

## Notitie / Memo

**HaskoningDHV Nederland B.V.**  
**Water & Maritime**

Aan: Projectteam PPO VKS Waal, Rijkswaterstaat Oost Nederland  
Van: Danny Booij  
Datum: 13 oktober 2021  
Kopie:  
Ons kenmerk: BH8088WMNT2109011337  
Classificatie: Projectgerelateerd  
Goedgekeurd door: Wiebe de Jong

**Onderwerp: Rivierkundige beoordeling kribvaksuppletie Waal  
Versie 3.0**

---

### *Versiebeheer*

Versie 2.0 is aangepast naar aanleiding van afstemmingsoverleg met RWS (H. Veldman, S. Engelen) op 16 september 2021 over de gepresenteerde resultaten in versie 1.0 van de memo. Aanpassingen betreffen met name een aanscherping (minder conservatieve benadering) van de morfologische effecten van de kribvaksuppletie.

Versie 3.0 is aangepast naar aanleiding van de schriftelijke review van RWS (H. Veldman) ontvangen op 9 oktober 2021 over de resultaten in versie 2.0 van de memo. Aanpassingen betreffen met name een aanscherping van de onderbouwing van de morfologische effecten van de kribvaksuppletie.

## 1 Inleiding

Het zomerbed van de Waal is in de loop van ruim anderhalve eeuw steeds lager komen te liggen, de zogenaamde bodemerosie. Deze bodemerosie gaat nog steeds door en de negatieve gevolgen voor verschillende functies van de rivier worden steeds duidelijker. Rijkswaterstaat verkent opties om verdere erosie van het zomerbed tegen te gaan. Een van die opties is het storten (suppleren) van zand en grind in de kribvakken. De hypothese is dat golven en stroming van passerende schepen, al dan niet in combinatie met de stroming door de rivierafvoer, dit materiaal in beweging brengen en naar het zomerbed voeren. Hiermee zou de erosie van het zomerbed kunnen worden gereduceerd en zouden de gesuppleerde kribvakken als 'zandmotor' voor de rivier kunnen gaan fungeren.

Rijkswaterstaat is voornemens om met een praktijkproef (pilot) te onderzoeken en kennis te ontwikkelen of kribvaksuppletie effectief is. Er is door Blueland Consultancy i.s.m. Deltares een kennisdocument [1] opgesteld waarin is geadviseerd over de mogelijke werking van kribvaksuppletie en de eisen aan de suppletie (o.a. vorm, hoogte, gradatie, volume). Door RWS-ON zijn een drietal locaties op de Waal aangewezen voor deze pilot. De pilot zal samengaan met een (intensieve) monitoring om antwoord te geven op de gestelde onderzoeksvragen (voor deze vragen verwijzen we naar rapport van Blueland Consultancy [1]), hiervoor werkt RWS momenteel aan een monitoringsplan.

Royal HaskoningDHV ondersteunt het projectteam van RWS in de voorbereidings-, aanbestedings-, realisatie- en overdrachtsfase van deze pilot, genaamd maatregel M3 binnen project Vaarweg en kribvaksuppletie (VKS) Waal. Voor de realisatie van de pilot is een projectplan Waterwet nodig. Een van de onderdelen van het projectplan is het inzichtelijk maken van de rivierkundige effecten van de maatregel.

In deze notitie is de rivierkundige beoordeling van de kribvaksuppleties in de Waal vastgelegd. Deze beoordeling heeft als doel om de effecten van het suppletieontwerp op diverse rivierkundige effecten

inzichtelijk te maken en te beoordelen of het ontwerp vergunbaar is vanuit het rivierkundig beoordelingskader 5.0 (RBK 5.0). Deze memo wordt als bijlage bij het projectplan Waterwet opgenomen.

## 2 Werkwijze en uitgangspunten

De rivierkundige beoordeling is grotendeels uitgevoerd op basis van een kwantitatieve analyse door middel van modelberekeningen. Tevens is het voor een aantal aspecten niet relevant geacht om specifieke modelberekeningen uit te voeren, zoals bijvoorbeeld voor effect op de afvoerverdeling. Hier is middels een kwalitatieve analyse een beoordeling gegeven over het effect. De GIS-applicatie Baseline is gebruikt om de kribvaksuppleties te schematiseren en vervolgens is het 2D stromingsmodel WAQUA toegepast om deze schematisatie door te rekenen. De volgende uitgangspunten zijn gehanteerd bij het maken van de rivierkundige modelberekeningen:

### Referentie:

- Voor de Baseline referentieschematisatie is 'baseline-rijn-beno18\_5-v1' en 'waqua-rijn-beno18\_5\_20m\_waal-v1' uitgeleverd (mail door R. van Renswoude d.d. 06-07-2021);
- Op verzoek van RWS-ON is de referentieschematisatie uitgebreid met twee maatregelen: wl\_kribvsu\_a1 & wl\_krivsrf\_a1. Het kenmerk van deze nieuwe referentie is 'VKSWaal\_ref'.

### Maatregel:

- Voor de maatregel van de kribvaksuppleties is een Baseline-schematisatie gemaakt met het kenmerk 'VKSW\_M3\_a1';
- Het ontwerp van de maatregel is gebaseerd op het Programma van Eisen [1];
- De suppletie wordt vormgegeven door een combinatie van breuklijnen en hoogteverschillen en heeft ruwheidscode 1981 (gras en akker). (Afgestemd per mail S. Engelen d.d. 23-6-2021);
- Deze maatregel is ingemixt op 'VKSWaal\_ref', de nieuwe variant heeft kenmerk: 'VKSWaal\_a1'.

### Model software: (zoals benoemd in de mail van RWS-ON (R. van Renswoude d.d. 06-07-2021):

- Baseline versie 5.3.3;
- ArcGIS versie 10.5.1;
- WAQUA-versie SIMONA2019.

### Werkwijze:

- Op 15 juni is er een werkatelier georganiseerd waarin klanteisen t.a.v. de suppletie zijn opgehaald bij beheerders, rivierkundigen en scheepvaartdeskundigen van RWS-ON. Ook is door W. ten Brinke van Blueland een toelichting gegeven op het PvE [1].
- Zowel de variant ('VKSWaal\_a1') als de referentie zijn doorgerekend met afvoeren bij Lobith van 16.000 m<sup>3</sup>/s (MHW), 10.000 m<sup>3</sup>/s, 6.000 m<sup>3</sup>/s, 4.000 m<sup>3</sup>/s, 3.000 m<sup>3</sup>/s en 1.020 m<sup>3</sup>/s (OLR). Alle berekeningen zijn gemaakt met vaste afvoerverdeling op de splitsingspunten.
- Voor de rivierkundige beoordeling is het rivierkundig beoordelingskader versie 5.0 gebruikt.
- RWS-ON heeft gevraagd het hydraulisch effect van de initiële situatie van de suppletie goed in beeld te brengen, dat is het worst-case scenario van deze tijdelijke ingreep.
- Om een indruk te krijgen van de morfologische effecten is door RWS-ON gevraagd om met WAQMORF een indruk te geven van het initiële effect. Voor analyse van de morfologische effecten moet de nadruk liggen op een inschatting waar het sediment naar toe gaat en welke implicaties dit mogelijk heeft voor de waterdiepte. Daarnaast is aandacht gevraagd voor de uitvoeringswijze en het sediment transport.
- Antwoorden op de gestelde onderzoeksvragen van de effectiviteit en werking van de suppletie zal vanuit de monitoring moeten komen. De huidige kennis en instrumenten schieten hier nog

tekort. Daarom is ook door RWS gekozen voor een pilot met een monitoringscampagne. De monitoring moet uitwijzen hoe de suppleties werken, hoe het transport van sediment uit het kribvak gaat en waar dit uiteindelijk terecht komt.

### 3 Schematisatie kribvakken

Binnen de pilot kribvaksuppleties Waal zijn door RWS-ON de volgende drie kribvakclusters geselecteerd. Deze locaties zijn geselecteerd uit een locatie onderzoek door RWS-ON [2]:

- Cluster 1 bij Gendt in de waalbocht (buitenbocht) aan de rechteroever;
- Cluster 2 bij Winssen net benedenstrooms van de brug bij Ewijk (A50) aan de linkeroever;
- Cluster 3 bij Wely net benedenstrooms van cluster 2 aan de rechteroever.

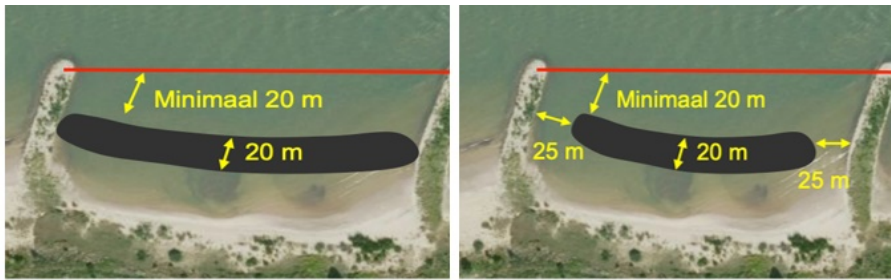
Voor onderbouwing voor de selectie van de kribvakken verwijzen we naar het kennisdocument van Blueland Consultancy [1] en een voorbereidende memo van RWS-ON [2].

Het ontwerp van de maatregel is gebaseerd op het Programma van Eisen [1]. Samengevat zijn de volgende uitgangspunten gebruikt voor het schematiseren van de suppleties:

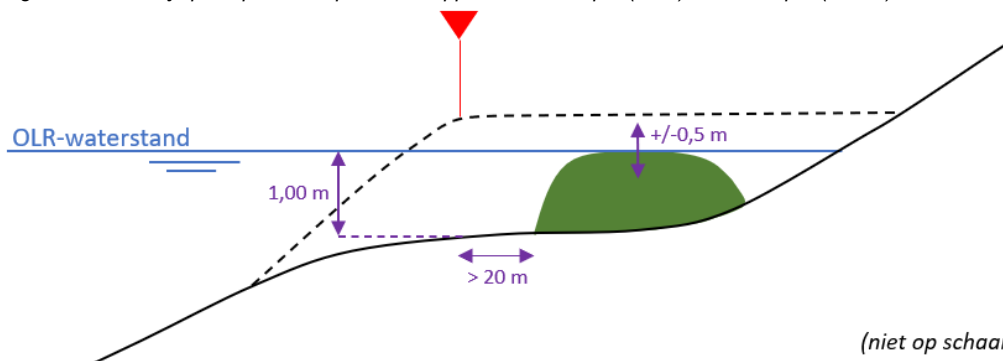
- Suppleer alleen vanaf 20 meter landwaarts van de bakenlijn;
- Cluster 1: Begin met suppleren op het strand vanaf een bodemligging die overeenkomt met OLR en voer de suppletie van daaruit over een strook van 20 m landwaarts uit;
- Cluster 2 en 3: Begin met suppleren op het strand vanaf een bodemligging die overeenkomt met OLR minus één meter en voer de suppletie van daaruit over een strook van 20 m landwaarts uit;
- Suppleer niet op een helling van de oever steiler dan 1:3;
- Suppleer een gemiddelde laagdikte van 1 meter, met een uitvoeringstolerantie van 0,5 meter;
- Suppleer niet hoger dan de kruinhoogte van de kop van de kribben;
- Voor de vorm van de suppletie is onderscheid gemaakt tussen twee ontwerpen:
  - Ontwerp 1: Suppleer per cluster van kribvakken in het meest stroomafwaarts gelegen kribvak over de gehele afstand tussen de kribben;
  - Ontwerp 2: Suppleer in de andere kribvakken niet binnen een afstand 25 meter tot beide kribben gemeten vanaf de overgang van de kribben naar het strand.
- Ieder cluster bestaat uit een viertal kribvakken om in te suppleren en één kribvak als referentie voor de monitoring. Het meest benedenstroomse kribvak wordt ontworpen conform ontwerp 1, de drie andere kribvakken worden ontworpen conform ontwerp 2. Zie figuur 3.
- De suppletie zal bestaan uit een mengsel van zand en grind tot maximaal 4mm grootte [1].

Bovenstaande uitgangspunten leiden tot een ruimtelijke principe ontwerp voor de kribvaksuppleties. Dit ontwerp wordt getoond in Figuur 1. Tevens leiden de uitgangspunten tot een principeontwerp voor het dwarsprofiel van de kribvaksuppletie, zie Figuur 2. De principeontwerpen zijn gebruikt bij het schematiseren van de maatregel in Baseline, zie Figuur 3. Dit figuur toont het hoogtemodel en de ecotopen ruwheid behorende bij cluster 3. Bijlage 1 toont het hoogtemodel en de ecotopen ruwheid behorende bij cluster 1 en 2. Van het ruimtelijke principeontwerp is afgeweken wanneer diepe erosiekuilen aanwezig waren in de geselecteerde kribvakken. De suppletie is buiten de diepste erosie kuilen geschematiseerd. Zodoende ligt de suppletie in een aantal vakken verder (landwaarts) en/of gedraaid in het kribvak, zie bijvoorbeeld kribvak 2 en 4 in Figuur 3.

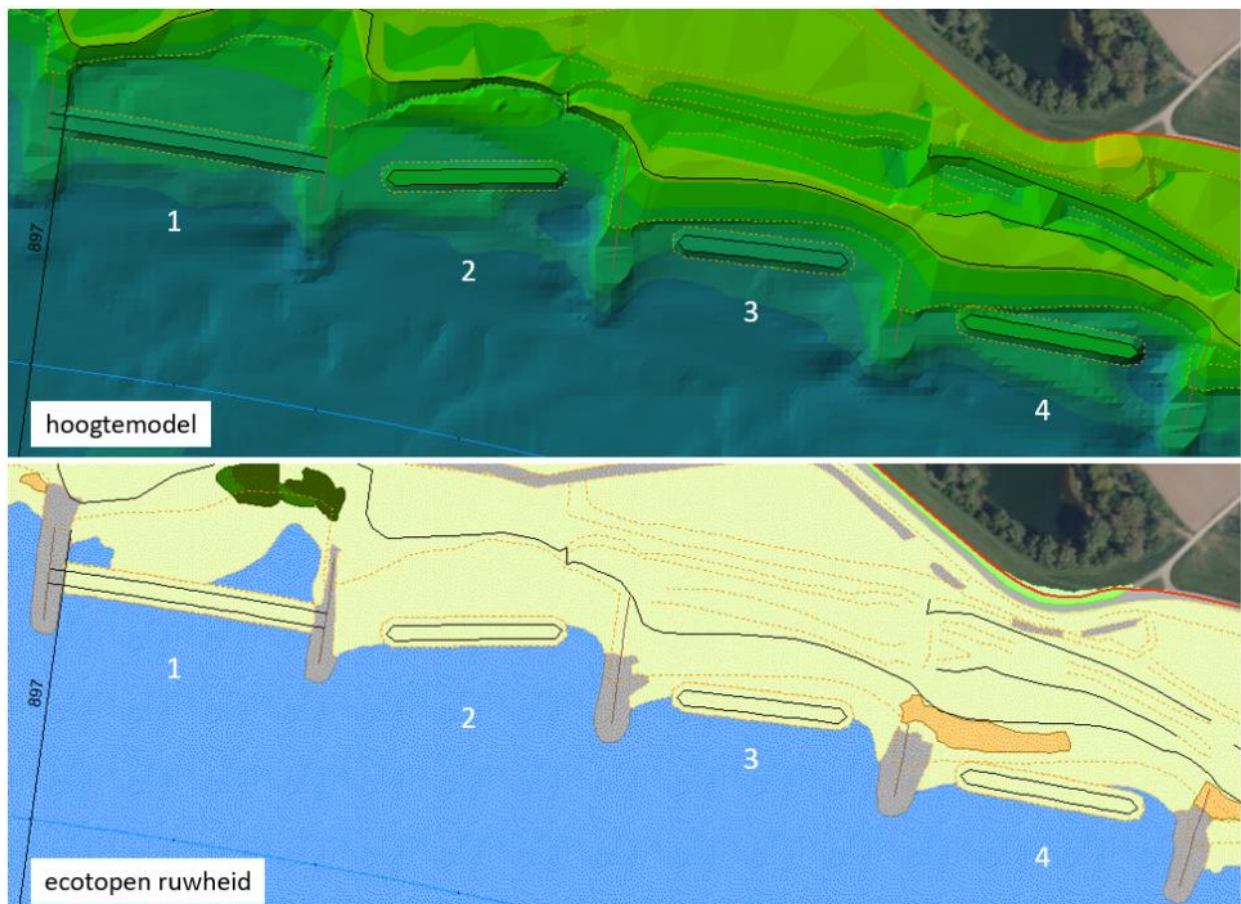
In ontwerp 1 wordt er gesuppleerd over de gehele afstand tussen de kribben. In Baseline zijn de hoogteverschillijnen van de suppletie aangesloten op de krib om de overlaatwerking van de suppletie correct te simuleren. Hierbij is de schematisatie van de kribben (kruin en teenhoogte) niet gewijzigd.



Figuur 1: Ruimtelijk principe ontwerp kribvaksuppleties; ontwerp 1 (links) en ontwerp 2 (rechts).



Figuur 2: Dwarsprofiel van principe ontwerp kribvaksuppletie (cluster 2 & 3). Bij cluster 1, waar de kribben niet zijn verlaagd, wordt gesuppleerd vanaf de OLR-waterstand i.p.v. bij de OLR-waterstand – 1m.



Figuur 3: Schematisatie suppletiecluster 3 in Baseline; hoogtemodel, hoogteverschillijnen en breuklijnen (boven), ecotopenruwheid, hoogteverschillijnen en breuklijnen (onder).

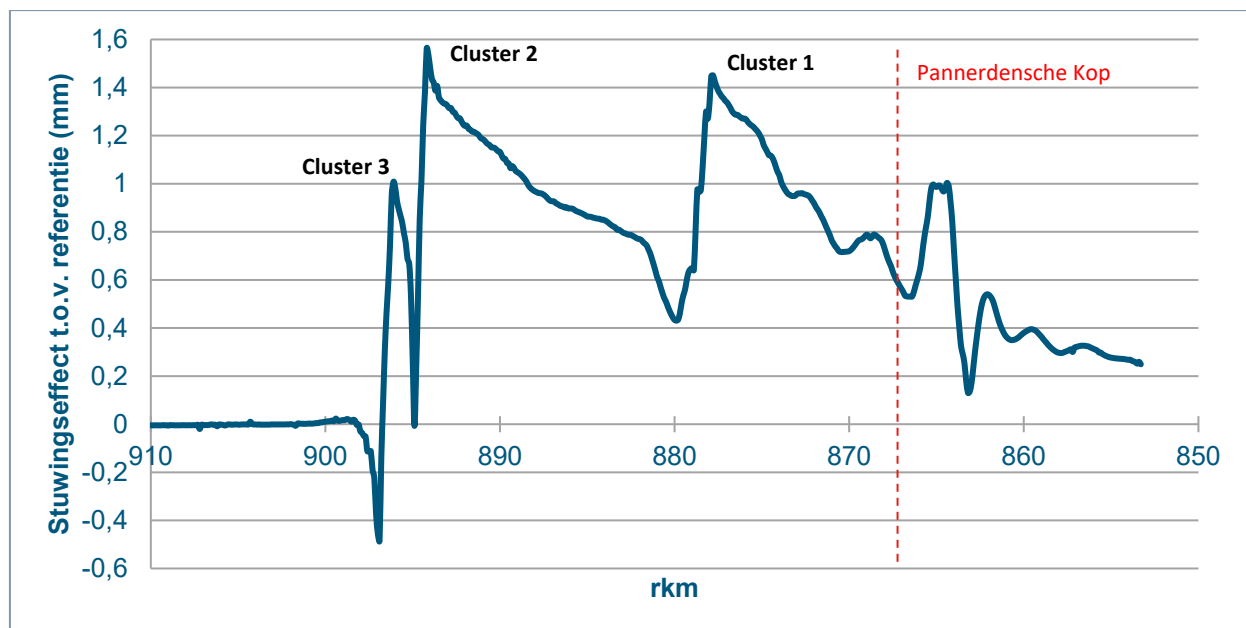
## 4 Rivierkundige beoordeling

### 4.1 Hoogwaterveiligheid

#### 4.1.1 Waterstandseffect op de as van de rivier

Om de effecten van de ingreep op de hoogwaterveiligheid te toetsen zijn er sommen gemaakt met een afvoer van 16.000 m<sup>3</sup>/s bij Lobith. Figuur 4 geeft het stuwingseffect weer bij 16.000 m<sup>3</sup>/s van variant 'VKS<sub>Waal\_a1</sub>' ten opzichte van de referentiesituatie. Het figuur laat bij alle suppletieclusters duidelijke opstuwingspiekjes zien. Het maximale stuwingseffect is bij cluster 1, 2 en 3 respectievelijk 1,45 mm ter hoogte van rivierkilometer (rkm) 877,8, 1,56 mm ter hoogte van rkm 894,2 en 1,00 mm ter hoogte van rkm 896,1. De suppleties worden als één maatregel uitgevoerd en dus ook als één maatregel beoordeeld. De effecten van de 3 clusters beïnvloeden elkaar; cluster 2 geeft de meeste opstuwung en beïnvloed daarmee ook de hoogte van de opstuwung van cluster 1. Cluster 3 geeft een lagere opstuwung doordat de waterstandsverhogung samenvalt met de benedenstroomse lokale waterstandsdinging veroorzaakt door cluster 2. Tevens volgt uit analyse van de stroomlijnen dat de kribvaksuppleties in cluster 3 (in vergelijking met cluster 1 en 2) in stromingsluwere delen van de Waal liggen.

Uit de resultaten volgt dat de maatregel niet voldoet aan de eis uit het RBK om onder de 1 mm opstuwung te blijven. De maximale opstuwung is 1,56 mm op rkm 894,2. De opstuwung is een worst-case weergave van de stuwungseffecten op de as van de rivier. Aangezien de hypothese binnen het project (pilot) is dat golven en stroming van passerende schepen, al dan niet in combinatie met de stroming van de rivierafvoer, de suppletie in bewegung brengen en naar het zomerbed verplaatsen, zullen de maximale stuwungseffecten enkel van tijdelijke aard zijn. Het effect toont het initiële, tijdelijke effect van de suppleties. Daarmee heeft de vergunningverlener de ruimte om eventueel van de norm van het RBK op dit aspect af te wijken.

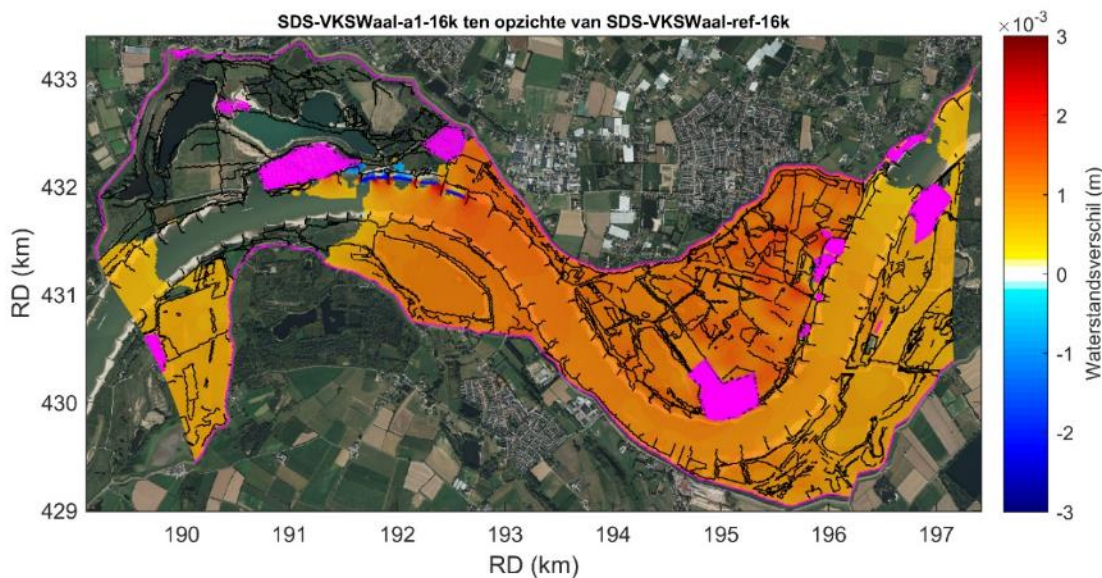


Figuur 4: Stuwungseffect (in mm) t.o.v. de referentie op de as van de rivier voor variant 'VKS<sub>Waal\_a1</sub>' bij een afvoer van 16.000 m<sup>3</sup>/s.

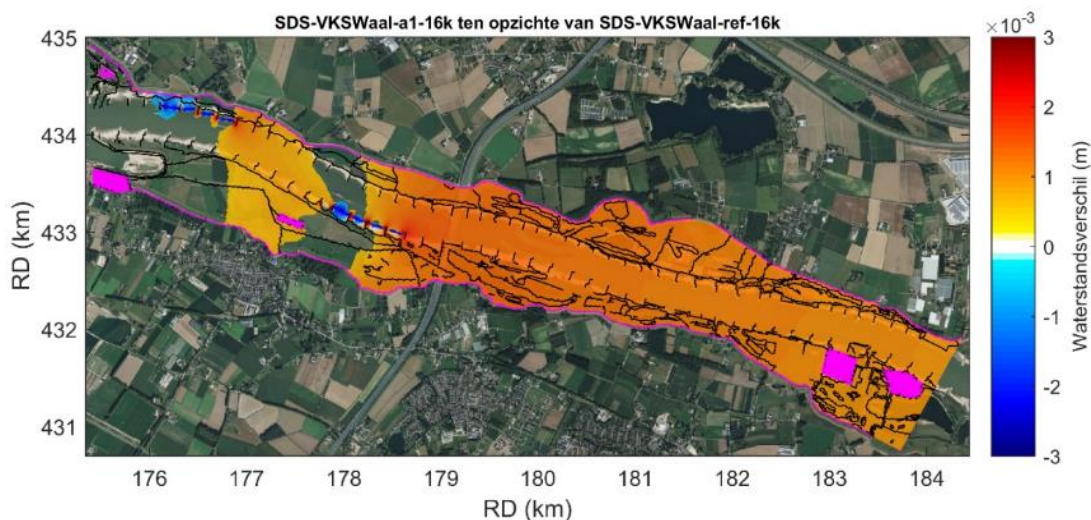
#### 4.1.2 Waterstandseffect buiten de as van de rivier

Het effect van de maatregel op de waterstand bij MHW buiten de as van de rivier is weergegeven in Figuur 5 (cluster 1) en Figuur 6 (cluster 2 en 3). Alle suppletieclusters leiden tot een bovenstroomse waterstandsverhoging aan zowel de noordelijke als zuidelijke bandijk in de orde grootte van millimeters. De maximale waterstandseffecten langs de bandijk treden op bij cluster 1 en 2 waar een opstuwing tot 1,5 mm plaatsvindt. De stuwingeffecten van cluster 3 zijn significant lager, circa 1,0 millimeter.

De effecten langs de bandijk dienen aan de beheerder van de waterkering te worden voorgelegd (Waterschap Rivierenland). Over het algemeen leiden effecten in de orde van millimeters niet tot bezwaren bij het Waterschap. Daarbij geldt dat dit het initiële, tijdelijke effect is. In loop van tijd (maanden tot circa paar jaar) naarmate het sediment uit het kribvak wordt getransporteerd wordt het effect kleiner.



Figuur 5: Waterstandsverschil tussen 'VKSWaal\_a1' en de referentie voor cluster 1 in 2D bij een afvoer van 16.000 m<sup>3</sup>/s te Lobith. De roze vlakken geven hoogwatervrije terreinen aan.



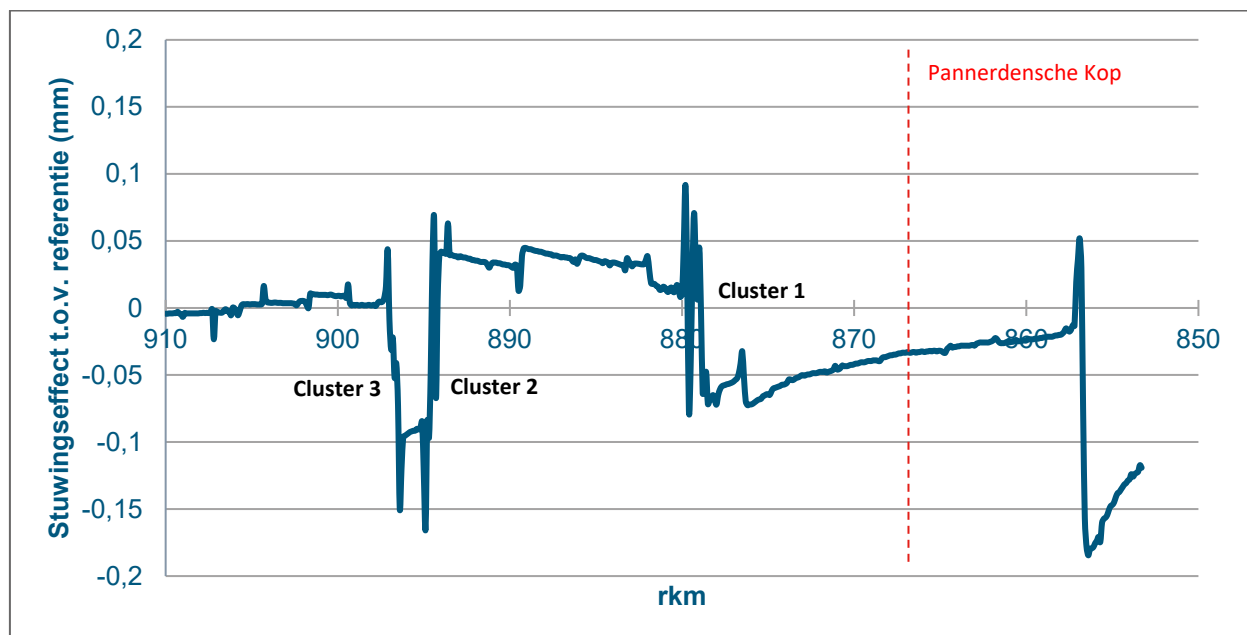
Figuur 6: Waterstandsverschil tussen 'VKSWaal\_a1' en de referentie voor cluster 2 (rechts) & 3 (links) in 2D bij een afvoer van 16.000 m<sup>3</sup>/s te Lobith. De roze vlakken geven hoogwatervrije terreinen aan.

### 4.1.3 Effect op de afvoerverdeling

Vanuit het RBK 5.0 is het vereist om het effect van de maatregel op de afvoerverdeling bij de splitsingspunten IJsselkop en Pannerdensche Kop te beoordelen. Dit dient beoordeeld te worden voor MHW (16.000 m<sup>3</sup>/s), normaal hoogwater (10.000 m<sup>3</sup>/s) en laag water (OLA, 1020 m<sup>3</sup>/s). Vanuit het RBK is een verandering van maximaal 5 m<sup>3</sup>/s toegestaan bij MHW-afvoer. Bij een normaal hoogwater situatie is een maximale verandering van 20 m<sup>3</sup>/s toegestaan.

Zoals reeds gepresenteerd hebben de maatregelen bij MHW bovenstrooms een licht waterstandsverhogend effect op de as van de rivier. De maatregelen leiden tot een waterstandsverhoging van circa 0,6 mm ter hoogte van het splitsingspunt Pannerdensche Kop. Als vuistregel hanteren wij een verschuiving in afvoerverdeling van 2 m<sup>3</sup>/s op het splitsingspunt bij een wijziging in waterstand van 1 mm. Met 0,6 mm zal de mogelijke verandering in afvoerverdeling dus ruim binnen de grenzen van de beoordelingsnorm van maximaal 5 m<sup>3</sup>/s blijven. De IJsselkop is nog veel verder van het plangebied gelegen en daarom zal de afvoerverdeling daar ook nauwelijks tot niet veranderen en binnen de norm blijven.

Bij een lagere afvoer dan MHW zijn de waterstandseffecten nog kleiner. De maatregelen leiden bij normaal hoogwater (10.000 m<sup>3</sup>/s) tot een waterstandsverhoging van circa 0,3 à 0,4 mm ter hoogte van het splitsingspunt Pannerdensche Kop. Zodoende blijft de verschuiving van de afvoerverdeling bij normaal hoogwater onder 1 m<sup>3</sup>/s blijven. De effecten van de maatregel op de afvoerverdeling bij OLA (1020 m<sup>3</sup>/s) zijn beperkt omdat de kribvakken bij OLA niet mee stromen, zie Figuur 7. De maatregel leidt tot een waterstandsverlaging van minder dan 0,1 mm, welke geen significante verandering van de afvoerverdeling veroorzaakt.



Figuur 7: Stuwingseffect (in mm) t.o.v. de referentie op de as van de rivier voor variant 'VKSWaal\_a1' bij een afvoer van 1.020 m<sup>3</sup>/s.

#### 4.1.4 Effect op ijsafvoer

Binnen de pilot kribvaksuppleties Waal vinden er rivierkundig gezien alleen kleinschalige (tijdelijke) ingrepen plaats binnen de kribvakken welke enkel betrekking hebben op de bodemligging. Er is in geen geval sprake van het aanleggen van geulen, het aantakken van bestaande strangen op het zomerbed, het lokaal veranderen van de normaalbreedte van de rivier of het wijzigen van de kribben. Hiermee is er geen sprake van impact op de afvoer van ijsschotsen in de rivier of de vorming van extra grootschalig ijsoppervlak langs de rivier. Enkel zeer lokaal, direct achter de suppleties, is (tijdelijk) de kans op ijsvorming iets groter door een afname van de stroomsnelheden in de kribvakken (door meer geïsoleerde ligging achter de suppleties). Deze ijsvorming is dermate gering dat deze geen significante negatieve effect heeft op de vorming van extra grote ijsoppervlakten langs de rivier. Tevens vinden binnen de ingrepen alleen bodemveranderingen plaats parallel aan de stroming of tussen de kribvakken waardoor er geen extra risico is op het ontstaan van ijssdammen. De afvoer van ijsschotsen wordt door de ingrepen niet belemmerd. Door de ongewijzigde ligging van kades en kribben blijft dit gelijk aan de huidige situatie. Er is dus geen sprake van ingrepen die het risico op ijsvorming of de afvoer van ijsschotsen significant verhogen.

## 4.2 Hinder of schade door hydraulische effecten

### 4.2.1 Effect op inundatiefrequentie

Als gevolg van een ingreep kan de frequentie van instromen van (delen van) de uiterwaard wijzigen. Dit kan nadelig zijn voor omwonenden, voor de bereikbaarheid of voor de natuurontwikkeling. Dit aspect uit het RBK 5.0 gaat daarop in.

Er vinden geen ingrepen plaats aan de hoogte van oevers en zomerkades. Doordat de oevers en zomerkades het moment van inunderen bepalen zijn er geen effecten op de inundatiefrequentie van de uiterwaarden te verwachten. De waterstandseffecten van de maatregelen zijn dusdanig gering, ordegrrootte millimeters bij MHW, en tijdelijk van aard, dat er geen sprake is van een gewijzigde inundatiefrequentie. Omdat de suppleties naar verwachting een positief effect zal hebben op structurele bodemerosie van de Waal, zal de suppleties tevens de negatieve effecten van bodemerosie op verdroging van de uiterwaarden en lagere meestroomfrequentie van nevengeulen reduceren. Er zal dus ook geen hinder voor terreineigenaren, bewoners of bedrijven optreden op het vlak van inundatiefrequentie.

### 4.2.2 Effect op stroombeeld in de uiterwaard

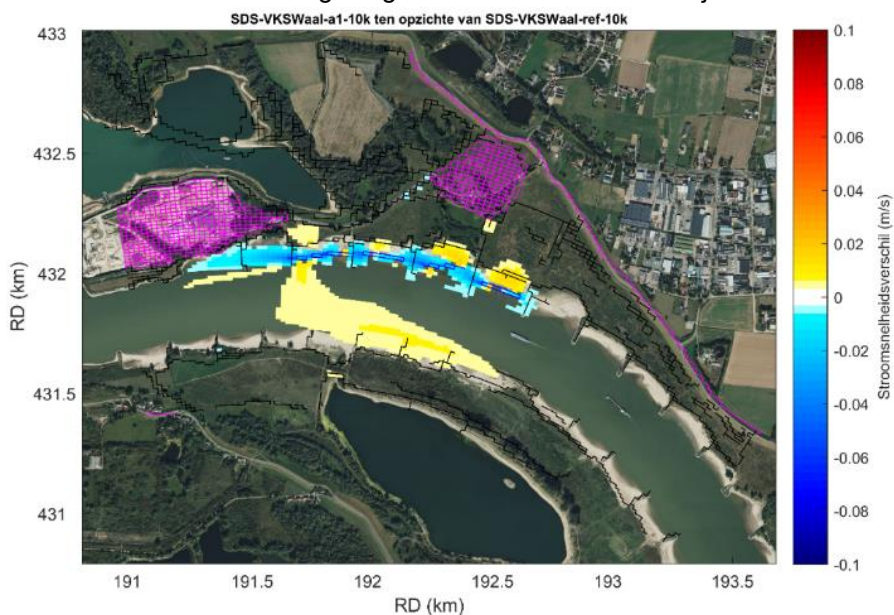
Door ingrepen langs de rivier kunnen (lokale) stroomsnelheden in de uiterwaard veranderen. Dit kan resulteren in lokale erosie bij constructies als kribben, gebouwen, kaden, wegen, maar ook langs randen van plassen en geulen. De mate van eventuele effecten wordt ingeschat door het beoordelen van de verandering van de grootte en richting van de stroomsnelheden bij een afvoer van 10.000 m<sup>3</sup>/s. Dit beoordelingsaspect is omschreven in aspect 2.2 van RBK 5.0.

Figuur 8, Figuur 9 en Figuur 10 laten de stroomsnelheidsverschillen zien tussen variant *VKSWaal\_a1* en de referentie voor, respectievelijk, cluster 1, 2 en 3. Figuren met absolute stroomsnelheden zijn weergegeven in Bijlage B. Allereerst is het goed om te benoemen dat een beschouwing van de stroomsnelheidsverschillen rondom suppleties buiten beschouwing worden gelaten in deze notitie. De stroomsnelheden in de kribvakken kunnen niet met voldoende nauwkeurigheid in WAQUA worden gemodelleerd, daarnaast ontbreekt de waterbeweging ten gevolge van passage van scheepvaart.

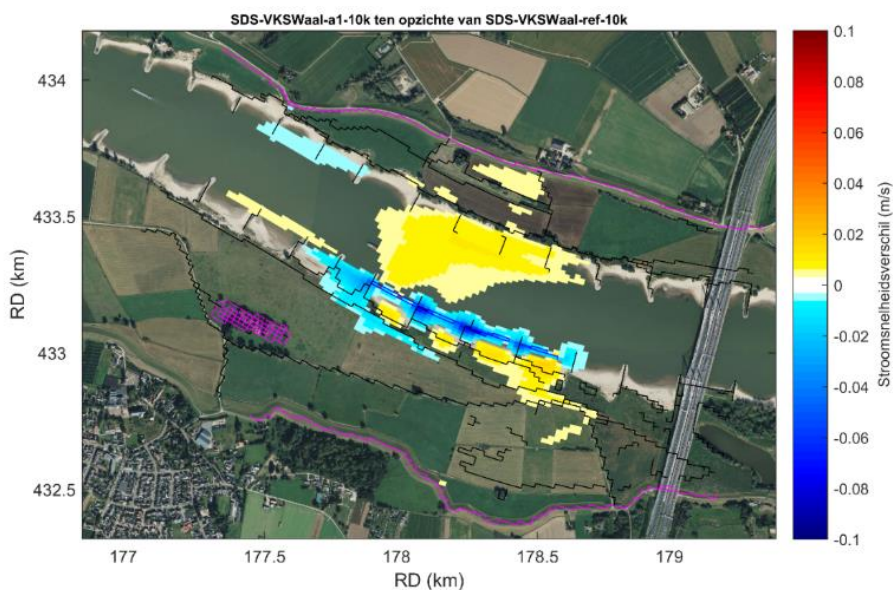


Als gevolg van de suppleties zal ter plaatse van alle suppletieclusters initieel bij normaal hoogwater (10.000 m<sup>3</sup>/s bij Lobith) een beperkte stroomsnelheidstoename optreden aan zowel de aanliggende als tegenoverliggende oever van maximaal 0,02 m/s. Tevens vinden er stroomsnelheidsdalingen plaats in de kribvakken van de suppletie en enkele benedenstroomse kribvakken met een maximum van 0,02 m/s.

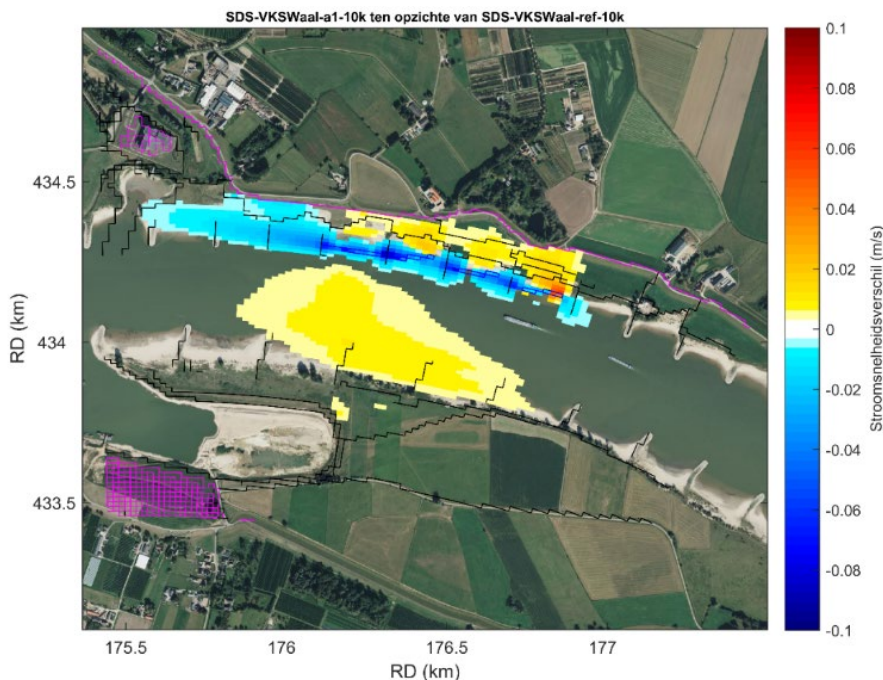
Dergelijke stroomsnelheidstoenames zullen niet resulteren in extra erosie van de oevers. Tevens blijven de absolute stroomsnelheden bij de oevers onder de kritische grens van erosie van een met gras beklede oever (kritieke snelheid: meer dan 1,0 m/s over een zeer lange periode [4]). De zuiging en golfwerking door passerende scheepvaart is de dominante factor in erosie van de steilrand van het kribvak. Daarmee wordt geconcludeerd dat er ten gevolge van de ingreep geen schade of hinder zal ontstaan in de uiterwaard ten gevolge van stroomsnelheden bij een normaal hoogwater.



Figuur 8: Verschil in stroomsnelheid tussen 'VKSWaal\_a1' en de referentie voor cluster 1 in 2D bij een afvoer van 10.000 m<sup>3</sup>/s te Lobith. De roze vlakken geven hoogwatervrije terreinen aan.



Figuur 9: Verschil in stroomsnelheid tussen 'VKSWaal\_a1' en de referentie voor cluster 2 in 2D bij een afvoer van 10.000 m<sup>3</sup>/s te Lobith. De roze vlakken geven hoogwatervrije terreinen aan.



Figuur 10: Verschil in stroomsnelheid tussen 'VKSWaal\_a1' en de referentie voor cluster 3 in 2D bij een afvoer van 10.000 m<sup>3</sup>/s te Lobith. De roze vlakken geven hoogwatervrije terreinen aan.

### 4.2.3 Effect op stroombeeld in vaarweg

Bij een stroming van uiterwaard naar hoofdgeul en omgekeerd (bijvoorbeeld bij de aan- of aftakking van een nevengeul of andere ingreep in de uiterwaard) kunnen er dwarsstromingen in de vaargeul ontstaan. In mindere mate treedt deze dwarsstroming ook op bij stroming in en uit kribvakken. Deze dwarsstromingen kunnen hinderlijk zijn voor de scheepvaart en de veiligheid (navigatie) nadelig beïnvloeden. Dit is aspect 2.3 RBK 5.0. Ingrepen mogen niet resulteren in een absolute dwarsstroming in de vaarweg die groter is dan 0,15 m/s bij een debiet van meer dan 50 m<sup>3</sup>/s. Bij kleine debieten (< 50 m<sup>3</sup>/s) geldt conform de Richtlijnen Vaarwegen (2017) een maximum dwarsstroomsnelheid van 0,30 m/s. Indien de dwarsstroming in de referentie situatie al boven de normen zit, dan geldt dat de ingreep geen toename van de dwarsstroming mag veroorzaken.

In onderstaande tabellen wordt de maximale dwarsstroming weergegeven per suppletiecluster voor variant 'VKSWaal\_a1' en voor de referentie. Dwarsstromingsgrafieken zijn weergegeven in Bijlage C. Uit de tabel volgt dat bij alle suppletieclusters in de referentiesituatie al te hoge dwarsstromingen (boven de norm van 0,15 m/s) optreden bij diverse afvoeren.

Door de maatregel verbetert de dwarsstroming of blijft deze minimaal gelijk bij clusters 1 en 2 voor alle afvoeren vanaf 3000 m<sup>3</sup>/s. De maatregel heeft vrijwel geen effect op het dwarsstromingsbeeld bij cluster 3. Bij cluster 1 wordt een lichte toename berekend bij een afvoer van 2000 m<sup>3</sup>/s. De niet verlaagde kribben bij cluster 1 stromen dan nog niet mee, er treedt neervorming op in het kribvak. Door de suppletie wordt deze neervorming beïnvloed. De scheepvaart heeft geen last van deze toename, het blijft ook onder de norm van 0,3 m/s.

Er kan geconcludeerd worden dat de verandering in dwarsstroming ten gevolge van de maatregel geen hinder zal opleveren voor de scheepvaart of extra veiligheidsrisico's zal opleveren. Normen worden niet overschreden en dwarsstroming neemt bijna nergens toe. Hiermee wordt voldaan aan het criterium voor dwarsstroming.

Tabel 1: Maximale dwarsstroming (m/s) bij suppletiecluster 1 voor variant 'VKSWaal\_a1' en de referentie. Rode en groene cijfers tonen respectievelijk een verslechtering of verbetering t.o.v. de dwarsstromingsnorm.

	2.000 m <sup>3</sup> /s	3.000 m <sup>3</sup> /s	4.000 m <sup>3</sup> /s	6.000 m <sup>3</sup> /s	10.000 m <sup>3</sup> /s
<b>Criterium</b>	0,30	0,30	0,15	0,15	0,15
<b>Referentie</b>	0,28	0,30	0,27	0,19	0,15
<b>VKSWaal_a1</b>	0,29	0,30	0,26	0,18	0,15

Tabel 2: Maximale dwarsstroming (m/s) bij suppletiecluster 2 voor variant 'VKSWaal\_a1' en de referentie. Rode en groene cijfers tonen respectievelijk een verslechtering of verbetering t.o.v. de dwarsstromingsnorm.

	2.000 m <sup>3</sup> /s	3.000 m <sup>3</sup> /s	4.000 m <sup>3</sup> /s	6.000 m <sup>3</sup> /s	10.000 m <sup>3</sup> /s
<b>Criterium</b>	0,30	0,15	0,15	0,15	0,15
<b>Referentie</b>	0,20	0,12	0,11	0,09	0,11
<b>VKSWaal_a1</b>	0,20	0,11	0,09	0,07	0,09

Tabel 3: Maximale dwarsstroming (m/s) bij suppletiecluster 3 voor variant 'VKSWaal\_a1' en de referentie. Rode en groene cijfers tonen respectievelijk een verslechtering of verbetering t.o.v. de dwarsstromingsnorm.

	2.000 m <sup>3</sup> /s	3.000 m <sup>3</sup> /s	4.000 m <sup>3</sup> /s	6.000 m <sup>3</sup> /s	10.000 m <sup>3</sup> /s
<b>Criterium</b>	0,30	0,15	0,15	0,15	0,15
<b>Referentie</b>	0,18	0,08	0,05	0,05	0,05
<b>VKSWaal_a1</b>	0,18	0,08	0,05	0,05	0,05

## 4.3 Morfologische effecten

### 4.3.1 Morfologisch effect op zomerbed

Ingrepen langs de rivier kunnen effect hebben op de stroomsnelheid in het zomerbed. Deze verandering van stroomsnelheid kan leiden tot ongewenst aanzanding of erosie, hetgeen een effect kan hebben op de bevaarbaarheid van de vaargeul voor de scheepvaart. Blijvende hinder is niet toegestaan conform het veroorzakersbeginsel uit het Beheer- en ontwikkelplan voor de rijkswateren 2016 – 2021 (BPRW 2016 - 2021). Dit is aspect 3.1 uit RBK 5.0.

Het hoofddoel van de kribvaksuppletie is het afremmen van de langjarige bodemerosie van het zomerbed zonder dat dit leidt tot een toename van de inspanningen voor vaarwegonderhoud. De monitoring van de pilot moet antwoorden geven op de hierbij gestelde relevante onderzoeksvragen. Om enige inschatting te maken van het mogelijke morfologisch zijn in deze paragraaf een tweetal analyses gedaan; een analyse van het initiële effect (m.b.v. WAQmorf) en een kwalitatieve inschatting van het effect indien de suppletie binnen twee jaar uit de kribvakken verdwijnt richting het zomerbed.

Voor de morfologische analyse van het initiële effect van de suppletie is onder andere een analyse met WAQmorf uitgevoerd. Hierbij zijn de volgende uitgangpunten aangehouden:

- De maatregel is bij cluster 1 stroomvoerend voor alle afvoeren boven de 3500 m<sup>3</sup>/s bij Lobith.
- De maatregel is bij cluster 2 en 3 stroomvoerend voor alle afvoeren boven de 2000 m<sup>3</sup>/s bij Lobith. Bij deze clusters zijn de kribben verlaagd.
- Er is gerekend met de volgende afvoeren: Q2 (overgangsblok) is 4000 m<sup>3</sup>/s en Q3 (hoogwaterblok) is 6000 m<sup>3</sup>/s. Voor deze maatregel is in WAQmorf geen afvoer voor Q1 (laagwaterblok) nodig (geldt voor alle clusters).
- Bij stroomsnelheden kleiner dan 0,3 m/s vindt geen bodemerosie plaats (default waarde).

De resultaten van WAQmorf geven inzicht in het initiële effect van de suppletie op het zomerbed. Hierbij wordt de suppletie als niet erodeerbaar aangenomen.

Met WAQmorf kan het proces van erosie van de suppletie niet worden berekend. Op basis van een kwalitatief oordeel is een inschatting gemaakt van het morfologische effect in de vaargeul van het in werking treden van de suppletie als 'zandmotor'. Hierbij is een inschatting gemaakt of de suppletie voor een nadelig effect op de bodemligging van het zomerbed voor de scheepvaart in de nabijheid van de clusters zou kunnen zorgen. Creëert de suppletie een knelpunt qua ondieptes voor de scheepvaart? Om een mogelijk conservatief effect inzichtelijk te maken is met een aantal aannames tot een inschatting gekomen.

### **Bodemligging huidige vaargeul**

Voor scheepvaart geldt een gegarandeerde minimale nautische diepte van 2,80 m bij de Overeengekomen Lage Rivierstand (OLR). Ten behoeve van voldoende kielspeling geldt dat er gemiddeld over de breedte van de vaargeul 1,2 m kielspeling (specifiek voor de Boven-Rijn, RBK 5.0) beschikbaar moet zijn ten opzichte van deze norm van 2,80 m waterdiepte bij OLR.

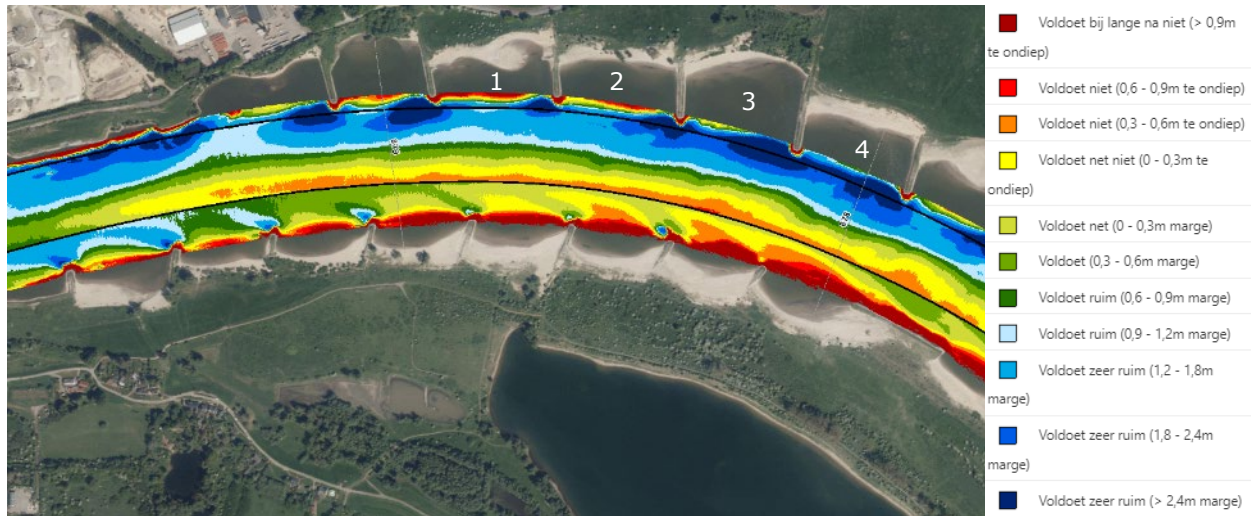
Op dit moment (referentie) voldoen delen van de vaargeul niet aan de norm van 2,80 m diepte bij OLR (Figuur 11 en Figuur 14). In de binnenbochten bij Gendt (cluster 1) zijn er veel ondieptes waar de waterdiepte in de vaargeul kritisch is. Bij Winssen en Wely (cluster 2 en 3) zijn momenteel sporadisch enkele ondieptes aanwezig in de binnenbocht van de Waal, zie de geruite gebieden in Figuur 15. Ook aan de eis van voldoende kielspeling wordt op veel locaties niet voldaan in de huidige situatie, zie Figuur 12 en Figuur 15.

### **Initiële morfologisch effect aanbrengen kribvaksuppleties**

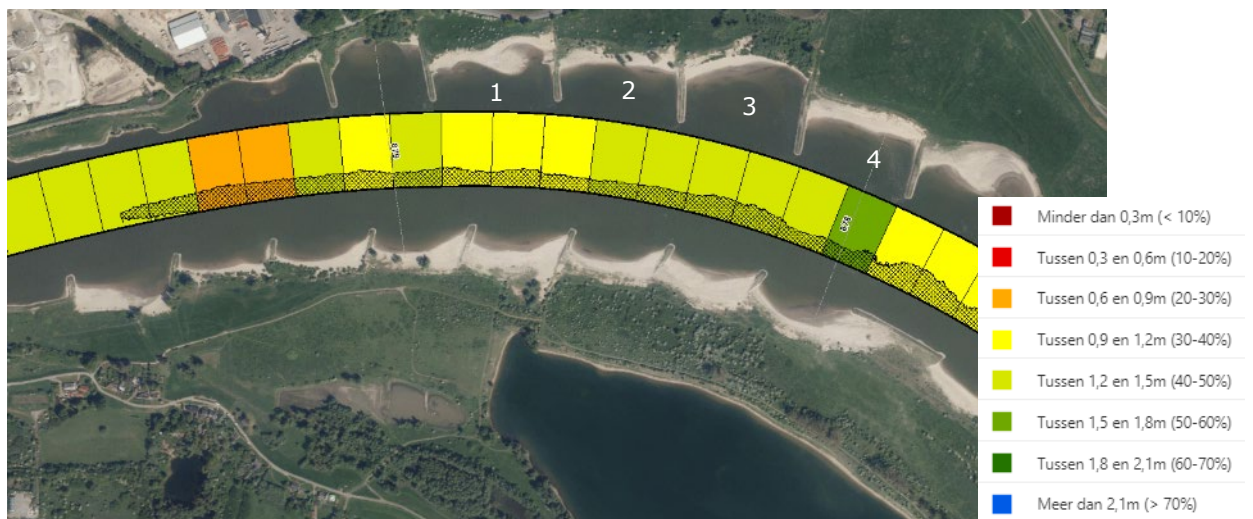
De maatregel veroorzaakt initieel tot 0,25 m erosie in het zomerbed, zie Figuur 13 en Figuur 16. De mate van erosie is het grootst qua omvang bij cluster 2. Bij cluster 1 is de initiële aanzanding geringer dan bij cluster 2 en 3. De figuren tonen tevens een lichte initiële aanzanding nabij de gesuppleerde kribvakken. Bij cluster 1 is de aanzanding maximaal 1 cm en treedt op buiten de vaargeul in de buitenbocht voor de kribvakken welke suppleties bevatten. Bij suppletieclusters 2 en 3 is eveneens enkel zeer lokaal buiten de vaargeul aanzanding aanwezig. De maximale aanzanding treedt op bij kribvak 2 en 3 van suppletiecluster 2 en is circa 0,10 m. De aanzanding in de vaargeul beperkt zich tot de uiterste rand van de vaargeul en is maximaal 2 cm, zie gele cirkels in Figuur 16. Deze initiële aanzanding treedt op in delen van de vaargeul waar momenteel 0,9 m extra diepte is t.o.v.  $OLR - 2,80$  m (norm).

Bovengenoemde resultaten zijn de door WAQmorf bepaalde jaargemiddelde effecten waarbij uitgegaan wordt van een niet mobiele suppletie; er gaat geen zand vanuit de suppletie richting zomerbed. Daarmee is dit effect te lezen als het conservatief ingeschatte initiële effect. De werkhypothese van de werking van de kribvaksuppleties is dat er vanaf aanleg, sediment zal worden afgegeven/getransporteerd naar het zomerbed. Initieel kan de suppletie dus wat erosie geven (zoals WAQmorf bepaald), maar dit zal gedurende het eerste jaar naar verwachting over gaan in aanzanding; sediment verdwijnt uit de gesuppleerde kribvakken.

Er kan geconcludeerd worden dat de maatregel initieel na aanleg (en in de situatie dat de suppletie niet erodeert, maar onverhoopt immobiel blijft) niet leidt tot een afname van de waterdiepte in de vaargeul of een toename van de baggerinspanning. De initiële erosie lijdt niet tot problemen voor dekking op gevoelige infrastructuur of erosie bij objecten (deze zijn afwezig in het invloedsgebied).



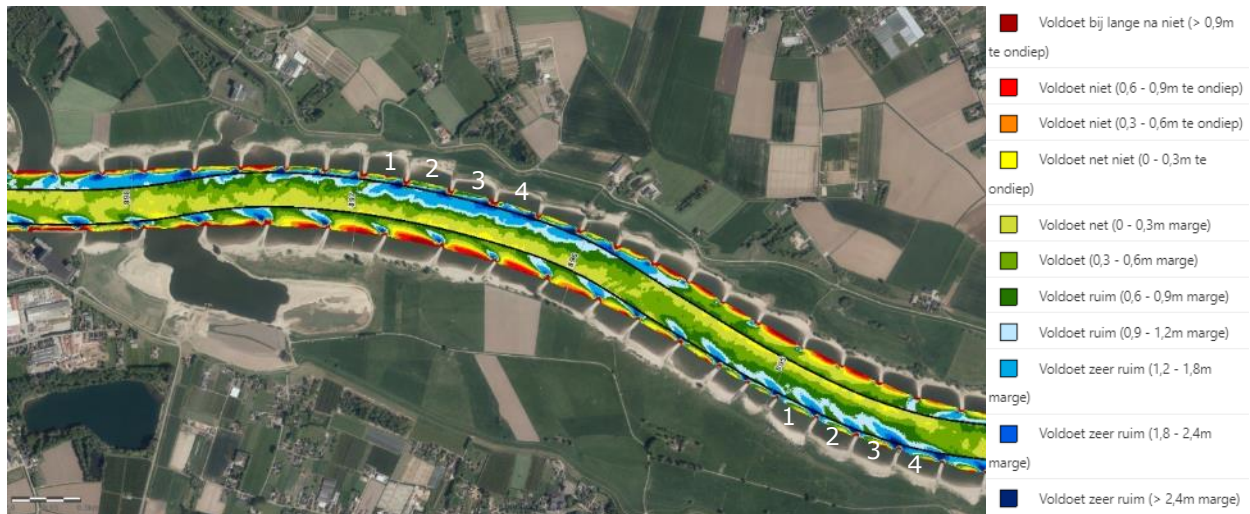
Figuur 11: Waterdiepte bij suppletiecluster 1 t.o.v. de norm (waterdiepte bij OLR - 2,80m).



Figuur 12: Breedtegemiddelde diepte in de vaargeul bij suppletiecluster 1 t.o.v. de norm (waterdiepte bij OLR - 2,80m). Voor scheepvaart dient 1,2m beschikbaar te zijn voor voldoende kielspeling. In geruite gebied is waterdiepte onvoldoende.



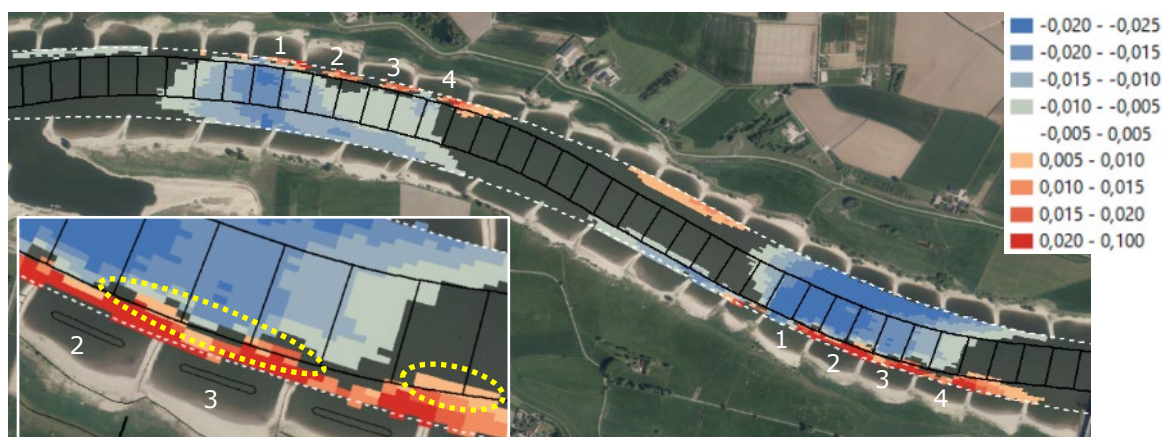
Figuur 13: Jaargemiddelde aanzanding en erosie (m) in de vaargeul bij suppletiecluster 1. Kleine bodemveranderingen (< 0,5cm) zijn niet getoond.



Figuur 14: Waterdiepte bij suppletieclusters 2 en 3 t.o.v. de norm (waterdiepte bij OLR - 2,80m).



Figuur 15: Breedtegemiddelde diepte in de vaargeul bij suppletieclusters 2 en 3 t.o.v. de norm (waterdiepte bij OLR - 2,80m). Voor scheepvaart dient 1,2m beschikbaar te zijn voor voldoende kielspeling. In geruite gebied is waterdiepte onvoldoende.



Figuur 16: Jaargemiddelde aanzanding en erosie (m) in de vaargeul bij suppletieclusters 2 en 3. Kleine bodemveranderingen (< 0,5cm) zijn niet getoond.

### Inschatting morfologisch effect ‘zandmotor’

Voor de rivierbeheerder is de realisatie van kribvaksuppleties als ‘zandmotor’ van de rivier geslaagd als ongeveer 80% van het gesuppleerde sediment over een periode van een paar jaar bijdraagt aan het zomerbed [1]. Echter, het is niet gewenst dat de erosie van de suppletie zo snel verloopt dat dit tot ondieptes op de vaargeul leidt (norm uit *Akte van Mannheim*, overgenomen in RBK 5.0; OLR – 2,80 m). Blueland Consultancy [1] geeft aan dat de kans hierop klein is vanwege de geringe hoeveelheden sediment in de suppleties. Ten opzichte van de hoeveelheid sediment die zich jaarlijks door het zomerbed verplaatst (In periode 1991-2010 was dit gemiddeld ca. 400.000 m<sup>3</sup>/jaar, waarvan ca 86% door de Waal (Frings et al., 2019 [6])) wordt er per cluster jaarlijks circa 2% sediment toegevoegd (13.000 m<sup>3</sup>). Tevens zal het sediment uit de suppletie zich onder invloed van scheepsgolven over een periode van paar jaar vanuit de kribvakken gaan verspreiden en zal het sediment benedenstrooms van de suppletie niet op één plek in de vaargeul terecht komen door de (spiraal)stroming in de rivier. Vanwege dit geringe percentage en de periode van verspreiding is de hypothese dat de extra toevoeging van sediment geen verschil zal maken in de locaties van en beschikbare waterdiepte in de vaargeul bij de huidige knelpunten in de rivier.

In deze sectie wordt op basis van een kwalitatief oordeel een eerste conservatieve inschatting gemaakt van de locatie waar het sediment in de vaargeul mogelijk terecht zal komen in geval dat het zand in directe nabijheid van de clusters blijft liggen en of dit in een dergelijk conservatieve situatie dan tot knelpunten voor de scheepvaart leidt.

De volgende conservatieve aannames zijn gebruikt t.b.v. de analyse:

- Een suppletiecluster bevat een gesuppleerd volume van 13.000 m<sup>3</sup> [1]: één kribvak van 4.000 m<sup>3</sup> (ontwerp 1) en drie kribvakken van 3.000 m<sup>3</sup> (ontwerp 2);
- De suppletie verdwijnt binnen twee jaar geheel uit de kribvakken. Dit is in lijn met de werkhypothese [1] dat het een paar jaar duurt alvorens het sediment is verdwenen uit de kribvakken;
- Het sediment uit de kribvakken komt terecht in de vaargeul, direct benedenstrooms van het cluster, over een lengte gelijk aan de aanzandingslengte, welke tevens gezien kan worden als de ‘opruimsnelheid’ van de suppletie. Deze lengte is bepaald m.b.v. WAQmorf;
- Het sediment uit de kribvakken verspreidt zich daarbij over de volledige breedte van de vaargeul. Hierbij is tevens aangenomen dat het suppletiemateriaal niet alleen in de diepere delen van de rivier (buitenbocht) zal sedimenteren, maar dat het zich over de gehele vaargeul zal verspreiden door de spiraalstroming in de rivier welke het sedimentatieproces in de binnenbocht versterkt. Door dit proces is de stroming aan de oppervlakte iets naar de buitenbocht gericht, en langs de bodem iets naar binnen. Een karakteristieke waarde voor de hoek tussen de stroomrichting en stroomvector bij oppervlakte of bodem op de Waal is 2 à 3 graden ten opzichte van de gekromde rivieras [7].

Tabel 4 toont op basis van bovenstaande aannames een kwalitatieve inschatting van de laagdikte in de vaargeul van het sediment uit het kribvak.

Tabel 4: Analyse laagdikte van sediment uit het kribvak in de vaargeul door ‘zandmotor’.

	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
Aanzandingslengte (volgens WAQmorf)	442 m	1429 m	1429 m
Laagdikte van sediment uit kribvak over gehele breedte vaargeul (150m)	0,10 m	0,03 m	0,03 m

Bij cluster 1 is de aanzandingslengte 442 m. Dit veroorzaakt een laagdikte in de vaargeul van het sediment uit het kribvak van 0,10 m. Deze sedimentatie kan in de, reeds ondiepe, binnenbocht leiden tot een toename aan locaties waar de norm voor de beschikbare waterdiepte niet wordt gehaald. Dit scenario is echter niet aannemelijk voor deze locatie, het suppletiemateriaal zal in eerste instantie met

name sedimenteren in de diepere buitenbocht van de rivier direct benedenstrooms van de suppletieclusters, zie blauwe delen in Figuur 11. Lokaal kan dit in de diepere delen van de rivier leiden tot een grotere laagdikte, en dus grotere verondieping, dan vermeld in bovenstaande tabel. Deze verondieping kan leiden tot een snelheidstoename in het zomerbed en daarmee tot erosie van de (ondiepe) buitenbocht. Daarentegen, het minder dominante proces secundaire stroming (spiraalstroming) kan er stroomafwaarts van het cluster voor zorgen dat het toegevoegde sediment na verloop van tijd ook weer in de binnenbocht terecht komt.

Kijkend naar de breedtegemiddelde diepte in de vaargeul t.o.v. de norm, leidt de maatregel mogelijk wel tot een afname van de aanwezige kielspeling voor scheepvaart. Momenteel zijn er al beperkende ondieptes aanwezig benedenstrooms van de maatregel, zie oranje vlakken op rkm 879,3 in Figuur 12. In het slechtste geval blijft er in dit conservatieve scenario nog 0,5 tot 0,8 m kielspeling over bij OLR op rkm 879,3 (norm is 1,20 m).

Bij cluster 2 en 3 is de aanzandingslengte 1429 m. De maximale laagdikte van het sediment uit het kribvak in de vaargeul benedenstrooms van de suppletieclusters is 0,03 m. Deze sedimentatie leidt enkel tot een beperkte afname van de aanwezige kielspeling voor scheepvaart. Momenteel zijn er al beperkende ondieptes aanwezig benedenstrooms van de maatregel, zie oranje vlakken rondom rkm 898 in Figuur 15. De kielspeling blijft op dit traject minimaal 0,5-0,6 m. Ook bij cluster 2 en 3 is het waarschijnlijker dat het sediment benedenstrooms van de maatregel in eerste instantie belandt in de diepere delen van de vaargeul. Ook hier zal deze verondieping mogelijk leiden tot erosie van de binnenbocht en zal spiraalstroming ervoor zorgen dat het sediment zich langzaam verspreid over de gehele breedte van de rivier. Ware het niet dat deze processen bij cluster 2 en 3 minder dominant zijn dan bij cluster 1, omdat deze clusters op een relatief recht riviertraject liggen. Wel is het zo dat cluster 2 en cluster 3 dicht bij elkaar liggen. Deze kunnen zorgen voor een versterkt effect op dit traject. De aanzandingslengte is ongeveer gelijk aan de afstand tussen de clusters.

Bovenstaande beschouwing van het morfologische effect van de maatregel benodigd een nuancering. Bij de analyse is een aantal conservatieve aannames aangehouden. Allereerst zal naar verwachting de suppletie niet geheel binnen twee jaar uit het kribvak verdwenen zijn. De verwachting is dat 80% van de suppletie binnen een aantal jaren zal bijdragen aan het zomerbed [1]. Gedurende deze jaren zal het gesuppleerde sediment zich blijven verplaatsen over de rivierbodem. In de Rijntakken is de voortplantingssnelheid van een sedimentatie- of erosiegolf ongeveer een kilometer per jaar [5]. Zodoende zal de maximale laagdikte in werkelijk significant lager uitvallen dan de eerdergenoemde hoogtes. Ook zal tijdens hoogwater een deel van het sediment mogelijk verder het kribvak in worden getransporteerd (richting de oever), waar het immobiel wordt. Tevens is de kans erg klein dat het gesuppleerde sediment op één plek in de vaargeul terecht zal komen. De hoeveelheid gesuppleerd sediment is vrij klein ten opzichte van de hoeveelheid sediment die zich natuurlijk in de rivier over het zomerbed verplaatst [1], circa 2% per cluster. Zoals eerder vermeldt zal daarbij het sediment voornamelijk in de diepere delen sedimenteren, op de ondiepere delen zal de laagdikte kleiner zijn. Bovendien zal deze sedimentatie op de lange termijn weer teniet worden gedaan; de gehele suppletie zal in benedenstroomse richting worden afgevoerd. De maatregel beïnvloedt het hydraulisch evenwicht in de rivier immers niet. Zodoende zal de rivierbodem ook geen nieuw evenwichtsprofiel aannemen en zal het bestaande, oorspronkelijke, evenwicht in de rivier langzaam weer worden hersteld.

Al met al wordt er door de suppleties een hoeveelheid sediment in het systeem gebracht die lokaal bij de ingreep voor aanzanding kan gaan zorgen in de jaren na het aanbrengen. Afhankelijk van de snelheid waarmee het gesuppleerde materiaal uit het kribvak in de vaarweg komt, kan dit lokaal rond de clusters, met name in de diepere buitenbocht van de rivier, tot een verminderde kielspeling voor de scheepvaart leiden (o.b.v. conservatieve aannames in de kwalitatieve beschouwing). De minimale vereiste waterdiepte bij OLR blijft wel behouden. Werkhypothese is dat het gesuppleerde sediment zich zal



verspreiden over de gehele rivierbodem; het gesuppleerde materiaal per cluster is slechts een fractie (2%) van het totale jaarlijkse sediment transport op de Waal. Dit kleine aandeel gaat op in totale sediment transport.

Monitoring van de maatregel moet gaan uitwijzen met welke snelheid deze erosie van de suppletie uit de kribvakken gaat en op welke locaties dit sediment terecht gaat komen. Doel van de maatregel is het reduceren van de bodemerosie van de Waal, daarmee is extra zandaanvoer dus gewenst. Ongewenst is als dit voor de scheepvaart tot lokale ondieptes gaat leiden. Als de erosie vanuit de kribvakken langzaam gaat en het gesuppleerde sediment in eerste instantie in de diepe buitenbocht van de vaargeul komt, is de hypothese dat er geen negatieve effecten zijn op de waterdiepte in de vaargeul. Indien de erosie uit de kribvakken zeer snel gaat, dan toont de bovenstaande analyse dat de met name lokaal de aanwezige kielspeling bij OLR licht afneemt. Echter, deze afname zal tijdelijk zijn en zich beperkt tot hooguit enkele centimeters.

### **4.3.2 Morfologisch effect op winterbed**

Ingrepen langs de rivier kunnen ook effect hebben op de stroomsnelheid in het winterbed, dit is aspect 3.2 uit RBK 5.0. Dit kan leiden tot lokale ongewenste schade door erosie aan objecten.

De maatregel heeft niet of nauwelijks effect op de stroomsnelheden in de uiterwaarden, zie sectie 4.2.2. Lokaal nemen stroomsnelheden toe met maximaal circa 0,04 m/s. Zodoende zal de ingreep geen effect hebben op de morfologische processen in de uiterwaarden.

Tijdens laagwater zullen de kribvaksuppleties niet geheel onder water liggen. Dit kan potentieel zorgen dat fijn sediment uit de suppletie gaat verstuiven richting de oever.

Bij hoog water kan een deel van het sediment door de stroming worden meegenomen richting de oever en het winterbed. Dit speelt met name bij cluster 1 omdat deze in de buitenbocht ligt en er meer stroming over de kribvakken richting de uiterwaard staat tijdens een hoogwater. Bij cluster 2 en 3 is de stroming bij hoogwater meer parallel aan het zomerbed.

## 5 Conclusie

De conclusies van de rivierkundige beoordeling zijn samengevat in Tabel 5.

Tabel 5: Conclusies per beoordeelaspect van RBK 5.0

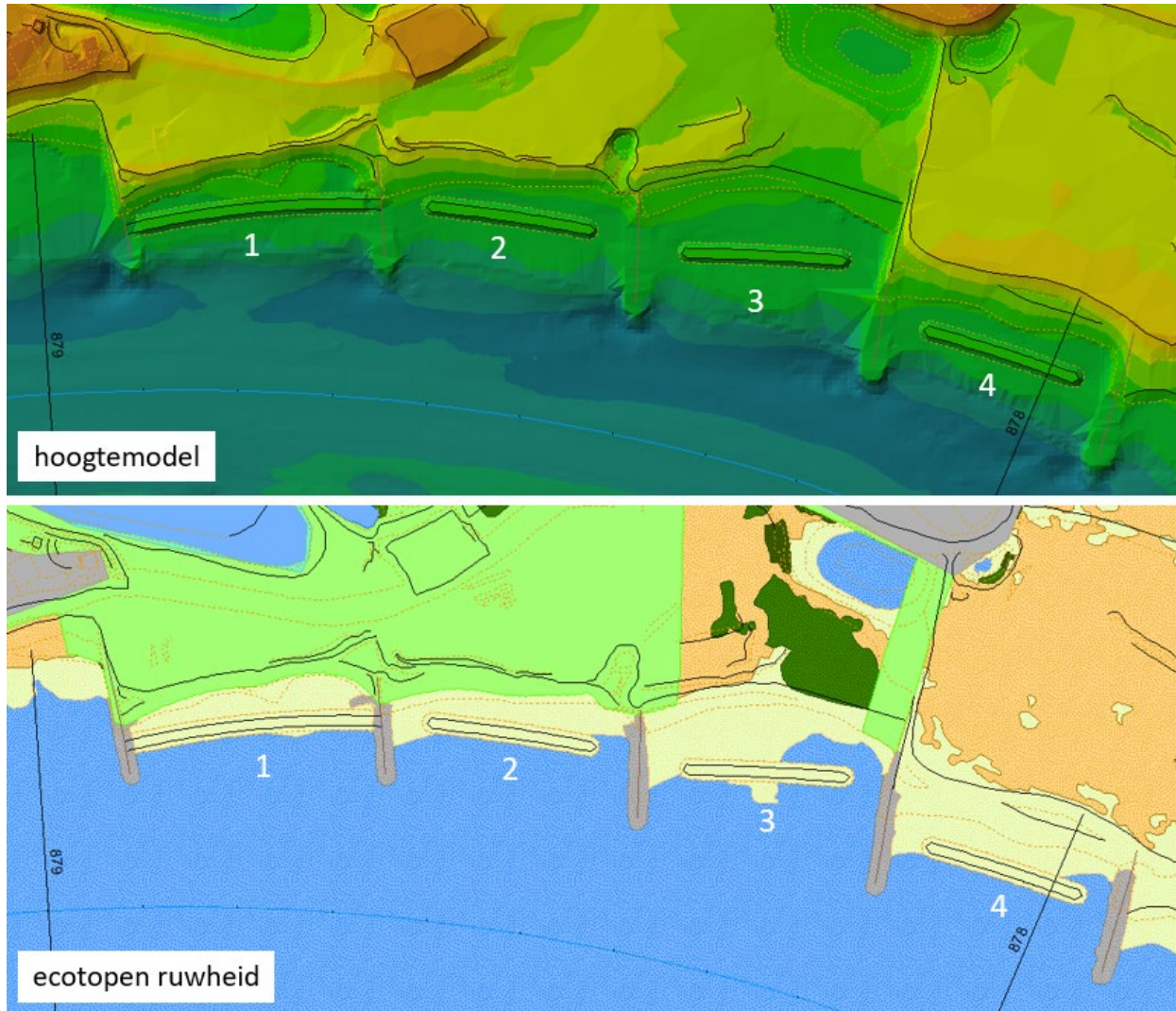
Asp.	Te beoordelen effect	Criterium	Effect van de ingreep	Voldoet ja/nee
1.1	MHW-stand op de as van de rivier	Stroomvoerend: waterstandsverhoging gelijk of kleiner dan 1 mm (bij 16.000 m <sup>3</sup> /s te Lobith).	Ontwerp leidt tot een maximale opstuwingspiek van 1,56 mm op de as van de rivier.	Nee, maar vergunningverlener heeft de ruimte om eventueel van de norm van het RBK af te wijken, omdat het berekende effect het initiële, tijdelijke effect van de suppleties is.
1.2	MHW-stand buiten de as van de rivier	Waterstandsverhoging in het 2D-vlak en langs de bandijk.	Langs de bandijk vindt een beperkte waterstandsverhoging plaats van 1,5mm.	Ja, dijkbeheerder heeft aangegeven geen bezwaar te hebben (mail Waterschap Rivierenland, WJH van Haren, d.d. 29-09-2021)
1.3	Effect op afvoerdeling bij MHW	Verandering afvoerdeling < 5 m <sup>3</sup> /s bij Boven-Rijn afvoer van 16.000 m <sup>3</sup> /s.	Nauwelijks effect (+/-1 m <sup>3</sup> /s)	Ja
1.4	Effect op afvoerdeling bij normaal hoogwater	Verandering afvoerdeling < 20 m <sup>3</sup> /s bij Boven-Rijn afvoer van 10.000 m <sup>3</sup> /s.	Nauwelijks effect (< 1 m <sup>3</sup> /s)	Ja
1.5	Ijsafvoer	Een goede geleiding van water en ijs dient gewaarborgd te blijven	Geen effect, maatregelen gaan geen effect hebben op de ijsafvoer.	Ja
2.1	Waterstanden en/of inundatiefrequentie van de uiterwaard	Verandering waterstanden en/of inundatiefrequentie bij Boven-Rijn afvoer van 10.000 m <sup>3</sup> /s.	Geen extra hinder voor terreineigenaren, bewoners of bedrijven op vlak van inundatiefrequentie.	Ja
2.2	Stroombeeld in de uiterwaard	Verandering grootte en richting stroomsnelheden bij Boven-Rijn afvoer van 10.000 m <sup>3</sup> /s.	Geen groot effect, er ontstaan geen stroomsnelheden die resulteren in hinder of schade aan objecten.	Ja
2.3	Stroombeeld in hoofdgeul bij de aan- en aftakking van nevengeul	Bij afvoer nevengeul < 50 m <sup>3</sup> /s: dwarsstroming vaarweg ≤ 0,3 m/s; Bij afvoer nevengeul > 50 m <sup>3</sup> /s: dwarsstroming vaarweg ≤ 0,15 m/s.	Geen relevante wijzigingen, geen hinder voor scheepvaart op gebied van dwarsstroming.	Ja
3.1	Aanzanding en erosie van het zomerbed (+ oevers)	<u>Bij erosie:</u> Geen verlaging gemiddelde bodemligging en geen oevererosie, beperkte ontgroning bij constructies per hoogwater. <u>Bij sedimentatie:</u> Geen vermindering vaargeulafmetingen bij lage tot gemiddelde rivierafvoeren; geen verhoging MHW op lange termijn. <u>In het algemeen:</u> Beperkte hinder door baggeren en/of terugstorten en behouden veiligheid scheepvaartverkeer.	Met de suppleties wordt een hoeveelheid sediment in het systeem gebracht die lokaal bij de ingreep voor sedimentatie kan gaan zorgen in de jaren na het aanbrengen. Afhankelijk van de snelheid waarmee het gesuppleerde materiaal uit het kribvak in de vaarweg komt, kan dit lokaal rond de clusters tot een verminderde kielspeling voor de scheepvaart leiden (o.b.v. conservatieve aannames in de kwalitatieve beschouwing). De minimale vereiste waterdiepte bij OLR	Ja.  Het hoofddoel van de kribvasuppletie is het afremmen van de langjarige bodemerosie van het zomerbed zonder dat dit leidt tot een toename van de inspanningen voor vaarwegonderhoud. De monitoring van de pilot moet antwoorden geven op de hierbij gestelde relevante onderzoeksvragen. De pilot heeft daarmee

Asp.	Te beoordelen effect	Criterium	Effect van de ingreep	Voldoet ja/nee
			<p>blijft wel behouden. Werkhypothese is dat het gesuppleerde sediment zich zal verspreiden over de gehele rivierbodem; het gesuppleerde materiaal per cluster is slechts een fractie (2%) van het totale jaarlijkse sediment transport op de Waal. Dit kleine aandeel gaat op in totale sediment transport.</p> <p>Monitoring van de maatregel moet gaan uitwijzen met welke snelheid deze erosie van de suppletie uit de kribvakken gaat en op welke locaties dit sediment terecht gaat komen. Als de erosie vanuit de kribvakken langzaam gaat, is de hypothese dat er geen negatieve effecten zijn op de minimaal vereiste waterdiepte bij OLR. Indien de erosie uit de kribvakken zeer snel gaat, dan kan lokaal de aanwezige kielspeling bij OLR licht afnemen.</p>	ook ten doel de onzekerheid over effecten te reduceren.
3.2	Aanzanding en erosie van uiterwaard en nevengeulen	<p><u>Bij sedimentatie:</u> Beperkte sedimentatie t.o.v. beheerskosten.</p> <p><u>Bij erosie:</u> Geen bodmerosie langs waterkering; stroomsnelheid nevengeul bankfull &lt; 0,3 m/s; geen bodmerosie langs waterkering.</p>	Geen effecten verwacht, aanzanding en erosie in de uiterwaard is niet aan de orde. Geen grootschalige erosie langs kades, oevers of andere objecten.	Ja

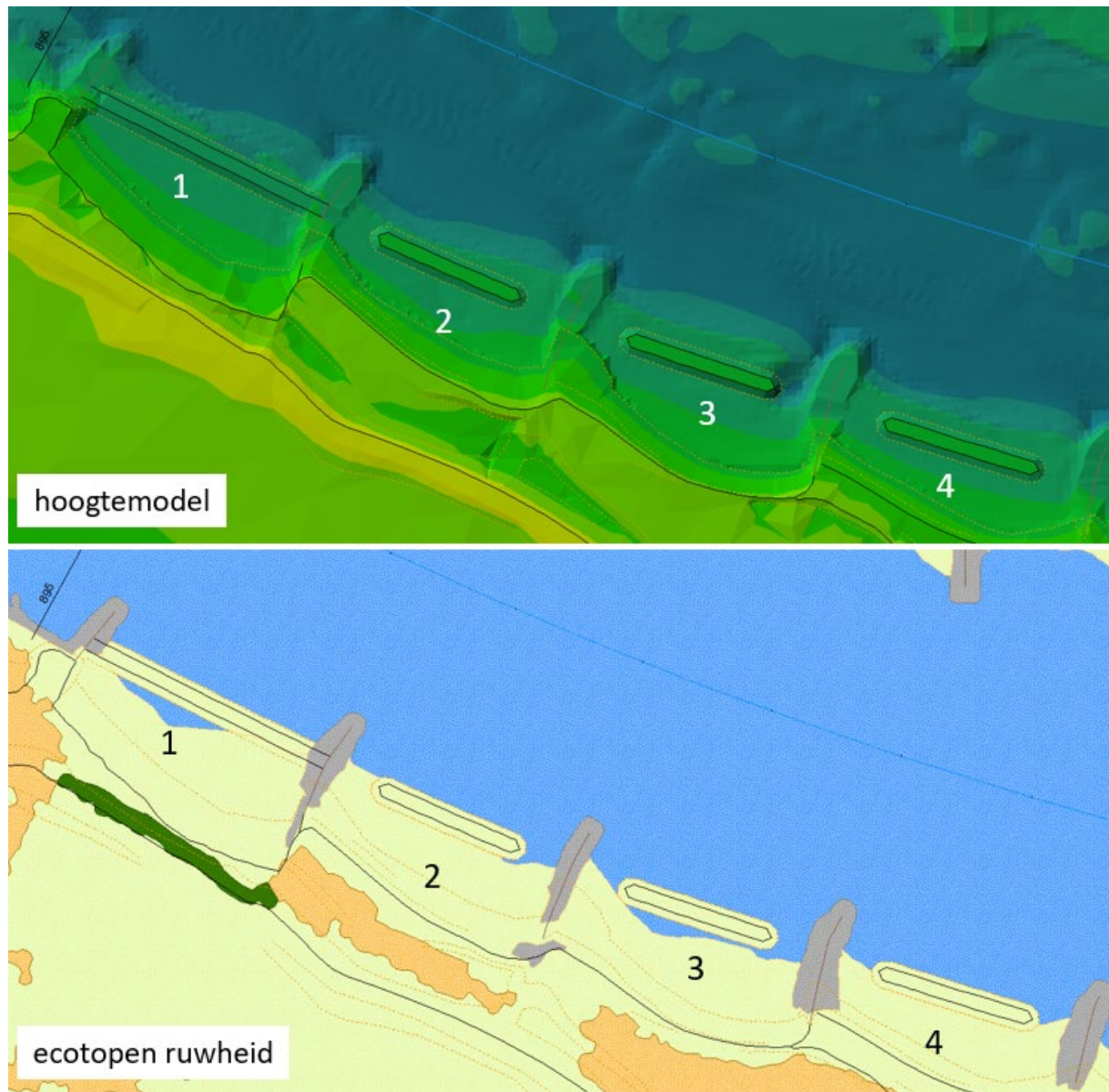
## 6 Bronnen

- [1] Blueland Consultancy, 2021. 'Notitie Voorbereiding kribvaksuppletie Waal definitief Small', rapport B21.01
- [2] Kribvaksuppletie Waal, Intern werkdocument RWS-ON, geen datum en referentie
- [3] A. Sieben, RWS WVL, Notitie bodemligging tussen kribben met verlaagde kruin, collegiaal advies aan RWS, 7 december 2015
- [4] Hewlett, H.W.M., Boorman, L.A., Bramley, M.E., 1987. 'Design of reinforced grass waterways'
- [5] Deltares, 2014. 'Morfologische Pakketsom Waal', kenmerk 1208454-000-ZWS-0003.
- [6] Frings, R.M., Hillebrand, G., Gehres, N., Banhold, K., Schriever, S. and T. Hoffmann, 2019. From source to mouth: Basin-scale morphodynamics of the Rhine River. Earth-Science Reviews 196, 102830.
- [7] K. Sloff, Deltares, 2019. 'Ondieptes op bochtovergangen en bij havens, spiraalstroming', kenmerk 11202700-003-ZWS-0002

## Bijlage A – Baseline schematisatie cluster 1 en 2

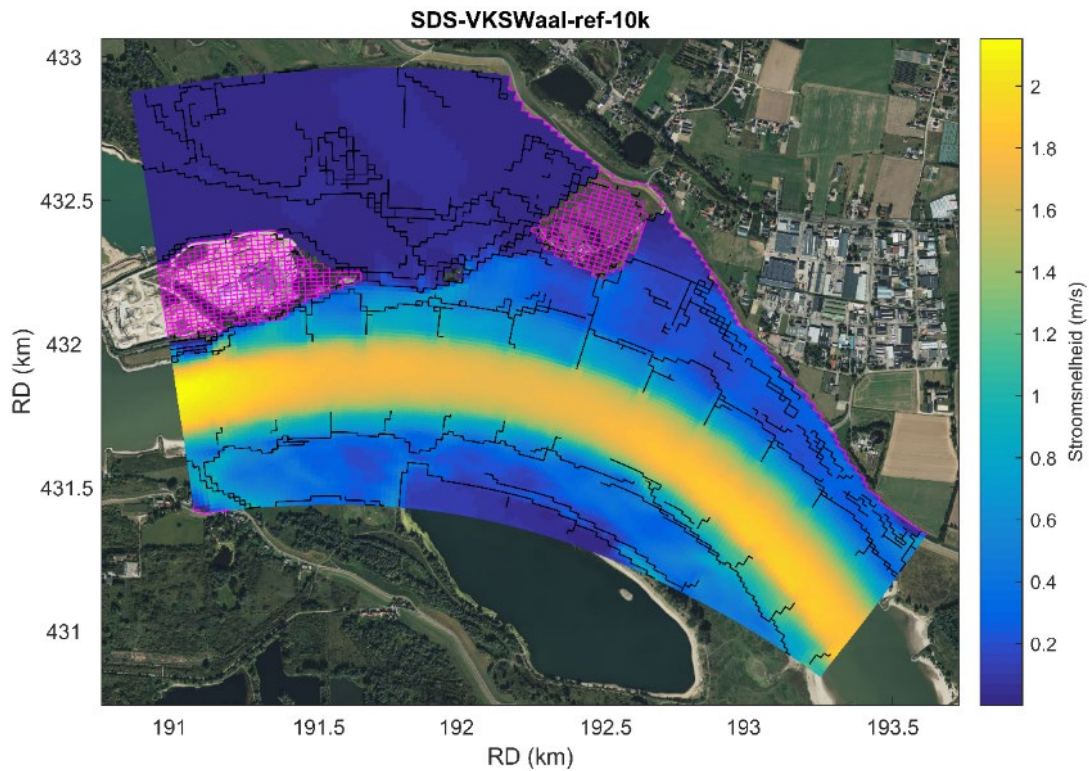


Figuur 17: Schematisatie suppletiecluster 1 in Baseline; hoogtemodel, hoogteverschillijnen en breuklijnen (boven), ecotopen-ruwheid, hoogteverschillijnen en breuklijnen (onder).

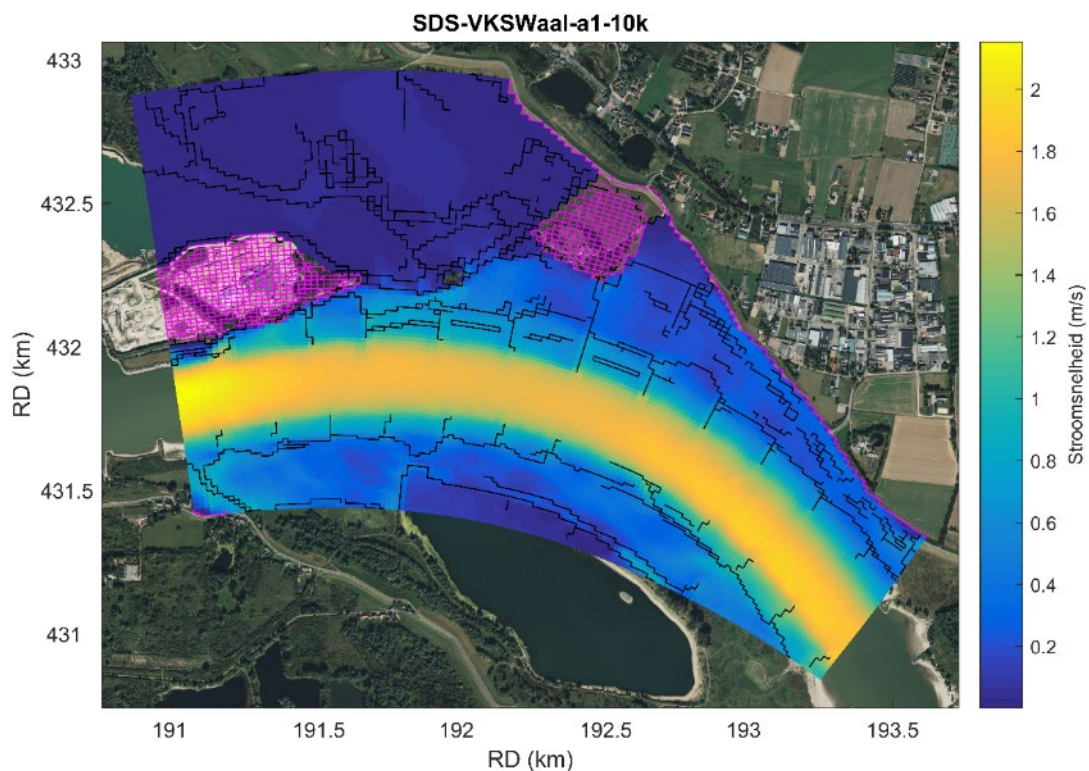


Figuur 18: Schematisatie suppletiecluster 2 in Baseline; hoogtemodel, hoogteverschillijnen en breuklijnen (boven), ecotopen-  
ruwheid, hoogteverschillijnen en breuklijnen (onder).

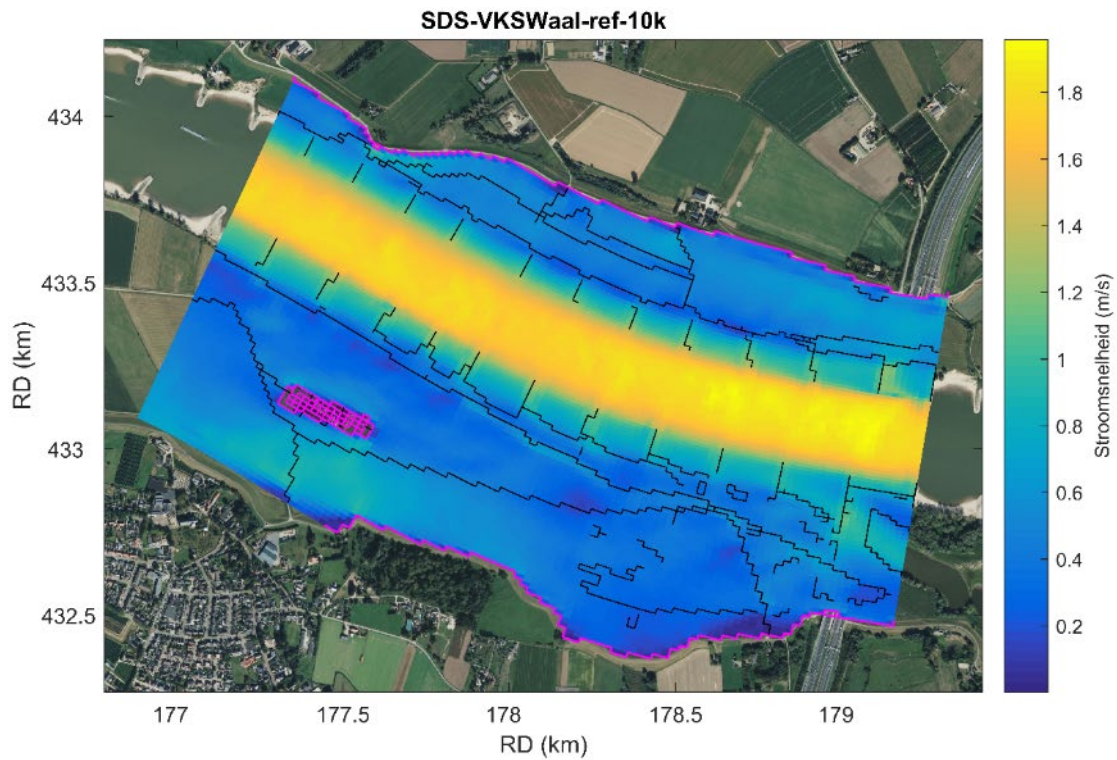
## Bijlage B – Absolute stroomsnelheden 10.000 m<sup>3</sup>/s



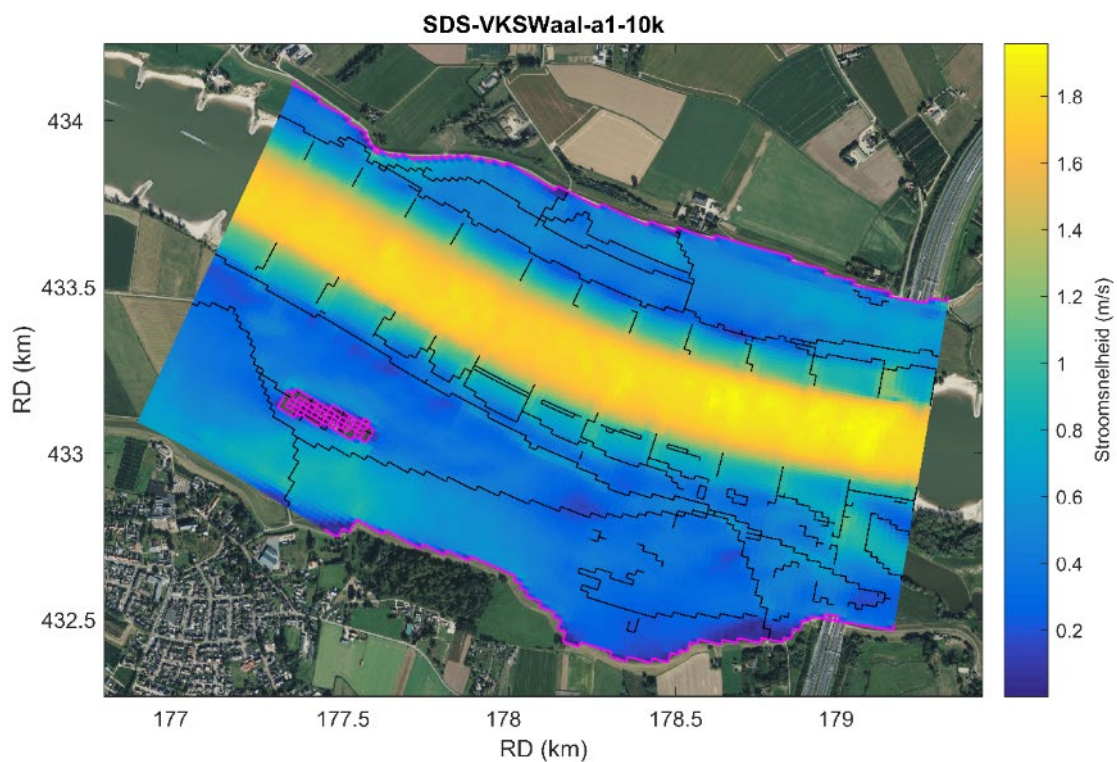
Figuur 19: Absolute stroomsnelheden voor de referentie - cluster 1 bij een afvoer van 10.000 m<sup>3</sup>/s bij Lobith.



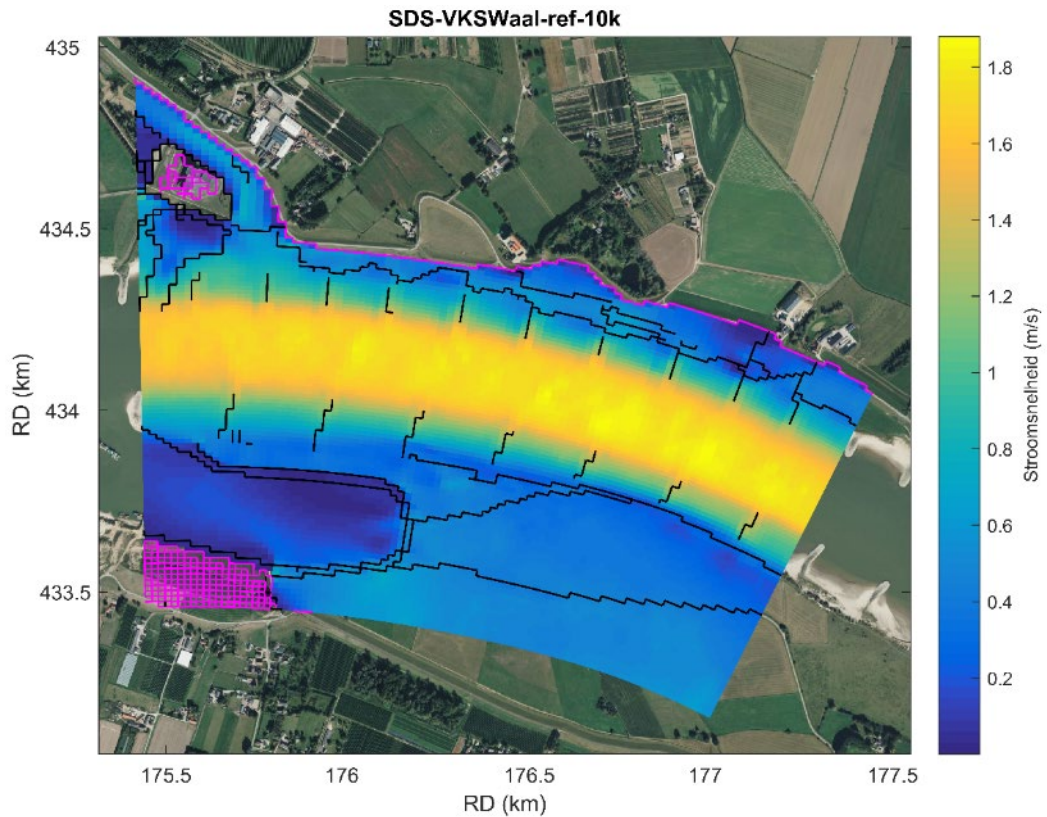
Figuur 20: Absolute stroomsnelheden voor variant VKSWaal\_a1 - cluster 1 bij een afvoer van 10.000 m<sup>3</sup>/s bij Lobith.



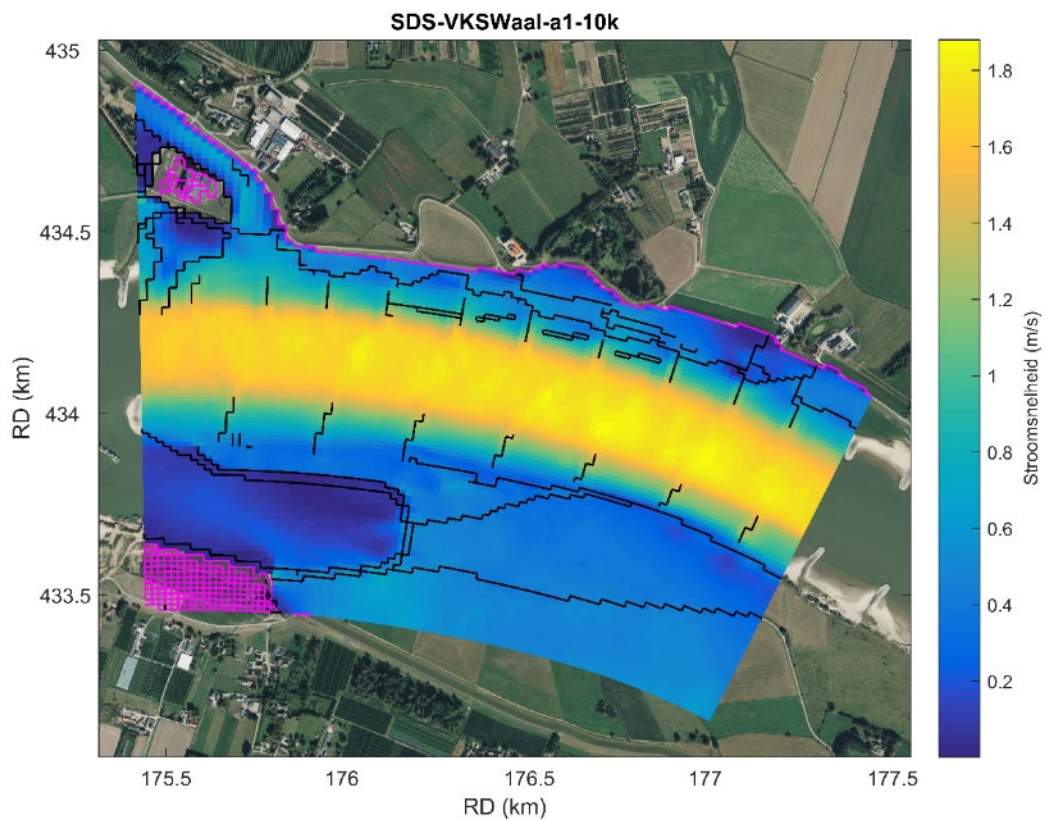
*Figuur 21: Absolute stroomsnelheden voor de referentie - cluster 2 bij een afvoer van 10.000 m<sup>3</sup>/s bij Lobith.*



*Figuur 22: Absolute stroomsnelheden voor variant VKSWaal\_a1 - cluster 2 bij een afvoer van 10.000 m<sup>3</sup>/s bij Lobith.*



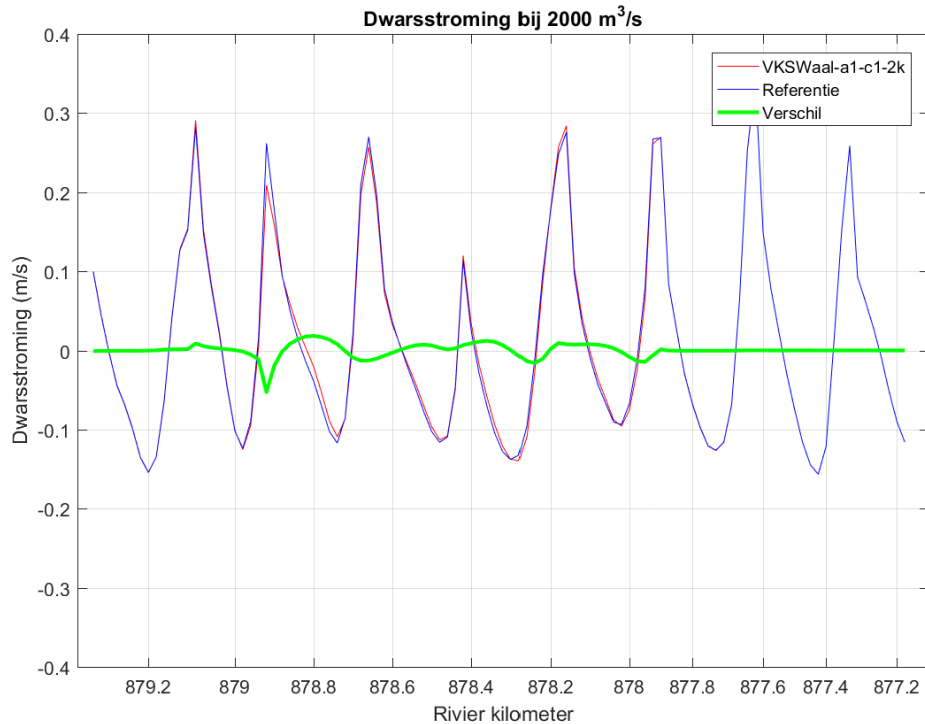
Figuur 23: Absolute stroomsnelheden voor de referentie - cluster 3 bij een afvoer van 10.000 m<sup>3</sup>/s bij Lobith.



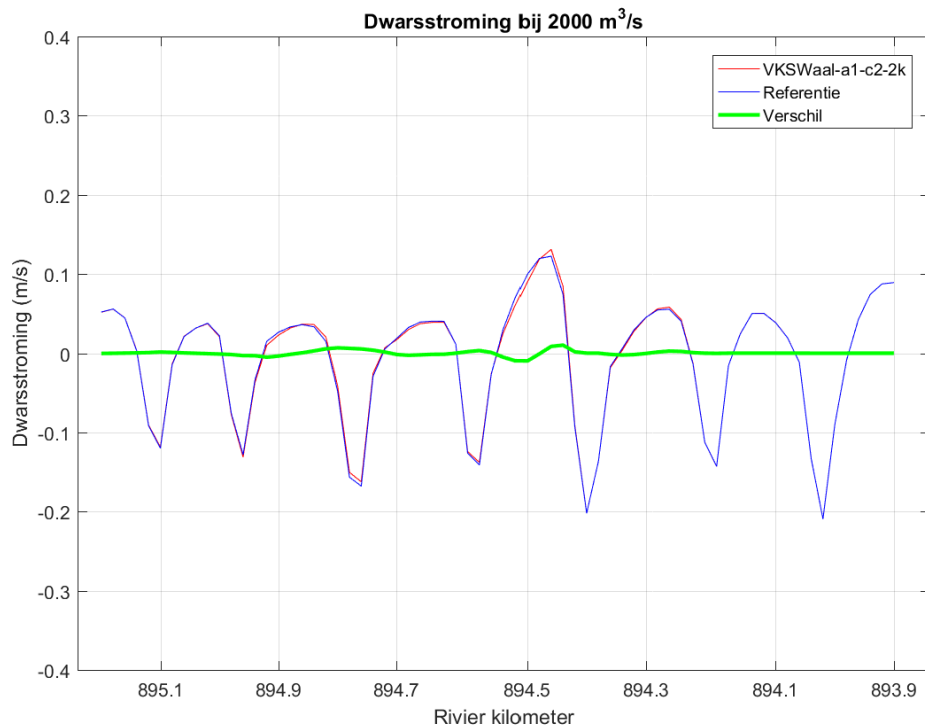
Figuur 24: Absolute stroomsnelheden voor variant VKSWaal\_a1 - cluster 3 bij een afvoer van 10.000 m<sup>3</sup>/s bij Lobith.



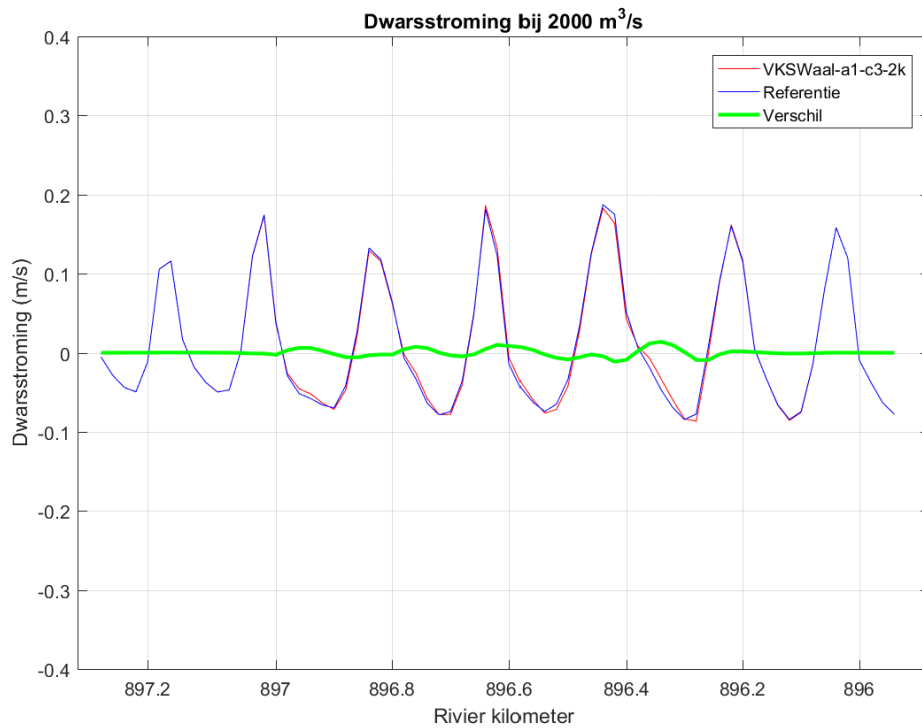
## Bijlage C – Dwarsstroming



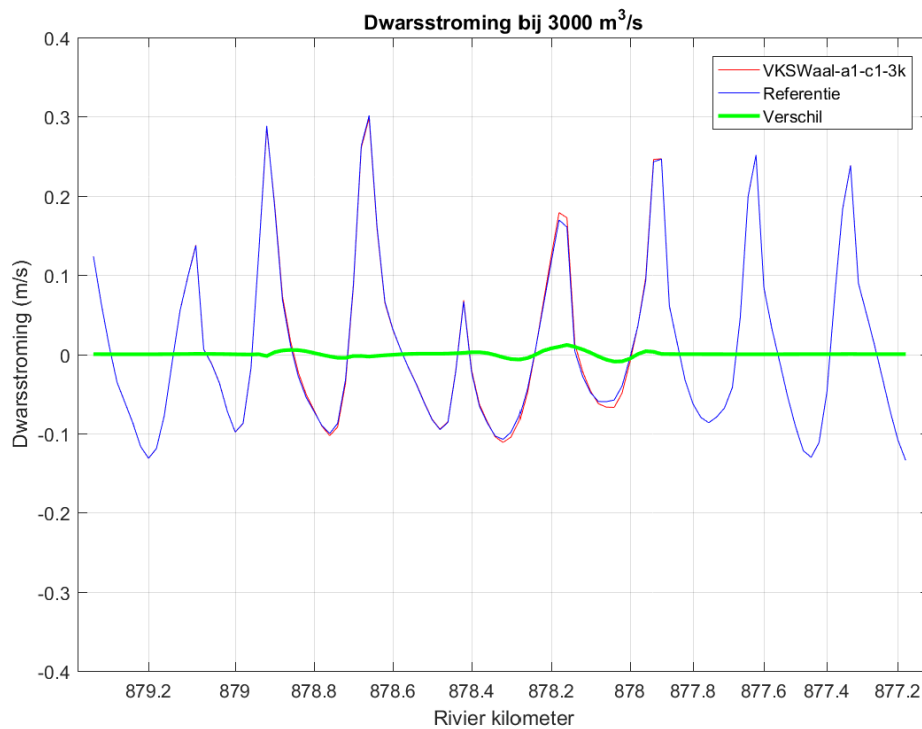
Figuur 25: Dwarsstroming aan de rand van de vaarweg voor variant 'VKSWaal\_a1 - cluster 1', de referentie en het verschil bij een afvoer van 2.000 m<sup>3</sup>/s bij Lobith.



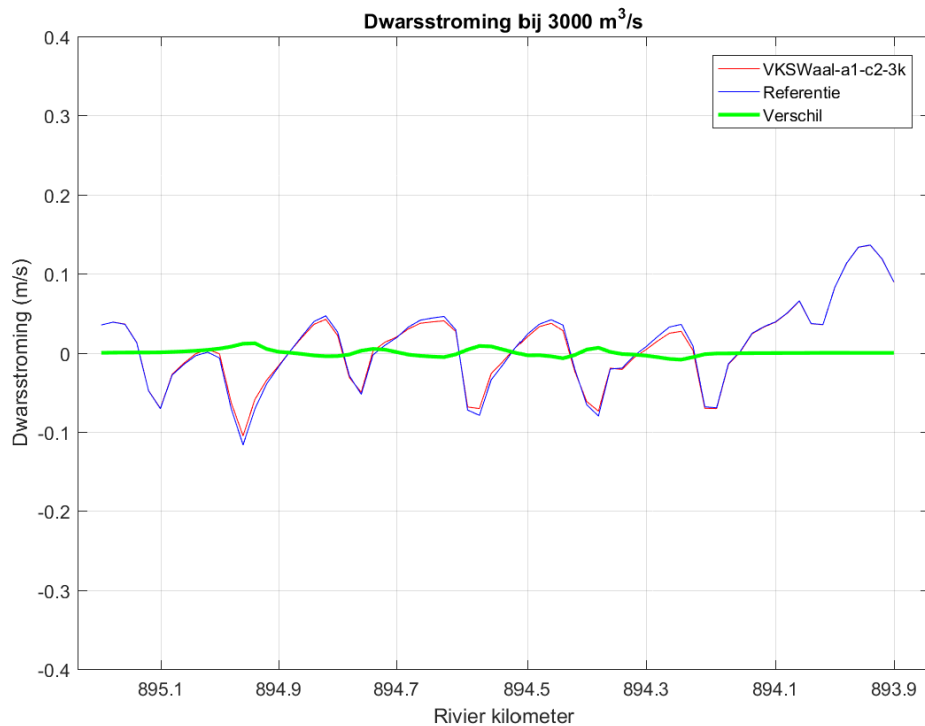
Figuur 26: Dwarsstroming aan de rand van de vaarweg voor variant 'VKSWaal\_a1 - cluster 2', de referentie en het verschil bij een afvoer van 2.000 m<sup>3</sup>/s bij Lobith.



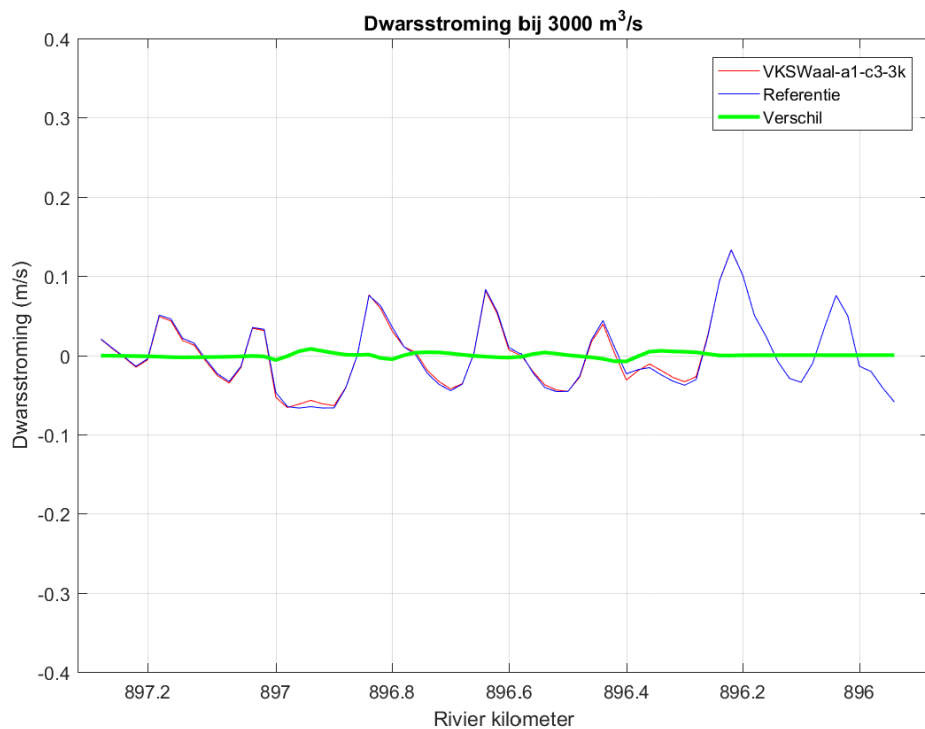
Figuur 27: Dwarsstroming aan de rand van de vaarweg voor variant 'VKSWaal\_a1 - cluster 3', de referentie en het verschil bij een afvoer van 2.000 m<sup>3</sup>/s bij Lobith.



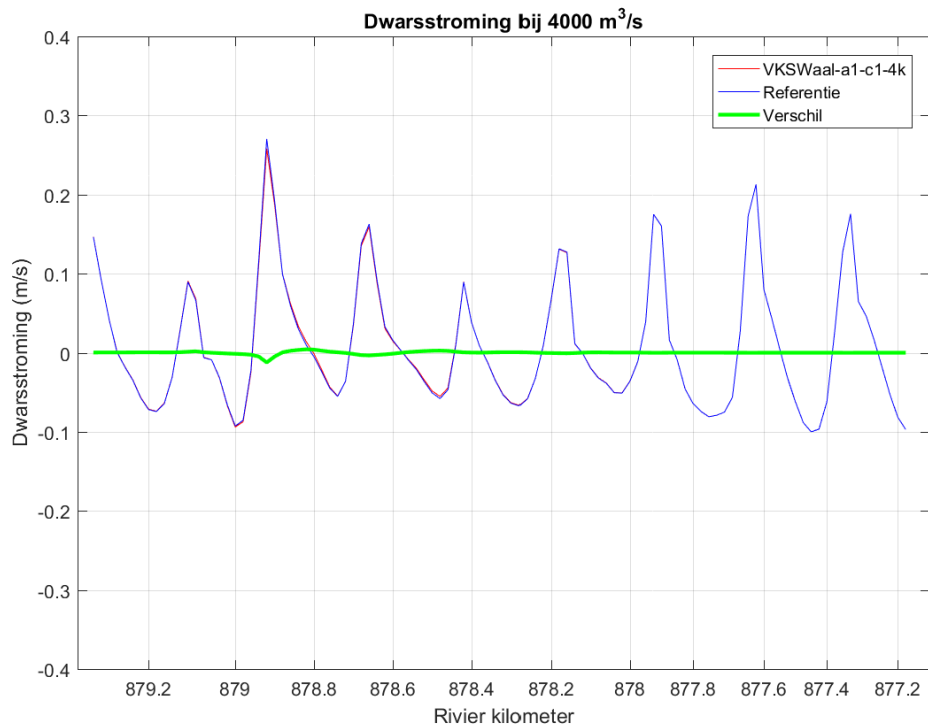
Figuur 28: Dwarsstroming aan de rand van de vaarweg voor variant 'VKSWaal\_a1 - cluster 1', de referentie en het verschil bij een afvoer van 3.000 m<sup>3</sup>/s bij Lobith.



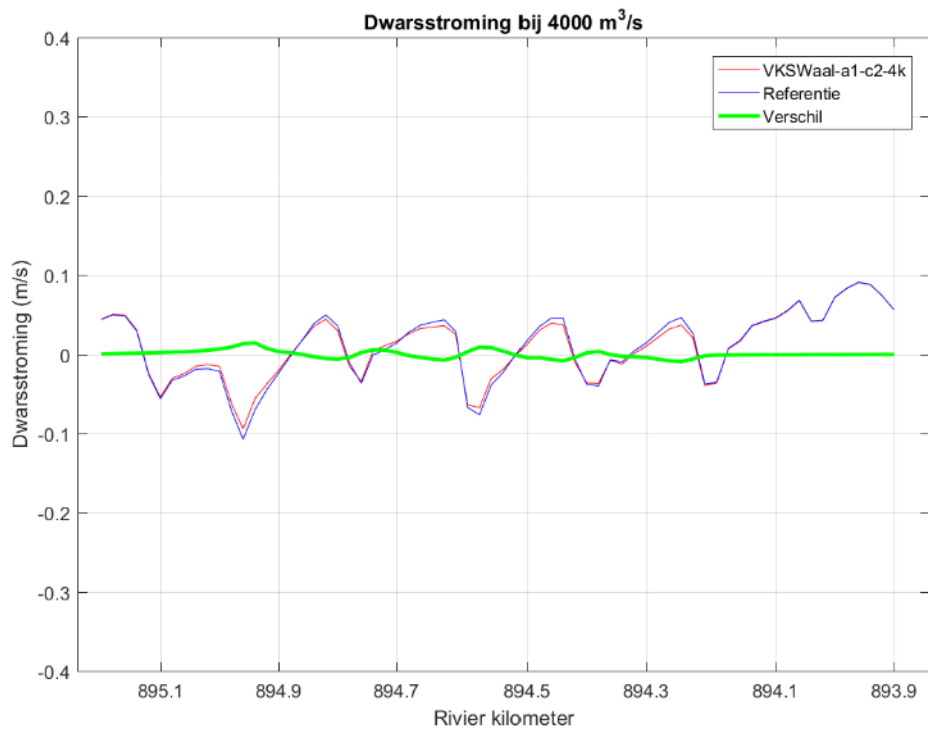
Figuur 29: Dwarsstroming aan de rand van de vaarweg voor variant 'VKSWaal\_a1 - cluster 2', de referentie en het verschil bij een afvoer van 3.000 m<sup>3</sup>/s bij Lobith.



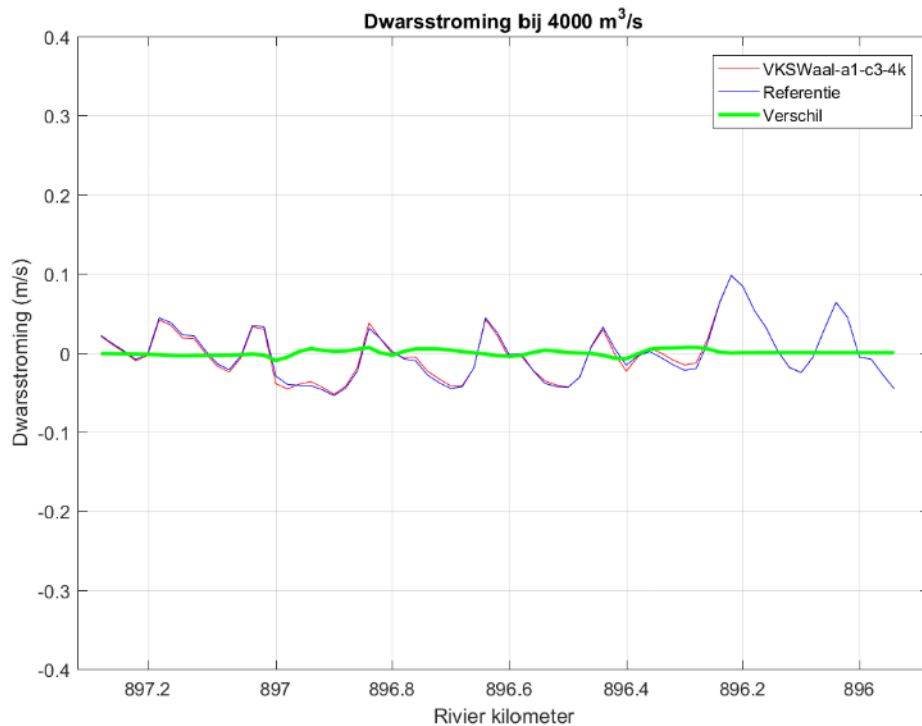
Figuur 30: Dwarsstroming aan de rand van de vaarweg voor variant 'VKSWaal\_a1 - cluster 3', de referentie en het verschil bij een afvoer van 3.000 m<sup>3</sup>/s bij Lobith.



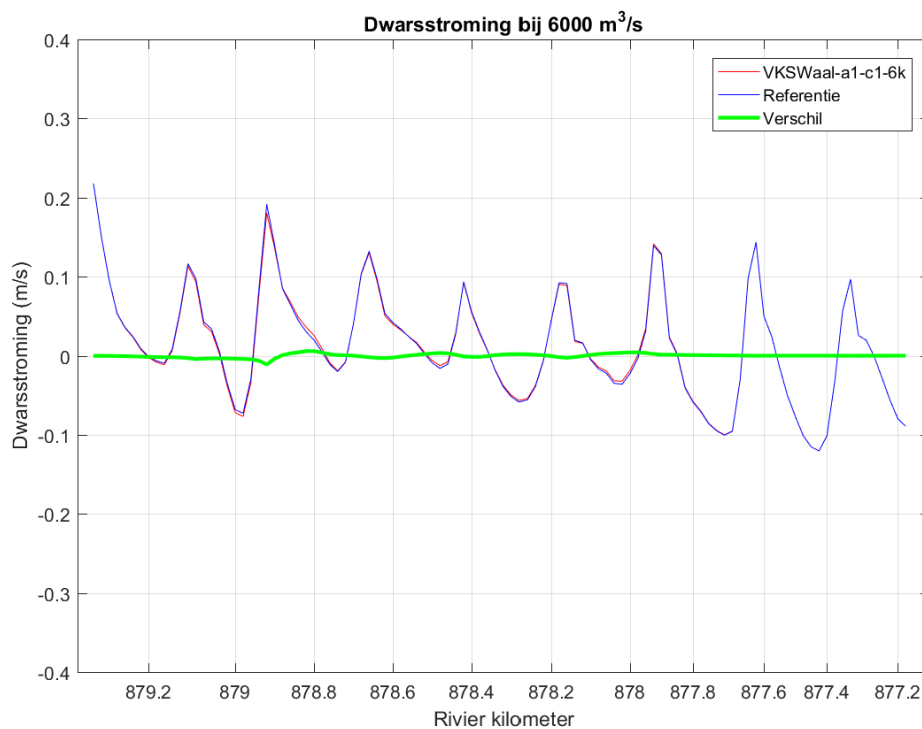
Figuur 31: Dwarsstroming aan de rand van de vaarweg voor variant 'VKSWaal\_a1 - cluster 1', de referentie en het verschil bij een afvoer van 4.000 m<sup>3</sup>/s bij Lobith.



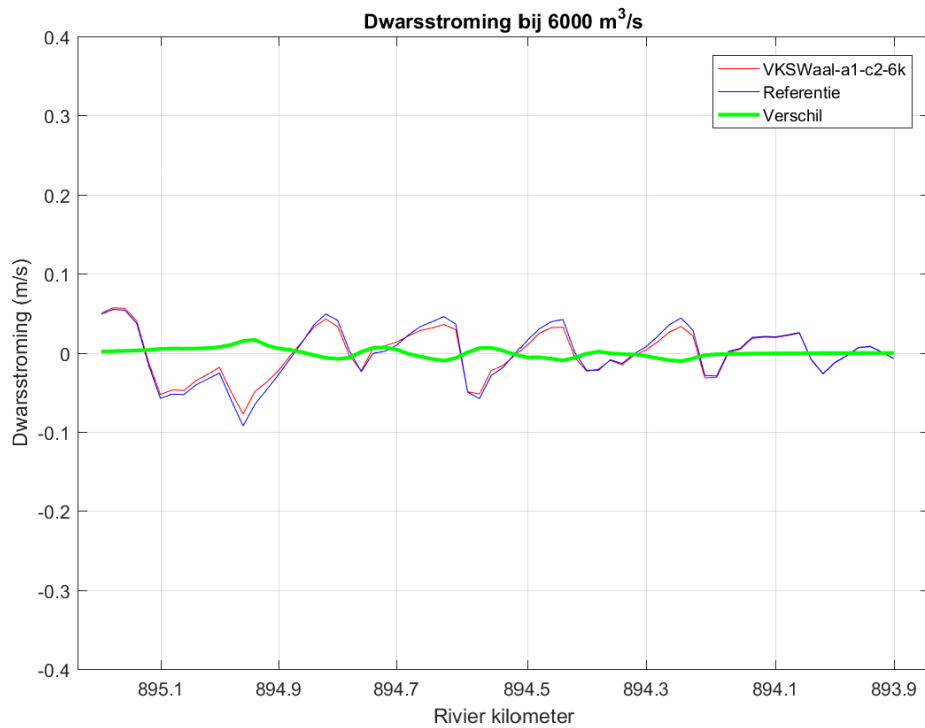
Figuur 32: Dwarsstroming aan de rand van de vaarweg voor variant 'VKSWaal\_a1 - cluster 2', de referentie en het verschil bij een afvoer van 4.000 m<sup>3</sup>/s bij Lobith.



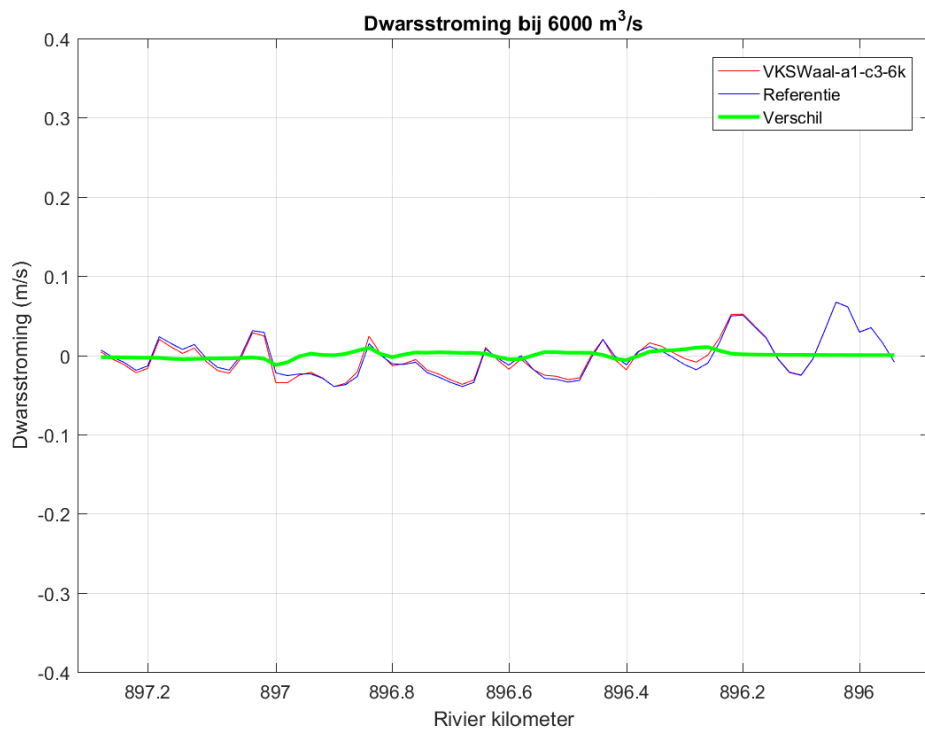
Figuur 33: Dwarsstroming aan de rand van de vaarweg voor variant 'VKSWaal\_a1 - cluster 3', de referentie en het verschil bij een afvoer van 4.000 m<sup>3</sup>/s bij Lobith.



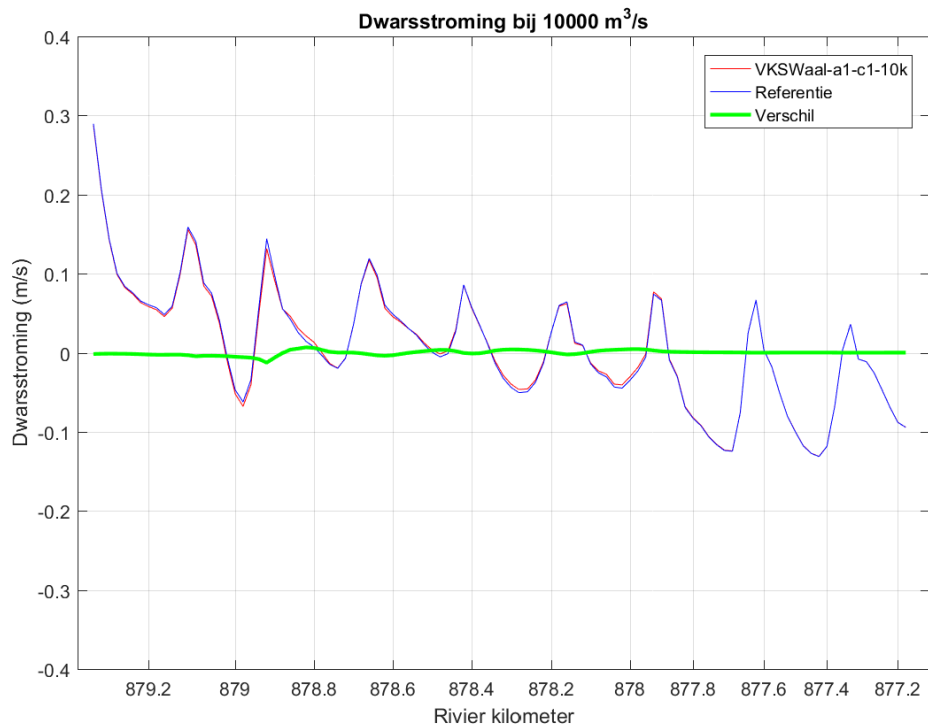
Figuur 34: Dwarsstroming aan de rand van de vaarweg voor variant 'VKSWaal\_a1 - cluster 1', de referentie en het verschil bij een afvoer van 6.000 m<sup>3</sup>/s bij Lobith.



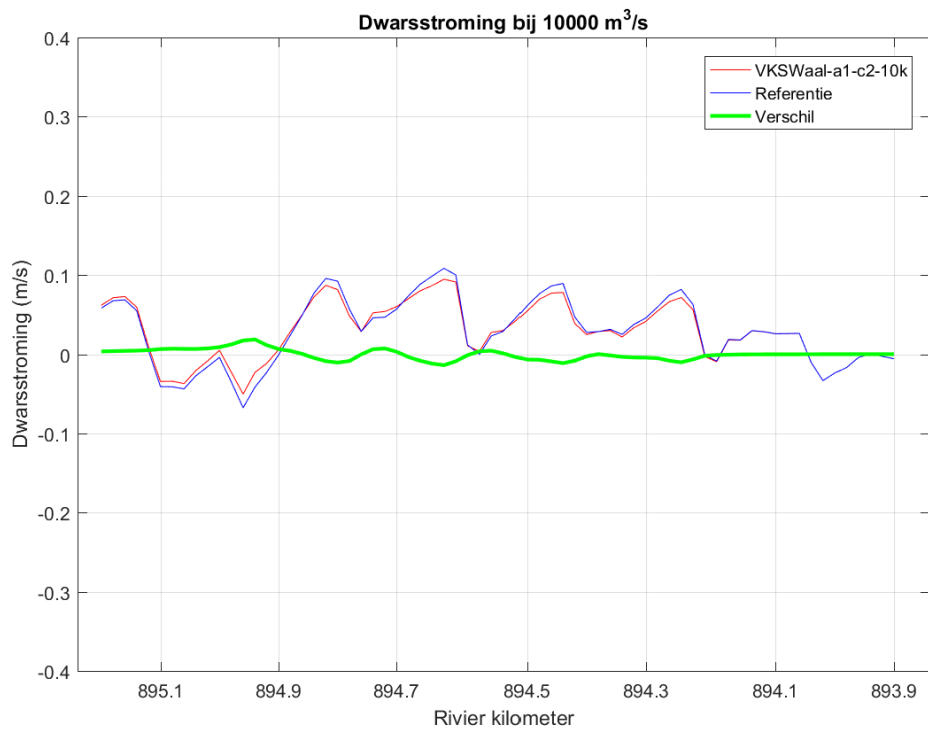
Figuur 35: Dwarsstroming aan de rand van de vaarweg voor variant 'VKSWaal\_a1 - cluster 2', de referentie en het verschil bij een afvoer van 6.000 m<sup>3</sup>/s bij Lobith.



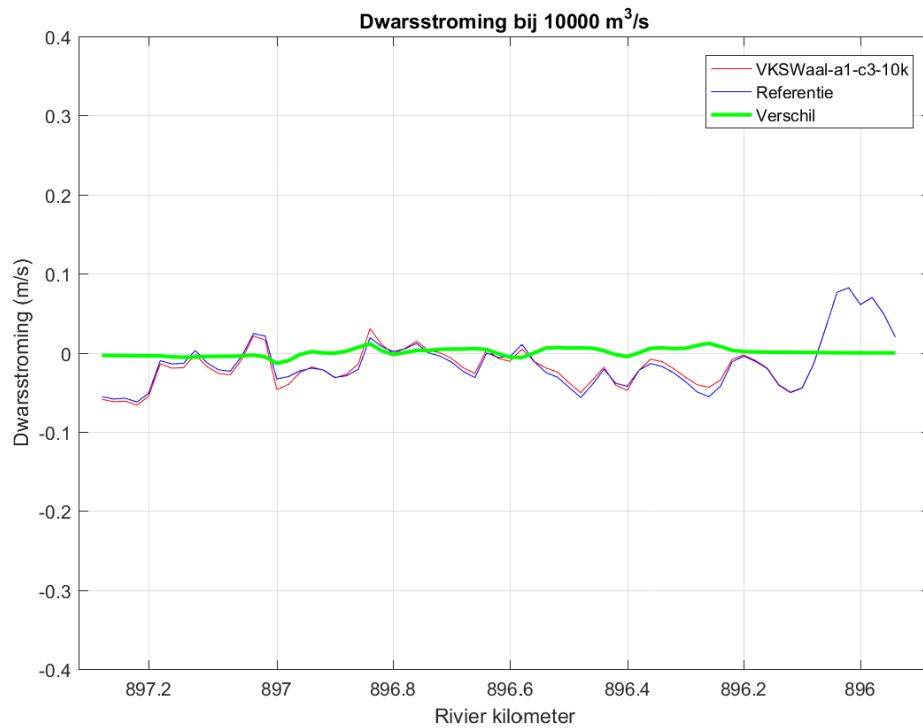
Figuur 36: Dwarsstroming aan de rand van de vaarweg voor variant 'VKSWaal\_a1 - cluster 3', de referentie en het verschil bij een afvoer van 6.000 m<sup>3</sup>/s bij Lobith.



Figuur 37: Dwarsstroming aan de rand van de vaarweg voor variant 'VKSWaal\_a1 - cluster 1', de referentie en het verschil bij een afvoer van 10.000 m<sup>3</sup>/s bij Lobith.



Figuur 38: Dwarsstroming aan de rand van de vaarweg voor variant 'VKSWaal\_a1 - cluster 2', de referentie en het verschil bij een afvoer van 10.000 m<sup>3</sup>/s bij Lobith.



Figuur 39: Dwarsstroming aan de rand van de vaarweg voor variant 'VKSWaal\_a1 - cluster 3', de referentie en het verschil bij een afvoer van 10.000 m<sup>3</sup>/s bij Lobith.