

Notitie / Memo

HaskoningDHV Nederland B.V.
Water & Maritime

Aan: Daniël van Putten
Van: Hidde Kats
Datum: 26 november 2021
Kopie: Koen Akkerman
Ons kenmerk: BH8979-RHD-ZZ-XX-NT-Z-0001
Classificatie: Projectgerelateerd
Goedgekeurd door: Wiebe de Jong

Onderwerp: Rivierkundige beoordeling tijdelijke laadlocatie Erlecom

1 Inleiding

K3 is voornemens om voor de afvoer van zand over water een tijdelijke laadvoorziening in een kribvak aan de zuidoever van de Waal bij Erlecom ter hoogte van rivierkilometer 874,5 te realiseren. Zie Figuur 1 voor de voorziene locatie van de tijdelijke laadvoorziening. De schepen meren dan af tegen 6 stalen buispalen en worden via een transportband geladen met zand/grind. De verwachting is dat de tijdelijke laadvoorziening in 1 à 1,5 jaar vanaf nu in bedrijf zal kunnen treden, afhankelijk van het traject tot vergunningverlening. Vanaf dat moment zal de laadvoorziening 4 tot 6 jaar in bedrijf zijn. Om de tijdelijke laadvoorziening in het kribvak te kunnen realiseren dient een deel van het kribvak afgegraven te worden om te zorgen voor voldoende waterdiepte voor de te laden schepen.

Ingrepen in de Nederlandse rivieren zijn vergunningplichtig en dienen daarvoor rivierkundig getoetst te worden aan het Rivierkundig beoordelingskader (RBK) 5.0. Dit beoordelingskader beschrijft hoe Rijkswaterstaat (RWS) bij de vergunningverlening voor de Waterwet rivierkundige effecten van voorgenomen ingrepen in de rivier bepaalt en beoordeelt. Om voor de tijdelijke laadvoorziening een vergunning Waterwet te verkrijgen is dus een rivierkundige beoordeling noodzakelijk, welke als bijlage bij de aanvraag voor de Waterwet vergunning geldt. Deze memo omvat deze rivierkundige beoordeling.



Figuur 1: Beoogde locatie van de tijdelijke laadvoorziening bij Erlecom

2 Werkwijze

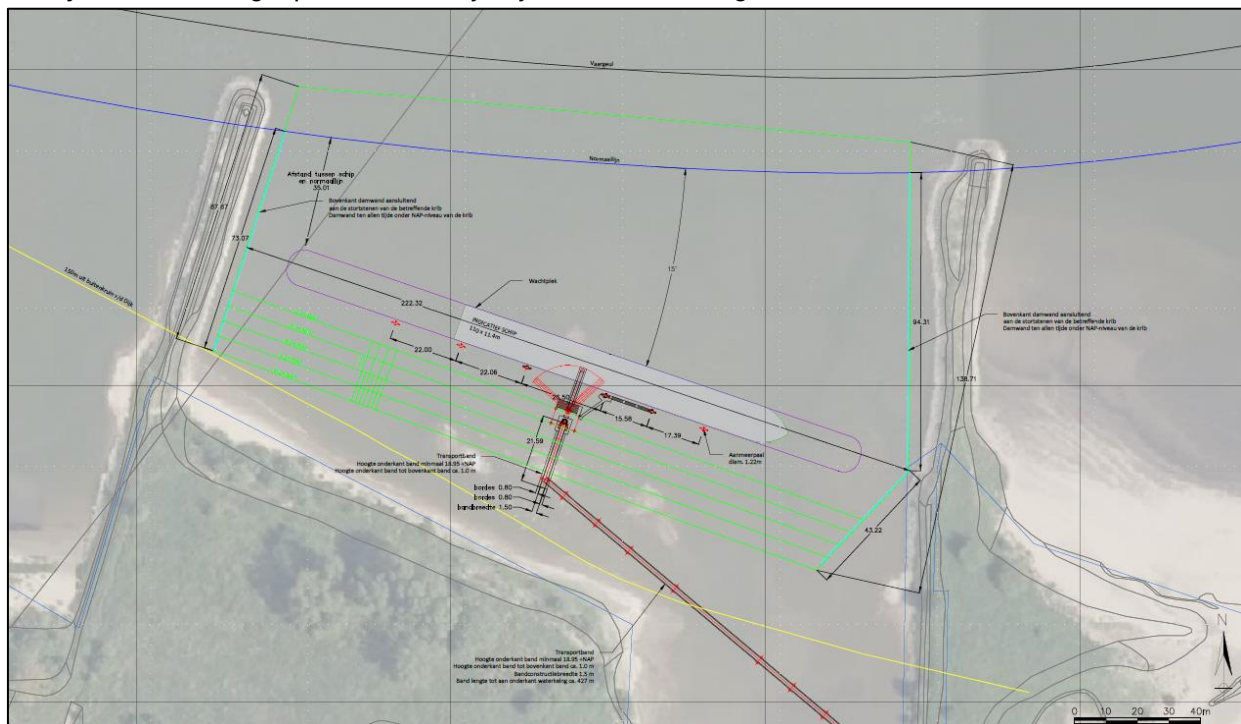
Een rivierkundige effectbeoordeling wordt bij grotere ingrepen uitgevoerd op basis van modelberekeningen. Gezien de kleinschalige aard van deze ingreep is het door RWS-ON niet nodig bevonden om deze ingreep door te rekenen met het hydraulische model WAQUA. De verschillende aspecten van het RBK worden daarom kwalitatief beoordeeld op basis van de volgende databronnen en methodes:

- Betrekkingslijnen Rijn 2018;
- WAQUA modelsimulaties met het beno18_5 referentiemodel;
- Vuistregel RWS [1];
- Hoogtemodel Baseline;
- AHN3.

3 Ontwerp

Het hier gepresenteerde ontwerp van de tijdelijke laadvoorziening is met input van Rijkswaterstaat geoptimaliseerd. Er hebben verschillende ontwerpaanpassingen plaatsgevonden op basis van input van nautische experts. De totstandkoming van dit ontwerp, de verschillende keuzes die gemaakt zijn en de bijbehorende onderbouwing, zijn terug te vinden in de nautische beoordeling van de tijdelijke laadvoorziening [2].

De lay-out van deze geoptimaliseerde tijdelijke laadvoorziening is te zien in



Figuur 2. Oorspronkelijk was in het bovenstrooms gelegen kribvak nog een wachtplek voorzien, waar schepen zouden kunnen wachten op het moment dat de laadvoorziening in gebruik is. In samenspraak met de scheepvaart adviseurs van RWS-ON is besloten om deze wachtplek te laten vervallen. De doorgaande scheepvaart in de buitenbocht mag niet belemmerd worden door schepen die aanstands gebruik willen maken van de voorziening. Daarom dient er in het geval van wachtende schepen gebruik gemaakt te worden van wachtplaatsen die in de nabijheid van Erlecom liggen. Binnen een half uur varen

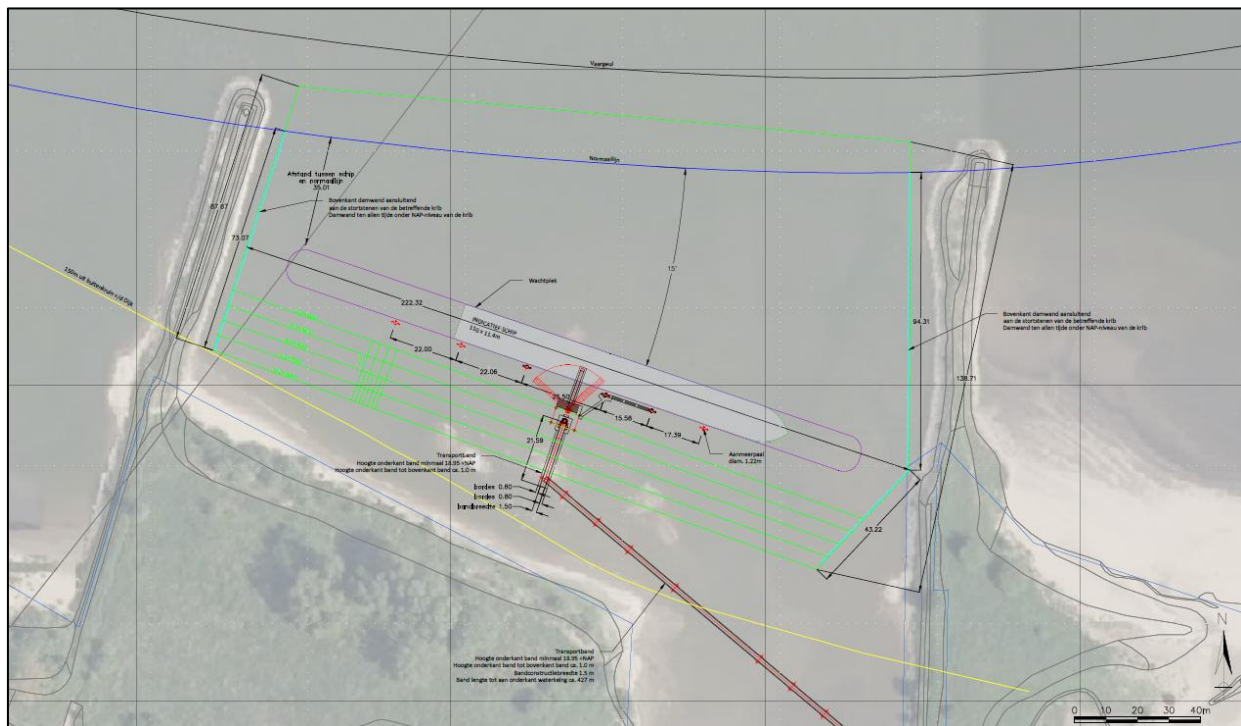
zijn er voldoende wachtplaatsen beschikbaar voor dit doeleinde. Hierdoor wordt het effect van de laadvoorziening op de afwikkeling van de scheepvaart op de Waal geminimaliseerd.

Daarnaast zijn er op basis van de Richtlijnen Vaarwegen 2020 een aantal iteratieslagen uitgevoerd om het ontwerp te laten voldoen aan alle nautische eisen. Dit ontwerp is wat betreft veiligheid en afwikkeling van het overige scheepvaartverkeer op de Waal geoptimaliseerd en voldoet daarmee aan de gestelde eisen uit de Richtlijnen Vaarwegen 2020. Op 29-07-2021 is per e-mail bevestigd door Hans Veldman en Maarten van Tilborg (RWS-ON) dat dit geoptimaliseerde ontwerp een goed startpunt vormt voor de rivierkundige beoordeling.

Het geoptimaliseerde ontwerp is in nauwe samenspraak met Rijkswaterstaat uitgewerkt voor het meest westelijke kribvak. De reden hiervoor is tweeledig:

1. Het westelijke kribvak spoelt tijdens hoogwater leeg (het zand stroomt dan met het water mee de vaargeul in) waardoor de aanzanding in dit kribvak beperkt is. Dit effect is bij het kribvak stroomopwaarts in mindere mate aanwezig waardoor het de vraag is in hoeverre de bodem hier stabiel te houden is. Naar verwachting zullen de baggerinspanningen in het oostelijke kribvak veel groter (frequenter en dieper baggeren) zijn dan in het westelijke kribvak.
2. Tijdens hoogwater – in de situatie dat het water over de kribben stroomt – moeten de schepen vanuit het perspectief van nautische veiligheid met de voorkant in de stroming liggen om grote druk op trossen te voorkomen. Dit leidt bij het oostelijke kribvak tot een grotere hoek ten opzichte van de vaargeul dan bij het westelijke kribvak. Hierdoor kan binnen het westelijke kribvak de nautische veiligheid beter geborgd worden.

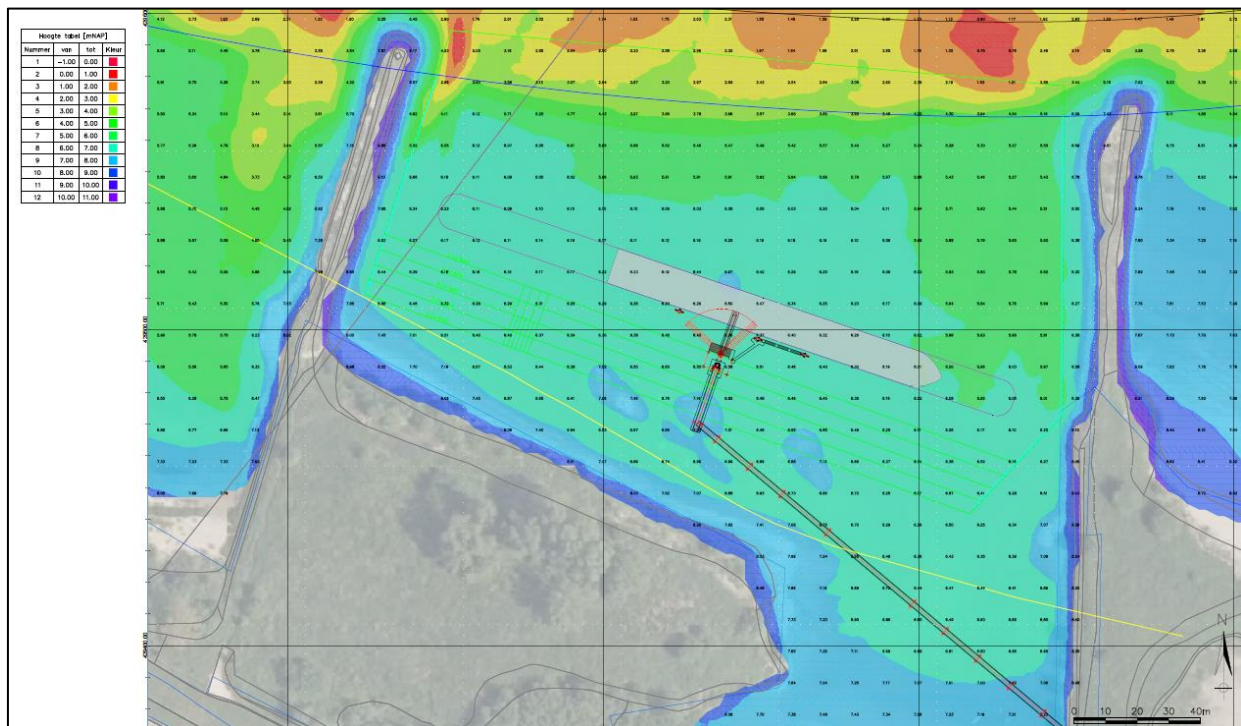
Mocht tijdens deze rivierkundige vervolgstudie blijken dat de rivierkundige effecten van de laadvoorziening niet voldoen aan de rivierkundige eisen gesteld in het Rivierkundig Beoordelingskader (RBK 5.0), dan kan in het ontwerp de laadvoorziening nog verplaatst worden naar het oostelijke kribvak, mochten daar de rivierkundige effecten wel voldoen aan de eisen uit het RBK 5.0.



Figuur 2: Lay-out van het geoptimaliseerde ontwerp van de tijdelijke laadvoorziening

Om in het kribvak voldoende diepgang te kunnen bieden aan schepen die aanleggen aan de tijdelijke laadvoorziening, dient een deel van de bodem van het kribvak te worden ontgraven. De te ontgraven contouren en volumes zijn gepresenteerd in Figuur 3. In de huidige situatie ligt de bodemhoogte van het kribvak op 6,2 m + NAP. Dit zal afgegraven worden tot 2,2 m + NAP. De waterdiepte zal dus toenemen met 4 meter. De gemiddelde breedte van de afgraving betreft zo'n 50 meter. De lengte waarover afgegraven wordt betreft 250 meter.

Verder zullen de bovenstroomse en benedenstroomse afmeerpalen van de tijdelijke laadvoorziening voorzien worden van verlichting. Overige lichtvervuiling dient zoveel mogelijk voorkomen te worden.

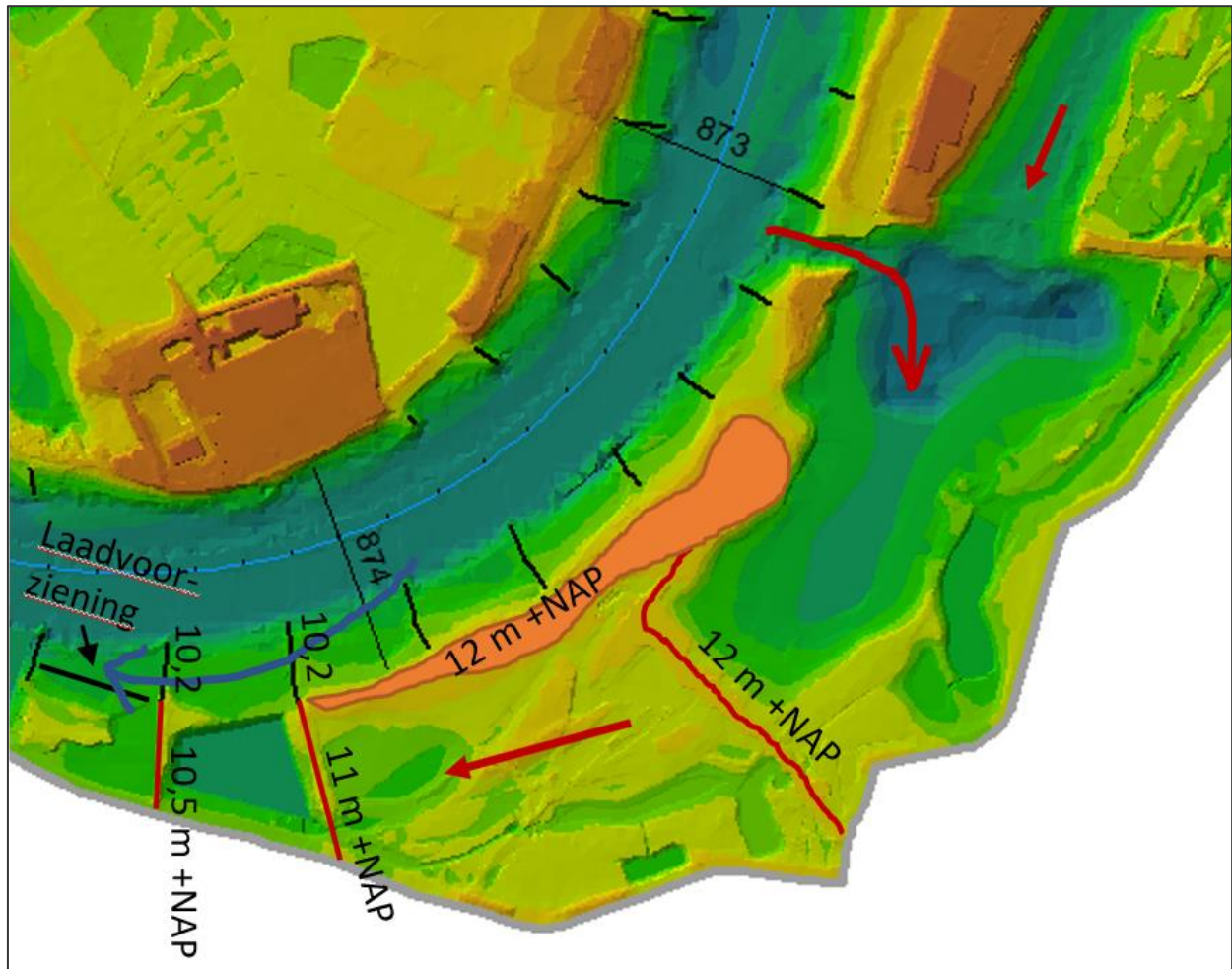


Figuur 3: Te ontgraven contouren in het kribvak voor realisatie van de tijdelijke laadvoorziening

4 Rivierkundige gebiedsbeschrijving huidige situatie

Dit hoofdstuk geeft inzicht in de rivierkundige werking van de uiterwaard bovenstrooms van Erlecom in de huidige situatie. Dit inzicht helpt om een goed beeld te krijgen van de mogelijke effecten van de laadvoorziening. Er is gekeken naar de wijze van meestromen van de Erlecomse Waard bij verschillende afvoeren, naar de zogenaamde stroombanen en stroomsnelheden bij verschillende afvoeren.

In het gebied rondom de beoogde locatie zijn een aantal kades/hogere grondenlijnen te onderscheiden die bepalend zijn voor hoe en bij welke rivierafvoeren de Erlecomse Waard gaat meestromen.



Figuur 4: Deel uiterwaard bovenstrooms van Erlecom (Erlecomse Waard) met daarin de belangrijke elementen aangegeven. De rode pijlen geven de mogelijke stroming door de uiterwaard aan, de blauwe pijl geeft de mogelijke stroming door het zomerbed over de kribvakken aan.

Ter hoogte van rivierkilometer 873 is de Kaliwaal aangetakt aan het zomerbed. Aangezien ook bij lage rivierwaterstanden water de Kaliwaal in kan stromen vanuit het zomerbed, is deze verbinding permanent te noemen. Langs het zomerbed zijn wat hogere gronden (oranje vlak in Figuur 4) te vinden waarvan de laagste delen een hoogte hebben van 12m + NAP. Loodrecht daarop loopt een lijn tot aan de bandijk welke hoger ligt dan de meeste delen van de uiterwaard zelf. Met een hoogte van 12m + NAP voorkomt deze hoogte dat het water vanuit de Kaliwaal door kan stromen in benedenstroomse richting verder de uiterwaard in. Het deel van de uiterwaard tussen Erlecom en de Kaliwaal gaat dus pas meestromen bij waterstanden boven de 12 m + NAP, zie de rode pijlen in Figuur 4. Dergelijke waterstanden treden op bij een rivierafvoer te Lobith van 5.850 m³/s. Dit gaat gepaard met een gemiddelde herhalingstijd van eens per 2,5 jaar.

Bovenstrooms van de Kaliwaal bevindt zich de Millingerwaard, deze uiterwaard is omgeven door hoge zomerkaides, waarvan de laagste delen een kruinhoogte hebben van 14,5 m + NAP. De Millingerwaard begint mee te stromen bij een rivierafvoer van 8.800 m³/s bij Lobith.

De kribben direct bovenstrooms van het kribvak waarin het ontwerp van de tijdelijke laadvoorziening geprojecteerd is, hebben een kruinhoogte van 10,2 m + NAP. Dus bij hogere waterstanden beginnen de kribvakken met het zomerbed mee te stromen (blauwe pijl in Figuur 4). Een waterstand van 10,2 m +

NAP treedt op bij een afvoer te Lobith van 3.800 m³/s. Deze afvoer wordt gemiddeld 30 dagen per jaar overschreden.

Voor een indruk van de stroombanen door de Erlecomse Waard bij een afvoer van 16.000, 10.000 en 8.000 m³/s zijn in Bijlage A een aantal figuren opgenomen. In Bijlage B is een indruk gegeven van de stroomsnelheden bij een afvoer van 16.000, 10.000, 8.000 en 6.000 m³/s. Bij een afvoer van 16.000 m³/s te Lobith is de gemiddeld stroomsnelheid ca 0,9 m/s in het deel van het kribvak waar de laadvoorziening voorzien is. Bij afvoeren van 10.000, 8.000 en 6.000 m³/s treden er gemiddelde stroomsnelheden op van 0,8, 0,65 m/s en 0,4 m/s ter plaatse van de laadvoorziening.

Samenvattend kan dus gesteld worden dat tot een afvoer van 3.800 m³/s de kribvakken nog niet meestromen. In deze situaties vindt er enkel neervorming plaats in het kribvak. Tussen een Lobith afvoer van 3.800 en 5.850 m³/s stromen de kribvakken mee met het zomerbed, maar dan stroomt de uiterwaard van Erlecom nog niet mee. Boven de afvoer van 5.850 m³/s begint ook de uiterwaard van Erlecom mee te stromen. Tot een afvoer van 8.800 m³/s stroomt de Erlecomse Waard mee waarbij de uiterwaard gevoed wordt met water afkomstig uit het zomerbed via de smalle doorgang naar de Kaliwaal. Bij afvoeren boven de 8.800 m³/s stroomt ook de Millingerwaard mee.

5 Rivierkundige beoordeling

5.1 Hoogwaterveiligheid

5.1.1 Waterstandseffect op de as van de rivier

Om de waterstandsverandering in het zomerbed ten gevolge van simpele ingrepen te kunnen bepalen heeft RWS een aantal vuistregel opgesteld [1]. Om het effect van de ingreep in deze rivierkundige beoordeling te kunnen bepalen wordt gebruik gemaakt van de vuistregel 'verlaging van maatgevend hoogwater (mhw)-vrije ophogingen en niet mhw-vrije ophogingen'. De uitwerking van deze vuistregel voor de laadvoorziening is gegeven in Bijlage C.

Voor de afvoer die representatief is voor de hoogwaterveiligheid, namelijk 16.000 m³/s te Lobith, geeft de vuistregel een resultaat van 1,8 mm verlaging van de waterstand op het zomerbed. Hierbij gaat de vuistregel uit van een situatie met een uniforme stroming, waarbij de waterdiepte en het verhang in de lengterichting constant zijn. Deze vuistregel geeft een goede indicatie van het waterstandseffect in het zomerbed.

Doordat de ingreep een afgraving betreft zal er door het kribvak (in de situatie dat het kribvak volledig mee stroomt) meer water gaan stromen (blauwe pijl in Figuur 4). Direct benedenstrooms van de ingreep zal theoretisch gezien een zogenaamd benedenstrooms opstuwingspiekje ontstaan, doordat het extra onttrokken water zich daar weer bij het zomerbed voegt. In de regel is dit piekje tot een factor 2 groter dan de maximale waterstandsval.

Het RBK 5.0 schrijft voor dat een benedenstrooms piekje is toegestaan indien er sprake is van een ruime netto waterstandsverlaging. Het benedenstroomse piekje zal zich over een veel kortere afstand manifesteren dan de afstand waarover de 1,8 mm waterstandsval zich zal manifesteren. Dus het oppervlak van de verhogingsdriehoek zal vele malen kleiner zijn dan de verlagingdriehoek, waardoor het benedenstroomse piekje geen problemen voor de vergunbaarheid zal opleveren.

5.1.2 Waterstandseffect buiten de as van de rivier

Het licht waterstandsverlagende effect in het zomerbed zal zich ook manifesteren langs de zuidelijke bandijk, gezien de nabijheid van de zuidelijke bandijk bij de locatie van de ingreep. De noordelijke bandijk zal zeer waarschijnlijk geen waterstandseffecten ondervinden gezien de grote afstand vanaf de ingreep.

Direct benedenstrooms van de laadvoorziening kan het benedenstroomse piekje mogelijk tot een theoretisch zeer lichte opstuwingsdaling langs de zuidelijke bandijk leiden. Dit effect zal zich naar verwachting beperken tot minder dan één millimeter opstuwingsdaling en is daarmee verwaarloosbaar. Afstemming met het waterschap is om die reden niet noodzakelijk.

5.1.3 Effect op de afvoerverdeling

Vanuit het RBK 5.0 is het vereist om het effect van de maatregelen op de afvoerverdeling bij de splitsingspunten IJsselkop en Pannerdensch Kop te beoordelen. Dit dient beoordeeld te worden voor MHW (16.000 m³/s), normaal hoogwater (10.000 m³/s) en laag water (OLA, 1020 m³/s).

Volgens de vuistregel resulteert de ingreep in een waterstandsval van 1,8 mm bij een afvoer van 16.000 m³ te Lobith. De ingreep ligt ter hoogte van rivierkilometer 874,5. Het splitsingspunt van de

Pannerdensche Kop ligt op rivierkilometer 868,5. De ingreep ligt dus in de nabijheid, slechts 6 kilometer benedenstrooms, van het splitsingspunt.

Uit de afvoer-waterstandsrelatie van de Waal blijkt dat 1 cm waterstandsverandering gepaard gaat met een afvoerverandering van 23 m³/s bij een Lobith-afvoer van 16.000 m³/s. Grofweg de helft van deze afvoerverandering vereffend met het Pannerdensch Kanaal. Dus een wijziging van 1 mm op de waterstand gaat bij de Waal gepaard met een verschuiving in de afvoerverdeling van ongeveer 1 m³/s.

Mocht de waterstandsval op het splitsingspunt nog circa 1 à 1,5 mm zijn bij afvoer van 16.000 m³/s, dan zal de afvoerverdeling dus met circa 1 à 1,5 m³/s veranderen. Er zal dus mogelijk iets meer water richting de Waal stromen. Volgens het RBK is een verandering in afvoerverdeling kleiner dan 5 m³/s toegestaan. Er kan dus geconcludeerd worden dat de ingreep niet tot een ontoelaatbaar effect zal leiden bij de hoogwaterreferentie. Tevens betreft het een tijdelijke ingreep.

Volgens de afvoer-waterstandsrelatie van de Waal zorgt een waterstandsverandering van 1 mm bij een normaal hoogwater (10.000 m³/s) ook voor een verandering van ongeveer 1 m³. De waterstandseffecten zullen dus vergelijkbaar zijn met 16.000 m³/s. Hierdoor zal het effect van de ingreep op de afvoerverdeling bij normaal hoogwater ook vergelijkbaar zijn. Bij een laag water zijn er in het geheel geen effecten te verwachten. Het kribvak waarin de ingreep gaat plaatsvinden stroomt bij OLA niet mee met het zomerbed (enkel neervorming). Ons oordeel is dat er in deze twee situaties dan ook geen effecten op de afvoerverdeling plaats zullen vinden die de norm bij deze afvoeren overschrijdt. Daarom wordt geconcludeerd dat er bij normaal hoogwater wordt voldaan aan de norm van een maximale toelaatbare wijziging van 20 m³/s. Bij OLA is er geen effect en wordt dus voldaan aan de norm van een maximale toelaatbare wijziging van 1 m³/s.

5.2 Hinder of schade door hydraulische effecten

5.2.1 Effect op inundatiefrequentie

Als gevolg van een gebiedsontwikkeling 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 2.1 uit het RBK 5.0 gaat daar op in.

De ingreep betreft alleen het afgraven van het kribvak waardoor er niets zal veranderen aan kribhoogtes, zomerkades of drempel/inlaatwerken. Doordat de zomerkades het moment van inunderen bepalen (zie H4) zijn er geen effecten op de inundatiefrequentie van de uiterwaarden. Er wordt geconcludeerd dat de ingreep geen effect zal hebben op de inundatiefrequentie van de uiterwaard. De zeer lichte waterstandsval in bovenstroomse richting en benedenstroomse opstuwingspiekje zijn dermate gering dat dit geen invloed heeft op de inundatiefrequentie.

5.2.2 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. Dit beoordelingsaspect is omschreven in aspect 2.2 van RBK 5.0.

Uit de gebiedsanalyse is gebleken dat de Erlecomse Waard pas boven afvoeren van 5.850 m³/s gaat meestromen. Bij lagere afvoeren zullen effecten van de ingreep op het stroombeeld in de uiterwaard afwezig zijn. De verwachting is dat door toedoen van het afgraven van het kribvak er meer water door

het kribvak gaat stromen en er daarnaast ook extra water door de Erlecomse Waard gaat stromen. Bij hogere afvoeren zal de stroomsnelheid in de Erlecomse Waard hierdoor licht beïnvloed worden.

Uit de vuistregel blijkt dat de uiterwaard 100 m³/s uit het zomerbed onttrekt bij een afvoer van 10.000 m³/s. Deze extra afvoer leidt tot een verhoging van de stroomsnelheden in de uiterwaard.

- Dit zal in en rond het kribvak leiden tot een grotere toename in stroomsnelheid. Dit zal niet tot problemen leiden, aangezien de kribvakken al dynamische omgevingen zijn door de scheepsgeïnduceerde stroming en golfslag.
- Dit extra debiet door de uiterwaard zal zorgen voor een lichte toename van de stroomsnelheid. De stroomsnelheid in de referentiesituatie ligt in de Erlecomse Waard bij een afvoer van 10.000 m³/s gemiddeld op 0,35 m/s, zie Figuur 14. De stroomsnelheid neemt waarschijnlijk toe richting een snelheid van ca 0,4 à 0,5 m/s. Op luchtfoto's lijkt er een goede dekking van gras/ruigte aanwezig te zijn binnen de Erlecomse Waard. De absolute stroomsnelheden zullen ver onder de kritische grens van erosie van een met grasbekte oever of dijk (meer dan 1,0 m/s over een zeer lange periode (Bron: uit Design of Reinforced grass waterways) blijven.

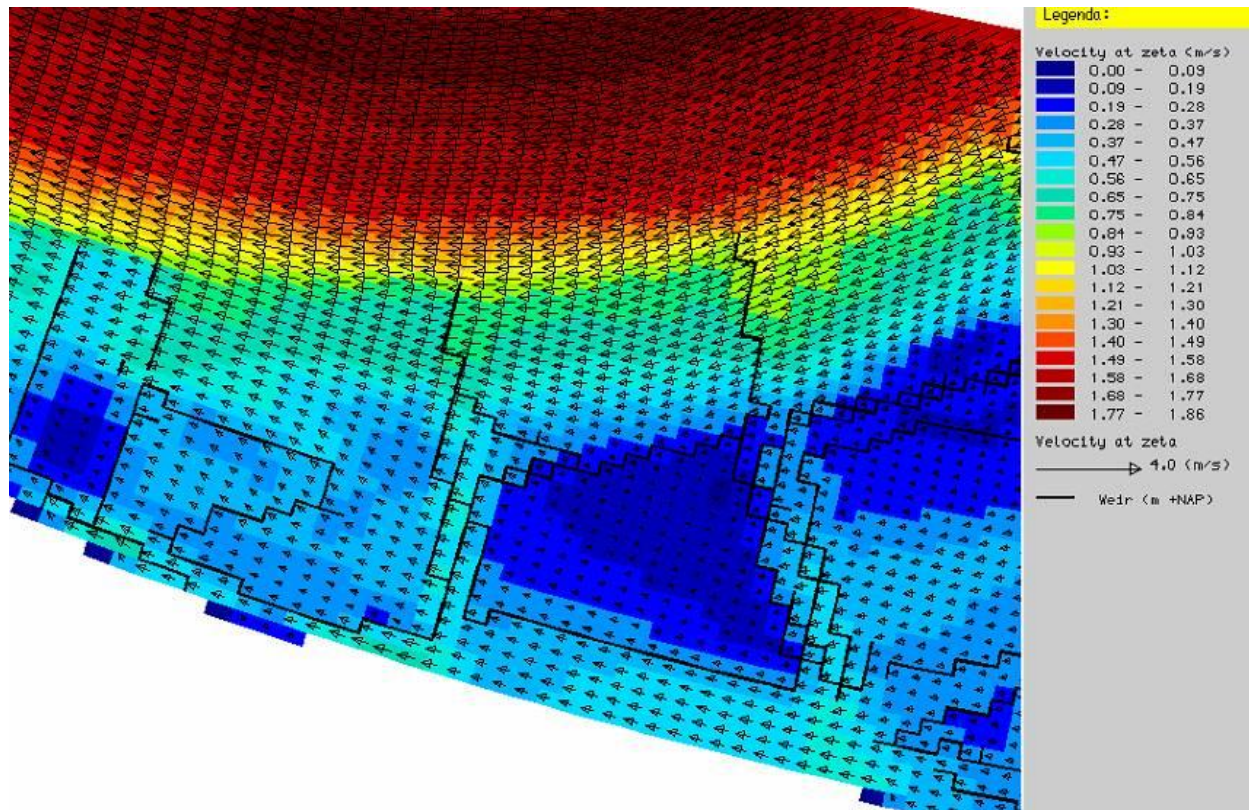
Op basis van bovenstaande is er geconcludeerd dat als gevolg van de snelheidstoename in de uiterwaard er geen dusdanige stroomsnelheden ontstaan die leidt tot toename van risico op erosie en schade langs kades, oevers, eigendommen of andere objecten.

5.2.3 Effect op stroombeeld in vaarweg

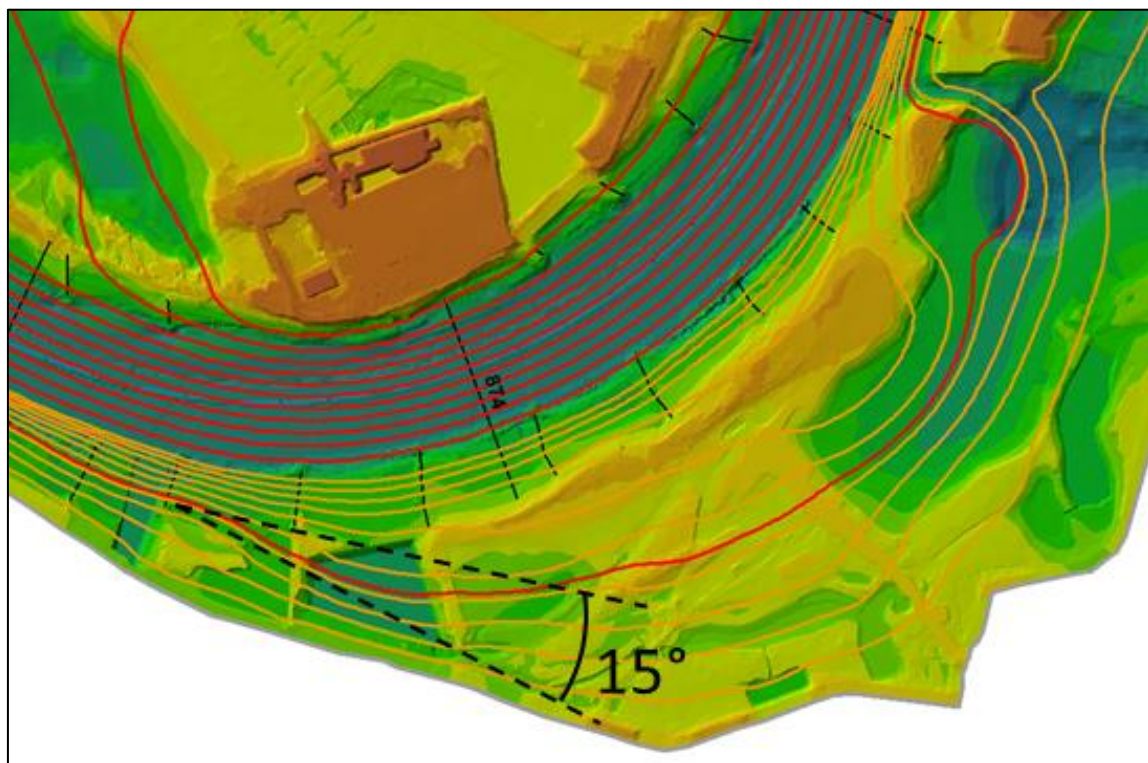
Door aangetakte nevengeulen kunnen bij lage afvoer dwarsstromingen optreden bij de in- en uitstroomopeningen van deze geulen. Deze dwarsstromingen kunnen hinderlijk zijn voor de scheepvaart en de veiligheid (navigatie) nadelig beïnvloeden. Dit is aspect 2.3 RBK 5.0. De ingrepen mogen niet resulteren in een absolute dwarsstroming in de vaarweg die groter is dan 0,15 m/s bij een geconcentreerde dwarsstroming met een debiet groter dan 50 m³/s. Als de geconcentreerde dwarsstroming kleiner is dan 50 m³/s dan zijn dwarsstromingen tot 0,3 m/s toegestaan.

Dit beoordelingsaspect wordt normaliter beoordeeld bij Boven-Rijnaafvoeren in het bereik van 2.000 – 10.000 m³/s. Kritieke dwarsstromingen treden vaak op bij de in- en uitstroomopeningen van (neven)geulen. In de Erlecomse Waard is de Kaliwaal als een enkelzijdige bovenstrooms aangetakte geul te beschouwen. Uit de gebiedsbeschrijving is gebleken dat tot afvoeren van 5.850 m³/s de Erlecomse Waard niet meestroomt, dus bij lagere afvoeren zal er ook geen effect zijn op de dwarsstroming. Daarom wordt de beoordeling van de dwarsstroming uitgevoerd op basis van de afvoeren 10.000 en 8.000 m³/s.

Om inzicht te krijgen in de dwarsstroming in de huidige situatie is voor een afvoer van 10.000 m³/s de resulterende stroomsnelheid en stroomrichting uit WAQUA geplot. Hieruit blijkt dat het water afkomstig uit de Erlecomse Waard zich onder een erg flauwe hoek bij de stroming in het zomerbed voegt, zie Figuur 5. Deze samenvloeiing vindt volledig plaats in het kribvak zelf, waardoor er op de denkbeeldige kribbakenlijn geen sprake is van een kritische dwarsstroming.



Figuur 5: Stroomsnelheid en stroomrichting uit het beno18_5 referentiemodel bij een afvoer van 10.000 m³/s te Lobith.



Figuur 6: Stroombanen per 500 m³/s (rood) en 100 m³/s (oranje, in de uiterwaard) bij een afvoer van 10.000 m³/s te Lobith

De verwachting is dat het door de ingreep extra aan het zomerbed onttrokken debiet voor grootste deel in het kribvak met de ingreep zal terugstromen naar het zomerbed. Deze extra hoeveelheid water zorgt voor een toename van de stroming uit het kribvak.

Uit de stroombanen in Figuur 6 blijkt dat er bij een afvoer van 10.000 m³/s een enkele stroombaan (500 m³/s) in de Erlecomse Waard ligt. Met stroombanen van 100 m³/s blijkt dat er 6 stroombanen in de Erlecomse Waard liggen. Deze stroombanen voegen zich bij de stroming in het zomerbed onder een flauwe hoek. De hoek van deze stroombanen ten opzichte van de normaallijn ter hoogte van het kribvak is 15°. We nemen aan dat als er dwarsstroming gaat ontstaan door de ingreep, dat deze hoek van 15° dan maatgevend is. Op de locatie waar in Figuur 6 de hoek is bepaald, zal de gemiddelde stroomsnelheid toenemen van 0,35 m/s tot 0,4 à 0,5 m/s (zie voorgaande paragraaf). De component van deze stroomsnelheid die loodrecht op de normaallijn staat is te bepalen met de tangens van de hoek:

$$\tan(\alpha) = \frac{o}{a}$$

$$o = \tan(\alpha) * a$$

$$o = \tan(15) * 0,5$$

$$o = 0,268 * 0,5 = 0,134$$

Dus mocht door de ingreep de stroming door het zomerbed pas op de kribbakenlijn gaan samenvloeien (ipv al in het kribvak, zoals in de huidige situatie) met de stroming door het zomerbed, dan kan dat tot een dwarsstroming leiden van 0,13 m/s. Deze berekende dwarsstroming is een conservatieve benadering, aangezien de verwachting is dat het extra debiet zich waarschijnlijk ook in het kribvak gaat samenvoegen met de stroming door het zomerbed en niet op de kribbakenlijn. Hiervoor zou het huidige stromingspatroon zich 100 meter in de rivierwaartse richting moeten verplaatsen. De verwachting is dat dit niet gaat gebeuren. Mocht dat wel gebeuren dan zal er maximaal een dwarsstroming optreden van 0,13 m/s. Deze beschouwing is toegepast op een afvoer van 10.000 m³/s. De situatie voor 8.000 m³/s zal niet maatgevend zijn, omdat er bij die afvoer relatief gezien een kleiner debiet door de uiterwaard stroomt. Daarnaast is de stroomsnelheid in de uiterwaard bij die afvoer ook lager.

Er is geconcludeerd dat de voorgestelde ingreep geen ontoelaatbaar negatief effect heeft op de dwarsstroming. De stroming op de kribbakenlijn is vrijwel parallel aan de hoofdstroom. Ook bij instroming onder een hoek van 15 graden blijven de mogelijk toegenomen stroomsnelheden, door extra debiet door kribvak en uiterwaard, onder de kritische grens van 0,15 m/s dwarsstroming.

5.3 Morfologische effecten

5.3.1 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. Dit is aspect 3.1 uit RBK 5.0.

De voorgestelde ingreep vindt plaats in een kribvak. Ingrepen in kribvakken kunnen de morfologie van het zomerbed beïnvloeden, doordat dergelijke ingrepen impact kunnen hebben op de doorstroming van het kribvak en het winterbed en daarmee ook het zomerbed beïnvloeden. De jaargemiddelde morfologische effecten op het zomerbed worden voornamelijk bepaald door de gemiddelde en

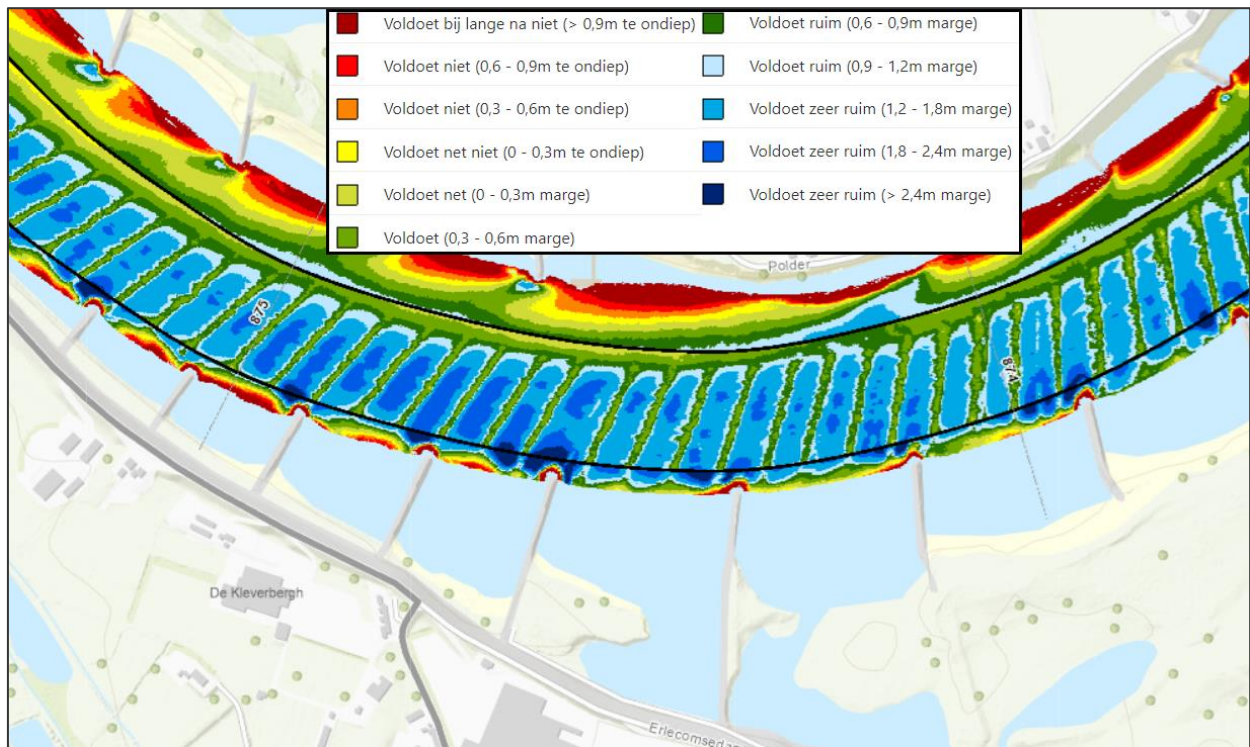
zomerbedvullende afvoeren ($<5.000 \text{ m}^3/\text{s}$). In Hoofdstuk 4 is beschreven dat de Erlecomse Waard pas gaat meestromen bij afvoeren hoger dan $5.850 \text{ m}^3/\text{s}$ te Lobith. Bij lagere afvoeren stroomt het kribvak wel mee met het zomerbed. Maar de verwachting is dat alleen bij een afvoer van $6.000 \text{ m}^3/\text{s}$ morfologische effecten optreden, doordat bij de lagere afvoeren de kribben nog de stroomoplegging vormen. Daarom wordt dit aspect beoordeeld met een afvoer van $6.000 \text{ m}^3/\text{s}$.

Uit Tabel 2 (Bijlage C) blijkt dat (op basis van de door RWS aangeleverde vuistregel) bij een afvoer van $6.000 \text{ m}^3/\text{s}$ $74 \text{ m}^3/\text{s}$ aan debiet wordt onttrokken aan het zomerbed. Doordat er minder water door het zomerbed gaat stromen zal de stroomsnelheid verlaagd worden, met mogelijke aanzandingseffecten tot gevolg. Ter plaatse van Erlecom is het zomerbed 270 m breed. De bijbehorende waterstand in het zomerbed bij een afvoer van $6.000 \text{ m}^3/\text{s}$ is $12,05 \text{ m} + \text{NAP}$. Volgens het meest actuele rivierkundige referentiemodel (waqua-rijn-beno18_5-v1) ligt de bodem van het zomerbed ter hoogte van Erlecom op $2,2 \text{ m} + \text{NAP}$. De waterdiepte bedraagt dan dus $9,85 \text{ m}$ ($12,05 - 2,2$). Gecombineerd met de zomerbedbreedte levert dit een doorstroomoppervlak op van 2.660 m^2 ($270 * 9,85$).

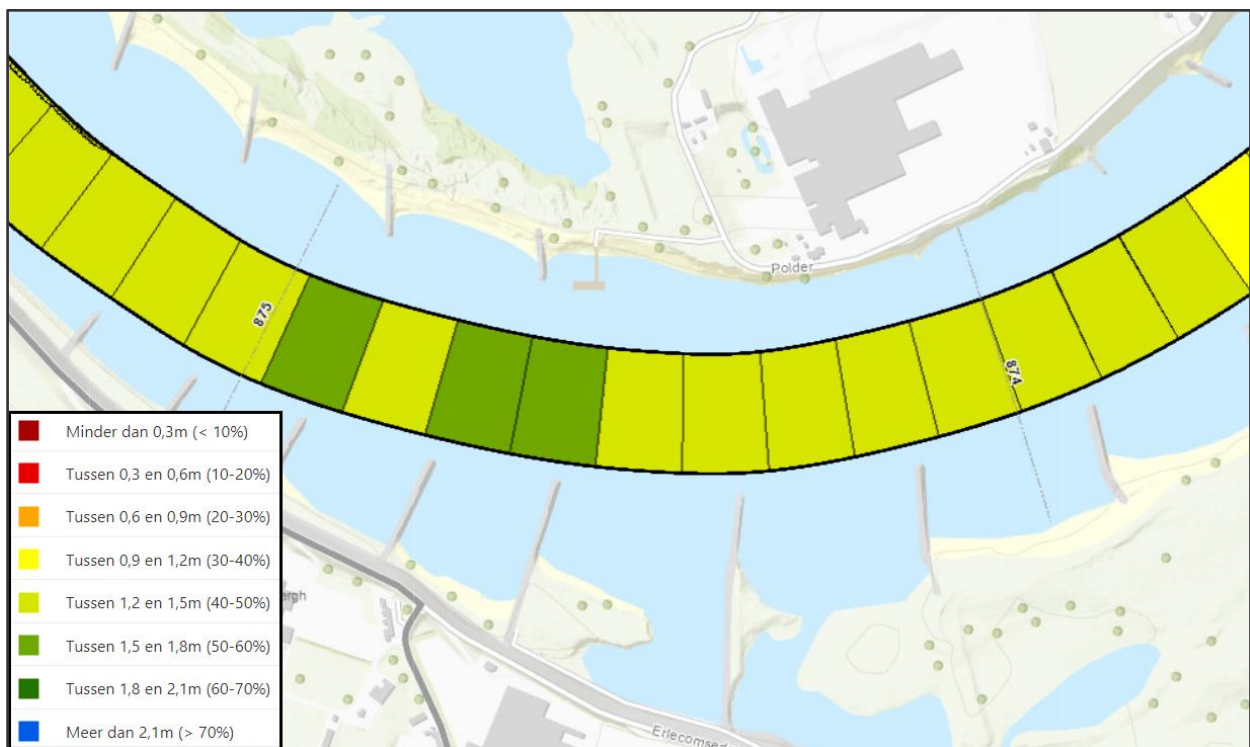
De waterstandsverlaging afkomstig van de vuistregel ligt in de orde van 1 à 2 mm . De waterdiepte in het zomerbed is $9,85 \text{ m}$. Om het rekenen te vereenvoudigen wordt aangenomen dat de waterstandsverandering als gevolg van de ingreep verwaarloosbaar klein is. Bij een bovenrijnafvoer van $6.000 \text{ m}^3/\text{s}$ stroomt er bij Erlecom $3.800 \text{ m}^3/\text{s}$ door het zomerbed. Dit resulteert in een gemiddelde stroomsnelheid van $1,428 \text{ m/s}$ ($3.800 / 2.660$). Deze stroomsnelheid komt goed overeen met de WAQUA resultaten van het beno18_5 model, zie Figuur 16. Ten gevolge van de ingreep kan dit afnemen tot $1,401 \text{ m/s}$ ($(3.800 - 74) / 2.660$). Gemiddeld zal de stroomsnelheid in het zomerbed bij een rivierafvoer van $6.000 \text{ m}^3/\text{s}$ te Lobith dus met $0,027 \text{ m/s}$ afnemen.

Om het aanzandingseffect in het zomerbed op basis van de verandering in stroomsnelheid te bepalen wordt aangenomen dat het zomerbed naar een nieuwe evenwichtsdiepte streeft waarbij de originele stroomsnelheid van $1,428 \text{ m/s}$ weer hersteld wordt. Bij een Lobith afvoer van $6.000 \text{ m}^3/\text{s}$ wordt dus $74 \text{ m}^3/\text{s}$ aan het zomerbed onttrokken. Hierdoor neemt het debiet door het zomerbed af van 3.800 tot $3.726 \text{ m}^3/\text{s}$. Deze afname van het debiet leidt tot een evenwichtswaterdiepte van $9,66 \text{ m}$ ($3.726 \text{ m}^3/\text{s} / 270 \text{ m} / 1,428 \text{ m/s}$). Ten opzichte van de eerder berekende waterdiepte in het zomerbed van $9,85 \text{ m}$ wordt deze nieuwe evenwichtswaterdiepte bereikt bij een aanzanding van $18,6 \text{ cm}$. De afvoer van $6.000 \text{ m}^3/\text{s}$ treedt gemiddeld 6 dagen per jaar op. Dat is $1,6\%$ van het jaar. Dat betekent dat de verandering van de evenwichtsdiepte (uitgegaan van lineaire relatie tussen de mate van voorkomen en bodemverandering) gelijk is aan circa 3 mm ($186 \text{ mm} * 1,6\%$) over een lengte van 70 m (uitkomst WAQMORF script voor deze situatie op de Boven-Waal). Vanwege de exponentiële relatie tussen de mate van verandering in waterdiepte en bodemverandering ligt de verandering van de evenwichtsdiepte ten gevolge van het project waarschijnlijk een factor 2 hoger, dat komt dus neer op een afname van de waterdiepte van circa 6 mm over lengte van 70 m .

De verwachting is dat het sedimenttransport en de depositie van het sediment voornamelijk in de binnenbocht van het zomerbed zal plaatsvinden. Figuur 7 toont de beschikbare waterdiepte t.o.v. norm die aanwezig is in het zomerbed, de onderwaterkribben zijn hierin duidelijk zichtbaar. Hieruit blijkt dat er in de binnenbocht van het zomerbed aan de rand van de vaargeul nog $0,3$ tot $0,6 \text{ m}$ marge aanwezig is. Tussen de onderwaterkribben is er zelfs een zeer ruime marge aanwezig van $1,2$ tot $1,8 \text{ meter}$. Uit Figuur 8 blijkt dat gemiddeld per hectometervak tussen de $1,2$ en $1,5 \text{ m}$ marge aanwezig is.



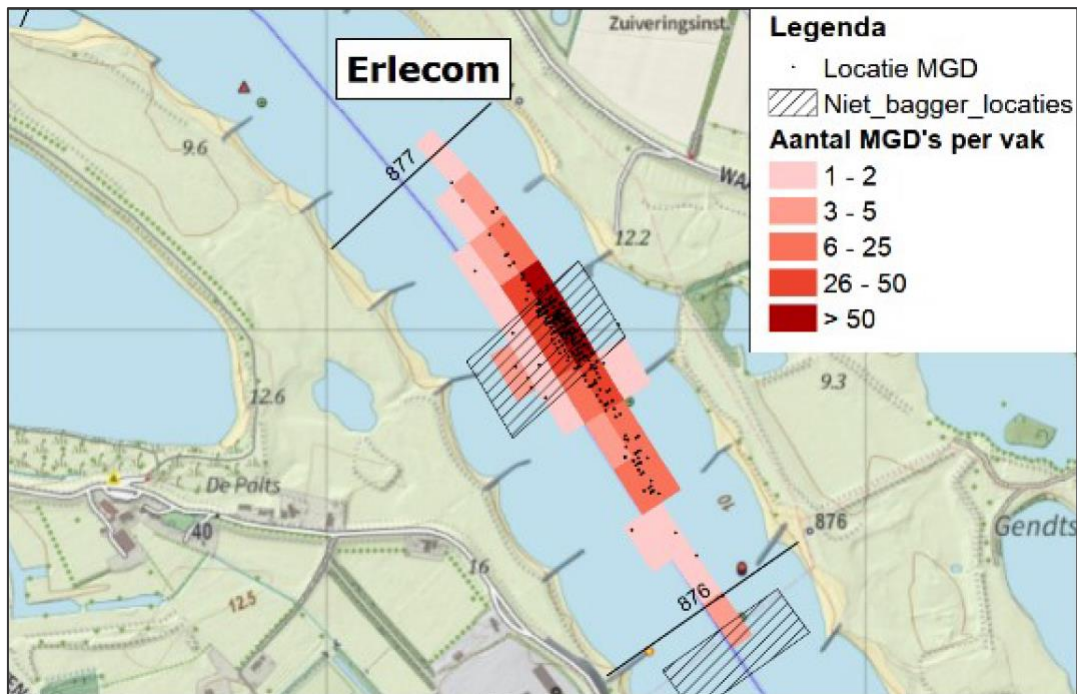
Figuur 7: Waterdiepte (m) t.o.v. de norm. De zwarte lijn toont de ligging van de vaargeul.



Figuur 8: Waterdiepte (m) t.o.v. de norm per hectometervak. De zwarte lijn toont de ligging van de vaargeul.

De locatie waar de verwachte aanzanding ten gevolge van de ingreep zal plaatsvinden ligt dus niet op een probleemlocatie. Er bestaan problemen met een te kleine beschikbare waterdiepte op de Boven-

Waal. Deze problemen manifesteren zich echter benedenstrooms van Erlecom (rkm 876 - 877). Dit blijkt ook uit een analyse die uitgevoerd is door RWS [3] op de Minst Gepeilde Dieptes (MGD's), zie Figuur 9.



Figuur 9: Aantal MGD's benedenstrooms van Erlecom per riviervak

Er is geconcludeerd dat de ingreep slechts kleinschalige effecten teweeg brengt met betrekking tot sedimentatie in het zomerbed. De effecten op de jaargemiddelde morfologische processen in de vaarweg kunnen leiden tot maximaal 8,4 mm aanzanding op de lange termijn. Deze afname van de waterdiepte is echter beperkt gegeven de ruime marge die momenteel aanwezig is op de waterdiepte norm (zowel minimale diepte als hectometervak gemiddelde diepte). Daarnaast zal door de aanwezigheid van de onderwaterkribben het sedimenttransport voornamelijk plaatsvinden door de binnenbocht.

5.3.2 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 morfologisch meest relevante afvoeren zijn de hogere afvoeren die het meest frequent voorkomen. Daarom worden voor de morfologische beoordeling meestal de volgende Boven-Rijn afvoeren gebruikt: 3.000, 4.000 en 6.000 m³/s. De Erlecomse Waard gaat pas volledig meestromen bij afvoeren vanaf 5.850 m³/s te Lobith. Op basis van historische data zijn dergelijke afvoeren gemiddeld 6 dagen per jaar te verwachten. Hierdoor zijn er ten gevolge van de ingreep geen grootschalige aanzanding of erosie effecten te verwachten die tot ongewenste schade aan objecten zal leiden in de uiterwaard.

Zoals in de paragraaf 'Effect op stroombeeld in de uiterwaard' is beschreven kan de stroomsnelheid in de Erlecomse Waard toenemen van 0,35 tot 0,4 à 0,5 m/s bij een Lobith afvoer van 10.000 m³/s. Deze afvoer treedt gemiddeld slechts eens in de 15 jaar op. Toch kan een dergelijk hoogwater enige erosie-effecten teweeg brengen mits er een slechte vegetatiedekking aanwezig is. Op luchtfoto's lijkt er echter een goede dekking van gras/ruigte aanwezig te zijn binnen de Erlecomse Waard. We concluderen dat er

in het winterbed ten gevolge van deze snelheidsverandering geen grootschalige aanzanding of erosie effecten zullen optreden die tot ongewenste schade aan objecten zal leiden.

6 Conclusie

De voorgestelde tijdelijke laadvoorziening bij Erlecom is volledig rivierkundig beoordeeld met een kwalitatieve aanpak op basis van vuistregels en WAQUA resultaten van het beno18_5 model. Het gebruik van de vuistregel om het effect van de ingreep op de waterstand in het zomerbed te bepalen introduceert meer onzekerheid in de rivierkundige beoordeling dan een volledige beoordeling met WAQUA-berekeningen zou doen. Daarom zijn de effecten op de verschillende beoordelingsaspecten van het RBK binnen deze rivierkundige beoordeling worst-case bepaald. Dit is gedaan door aannames conservatief te doen en extreme situaties als maatgevend aan te nemen.

Op basis van de resultaten kan geconcludeerd worden dat de voorgestelde ingreep binnen het zomerbed voornamelijk waterstands dalingen tot gevolg heeft. Bij 16.000 m³/s is dit een daling van 1,8 mm. Benedenstrooms treedt er een klein opstuwingspiekje op. Deze zal naar verwachting maximaal twee maal zo groot zijn als de waterstands daling. Dit opstuwingspiekje kan doorwerken tot de zuidelijke bandijk waardoor ook hier theoretisch een waterstandsverhogend effect kan optreden tot 1 mm. Doordat er in totaal sprake is van een ruime netto waterstandsverlaging is het optreden van een dergelijk benedenstroomspiekje toegestaan.

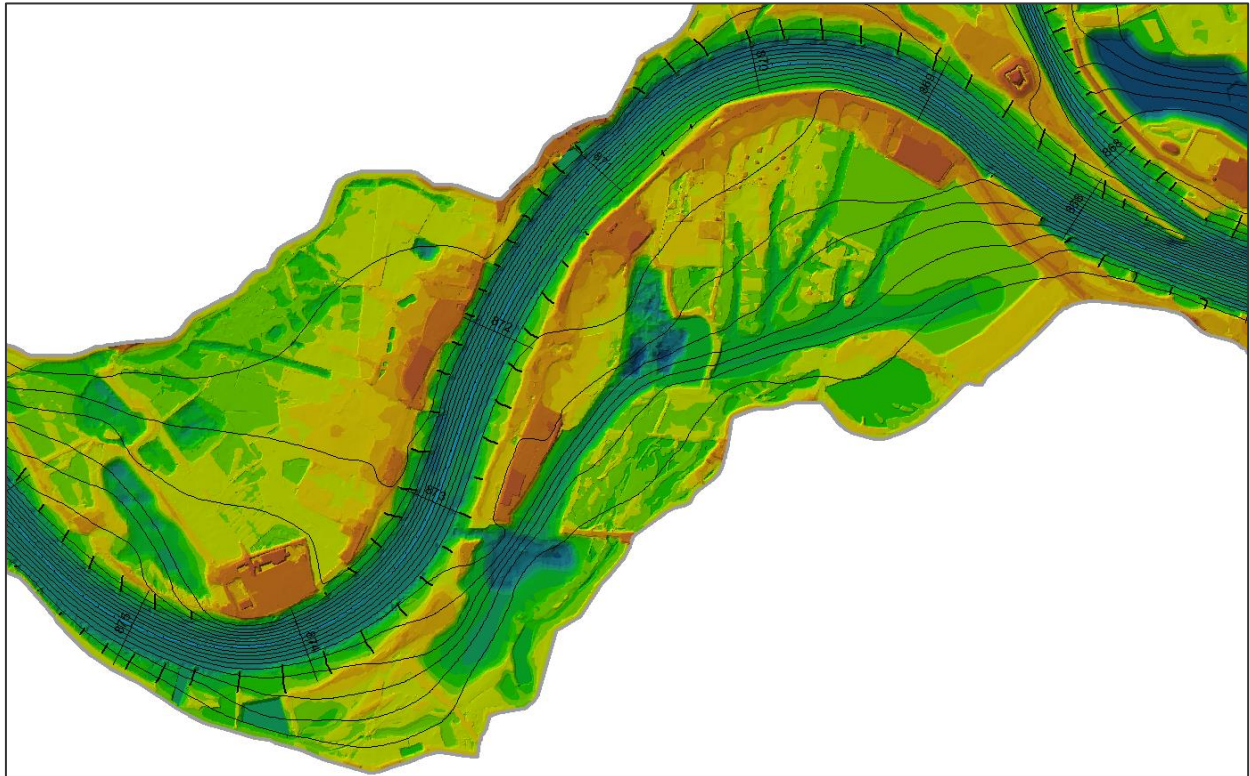
Ook het effect op de afvoerverdeling bij de Pannerdensche kop blijft met een conservatieve benadering onder de eisen gesteld in het RBK. De conclusie is dat er geen schade of hinder ontstaat in de uiterwaarden ten gevolge van hydraulische effecten. De ingreep zal ook geen ontoelaatbare negatieve effecten hebben op de dwarsstroming. Tenslotte blijkt dat de ingreep enige negatieve effecten kan hebben op de beschikbare vaardiepte binnen de vaarweg van de Waal. Echter is er voldoende marge aanwezig waardoor deze effecten niet ontoelaatbaar zijn of gemitigeerd hoeven te worden. Op basis van deze aspecten kan er geconcludeerd worden dat de ingreep voldoet aan de gestelde normen binnen het rivierkundig beoordelingskader, versie 5.0. Het is belangrijk om te realiseren dat het om een laadvoorziening gaat die van tijdelijk aard is. De laadvoorziening zal slechts 4 tot 6 jaar in bedrijf zijn. De rivierkundige effecten ten gevolge van de laadvoorziening zullen dus ook tijdelijk zijn. Er zijn geen rivierkundige belemmeringen voor de realisatie van de tijdelijke laadvoorziening in het meest westelijke kribvak. Dit kribvak heeft zoals eerder aangegeven de voorkeur gezien de veel grotere baggerinspanning (frequenter en dieper baggeren) van het oostelijk gelegen kribvak en de betere nautische veiligheid van de laadvoorziening in het westelijke kribvak.

7 Bronnen

- [1] RWS, *Vuistregels definitief*
- [2] RoyalHaskoningDHV, *Nautische beoordeling tijdelijke laadvoorziening Erlecom*, rapport, 26 juli 2021
- [3] RWS, D. Putten & R. Tönis, *Analyse ondieptes vaargeul Waal*, adviesmemo, 20 april 2021.

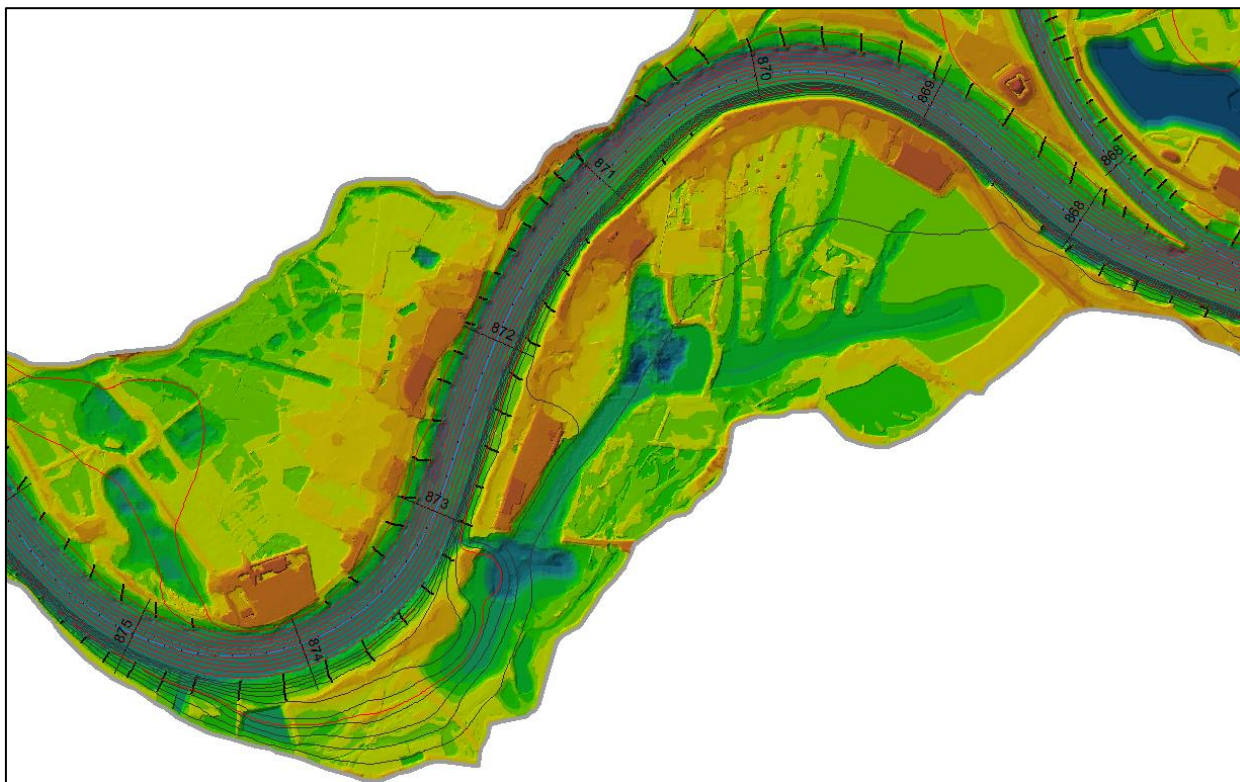
Bijlage A: Figuren stroombanen

Op basis van resultaten van WAQUA modelsimulaties met het beno18_5 referentiemodel zijn voor de afvoeren van 16.000, 10.000 en 8.000 m³/s te Lobith de stroombanen geplot.

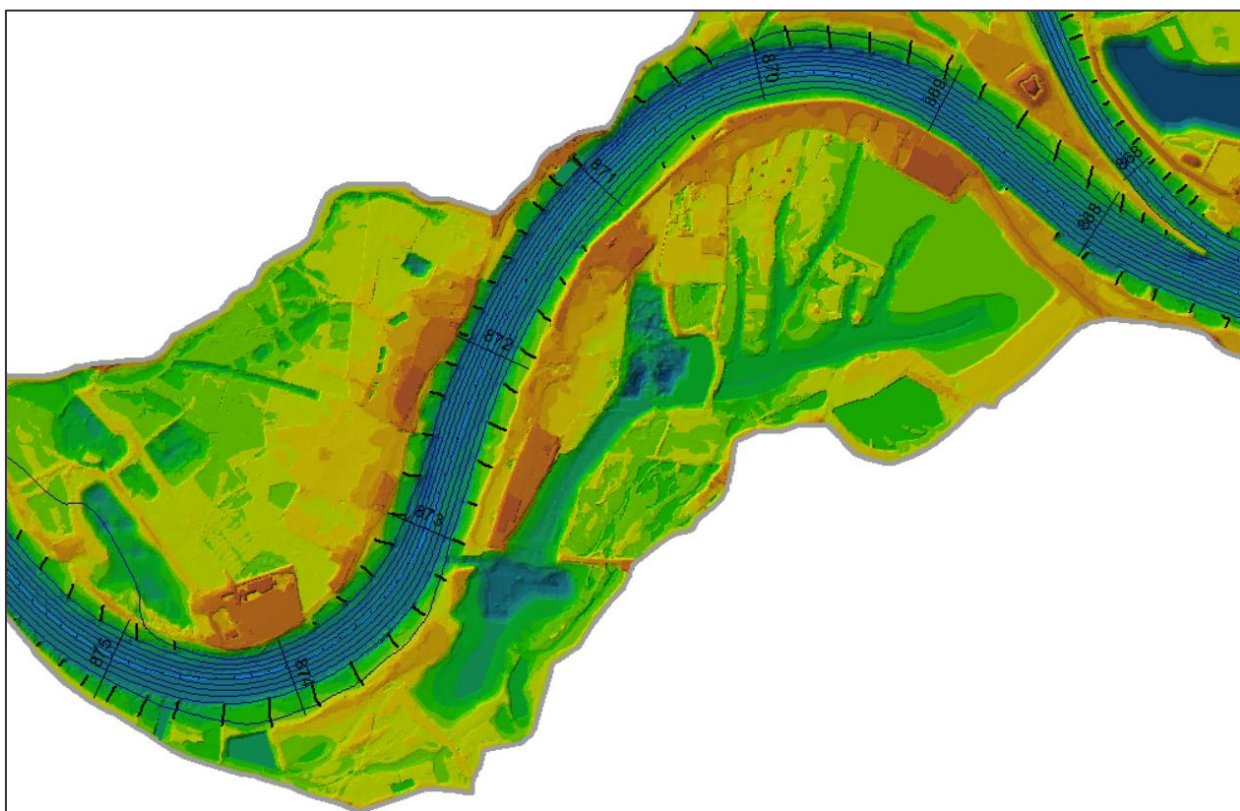


Figuur 10: Stroombanen per 500 m³/s bij een afvoer van 16.000 m³/s te Lobith

In Figuur 10 en Figuur 11 is er een duidelijk verschil te zien in de manier waarop de uiterwaarden meestromen. Zoals in de beschrijving van de rivierkundige elementen hierboven geanalyseerd, stroomt de Millingerwaard nog niet mee bij een afvoer van 10.000 m³/s. Dit heeft duidelijk impact op de manier waarop de Erlecomse Waard meestroomt. In Figuur 11 is duidelijk te zien dat het water dat door de Erlecomse Waard stroomt geconcentreerd bij de Kaliwaal instroomt vanuit het zomerbed. Uit Figuur 12 blijkt dat bij een afvoer van 8.000 m³/s het water voornamelijk door het zomerbed stroomt. Ter hoogte van de Erlecomse Waard loopt er één stroombaan over de landhoofden van de kribben. De stroombanen zijn per 500 m³/s weergegeven, dus een deel van het debiet van deze stroombaan zal door de Erlecomse Waard stromen.



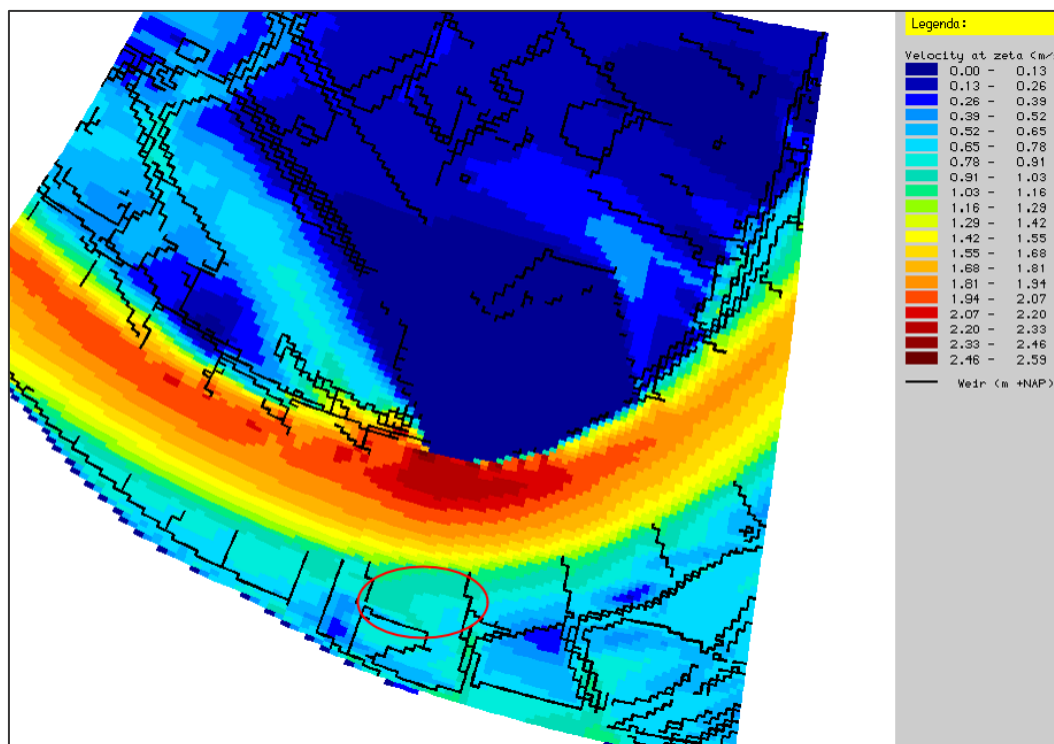
Figuur 11: Stroombanen per 500 m³/s en 100 m³/s (grijs, in de uiterwaard) bij een afvoer van 10.000 m³/s te Lobith



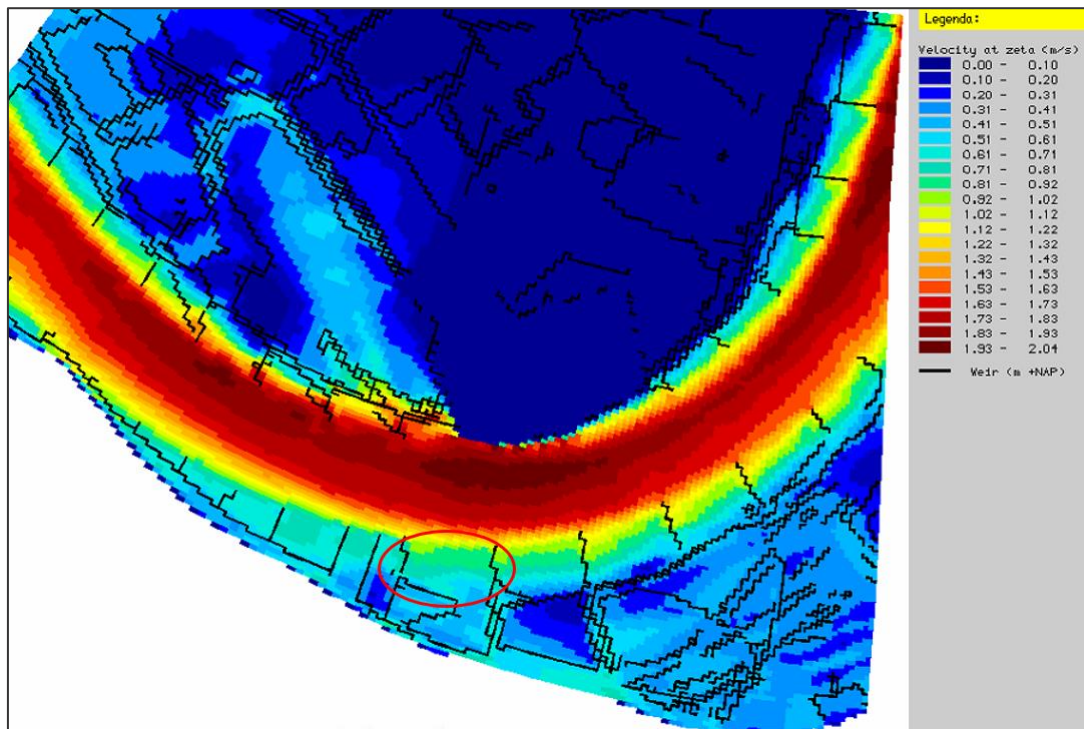
Figuur 12: Stroombanen per 500 m³/s bij een afvoer van 8.000 m³/s te Lobith

Bijlage B: Figuren stroomsnelheden

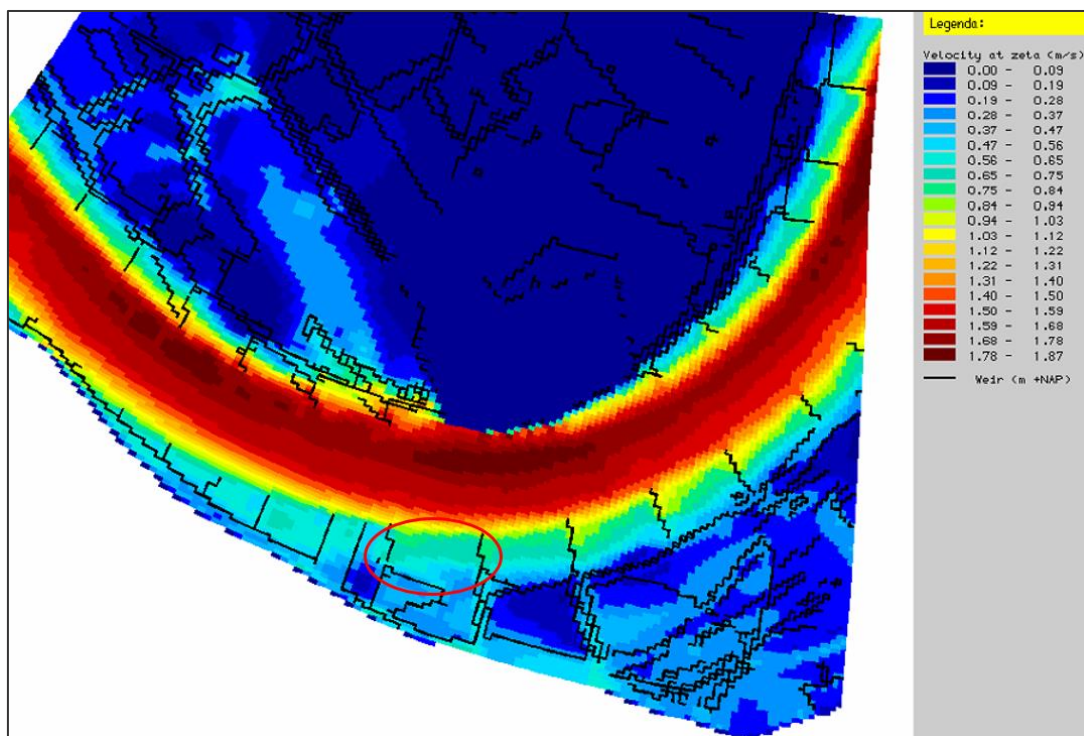
Op basis van resultaten van een WAQUA modelsimulatie met het beno18_5 referentiemodel blijkt dat bij een afvoer van 16.000 m³/s te Lobith er gemiddeld stroomsnelheden van 0,9 m/s optreden in het deel kribvak waar de laadvoorziening voorzien is. Bij afvoeren van 10.000, 8.000 en 6.000 m³/s treden er gemiddelde stroomsnelheden op van 0,8 m/s, 0,65 m/s en 0,4 m/s ter plaatse van de laadvoorziening.



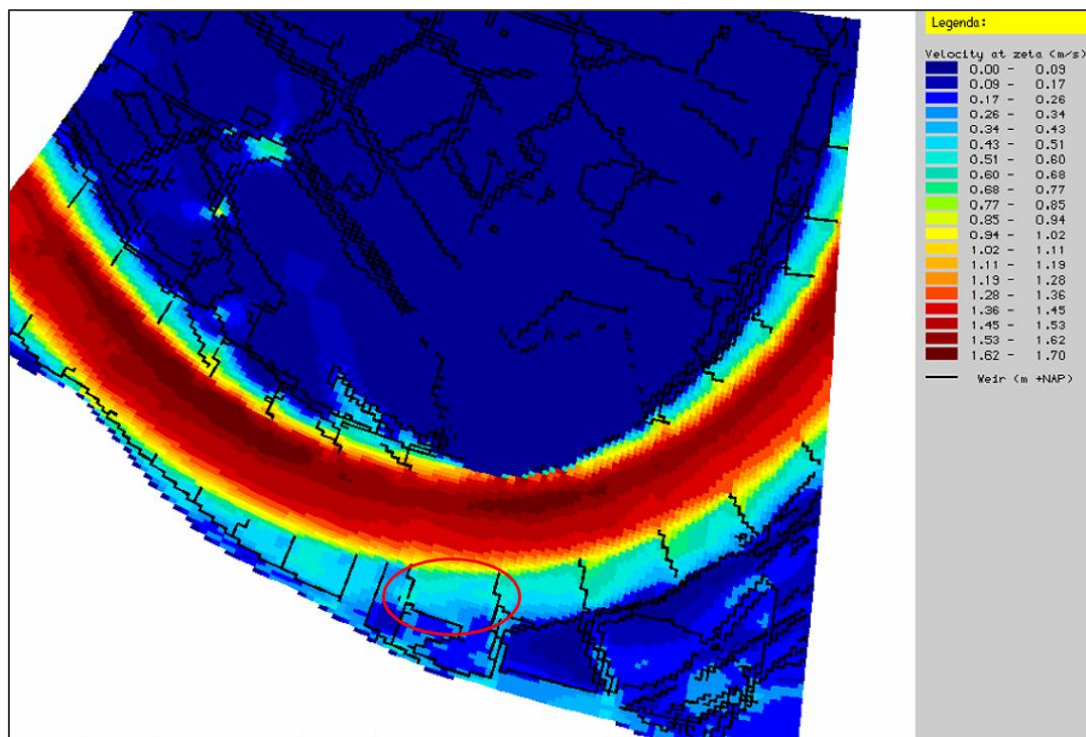
Figuur 13: Stroomsnelheid uit het beno18_5 referentiemodel bij een afvoer van 16.000 m³/s te Lobith, de rode cirkel geeft het kribvak aan met daarin de tijdelijke laadvoorziening



Figuur 14: Stroomsnelheid uit het beno18_5 referentiemodel bij een afvoer van 10.000 m³/s te Lobith, de rode cirkel geeft het kribvak aan met daarin de tijdelijke laadvoorziening



Figuur 15: Stroomsnelheid uit het beno18_5 referentiemodel bij een afvoer van 8.000 m³/s te Lobith, de rode cirkel geeft het kribvak aan met daarin de tijdelijke laadvoorziening



Figuur 16: Stroomsnelheid uit het beno18_5 referentiemodel bij een afvoer van $6.000 \text{ m}^3/\text{s}$ te Lobith, de rode cirkel geeft het kribvak aan met daarin de tijdelijke laadvoorziening

Bijlage C: Berekeningen vuistregel

Om de waterstandsverandering in het zomerbed ten gevolge van simpele ingrepen te kunnen bepalen heeft RWS een aantal vuistregel opgesteld [1]. Om het effect van de ingreep in deze rivierkundige beoordeling te kunnen bepalen wordt gebruik gemaakt van de vuistregel 'verlaging van mhw-vrije ophogingen en niet mhw-vrije ophogingen'. Dit staat beschreven onder paragraaf 2.5 van de memo vuistregels van RWS [1]. In essentie bestaat deze vuistregel uit de volgende 3 stappen:

1. Hoeveel debiet wordt er door de ingreep onttrokken uit het zomerbed;
2. Tot welk nieuw verhang leidt dit;
3. Welke waterstandsverlaging levert dit nieuwe verhang op het zomerbed op.

De vuistregel vereist de volgende input:

1. MHW-waterstand rond ingreep;
2. Hoogte voorafgaand aan afgraven;
3. Hoogte na afgraven;
4. Breedte loodrecht op stroming;
5. Lengte van ingreep;
6. MHW-stroomsnelheid rond ingreep;
7. Totale MHW-debiet door zomerbed+winterbed;
8. MHW-debiet door zomerbed;
9. Verhang zomerbed.

De vuistregel is gebruikt om voor verschillende relevante afvoeren de waterstandsverandering te bepalen. Tabel 1 presenteert de input die gebruikt is voor de vuistregel met een afvoer van 16.000 m³/s.

Input	Bron	Parameter waarde
Waterstand rond ingreep	Betrekingslijnen 2018 RWS	16,02 m + NAP
Hoogte voorafgaand aan afgraven	Gegevens initiatiefnemer	6,2 m + NAP
Hoogte na afgraven	Gegevens initiatiefnemer	2,2 m + NAP
Breedte loodrecht op stroming	Gegevens initiatiefnemer	50 m
Lengte van ingreep	Gegevens initiatiefnemer	250 m
Stroomsnelheid rond ingreep	Resultaten WAQUA-model beno18_5	0,9 m/s
Total debiet door rivier	Resultaten WAQUA-model beno18_5	10.165 m ³ /s
Debiet door zomerbed	Resultaten WAQUA-model beno18_5	6.500 m ³ /s
Verhang zomerbed	Betrekingslijnen 2018 RWS	0.000125

Tabel 1: Benodigde input van de vuistregel, de gebruikte parameter waardes en de bijbehorende bronnen

Een aantal van de in Tabel 1 gepresenteerde parameters is afhankelijk van de afvoer. De vuistregel is ook toegepast op de afvoeren 10.000, 8.000 en 6.000 m³/s, deze afvoerspecifieke input is in Tabel 2 gepresenteerd tezamen met de uitkomsten van de vuistregel.

Input	16.000 m ³ /s	10.000 m ³ /s	8.000 m ³ /s	6.000 m ³ /s
Waterstand rond ingreep	16,02 m + NAP	14,07 m + NAP	13,31 m + NAP	12,05 m + NAP
Stroomsnelheid rond ingreep	0,9	0,8	0,65	0,4
Total debiet door rivier	10.165	6.500	5.394	4.106
Debiet door zomerbed	6.500	5.400	4.700	3.800
Resulterende waterstandsaling	1,8 mm	2,6 mm	3,3 mm	2,1 mm
Aangetrokken afvoer	115,1 m³/s	133,0 m³/s	126,6 m³/s	74,0 m³/s

Tabel 2: Afvoerspecifieke input en output voor de vuistregel