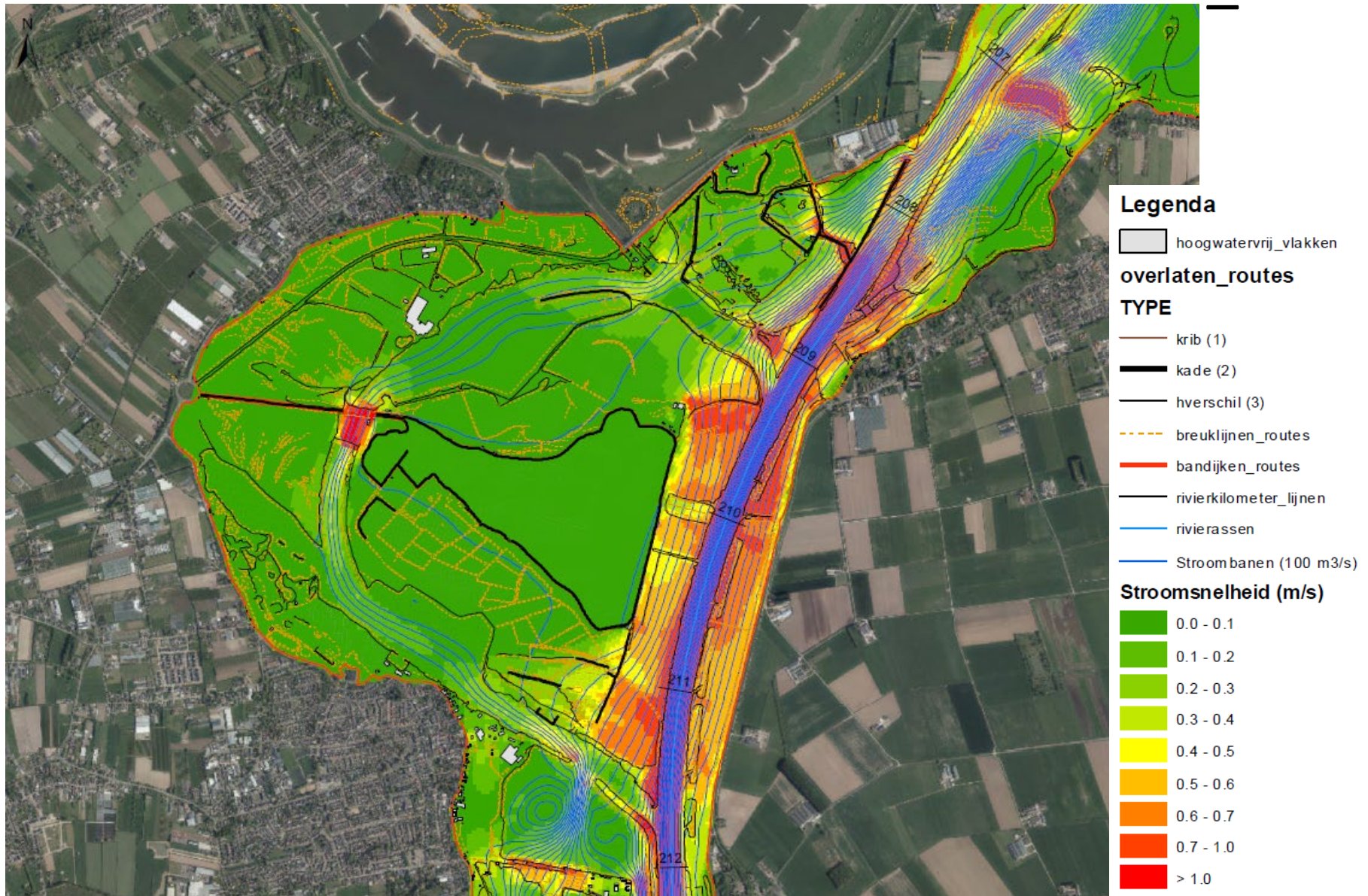


Zie ook bijlage kaarten



Bij een afvoer van 4118 m<sup>3</sup>/s bij Borgharen

# Stroomsnelheid en stroombanen Alem dam\_a2



Zie ook bijlage kaarten

Bij een afvoer van 4118 m<sup>3</sup>/s bij Borgharen

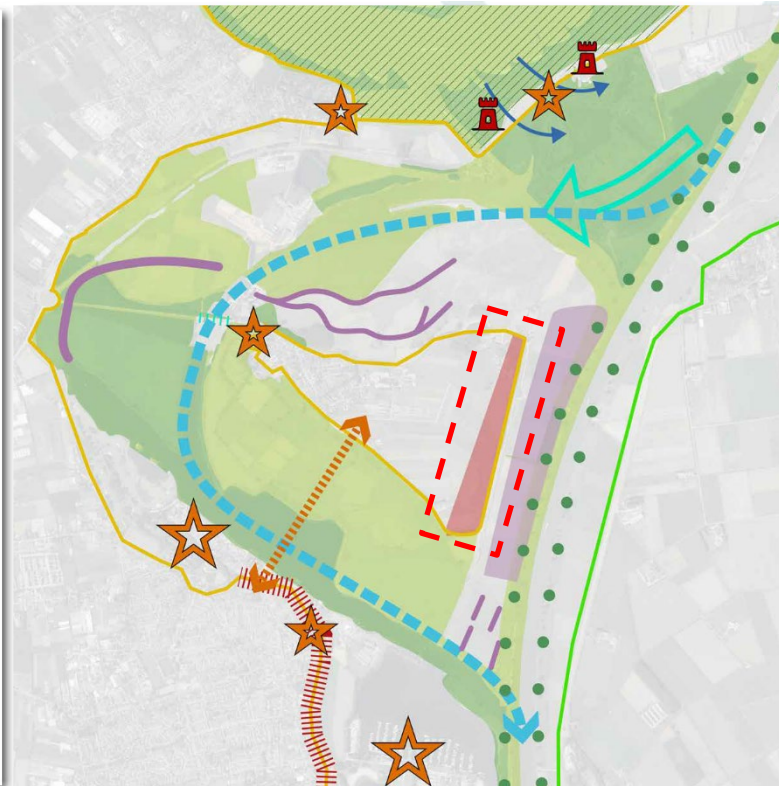
# Score: Dam doorstroombaar maken

Criteria	Score	Toelichting
Waterstandseffect	Groot positief effect, maar ook opstuwingspiek benedenstrooms.  Max daling van 5,34 cm	Forse waterstandsdeling van 5,34 cm in de as van de rivier gevolgd door een beperkte opstuwingspiek van 3,2 mm (in de as van de rivier).  Na de dam open gebroken dam ontstaat er een opstuwingspiek, deze opstuwingspiek is langs de banddijk maximaal 2,1 cm. In overleg met het waterschap zal bekeken moeten worden of dit toelaatbaar is.
Dwarsstroming (nautisch beheer)	Aandachtspunt	Dwarsstroming op rand vaarweg zal toenemen ter plaatse van instroom (rkm 208-209) en uitstroom (rkm 212) vanaf moment dat de opening gaat meestromen.
Morfologie (sedimentbeheer)	Negatief effect	Op het traject tussen rkm 209 – 212 neemt de aanzanding in het zomerbed toe doordat de stroomsnelheid hier afneemt. Dit is afhankelijk van de afvoer door de opening meestroomt. Indien de dam aangelegd wordt op 4,40+m NAP dan zullen er nauwelijks negatieve effecten op de jaargemiddelde morfologische veranderingen optreden (meestromen pas bij afvoeren > 2000 m <sup>3</sup> /s). Echter is er op het huidige traject rkm 209 – 212 een overdiepte aanwezig (zie ook <a href="#">huidige situatie morfologie</a> ), in overleg met RWS ON zal moeten worden bepaald of deze overdiepte gebruikt mag worden om de sedimentatie op te vangen.
Rivierbeheer (sedimentbeheer, nautisch beheer, Vegetatiebeheer)	Toename (effect groot)	Door aanzanding op het traject tussen rkm 209 – 212 zal er mogelijk eerder gebaggerd moeten worden. Verder zullen de effecten op nautisch en vegetatiebeheer beperkt blijven.

# 2. Dijkteruglegging Alem

Ingreep:

- De dijk bij Alem (rechteroever) schuift naar binnen met ongeveer 100 - 180 meter. Dit is aangegeven in onderstaande kaart doormiddel van de rode stippellijnen/rode vlak. Binnen dit rode vlak wordt de dijk afgegraven naar maaiveld (ongeveer 3,5 m+NAP) en nieuwe dijk aangelegd.
- De ingreep is exclusief weerdverlaging.
- De breedte van het winterbed neemt hierdoor toe met ca. 20% toe (140m op 675m).



# Beschrijving modelschematisatie dijkeruglegging Alem

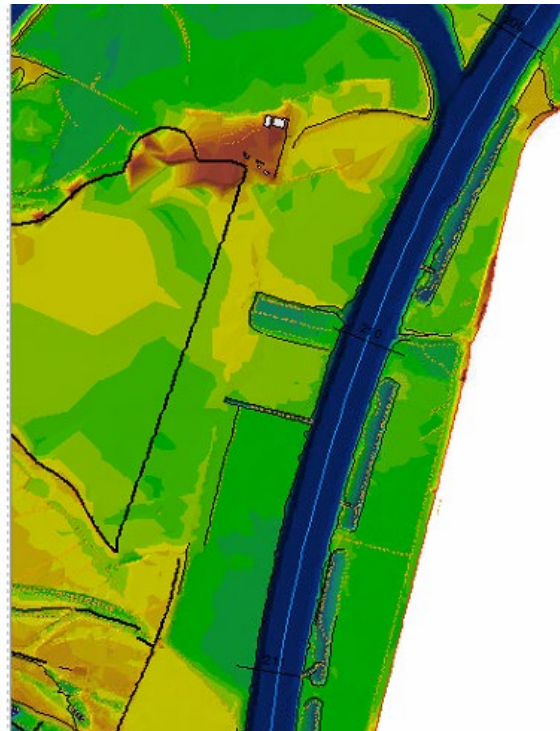
(maatregel 2)

- De banddijk wordt terug gelegd naar de grens van de Gebiedsreservering voor lange termijn Maas uit het Besluit Algemene Regels Ruimtelijke Ordening (BARRO). De hartlijn van de kering komt op deze grens te liggen.
- Zie onderstaand screenshot uit het Baseline model; links het referentiemodel en rechts het ontwerp. De hoge rug aan de noordkant en oude dijk aan de zuidkant blijft in stand.
- Kenmerk maatregel (id): 'ma\_alemdk\_a1'

Referentie



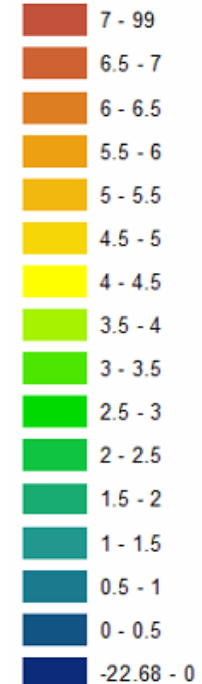
Ontwerp



## Legenda

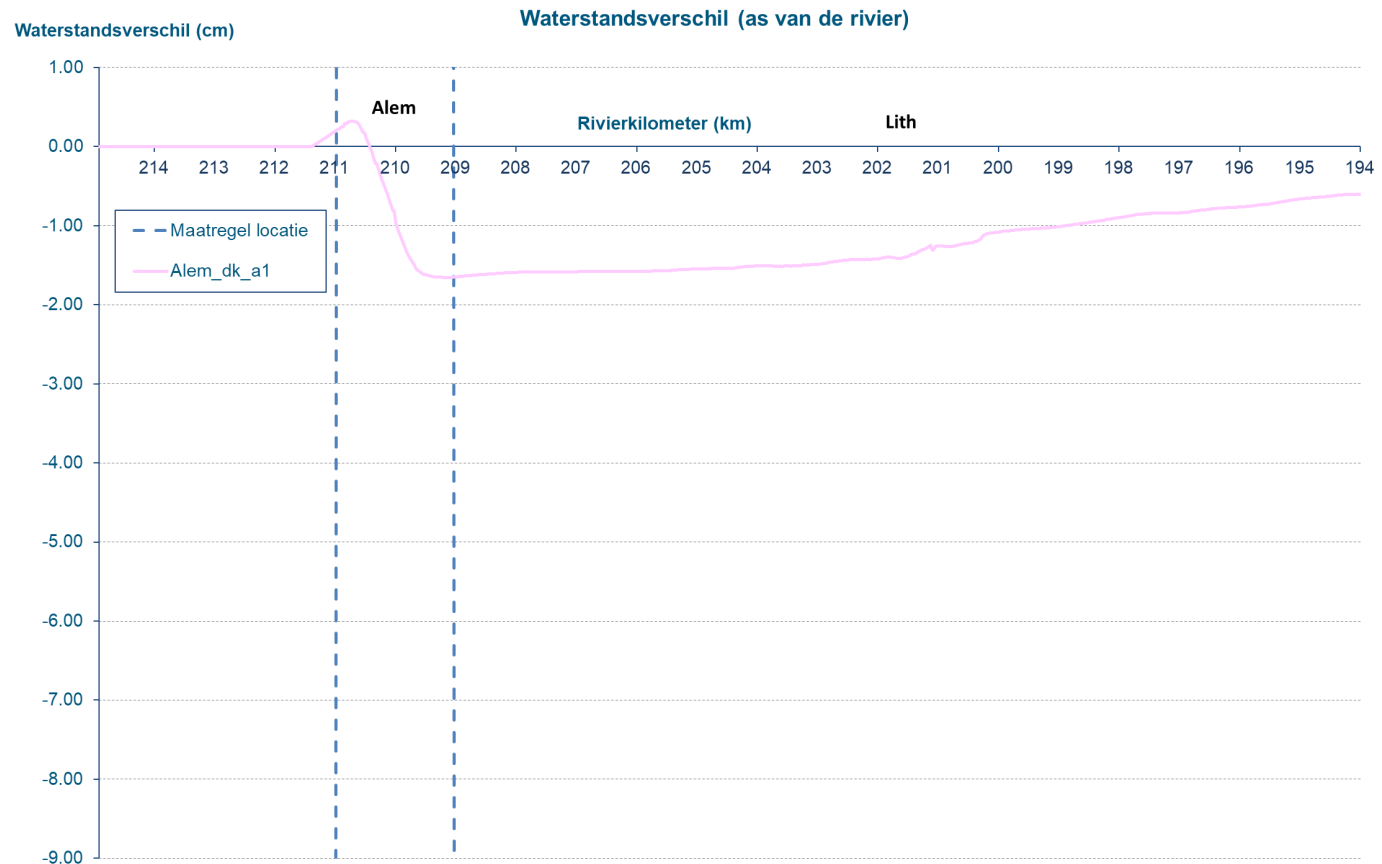


## bodemhoogte [m+NAP]



# Waterstandseffect in de as van de rivier

- Max daling: 1,66 cm
- Max opstuwing: 0,32 cm



Bij een afvoer van 4118 m<sup>3</sup>/s bij Borgharen

# Waterstandseffect 2D Alem\_dk\_a1

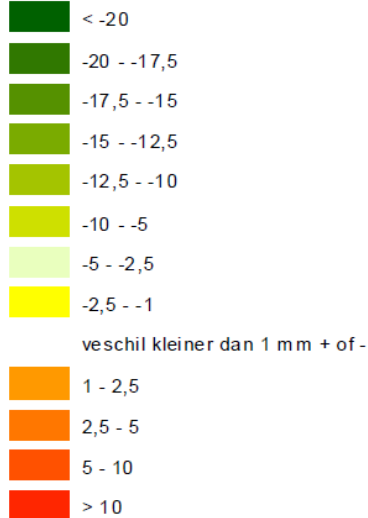
- Langs de dijk tussen Lith en Bokhoven de waterstandsdeling bij Lith (rkm 202) 1,45 cm en neemt tot maximaal 1,65 cm (rkm 209), daarna daalt de waterstandsdeling naar 0.

## Legenda

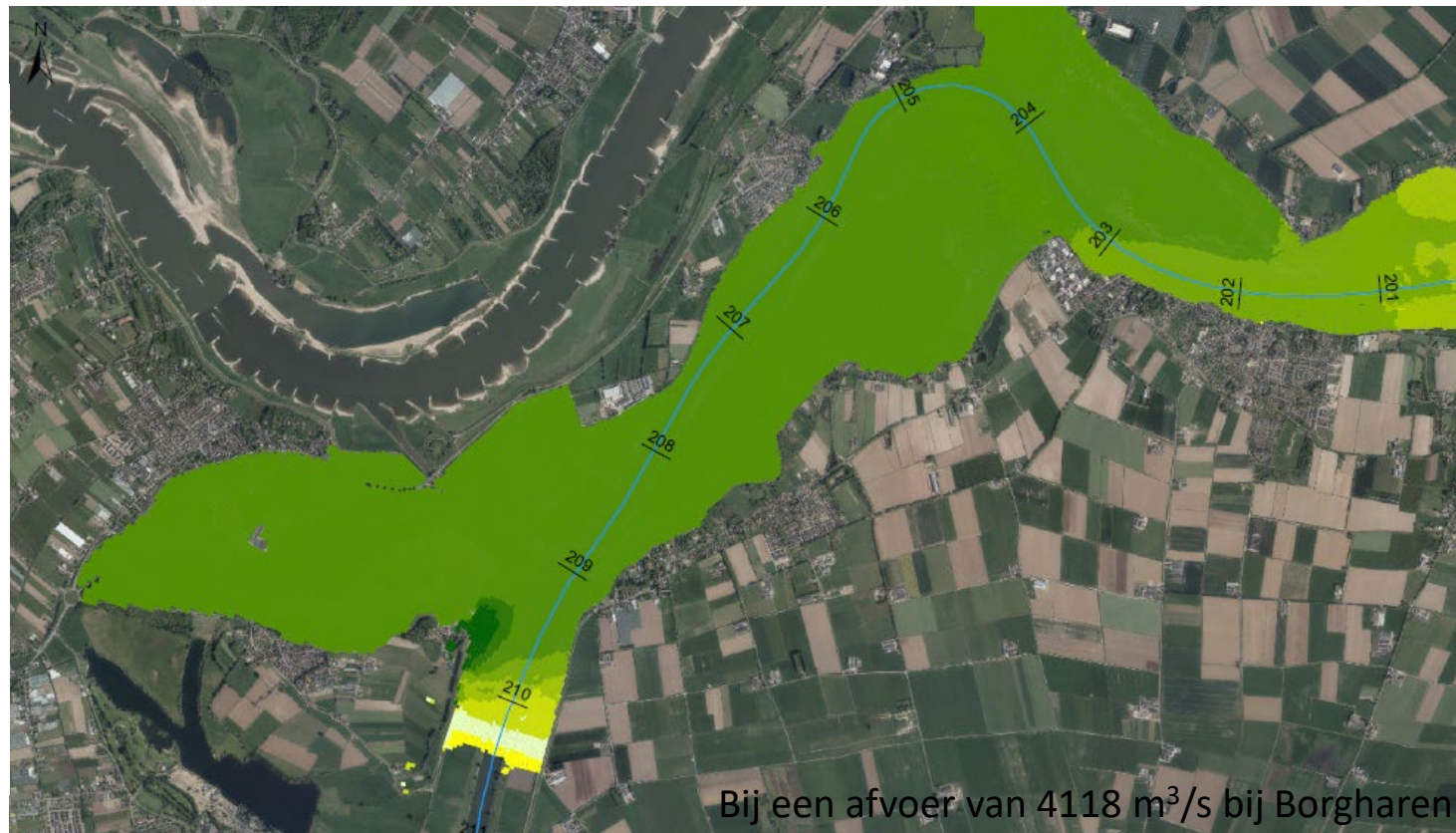
— rivierkilometer\_lijnen

— rivierassen

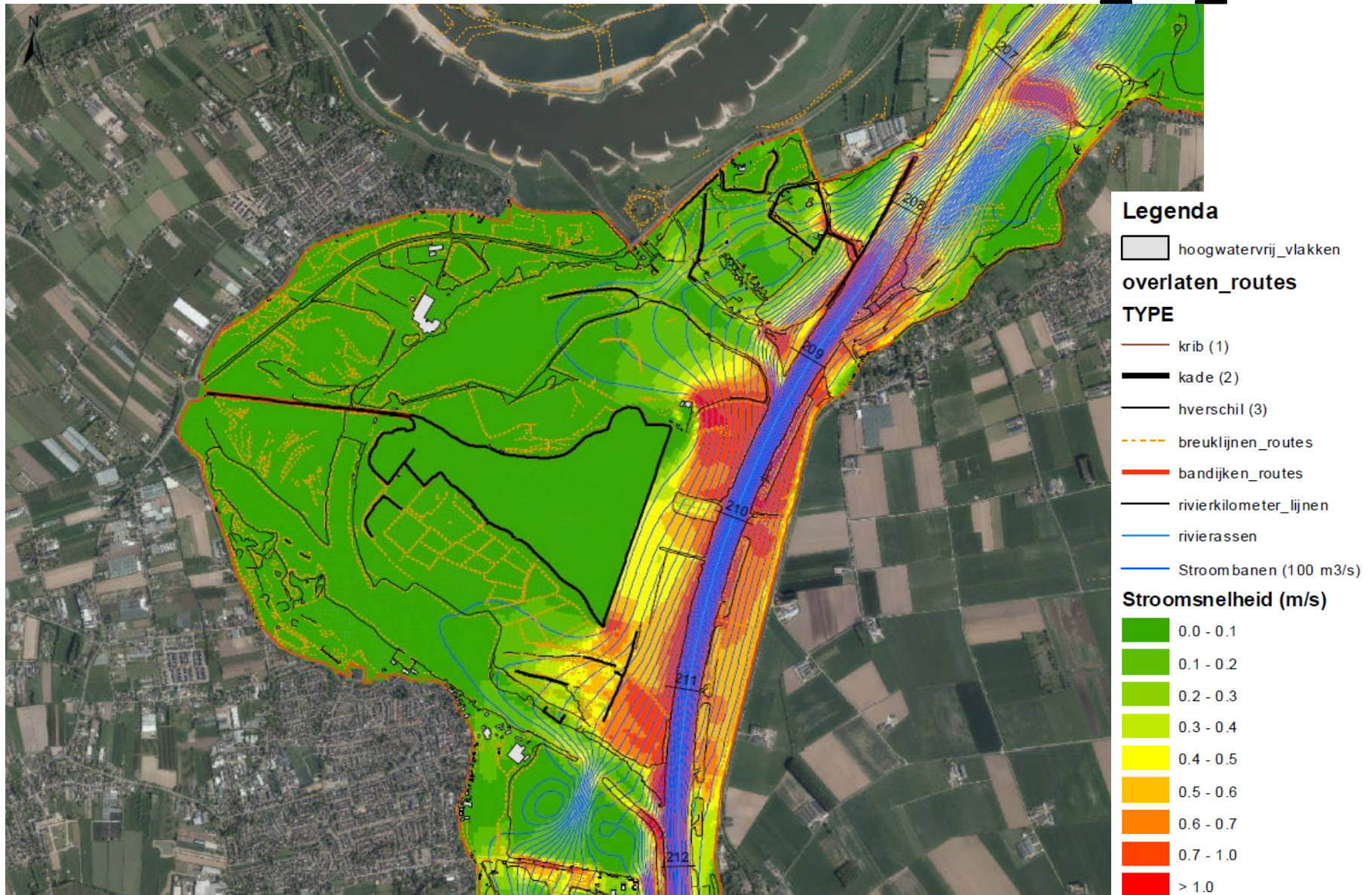
## Waterstandseffect (mm)



Zie ook bijlage kaarten



# Stroomsnelheid en stroombanen Alem\_dk\_a1



Zie ook bijlage kaarten

Bij een afvoer van 4118 m<sup>3</sup>/s bij Borgharen



# Score: Dijkteruglegging Alem

Criteria	Score	toelichting
Waterstandseffect	Positief effect  Max daling 1,6 cm	Indien alleen de dijk terug gelegd wordt daalt de waterstand met 1,66 cm. Deze daling is relatief beperkt doordat rondom de dijk nog hoge grond aan de noordkant en zuidkant blijft liggen. Als deze hoge grond ook verlaagd wordt zal het effect groter zijn.
Dwarsstroming (nautisch beheer)	Licht negatief effect verwacht bij de hogere afvoeren (vanaf 2 dagen per jaar (1.500 m <sup>3</sup> /s) stromen de weerden mee)	Dwarsstroming is nu waarschijnlijk het hoogst bij de dwarse obstakels, zoals de veerstoep. De dwarsstroming neemt toe als dijk wordt teruggelegd. Er stroomt bij afvoeren vanaf 1.500 m <sup>3</sup> /s meer water door de bredere uiterwaard. Dat water stroomt bij de obstakels weer geconcentreerd terug.
Morfologie (sedimentbeheer)	Licht negatief effect Aanzanding zomerbed neemt licht toe.	De verlegging stroomt mee vanaf afvoeren van 1.500 m <sup>3</sup> /s (maaiveld 3,5 m+NAP). Er stroomt dan meer water door de uiterwaard. Dit resulteert in morfologische effecten. Er zal aanzanding optreden in het zomerbed op traject van de dijkteruglegging (rkm 209,5-211). Echter is er op het huidige traject rkm 209 – 212 een overdiepte aanwezig (zie ook <a href="#">huidige situatie morfologie</a> ), in overleg met RWS ON zal moeten worden bepaald of deze overdiepte gebruikt mag worden om de sedimentatie op te vangen.
Rivierbeheer (sedimentbeheer, nautisch beheer, Vegetatiebeheer)	Beperkte toename (effect beperkt)	Qua rivier beheer wordt er een kleine toename verwacht ten opzichte van de huidige situatie. Er is meer uiterwaard om te beheren (vegetatiebeheer). Daarnaast is er iets van toename qua aanzanding (en baggeronderhoud) in het zomerbed mogelijk.

# 3. Weerdverlaging

Ingrep:

- Het gaat hier om een maaiveld verlaging aan de rechteroever van de Maas, zie paarse vlak in onderstaande kaart, binnen de rode stippellijn.
- Met name het bovenstroomse deel en benedenstroomse deel liggen relatief hoog (hoogtes 3,5 à 4,5 m + NAP, inundatiefrequentie < één dag per jaar). Enkele percelen in het middendeel liggen al reeds lager (NAP+2,5 m, inundatiefrequentie ca. 1 maand per jaar). Er is dus slechts op een deel van de rechteroever een substantiële verlaging mogelijk.

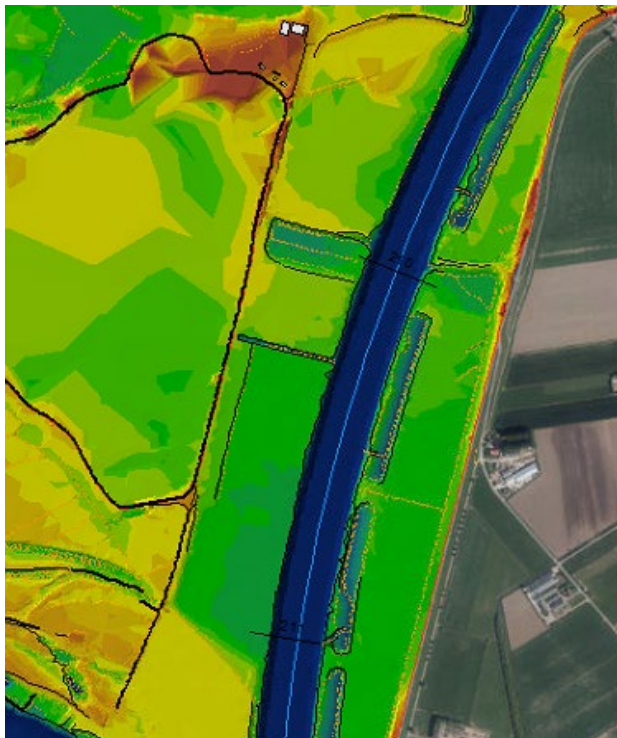


# Beschrijving modelschematisatie weerdverlaging

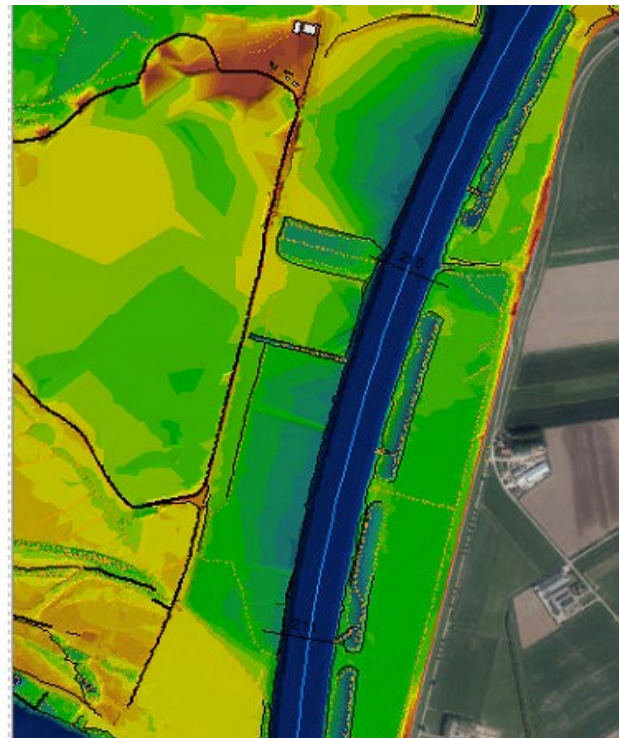
(maatregel 3)

- Maasoeverpark maatregel (CSO, id: 'ma\_wvmsd\_a1') is hiervoor gebruikt, deze maatregel bestaat uit de weerdverlaging van de oever langs de westzijde van de Maas bij Alem.
- In onderstaand figuur is links het referentiemodel weergegeven en rechts het ontwerp.
- De westelijk oever is aflopend verlaagd, bij de dijkteen is de verlaging 0 tot maximaal bij de rivier 1,5m.
- Dit ontwerp is destijds grof ingetekend, en dient in een mogelijke plan uitwerking verder uitgewerkt te worden in meer detail.

Referentie



Ontwerp



## Legenda

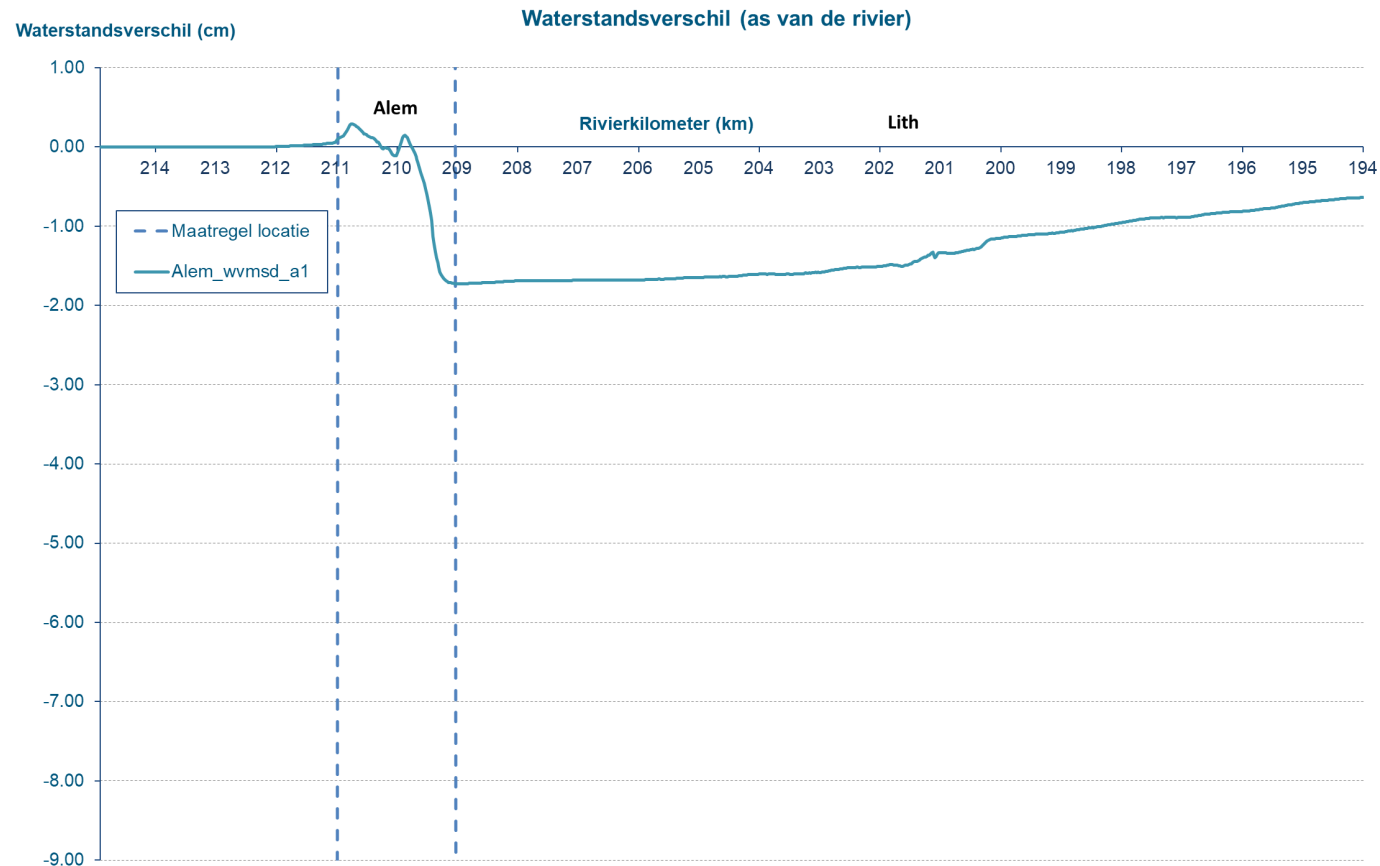
- hoogwatervrij\_vlakken
- kades\_routes
- hoogteverschillijnen\_routes
- - - - breuklijnen\_routes
- bandlijnen\_routes
- rivierkilometer\_lijnen
- rivierassen

## bodemhoogte [m+NAP]

- 7 - 99
- 6.5 - 7
- 6 - 6.5
- 5.5 - 6
- 5 - 5.5
- 4.5 - 5
- 4 - 4.5
- 3.5 - 4
- 3 - 3.5
- 2.5 - 3
- 2 - 2.5
- 1.5 - 2
- 0.5 - 1
- 0 - 0.5
- -22.68 - 0

# Waterstandseffect in de as van de rivier

- Max daling: 1,73 cm
- Max opstuwing: 0,29 cm



Bij een afvoer van 4118 m<sup>3</sup>/s bij Borgharen

# Waterstandseffect 2D Alem\_wvmsd\_a1

- Langs de dijk tussen Lith en Bokhoven de waterstandsdeling bij Lith (rkm 202) 1,53 cm en neemt tot maximaal 1,71 cm (rkm 209), daarna daalt de waterstandsdeling naar 0. Gevolgd door een lokale opstuwung van 1,5 mm (rkm 211).

## Legenda

— rivierkilometer\_lijnen

— rivierassen

## Waterstandseffect (mm)

< -20

-20 - -17,5

-17,5 - -15

-15 - -12,5

-12,5 - -10

-10 - -5

-5 - -2,5

-2,5 - -1

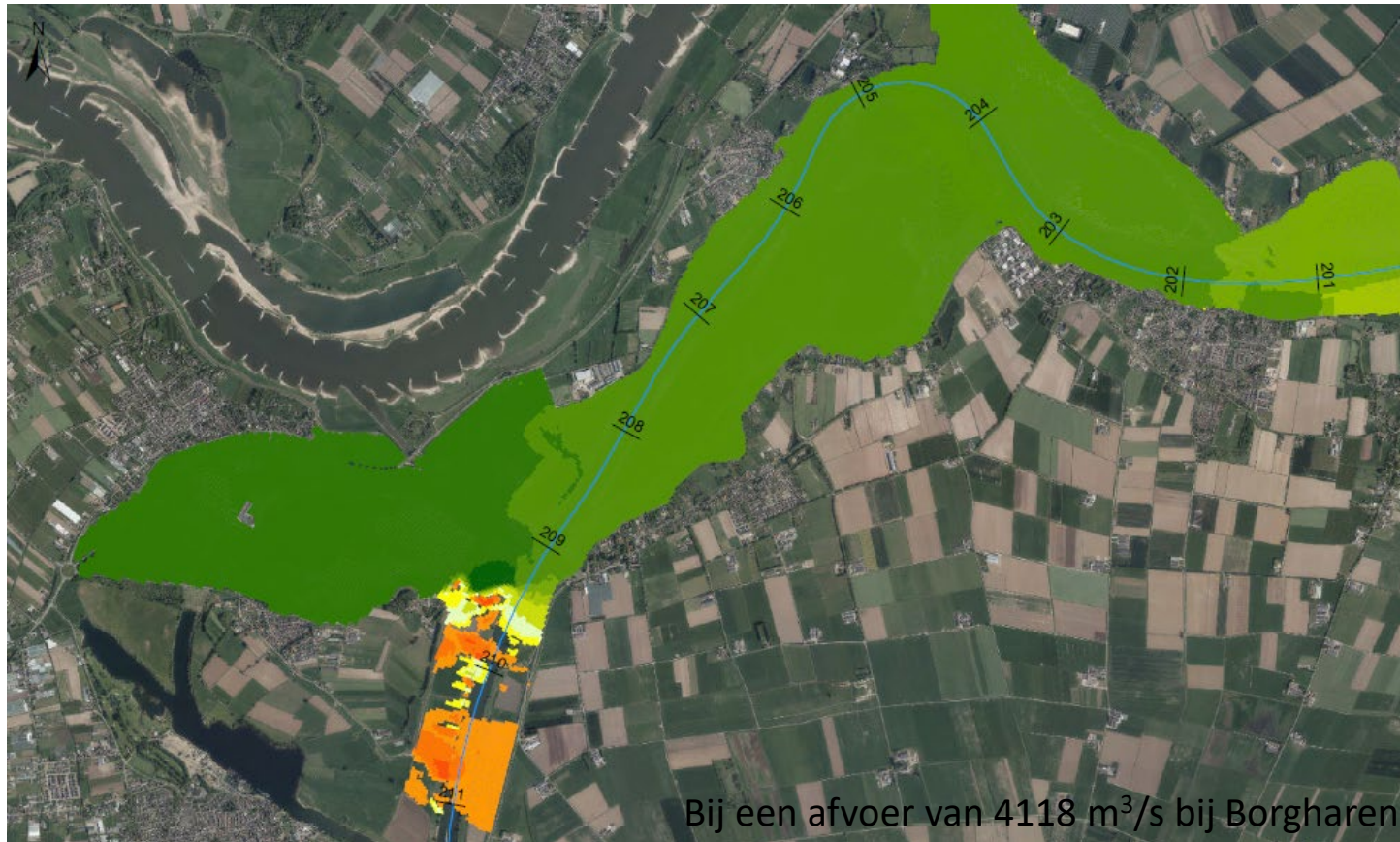
verschil kleiner dan 1 mm + of -

1 - 2,5

2,5 - 5

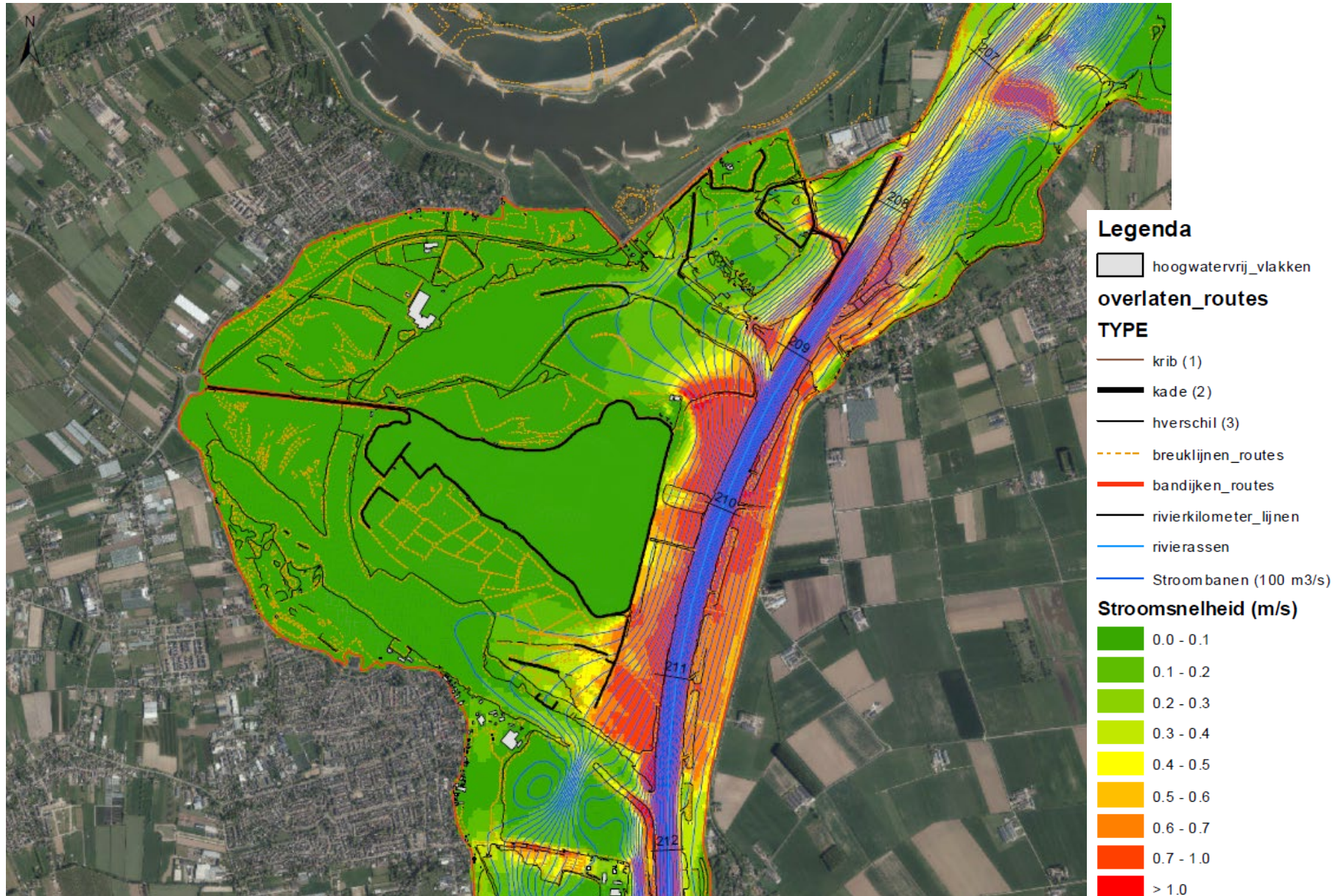
5 - 10

> 10



Zie ook bijlage kaarten

# Stroomsnelheid en stroombanen Alem\_wvmsd\_a1



Zie ook bijlage kaarten

Bij een afvoer van 4118 m<sup>3</sup>/s bij Borgharen

# Score: Weerdverlaging

Criteria	Score	Toelichting
Waterstandseffect	Positief,  Max daling 1,73 cm	De weerdverlaging is in het huidige ontwerp zeer grof ingetekend. En dient verder uitgewerkt te worden indien er voor deze maatregel gekozen wordt. Een realistisch niveau lijkt weerdverlaging tot ca NAP+2,5 m. Middendeel wordt dus niet/nauwelijks verder verlaagd. Daarmee totale waterstandswinst gering, ook omdat de obstakels op hoogte blijven (eigenlijk zou je deze willen verwijderen).
Dwarsstroming (nautisch beheer)	Aandachtspunt	Dwarsstroming is met name afhankelijk van obstakels, zoals de veerweg (4,2 à 4,5m +NAP, overstroomt bij ca 1.900 m <sup>3</sup> /s, komt ca eens per 4 jaar voor). Als de veerweg op hoogte blijft, dan neemt dwarsstroming daar toe door weerdverlaging. Reductie is mogelijk door het in stand houden van de huidige oever (als kade). Door een kade wordt voorkomen dat de verlaagde weerden al bij lagere afvoeren gaan meestromen. Reductie dwarsstroming kan ook door obstakels, zoals de veerweg, te verlagen, doorstroombaar te maken of te veerstoep te verplaatsen richting de bandijk door een inham te creëren. Een nevengeul met brug onder de veerweg door is een mogelijkheid. Enkele kleine duikers onder de veerweg door zal waarschijnlijk onvoldoende zijn, men moet dan meer denken aan brede kokers of een brugconstructie.
Morfologie (sedimentbeheer)	Negatief effect Aanzanding zomerbed neemt toe	Er zal meer water door de verlaagde weerden gaan stromen, dit resulteert in minder water in de hoofdgeul. Daarmee ontstaat er extra aanzanding in de hoofdgeul (traject rkm 209,5-211). Door het in stand houden van de huidige oever (als kade) kunnen de negatieve effecten beperkt worden. Echter is er op het huidige traject rkm 209 – 212 een overdiepte aanwezig (zie ook <a href="#">huidige situatie morfologie</a> ), in overleg met RWS ON zal moeten worden bepaald of deze overdiepte gebruikt mag worden om de sedimentatie op te vangen.
Rivierbeheer (sedimentbeheer, nautisch beheer, Vegetatiebeheer)	Toename (effect aanzienlijk)	Het rivierbeheer zal toenemen met name door extra sedimentatie in de hoofdgeul en mogelijke toename van dwarsstroming. Wat betreft vegetatiebeheer, zal dit voor de beheerder waarschijnlijk toenemen, want in de huidige situatie liggen hier akkers, door het verlagen van het gebied zullen de akkers vaker onderwater staan en minder geschikt zijn als akker. Waardoor dit waarschijnlijk door de beheerder beheerd moet gaan worden als grasland door bijvoorbeeld natuurlijke begrazing.

# Weerdverlaging aandachtspunten

- In stand houden en/of creëren van watergangen (sloten) haaks op het zomerbed is een mogelijkheid voor afwatering percelen. Deze watergangen leveren geen bijdrage aan de waterstandsdeling omdat ze haaks op de stroomrichting staan. Het laag houden van de vegetatie op de taluds van de watergangen is wel noodzakelijk voor reductie stromingsweerstand.
- De weerd aan de overzijde (linkeroever Maas) zou ook een bijdrage kunnen leveren aan de waterstanddaling.
- Kans: Deze ingreep is te combineren met de dijkverlegging Alem. Waarmee meer waterstandsdeling gerealiseerd kan worden (maar wel extra negatieve effecten op morfologie).





# 4. hydraulische optimalisatie buitenpolder Heerewaarden/Schutwaard

Ingreep:

- In de Heerewaarden/Schutwaard (binnen rode stippellijn) wordt de oeverwal aan de westzijde en oostzijde verlaagd en wordt een geul in het gebied aangelegd, conform de wensen en ambities van SBB voor dit gebied (Maas in beeld, 2006, Bureau Drift)



# Beschrijving modelschematisatie hydraulische optimalisatie buitenpolder Heerewaarden/Schutwaard (maatregel 4)

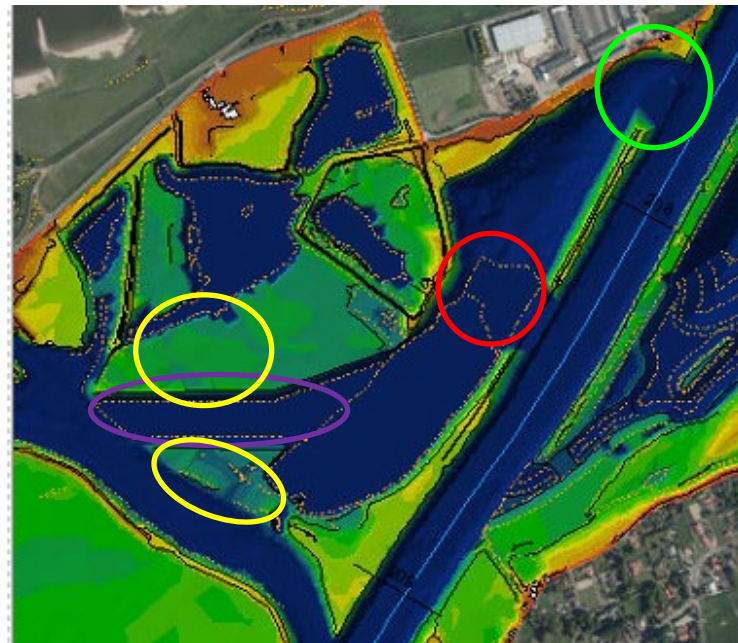
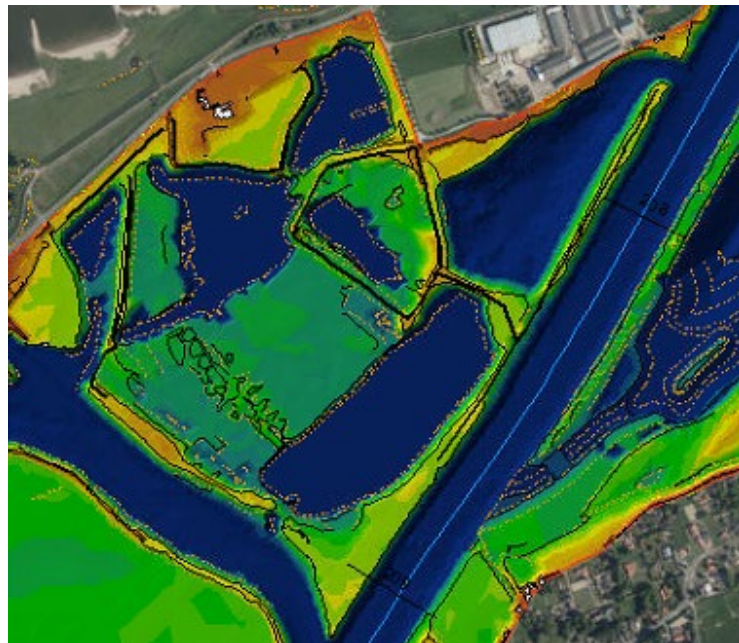
- Deze maatregel (id: 'ma\_hwaard\_a2') bestaat uit het doorsteken van 1 oeverwal (Groene cirkel), het samenvoegen van 2 plassen (rode cirkel), het graven van een nieuwe geulen (paarse cirkel) en het verlagen van maaiveld (gele cirkel). Zie onderstaand screenshot uit het Baseline model.
- De Maasoeverpark maatregel ((CSO), id: 'ma\_hwaard\_a1') is als basis gebruikt, deze maatregel is ingepast op de nieuwe referentie.
- Kenmerk maatregel: 'ma\_hwaard\_a2'.

## Legenda

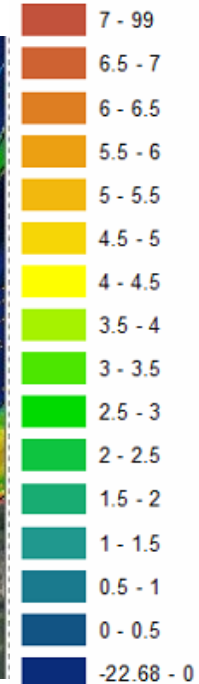


Referentie

Ontwerp

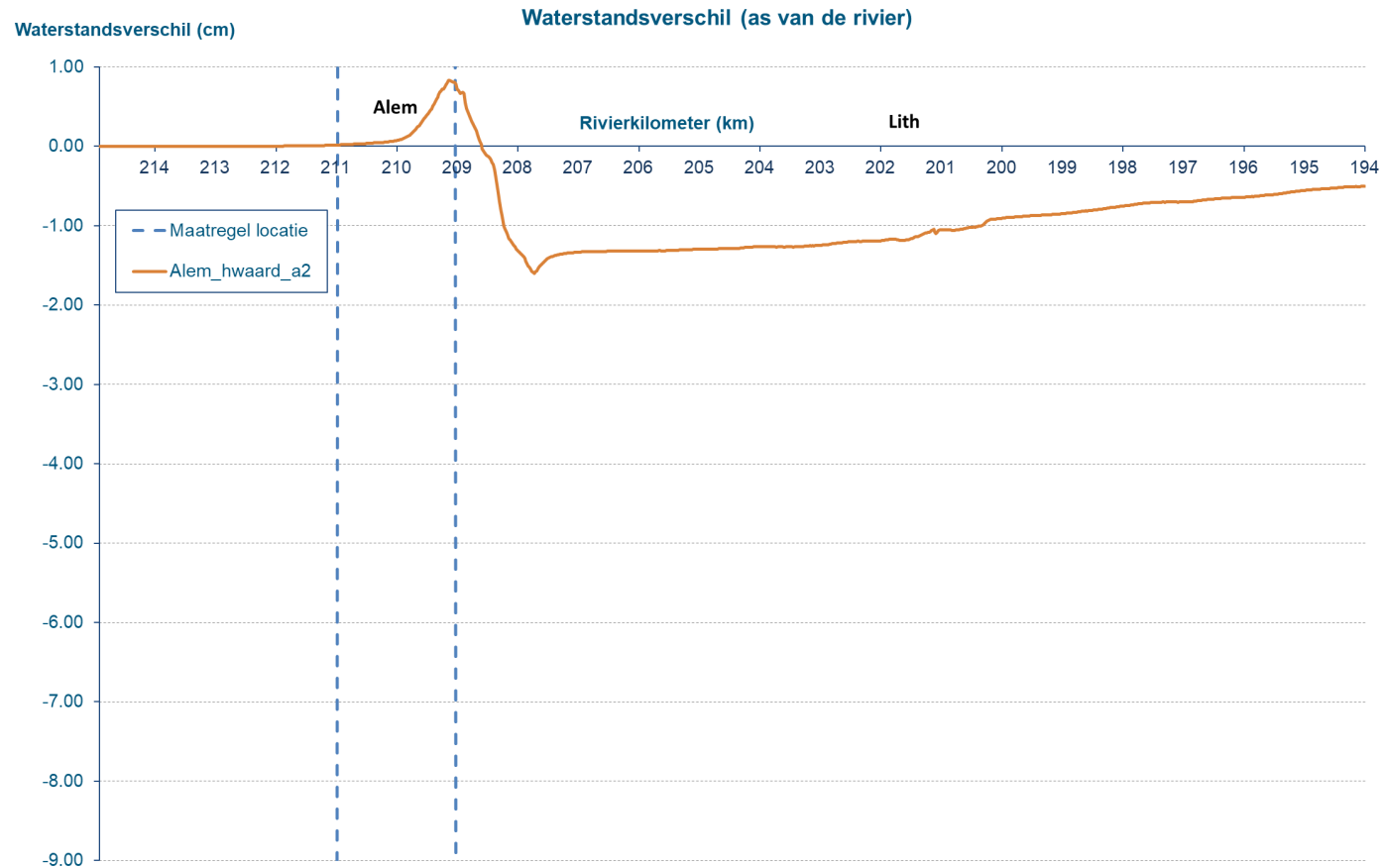


## bodemhoogte [m+NAP]



# Waterstandseffect in de as van de rivier

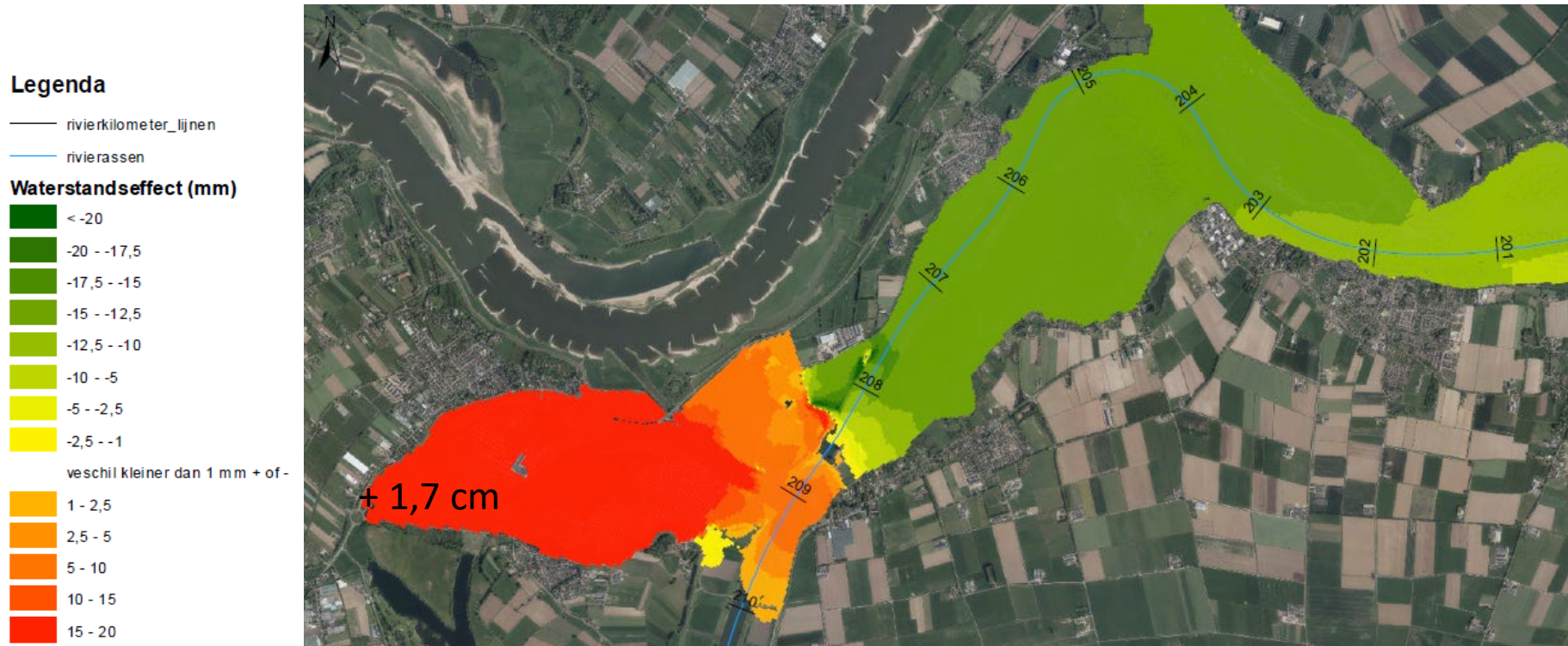
- Max daling: 1,60 cm
- Max opstuwing: 0,83 cm



Bij een afvoer van 4118 m<sup>3</sup>/s bij Borgharen

# Waterstandseffect 2D Alem\_hwaard\_a2

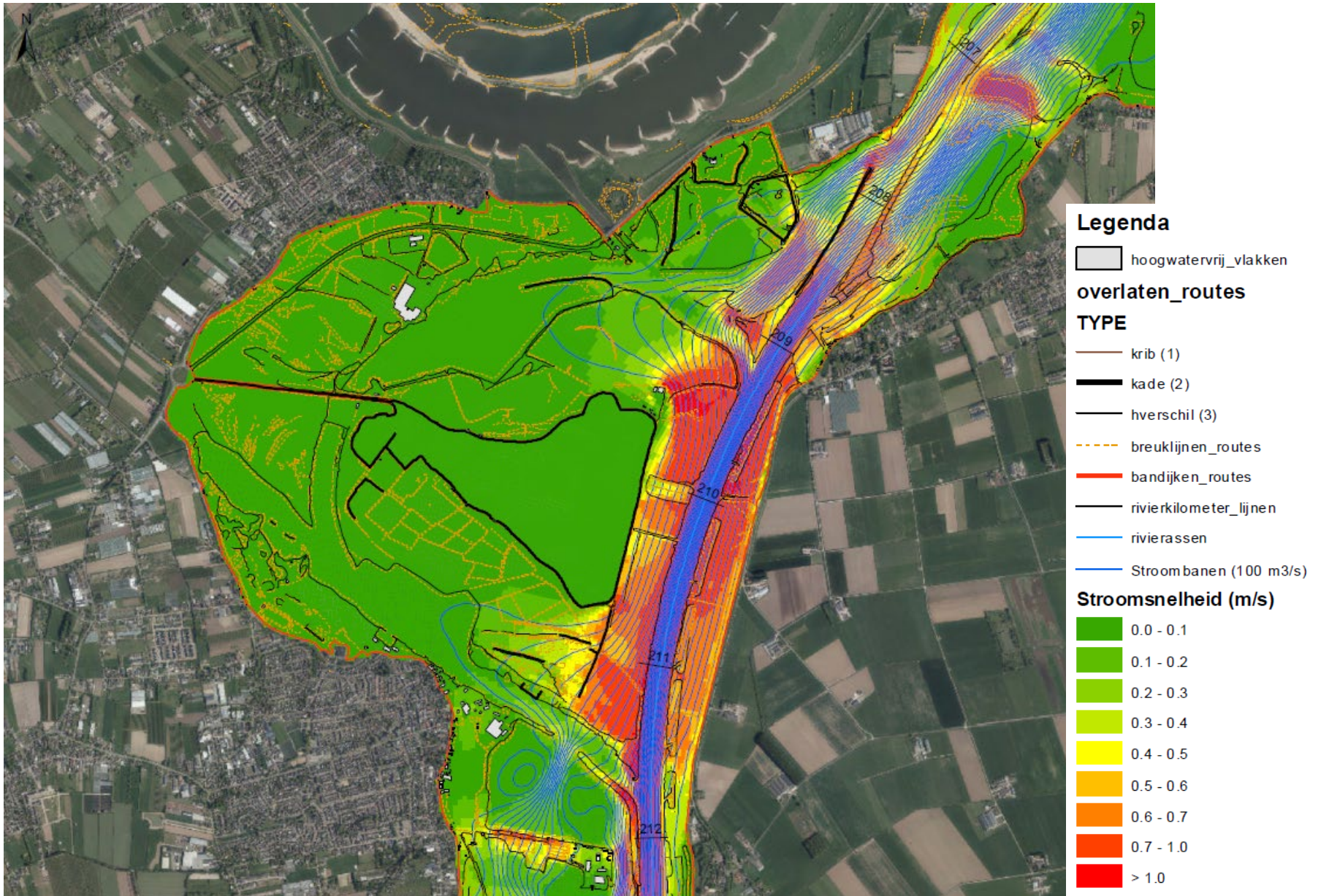
- Ten westen van Alem aan de noordzijde van de dam treed langs de bandijk opstuwung op van maximaal 1,7 cm.
- Langs de dijk tussen Lith en Bokhoven de waterstandsdeling bij Lith (rkm 202) 1,21 cm en neemt tot maximaal 1,32 cm (rkm 208), daarna daalt de waterstandsdeling naar 0. Gevolgd door een lokale opstuwung van 9 mm (rkm 211).



Zie ook bijlage kaarten

Bij een afvoer van 4118 m<sup>3</sup>/s bij Borgharen

# Stroomsnelheid en stroombanen Alem\_hwaard\_a2



Zie ook bijlage kaarten

Bij een afvoer van 4118 m<sup>3</sup>/s bij Borgharen

# Score: 4. hydraulische optimalisatie buitenpolder Heerewaarden/Schutwaard

Criteria	Score	Toelichting
Waterstandseffect	Neutraal (zowel waterstands­daling als opstuwing)	De ingreep resulteert in een waterstands­daling van max 1,6 cm in de as van de rivier. Daar tegen overstaat een grote opstuwing van 0,83 cm in de as van de rivier en langs de bandijk een opstuwing van 1,7 cm. In combinatie met het verlagen van de dam bij Alem (combinatie som A1), wordt de opstuwing op deze locatie weg genomen.
Dwarsstroming (nautisch beheer)	Aandachtspunt (effect groot, maar mogelijk te optimaliseren)	Dwarsstroming op rand vaarweg zal toenemen ter plaatse van instroom (rkm 207,5) en uitstroom (rkm 209,5). Doordat er veel meer water door de verbonden plassen stroomt (zie stroombanen). De maatregel stroomt al in een zeer vroeg stadium mee doordat erop dit moment geen drempel in het ontwerp zit, dit resulteert bij lage afvoeren ook in een hoge dwarsstroming bij de inlaat. Geadviseerd wordt om een volgend ontwerp hier wel een drempel neer te leggen zodat de nieuwe geul niet meestroomt bij lage afvoeren.
Morfologie (sedimentbeheer)	Negatief effect (effect groot)	Op het traject tussen rkm 207,5 – 209,5 neemt de aanzanding in het zomerbed toe doordat de stroomsnelheid hier afneemt, doordat er meer water stroomt door de uiterwaard. Advies is om bij de inlaat een drempel neer te leggen zodat de maatregel niet al mee stroomt bij lage afvoeren. Daarnaast is er op het huidige traject rkm 208 – 212 een overdiepte aanwezig (zie ook <a href="#">huidige situatie morfologie</a> ), in overleg met RWS ON zal moeten worden bepaald of deze overdiepte gebruikt mag worden om de sedimentatie op te vangen.
Rivierbeheer (sedimentbeheer, nautisch beheer, Vegetatiebeheer)	Toename (effect groot)	Door aanzanding op het traject tussen rkm 207,5 – 209,5 zal er mogelijk eerder gebaggerd moeten worden. Daarnaast neemt de dwarsstroming rond de in- en uitstroom sterk toe. Vegetatiebeheer zal afnemen op de locatie van de nieuwe geul. Daar waar het maaiveld verlaagd wordt neemt risico op opschot van natte ruigte en ooibos toe. Dit is echter volgens de vegetatie kaart ook toegestaan binnen de vegetatielegger mengklasse 70/30, dus is dit waarschijnlijk geen probleem voor vegetatiebeheer.

# Combinatie sommen

Combinatie som A1 =

- Maatregel 1 Verlagen dam tot hoogwatergeul
- Maatregel 4 Verlagen dam bij Heerewaarden

Combinatie som B1 =

- Maatregel 1 Verlagen dam tot hoogwatergeul
- Maatregel 3 Weerdverlaging Maasuiteerwaarden
- Maatregel 4 Verlagen dam bij Heerewaarden

# Waterstandseffect in de as van de rivier

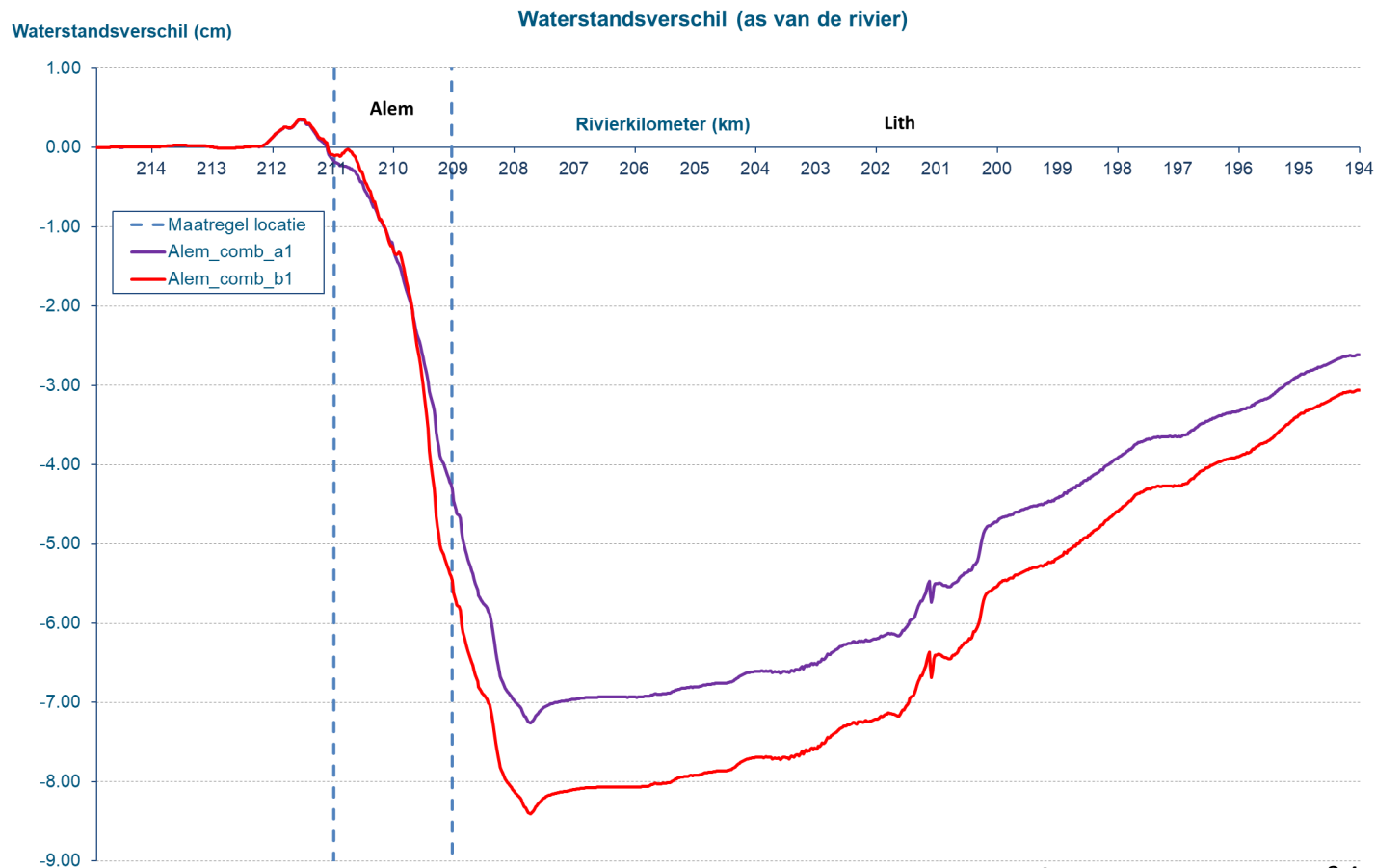
## Combinatie sommen

Combinatie som A1 (maatregel 1+4)

- Max daling: 7,26 cm
- Max opstuwung: 0,35 cm

Combinatie som b1 (maatregel 1+3+4)

- Max daling: 8,41 cm
- Max opstuwung: 0,36 cm





# Score: combinatie som A1

Criteria	Score	Toelichting
Waterstandseffect	Positief effect, maar ook opstuwning.  Max. daling 7,3 cm	Forse waterstandsval van 7,26 cm met een beperkte opstuwning van 3,5 mm. Na de dam ontstaat er een opstuwning deze opstuwning is langs de bandijk maximaal 2,2 cm. In overleg met het waterschap zal bekeken moeten worden of dit toelaatbaar is.
Dwarsstroming (nautisch beheer)	Aandachtspunt	Dwarsstroming op rand vaarweg zal toenemen ter plaatse van instroom (rkm 207,5-209) en uitstroom (rkm 212). Het realiseren van een drempel bij de instroom 207,5 is wel noodzakelijk voor maatregel 4.
Morfologie (sedimentbeheer)	Negatief effect Groot	Op het traject tussen rkm 207,5 – 212 neemt de aanzanding in het zomerbed toe doordat de stroomsnelheid hier afneemt. Ten opzichte van alleen de dam verlagen neemt de aanzanding verder toe omdat er meer water door de uiterwaard stroomt bij deze combinatie. Het realiseren van een drempel bij de instroom km 207,5 is wel noodzakelijk voor maatregel 4. Daarnaast is er op het huidige traject rkm 208 – 212 een overdiepte aanwezig (zie ook <a href="#">huidige situatie morfologie</a> ), in overleg met RWS ON zal moeten worden bepaald of deze overdiepte gebruikt mag worden om de sedimentatie op te vangen.
Rivierbeheer (sedimentbeheer, nautisch beheer, Vegetatiebeheer)	Toename (effect groot)	Door aanzanding op het traject tussen rkm 207,5 – 212 zal er mogelijk eerder gebaggerd moeten worden. Nautisch zal de dwarsstroming toenemen, dit dient beperkt te worden in verder optimalisaties. Vegetatiebeheer blijft beperkt en zal nauwelijks toenemen ten opzichte van de huidige situatie.

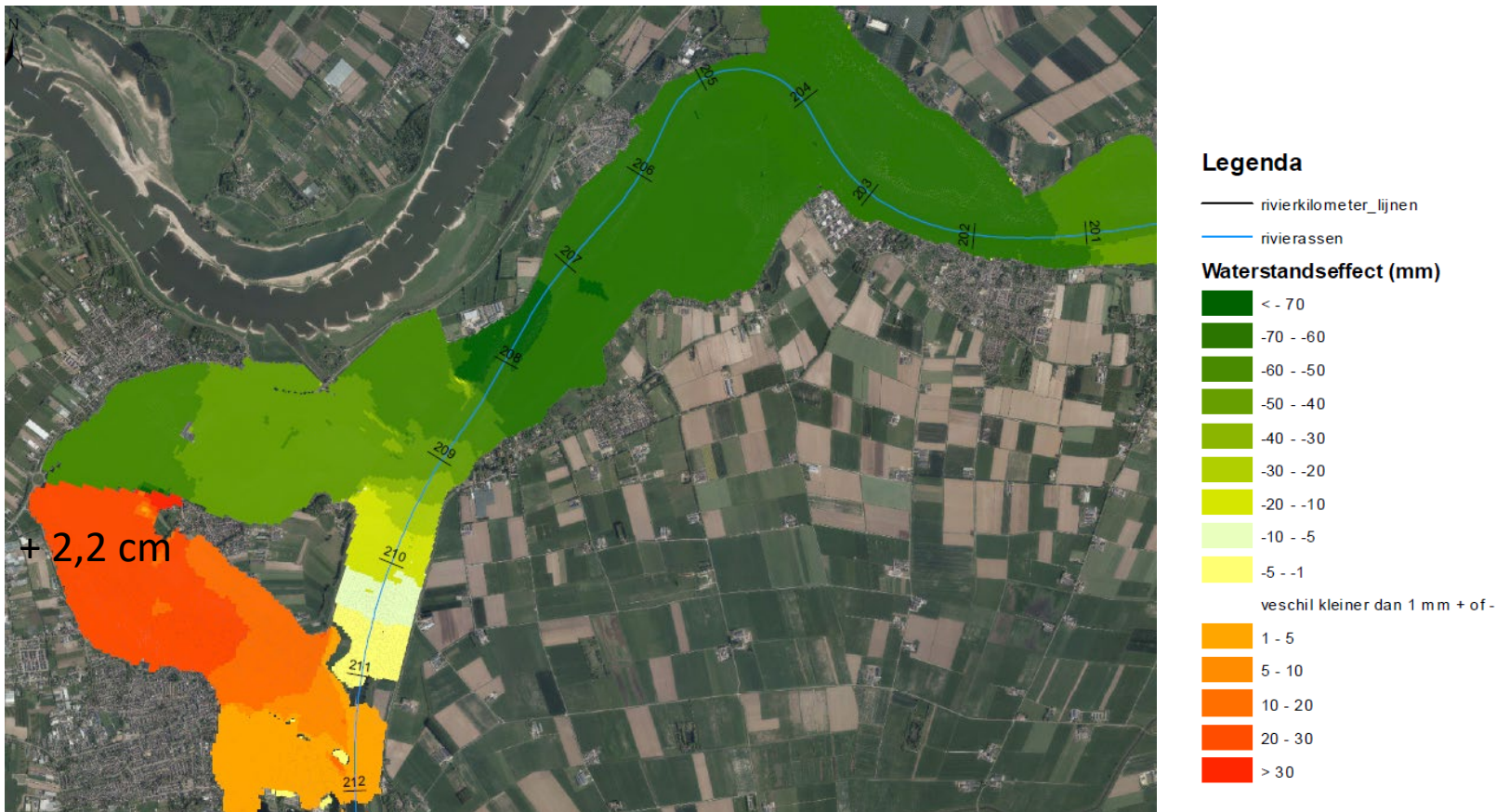
# Score: combinatie som B1

Criteria	Score	Toelichting
Waterstandseffect	Positief effect, maar ook opstuwing.  Max. daling 8,4 cm	Forse waterstandsval van 8,41 cm met een beperkte opstuwing van 3,6 mm.  Na de dam ontstaat er een opstuwing deze opstuwing is langs de bandijk maximaal 2,2 cm. In overleg met het waterschap zal bekeken moeten worden of dit toelaatbaar is.
Dwarsstroming (nautisch beheer)	Aandachtspunt	Dwarsstroming op rand vaarweg zal toenemen ter plaatse van instroom (rkm 207,5-209) en uitstroom (rkm 212) vanaf moment dat de opening gaat meestromen. Het realiseren van een drempel bij de instroom rkm 207,5 (maatregel 4) is wel noodzakelijk. Ook neemt de dwarsstroming rondom de weerdverlaging mogelijk toe, zie ook maatregel 3.
Morfologie (sedimentbeheer)	Negatief effect groot	Op het traject tussen rkm 207,5 – 212 neemt de aanzanding in het zomerbed toe doordat de stroomsnelheid hier afneemt. Ten opzichte van alleen de dam verlagen neemt de aanzanding verder toe omdat er meer water door de uiterwaard stroomt bij deze combinatie som. Het realiseren van een drempel bij de instroom rkm 207,5 is wel noodzakelijk voor maatregel 4. Daarnaast is er op het huidige traject rkm 208 – 212 een overdiepte aanwezig (zie ook <a href="#">huidige situatie morfologie</a> ), in overleg met RWS ON zal moeten worden bepaald of deze overdiepte gebruikt mag worden om de sedimentatie op te vangen.
Rivierbeheer (sedimentbeheer, nautisch beheer, Vegetatiebeheer)	Toename (effect groot)	Door aanzanding op het traject tussen rkm 207,5 – 212 zal er mogelijk eerder gebaggerd moeten worden. Nautisch zal de dwarsstroming toenemen, dit dient beperkt te worden in verder optimalisaties. Vegetatiebeheer zal toenemen voor de beheerder daar waar de akkers omgezet worden naar grasland (zie maatregel 3 weerdverlaging).

# Combinatie som A1 = maatregel 1 + 4

## Waterstandseffect in 2D

- Ten westen van Alem aan de noordzijde van de dam treed langs de bandijk opstuwung op van maximaal 2,2 cm.
- Langs de dijk tussen Lith en Bokhoven de waterstandsdeling bij Lith (rkm 202) 6,25 cm en neemt tot maximaal 6,96 cm (rkm 208), daarna daalt de waterstandsdeling naar 0. Gevolgd door een lokale opstuwung van 3,3 mm (rkm 212).

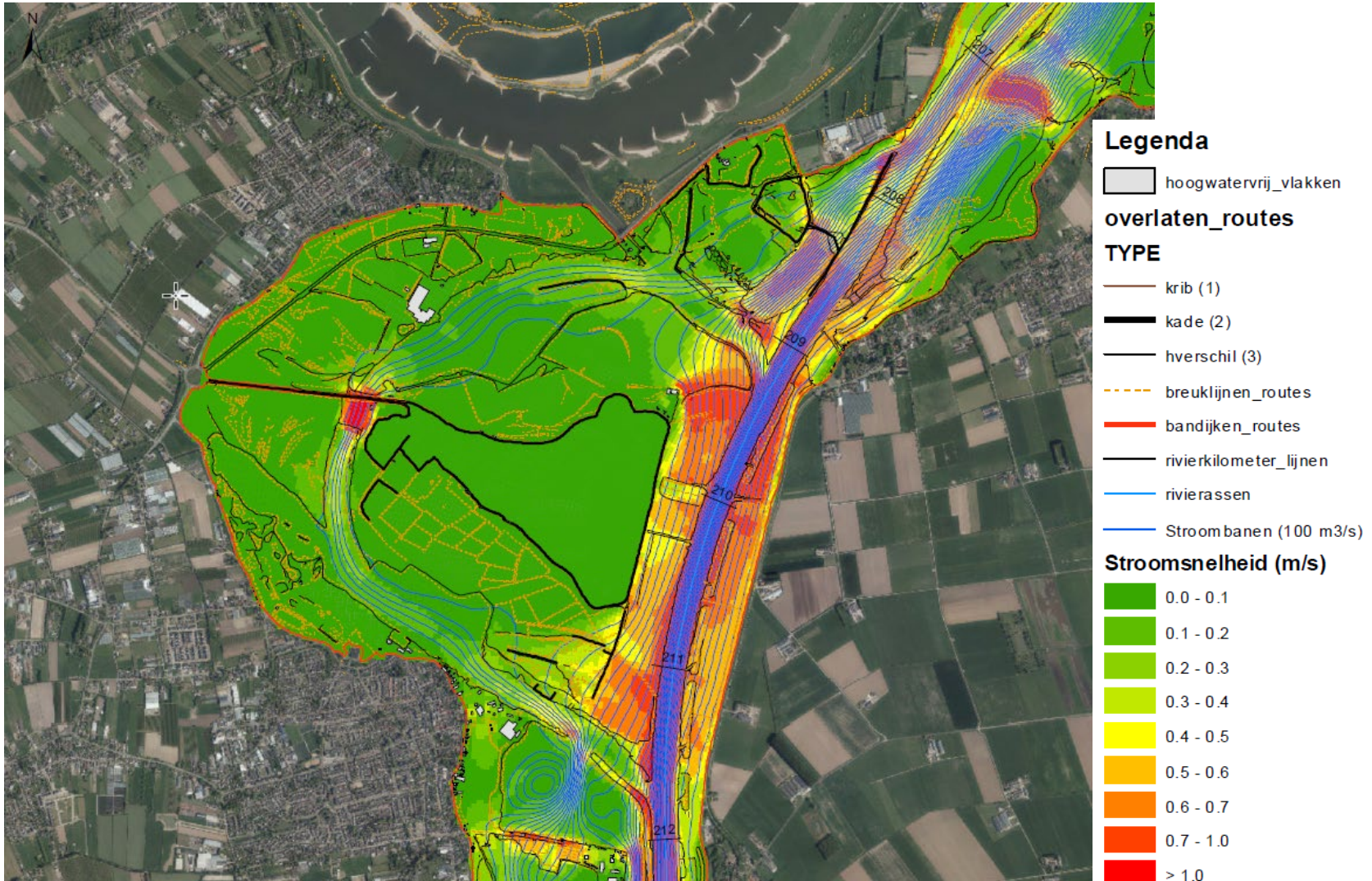


Zie ook bijlage kaarten

Bij een afvoer van 4118 m<sup>3</sup>/s bij Borgharen

# Combinatie som A1 = maatregel 1 + 4

## Stroomsnelheid



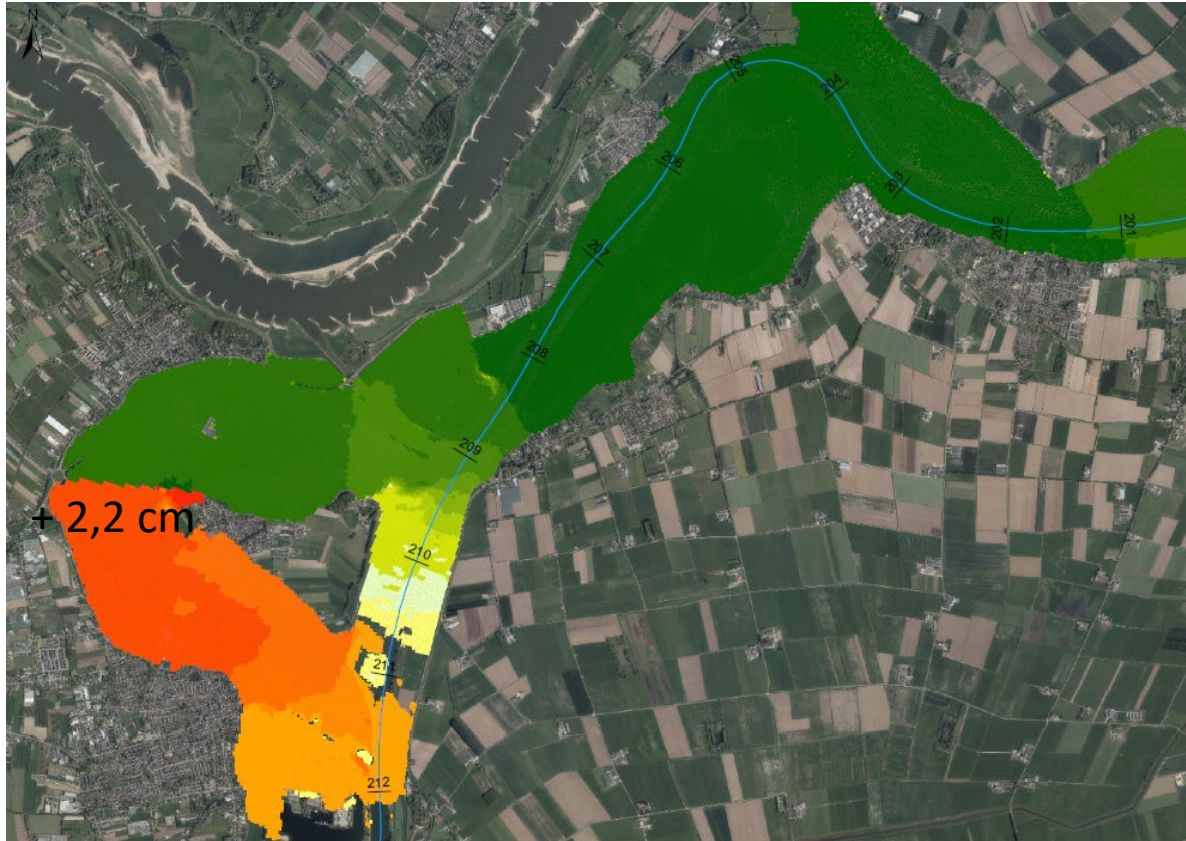
Zie ook bijlage kaarten

Bij een afvoer van 4118 m<sup>3</sup>/s bij Borgharen

# Combinatie som B1 = maatregel 1 + 3 + 4

## Waterstandseffect in 2D

- Ten westen van Alem aan de noordzijde van de dam treed langs de banddijk opstuwung op van maximaal 2,2 cm.
- Langs de dijk tussen Lith en Bokhoven de waterstandsdeling bij Lith (rkm 202) 7,32 cm en neemt tot maximaal 8,10 cm (rkm 208), daarna daalt de waterstandsdeling naar 0. Gevolgd door een lokale opstuwung van 3,3 mm (rkm 212).



### Legenda

— rivierkilometer\_lijnen

— rivierassen

### Waterstandseffect (mm)

< - 70

-70 - -60

-60 - -50

-50 - -40

-40 - -30

-30 - -20

-20 - -10

-10 - -5

-5 - -1

verschil kleiner dan 1 mm + of -

1 - 5

5 - 10

10 - 20

20 - 30

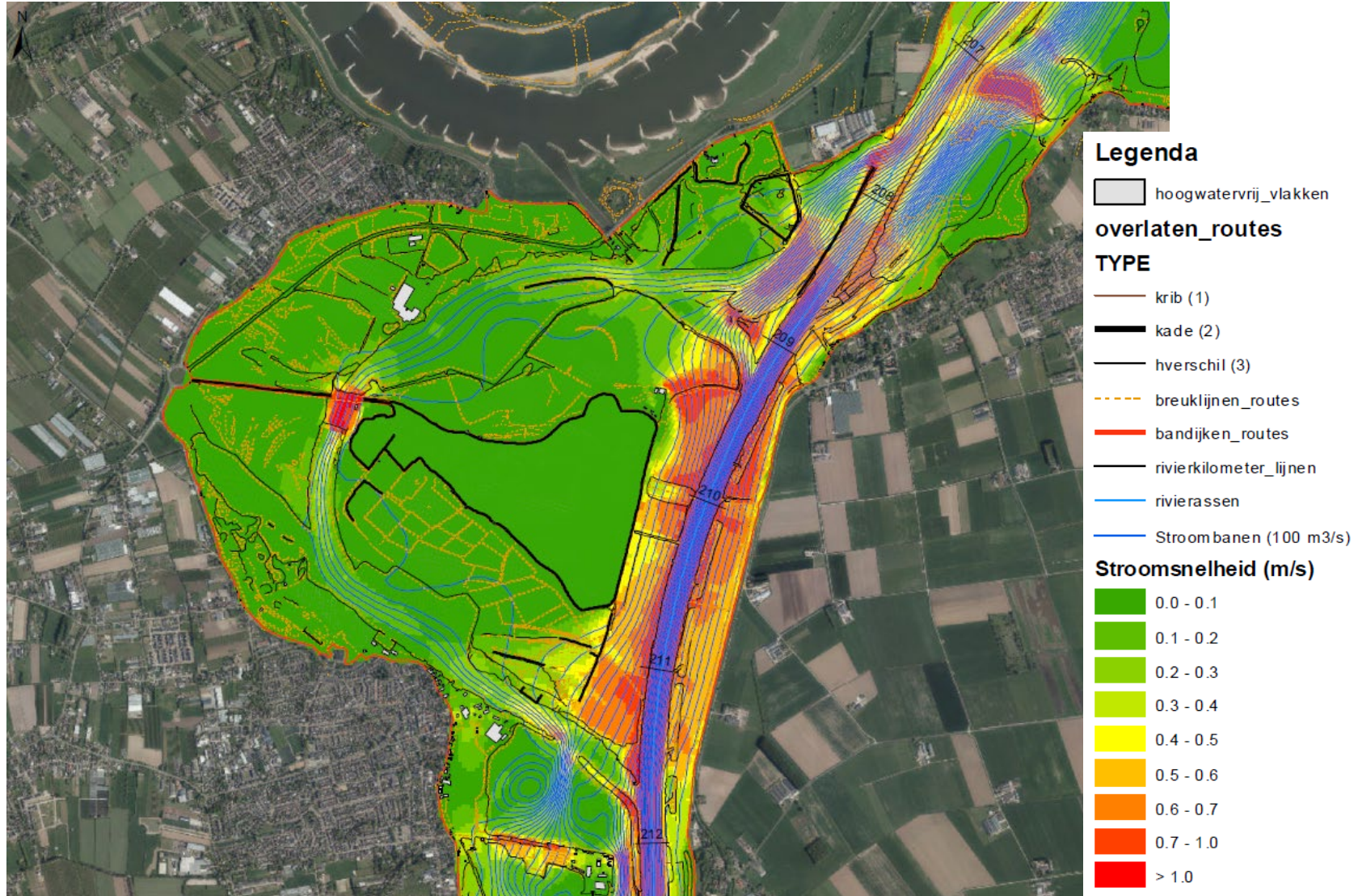
> 30

Zie ook bijlage kaarten

Bij een afvoer van 4118 m<sup>3</sup>/s bij Borgharen

# Combinatie som B1 = maatregel 1 + 3 + 4

## Stroomsnelheid



Zie ook bijlage kaarten

Bij een afvoer van 4118 m<sup>3</sup>/s bij Borgharen

# Rivierkundige systeembeschouwing

## Alem – Sint Andries

### *stap 2: Kansen*

#### Overig initiatieven:

- [Stromingsdynamiek Piekenwaard terug brengen](#)
- [Vergraving Marensche waarden \(zandwinning\)](#)
- [Dijkversterkingstraject Lith-Bokhoven](#)
- [Dijkversterkingsproject Meanderende Maas](#)
- [Ooibos ontwikkeling \(natuur\)](#)
- [KRW maatregelen](#)
- [Natuurontwikkeling Alem in stapsteengebied Sint Andries](#)
- Waterreservoirs langs de Maas
- Ruimte voor Maasdriel

**Daarnaast is er gekeken naar de volgende punten binnen stap 2:**

[Kansrijke combinaties](#)

[No regret maatregelen](#)

[Aandachtspunten klimaatverandering](#)

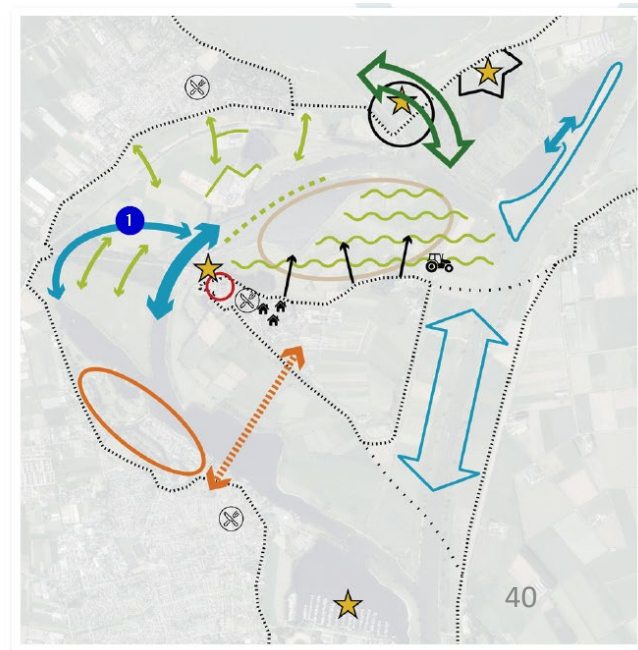
# Stromingsdynamiek Piekenwaard terug brengen (1)

## Ingrep:

- Creëren van een beperkt meestromende geul. Het betreft een beperkte verbinding door een knijpduiker van de oude Maasarm (noordzijde) naar het Gat van Sientje. Zie blauwe pijl bij locatie 1 in onderstaande kaart. De locatie en dimensie van de knijpduiker is een ontwerpogave, deze kan bovenstrooms (meestal de voorkeur vanwege meer stroming in de geul) of in middendeel of aan benedenstroomse einde.

## Aandachtspunten vanuit Rivierkunde:

- Het waterstandsverschil tussen beide zijden van de Jan Klingeweg is 24 cm bij MHW. Bij gemiddelde afvoeren is dit waterstandsverschil veel kleiner, slechts enkele cm's. Meer dan 1 maand per jaar is dit verschil ca 5 cm.
- Er treedt ter plaatse ook een getij verschil op van ongeveer 20cm.

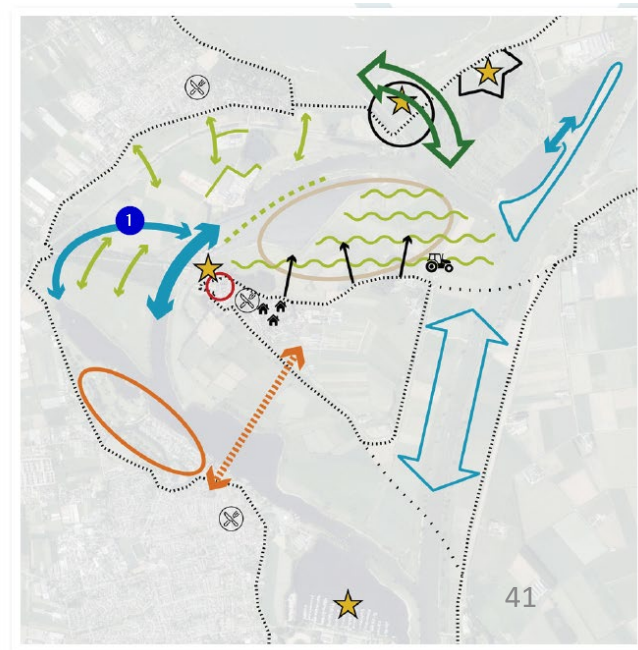




# Stromingsdynamiek Piekenwaard terug brengen (2)

Aandachtspunten vanuit Rivierkunde:

- Afhankelijk van de KRW doelsoorten is er een bepaalde stroomsnelheid gewenst in de geul.
- De knijpduiker dient het debiet te knijpen waarbij het debiet in ieder geval kleiner is dan 1% van de Maasafvoer onder normale tot jaarlijks hoge Maasafvoeren. Dit om negatieve effecten morfologie te voorkomen.
- Het combineren van een knijpduiker bovenstrooms en een grote duiker in middendeel is een mogelijkheid. Daarmee wordt onder normale afvoeren de instroom gereduceerd (tot bijv. 1%) om daarmee het morfologisch effect te reduceren. Bij hoge afvoeren overstroomt de kade en knijpduiker en zorgt een grote duiker (bv in dam Alem) voor enige reductie van de doorstroom, geul levert dan wel bijdrage aan waterstandsdeling.



# Stromingsdynamiek Piekenwaard terug brengen (3)

Aandachtspunten vanuit Rivierkunde:

- Aandachtspunt is de afstand tot de primaire waterkering. De beschermingszone ligt hier tot 150m vanaf de buitenkruin van de kering. De geul dient buiten deze zone te blijven en bij voorkeur daar nog enige afstand buiten. Zowel qua grondverzet (geohydrologisch effect, o.a. afhankelijk van samenstelling ondergrond) en qua stroming (stroming langs de dijk) is de ligging van een geul zo dicht bij de waterkering een aandachtspunt.



# Score: Stromingsdynamiek Piekenwaard terug brengen

Criteria	Score	Toelichting
Waterstandseffect	Zeer beperkt	Ingreep ligt in stromingsluwe deel bij MHW. Doordat de doorstroom ook bij hoogwater beperkt zal zijn, is het waterstandseffect minimaal (mogelijk orde millimeters daling)
Dwarsstroming	Beperkt	Indien het debiet door de duiker/geul laag blijft zullen de effecten op dwarsstroming (op rand vaarweg) nauwelijks aanwezig zijn.
Morfologie	Aanzanding neemt beperkt toe	Op het traject RKM 209 – 211 neemt de aanzanding toe doordat water uit de hoofdgeul nu via de geul stroomt. Indien het debiet door de geul laag blijft in ieder geval kleiner dan 1% van de totale afvoer zou het effect beperkt moeten zijn.

De ingreep heeft vooral meerwaarde voor KRW / natuurdoelen. De combinatie van getij en een waterstandsverschil kan zorgen voor een geul waar enige waterstandsdynamiek en stroming aanwezig is. Dit kan een interessante plek opleveren voor bepaalde vis en vegetatiesoorten. Voldoende stroming (ca 0,3 m/s bij zomergemiddelde afvoeren is voor stroomminnende soorten bijv. een ontwerpdoel) is waarschijnlijk echter enkel een korte periode (1-2 maanden) van jaar aanwezig. Nader ontwerp op doelsoorten kan hierin helpen.

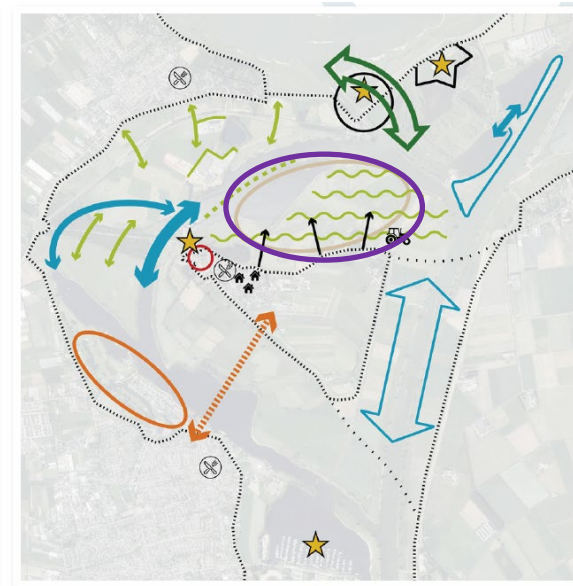
# Vergraving Marensche waarden (zandwinning) (1)

Ingrep:

- Zandwinning Marensche waard, zie paarse cirkel aan de noordzijde van Alem in onderstaande kaart.

Aandachtspunten vanuit Rivierkunde:

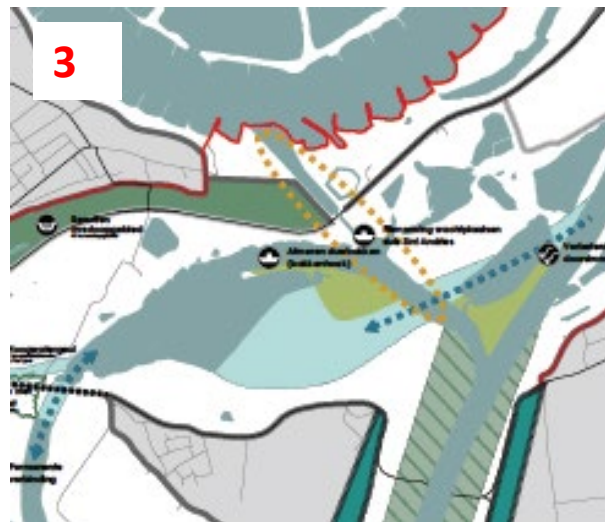
- De zandwinplas trekt extra water richting de Marensche waarden bij een hoge Maasafvoer. Dit water stroomt vervolgens weer terug naar het zomerbed nabij rkm 210, hetgeen mogelijk tot extra dwarsstroming kan leiden en mogelijk ook morfologisch effect kan geven (erosie rondom oevers kmr 208-209 en aanzanding in eerste deel oude rivierarm).
- In combinatie met de ingreep om de dam doorlaatbaar te maken, dient het ontwerp zo optimaal mogelijk ingericht te worden zodat de stroombanen naar de opening in de dam niet belemmerd worden door bijvoorbeeld een kade of bosrand.
- Het vormgeven van de zandwinplas als zandvang heeft geen meerwaarde. De plas zal sowieso sediment gaan invangen vanwege haar diepte en geringere stroomsnelheid. Bij voorkeur is de plas eenzijdig aangetakt en heeft het geen directe open verbinding met het zomerbed van de Maas vanwege morfologie en dwarsstroming.



# Vergraving Marensche waarden (zandwinning) (2)

Varianten:

- Er zijn verschillende varianten getoond voor de zandwinning:
  - Variant 1: geen open verbinding aan noordoost zijde
  - Variant 2: deels open verbinding aan noordoostzijde met eilanden
  - Variant 3: open verbinding richting doorsteek in Heerewaarden (maar dam Alem nog niet open)



# Score: Vergraving Marensche waarden (zandwinning)

Criteria	Score	Toelichting
Waterstandseffect	Geen (variant 1) Zeer beperkt (variant 2) Beperkt (variant 3)	De zandwinning ligt grotendeels in een stromingsluw gedeelte. Afhankelijk van inrichting oostelijk deel, zal er een beperkte waterstandsdaling zijn.
Dwarsstroming	Geen (variant 1) Lichte toename (variant 2) Toename (variant 3)	In geval van een open verbinding aan de noordoostelijke zijde (variant 2 en 3) zal er meer dwarsstroming zijn dan bij een gesloten noordoostelijke oever. De plas trekt dan meer water bij middelhoge afvoeren. Die waterbeweging richting plas en weer terug naar zomerbed zorgt in dat geval voor dwarsstroming.
Morfologie	Geen (variant 1) Lichte toename (variant 2) Lichte toename (variant 3)	Hier geldt het zelfde als voor dwarsstroming. Omdat de plas enkel volledig stroomvoerend is bij een hoge afvoer (als oevers overstromen) zal haargemiddelde morfologisch effect bij variant 2 en 3 gering blijven.

# Dijkversterkingstraject Lith-Bokhoven en Ravestein-Lith

## Ingreep:

- De verkenning van het Dijkversterkingstraject Lith-Bokhoven staat gepland voor 2023.
- De ingreep Meanderende Maas (dijkversterking Ravestein-Lith) ligt bovenstrooms en heeft geen rivierkundig effect op projectgebied Alem. Ontwerp Meanderende Maas gaat richting DO in eind 2021. Mogelijke waterstandsdeling project Alem kan niet meer meegenomen worden binnen ontwerp Meanderende Maas.

Voor de dijkversterking Lith – Bokhoven liggen binnen het project MIRT Alem – Sint Andries de volgende kansen m.b.t. rivierkunde:

- Buitendijksoplossingen van de dijkversterking zouden eventueel gecompenseerd kunnen worden door ingrepen met een waterstandsverlagend effect binnen het project MIRT Alem – Sint Andries. In dat kader is een doorsteek door dam van Alem interessant, dit levert een zeer grote bijdrage aan verlaging van de waterstand.
- Mogelijk kan de hoogte opgave voor de dijk op dit traject verlaagd worden door waterstandsdeling die binnen project MIRT Alem – Sint Andries wordt behaald. Het moet dan wel een significante daling zijn (orde decimeter)

Verder kansen zitten in:

- Eventuele natuurcompensatie (mogelijke nadelige effecten van dijkversterking mitigeren binnen Alem-St-Andries)
- Eventuele toepassing van vrijkomende grond uit project Alem-St Andries toepassen in de dijkversterking (minder omgevingshinder en duurzame toepassing gebiedseigen grond)

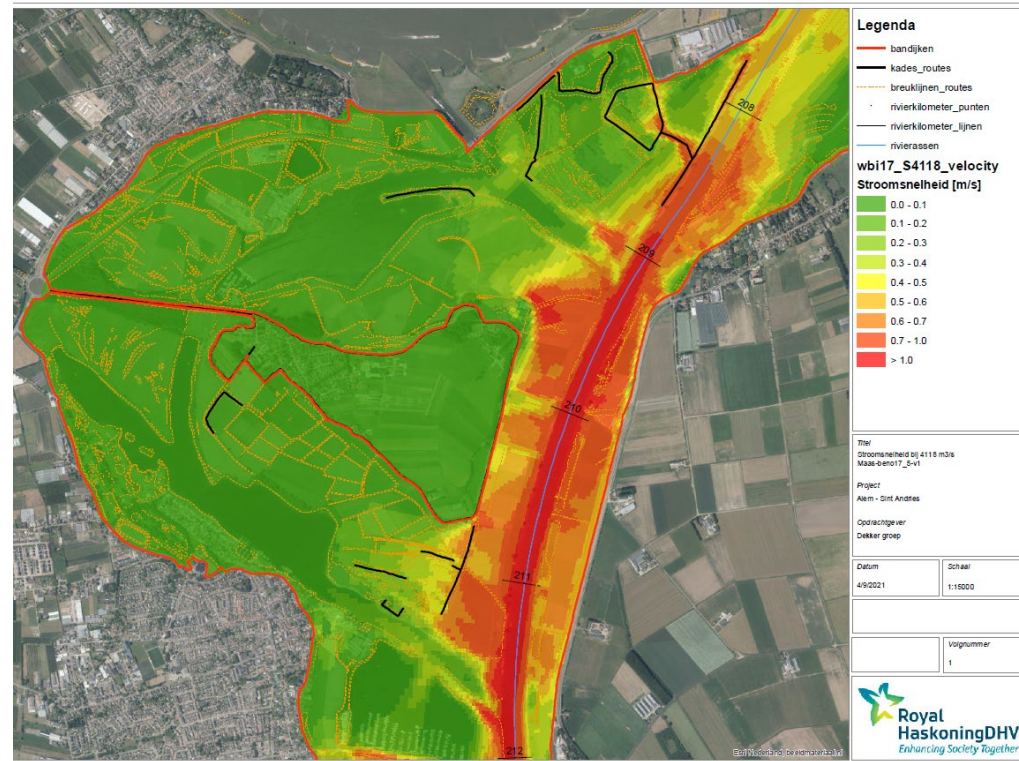
# Ooibos ontwikkeling (natuur)

Ingreep:

- vanuit de provincie is er de wens om meer ooibos in de uiterwaarden van de Maas te ontwikkelen.

Aandachtpunten Rivierkunde:

- Bos in de stroombanen resulteert in opstuwing. Daarmee enkel mogelijk als er elders in project forse waterstandsdeling wordt behaald.
- Advies is om bos te plaatsen in de stroomluwe gebieden (groene gebieden in onderstaande kaart) waarmee waterstandsopstuwing voorkomen wordt. Aandachtspunt is dan dat deel van uiterwaard bergend regime is, mogelijk dat er dan alsnog gecompenseerd moet worden.



*Figuur stroomsnelheden  
bij 4118 m3/s*



# KRW maatregelen (1)

Voor KRW zijn er diverse mogelijkheden in projectgebied om KRW-waarde te creëren. Te denken valt aan de volgende maatregelen

- Moeras gebied / laag dynamische geulen. Creëren van strangen of plassen die slechts enkele weken per jaar inunderen en daarmee interessant worden voor laagdynamische natuurontwikkeling / rietmoeras. Plassen of strangen zijn dan niet aangetakt aan de rivier.  
> *Er is nauwelijks een rivierkundig effect van deze geïsoleerde strangen te verwachten op alle 3 de rivierkundige aspecten als deze strangen in het stromingsluwe deel liggen.*
- Getijde geul – vanwege het beperkte getij verschil is er potentie voor ontwikkeling van zoetwatergetijdenhabitats zoals slikplaten, biezen- en rietgorzen in eenzijdig aangetakte geulen.  
> *Er is geen rivierkundig effect van deze getijde geul te verwachten op alle 3 de rivierkundige aspecten als deze geul in het stromingsluwe deel liggen. Ligging t.o.v. beschermingszone dijk is wel aandachtspunt.*
- Meestromende geul – door waterstandsverschil aan weerszijden van de dam naar Alem is er een mogelijkheid ene meestromende geul te creëren. Gedurende paar maanden per jaar kan dit interessant zijn voor stroomminnende vissoorten of stroomminnende vegetatie.  
> *Zie beschrijving rivierkundige effecten bij ingreep stromingsdynamiek Piekenwaard (sheet 13)*

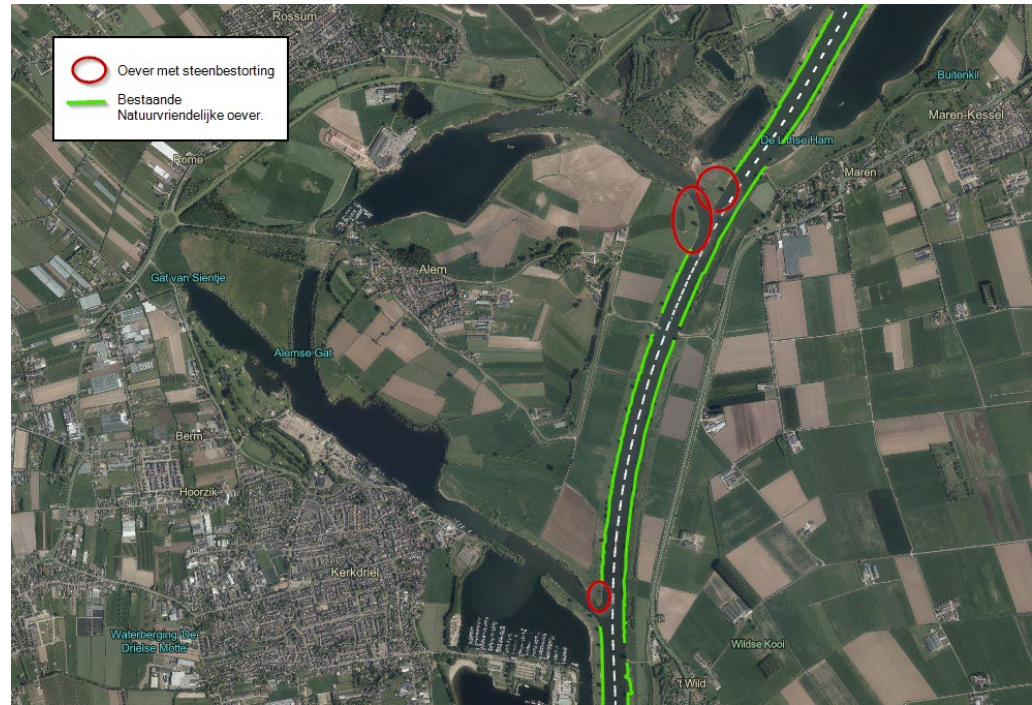
Ons advies is om samen met een ecooloog, landschapsontwerper en rivierkundige te kijken naar een goede combinatie van KRW maatregelen en inpassing in het gebied. Afhankelijk van de gebiedsopgaven voor natuur en KRW en doelbereik van de maatregelen kan er een ontwerp geoptimaliseerd worden. Dit kan o.a. helpen in maken van een keuze voor een getijdegeul of meestromende geul in de Piekenwaard, of juist een combi.

Met behulp van de KRW leidraad en Smart River principes kan gericht voor projectgebied interessante KRW ingrepen worden ontworpen, gericht op ontwikkeling van bepaalde doelsoorten.

# KRW maatregelen (2)

Voor KRW zijn er diverse mogelijkheden in projectgebied om KRW-waarde te creëren. Te denken valt aan de volgende maatregelen

- Natuurvriendelijke oevers - Langs deel van de Oude Maasarm (kanaal St. Andries) en langs zomerbed kan gedacht worden aan verwijderen steenbestorting, waardoor meer dynamische, flauwe zandige oevers ontstaan. Op basis van de luchtfoto en de legger is te zien dat er langs de Maas al veel natuurlijke oevers zijn gerealiseerd (zie onderstaand figuur). Op enkele locaties ligt er nog stortsteen (rode cirkels). Het verwijderen van de stortsteen op deze locaties is waarschijnlijk niet gewenst omdat dit kan leiden tot het verschuiven van in en uitstromen. In de oude Maasarm op basis van de luchtfoto geen stortsteen waargenomen, het lijkt er op dat deze oevers al natuurvriendelijk zijn.  
> *Waterstandseffect van natuurvriendelijke oevers is gering. De ingreep heeft met name langs zomerbed negatief effect op aanzanding in vaargeul en erosie van mogelijke particuliere percelen*
- Rivierhout – aanbrengen dood hout in de plassen/strangen/ geulen voor verbeterd onder waterleven  
> *Geen nadelige rivierkundige effecten. Wel aandachtspunt qua zichtbaarheid voor scheepvaart bij hogere waterstanden*



# Natuurontwikkeling Alem in stapsteengebied Sint Andries

## Ingreep:

- Natuurverbinding tussen Maas en Waal
- Bij een droge natuurverbinding zijn de N-weg en de primaire waterkering obstakels voor een eenvoudige koppeling van beide systemen. De passage van fauna is door deze obstakels lastig en risicovol. Het creëren van een volwaardige, veilige verbinding betekent een forse ontwerpinspanning (bv. duiker of afsluitbare opening door de dijk en onder (of brug over) de van Heemstraweg) en waarschijnlijk hoge kosten.

## Aandachtspunten Rivierkunde:

- Een natte verbinding tussen Maas en Waal zal grote rivierkundige effecten met zich meebrengen. Een verbinding van Maas en Waal op deze locatie kan zorgen voor een systeemverandering. Hier dient goed over nagedacht te worden of dit gewenst is en welke effecten dit heeft op alle functies van de rivier (hoogwaterveiligheid, waterbeschikbaarheid, scheepvaart). Vooralsnog heeft een dergelijke verbinding altijd veel weerstand gehad.
- In de stuw bij St Andries kan door middel van een vistrap / vismigratie geul een verbinding worden gemaakt. Dit is vanwege wisselende peilen aan beide zijden en aspect hoogwaterveiligheid een complexe ontwerpogave

# Grote potentie verbeteren hoogwaterveiligheid op dit deel van Maastraject

Het gebied biedt een grote potentie voor significante waterstandsdeling. Door de combinatie van ingreep in Heerewaarden, zandwinning bij Alem en de doorsteek van de dam bij Alem is er een zeer significante bijdrage te leveren aan de hoogwaterveiligheid van dit deel van de Maas.

De doorsteek van de dam van Alem (in combinatie met de ingreep in Heerewaarden) levert een potentiële waterstandsdeling van 7,26 cm op. Zo'n 10% van de afvoer stroomt dan achter Alem langs bij een afvoer van 4118 m<sup>3</sup>/s. Dit is een zeer forse waterstandsdeling die bijv. vergelijkbaar is met de waterstandsdeling bij project Meanderende Maas. In dat project zijn er echter ingrepen in meerdere uiterwaarden noodzakelijk over een lengte van 10 km voor een vergelijkbaar waterstandseffect. Een dergelijke forse daling kan mogelijk zorgen voor een kostenreductie in de opgave voor dijkversterking Bokhoven-Lith. De doorsteek kan daarmee een zeer waardevolle ingreep zijn.

Om het waterstandseffect te halen moet de stroombaan richting de doorsteek voldoende stroomvoerend zijn. Dat betekent ook ingrepen bij Heerewaarden om de dwarsstroming bij hoogwater geleidelijker te maken (o.a. maatregel doorsteek dam). Ook de zandwinplas draagt bij aan een goede effectieve stroombaan.

Een doorsteek bij dam van Alem betekent wel een fikse systeemwijziging in het projectgebied. Dit kan fikse nadelige effecten met zich meebrengen, o.a. qua dwarsstroming en morfologie. Het maken van gerichte keuzes en ontwerpen van mitigerende maatregelen in het ontwerp is noodzakelijk.

Bijvoorbeeld: Nadeel van een doorsteek door de dam bij Alem, afhankelijk van de breedte van de opening en hoogte van de drempel van de doorsteek, zijn de negatieve morfologische effecten in zomerbed van de Maas. Via bijvoorbeeld een regelbare drempelhoogte (kleppen of betonnen panelen zoals bij regelwerk Pannerden of bij Kampen) kunnen morfologische effecten worden gereduceerd bij normaal hoogwater, maar kan de waterstandswinst bij extreem hoogwater wel worden behaald.

# Kansrijke combinaties

Een doorsteek bij Alem maakt de overige genoemde maatregelen niet onmogelijk. De doorsteek bij Alem kan een richtinggevend element zijn in de rivierkundige inrichting. Daar bovenop kunnen de maatregelen op de volgende sheet worden genomen voor verrijking van verschillende doelen: KRW (getijde- en/of meestromende geul), natuur (oobos), delfstofwinning, klimaatrobuustheid (reservoir) en recreatieve waarden in het gebied. De volgende combinatie van maatregelen lijken rivierkundig kansrijk/realistisch en kunnen zowel bovenop of los van de doorsteek bij dam van Alem worden genomen.

- Zandwinning Marensche waard
  - Voldoende brede sectie (> 50 m) tussen plas en zomerbed. Vanuit reductie nadelige effecten bij voorkeur geen open verbinding met zomerbed Maas aan noordoostzijde richting doorsteek Heerewaarden.
  - Plas afwerken met flauwe, zandige taluds
  - Deel vrijkomende grond toepassen in dijkverbetering Lith-Bokhoven
- Weerdverlaging rechteroever + dijkverlegging bij Alem
  - Deel waterstandsaling compenseert mogelijke lichte opstuwning natuurontwikkeling
  - Deel waterstandsaling voor reductie opgave dijkversterking Lith-Bokhoven
  - Niet vermarktbaar vrijkomende grond toepassen in verondiepen zandwinplas
- Aanpassing in Heerewaarden (open maken dam tussen de twee plassen)
- KRW maatregelen
  - Ontwikkelen van laagdynamisch rietmoeras (in meerdere strangen/plassen)
  - Getijde geul en/of meestromende geul in Piekenwaard
  - Toepassen rivierhout
  - Vrijkomende grond toepassen in verondiepen zandwinplas (realiseren flauwe oevers)
- Natuurontwikkeling
  - Oobos ontwikkeling in stromingsluwe deel

# No regret maatregelen

De volgende maatregelen lijken genomen te kunnen worden zonder directe significante rivierkundige effecten. De verwachte effecten blijven waarschijnlijk binnen de normen van het rivierkundig beoordelingskader. De maatregelen laten ook de AUM maatregelen uitvoerbaar (dijkteruglegging Alem, Weerdverlaging, open maken dam Alem).

- KRW maatregelen
  - Ontwikkelen van laagdynamisch rietmoeras (in meerdere strangen/plassen) in stromingsluwe delen en Marensche Waard
  - Ontwikkelen getijde geul in Piekenwaard
  - toepassen rivierhout
- Natuurontwikkeling
  - Ooibos ontwikkeling in stromingsluwe deel
- (lichte) waterstandsverlaging door verontruigen oeverzone rkm 208-209
- Zandwinplas in Marensche Waard
  - Locatie zover mogelijk de stromingsluwe zone Marensche waard in (brede zone tussen plas en zomerbed en kanaal in stand houden).

# Aandachtspunten klimaatverandering

Beknopte weergave aandachtspunten voor ontwerp t.g.v. klimaatverandering

- Langere duur en frequenter voorkomen van periodes van (extreem) lage Maas afvoer
  - Aandachtspunt voor drempelhoogtes van strangen en plassen
  - Aandachtspunt voor drempelhoogtes van duiker in meestromende geul Piekenwaard
  - Aandachtspunt voor diepgang in eventuele geulen toegankelijk voor recreatie
  - Aandachtspunt voor diepere delen in geulen/plassen (refugia) voor overlevingskansen vis
  - Aandachtspunten voor plekken met ondiep stilstaand water (risico op botulisme)
  - Aandachtspunt voor de lichte getijdynamiek, bij lagere afvoeren is invloed van getij groter dan bij hogere afvoeren.
  - Stromingsluwe deel biedt potentie voor realisatie van een waterreservoir voor opslag van water na een periode van hoogwater. Een mogelijke locatie is wellicht het deel tussen N322 en Rossum
- Toename hoogte en frequentie van extreem hoge Maas afvoeren
  - Aandachtspunt voor kritische stroomsnelheden bij drempels/duikers/overlaten
  - Aandachtspunt voor hoogte van bruggen en recreatieve elementen
  - Voldoende doorstroming bij extreem hoogwater;
    - aandachtspunt voor breedte en hoogte doorsteek Alem
    - aandachtspunt voor locatie aanbrenge ruigte en ooibos
    - Aandachtspunt voor afweging bijdrage rivierverruiming aan dijkversterking