

Rivierkundig Onderzoek Krib- en Oeververlaging Pannerdensch Kanaal

Op basis van Definitief Ontwerp (DO)

Definitief

1996/U20111/F/BvL

20 juli 2020

Kratonkade 23

3024 ES Rotterdam

Nederland

☎ +31 - 10 - 467 13 61

✉ info@svasek.com

🌐 www.svasek.com

Document titel Rivierkundig Onderzoek Krib- en Oeververlaging
Pannerdensch Kanaal

Op basis van Definitief Ontwerp (DO)

Verkorte Titel Rivierkundig Onderzoek KOP

Status Definitief

Datum 20 juli 2020

Project naam Rivierkundig Onderzoek KOP

Project nummer 1996

Opdrachtgever Ploegam

Referentie 1996/U20111/F/BvL

Auteurs Sam Bom en Bas van Leeuwen

Gecontroleerd door Wiebe de Jong

INHOUDSOPGAVE

	Pag.
1	INTRODUCTIE
1.1	PvA Rivierkundig Onderzoek en Effecten voor Scheepvaart
1.2	Status
1.3	Leeswijzer
2	KORTE TOELICHTING ONTWERP: DEFINITIEF ONTWERP
2.1	Beschrijving DO
2.2	Wijzigingen DO t.o.v. VKA
3	OVERZICHT SIMULATIES
3.1	Opzetten referentie Baseline
3.2	Opzetten DO Baseline
3.3	Algemene uitgangspunten
3.4	Software
3.5	Splitsingspuntenmodel (SPLP)
3.5.1	Algemeen
3.5.2	Regelwerk Pannerden
3.5.3	Gesimuleerde debieten
3.6	Nederrijn-Lek model (NRLK)
3.6.1	Algemeen
3.6.2	Regelwerk Pannerden
3.6.3	Gesimuleerde debieten
3.6.4	Randvoorwaarden
3.7	WAQMORF
3.8	DELFT3D
3.8.1	Algemeen
3.8.2	Update met behulp van Baseline schematisatie.
3.8.3	Kalibratie voor effect ingreep
3.8.4	Baggeroutine
3.8.5	Randvoorwaarden
3.8.6	Inspelen
3.8.7	Doorgerekende scenario's
4	HOOGWATERVEILIGHEID
4.1	SYS0001: Taakstelling project
4.2	RBK 5.0 1.1: MHW effect as rivier
4.3	RBK 5.0 1.2: MHW effect buiten as rivier
4.4	RBK 5.0 1.3, 1.4, 2.4 en 2.5 en SYS-0003: Effect op afvoerverdeling bij hoge en lage afvoeren
4.4.1	Effect DO met referentie-instelling regelwerk (instelling 1)
4.4.2	Effect DO met gewijzigde instelling regelwerk (instelling 2)
4.5	RBK 5.0 1.5: IJsafvoer
4.5.1	Toepassing Deltares (2019) methodiek
4.5.2	IJsgeluidsconstructies in het Pannerdensch Kanaal worden zo min mogelijk aangetast
5	HINDER OF SCHADE DOOR HYDRAULISCHE EFFECTEN
5.1	RBK 5.0 2.1: Inundatiefrequentie van de uiterwaard

5.1.1	Effect inundatiefrequentie uiterwaarden langs Pannerdensch Kanaal	32
5.1.2	Effect inundatiefrequentie woonterpen langs Pannerdensch Kanaal	32
5.1.3	Effect bij Roswaard	32
5.1.4	Inundatiefrequentie oever 4	32
5.1.5	Effect inundatiefrequentie uiterwaarden langs de Boven-Rijn:	33
5.1.6	Conclusie effect op inundatiefrequentie uiterwaarden	33
5.2	RBK 5.0 2.2: Stroombeeld in uiterwaard	33
5.3	RBK 5.0 2.3: Stroombeeld (dwarsstromen) in vaarweg	35
5.4	RBK 5.0 2.9: Waterstand en stroombeeld in vaarweg Nederlands-Duitse grensregio bij lage en mediane Boven-Rijn afvoeren	37
6	RBK 5.0 3.1: SEDIMENTATIE EN EROSIE VAN HET ZOMERBED	38
6.1	Vergelijking morfologische modellen	38
6.1.1	Vergelijking WAQMORF en Delft3D	38
6.1.2	Vergelijking Delft3D met en zonder baggeren	41
6.2	Samenvatting effect te baggeren volume en optimalisatie ten opzichte van VKA	43
6.3	RBK 5.0 3.1: Morfologische effecten DO zomerbed	45
6.3.1	Erosie en sedimentatie ten gevolge van het DO	45
6.3.2	Effect DO op verdeling sedimenttransport	49
6.3.3	Tabellen met detailuitvoer	50
7	RBK 5.0 3.2: SEDIMENTATIE EN EROSIE VAN OEVERS EN UITERWAARDEN	52
7.1	Kritische stroomsnelheden KOP	52
7.2	Expert judgement erosie kribvakken en kribwortels	54
7.2.1	Literatuuronderzoek langjarige ontwikkeling kribvakken Waal	54
7.2.2	Literatuuronderzoek invloed kribverlaging Waal	55
7.2.3	Expert judgement kribvakerosie KOP	56
7.2.4	Expert judgement kribwortelerosie KOP	58
7.3	Expert judgement erosie verlaagde en niet verlaagde oevers	60
7.3.1	Expert judgement erosie verlaagde oevers KOP	60
7.3.2	Mogelijke erosie langs leikades en primaire keringen en andere objecten	61
7.4	Conclusie	62
8	EFFECTEN OP DE HYDRODYNAMICA VIA MORFOLOGIE	64
8.1	Effect DO op debietsverdeling via morfologische ontwikkeling	64
8.2	Ontwikkeling OLR vlak	67
8.3	Ontwikkeling waterdiepte bij OLA en gemiddeld Boven-Rijn afvoer	68
8.4	Effect 'worst case erosie' op afvoerverdeling	72
9	CONCLUSIE	73
	REFERENTIES	79
A	PLAN VAN AANPAK RIVIERKUNDIG ONDERZOEK KOP	80
B	MAATREGELLIJST REFERENTIESSCHEMATISATIE	112
C	METAINFO BASELINE MAATREGEL DO	113
D	WAQMORF BESTAND 'WAQMORF.OUT'	122

E	KWALITEITSCONTROLE DELFT3D MODEL DOOR DELTARES	126
F	OPSTUWING IN WAQUA EN DELFT3D BIJ GEMIDDELDE AFVOEREN	131
F.1	Introductie	131
F.2	Probleemstelling	131
F.3	Ingezoomde figuren	133
F.4	Conclusie	136
G	INVLOED KRIJVERLAGING OP STROMING – VERGELIJKING WAQUA EN DELFT3D	137
G.1	Introductie	137
G.2	Invloed KOP op stroming in WAQUA en Delft3D	137
G.3	Optimalisatie van de ingreep in Delft3D	137
G.4	Conclusie	138
H	ANALYSE UITBLIJVEN EVENWICHTSSITUATIE DELFT3D	142
H.1	Verklaringen gemodelleerde effect	142
H.2	Effect bij verschillende afvoeren, effect via korrelverdeling	151
H.3	Effect via verdeling water en sediment op splitsingspunt Pannerdensche Kop	154
H.4	Conclusie	155
I	ANALYSE SCHEEPSGOLVEN IN HET PANNERDENSCH KANAAL	156
J	FIGUREN VAN STROOMBEELD IN UITERWAARD	159
J.1	Ingezoomde stroombeelden rond het Regelwerk Pannerden	167
K	FIGUREN VAN DWARSSTROMING	170
L	FIGUREN VAN STROOMBEELD EN WATERSTAND IN VAARWEG NEDERLANDS-DUITSE GRENSREGIO BIJ LAGE EN MEDIANE BOVEN-RIJN AFVOEREN	176
M	IJSSTUDIE	179
M.2	Achtergrond	179
M.3	Kwalitatieve analyse	181
M.4	Numerieke analyse gevaar vorming ijsdammen	181
M.5	Conclusie	195
N	TABELLEN MET DETAIL UITVOER DELFT3D	196
N.1	Startbodem – vaarweg	197
N.2	Startbodem – vaargeul	198
N.3	DO na 5 jaar – vaarweg	199
N.4	DO na 40 jaar – vaarweg	201
N.5	DO na 5 jaar – vaargeul	203
N.6	DO na 40 jaar – vaargeul	205
N.7	REF na 5 jaar – vaarweg	207
N.8	REF na 40 jaar – vaarweg	209
N.9	REF na 5 jaar – vaargeul	211
N.10	REF na 40 jaar – vaargeul	213
O	WATERSTANDEN IN AS RIVIER (OP BASIS VAN REKENRESULTATEN WAQUA)	215

1 INTRODUCTIE

Dit rapport bevat het rivierkundig onderzoek voor het project krib- en oeververlaging Pannerdensch Kanaal (KOP). Het toetst het Definitief Ontwerp op basis van het Rivierkundig Beoordelingskader versie 5.0 (RBK5.0), aangevuld met uitwerking daarvan en specifieke opgaven van Rijkswaterstaat Oost-Nederland (RWS-ON, afdeling NOV (Netwerkontwikkeling en Visie)).

1.1 PvA Rivierkundig Onderzoek en Effecten voor Scheepvaart

Voor project KOP dient een vanuit de Waterwet vergunbaar ontwerp te worden opgesteld. De effecten op de relevante rivierkundige aspecten van dit ontwerp dienen daarom te voldoen aan de gestelde eisen en normen uit het Rivierkundig Beoordelingskader (RBK) versie 5.0, versie 4 juni 2019 en de aanvullende specificaties en eisen opgesteld door RWS-ON. Hiertoe is een Plan van Aanpak (PvA) Rivierkundig Onderzoek en Effecten voor Scheepvaart opgesteld (Svašek Hydraulics, 2 oktober 2019). Per relevant aspect van het RBK is in het PvA omschreven welk onderzoek wordt uitgevoerd en welke werkwijze wordt gehanteerd. Dit PvA is afgestemd met en goedgekeurd door de specialisten hydraulica, morfologie en scheepvaart van RWS-ON, afdeling NOV. Het PvA is opgenomen als Bijlage A. Het voorliggende onderzoek volgt grotendeels de structuur van deze aanpak.

1.2 Status

Het voorliggende rapport toetst het Definitief Ontwerp (DO). Het is qua opzet en tekstuele inhoud voor een groot deel gelijk aan het Rapport Onderzoek Rivierkunde KOP op basis van Voorkeursvariant (Svašek Hydraulics, 2020). De op- en aanmerkingen op dat rapport van adviseurs van RWS-ON en opdrachtgeversteam KOP zijn verwerkt in het voorliggende document. Daarnaast is in dit rapport uitgegaan van het Definitief Ontwerp. Het DO wijkt beperkt af van het VKV. Van het DO is een nieuwe Baseline schematisatie gemaakt en zijn alle simulaties (WAQUA en Delft3D) opnieuw uitgevoerd.

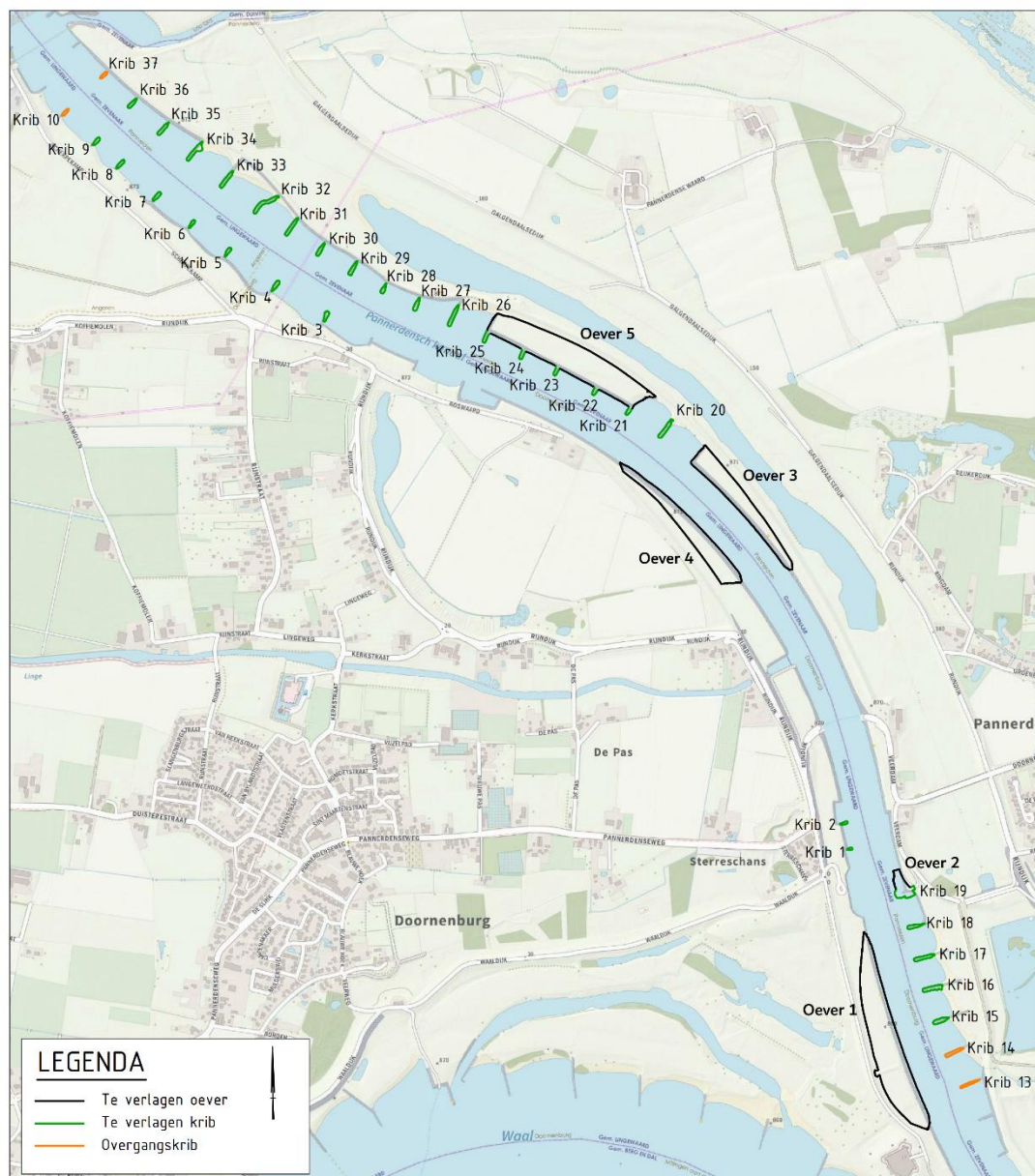
Het doel van dit rapport is om de effecten van het DO krib- en oeververlaging Pannerdensch Kanaal op de verschillende rivierkundige aspecten inzichtelijk te maken en daarmee ondersteunend te zijn in de vergunningverlening van het project.

1.3 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 geeft een korte toelichting op het Definitief Ontwerp. Hoofdstuk 3 geeft een overzicht van de toegepaste modellen en uitgevoerde berekeningen. Voor de daadwerkelijke toetsing van de effecten is in beginsel uitgegaan van de structuur van de RBK 5.0: toetsing wat betreft hoogwaterveiligheid is beschreven in Hoofdstuk 4, hinder of schade door hydraulische effecten is beschreven in Hoofdstuk 5 en het aspect erosie/sedimentatie in het zomerbed is beschreven in Hoofdstuk 6. In Hoofdstuk 0 komt de morfologie van de uiterwaarden aan bod, en de effecten van de morfologische ontwikkelingen op de hydrodynamica worden beschreven in Hoofdstuk 8. Hoofdstuk 9 geeft de conclusie in de vorm van een tabel met verwijzing naar de diverse artikelen in het RBK 5.0 en aanvullende project specifieke opgaven van Rijkswaterstaat, een verwijzing naar de plek waar dit in het rapport is behandeld en de bijbehorende beknopte conclusie.

KORTE TOELICHTING ONTWERP: DEFINITIEF ONTWERP

In dit onderzoek zijn de effecten van het Definitief Ontwerp (DO) krib- en oeeververlaging Pannerdensch Kanaal beoordeeld. Het DO is een uitwerking en optimalisatie van het Voorkeursalternatief (VKA) zoals dat is opgesteld door Royal HaskoningDHV (RHDHV) in 2017 tijdens de SNIP2A fase. In de MIRT3 fase (september 2019 – februari 2020) heeft een ontwerpoptimalisatie van dit VKA plaats gevonden. In deze ontwerpoptimalisatie is er geoptimaliseerd op basis van gebruikerswensen en op basis van het reduceren van effecten qua dwarsstroming en morfologie. Deze optimalisatie heeft geleid tot het VKV (december 2019) en uiteindelijk tot het voorliggende DO. De optimalisatie heeft bestaan uit diverse ontwerp sessies met de projectorganisatie, beheerder en (rivierkundig) adviseurs van Rijkswaterstaat.



Figuur 2-1: Situatietekening DO met overzicht locaties te verlagen kribben, overgangskribben en gestrekte oevers. Bron: Technische tekening Ploegam, documentnr. PL341-DO-TEK-TOT-3004-1.

2.1 Beschrijving DO

In deze paragraaf worden de ingrepen aan de verschillende oevers en kribben beschreven. De maatregelen bestaan uit het verlagen van 35 kribben en van 5 gestrekte oevers in het deel vanaf de Pannerdensche Kop tot aan het Kandia gemaal. De kribben en gestrekte oevers worden verlaagd waarbij de nieuwe insteek ligt op OLR+1,7m. Op de bovenstroomse grens van de ingreep (rkm 868,5) is OLR gelijk aan 7,10 m+NAP. Op de benedenstroomse grens (rkm 873,5) is OLR gelijk aan 7,02 m+NAP. De verlaagde kribkophoogte en insteekhoogte van de oevers varieert daarmee tussen 8,8 en 8,7 m+NAP.

Kribben:

- In totaal worden er in het DO 35 kribben verlaagd. De kribben hebben een huidig kribkopniveau van gemiddeld circa 3,1-3,4 m boven OLR 2012 (o.b.v. kriblegger 2016). De kribkopen worden gemiddeld met een hoogte van 1,4 – 1,7 m verlaagd, met uitzondering van de overgangskribben.
- Van de 35 kribben zijn er totaal 4 kribben als overgangskribben opgenomen. Dit zijn de twee meest bovenstroomse kribben 13 en 14 aan de rechteroever en krib 10 (linkeroever) en 37 (rechteroever) aan de benedenstroomse zijde van de ingreep. De overgangskribben hebben als doel de effecten van dwarsstroming voor scheepvaart te minimaliseren en zorgen voor een geleidelijke overgang tussen de verlaagde en niet-verlaagde kribben¹.
- Van de 8 aan particuliere gronden grenzende kribben (krib 3 t/m 10, linkeroever) wordt de kribwortel ongemoeid gelaten en beperkt zich de verlaging tot circa driekwart van de krib gezien van de kribkop. Met deze aanpassing wordt het effect van de kribverlaging op de aangrenzende oevers beperkt en wordt schade aan de particuliere gronden voorkomen.
- Krib 19 is integraal onderdeel van het ontwerp van oever 2. Deze krib wordt verlaagd en versmald om ruimte te bieden aan de maatwerkoplossing van oever 2. Hierin zijn de ontwerpoplossing voor dwarsstromen, het functioneel houden van de aanwezige laad- en loswal en het verbeteren van de scheepvaartveiligheid gecombineerd.

Gestrekte oevers:

- Op 5 locaties wordt de gestrekte hoge oever verlaagd. De oevers worden aan de kanaalzijde verlaagd tot OLR+1,7m op de verdedigde oeverlijn. Vanaf deze oeverlijn loopt het verlaagde maaiveld onder een flauw talud (flauwer of gelijk aan een helling van 1:10) op richting het oude maaiveld. Ook in de lengte richting is het talud gemaximaliseerd op 1:10. Aan de waterzijde wordt de gestrekte verlaagde oevers voorzien van een 5 meter brede stortstenen bekleding om afkalven van de oever te voorkomen. De ontgraving eindigt tenminste 10 meter uit de teen van de leikades zodat de macrostabiliteit van de oevers niet in het geding komt.
- Alle ingrepen aan de oevers bevinden zich buiten de beschermingszone van de primaire waterkering. Er zijn geen oeververlagingen in de directe omgeving van de veerstoep of van de inlaat naar de Linge. Na de verlaging van de bestaande oeverzones komt er direct langs de rivier een strook met zandstrand en natte pioniersvegetatie bij. Deze strook zal enige maanden per jaar inunderen en nat blijven, mede onder invloed van golfslag. De verlaagde oevers zullen via beheerovereenkomsten relatief glad gehouden worden in de zone onder OLR+3,0m, daarboven mag enige riet en ruigte ontstaan.

¹ In het VKA was sprake van circa 0,5 m verspringing per overgangskrib: verlaging van krib 15 is circa 2 m met drie overgangskribben; verlaging van kribben 9 en 36 is circa 1,5 m met twee overgangskribben. In het DO valt er per sectie een overgangskrib weg en wordt de stapgrootte respectievelijk stroomafwaarts van krib 9, stroomopwaarts bij krib 15 en stroomafwaarts van krib 36: circa 0,75, 0,66 en 0,75 m. De precieze kribhoogte is bepaald door lineaire middeling van stroomop- en stroomafwaartse kribhoogten. De tegenover elkaar gelegen krib 10 en krib 37 hebben vervolgens dezelfde gemiddelde waarde gekregen.

2.2 Wijzigingen DO t.o.v. VKA

Zoals gesteld is het DO een uitwerking en optimalisatie van het VKA (SNIP2A fase). Ten opzichte van het VKA zijn er de volgende optimalisaties doorgevoerd:

Kribben:

- Krib 11, 12 en 38² worden niet verlaagd. Dit waren in het VKA overgangskribben. In het VKA werden deze kribben met slechts enkele decimeters verlaagd. De effecten die dit heeft wegen niet op tegen de gevraagde inspanning en kosten.
- De overige overgangskribben (10, 13, 14 en 37) zijn minder verlaagd om de overgang (van niet naar wel verlaagd) nog steeds lineair te laten verlopen met als doel de dwarsstroming niet negatief te beïnvloeden.³
- Kribben 3-10 zijn niet vanaf de insteek in de oever verlaagd, maar vanaf enkele (tot maximaal 10) meters richting de rivier omwille van draagvlak en beperken van planschade. De kribwortels van een deel van deze kribben zijn bij perceelhouders in gebruik. Door de verschuiving is er geen ingreep binnen deze percelen nodig.
- Bij krib 4 werd in het VKA een deel van de krib niet verlaagd om het lichtbaken te behouden. Dit gedeelte van krib 4 wordt in het DO wél verlaagd.

Gestreckte oevers:

- Oever 1, linkeroever, rkm 868,6 – 869,3
Deze is in beheer van Staatsbosbeheer. Oever 1 is aan stroomafwaartse zijde minder verlaagd en gestroomlijnd omwille van het beperken van de dwarsstroming. De insteeklijn van oever 1 wordt aan de benedenstroomse zijde onder een 1:3 hoek teruggebracht naar de vaarweg. Hiermee worden onwenselijke dwarsstromen in het kanaal voorkomen en is de oever minder vatbaar voor de vorming van ijsdammen.
- Oever 2, rechteroever, rkm 869,4 – 869,5, totale lengte 90 m
De ingreep op oever 2 heeft primair tot doel de extra stroming over de kribben 13 t/m 18 op een geleidelijke wijze terug de hoofdgeul in te sturen zodat dit niet tot onwenselijke dwarsstroming leidt. Oever 2 wordt echter ook frequent als laad- en loswal gebruikt. Deze functionaliteit dient met ongewijzigde beschikbaarheid te worden gehandhaafd. De huidige aanmeervoorziening zorgt echter voor een ongewenst situatie doordat aangemeerde schepen in de vaargeul liggen. Door de te verlagen oever lokaal terug te leggen en krib 19 te versmallen ontstaat ruimte om het ponton in de richting van de oever te verschuiven en schepen uit de vaargeul te halen. Met deze maatwerkoplossing wordt bereikt:
 - Het beperken van dwarsstromingen tot onder de norm of gelijk aan de referentiesituatie;
 - Het functioneel houden met gelijke inundatiefrequentie van een laad- en losvoorziening;
 - Het stroomlijnen van de oever ter voorkoming van de vorming van ijsdammen;
 - Het verleggen van het ponton richting de rechteroever zodat aangemeerde schepen buiten de vaarweg komen te liggen.

² Zie Figuur 2-1, krib 11 ligt stroomafwaarts van krib 10, krib 12 stroomopwaarts van krib 13 en krib 38 stroomafwaarts van krib 37.

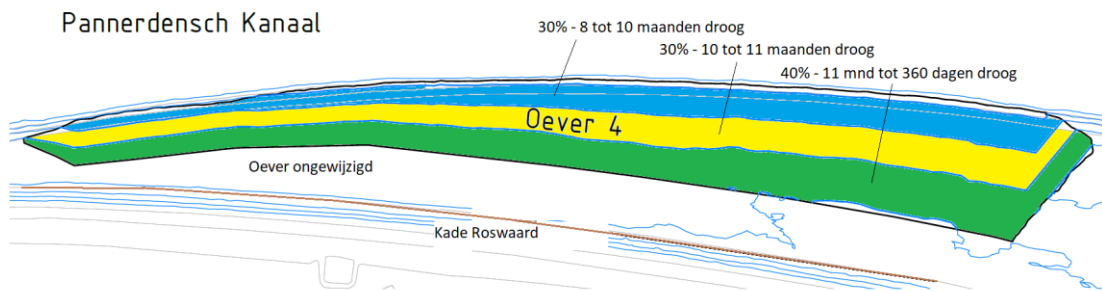
³ In het VKA is sprake van circa 0,5 m verspringing per overgangskrib: verlaging van krib 15 is circa 2 m met drie overgangskribben; verlaging van kribben 9 en 36 is circa 1,5 m met twee overgangskribben. In het DO valt er per sectie een overgangskrib weg en wordt de stapgrootte respectievelijk stroomafwaarts van krib 9, stroomopwaarts bij krib 15 en stroomafwaarts van krib 36: circa 0,75, 0,66 en 0,75 m. De precieze kribhoogte is bepaald door lineaire middeling van stroomop- en stroomafwaartse kribhoogten. De tegenover elkaar gelegen krib 10 en krib 37 hebben vervolgens dezelfde gemiddelde waarde gekregen.

Figuur 2-2 geeft een impressie van de maatwerkoplossing voor oever 2. De oplossing brengt de oever ter plekke van het ponton terug. Deze ingreep reikt tot aan de waterbodem omwille van de benodigde diepgang van het ponton en aanmerende schepen. Daarbij is voor het lossend schip een bodemniveau van OLR-2,8m aangehouden te worden.



Figuur 2-2: Impressie van maatwerk inrichting oever 2 met laad- en losvoorziening

- Oever 3, rechteroever, rkm 870,7 – 871,1, totale lengte 436 m.
Het bovenstroomse smalle deel van oever 3 is niet verlaagd omwille van beheerbaarheid van de smalle oevers en de leikade. Doordat deze oever in het VKA een smallere strook van verlaging betrof was er een steiler talud noodzakelijk, hetgeen een hogere mate van erosiegevoeligheid met zich meebracht. Dit zou nadelig kunnen zijn voor de stabiliteit van de leikade en zou mogelijk extra beheer vergen. Om deze nadelige effecten te voorkomen is de lengte van de oeerverlaging van oever 3 met circa 400 m ingekort in het DO.
- Oever 4, linkeroever, rkm 870,6 – 871,2, totale lengte 542 m.
Deze oever is als enige oever in particulier eigendom. De oever wordt gebruikt als weiland om paarden te weiden en voor de productie van hooi. Om de afname van bruikbare akker te beperken is de voorgenomen verlaging van de oever in het VKA versmald met circa 20 meter. Aan de benedenstroomse zijde van de oever stopt de verlaging hierdoor circa 30 meter eerder dan in het VKA. Hierdoor blijft ruim een hectare extra akkergrond onaangetast. De verlaagde oever wordt voorzien van een nieuwe leeflaag zodat deze weer inzetbaar is als productiegrasland.
In de huidige situatie staat de gehele oever jaarlijks 8 maanden geheel droog. De waterstand ligt dan rond of onder de steenbekleding. Ruim 90% van de oever staat in de huidige situatie gemiddeld 350 dagen per jaar droog. Gemiddeld staat de hele oever 5 dagen per jaar geheel onder water.
In de nieuwe situatie staat de gehele oever jaarlijks 8 maanden geheel droog. 30% van het oppervlak van de verlaagde oever staat tussen 8 en 10 maanden droog. 30% van het oppervlak van de verlaagde oever staat tussen de 10 en 11 maanden droog. De resterende 40% van de verlaagde oever staat tussen de 11 maanden en 360 dagen van het jaar droog. Gemiddeld staat de hele oever 5 dagen per jaar geheel onder water. Voor een visualisatie, zie Figuur 2-3.



Figuur 2-3: Verwachte inundatiefrequentie verlaagde oever 4 op basis van waterstandsstatistieken

- Oever 5, rechteroever, rkm 871,3 – 871,8, totale lengte 545 m. Deze oever bestaat uit een viertal verlande/opgevolde kribvakken tussen krib 21 en 25. Na verlaging stroomt water over de oever heen. Het wordt niet teruggeleid naar de hoofdgeul waardoor het aansluitende kribvak 25 – 26 aanmerkelijk hogere stroomsnelheden (tot 0,45 m/s) te voorduren krijgt. Dit kribvak, wat nu onverdedigd is, wordt voorzien steenbekleding om erosie richting de leikade te voorkomen.

Overig

- Erosiekuilen ter plaatse van de cruiseterminal worden gevuld met erosie bestendig materiaal tot een hoogte van 2,5 m +NAP. De rivier is hier qua dwarsdoorsnede erg ruim en in de aanzanding in de hoofdgeul ter plaatse wordt in de toekomst mogelijkerwijs een probleem. Met het opvullen van de erosiegaten wordt een vermindering van de aanzanding in de naastgelegen hoofdgeul beoogd.

Ruwheid

Voor de ruwheid is in de basis uitgegaan van het vegetatiebeeld zoals dat in het VKA is opgesteld en in de beheervisie VKA is vastgesteld (RHDHV, 2017). Dat betekent dat er ook op de plekken waar geen oeververlaging plaatsvindt een ingreep in de ruwheid wordt gedaan, de ruwheidsverlaging is immers een essentieel onderdeel van de ingreep. De kaart – overigens ten behoeve van het DO helemaal opnieuw afgeleid - is weergegeven in Figuur 2-4.

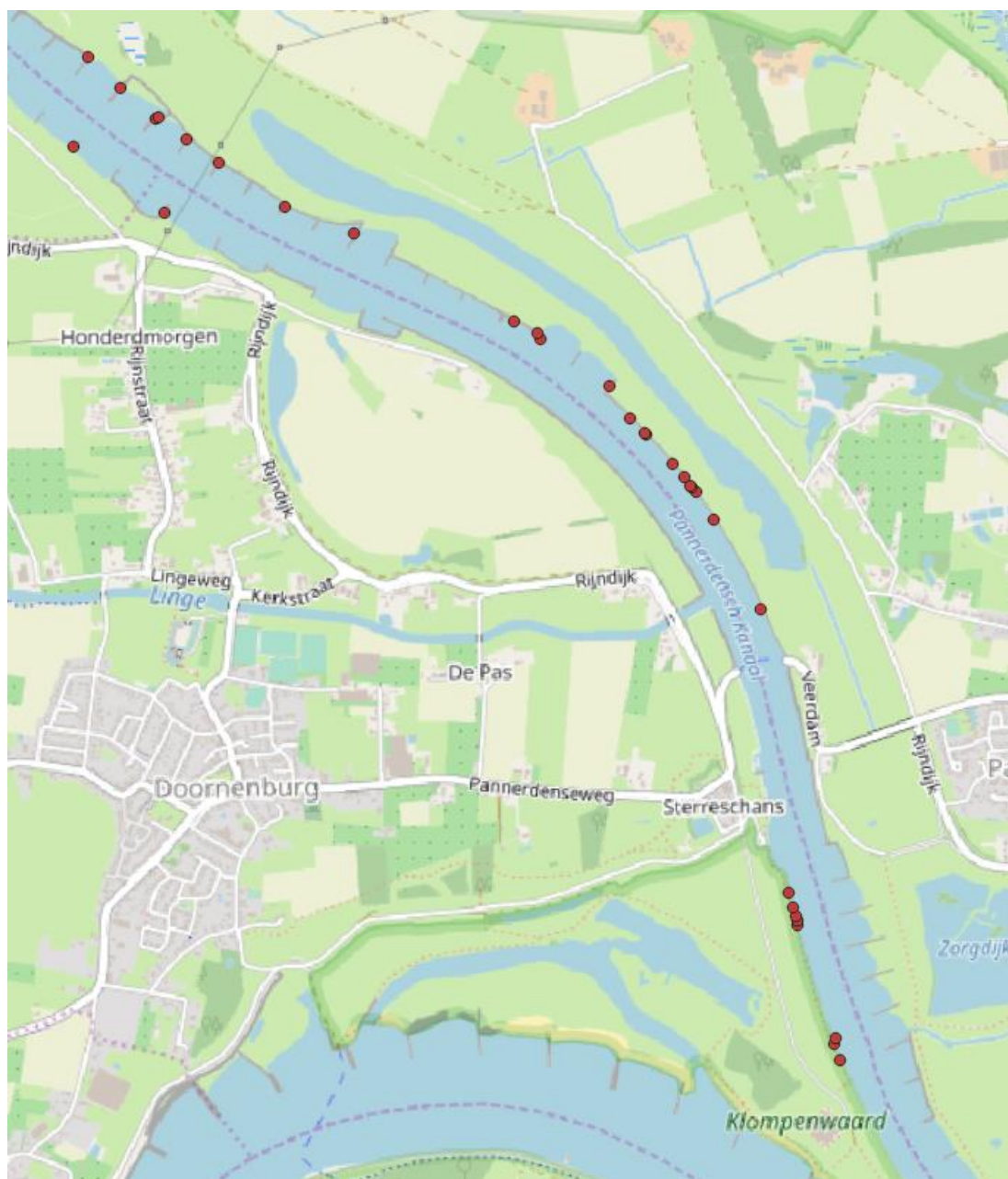
De interventiewaarde voor de vegetatie op de verlaagde oever bestaat uit een combinatie van de vegetatieklassen 'gras en akker' op de lagere delen (onder circa 10 m+NAP) en 'riet en ruigte' op de hogere delen en langs de rivier een verharde laag om oevererosie te voorkomen. Oever 4 bestaat geheel uit de klasse 'gras en akker' vanwege het agrarisch beheer op deze oever. De begroeiing op de oeverlijn (struweel en ruigte) wordt verwijderd om de verlaging te kunnen uitvoeren.

De steenbekleding langs het lage deel van de gestrekte oevers is opgenomen in het ruwheidsbeeld. Ten opzichte van het VKA is er een 5 m bredere zone aan steenbestorting langs de gestrekte verlaagde oevers opgenomen.

Daarnaast worden als onderdeel van het nieuwe vegetatieveld 32 bomen verwijderd, zie Figuur 2-5. Deze bomen staan op de te verlagen delen of staan op een krib die verlaagd wordt.



Figuur 2-4: Kaart met de ecotopen ruwheidskaart uit Baseline, zoals gebruikt in het vegetatieveld van het DO.



Figuur 2-5: Kaart met de te verwijderen bomen als onderdeel van het nieuwe vegetatieveld van het DO.

3 OVERZICHT SIMULATIES

De rivierkundige beoordeling van het ontwerp is voor een groot deel gebaseerd op modelresultaten. In deze paragraaf worden de verschillende modellen en de uitgangspunten en diverse randvoorwaarden besproken.

3.1 Opzetten referentie Baseline

Voor de diverse modellen wordt met Baseline de referentiesituatie up to date gemaakt. Dit gebeurt met 30 door RWS-ON geleverde maatregelen (als onderdeel van de uitlevering van 16 mei 2019), die de stroming ter plaatse van het projectgebied beïnvloeden (een belangrijke aanpassing in deze is de kadeverlaging Scherpekamp):

- 10 maatregelen bevatten noodzakelijke verbeteringen en actualisaties van de referentie-schematisatie.
- 2 maatregelen bevatten de Stroomlijnuitwerking voor de Huissensche waarden (DO) en Loowaard (as built).
- 1 maatregel bevat de asbuilt-situatie van de verlaging van de kade naar Scherpekamp
- 17 maatregelen betreffen verleende vergunningen.

De lijst met toegepaste maatregelen is opgenomen als Bijlage B.

3.2 Opzetten DO Baseline

De Baselinemaatregel pk_do01_a3 is apart aan Rijkswaterstaat opgeleverd ter controle. De maatregel is gebaseerd op het 3D ontwerp zoals dat vanuit het project is aangeleverd. De technische beschrijving van de maatregel (metadata) is opgenomen in Bijlage C.

3.3 Algemene uitgangspunten

Conform het Plan van Aanpak (Bijlage A) is gewerkt met de volgende uitgangspunten:

- OLA 2012, hierin is geen update voorzien binnen dit project
- Betrekkingslijnen 2018;
- Waterstandsduurlijn 2018;
- Beleidsmatige afvoerverdeling bij een Boven-Rijn afvoer van 16000 m³/s:
 - Boven-Rijn: 16000 m³/s
 - Waal: 10165 m³/s
 - Nederrijn-Lek: 3380⁴ m³/s
 - IJssel: 2461⁴ m³/s
- Laterale debieten (bijvoorbeeld Kandia) zoals in de door RWS-ON uitgeleverde sommen;
- Vaargeul van 80 m breed zoals gespecificeerd door RWS-ON (op 22 januari 2020), verkregen via de website voor Actuele WaterdiepteKaarten RWS-ON. Deze is ook in SNIP2A gebruikt;
- Voor de definitie vaarweg is ook uitgegaan van de informatie zoals beschikbaar op de website voor Actuele WaterdiepteKaarten RWS-ON.

3.4 Software

De volgende versies van regelgeving en software (conform Plan van Aanpak, Bijlage A) zijn toegepast:

- RBK versie 5.0, versie 4 juni 2019;

⁴ Deze afvoer is inclusief het debiet van 6 m³/s van gemaal Kandia (gemaal Kandia loost op het Pannerdensch Kanaal)

- Baseline -versie 5.3.3;
Omdat dit een nieuwere versie is dan de versie waarmee de referentie-schematisatie is opgebouwd, was het noodzakelijk om de afgeleide bestanden (hoogtemodel, overlaten, ruwheidspunten, -lijnen en -vlakken) opnieuw af te leiden voor de referentie-schematisatie en naar WAQUA te vertalen. Er kunnen namelijk verschillen optreden tussen WAQUA-bestanden die met opeenvolgende Baseline-versies zijn afgeleid.
- GIS-versie ArcGIS 10.3.1 of ArcGIS 10.4 of 10.5;
- WAQUA-versie SIMONA2017 patch 7, april 2019;
- WAQMORF-versie is meegeleverd met SIMONA2017;
- Delft3D-4-DVR;
- Modelschematisatie Delft3D simulaties: delft3d_4_dvr-rijn-2015-v1;
- WAQUA schematisatie Rijn-beno15_5_20m_nrlk-v2 en Rijn-beno15_5_20m_splp-v2.

3.5 Splitsingspuntenmodel (SPLP)

3.5.1 Algemeen

Er is gebruik gemaakt van deelmodel waqua-rijn-beno15_5_20m_splp_v2. Dit model kent een vrije afvoerverdeling over de Pannerdensch Kop en de IJsselkop en is gestuurd door Qh relaties op de benedenstroomse takken en inkomend debiet op de Boven-Rijn. De vrije afvoerverdeling betekent dat dit model specifiek geschikt is om het totale effect van het ontwerp van KOP en de gewijzigde instelling van het regelwerk Pannerden in beeld te brengen. Dit inzicht is relevant omdat de ingrepen invloed hebben op de afvoerverdeling op de splitsingspunten. Dit is dan ook het model waarmee vrijwel de gehele effectbepaling (op beoordeling van de taakstelling na) in beeld is gebracht. De gewijzigde instelling van het regelwerk is daarmee onderdeel van de rekenmethode waarmee de meeste hydraulische effecten in deze opdracht zijn bepaald.

3.5.2 Regelwerk Pannerden

Met het regelwerk is de hoogwater-afvoerverdeling gestuurd tussen de Waal en het Pannerdensch Kanaal. Voor zowel de referentie als het DO is een nieuwe instelling afgeleid. Dit om de modelresultaten zo dicht mogelijk bij de beleidsmatige afspraak van afvoerverdeling bij 16000 m³/s Lobith afvoer te laten komen. De beleidsmatige afspraak is dat er bij 16000 m³/s Lobith afvoer, 10165 m³/s naar de Waal gaat en 5835 m³/s naar het Pannerdensch kanaal.

Er is een controlesimulatie uitgevoerd met de modelreferentie van het splitsingspuntenmodel met vrije afvoerverdeling, waarin de 30 meegeleverde Baseline maatregelen zijn gemixt. Uit deze controle is gebleken dat de afvoerverdeling bij 16000 m³/s Lobith (te veel) afwijkt van de beleidsmatige afvoerverdeling.

De DO situatie heeft als doel de waterstand op de Boven-Rijn en het Pannerdensch Kanaal te verlagen. Bijkomend effect is dat het Pannerdensch Kanaal meer debiet zal trekken bij afvoeren waarbij de verlaagde kribben en oevers gaan overstromen. Net na realisatie van project KOP moet het regelwerk Pannerden in het veld opnieuw moeten worden ingesteld, waarbij de verwachting is dat er planken kunnen worden teruggeplaatst voor het beperken van het doorstroombare oppervlak in dit regelwerk. Het regelwerk Pannerden komt door deze nieuwe instelling meer in de buurt van het gewenste midden van het regelbereik. In de middenstand is het niveau waarbij het regelwerk Pannerden gaat meestromen circa 14 m+NAP bij een horizontale instelling van het regelwerk.

In het model is met behulp van actieve instelling van het regelwerk de nieuwe theoretische instelling van het regelwerk voor referentie bepaald. Voor het DO is op dezelfde wijze de instelling van het regelwerk bepaald. De resulterende instellingen zijn opgenomen in Tabel 3-1. De instelling die is

bepaald op basis van referentie wordt vanaf hier aangeduid als 'Instelling 1', de instelling die is bepaald op basis van het DO als 'Instelling 2'.

Tabel 3-1: Aangeleverd en bepaalde instellingen voor Regelwerk Pannerden.

Instelling nummer	Instelling	Bepaald op basis van
Instelling 0	12,8200 m + NAP	Zoals uitgeleverd, wordt niet gebruikt.
Instelling 1	13,0326 m + NAP	Bepaald op basis van REF
Instelling 2	13,8291 m + NAP	Bepaald op basis van DO

De debietsverdeling die het resultaat zijn van de nieuwe instellingen zijn gepresenteerd Tabel 3-2. In praktijk kan de in deze studie bepaalde theoretische hoogte van het regelwerk Pannerden niet precies worden ingesteld, omdat het regelwerk gestandaardiseerde planken heeft van ca. 5 m x 1 m.

Tabel 3-2: Afvoerverdeling bij 16000 m³/s na iteratieve instelling regelwerk Pannerden. In kolom 2 staat de theoretische hoogte van het instelbare deel van het regelwerk Pannerden, zoals toegepast in WAQUA.

Simulatie	Debiet Lobith	Debiet Waal	Debiet Pannerdensch Kanaal
SPLP-REF en Instelling 1	16000 m ³ /s	10165 m ³ /s	5835 m ³ /s
SPLP-DO en Instelling 2	16000 m ³ /s	10164 m ³ /s	5836 m ³ /s

Om de invloed van alleen KOP op de afvoerverdeling in kaart te brengen is ook een aanvullende simulatie van SPLP met 16000 m³/s uitgevoerd met instelling 1.

3.5.3

Gesimuleerde debieten

Er wordt in deze studie in WAQUA uitsluitend gerekend met stationaire afvoeren. Voor simulaties met SPLP worden de volgende afvoeren doorgerekend, zie Tabel 3-3.

NB1: bij ieder beoordelingscriterium worden alleen de relevante debieten gebruikt.

NB2: enkele debieten zijn afhankelijk van de OLR, en daarom gebaseerd op de OLA (2012). Waar nodig is uitgegaan van de laatste betrekkinglijnen (2018).

Tabel 3-3: Gebruikte afvoeren in de simulaties met het splitsingspuntenmodel.

Debiet bij Lobith (m ³ /s)	REF met instelling 1	DO met instelling 2	DO met instelling 1	DO met instelling 2 en met worst case erosie bodem	Op basis van initieel veld
1020	V	V			1020
1400	V	V			1020
2000	V	V			2000
3000	V	V			2000
4000	V	V			4000
6000	V	V			6000
8000	V	V			8000
10000	V	V			10000
12000	V	V			12000
16000	V	V	V	V	16000

In eerste instantie was nog een aparte te berekenen afvoer voorzien waarbij de verlaagde kribben net overstromen. Verwachting was dat deze ergens tussen de 2000 en 3000 m³/s zou liggen, 2000 m³/s hoort immers volgens de betrekkingen 2018 bij de een waterstand van circa OLR+1.70m, precies de hoogte van de verlaagde kribben. In het model zijn de waterstanden bij 2000 m³/s echter hoger (dan aangeduid in de tabel betrekkingen 2018) en stromen de verlaagde kribben bij 2000 m³/s net mee. Het is dus niet nodig voor deze opgave een aparte afvoer door te rekenen.

Tabel 3-3 bevat een simulatie met de 'worst case erosie' bodem. Het betreft een simulatie met aangepaste bodem om een worst case erosie van verlaagde oevers en kribvakken te simuleren. Zie paragraaf 8.4 voor een verdere uitwerking.

3.6 Nederrijn-Lek model (NRLK)

3.6.1 Algemeen

Er is gebruik gemaakt van deelmodel waqua-rijn-beno15_5_20m_nrlk-v2. In dit model staat de afvoerverdeling vast, doordat de debieten op de takken (Waal, Nederrijn-Lek en IJssel) hard opgegeven zijn (afhankelijk van de afvoer bij Lobith). Met dit model is de taakstelling beoordeeld, deze is immers gedefinieerd als een effect gegeven een vaste afvoerverdeling. Daarnaast zijn de mogelijke gevolgen van ijsgang beoordeeld met dit model.

3.6.2 Regelwerk Pannerden

Het regelwerk Pannerden heeft geen effect op de debietsverdeling in het Nederrijn-Lek model, die is immers als randvoorwaarde opgelegd. Het heeft echter wel een bepaalde ruwheid en stuurt daarmee de verhouding water door de hoofdgeul en door de uiterwaarden.

Met SPLP (zie paragraaf 3.5.2) zijn twee nieuwe instellingen van het regelwerk afgeleid: instelling 1 ten behoeve van de beleidsmatige afvoerverdeling in de referentie en instelling 2 ten behoeve van een beleidsmatige afvoerverdeling in de DO simulatie. Voor de berekening van de taakstelling is conform opdracht zowel in referentie als in DO gerekend met instelling 1. De taakstelling is bepaald met het rivierkundige model met een vaste afvoerverdeling.

Voor de beoordeling van aspect ijsgang is conform Deltares (2019) met gelijk regelwerk (referentie) en gelijke randvoorwaarden (wederom behorende bij de referentie) gerekend.

3.6.3 Gesimuleerde debieten

Er wordt in deze studie in WAQUA uitsluitend gerekend met stationaire afvoeren. Ten behoeve van de verificatie van de taakstelling is de bijbehorende maatgevende afvoer doorgerekend:

- 16000 m³/s te Lobith

Voor bepaling van een veilige ijsafvoer (zie voor verdere uitleg paragraaf 4.5) zijn met NRLK nog enkele speciale simulaties uitgevoerd (met aangepaste Chézy) met de volgende afvoeren:

- 4000, 8000 en 12000 m³/s te Lobith

Deze afvoeren zijn initieel met het standaard NRLK uitgevoerd. Met behulp van Waqview is hieruit het Chézy veld uitgevoerd. Conform de Deltares (2019) studie is een deel van het zomerbed (stroomafwaarts van de ingreep) verruwd met een factor 1/√2. Zie ook de verdere uitwerking in Bijlage M. Met deze aangepaste ruwheid zijn vervolgens de referentie en het DO simulaties nogmaals uitgevoerd.

Tabel 3-4: Simulaties met NRLK.

Debiet bij Lobith (m ³ /s)	REF Standaard ruwheid (instelling 1)	DO Standaard ruwheid (instelling 1)	REF Aangepaste ruwheid (instelling 1)	DO Aangepaste ruwheid (instelling 1)	Initieel veld
4000	V		V*	V*	4000
8000	V		V*	V*	8000
12000	V		V*	V*	12000
16000	V	V			16000

*) Sommen met het NRLK worden in beginsel 6 dagen doorgerekend, conform uitlevering. Om rekening te houden met een langere inspeelperiode door het aangepaste ruwheidsveld zijn de sommen in de kolommen aangeduid met een *, 12 dagen doorgerekend.

3.6.4 Randvoorwaarden

De debietsverdeling over de takken ligt bij NRLK vast. Voor de 16000 m³/s bij Lobith ligt deze ook beleidsmatig vast en zijn de meegeleverde randvoorwaarden (onttrekkingen op Waal en IJssel) voor het model dus goed.

Voor de 4000 en 8000 m³/s zijn randvoorwaarden met het model meegeleverd. Voor 12000 m³/s te Lobith niet. Deze is op basis van de referentiesituatie in SPLP afgeleid voor de NRLK simulatie voor zowel referentie als DO.

3.7 WAQMORF

WAQMORF is toegepast om op snelle wijze een schatting van het evenwicht erosie/sedimentatie patroon te verkrijgen op basis van WAQUA stroomsnelheid- en waterstandsvelden.

Bij de instellingen van WAQMORF dient aangegeven te worden of de maatregel stroomvoerend is bij 1000 m³/s. Dit is niet het geval, de maatregel wordt stroomvoerend vanaf 2000 m³/s. WAQMORF geeft vervolgens aan dat er gerekend dient te worden met debieten 4000 en 6000 m³/s te Lobith. WAQMORF is verder volgens specificaties toegepast. Zie Bijlage D voor het WAQMORF bestand 'waqmorf.out' met de details van de WAQMORF berekening en de aanpassingslengte.

3.8 DELFT3D

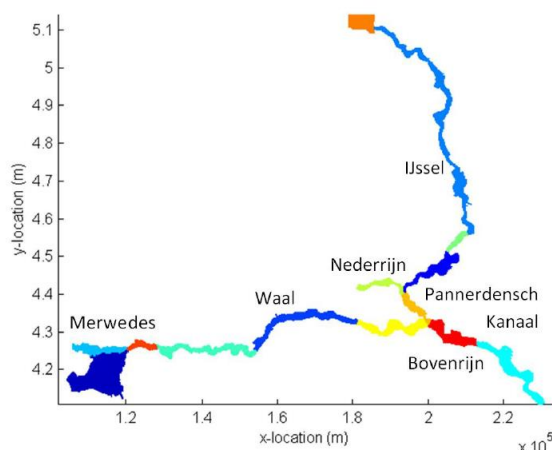
3.8.1 Algemeen

Proces gebaseerde morfologische simulaties worden uitgevoerd in Delft3D met het Duurzame Vaardiepte Rijndelta (DVR) model. Deze modelschematisatie bevat functionaliteiten die niet zijn opgenomen in de release versie van Delft3D. Om deze reden is gebruik gemaakt van een niet officiële Delft3D-4 softwareversie, te weten Delft3D-4-DVR. Voor de aansturen van de morfologische simulaties is SMT (Simulation Management Tool) software toegepast. De modelschematisatie, en modelsoftware is uitgeleverd op het kantoor van Deltares op 17 oktober 2019.

Deltares heeft een memo opgesteld met een samenvatting van de bevindingen over de modelinvoer en modeluitvoer voor een aantoonbare kwaliteitscheck van het Delft3D model. De kwaliteitscontrole gaat zuiver over de controle op de berekeningen, en niet over de conclusies op basis van de berekeningen. De kwaliteitscontrole is opgenomen in Bijlage E.

Het model loopt van Xanten (Niederrhein, Duitsland) tot Nederrijn Rijnkilometer 894,0 (Driel⁵), Beneden Merwede (tot Dordrecht), Nieuwe Merwede (tot Lage Zwaluwe) en IJssel (tot Ketelhaven), zie Figuur 3-1. Het gebied is weergegeven in het Rijks-Driehoeks coördinatenstelsel en het referentievlak is ten opzichte van Normaal Amsterdams Peil (NAP). De bandijk en hoge gronden vormen de grens van het model.

De referentiesituatie is geleverd door Deltares.



Figuur 3-1 Modelgebied Delft3D morfologisch model, kleuren geven de deelmodellen aan.

⁵ Het model loopt tot Driel. Op de modelrand is een afvoer opgelegd, die gerelateerd is aan de afvoer op de Boven-Rijn. Via deze relatie is het stuwbeheer bij Driel indirect in het model opgenomen.

3.8.2 Update met behulp van Baseline schematisatie.

De Delft3D schematisatie is opgebouwd uit dezelfde baseline-rijn-beno15_5-v2 (geüpdatet via het inmixen van 30 Baseline maatregelen) als de WAQUA simulaties. Deze Baseline schematisatie dekt niet het hele model. In overleg met Deltares is besloten dat alleen deelmodellen waar het gehele domein worden gedekt door de Baseline schematisatie worden geüpdatet. Dit betekent dat het Duitse deel van de Boven-Rijn (BR0, de Niederrhein) niet is geüpdatet en het twee Merwede modellen (MW01 en MW02) en de Biesbosch (MAM) ook niet. In die gebieden is de uitgeleverde Delft3D schematisatie toegepast.

In de Niederrhein is geen nieuwe informatie beschikbaar. Het deel dat overlapt tussen Baseline en het uitgeleverde Delft3D model laat dan ook geen verschillen zien. Deltares heeft aangegeven dat het gebruik van de Delft3D schematisatie in de Merwede de effecten van KOP niet zal beïnvloeden. Deze werkwijze is afgestemd met en akkoord bevonden door Rijkswaterstaat.

De Baseline ruwheden in het zomerbed bevatten abrupte overgangen. In een morfologische berekening leidt dat tot een discontinuïteit in sedimenttransport. Daarom is de ruwheid in het zomerbed over een overgangszone van tien rekencellen gladgestreken, conform specificaties van Deltares.

3.8.3 Kalibratie voor effect ingreep

Er is vanuit gegaan dat het Delft3D-DVR model goed functioneert en goed gekalibreerd is voor zijn doel. De verschillen in software, modelrooster en doel van het model leiden tot verschillen in de waterbeweging in vergelijking met de WAQUA resultaten. De absolute verschillen worden geaccepteerd, de impact van de ingreep (krib- en oeververlaging) dient wel zo goed mogelijk te zijn. Hier is dan ook op gekalibreerd.

De effecten van de ingreep zijn vergeleken tussen WAQUA en Delft3D, zie Bijlage G. Het is gebleken dat de oeververlaging een gelijkwaardig effect heeft in WAQUA en Delft3D. Kribverlagingen hebben minder effect in Delft3D. Dit wordt voornamelijk veroorzaakt door een ander rooster in Delft3D dat een factor 3 groter is (in beide richtingen) en waarbij de roosterlijnen de belijning van het zomerbed beter volgen. Gevolg daarvan is dat de lokale bodemligging rond kribben in Delft3D hoger is dan in WAQUA. In Delft3D valt daardoor een groter deel van de krib onder de oever, een verlaging van de krib heeft daarmee minder hydraulisch effect in Delft3D in vergelijking tot WAQUA.

De ingreep is gekalibreerd door de kribben in Delft3D extra te verlagen met 40 cm en de kribvakken te vergladden door de ruwheidsklasse water aan te nemen, zie wederom Bijlage G.

De kalibratie leidt voor de beschouwde hogere debieten (3824 en 6152 m³/s Lobith) tot een goede match tussen het hydraulische effect van het DO ten opzichte van de referentie in Delft3D en WAQUA. Bij 2250 m³/s is de overeenkomst minder goed. In Bijlage F is toegelicht dat zowel WAQUA als Delft3D bij deze afvoer dus tot op zekere hoogte onzekere (en waarschijnlijk onrealistische) effecten van de maatregel laten zien. Deze effecten zijn in WAQUA groter dan in Delft3D. Het is dan ook niet relevant om te trachten deze effecten in Delft3D kwantitatief te reproduceren. De onzekere of onrealistische effecten zoals Delft3D die bij 2250 m³/s laat zien zijn overigens een orde kleiner dan de effecten bij 2250 m³/s van aanzanding (bij hogere afvoeren) zoals die gedurende de simulaties ontstaan (zie bijvoorbeeld Fig. H-5 in de bijlage). De eerste zitten een goede effectbepaling dan ook niet in de weg.

3.8.4 Baggerroutine

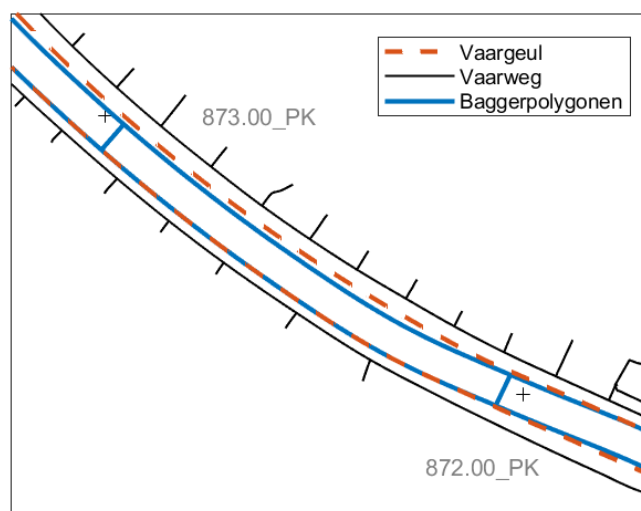
In het Delft3D model is een bagger- en stortroutine opgenomen. Bij de afvoeren 1203, 1635 en 2250 m³/s wordt de baggerroutine geactiveerd. De instellingen van de baggerroutine zijn te zien in Tabel 3-5. De sedimentsuppleties in de Boven-Rijn in 2016 en 2019 zijn (al als onderdeel van de uitlevering van het model door Deltares) opgenomen in de baggerroutine. Hiermee wordt de referentiesituatie zo goed mogelijk weergegeven door het model. De afvoer 1020 m³/s (OLA) wordt gebruikt om het OLR vlak af te leiden, en daarom slechts korte tijd gesimuleerd. Tijdens deze simulatie is het model niet morfologisch actief en er wordt dan ook niet gebaggerd bij deze afvoer.

Tabel 3-5: Instellingen van de bagger- en stort routine in Delft3D

Riviertak	Minimale diepte	Minimale diepte voor storten
Boven-Rijn, Waal, Pannerdensch Kanaal, Nederrijn-Lek (IJsselkop-Driel)	OLR-2.80 m	OLR-4.0 m
Nederrijn-Lek (Driel-Hagestein)	OLR-3.50 m	OLR-4.9 m
IJssel	OLR-2.50 m	OLR-3.5 m

Tijdens de modelsimulaties van 40 jaar berekent het model om de 5 jaar een update van het OLR vlak op basis van de morfologische ontwikkelingen en een initieel vlak. De ontwikkeling van het OLR vlak tijdens de simulatie is te zien in Sectie 8.2. Op basis van het OLR vlak worden in de opvolgende jaren de baggerhoeveelheden in het model bepaald. De instellingen van de baggermodule zijn – voor zover hier niet genoemd – ongewijzigd ten opzichte van de uitlevering.

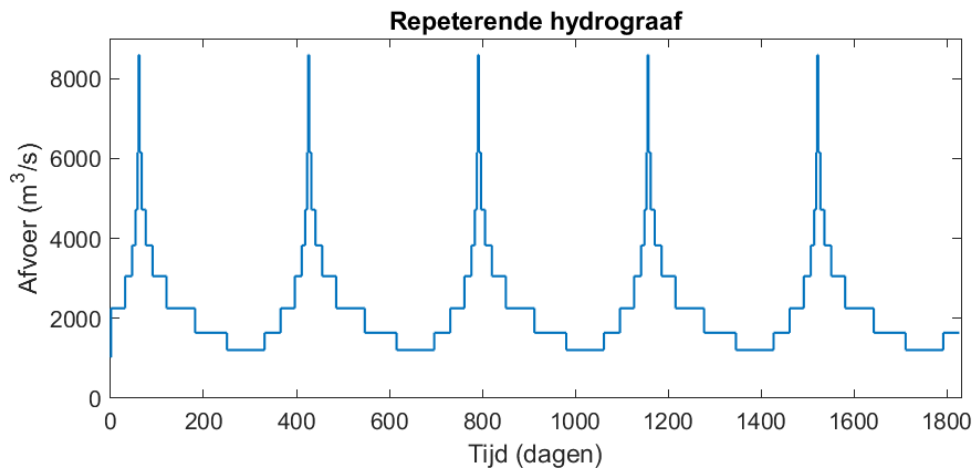
De polygonen die gebruikt worden voor het op diepte houden van de vaargeul in Delft3D – zoals uitgeleverd door Deltares – beschrijven net een ander gebied dan de vaargeul zoals die in deze rapportage wordt gebruikt (vaargeul van 80 m breed zoals gespecificeerd door RWS-ON (op 22 januari 2020, verkregen via de website voor Actuele WaterdiepteKaarten RWS-ON)), zie Figuur 3-2. In de praktijk betekent dit er in de binnenbochten minder wordt gebaggerd. Hierop is bij de presentatie van de resulterende baggervolumes in Hoofdstuk 6 ingegaan en voor gecorrigeerd.



Figuur 3-2: Ligging van de vaargeul, vaarweg en de in Delft3D gedefinieerde baggerpolygoenen.

3.8.5 Randvoorwaarden

De morfologische simulaties zijn uitgevoerd met een jaarlijks repeterende standaard hydrograaf, bevattende de afvoeren bij Lobith: 1020, 1203, 1635, 2250, 3053, 3824, 4717, 6151, en 8592 m³/s, zie Figuur 3-3. De morfologie is voor een periode van 40 jaar gesimuleerd.



Figuur 3-3: Jaarlijks repeterende hydrograaf, hier zijn vijf jaren afgebeeld.

Er is geen afnemende sedimenttoevoer in de bovenstroomse randvoorwaarde en onttrekking van sediment of dalende waterstand op de benedenstroomse randen opgelegd om de autonome bodemdaling te forceren. Deze daling volgt uit het gedrag van het model zelf. Effecten hierop door de ingreep kunnen dan ook vrijelijk ontstaan.

3.8.6 Inspelen

Conform aanwijzingen van Deltares is het model eerst vijf jaar ingespeeld met de referentiesituatie zonder baggeren. Daarna zijn de bodem en sedimentsamenstelling overgezet naar de invoer van de simulaties van 40 jaar. Alle berekeningen zijn herstart vanaf die ingespeelde situatie. De inspeelperiode van vijf jaar is door Deltares gecontroleerd en als voldoende lang beschouwd.

3.8.7 Doorgerekende scenario's

Er is gerekend met vier verschillende scenario's. Zowel de referentiesituatie als de situatie met DO is twee keer gesimuleerd:

- A. Referentie met baggeronderhoud
- B. DO met baggeronderhoud
- C. Referentie zonder baggeronderhoud
- D. DO zonder baggeronderhoud

Het effect van project KOP is B – A met baggeronderhoud en D - C zonder baggeronderhoud.

Ter controle van de vereiste optimalisatie in de MIRT3 fase t.o.v. de SNIP2A fase (antwoord op de vraag of DO een reductie in morfologisch effect oplevert t.o.v. het VKA⁶) is ook een simulatie van het VKA doorgerekend:

- E. VKA met baggeronderhoud.

⁶ Dit wordt bekeken in paragraaf 6.2 door het absolute baggervolume in geval van A (referentie) te vergelijken met B (DO) en E (VKA).

4 HOOGWATERVEILIGHEID

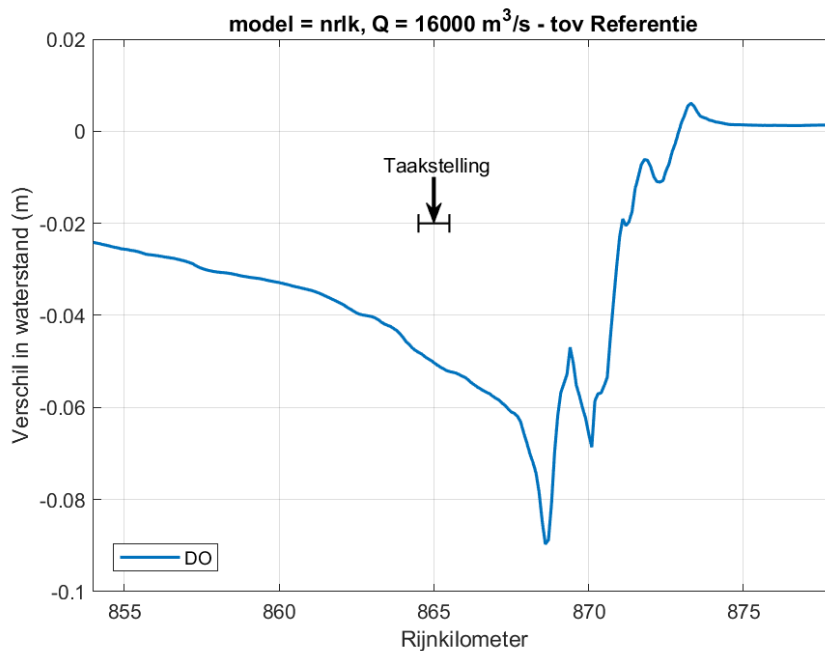
In onderstaande paragrafen wordt het DO ten opzichte van de referentiesituatie getoetst aan de hand van de taakstelling, onderdelen van het RBK 5.0 die betrekking hebben op hoogwaterveiligheid en enkele aanvullende opgaven van de opdrachtgever (OG).

4.1 SYS0001: Taakstelling project

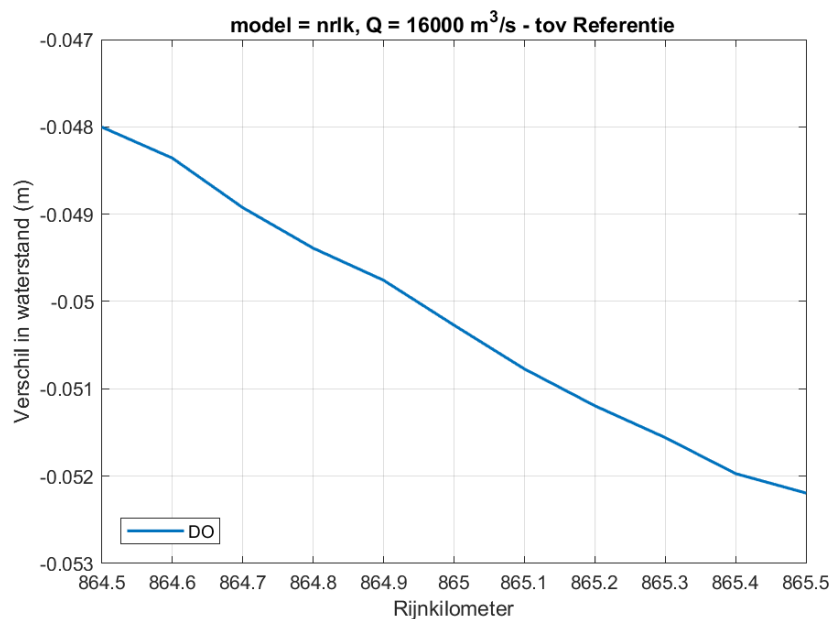
De hydraulische werктаakstelling voor deze maatregelen is een waterstandverlaging van 5 cm bij een afvoer van 16000 m³/s bij Lobith in de rivieras binnen het venster Rijnkilometer 864,5-865,5 op de Boven-Rijn.

Normaal gesproken wordt voor deze analyse de 'last25' methode toegepast waarin gemiddeld wordt over de laatste 25 tijdstappen. In dit project is een kleine golfbeweging aanwezig in de resultaten (orde 3mm) waarvan maar een deel binnen de laatste 25 tijdstappen valt. Er is daarom voor gekozen te middelen over de laatste 100 minuten van de berekening. Dit komt neer op 'last1000', want het uitvoerinterval is 6 seconden.

Figuur 4-1 en Figuur 4-2 geven het effect van DO ten opzichte van de referentie (regelwerk Pannerden voor beide op instelling 1). Binnen het 'venster' is de verlaging 5,22 cm. Op Rijnkilometer 865,0 is de verlaging 5,03 cm. Het ontwerp voldoet met deze waterstandsdeling aan de taakstelling. De maximale waterstandsdeling in de rivieras is circa 9 cm in het Pannerdensch Kanaal bij rkm 869.



Figuur 4-1: Effect van DO in as van de rivier in en rond projectgebied bij 16000 m³/s Lobith op basis van NRLK.



Figuur 4-2: Effect van DO in as van de rivier in en rond projectgebied bij 16000 m³/s Lobith op basis van NRLK, zoom op 'venster' van taakstelling.

4.2 RBK 5.0 1.1: MHW effect as rivier

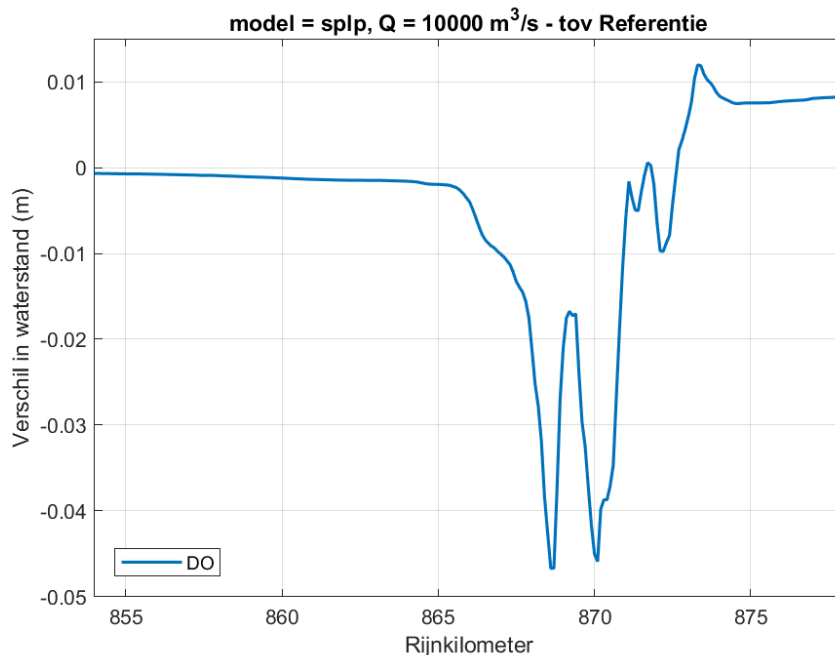
De effecten van het ontwerp op de waterstanden in de rivier-as zijn ook op basis van SPLP met 16000 m³/s en 10000 m³/s inzichtelijk gemaakt. Dit model beschrijft het beste de werkelijke situatie na aanleg waarin ook de instelling van het regelwerk Pannerden is aangepast. Figuur 4-3 geeft het effect in de as van de rivier bij 16000 m³/s bij Lobith. Gegeven de omvang van de ingreep is aanvullend een tweede toets op de hoogwaterveiligheid uitgevoerd met SPLP bij een lager afvoerniveau, namelijk 10000 m³/s, zie Figuur 4-4. Tabellen met waterstanden bij beide afvoeren per rivierkilometer in de as van de rivier zijn ook opgenomen in Bijlage O.



Figuur 4-3: Effect van DO in as van de rivier in en rond projectgebied bij 16000 m³/s Lobith op basis van SPLP. Maximale effect is circa 5mm waterstandsopstuwung

De norm in het RBK is in beginsel geen waterstandsverhoging. Het wordt duidelijk dat het project (inclusief aanpassing van het regelwerk) een waterstandsverhoging in de as van de rivier veroorzaakt van maximaal 5 mm. Het is niet verwonderlijk dat de ingreep geen groot (positief of negatief) effect heeft in SPLP, aangezien het effect van het project door het regelwerk juist moet worden gecompenseerd om debietsverdeling bij 16000 m³/s constant te houden.

Figuur 4-4 geeft het effect in de as van de rivier voor 10000 m³/s. Daar blijft de waterstandsverhoging in de rivier-as beperkt tot 12 mm.

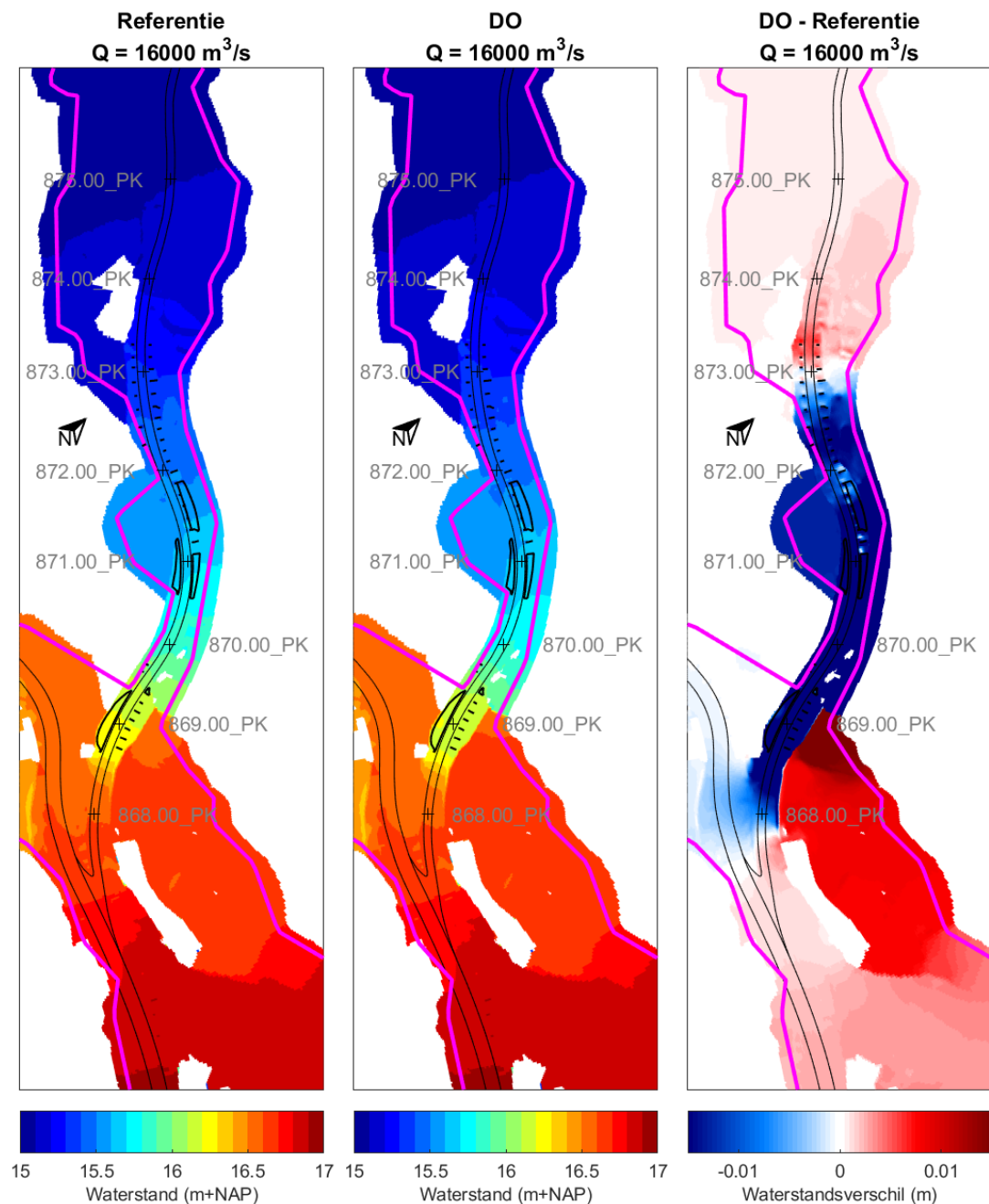


Figuur 4-4: Effect van DO in as van de rivier in en rond projectgebied bij 10000 m³/s Lobith op basis van SPLP. Maximale effect is ca 12mm waterstandsopstuwing.

4.3 RBK 5.0 1.2: MHW effect buiten as rivier

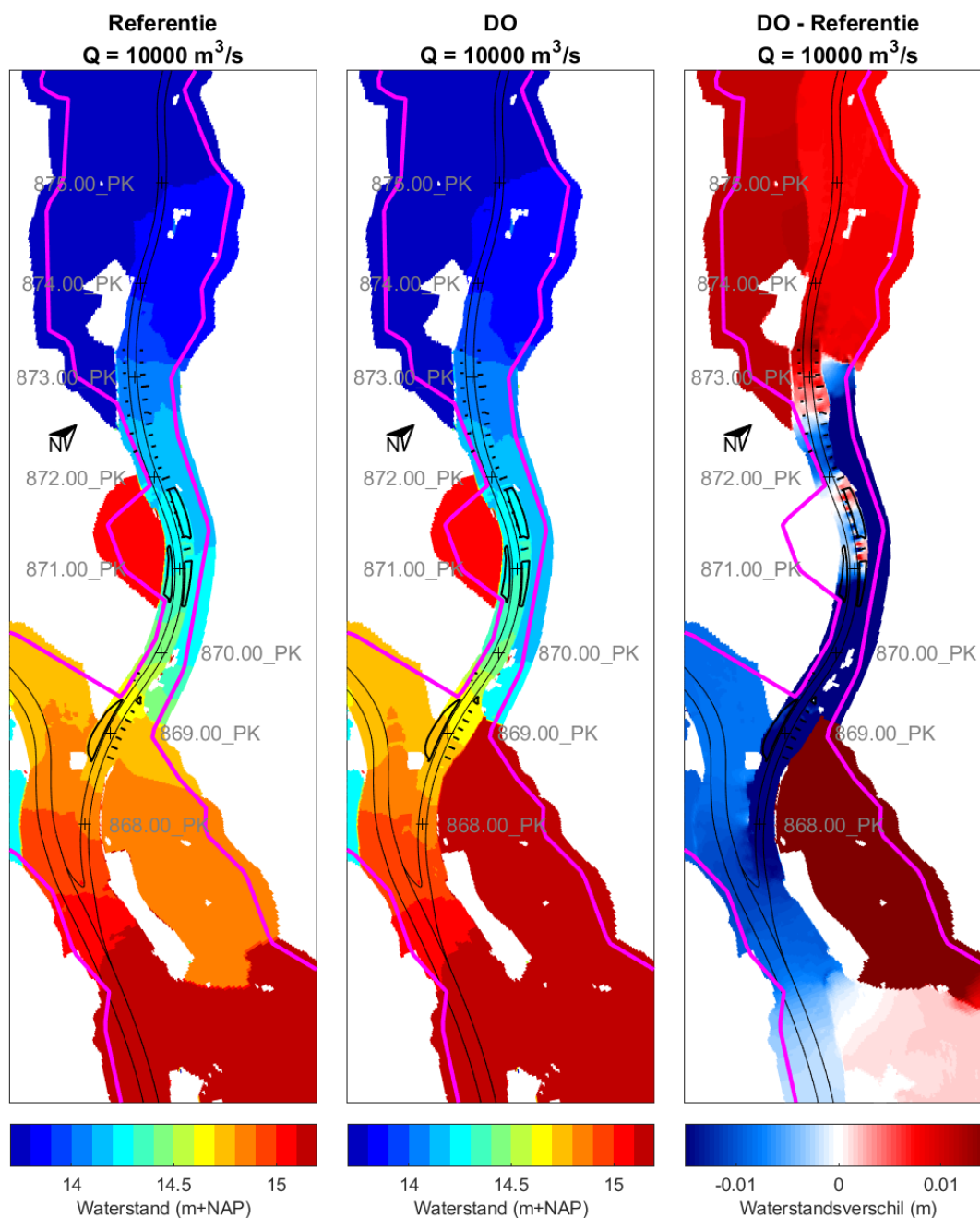
De effecten van het ontwerp op de waterstanden langs de bandijken zijn op basis van SPLP met 16000 m³/s en 10000 m³/s te Lobith inzichtelijk gemaakt. Dit model beschrijft het beste de werkelijke situatie na aanleg, waarin ook de instelling van het regelwerk Pannerden is aangepast. Figuur 4-5 geeft het ruimtelijk effect bij 16000 m³/s en Figuur 4-6 bij 10000 m³/s. Bij 16000 m³/s is duidelijk te zien dat stroomafwaarts van de ingreep het effect vrijwel 0 is. Dit is verklaarbaar doordat door het opnieuw ingestelde regelwerk Pannerden de debietsverdeling bij de Pannerdensche Kop gelijk wordt gehouden aan de verdeling zonder de ingreep. Ter plaatse van de maatregel en benedenstrooms van het regelwerk is sprake van een waterstandsval door de verruiming van de rivier. Stroomopwaarts van de ingreep is uiteindelijk een stijging van de waterstand te zien, veroorzaakt door het opnieuw ingestelde regelwerk, bij 10000 m³/s is deze opstuwing er niet.

Figuur 4-5 toont een steile gradiënt van de waterstand tussen de Lobberdensche Waard (de uiterwaard stroomopwaarts van het regelwerk) en de hoofdgeul van het Pannerdensch Kanaal van bijna een meter. Dit is realistisch het effect van de daar gelegen zomerdijk. Het deel noordelijk van de zorgdijk heeft een hoogte van 16,4 m+NAP en stroomt bij zowel 16000 m³/s als 10000 m³/s niet over (zie Figuur 4-6 en Bijlage J). Het deel zuidelijk van de zorgdijk (langs de Lobberdensche Waard) heeft een hoogte van 15,1 m+NAP en stroomt bij 16000 m³/s wel over, maar bij 10000 m³/s niet. De hoge zomerdijk vormt hier een barrière tussen de uiterwaard en de hoofdgeul.



Figuur 4-5: MHW effect bij $16000 \text{ m}^3/\text{s}$ Lobith op basis van SPLP. De dikke magenta lijnen weergeven de dijkringen.

Figuur 4-6 geeft dezelfde figuur, maar nu voor een afvoer van $10000 \text{ m}^3/\text{s}$. Het project KOP leidt hier wel tot een afvoeraanpassing (die niet door het regelwerk kan worden gecompenseerd, dat is immers afgeregeld op $16000 \text{ m}^3/\text{s}$). Het Pannerdensch Kanaal trekt iets meer debiet waardoor de waterstand na de ingreep (en verruiming) stijgt, de Waal krijgt minder debiet waardoor de waterstand daar licht daalt.

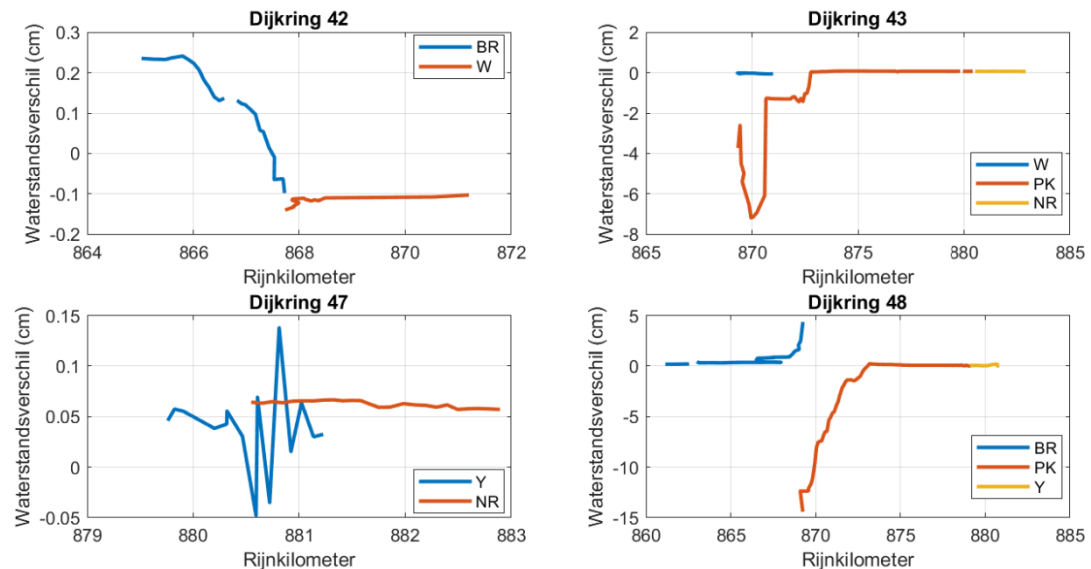


Figuur 4-6: MHW effect bij $10000 \text{ m}^3/\text{s}$ Lobith op basis van SPLP. De dikke magenta lijnen weergeven de dijkringen.



Figuur 4-7: Relevante dijkringen voor project KOP.

Figuur 4-7 geeft de relevante dijkringen voor het project. In het gehele modeldomein is langs de randen van deze dijkringen uitvoer gegenereerd (een deel van deze 'uitvoerlijn' is met magenta weergegeven in Figuur 4-6). Vervolgens is in Figuur 4-8 het effect bij 16000 m³/s langs de verschillende dijkringen geplot, en in Tabel 4-1 per dijkkring het gemiddelde effect, de maximale verhoging en de maximale verlaging gegeven. Doordat niet de gehele dijkkring binnen SPLP valt, zijn de gemiddelde veranderingen niet per definitie representatief.



Figuur 4-8: Waterstandsverschil langs de verschillende dijkringen voor een afvoer van 16000 m³/s in SPLP.

Tabel 4-1: Gemiddeld en maximaal positief en negatief effect per dijkkring voor zover aanwezig in SPLP.

Dijkkring	10000 m ³ /s			16000 m ³ /s		
	Gem (cm)	Max verhoging (cm)	Max verlaging (cm)	Gem (cm)	Max verhoging (cm)	Max verlaging (cm)
42	0,86	-	-1,16	0,08	0,24	-0,14
43	0,82	1,17	-4,48	0,18	0,08	-7,18
47	0,58	0,98	-	0,04	0,14	-0,05
48	3,53	39,46	-13,86	0,71	4,35	-14,42

Het RBK schrijft in beginsel voor dat er geen waterstandverhoging mag zijn langs hoge gronden of de primaire waterkering. Voor dijkringen 42, 43 en 47 blijft de maximum verhoging beperkt tot enkele mm. Ter plekke van het projectgebied (de fysieke locatie van krib- en oeververlaging) treden significante verlagingen op, tot lokaal 14 cm stroomafwaarts van het regelwerk. Stroomopwaarts van het regelwerk treedt een significante verhoging op van de waterstand (4 cm bij 16000 m³/s) langs de primaire kering, veroorzaakt door de gewijzigde instelling van het regelwerk (instelling 2).

Het regelwerk Pannerden is destijds aangelegd conform Ontwerp Projectplan Waterwet Ruimte voor de Rivier Regelwerk Pannerden (15 maart 2012, RWS/DON-2012/2t73). In dit projectplan staat de aanname, dat de planken van het regelwerk Pannerden tot een maximale hoogte van 14 m+NAP aangebracht mogen worden zonder probleem op de hoogwaterveiligheid situatie. Uit de berekeningen in dit rapport blijkt dat de theoretische hoogte van de planken van het regelwerk Pannerden maximaal 13,83 m+NAP wordt. Dit wordt de theoretische hoogte van de nieuwe

instelling van het regelwerk Pannerden als gevolg van de aanleg van project KOP. De hoogte van deze nieuwe instelling blijft onder de 14 m+NAP, de bovengrens uit het genoemde projectplan Waterwet. Daarom is er geen extra risico voor de hoogwaterveiligheid te verwachten van de opstuwings langs de bandijk aan de rechteroever bovenstrooms van het regelwerk Pannerden door deze nieuwe instelling.

Over deze uitkomsten is gecommuniceerd met het verantwoordelijke Waterschap Rijn&IJssel. Het waterschap heeft daarover het volgende medegedeeld (via e-mail 24 maart 2020, vastgelegd in het KES):

‘De conclusie is dat er door de realisatie van de Krib- en Oeververlaging langs het Pannerdensch Kanaal geen grotere belastingen optreden op de primaire waterkering dan afgesproken en vastgelegd in het project m.b.t. regelwerk Pannerden. ‘

4.4 **RBK 5.0 1.3, 1.4, 2.4 en 2.5 en SYS-0003: Effect op afvoerverdeling bij hoge en lage afvoeren**

Zoals in de vorige paragrafen al is getoond heeft het project KOP invloed op de debietsverdeling bij Pannerdensche Kop, dit is dan ook expliciet een (neven)doel van het project. Project KOP kan de verstoorde balans in de beleidsmatige afvoerverdeling als gevolg van het uitvoeren van Ruimte voor de Rivier maatregelen corrigeren.

Bij MHW zal in de praktijk niet meer water naar het Pannerdensch Kanaal stromen. Dit wordt immers gecorrigeerd met een nieuwe instelling van regelwerk Pannerden. Het regelwerk staat in de huidige situatie bijna helemaal open. Door de maatregel worden er meer schuiven geplaatst in het regelwerk Pannerden, waardoor het regelwerk meer in het midden van zijn regelbereik komt. Dit geeft Rijkswaterstaat weer de mogelijkheid het regelwerk verder open of verder dicht te zetten als de situatie van de rivier daarvoor aanleiding geeft.

Om bovenstaande redenen zijn er geen harde criteria voor de wijzigingen in de afvoerverdeling (normaal mag een maatregel de afvoerverdeling niet te veel wijzigen). In deze paragraaf wordt het effect op afvoerverdeling gekwantificeerd en vergeleken met de normen die specifiek voor dit project wél zijn gesteld door Rijkswaterstaat:

- SYS-0003: De afvoer naar het Pannerdensch Kanaal mag bij een afvoer van 16000 m³/s Lobith maximaal 100 m³/s toenemen ten opzichte van de referentie⁷ bij een vrije afvoerverdeling en zonder nieuwe instelling van het regelwerk Pannerden (instelling 1).
- RBK 1.4 (deels): Afvoerverdeling bij een afvoer van 10000 m³/s Lobith op de IJsselkop mag maximaal 20 m³/s afwijken van de huidige situatie, zo niet dan is een aanvullende analyse nodig.
- RBK 2.5: Verandering van de afvoerverdeling mag niet groter zijn dan 1 m³/s bij een afvoer van 1020 m³/s bij Lobith.
- Voor overige beschouwde afvoeren dient de verandering in afvoerverdeling inzichtelijk te worden gemaakt zodat door Rijkswaterstaat kan worden beoordeeld of afwijking van de normen in RBK 5.0 gerechtvaardigd is.

De afvoerverdeling is onderzocht door met SPLP de volgende afvoeren door te rekenen: 1020, 2000, 3000, 4000, 6000, 8000, 10000, 12000 en 16000 m³/s.

NB1: bij lage afvoer, bijvoorbeeld 1020 m³/s (OLA, RBK 2.5) worden geen instantane effecten verwacht omdat onder het niveau van OLR+1,70m geen ingrepen worden gedaan. Bij 2000 m³/s (betrekkingslijnen 2018: OLR+1,70m) zou dit ook te verwachten zijn, ware het niet dat de

⁷ In de referentie is de verlaging van de kade Scherpekamp opgenomen.

betrekkingslijnen in werkelijkheid afwijken van modelresultaten. In het model stromen de verlaagde kribben bij 2000 m³/s net over. De aparte afvoer die in het PvA (zie Bijlage A) voorzien is voor het moment waarbij de kribben net gaan meestromen is met deze afvoer van 2000 m³/s in het model ingevuld.

NB2: in deze paragraaf worden alleen de instantane effecten van de ingreep besproken. Na verloop van de tijd zal de maatregel ook morfologische effecten hebben en daardoor indirect invloed op de afvoerverdeling. Deze indirecte invloed wordt onderzocht op basis van Delft3D uitkomsten in paragraaf 8.1.

4.4.1 Effect DO met referentie-instelling regelwerk (instelling 1)

Om de invloed van alleen KOP op de afvoerverdeling in kaart te brengen is een simulatie van SPLP met 16000 m³/s uitgevoerd instelling 1 van het regelwerk, zie Tabel 4-2. Het project voldoet aan SYS-0003: bij een afvoer van 16000 m³/s Lobith neemt de afvoer naar het Pannerdensch Kanaal met 60 m³/s toe, 100 m³/s is toegestaan. De ingreep voldoet daarmee aan eis SYS-0003.

Tabel 4-2: Afvoerverdelingen in het splitsingspuntenmodel bij een afvoer van 16000 m³/s en huidige regelwerk instelling bij Pannerden. Per tak bevat de tabel een waarde voor de afvoer bij Referentie, de DO variant en het effect van de ingreep ten opzichte van de referentiesituatie.

BR			W			PK		
REF	DO	Effect	REF	DO	Effect	REF	DO	Effect
16000	16000	0	10165	10105	-60	5836	5896	60

NR			Y		
REF	DO	Effect	REF	DO	Effect
3343	3374	31	2498	2527	29

4.4.2 Effect DO met gewijzigde instelling regelwerk (instelling 2)

Tabel 4-3 geeft de afvoerverdeling bij lagere en hogere afvoeren in geval van aangepaste instelling van het regelwerk (instelling 2).

Bij lagere afvoeren heeft het regelwerk direct na aanleg geen effect. Bij 1020 m³/s heeft het DO zoals voorspeld geen effect (RBK aspect 2.5). Bij toenemende afvoer bij Lobith nemen de effecten vervolgens toe, waarbij het Pannerdensch Kanaal steeds meer debiet gaat trekken. Totdat bij 10000 m³/s de nieuwe instelling van het regelwerk gaat meespelen. Bij 10000 m³/s neemt de afvoer in het Pannerdensch Kanaal nog toe (met 14 m³/s), bij 12000 m³/s daalt deze met 12 m³/s en bij 16000 m³/s neemt deze toe met 1 m³/s. Deze laatste betreft de nauwkeurigheid van de afregeling van het regelwerk.

De afvoeren in de Nederrijn en IJssel wijzigen met de verandering in het Pannerdensch Kanaal mee, een verandering in afvoer naar het Pannerdensch Kanaal wordt min of meer naar rato verdeeld over de twee takken. Daarmee verandert de debietsverdeling tussen de Nederrijn en IJssel niet tot nauwelijks.

Tabel 4-3: Afvoerverdelingen in het splitsingspuntenmodel voor verschillende afvoeren. Per tak bevat de tabel een waarde voor de afvoer bij Referentie, de DO variant en het effect van de ingreep ten opzichte van de referentiesituatie.

BR			W			PK		
REF	DO	Effect	REF	DO	Effect	REF	DO	Effect
1020	1020	0	798	799	1	222	221	-1
2000	2000	0	1456	1456	0	544	544	0
3000	3000	0	2087	2086	-1	913	914	1
4000	4000	0	2780	2764	-16	1220	1236	16
6000	6000	0	4115	4095	-20	1885	1905	20
8000	8000	0	5420	5385	-35	2581	2615	34
10000	10000	0	6507	6493	-14	3493	3507	14
12000	12000	0	7765	7778	13	4235	4223	-12
16000	16000	0	10165	10164	-1	5835	5836	1

NR			Y		
REF	DO	Effect	REF	DO	Effect
28	28	0	194	194	0
236	236	0	308	308	0
511	512	1	404	404	0
704	713	9	518	525	7
1074	1088	14	813	820	7
1502	1524	22	1082	1094	12
2075	2083	8	1434	1428	6
2501	2494	-7	1739	1733	-6
3343	3343	0	2498	2498	0

Bij 10000 m³/s is de afvoertoename door het Pannerdensch kanaal 14 m³/s. De afvoertoename naar de Nederrijn en IJssel is naar rato van de bestaande verdeling: respectievelijk 8 en 6 m³/s. Dit zijn op beide splitsingspunten verschuivingen van niet meer dan 20 m³/s, daarmee voldoet de ingreep aan de norm (criterium RBK 5.0 – 1.4).

Concluderend kan worden gesteld dat het DO wat betreft het effect direct na aanleg voldoet aan het geldende deel van RBK 5.0 aspect 1.4 en aspect 2.5.

4.5 RBK 5.0 1.5: Ijsafvoer

4.5.1 Toepassing Deltares (2019) methodiek

Het ontwerp mag geen negatieve effecten hebben voor de afvoer van ijs, en niet leiden tot een significante toename in de waarschijnlijkheid van vorming van ijsdammen. De invulling van deze onderzoeksopgave is opgenomen in Bijlage M. Daarin is de literatuurstudie en numerieke analyse volgens de voorgeschreven methode van Deltares (2019) gevolgd. Rijkswaterstaat heeft op basis van die studie geconcludeerd dat er geen verhoogd risico wordt verwacht door verslechtering van de ijsafvoer. Deltares (2019) is daarbij uitgegaan van het VKA (RHDHV, 2017). Opgave voor de voorliggende studie is zodoende aan te tonen dat – gegeven de methodiek van Deltares – het DO wat betreft ijsafvoer tenminste even goed presteert als het VKA.

Een belangrijke conclusie van de Deltares studie is dat stroomlijning van het ontwerp relevant is voor het reduceren van het risico op vorming van een ijsdek en/of kruiend ijs langs de randen van de rivier. Het ontwerp van de verlaagde oevers is in het DO, ten opzichte van het VKA, verder gestroomlijnd, zo vertonen de boven- en benedenstroomse zijde van de gestrekte oevers geen scherpe hoeken meer. Dat is ook getoond door de analyse van dwarsstroming (paragraaf 5.3); de situatie bij DO verbeterd qua dwarsstroming ten opzichte van de huidige situatie én het VKA⁸. Op basis hiervan is geconcludeerd dat het risico op vorming van ijs langs de randen van de rivier en/of kruiend ijs verder geminimaliseerd is.

Ijsdammen worden veroorzaakt doordat ijsschotsen blijven steken tegen een gevormd ijsdek en dan een dam vormen. Dit blijven steken van schotsen vindt plaats bij condities met een te laag Froudegetal (lager dan 0,08, criterium van Kivilsild). Als het Froudegetal hoger is dan worden de ijsschotsen onder het ijsdek door gevoerd (de stroming is dan voldoende sterk).

Bijlage M geeft de onderbouwing bij de conclusie dat in het DO de stroming in de hoofdgeul boven het criterium van Kivilsild blijft; de 0,08 wordt niet onderschreden. Buiten de hoofdgeul zijn er in het DO ook locaties waar het criterium wordt onderschreden en in de referentie niet. Deze locaties (hoog op de verlaagde oevers, stroomafwaarts van oever 3, in de kribvakken tegenover oever 1 en op enkele locaties in de uiterwaard bij hoge afvoeren) komen in de voorliggende studie (DO) overeen met die van Deltares (2019, VKA). Het DO presteert zodoende gelijk aan het VKA.

Geconcludeerd kan worden dat het DO beter (wat betreft stroomlijning van het ontwerp) of gelijk (wat betreft het criterium van Kivilsild) presteert aan het VKA wat betreft ijsafvoer. De conclusie die door Rijkswaterstaat aan de Deltares (2019) studie is verbonden (geen verhoogd risico door verslechtering van de ijsafvoer) is dus ook van toepassing op het DO.

4.5.2 Ijsgeleidingsconstructies in het Pannerdensch Kanaal worden zo min mogelijk aangetast⁹

In de jaren '50 van de vorige eeuw zijn in de oevers van het Pannerdensch Kanaal op strategische locaties ijsgeleidingsconstructies opgenomen. Deze hebben tot doel bij ijsvorming op de Waal en in het Pannerdensch Kanaal ijsschotsen te geleiden zodat er geen schade aan de leikades ontstaat en ophopen van drijfijz wordt beperkt. Deze ijsgeleidingsconstructies spelen een belangrijke rol in het watersysteem en mogen in functionaliteit niet aangetast worden door de ingrepen vanuit de krib- en oeververlaging. De locatie van de constructies is beperkt gedocumenteerd. Door middel van aanwijzing en veldinspectie zijn de locaties bevestigd.

⁸ In RHDHV(2017, p.97) wordt aangetoond dat stroomafwaarts van de verlaagde oever 1 nog bij alle beschouwde afvoeren een toename in de dwarsstroom is ten opzichte van de referentie. Van dergelijke consistente toenames in dwarsstroom is bij het DO geen sprake meer, zie paragraaf 5.3.

⁹ Voor de stabiliteit van bijvoorbeeld primaire keringen en zomerkades wordt verwezen naar de relevante ontwerpnota's en paragraaf 7.3.2.

De bovenstroomse constructie bevindt zich op de linkeroever ter hoogte van Fort Pannerden. Deze constructie bevindt zich aan de rand van het projectgebied. De constructie bestaat uit een basalt zetstenen oeverconstructie en met klinkers beklede leikade. De kop van de leikade is voorzien van basaltbekleding, zie Figuur 4-9.

Ter hoogte van de ijsgeleidingsconstructie wordt krib 13 verlaagd met circa 0,80 meter. De ingreep blijft buiten de oever en tast de oeverbekleding niet aan. Het strekkende deel van de ijsgeleidingsconstructie wordt niet aangetast.

Het effect van het DO op ijsgang is samengevat in de voorgaande paragraaf 4.5.1: de effecten van het ontwerp op bijvoorbeeld kruiend ijs worden daar behandeld. In de bijbehorende bijlage M (sectie M.4.5) is specifiek ingegaan op de locatie van het ijsgeleidingsmiddel. Er worden op de locatie geen grote veranderingen in stroming en Froudegetal voorspeld.

De tweede ijsgeleidingsconstructie bevindt zich ruim buiten het projectgebied nabij het splitsingspunt Nederrijn/IJssel. Deze constructie wordt niet aangetast door de ingrepen in het Pannerdensch Kanaal.



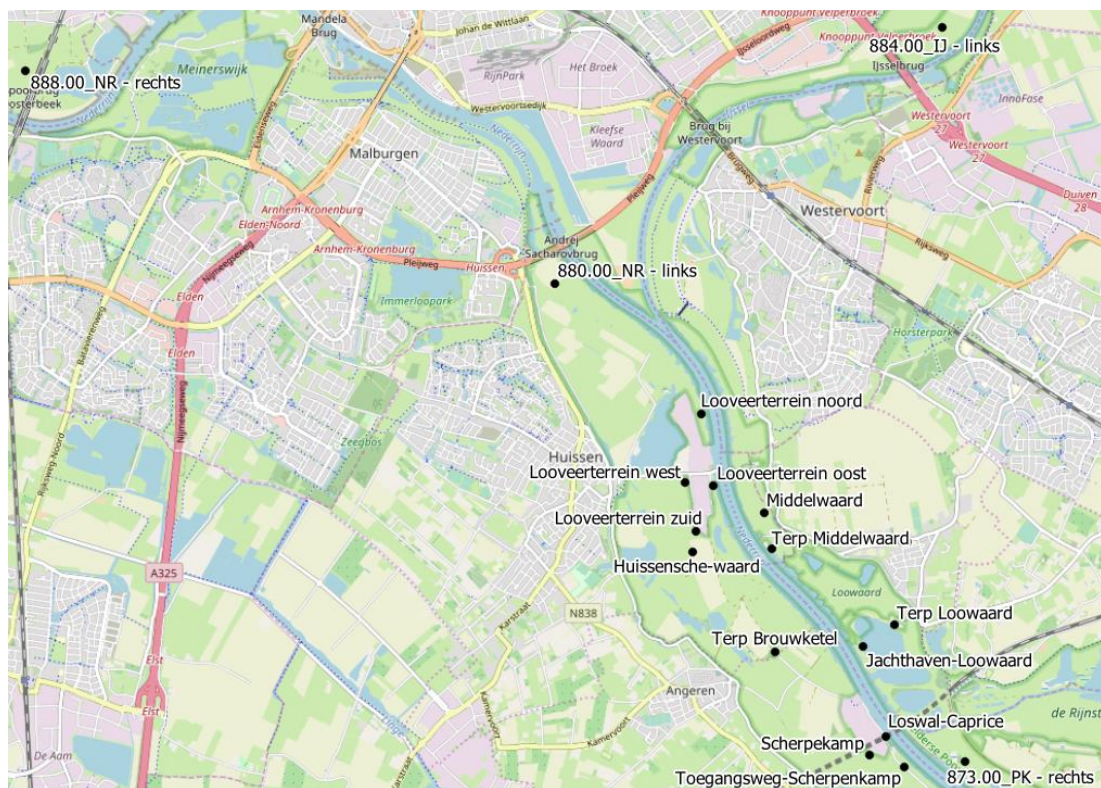
Figuur 4-9: Ijsgeleidingsconstructie ter hoogte van fort Pannerden

5 HINDER OF SCHADE DOOR HYDRAULISCHE EFFECTEN

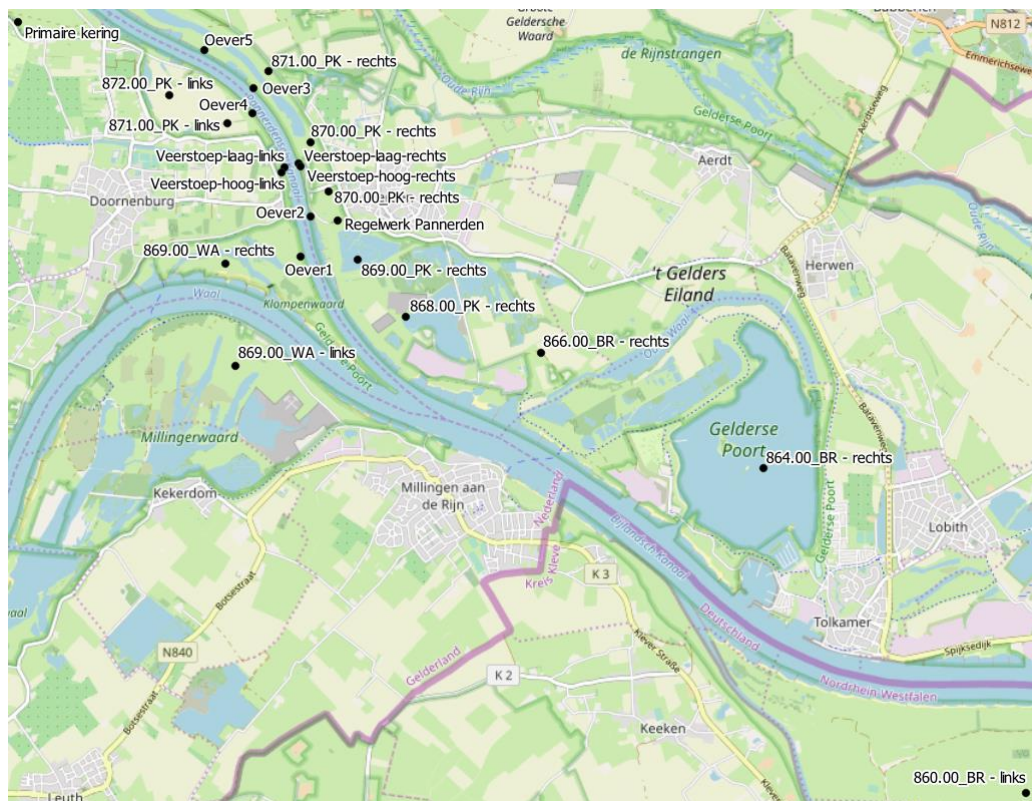
5.1 RBK 5.0 2.1: Inundatiefrequentie van de uiterwaard

Het RBK aspect 2.1 specificeert dat de mate van verandering van inundatiefrequentie in één of meerdere uiterwaarden inzichtelijk moet worden gemaakt. Door Rijkswaterstaat zijn de afvoeren gespecificeerd: 4000, 6000, 8000, 10000, 12000 en 16000 m³/s. Let wel, de effecten op de inundatiefrequentie zijn bepaald met SPLP inclusief de gewijzigde instelling van het regelwerk (instelling 1 voor de referentie, instelling 2 voor het DO).

Er is een selectie van 40 uitvoerpunten gemaakt bij woonterpen en andere belanghebbende locaties verspreid over de verschillende riviertakken. Het gaat om punten verspreid langs de projectlocatie waarbij aandacht is voor locaties die vanuit het omgevingsspoor aandacht hebben: onder meer locaties van woonterpen, de Groene Rivier Pannerden, bedrijvigheid of bepaald (zoals agrarisch) medegebruik. De punten zijn weergegeven in Figuur 5-1 en Figuur 5-2.



Figuur 5-1: Uitvoerpunten ten behoeve van inschatting van de effecten inundatiefrequentie in de uiterwaarden, noordelijk deel.



Figuur 5-2: Uitvoerpunten ten behoeve van inschatting van de effecten inundatiefrequentie in de uiterwaarden, zuidelijk deel.

De berekende waterstandseffecten zijn te zien in Tabel 5-1. In de tabel staan zowel verlagingen als verhogingen. Dit is afhankelijk van de locatie ten opzichte van de projectlocatie en het regelwerk Pannerden. Bij lage afvoeren geldt dat stroomopwaarts en rondom het projectgebied van KOP een verlaging te zien is als effect van de verruimende ingreep. Stroomafwaarts is juist een kleine verhoging, omdat het Pannerdensch Kanaal beperkt meer debiet trekt. Bij hogere afvoeren treedt het regelwerk in werking en vindt stroomopwaarts daarvan opstuwing plaats (door het plaatsen van extra schotten), maar stroomafwaarts daarvan daalt de waterstand juist (gebied Groene Rivier Pannerden). In die gevallen is het effect stroomafwaarts van het projectgebied nihil, aangezien effecten op de afvoerdeling worden gecompenseerd door de gewijzigde instelling van het regelwerk.

Er dient te worden opgemerkt dat de modellering onzekerheden kent: zowel wat betreft de berekende waterstanden als de lokale bodemhoogte. Het effect ten opzichte van de referentiesituatie geeft meer zekerheid omdat dit relatief bepaald is.

Het is niet praktisch om voor alle locaties het effect op de inundatiefrequentie inzichtelijk te maken. Niet alleen gaat het om 40 locaties, maar veel van deze locaties worden gekarakteriseerd door een gevarieerde bodemhoogte. Voor iedere bodemhoogte geldt een andere inundatiefrequentie en ook een andere wijziging daarin. Daarnaast geldt dat sommige locaties nog beschermd worden door een zomerkade. Op basis van Tabel 5-1 en de waterstandsduurlijnen zoals Rijkswaterstaat die beschikbaar heeft is het echter wel mogelijk om voor een specifieke locatie en bodemhoogte het effect op de inundatiefrequentie af te leiden. In onderstaande paragrafen wordt voor relevante locaties het effect op inundatiefrequentie inzichtelijk gemaakt.

Tabel 5-1: Waterstandseffecten (in m) in geselecteerde uitvoerpunten, bij verschillende afvoeren.

	Afvoer (m ³ /s)					
	4000	6000	8000	10000	12000	16000
860.00_BR - links			-0.03	0.00	0.01	0.00
864.00_BR - rechts	-0.02	-0.02	-0.02	0.00	0.01	0.00
866.00_BR - rechts	0.00	0.00	-0.01	0.32	0.08	0.01
868.00_PK - rechts	0.00	0.00	-0.01	0.33	0.08	0.01
869.00_WA - links	-0.02	-0.02	-0.02	-0.01	0.01	0.00
869.00_WA - rechts		-0.02	-0.03	-0.01	0.01	0.00
869.00_PK - rechts	0.00	0.00	0.67	0.38	0.09	0.02
Oever 1		0.00	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01
Regelwerk Pannerden			0.03	-0.13	-0.21	-0.14
Oever 2	0.00	0.01	0.00	-0.01	-0.01	-0.01
870.00_PK - rechts			0.03	-0.12	-0.18	-0.12
Veerstoep-hoog-links		-0.01	-0.02	-0.04	-0.06	-0.07
Veerstoep-hoog-rechts		-0.01	-0.02	-0.04	-0.06	-0.06
Veerstoep-laag-links	-0.01	-0.01	-0.02	-0.05	-0.06	-0.07
Veerstoep-laag-rechts	-0.01	-0.01	-0.02	-0.04	-0.06	-0.06
870.00_PK - rechts			0.03	-0.08	-0.12	-0.08
Oever 4		0.01	0.01	-0.02	-0.04	-0.04
871.00_PK - links				0.00	0.00	-0.01
Oever 3		0.02	0.02	0.00	-0.02	-0.02
871.00_PK - rechts			0.03	-0.06	-0.10	-0.05
872.00_PK - links				0.00	0.00	-0.01
Oever 5		0.02	0.02	0.00	-0.03	-0.02
873.00_PK - rechts			0.03	-0.03	-0.04	-0.01
Primaire kering			0.04	0.01	-0.01	0.00
Toegangsweg-Scherpekamp				0.00	-0.01	0.00
Scherpekamp						
Loswal-Caprice		0.04	0.04	0.01	0.00	0.00
Jachthaven-Loowaard	0.00	0.03	0.03	0.01	-0.01	0.00
Terp Loowaard		0.03	0.03	0.01	-0.01	0.00
Terp Brouketel			0.04	0.01	-0.01	0.00
Terp Middelwaard			0.03	0.01	-0.01	0.00
Huissensche-waard		0.00	0.04	0.01	-0.01	0.00
Looveerterrein zuid		0.00	0.04	0.01	-0.01	0.00
Middelwaard		0.03	0.03	0.01	-0.01	0.00
Looveerterrein oost		0.03	0.03	0.01	-0.01	0.00
Looveerterrein west		0.00	0.04	0.01	-0.01	0.00
Looveerterrein noord	0.04	0.03	0.03	0.01	-0.01	0.00
880.00_NR - links		0.03	0.03	0.01	-0.01	0.00
888.00_NR - rechts			0.04	0.01	-0.01	0.00
884.00_IJ – links			0.03	0.00	0.00	0.00

5.1.1 Effect inundatiefrequentie uiterwaarden langs Pannerdensch Kanaal

Bij afvoeren tot 9000 m³/s bij Lobith (overschrijding van gemiddeld eens per 10 jaar) neemt de afvoer door het Pannerdensch Kanaal door de ingreep toe. Als gevolg van deze toename in afvoer neemt ook de waterstand in het Pannerdensch Kanaal bij deze afvoeren licht toe. Er is uitgerekend dat de waterstand met maximaal 3 à 4 cm stijgt in de uiterwaarden langs het Pannerdensch Kanaal bij een afvoer van 6000 m³/s (gemiddelde kans van voorkomen van eens per jaar) en 8000 m³/s (eens per 5 jaar). Een verandering van enkele centimeters waterstand wijzigt de inundatiefrequentie met minder dan één dag per jaar bij een afvoer van 6000 m³/s.

Bij afvoeren hoger dan circa 9000 m³/s begint ook het aangepast regelwerk Pannerden mee te stromen. Gevolg hiervan is dat er bij afvoeren van 12000 m³/s zelfs iets minder water (-12 m³/s) richting Pannerdensch Kanaal gaat. Daardoor blijft de waterstand in de uiterwaarden van het Pannerdensch kanaal nagenoeg gelijk bij extreme hoogwaters. Bij 10000 m³/s neemt de waterstand op sommige locaties nog licht toe met orde 1 cm, bij 12000 m³/s nemen deze af met orde 1 cm en bij 16000 m³/s blijven deze gelijk. Dit heeft geen noemenswaardige wijziging van de inundatiefrequentie tot gevolg.

5.1.2 Effect inundatiefrequentie woonterpen langs Pannerdensch Kanaal

Voor de woonterpen langs het Pannerdensch Kanaal is met name de verandering bij een afvoer van 12000 m³/s relevant vanwege de hoogteligging van deze terpen. Het project leidt bij afvoeren hoger dan 10000 m³/s niet tot een significante toename van de waterstand. Daarmee neemt de inundatiefrequentie van de woonterpen langs het Pannerdensch kanaal niet toe.

5.1.3 Effect bij Roswaard

De Roswaard is omgeven door een hoge zomerkade, met hoogte van circa 15 m+NAP. Pas bij afvoeren hoger dan 13000 m³/s te Lobith (gemiddelde overschrijdingsfrequentie van meer dan eens per 100 jaar) begint deze kade te overstromen. Bij een afvoer van 12000 m³/s is er ter plaatse van de zomerkade sprake van een verlaging van 4 cm (oever 4). Bij 16000 m³/s is dit ook 4 cm. De zomerkade naar de Roswaard zal dus niet vaker of eerder gaan overstromen. De frequentie van overstromen van de zomerkade blijft nagenoeg gelijk.

De waterstandsverschillen van een enkele centimeter als gevolg van het project (bij 6000 m³/s 1 cm verhoging, bij 8000 m³/s geen invloed en bij 10000 m³/s een verlaging van 2 cm) hebben geen invloed op deze mechanismen van inunderen van de Roswaard. Zolang het water onder de kade blijft, stroomt de Roswaard enkel vol door kwel¹⁰. Ook voor het ontwateren van de Roswaard heeft dit geen invloed, de variabiliteit in de afvoer en waterstanden op het Pannerdensch kanaal na een hoogwatergolf zijn daarin maatgevend en niet de paar centimeter waterstandsverschil als gevolg van het project.

5.1.4 Inundatiefrequentie oever 4

Oever 4 is particulier eigendom en wordt gebruikt om paarden te weiden en voor de productie van hooi. Door het verlagen van de oever neemt de inundatiefrequentie toe. Hierover is een instemmingsverklaring van de eigenaar.

In de huidige situatie staat de gehele oever jaarlijks 8 maanden geheel droog. De waterstand ligt dan rond of onder de steenbekleding. Ruim 90% van de oever staat in de huidige situatie gemiddeld 350 dagen per jaar droog. Gemiddeld staat de hele oever vijf dagen per jaar geheel onder water.

¹⁰ Inunderen van de Roswaard kan ook bij lagere afvoeren al plaats vinden door het inlaten van water door de afwateringssloot. Dit gebeurt niet (in het verleden wel om slib in de Roswaard te krijgen).

In de nieuwe situatie staat de gehele oever jaarlijks 8 maanden geheel droog; 30% van het oppervlak van de verlaagde oever staat tussen 8 en 10 maanden droog; 30% van het oppervlak van de verlaagde oever staat tussen de 10 en 11 maanden droog; de resterende 40% van de verlaagde oever staat tussen de 11 maanden en 360 dagen van het jaar droog. Gemiddeld staat de oever nog steeds vijf dagen per jaar geheel onder water.

5.1.5 Effect inundatiefrequentie uiterwaarden langs de Boven-Rijn:

Voor enkele van de uiterwaarden langs de Boven-Rijn geldt het omgekeerde als voor het Pannerdensch Kanaal. Door het anders instellen van het regelwerk wijzigen de waterstanden in met name de Lobberdensch Waard, direct bovenstrooms van het regelwerk, tijdens afvoeren hoger dan 9000 m³/s. Bij 10000 m³/s stijgen de waterstanden langs de bandijk van de Lobberdensch Waard lokaal met enkele decimeters¹¹. Bij 16000 m³/s betreft dit slechts een centimeter. In absolute zin blijven de waterstanden bij 10000 m³/s overigens altijd onder die van 16000 m³/s.

De stijging is reeds voorzien en passen binnen de voorziene, vergunde effecten van het projectplan van het regelwerk Pannerden. Kortom, de toename van de waterstand in de Lobberdensch waard is een reeds voorzien effect dat niet leidt tot onvoorziene schade of hinder voor gebruikers in de Lobberdensch waard, zie ook het slot van paragraaf 4.3. Tevens geldt dat de Lobberdensch Waard bij deze afvoeren al geheel onder water staat in de huidige situatie, dit blijft het geval (met enkele centimeters tot decimeters extra waterdiepte).

5.1.6 Conclusie effect op inundatiefrequentie uiterwaarden

Omdat de inundatiefrequentie bij de woonterpen en de locaties van bedrijvigheid (exclusief die op oever 4) slechts niet tot nauwelijks (orde < dag per jaar) wijzigt, is er geen sprake van directe schade of hinder door de ingreep. Bij de Roswaard wijzigt de frequentie niet door de ingreep. De inundatiefrequentie van oever 4 neemt (net als voor de andere te verlagen oevers) significant toe als direct gevolg van de maaiveldverlaging. Hierover is een instemmingsverklaring afgegeven. De inundatiefrequentie rond het Regelwerk Pannerden wijzigt, maar blijft binnen de bandbreedte zoals voorzien in het ontwerp van het regelwerk. Met deze conclusies zijn de effecten op het aspect RBK 2.1 inzichtelijke gemaakt.

5.2 RBK 5.0 2.2: Stroombeeld in uiterwaard

Dit aspect van het RBK geeft inzicht of het stroombeeld in de uiterwaard bij hoogwater dusdanig wijzigt dat er mogelijk hinder of schade ontstaat. Daartoe kan een deel van de simulaties in de vorige paragraaf, namelijk SPLP 10000, 12000 en 16000 m³/s worden toegepast in een analyse van het effect van KOP voor het stroombeeld in de uiterwaarden. Figuren in Bijlage J tonen stroomsnelheid en verschil-snelheid (ingreep minus referentiesituatie) in en rondom het projectgebied.

NB: in Bijlage J zijn ook lagere afvoeren opgenomen, die worden bij dit aspect niet gebruikt.

NB2: Voor de relevante afvoeren zijn aan het slot van Bijlage J aanvullende figuren opgenomen met in detail en vergrote kleurschaal de stroming rond het Regelwerk Pannerden.

De effecten die in de bijlage getoond worden zijn voor de drie beschouwde afvoeren min of meer gelijk (maar de snelheden zijn bij 16000 m³/s het hoogst):

- Een toename van stroomsnelheden op de verlaagde oevers 1, 2, 3 en 5. In de referentiesituatie staan deze oevers wel onder water, maar stromen ze vaak nauwelijks

¹¹ Overigens wordt in werkelijkheid het regelwerk met schotten als een soort U-vorm ingesteld, in WAQUA is dit één uniforme hoogte. Dit betekent dat bij waterstanden ter plaatse van Regelwerk Pannerden, die net wat lager zijn dan instelling 2, het regelwerk al wat meestroomt. Het opstuwende effect is in die situaties in werkelijkheid dus minder dan het berekende effect.

mee (over het algemeen enkele decimeters per seconde aan bandijkzijde, en plaatselijk tot circa 0,8 m/s aan de rivierzijde). Na verlaging treden stroomsnelheden van 0,6-1,2 m/s op aan de bandijkzijde hoger op de oever, aan de rivierzijde treden snelheden van 1.2-1.6 m/s op. Een analyse van mogelijke erosie van deze oevers vindt plaats in paragraaf 7.3.1.

- Geen toename maar zelfs een afname op oever 4, ondanks de verlaging. Het water kiest voor de rechteroever, over de daar verlaagde kribben en verlaagde oevers 3 en 5. Stroomsnelheden zijn in de referentie vooral langs de zomerdijk hoog (circa 1 m/s) en nemen onafhankelijk van de (hoge) afvoer met circa 0,2 m/s af in geval van het DO.¹²
- Een forse afname van de stroming op de gehele rechteroever achter het regelwerk (gebied Groene Rivier Pannerden): bij 10000 m³/s van maximaal 1,3 m/s naar maximaal 1,0 m/s; bij 12000 m³/s van maximaal 1,7 m/s naar maximaal 1,0 m/s; bij 16000 m³/s van maximaal 2,2 m/s naar maximaal 1,9 m/s. Dit wordt veroorzaakt door de nieuwe instelling van het Regelwerk Pannerden, deze laat minder water door en daardoor zijn de stroomsnelheden in dit gebied achter het regelwerk en tussen leikade en bandijk lager.
- Versnelling van stroming over de kribvakken tussen de verlaagde kribben stroomafwaarts van oever 3, tot circa 0,3 m/s op snelheden in het geval van de referentie van rond de 1 m/s. Bij de kribben tegenover oever 1 vertraagt de stroming bij 16000 m³/s juist (vooral hoog op kribvakken) van circa 0,5 m/s naar 0,25 m/s, doordat stroming meer kiest voor de verlaagde oever 1 aan de andere zijde van rivier. Bij 10000 en 12000 m³/s is dit effect ook te zien maar is bij de benedenstroomse kribvakken in dit segment ook weer een versnelling te zien (van circa 0,8 tot circa 1 m/s). Een analyse van de erodeerbaarheid van kribvakken en kribkoppen is uitgevoerd in respectievelijk paragraaf 7.2.3 en paragraaf 7.2.4.
- Nauwelijks toename van stroomsnelheden op uiterwaarden buiten de verlaagde oevers.

Specifiek in de buurt van de primaire keringen en leikades zijn de volgende observaties te maken (16000 m³/s is hier meestal maatgevend wat betreft stroomsnelheden)

- Een locatie waar door Rijkswaterstaat specifiek aandacht voor is gevraagd is de uiterwaard rond het splitsingspunt van Pannerdensche Kop, hier is in het verleden erosie waargenomen bij hoge maar niet extreme afvoeren. WAQUA laat bij 8000 en 10.000 m³/s inderdaad hoge snelheden zien over de kop heen (rond rkm 867,6): tot circa 2 m/s. Gegeven de relatief lage afvoeren treden deze stroomsnelheden langdurig op bij lage waterstanden, beide zijn factoren die erosie stimuleren. Het DO heeft bij deze gebieden met hoge stroomsnelheid echter géén invloed. Verder naar het noorden bij rkm 868 linkeroever leidt het DO bij 10.000 en in mindere mate 8000 m³/s tot een lagere stroomsnelheid, bij de eerste is de snelheid circa 1,5 m/s in geval van de referentie en neemt deze met maximaal 0,15 m/s af in geval van het DO. Op deze locaties is zodoende geen hinder of schade te verwachten door het ontwerp.
- Stroomopwaarts van oever 1 (aan linkerzijde nabij rkm 868,4) leidt de ingreep tot een toename met circa 0,15 naar 1,3 m/s langs de leikade van Fort Pannerden bij 16000 m³/s. Bij 10000 m³/s is hier nauwelijks sprake van toename van stroming.
- Aan de overzijde van de rivier (rechterzijde rkm 868) neemt door instelling 2 van het regelwerk de waterstand voor het regelwerk toe. Daardoor neemt de stroming over de zomerkade naar de rivier toe van circa 1,8 naar 2,0 m/s. Bij lagere afvoeren is de stroomsnelheid hier significant lager.

¹² De afname van stroomsnelheid betekent niet dat het debiet over deze oever niet toeneemt. De waterdiepte neemt wel toe. Het minder verlagen van oever 4 resulteert wel degelijk in een mindere waterstandsval op taakstellingspunt.

- Langs het einde van oever 1 (nabij rkm 869,2) leidt de ingreep tot een toename met circa 0,15 m/s naar 1,05 m/s langs de dijk bij 16000 m³/s en een evenredige toename, maar bij lagere absolute stroomsnelheden, bij 10000 en 12000 m³/s.
- Bij de leikade aan de rechteroever tussen rkm 870-871 (stroomopwaarts van en op de verlaagde oever 3) is er een toename met circa 0,3 tot circa 0,9 m/s bij 16000 m³/s. Bij 10000 m³/s is hier een toename met circa 0,1 m/s tot circa 0,6 m/s.
- Bij de leikade aan de rechteroever bij rkm 872 (stroomafwaarts van de verlaagde oever 5) is er een toename van stroming langs de kade waar deze naar de rivier afbuigt met circa 0,4 tot 1,0 m/s. Bij 10000 m³/s is hier een toename met circa 0,1 m/s tot circa 0,6 m/s.

Op de niet benoemde locaties is geen toename in stroomsnelheid langs de banddijk of zomerdijk. Hiermee is het stroombeeld in de uiterwaard inzichtelijk gemaakt. Qua stroming alleen is er geen reden om aan te nemen dat dit tot hinder of schade leidt (dit is afhankelijk van de manier waarop bewoners of gebruikers de gebieden gebruiken). Via morfologie kan dit echter wel het geval zijn (erosie), en dit wordt behandeld in paragraaf 7.3.

5.3 RBK 5.0 2.3: Stroombeeld (dwarsstromen) in vaarweg

Dit beoordelingsaspect uit het RBK betreft dwarsstroom in de vaarweg, wat van belang is voor nautische doeleinden. De dwarsstroom is getoetst voor afvoeren 2000, 4000, 6000 en 8000 m³/s. Voor deze afvoeren zijn figuren gemaakt van de dwarsstroom op de bakenlijnen welke zijn opgenomen in Bijlage K. De bevindingen zijn opgenomen in Tabel 5-2. Wat betreft dwarsstroom is het DO uitgebreid geoptimaliseerd ten opzichte van het VKA. Het effect op dwarsstroming is ten gevolge van de optimalisatie dan ook sterk verbeterd.

Voor de volledigheid en conform Plan van Aanpak zijn in Bijlage K ook figuren opgenomen van de dwarsstroom bij 3000 m³/s en 10000 m³/s. Tabel 5-2 geeft per interessegebied de effecten van het DO op dwarsstroom. Voor vrijwel alle afvoeren en op vrijwel alle locaties valt de dwarsstroom onder de norm of is die lager dan in de referentie. In principe is de norm voor dwarsstroming 15 cm/s op de bakenlijn (omdat de dwarsdebieten hoger zijn dan 50 m³/s), deze norm is aangegeven met een stippellijn in de figuren. Voor een afvoer van 2000 m³/s is de norm in alle in Tabel 5-2 gepresenteerde gebieden 30 cm/s, omdat de bijbehorende dwarsdebieten hier onder de 50 m³/s blijven. Op enkele locaties zijn er aaneengesloten dwarsdebieten groter dan 50 m³/s, maar deze zijn vervolgens niet geconcentreerd genoeg om de dan geldende norm van 15 cm/s te overschrijden.

De enige afvoer met een locatie met overschrijding van de norm en een verslechtering ten opzichte van de referentie is 8000 m³/s Lobith, een afvoer die in de afgelopen 30 jaar gemiddeld een dag per jaar wordt overschreden. De dwarsstroom neemt stroomafwaarts van de projectgrens bij rkm 873,5 toe van 21 cm/s naar 22 cm/s. Dit gebeurt bij de verhoging van het industrieterrein Scherpekamp, deze drukt de stroming terug in de hoofdgeul. Er is gecheckt of dit met een representatieve diepte is berekend, wat het geval is. Door de kribverlaging van kribben 3-10 stroomt er meer water over de oever en de kribvakken en neemt vervolgens de stroming terug de hoofdgeul in marginaal toe. Ten opzichte van het VKA is hier krib 11 niet verlaagd en krib 10 minder. Dit heeft slechts een klein effect op dit probleem. Het effect hangt namelijk samen met de integrale verlaging van kribben 3-10, een maatregel die al in de SNIP2A fase is vastgesteld. De overschrijding vindt bovendien plaats buiten de projectgrens van KOP, hierdoor zijn er geen maatregelen te treffen om deze te mitigeren. Daarnaast is het lastig om een ingreep op te stellen die het effect zou reduceren, door de aanwezigheid van de steenfabriek en de smalle steile oever op deze locatie. Hierdoor is er geen mogelijkheid om de oever te verflauwen of te stroomlijnen.

Er wordt voorgesteld om deze enkele verhoging van de dwarsstroom boven de norm te accepteren in het licht van de verder consistente verbetering van het stroombeeld over het gehele projectgebied ten opzichte van de referentie (en het VKA), het nut van project KOP in het algemeen en het feit dat het om een marginale toename gaat (1 cm/s) bij een afvoer die gemiddeld een dag per jaar voorkomt.

Ten slotte is er gecheckt of de dwarsstroming nabij Fort Pannerden en de scheidingsdam tussen het Pannerdensch Kanaal en de Waal toeneemt. Het stroombeeld (inclusief dwarsstroom) op deze locatie bij alle bovenstaande debieten is opgenomen als onderdeel van Bijlage J. Er is geconcludeerd dat er in dit gebied geen significant effect te zien is in de dwarsstroming.

Tabel 5-2: Effect DO op dwarsstroom. De waarden weergeven de dwarsstroming in cm/s. Rood voor de referentie geeft het overschrijden van de norm, en groen het wél halen van de norm. Voor het DO staat rood voor een overschrijding van de norm en verslechtering ten opzichte van REF, groen geeft een verbetering ten opzichte van de referentie en/of het wél halen van de norm en wit een ongewijzigde situatie.

Variant	Dwarsstroom links											
	2000						4000					
	869.6	872	872.5	873	873.5	874	869.6	872	872.5	873	873.5	874
REF	-0.24	-0.17	-0.32	-0.25	-0.18	-0.26	-0.23	-0.24	-0.21	-0.21	-0.20	-0.19
DO	-0.23	-0.17	-0.30	-0.27	-0.18	-0.26	-0.23	-0.23	-0.17	-0.19	-0.20	-0.19

Variant	Dwarsstroom links									
	6000					8000				
	896.7	872	872.5	873	873.5	896.7	872	872.7	873	873.5
REF	-0.23	-0.21	-0.16	-0.18	-0.19	-0.25	-0.20	-0.18	-0.18	-0.21
DO	-0.23	-0.20	-0.15	-0.17	-0.19	-0.25	-0.19	-0.17	-0.17	-0.22

Variant	Dwarsstroom rechts											
	2000							4000				
	868.1	868.85	871.1	871.55	872.1	872.8	873.7	868.7	872.1	872.6	873.4	
REF	0.24	0.38	0.34	0.27	0.18	0.23	0.19	0.25	0.13	0.15	0.12	
DO	0.24	0.38	0.34	0.27	0.18	0.25	0.19	0.14	0.13	0.08	0.15	

Variant	Dwarsstroom rechts				
	6000	8000			
	869.4	868.2	870.1	871.4	873.5
REF	0.17	0.24	0.15	0.14	-0.13
DO	0.17	0.22	0.10	0.11	-0.13

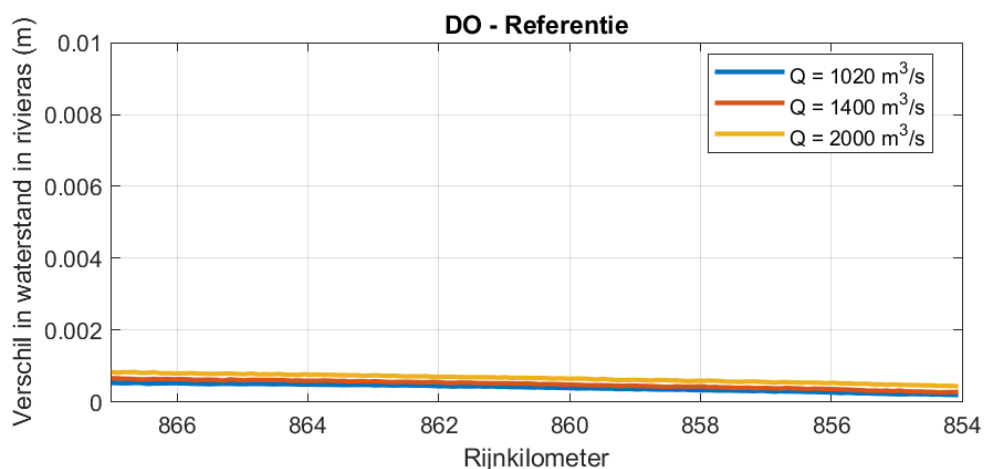
5.4 RBK 5.0 2.9: Waterstand en stroombeeld in vaarweg Nederlands-Duitse grensregio bij lage en mediane Boven-Rijn afvoeren

Specifiek voor de Duitse Rhein is gekeken naar de effecten op stroming en waterstanden met SPLP bij een afvoer van 1020 m³/s (OLA), 1400 m³/s (behorende bij circa OLR+0,70m) en 2000 m³/s bij Lobith. Het doel hiervan is het inschatten of de bevaarbaarheid of vaarwegonderhoud in het Duitse deel van de Rijn niet verslechterd ten gevolge van de ingreep. Het effect bij de genoemde afvoeren is verwaarloosbaar, zie Bijlage L. Het betreft simulaties met SPLP en dus vrije afvoerdeling en gewijzigde instelling regelwerk Pannerden (instelling 1 in geval van de referentie, instelling 2 in geval van het DO).

Bij alle beschouwde afvoeren is het effect op stroomsnelheid kleiner dan 0,5 mm/s. Voor al deze lage afvoeren lijkt er een zeer klein opstuwend effect van de ingreep te zijn. Bij 1020 en 1400 m³/s is dit al kleiner dan 0,7 mm bij Spijk, zie Figuur 5-3. De absolute waterstanden zijn te vinden in de tabellen in Bijlage O. Het wordt veroorzaakt doordat bij oever 2 het talud ook op dieper water iets aangepast wordt als onderdeel van het DO. Bij 2000 m³/s ligt het effect bij Spijk rond de 0,8 mm. Bij deze afvoer wordt dit naar alle waarschijnlijkheid veroorzaakt door een numeriek effect van het net meestromen van verlaagde oevers en kribben (zie Bijlage F).

Er kan worden geconcludeerd dat er geen instantane verslechtering van het stroombeeld is te verwachten in de Nederlands-Duitse grensregio door de krib- en oeversverlaging, hiermee wordt voldaan aan het hydraulische deel van RBK 5.0 aspect 2.9.

Effecten voor dit aspect via de morfologische ontwikkeling zoals beïnvloed door het DO worden in paragraaf 8.2 behandeld.



Figuur 5-3: Verschil in waterstand door de ingreep in de Nederlands-Duitse grensregio voor 3 lage en mediane afvoeren.

6 RBK 5.0 3.1: SEDIMENTATIE EN EROSIE VAN HET ZOMERBED

In dit hoofdstuk zijn de onderzoeksresultaten zoals het RBK 5.0 (aspect 3.1) dat voorschrijft wat betreft morfologie gepresenteerd.

Ten behoeve van het ontwerpproces is gerekend met WAQMORF en Delft3D met en zonder baggeren. Delft3D beschrijft de meest waarschijnlijke morfologische effecten en wordt als leiden beschouwd in de analyse. De resulterende modeluitkomsten zijn vergeleken in paragraaf 6.1. Vervolgens worden de cumulatieve effecten op het te baggeren volume samengevat in paragraaf 6.2, waarin ook de optimalisatie ten opzichte van het VKA is aangetoond.

De morfologische effecten worden in het RBK in twee aspecten ingedeeld. Effecten in het zomerbed (RBK aspect 3.1, behandeld in dit hoofdstuk) en effecten in de uiterwaarden en eventuele nevengeulen (RBK aspect 3.2, hier behandeld in Hoofdstuk 0). Oevers en kribvakken horen officieel bij het eerste deel (zomerbed), maar door de samenhang met de mogelijke erosie op de verlaagde oevers zelf en rond kribwortels (beiden uiterwaard), is er gekozen deze onderwerpen als onderdeel van Hoofdstuk 0 (effecten in uiterwaard) te behandelen.

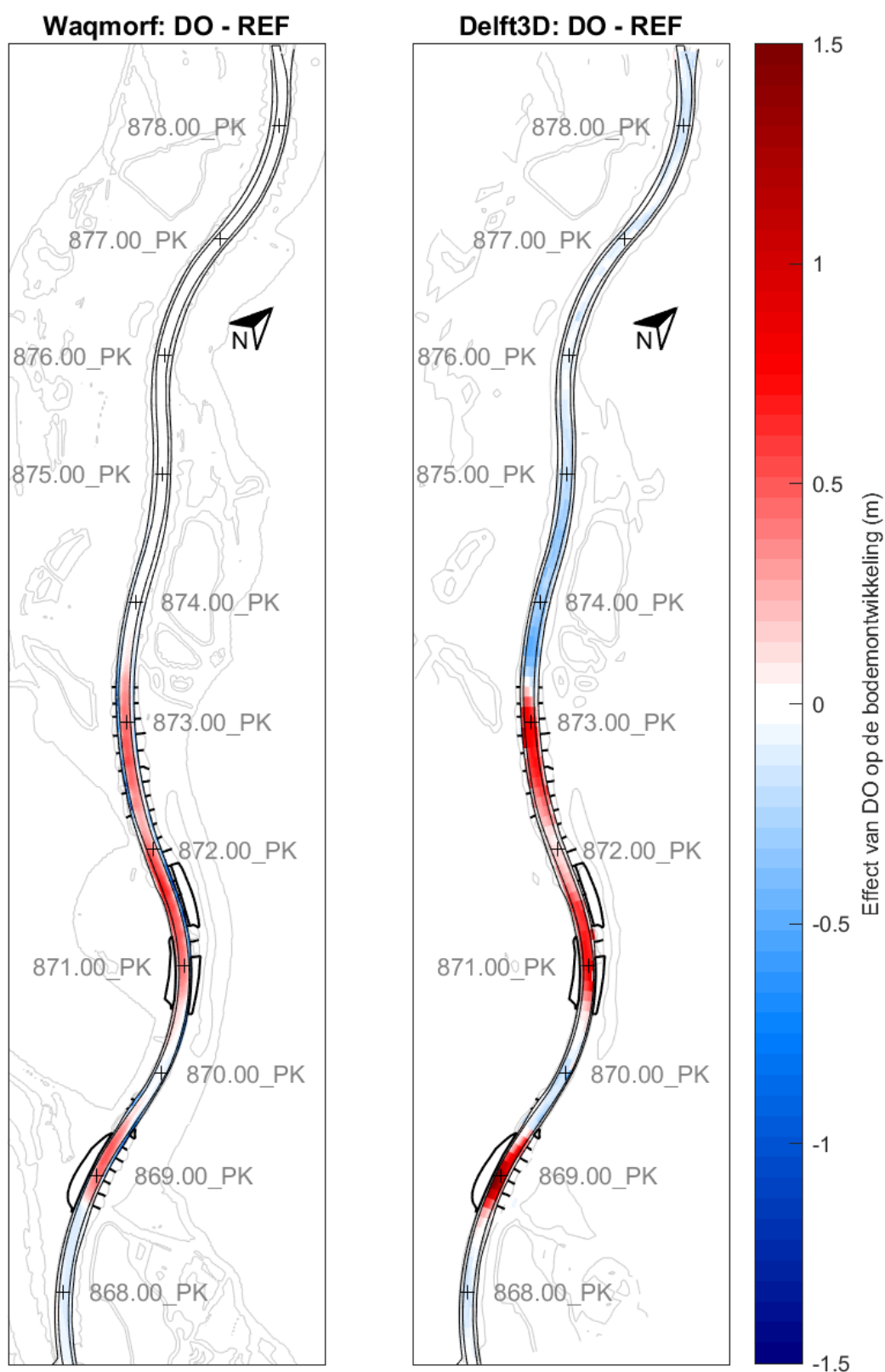
6.1 Vergelijking morfologische modellen

6.1.1 Vergelijking WAQMORF en Delft3D

WAQMORF heeft geholpen om effecten van verschillende optimalisaties inzichtelijk te maken en te komen tot robuuste ontwerpkeuzes richting het DO. Volgens het RBK 5.0 mag WAQMORF echter alleen toegepast worden voor effectbepaling van enkelvoudige ingrepen op één oever, het DO betreft daarentegen een meervoudige ingreep op twee oevers. Daarnaast kan WAQMORF niet gebruikt worden om effecten verder stroomopwaarts en/of stroomafwaarts te simuleren. Tot slot betreft het een ingreep in het splitsingspuntengebied met indirecte morfologische interactie via de debietsverdeling. Dit zijn de redenen dat Delft3D, en niet WAQMORF, leidend is in de morfologische effectbepaling van het DO.

In deze paragraaf wordt voor een volledig beeld (WAQMORF is immers in het optimalisatieproces wel toegepast) een vergelijking gemaakt tussen WAQMORF en Delft3D. Delft3D berekent de bodemligging na 40 jaar in geval van zowel de referentie als het DO. Het verschil tussen de eindbodems wordt geïnterpreteerd als het lange termijn morfologisch effect van het DO. WAQMORF geeft als uitvoer het lange termijn effect van een ingreep.

Beide effecten zijn ruimtelijk geplot en weergegeven in Figuur 6-1. Wat betreft de locatie van de sedimentatie zijn de effecten tussen de twee modellen vergelijkbaar. Over het algemeen begint sedimentatie iets verder stroomopwaarts in Delft3D en is die over een grotere afstand uitgespreid in WAQMORF. Erosie in het midden van de vaargeul (bij rkm 870 en benedenstrooms van de maatregel vanaf rkm 873,2) wordt in het geheel niet voorspeld door WAQMORF. Dit is naar verwachting aangezien WAQMORF alleen uitgaat van (veranderingen in) lokale stroomsnelheden; sedimentatie op de ene plaats hoeft niet te leiden tot minder sedimentatie op een andere. WAQMORF is daardoor niet geschikt voor het berekenen van effecten op locaties buiten de directe locatie van ingreep. Waar rond rkm 872,0 Delft3D een neutraal beeld geeft, laat WAQMORF bijvoorbeeld sterke aanzanding zien. Delft3D geeft hier een meer verklaarbaar effect: door sterke aanzanding stroomopwaarts tussen oever 3 en 4 en het zuidelijk deel van oever 5 is er onthouding van sediment, dit leidt ertoe dat er naast de verlaagde kribben 26-28 weinig of geen sedimentatie optreedt.



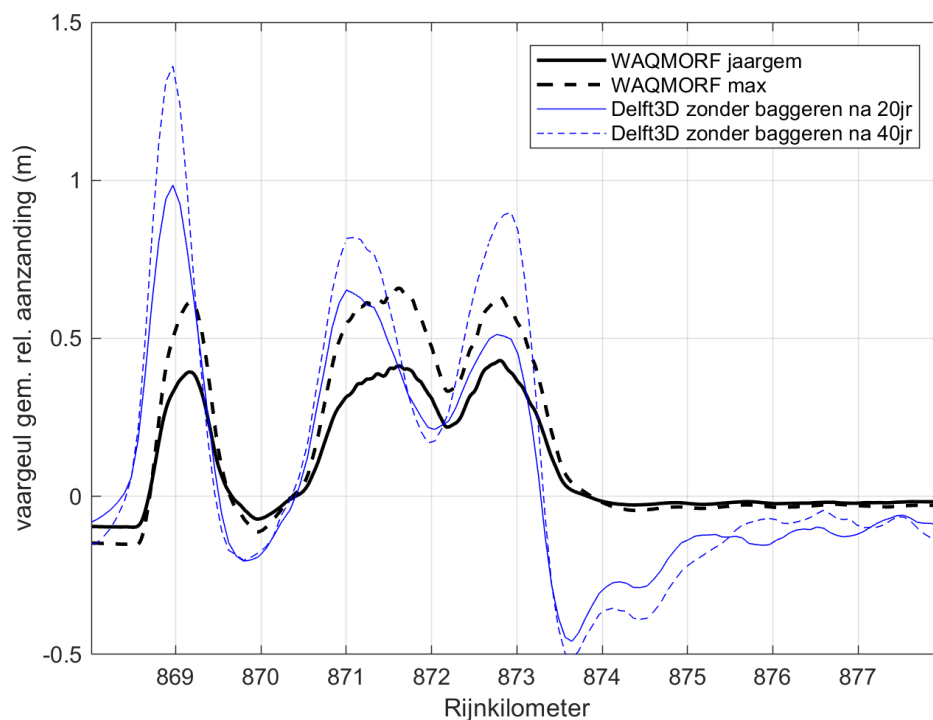
Figuur 6-1: Relatief effect ingreep (in m) in WAQMORF (links) en na 40 jaar in Delft3D zonder baggermodule (rechts).

WAQMORF laat buiten de vaargeul langs de kribvakken en randen van de oevers sterke erosie zien. De snelheid gaat hier immers omhoog. In werkelijkheid zijn zowel de kribkoppen als de taluds van de

verlaagde oevers verhard en is de verwachting dat erosiekuilen om de kribkoppen heen juist afnemen. Dit door WAQMORF berekende effect is onrealistisch. Dit was te verwachten, aangezien WAQMORF niet bruikbaar is buiten de vaarweg. Overigens geeft ook Delft3D geen realistische voorspelling van de dynamiek in kribvakken, en wordt geen morfologische ontwikkeling in de uiterwaarden berekend. De morfologische effecten in kribvakken én de verlaagde oevers wordt daarom op basis van expert judgement behandeld in Hoofdstuk 0.

De effecten zoals berekend door WAQMORF en Delft3D kunnen ook vaargeul gemiddeld (waarbij dus alleen effecten binnen de vaargeul worden meegenomen) worden beschouwd, zie Figuur 6-2. De zwarte stippellijn met WAQMORF max, weergeeft de 'maxmorf' output van de WAQMORF berekeningen. Dit zijn de bodemveranderingen na een hoogwater (inclusief uitschuring gedurende daaropvolgende periode met dalende waterstand). Voor Delft3D zijn de effecten na 20 en 40 jaar getoond. De figuur laat zien dat de ordegrrootte van het laatste deel van de ingreep (stroomopwaarts vanaf oever 3) vergelijkbaar is tussen Delft3D en WAQMORF, hoewel die laatste wel lagere sedimentatiepieken laat zien. Het bovenstroomse deel - oever 1 en kribverlaging van kribben 13-19 - geeft in Delft3D beduidend meer effect dan in WAQMORF.

Het onthoudende effect van sediment stroomafwaarts van de ingrepen (relatieve erosie) is in Delft3D duidelijk zichtbaar, in WAQMORF nauwelijks. Dit is te zien benedenstrooms van rkm 873 en nabij rkm 870.



Figuur 6-2: Vergelijking WAQMORF en Delft3D wat betreft de vaargeul gemiddelde relatieve aanzanding ten gevolge van het DO. De Delft3D resultaten zijn genomen aan het einde van de laagwaterperiode.

Constatie: uit figuur 6-2 blijkt dat na 20 jaar Delft3D berekeningen het effect van de ingreep in het projectgebied en de omgeving niet in een evenwicht is gekomen.

Het feit dat Delft3D veel aanzanding laat zien (vooral rond rkm 869, maar ook bij 873) en dat dit na 20 jaar nog niet is uitgewerkt, is onderwerp van extra onderzoek geweest, zie Bijlage H. Een belangrijk element daarin is dat het evenwichtseffect (aanzanding) bij een hoge afvoer (6000 en 8000 m³/s) niet wordt bereikt doordat bij lagere afvoeren erosie plaatsvindt. Deze erosie neemt bij de laagste relevante gemodelleerde afvoer (2250 m³/s Lobith) gedurende de looptijd van de

simulatie sterk af door vergroving van het aanwezige sediment op de bodem. Echter neemt de erosie bij de andere lagere afvoeren (3053 en 3824 m³/s) in dezelfde periode toe. Daarbij trekt – door de ligging van de ingreep in het splitsingspuntgebied - het Pannerdensch Kanaal door het DO bij hoge afvoeren blijvend meer debiet in Delft3D. Hierdoor neemt dus ook de sedimenttoevoer toe (zie ook paragraaf 6.3.2), wat ook tot een hogere sedimentatie zal leiden dan in WAQMORF.

De WAQMORF max berekening gaat in principe uit van een evenwichtsdiepte bij een hoge afvoer (in dit geval 6000 m³/s) en zou daarmee het resultaat van Delft3D moeten benaderen, maar wel met uitschuring gedurende de lagere staart van de afvoergolf (iets wat in Delft3D dus steeds minder gebeurt). Dit verklaart waarom de resultaten van de WAQMORF max berekening minder hoge sedimentatiepieken laten zien.

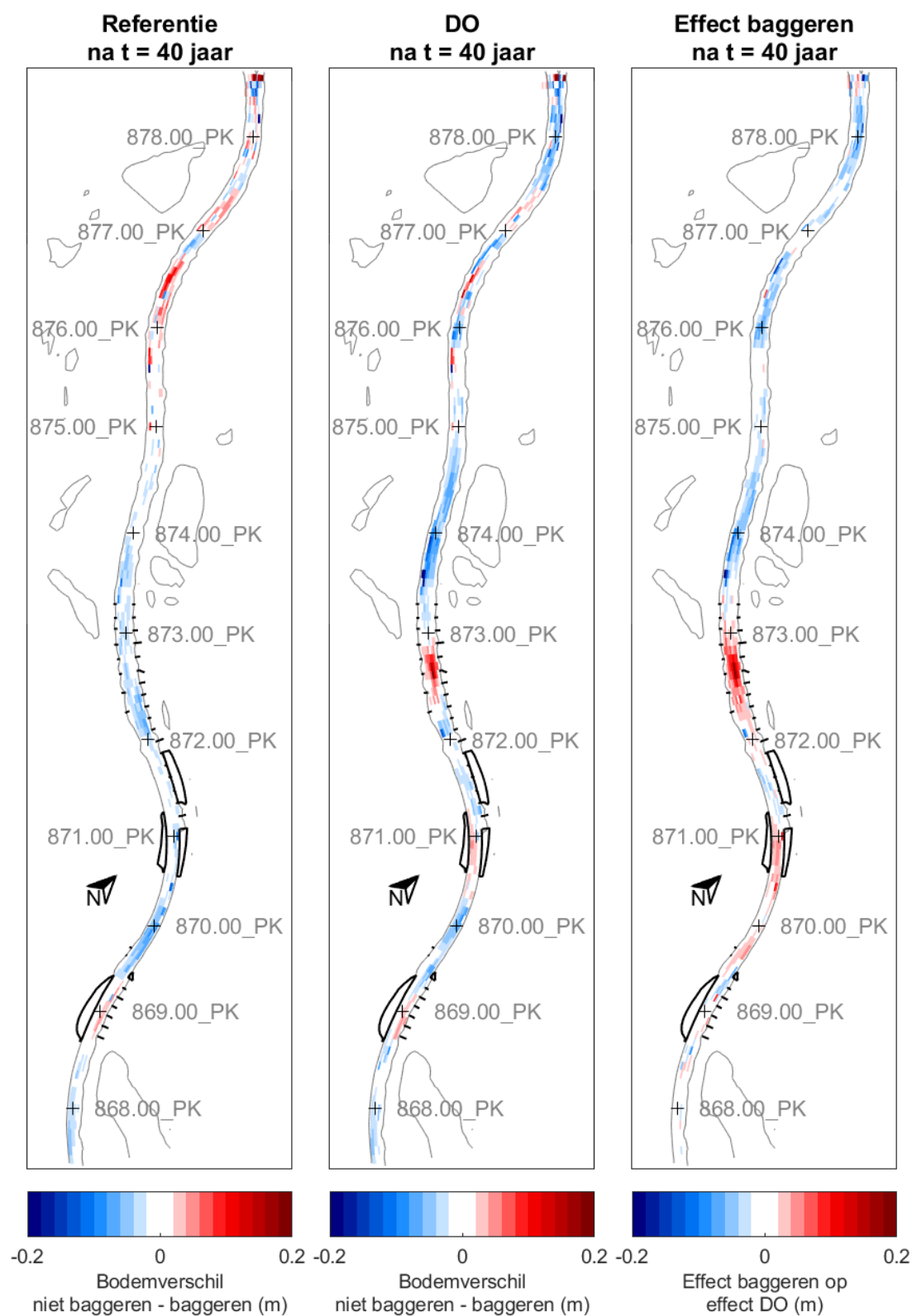
Concluderend kan worden gesteld dat Delft3D en WAQMORF een gelijkwaardig beeld en dezelfde orde effecten laten zien. Afwijkingen zijn te verklaren vanuit fysica die in de Delft3D wel en in WAQMORF niet wordt meegenomen. Delft3D is het best beschikbare instrumentarium voor de morfologische effectbepaling inzake een complexe ingreep als het DO. In combinatie met een kwaliteitsborging van Deltares zijn de uitkomsten van Delft3D dan ook het uitgangspunt voor de effect bepaling binnen het voorliggende onderzoek.

6.1.2 Vergelijking Delft3D met en zonder baggeren

In de resultaten van de Delft3D sommen is te zien dat de baggermodule op het Pannerdensch Kanaal nauwelijks in actie komt. Dit komt overeen met de werkelijkheid, in bijvoorbeeld de periode 1990-2000 was het baggervolume in het Pannerdensch Kanaal nul, zie Reeze *et al.* (2017, p33). In de referentiesituatie wordt er niet gebaggerd door het model. In het geval van het DO wordt er bij rkm 872 jaarlijks enkele honderden m³ sediment gebaggerd. In totaal gaat het om 6617 m³ over een periode van 40 jaar (gemiddeld 165 m³/jaar). Op de andere Rijntakken wordt intensiever gebaggerd in het model.

Het effect van de baggermodule op de resulterende bodemligging is onderzocht in Figuur 6-3. Het linker paneel geeft het effect van baggeren in geval van de referentiesituatie. Aangezien er in dit geval op het Pannerdensch Kanaal niet gebaggerd wordt, worden de getoonde effecten veroorzaakt door baggerwerken op andere takken (voornamelijk de Boven-Rijn en de Waal). In het middelste paneel is het effect van de baggeren in geval van het DO getoond, ook hier wordt nog nauwelijks op het Pannerdensch Kanaal gebaggerd (allen bij rkm 872) en worden de effecten voornamelijk veroorzaakt door baggerwerken op andere takken. De rechter van de drie figuren geeft de invloed van baggeren op het effect van het DO ten opzichte van de referentie. Dit effect is klein (orde 5-15 cm) en wordt voor een groot deel veroorzaakt door baggeren op de Boven-Rijn en de Waal. Doordat het effect gering is¹³, wordt er in het vervolg van dit hoofdstuk uitsluitend gebruik gemaakt van de simulaties met baggermodule.

¹³ Vergelijk hiertoe het rechterpaneel van Figuur 6-3 (effect baggeren op het effect van het DO) en het rechterpaneel van Figuur 6-1 (effect van het DO). Het eerste is een orde kleiner en dus relatief gering. In absolute getallen is bijvoorbeeld de toename door het DO van de absolute aanzanding in de vaargeul na 40 jaar zonder baggeren (77848 – 1933 =) 75915 m³ en met baggeren (76895 – 2493 =) 74402 m³.



Figuur 6-3: Invloed van de baggeroutine op de aanzanding in het Pannerdensch Kanaal in de referentiesituatie (links) en DO (midden). Rechts: de invloed van de baggeroutine op het effect van het DO.

6.2 Samenvatting effect te baggeren volume en optimalisatie ten opzichte van VKA

RBK 3.0 gaat uit van handhaven van de nautische vaardiepte en bepaling van baggervolumes voor de vaargeulbreedte. RBK 5.0 gaat uit van handhaven van de waterdiepte zoals nu aanwezig en bepaling van baggervolumes tussen de normaallijnen (vaarweg). Beide methoden worden – op verzoek van Rijkswaterstaat - in deze paragraaf gepresenteerd.

In Delft3D wordt de bodemligging in de baggerpolygonen bijgehouden volgens een dynamische baggeroutine. Deze routine is min of meer conform de normen uit RBK 3.0., er wordt gebaggerd als de waterdiepte minder wordt dan OLR-2,8m. De polygonen waarbinnen Delft3D baggert zijn echter anders dan de gedefinieerde vaargeul in RBK 3.0, zie sectie 3.8.4 voor details. In de referentiesimulatie is volgens Delft3D geen baggeractiviteit in het projectgebied. In het geval van de ingreep is er 6617 m³ beunvolume aan sediment gebaggerd door Delft3D na 40 jaar. In het geval van VKA is dit 8508 m³ beunvolume.

De discrepantie tussen de baggerpolygonen in Delft3D en de gedefinieerde vaargeul in RBK3.0 wordt opgevangen door het resterende te baggeren volume voor vaargeul en vaarweg te bepalen aan de hand van de toename in volumes boven een referentievlak in de Delft3D begin- en eindbodem. Wanneer deze opgeteld worden bij de door Delft3D gebaggerde volumes, worden de totale baggerhoeveelheden verkregen.

Tabel 6-1 geeft de – zoals in voorgaande alinea beschreven - gecorrigeerde baggerresultaten voor een referentievlak van OLR-2,8m. Tabel 6-2 geeft dezelfde analyse maar dan met OLR-4,0m als referentievlak. Tabel 6-3 geeft tot slot de totale aanzandingvolumes (bruto aanzanding, dus geen vermindering met de aanzienlijke erosie op andere locaties) in de vaargeul (80 m breed) en vaarweg (variabele breedte) als geheel. Tabel 6-1 en Tabel 6-2 geven de volumes in beunvolume, gelijk aan insitu vermenigvuldigd met de beunfactor (1,4), Tabel 6-3 geeft insitu volumes. Het onderscheid tussen insitu en beunvolume is gemaakt om de resultaten met eerdere studies te kunnen vergelijken.

In Bijlage N zijn uitgebreide tabellen met detaileffecten per hectometervak getoond. In paragraaf 6.3.3 worden de tabellen uitgebreid beschreven. De waarden in onderstaande tabellen zijn terug te vinden in de tabellen in de bijlage. De waarden uit Tabel 6-3 zijn terug te vinden in kolom 5 in de tabellen in de bijlage. De waarden uit Tabel 6-1 zijn te verkrijgen door de waarde uit kolom 9 in de tabellen in de bijlage te vermenigvuldigen met de beunfactor en vervolgens kolom 3 erbij op te tellen. Voor de waarden uit Tabel 6-2 geldt dat kolom 15 en kolom 3 in de tabellen in de bijlage moeten worden opgeteld.

Tabel 6-1: Totaal volume boven OLR-2,8m (theoretisch te baggeren volume) in de vaargeul en de vaarweg in beunvolume (m³).

	0-5 jaar		0-40 jaar	
	Vaargeul	Vaarweg	Vaargeul	Vaarweg
Referentie	0	332	0	357
DO	0	660	7863	14756
VKA (SNIP2A)	0	780	9763	17291

Tabel 6-2: Totaal volume boven OLR-4,0m (theoretisch te baggeren volume) in de vaargeul en de vaarweg in beunvolume (m³).

	0-5 jaar		0-40 jaar	
	Vaargeul	Vaarweg	Vaargeul	Vaarweg
Referentie	1388	4932	2934	4547
DO	13691	22704	95930	122566
VKA (SNIP2A)	14750	23935	104005	132156

Tabel 6-3: Totale aanzanding in de vaarweg en vaargeul in insitu volume (m³)

	0-5 jaar		0-40 jaar	
	Vaargeul	Vaarweg	Vaargeul	Vaarweg
Referentie	4020	9130	2493	4880
DO	42828	54693	76895	98009
VKA (SNIP2A)	45022	57000	83193	105297

RBK 5.0 vraagt zowel de totale aanzanding binnen de normaallijnen (vaarweg) als het baggerbezwaar in de vaarweg dat is gedefinieerd als de aanzanding boven OLR-2,8m. Beide hoeveelheden nemen in het DO ten opzichte van referentie toe. De eerste kan worden gekwantificeerd met behulp van Tabel 6-3. In de eerste vijf jaar neemt het totale aanzandingsvolume in de vaarweg toe met $54693 - 9130 = 45563$ m³ insitu volume. Op lange termijn (40 jaar) neemt het totale aanzandingsvolume in de vaarweg toe met $98009 - 4880 = 93129$ m³ insitu volume. Het baggerbezwaar volgens RBK5.0 kan gekwantificeerd worden met behulp van Tabel 6-1. In de eerste vijf jaar neemt het baggervolume in de vaarweg toe met $660 - 332 = 328$ m³ in beun, over 40 jaar is dit $14756 - 357 = 14399$ m³ in beun.

Het totale te baggeren volume volgens RBK 3.0 is gedefinieerd als het totale sedimentatievolume wat boven het OLR-2,8m vlak in de vaargeul neerslaat. Dit volume neemt dankzij het DO toe van 0 naar 7863 m³ in een periode van 40 jaar. Het betreft hier ongeveer vijf baggerdagen over die 40 jaar. Dit is zo beperkt dat er geen sprake zal zijn van vol rakende stortvakken, of hoeft te worden nagedacht over alternatieven. Het bestaande beleid (baggeren in vaargeul en storten bij de oevers) voldoet. Ook zal er geen extra hinder vanwege baggeronderhoud zijn voor scheepvaart op het Pannerdensch Kanaal.

Vanaf de inceptie van het project KOP is geaccepteerd dat de verruiming van het Pannerdensch Kanaal door krib- en oeververlaging tot extra sedimentatie in het zomerbed zal leiden. Opgave vanuit het RBK 5.0 is om aan te tonen dat er wat betreft eventueel baggerwerk is geoptimaliseerd. Vandaar dat de vergelijking is gemaakt met de effecten van het VKA. Om een eenduidige vergelijking te maken is het VKA opnieuw berekend met dezelfde modellen en uitgangspunten als bij de berekening van het DO. Het VKA en haar effecten zijn goedgekeurd bij het SNIP2A besluit met daarbij de opgave om nadelige effecten (zoals de morfologische effecten) verder te reduceren. Het scopeformulier zegt hierover:

Krib- en oeververlaging zullen een effect hebben op de aanzanding van de vaargeul. Door te kiezen voor dit alternatief wordt een zekere mate van toename van de onderhoudsinspanning geaccepteerd. Het verminderen van de overlast voor scheepvaart is een belangrijk optimalisatiepunt. De uitkomsten aan het onderzoek moeten worden afgestemd met DGRW en DGB.

De uitgevoerde optimalisatieslag van het ontwerp van VKA naar DO¹⁴ (uitgevoerd op basis van voorlopige WAQMORF resultaten, via tussenstap VKV) wordt via de Delft3D resultaten in de tabellen bevestigd. De sedimentatievolumes van het DO nemen immers ten opzichte van het VKA (SNIP2A, RHDHV, 2017) af. De optimalisatie van de ingreep t.o.v. het VKA betreft: niet verlagen van delen van kribben, stroomlijnen van oevers, niet verlagen van delen van oevers en minimaliseren van dwarsstroom (zie Hoofdstuk 2). De optimalisatie van het VKA naar het DO kan worden gekwantificeerd met behulp van Tabel 6-3. De totale aanzanding in de eerste vijf jaar is in het geval van het DO $57000 - 54693 = 2307$ m³ minder dan in het geval van VKA. Ook na 40 jaar is de totale aanzanding ten gevolge van het DO lager dan het VKA: $105297 - 98009 = 7288$ m³. In de andere

¹⁴ De ontwerptoptimalisatie is gedurende een periode van 4 maanden uitgevoerd, waarin diverse optimalisaties zijn opgesteld door adviseurs van zowel opdrachtgever als opdrachtnemer. De kansrijke optimalisaties zijn doorgerekend, getoetst en gecombineerd, wat heeft geleid tot het huidige DO

tabellen in deze paragraaf zijn de aanzandings- en baggervolumes van het VKA overal hoger dan de waarden van het DO. Optimalisatie van DO t.o.v. het SNIP2A ontwerp (VKA) is hiermee aangetoond.

6.3 RBK 5.0 3.1: Morfologische effecten DO zomerbed

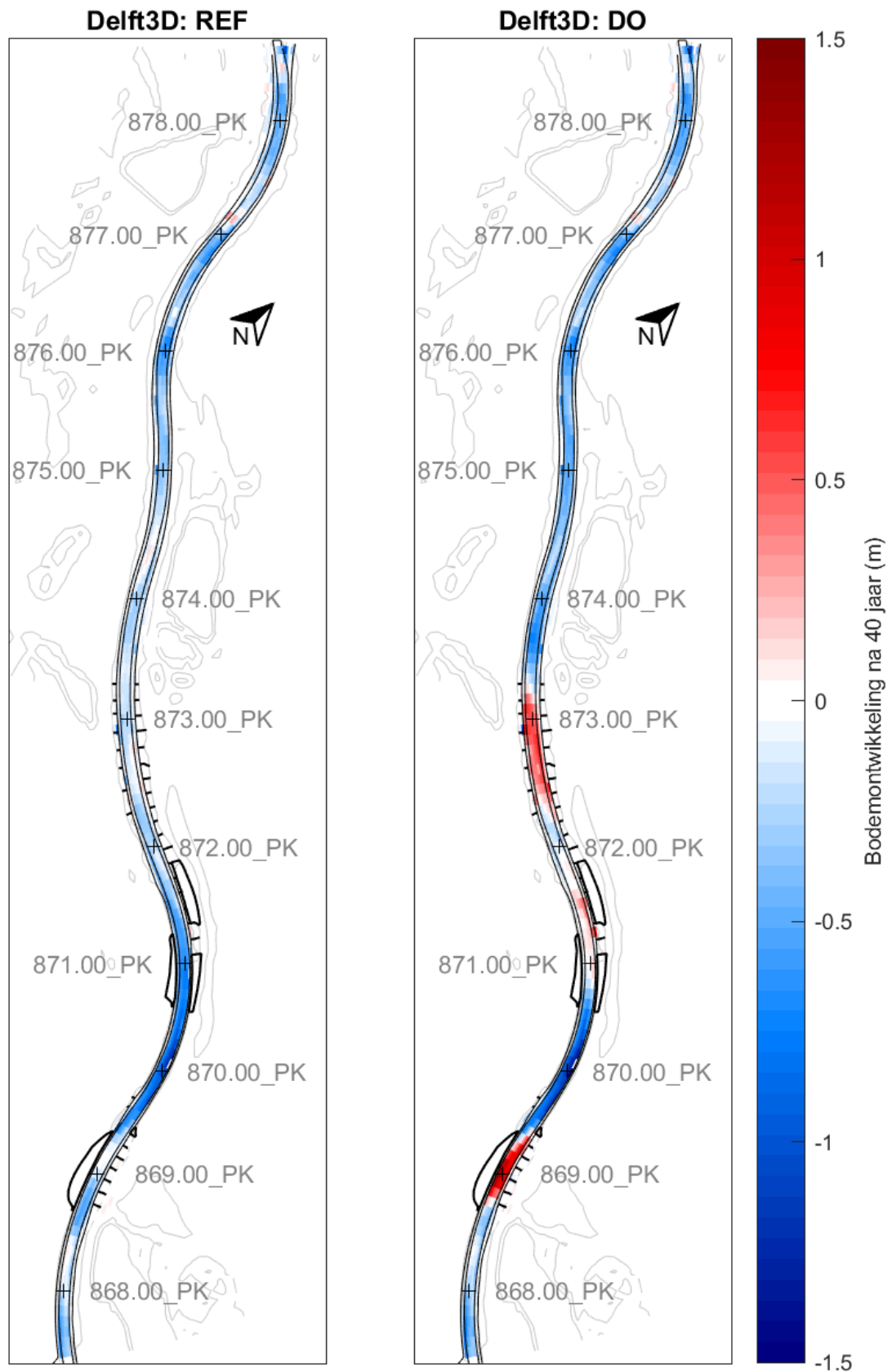
6.3.1 Erosie en sedimentatie ten gevolge van het DO

Figuur 6-4 geeft erosie/sedimentatie patronen in Delft3D voor referentie en DO. Duidelijk is dat het Pannerdensch Kanaal in de referentiesituatie uniform erodeert met 0 tot 1 m over 40 jaar¹⁵. Het DO veroorzaakt de volgende ruimtelijke morfologische effecten.

- Tussen de verlaagde oever 1 en het meest bovenstroomse traject van de kribverlaging verandert de licht eroderende/neutrale trend in de referentie in een doorgaande trend van sedimentatie, tot maximaal 1,5 m na 40 jaar, gemiddeld 3-4 cm/jaar.
- Tussen de verlaagde oevers 3, 4 en 5 verandert relatief sterke erosie in de referentie in een neutrale en plaatselijk sedimenterende trend.
- Tussen de meest benedenstroomse trajecten van de kribverlaging slaat een neutrale/licht eroderende bodemontwikkeling in de referentie om in sterke sedimentatie, circa 80 cm na 40 jaar, 2 cm gemiddeld per jaar.
- Stroomafwaarts van gebieden met sedimentatie is ten opzichte van de referentie additionele erosie te zien, als gevolg van de reductie in sedimenttransport. Maximaal 40 cm extra ten opzichte van referentie, of gemiddeld een cm per jaar.

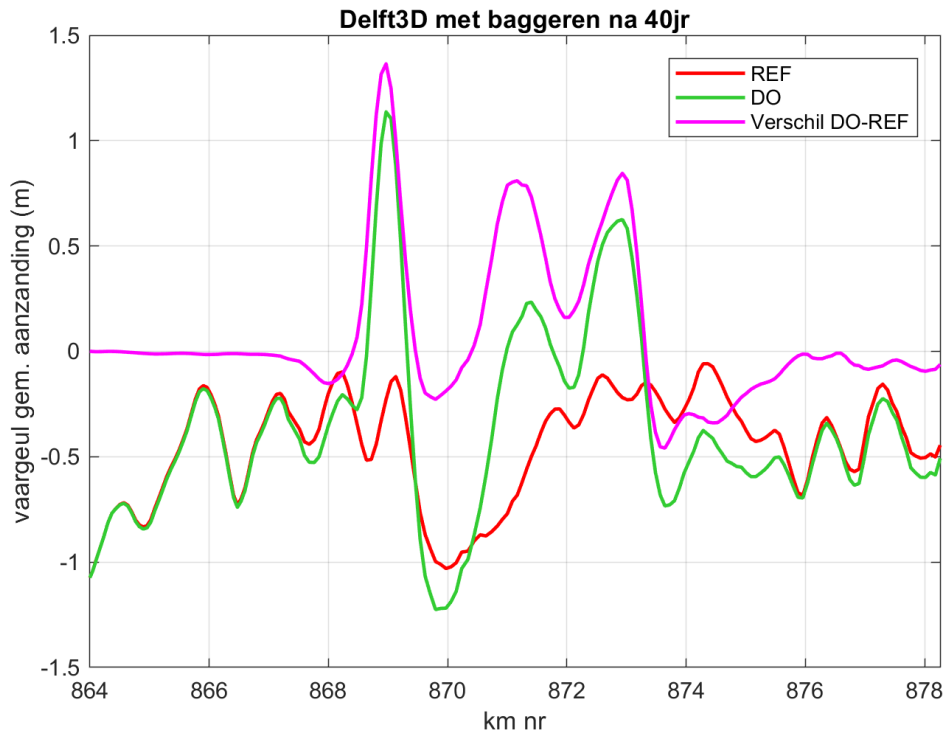
Deze effecten worden ook inzichtelijk gemaakt in een effectfiguur (erosie/sedimentatie door DO ten opzichte van de referentie) in het rechterpaneel van Figuur 6-1. NB: een rode kleur hoeft niet de duiden op sedimentatie, maar kan ook minder erosie betekenen.

¹⁵ De erosieve trend die op dit moment bestaat in het Pannerdensch Kanaal (orde 1 à 2 cm/jaar) blijft in het model de komende 40 jaar doorgaan.



Figuur 6-4: Bodemontwikkeling (in m) in Delft 3D na 40 jaar inclusief baggeroutine, links: referentie, rechts: DO.

Erosie-sedimentatiepatronen van referentie en DO zoals gepresenteerd in Figuur 6-4 zijn gemiddeld over de breedte van de vaargeul en geïnterpoleerd naar rivierkilometers, zie Figuur 6-5. De relatief uniforme erosie in de referentie (0 tot 1 m) over de 40 gesimuleerde jaren is goed te zien. Zo ook de drie pieken van extra aanzanding/minder erosie zoals veroorzaakt door het DO, alsmede de erosie stroomafwaarts daarvan.



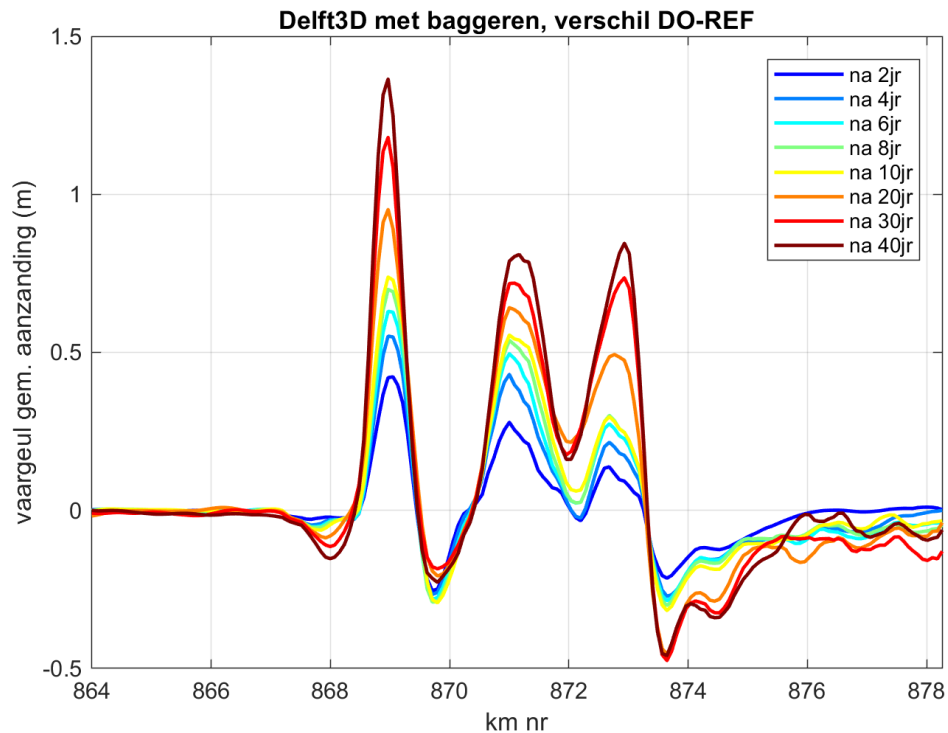
Figuur 6-5: Vaargeul gemiddeld effect referentie en DO (en verschil) na 40 jaar met baggeren.

Figuur 6-6 geeft uitsluitend het effect van DO ten opzichte van referentie (magenta lijn uit Figuur 6-5), maar dan voor verschillende jaren in de simulatie. Het uiteindelijk effect ontstaat gelijkmatig en de snelheid daarvan neemt af in de tijd (effect in de eerste 2 jaar is beduidend groter dan in de laatste 10 jaar). Echter lijkt de trend rond rkm 869 in de laatste 30 jaar redelijk constant, waardoor een evenwichtseffect nog niet bereikt lijkt te zijn. In Bijlage H is het uitblijven van het evenwichtseffect verder uitgezocht. De conclusie is de ligging van het project in het splitsingspuntengebied bijdraagt aan de doorgaande ontwikkeling van het morfologisch effect. Door de langzame verandering van effecten bij lage en de hoge afvoeren (onder andere door wijzigingen in sedimentsamenstelling) verschuift ook het dynamisch evenwicht waarnaar het effect zich ontwikkelt. Delft3D is het best beschikbare instrumentarium (geborgd door Deltares) voor de morfologische effectbepaling inzake een complexe ingreep als het DO. De geconstateerde doorgaande groei van het effect kan daarom beschouwd worden als een te verwachten onderdeel van het morfologisch effect en telt mee bij de evaluatie van DO.

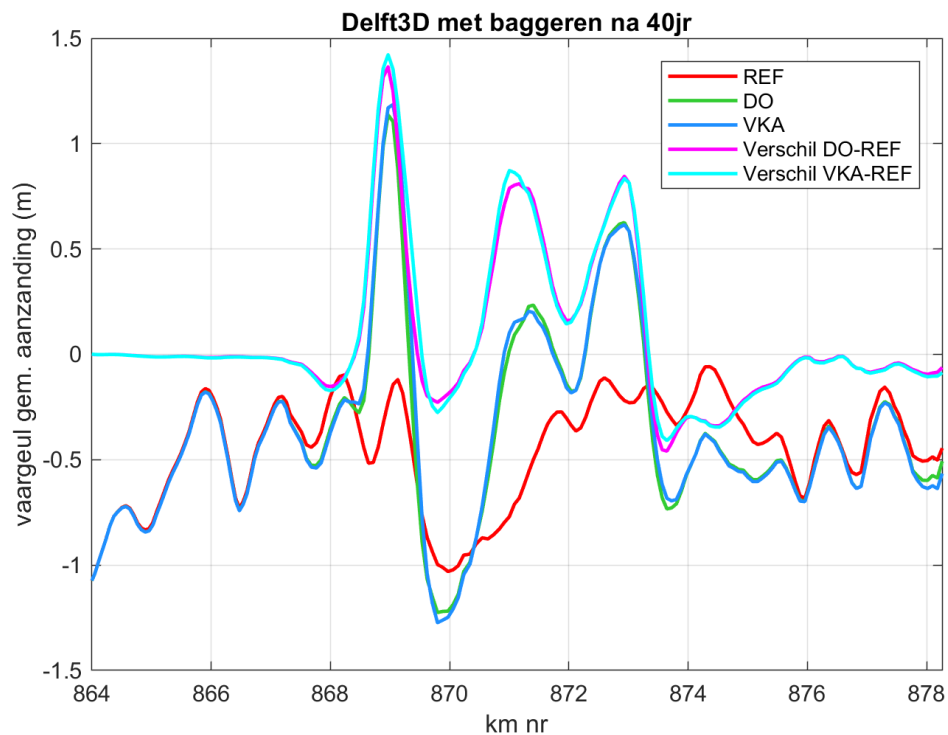
De relatieve erosie migreert naar benedenstrooms, na 8 jaar is al een kleine toename in erosie bij de IJsselkop te zien. Dit relatieve effect ontwikkelt tot circa 10 cm (vaargeul gemiddeld) ten opzichte van referentie.

Een mogelijkheid bij het uitvoeren van geconcentreerde verruimingen is het ontstaan van gradiënten in de bodem. Een dergelijke gradiënt is te zien bij rkm 869, aan het stroomafwaartse einde van de verlaagde oever 1. Dit effect is verminderd ten opzichte van het VKA door het stroomafwaartse einde van oever 1 én de tegenovergelegen oever 2 te stroomlijnen. Dit is terug te zien in een afgenomen piek en dal van het effect ten opzichte van het VKA in Figuur 6-7 (en een verschuiving

van de gradiënt stroomopwaarts). Hiermee is tegemoetgekomen aan RS 280.4: 'Beschrijven van de risico's op de ontwikkeling van gradiënten in de bodem van de rivier. Acute overgangen in bodemligging dienen te worden voorkomen door nemen van mitigerende maatregelen.'



Figuur 6-6: Effect DO ten opzichte van referentie over de jaren.



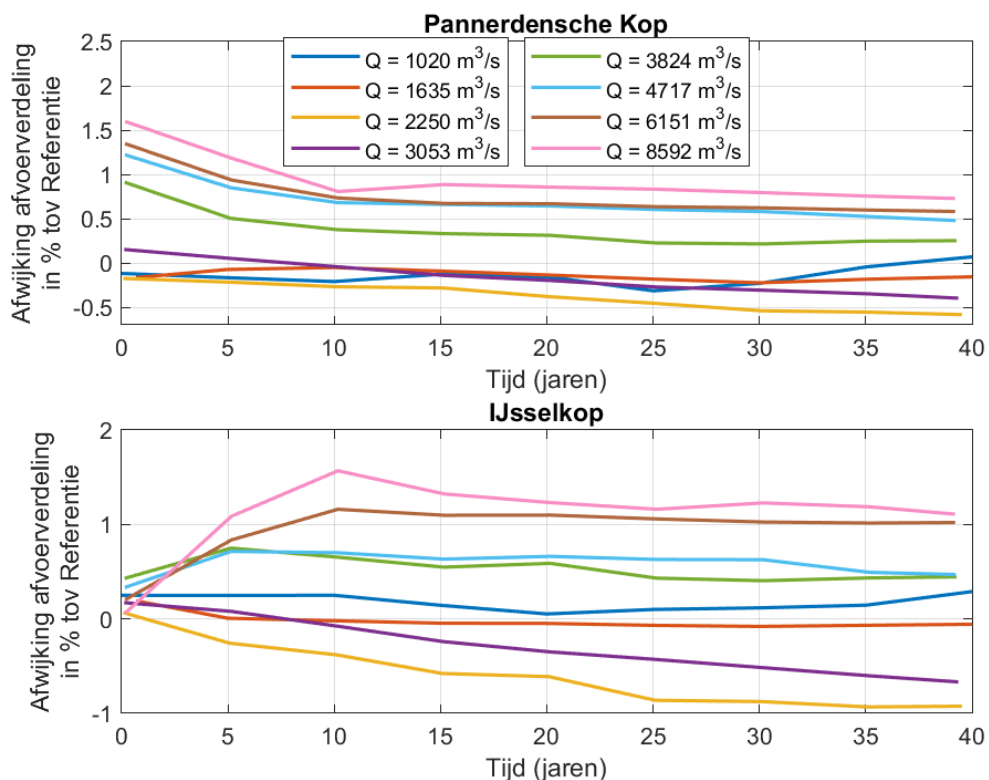
Figuur 6-7: Effect DO ten opzichte van effect VKA.

6.3.2 Effect DO op verdeling sedimenttransport

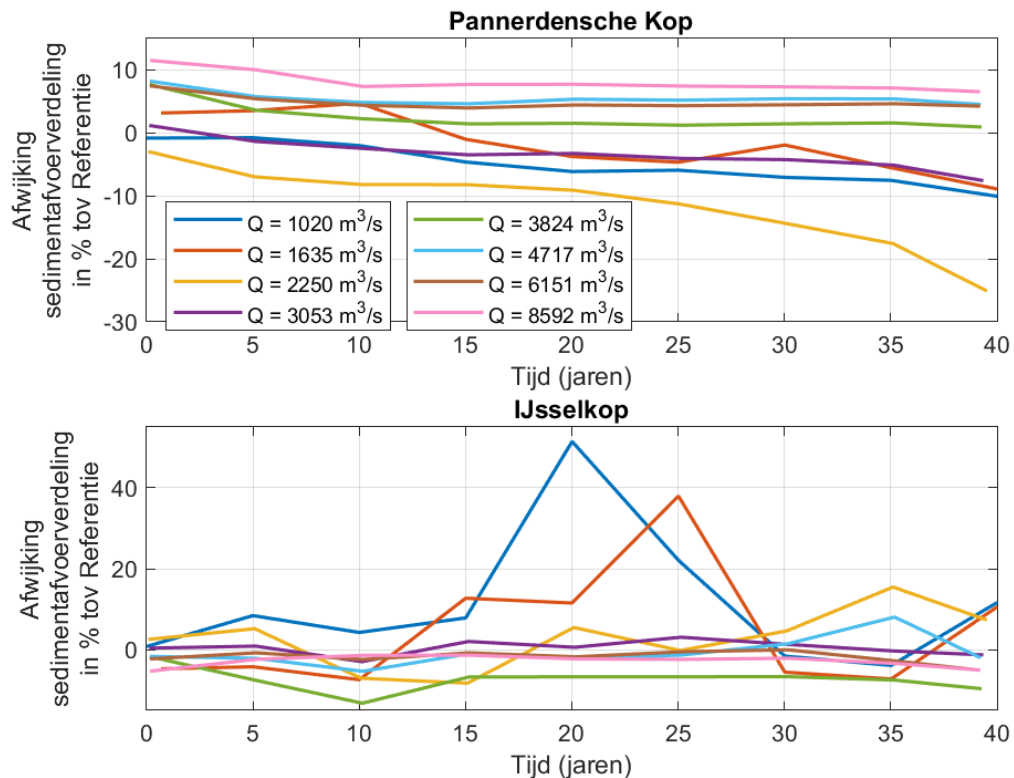
Per tak kan de sedimentlast worden bijgehouden. Deze is in Delft3D uitgevoerd in raaien direct na de splitsingspunten. Figuur 6-9 laat de doorwerking van het morfologische effect van het DO op de sedimentverdeling bij Pannerdensche Kop en IJsselkop zien. Bij hoge afvoeren leidt de verruiming van het Pannerdensch Kanaal tot een toename in de sedimentvracht naar het Pannerdensch Kanaal. Bij lage afvoeren neemt de last richting Pannerdensch Kanaal juist af, doordat de maatregel in het zomerbed juist tot aanzanding leidt en dit het debiet beperkt. Dat dit effect bij de laagste afvoer (OLA) minder sterk is dan bij gemiddeld debiet (2250 m³/s) heeft waarschijnlijk te maken met het feit dat het totale debiet naar het Pannerdensch Kanaal juist in de tijd toeneemt in geval van OLA, zie Figuur 6-8.

Het effect op de IJsselkop is niet eenduidig. Kleine sedimenttransporten geven relatief grote effecten. De IJssel trekt beduidend meer water bij hoge afvoeren door het effect van het DO. Op basis hiervan kan worden geconcludeerd dat de sedimentverdeling bij IJsselkop ook richting IJssel verschuift.

Een toename van zandvracht richting Pannerdensch Kanaal is ongunstig voor de doorgaande erosie op de Waal, die zal daardoor mogelijktoenemen. Het is echter inherent aan het verruimen van het kanaal in geval van het DO.



Figuur 6-8: Doorwerking morfologische effect op debietsverdeling. Boven: Pannerdensche Kop; getoond is de relatieve verschuiving veroorzaakt door DO in verhouding debiet Pannerdensch Kanaal ten opzichte van Boven-Rijn. Onder: IJsselkop, getoond is de relatieve verschuiving veroorzaakt door DO in verhouding debiet IJssel ten opzichte van Pannerdensch Kanaal. Een positieve waarde in de bovenste plot betekent een verschuiving in debiet naar het Pannerdensch Kanaal, in de onderste plot duidt het op een verschuiving naar de IJssel.



Figuur 6-9: Doorwerking morfologische effect op verhouding sedimenttransport over de takken. Boven: Pannerdensche Kop; getoond is de relatieve verschuiving veroorzaakt door DO in verhouding sedimenttransport (kg/s) Pannerdensch Kanaal ten opzichte van Boven-Rijn. Onder: IJsselkop, getoond is de relatieve verschuiving veroorzaakt door DO in de verhouding sedimenttransport (kg/s) IJssel ten opzichte van Pannerdensch Kanaal. Een positieve waarde in de bovenste plot betekent een verschuiving in sedimenttransport naar het Pannerdensch Kanaal, in de onderste plot duidt het op een verschuiving naar de IJssel.

6.3.3 Tabellen met detailuitvoer

De grootschalige effecten zijn in de voorgaande paragrafen getoond en gekwantificeerd. In Bijlage N zijn uitgebreide tabellen met detaileffecten per hectometervak getoond in het gebied tussen rkm 876,5 en 878. De tabellen bevatten resultaten uit Delft3D per riviervak van 100m met een waarde na 5 jaar en een waarde na 40 jaar. Bijlage N bevat tabellen van zowel de DO berekening als de referentie berekening. Ook zijn er aparte tabellen waarin de waarden bepaald zijn voor de vaargeul en de vaarweg. De kolommen in de tabellen zijn weergegeven in Tabel 6-4.

Tabellen N.1 en N.2 betreffen een vergelijking tussen de modelstartbodem en waterdiepte kaarten. Tussen deze twee komen verschillen voor tot circa 1 m. Deze worden veroorzaakt doordat 1) de startbodem in de simulaties van een ander jaar is dan de waterdiepte kaarten en 2) de modelbodem nog vijf jaar is ingespeeld.

Relevante effecten zijn voor zover bekend in de rest van het rapport beschreven.

Tabel 6-4: Variabelen behorende bij de verschillende kolommen in de tabellen in Bijlage N.

Kolom	Variabele
1	Rivierhectometer start
2	Rivierhectometer eind
3	Baggervolume (in beun m ³) uit de baggermodule van Delft3D per hm-vak ¹⁶
4	Stortvolume (in beun m ³) uit de baggermodule van Delft3D per hm-vak ¹⁶
5	Sedimentatie volume per hm-vak (gekubeerd, in insitu m ³) ten opzichte van de startbodem
6	Erosie volume per hm-vak (gekubeerd, in insitu m ³) ten opzichte van de startbodem
7	Maximum bodemhoogte t.o.v. CCR norm ¹⁷ per hm-vak (in m). Een negatieve waarde betekent dat de bodem onder de CCR norm ligt.
8	Effect van de ingreep op maximum bodemhoogte t.o.v. CCR norm per hm-vak (in m). Een negatieve waarde betekent dat de bodem in DO lager ligt dan de bodem in de referentie.
9	Sedimentatievolume boven CCR norm (OLR-2.8m) per hm-vak (in insitu m ³)
10	Effect van de ingreep op sedimentatievolume boven CCR norm (OLR-2.8m) per hm-vak (in insitu m ³). Een negatieve waarde betekent dat het sedimentatievolume in DO lager ligt dan het sedimentatievolume in de referentie.
11	Baggervolume boven CCR norm minus 30cm baggermarge (OLR-3.1m) per hm-vak (in beun m ³)
12	Effect van de ingreep op baggervolume boven CCR norm minus 30cm baggermarge (OLR-3.1m) per hm-vak (in beun m ³). Een negatieve waarde betekent dat het baggervolume in DO lager ligt dan het baggervolume in de referentie.
13	Gemiddelde bodemhoogte t.o.v. CCR norm per hm-vak (in m). Een negatieve waarde betekent dat de bodem onder de CCR norm ligt.
14	Effect van de ingreep op gemiddelde bodemhoogte t.o.v. CCR norm per hm-vak (in m). Een negatieve waarde betekent dat de bodem in DO lager ligt dan de bodem in de referentie.
15	Baggervolume boven CCR norm minus kielspeling ¹⁸ (OLR-4m) per hm-vak (in beun m ³)
16	Effect van de ingreep op baggervolume boven CCR norm minus kielspeling (OLR-4m) per hm-vak (in beun m ³). Een negatieve waarde betekent dat het baggervolume in DO lager ligt dan het baggervolume in de referentie.

¹⁶ De baggermodule van Delft3D baggert per kilometervak. De gebaggerde waarden zijn gelijk verdeeld over de tien hectometervakken in het betreffende kilometervak.

¹⁷ Op de Boven-Rijn, Waal, Pannerdensch Kanaal en NRL IJsselkop -Driel is de CCR norm OLR-2.8m

¹⁸ Op de Boven-Rijn, Waal, Pannerdensch Kanaal en NRL IJsselkop -Driel is de kielspeling 1.2m

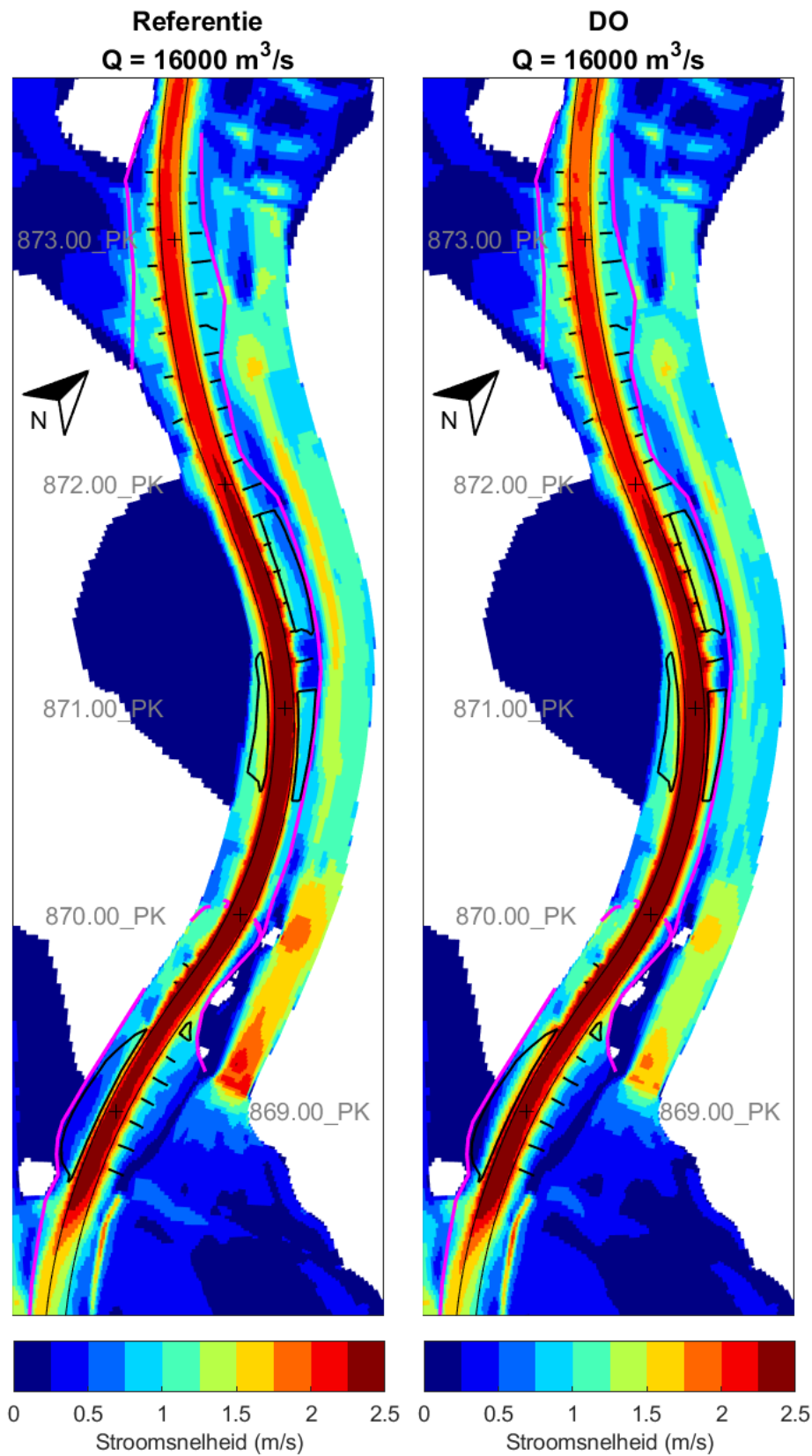
RBK 5.0 3.2: SEDIMENTATIE EN EROSIE VAN OEVERS EN UITERWAARDEN

In dit hoofdstuk worden de morfologische effecten van de ingreep behandeld die buiten het zomerbed vallen. Delft3D (en WAQMORF) zijn niet van toepassing in dit gebied. Daarom wordt deze analyse gebaseerd op hydrodynamische effecten zoals uitgerekend door WAQUA bij $16000 \text{ m}^3/\text{s}$, literatuurstudie en expert judgement.

In dit hoofdstuk worden eerst de snelheden bij $16000 \text{ m}^3/\text{s}$ Lobith getoond, waaraan in het hoofdstuk wordt gerefereerd (paragraaf 7.1). Vervolgens wordt op basis van literatuurstudie en expert judgement een inschatting gemaakt van de mogelijke erosie in kribvakken en kribwortels (paragraaf 7.2). Daarna wordt eenzelfde inschatting gemaakt van erosie op de verlaagde en niet verlaagde oevers (paragraaf 7.3).

7.1**Kritische stroomsnelheden KOP**

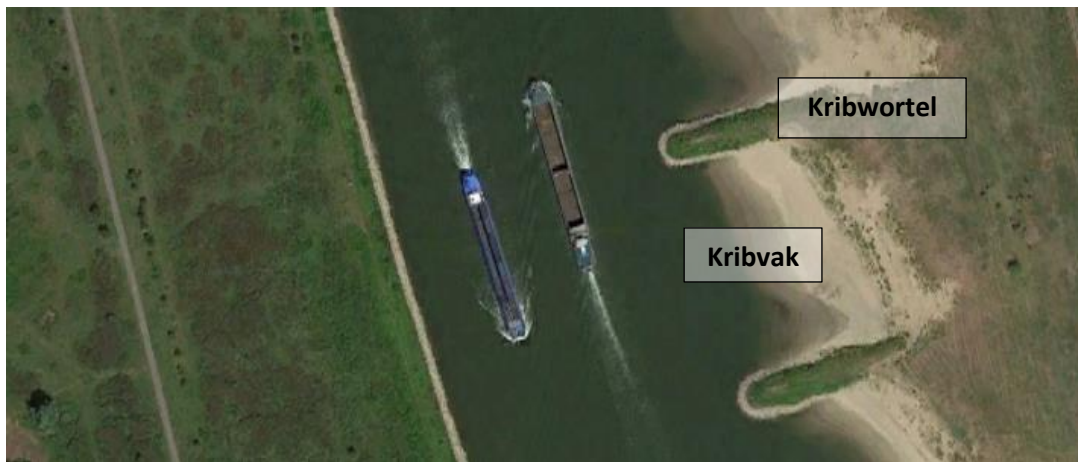
De kritische stroomsnelheden op de verlaagde oevers en bij de kribwortels komen vrijwel altijd voor bij de maximale afvoer van $16000 \text{ m}^3/\text{s}$. Deze zijn dan ook in eerste instantie beschouwd om een inschatting te kunnen geven van de maximale erosie die kan optreden tijdens een extreme hoogwatergolf, zie Figuur 7-1 (dit betreft een verder ingezoomde figuur van een figuur dat eerder getoond is als Fig. J-8). Waar maximale snelheden daadwerkelijk in de analyse worden gebruikt is steeds gecontroleerd of deze bij lagere debieten hoger zijn (zie ook de analyse van stroomsnelheden op de uiterwaarden in paragraaf 5.2), waar nodig is van een lagere afvoert uitgegaan. Bij inschatting van kans op erosie is de absolute stroomsnelheid van belang, er zijn daarom geen verschilfiguren getoond.



Figuur 7-1: Kritische stroomsnelheid bij afvoer $16000 \text{ m}^3/\text{s}$ krib- en oeververlaging KOP (links: referentiesituatie en rechts: DO) met de zones oeververlaging en verlaagde kribben aangegeven in zwarte lijnen. De magenta lijnen geven de leikades weer.

7.2 Expert judgement erosie kribvakken en kribwortels

Op basis van literatuuronderzoek en analyse van de kritische stroomsnelheden bij een maatgevende afvoer van $16000 \text{ m}^3/\text{s}$ bij Lobith is in deze sectie de mogelijke mate van oever- en kribvakerosie beschouwd. Allereerst wordt het literatuuronderzoek naar de langjarige ontwikkeling van kribvakken in de Waal behandeld, gevolgd door literatuuronderzoek naar specifiek de invloed van verlaagde kribben in de Waal op de bodemontwikkeling van kribvakken en kribwortels. Daaruit volgt een expert judgement voor de te verwachten kribvakerosie voor de verlaagde kribben van KOP. De eerder getoonde kritische stroomsnelheden uit WAQUA worden samen met de bevindingen uit de literatuurstudie gebruikt in een expert judgement voor kribwortelerosie van KOP. Figuur 7-2 toont een principeplaatje van een kribvak en kribwortel representatief voor de situatie in het Pannerdensch Kanaal.



Figuur 7-2: Principefiguur kribvak en kribwortel

7.2.1 Literatuuronderzoek langjarige ontwikkeling kribvakken Waal

Er is geen literatuur over morfologische ontwikkeling van kribvakken beschikbaar voor het Pannerdensch Kanaal maar wel voor de Waal. Daarom is uitgegaan van de bevindingen van de Waal en worden die vertaald naar de situatie van het Pannerdensch Kanaal.

Analyse van de langjarige ontwikkeling van de bodemligging van kribvakken in de Waal laat zien dat de kribvakken bij hoge afvoergolven sedimenteren en in tussenliggende jaren, tussen hoogwatergolven in, langzaam eroderen (Ten Brinke, 2003). Significante sedimentatie van kribvakken ontstaat bij afvoergolven met een herhalingsperiode van ongeveer 5 jaar of langer. Tijdens zo'n fors hoogwater sedimenteert er meer sediment in de kribvakken van de Waal dan er tijdens de afvoergolf bovenstrooms de Waal in wordt getransporteerd. Blijkbaar erodeert er tijdens een forse hoogwatergolf sediment uit het zomerbed, dat sedimenteert in de kribvakken.

In rustige jaren, in de periode tussen forse hoogwatergolven in, eroderen de kribvakken langs de Waal. Dit gebeurt met name door het leegzuigen door passerende schepen en het weer vollopen na passage. De invloed van secundaire scheepsgolven is verwaarloosbaar vergeleken met het leegzuigen. De erosie tijdens een individuele passage van een beladen 4-baksduwvaart is het hoogst, echter ten opzichte van de rest van de scheepvaart speelt de duwvaart een ondergeschikte rol bij de erosie omdat de relatief grote bijdrage per individuele passage ruimschoots teniet wordt gedaan door de geringe bijdrage van de duwvaart aan de totale scheepvaart. Met name de grotere binnenvaartschepen (Rijnschepen en Kanaalschepen) zijn dominant voor de totale erosie van kribvakken langs de Waal (Ten Brinke, 2003). Bij gelijke vaarsnelheden zijn de stroomsnelheden in het kribvak 35-50% hoger bij 6-baksduwvaart dan bij 4-baksduwvaart (Verhey, H.J. en K. Vermeer, 1987).

De erosie van kribvakken in rustige jaren is niet gelijk verdeeld over de kribvakken: diepere delen van de kribvakken eroderen en hogere delen sedimenteren onder invloed van verstuing van zand richting de vegetatielij. Deze sedimentatie van de hogere delen wordt tenietgedaan tijdens hoge afvoeren waarbij hogere delen van het strandtalud eroderen (orde 3-4 dm verticaal) en lagere delen sedimenteren. In een binnenbocht treedt er overal sedimentatie op tijdens een hoogwater (ook op de hogere delen) en in een buitenbocht is er extra erosie bovenin het strandprofiel (orde 4-5 dm verticaal) en sedimentatie onderin door versterkte secundaire bochtstroming bij hoogwater (Ten Brinke, 2003).

Invloed van scheepvaart op de kribvakerosie treedt met name op bij de rechte stukken op de Waal. In bochten is de invloed van scheepvaart minder omdat in een binnenbocht scheepvaart verder weg vaart van kribvakken (door de pointbar) en in een buitenbocht is de invloed minder omdat de rivierstroming hier veel sterker is en de schuifspanning door de scheepvaart minder dominant is (Ten Brinke, 2003).

De kribvakken langs de zuidoever van de Waal hebben meer erosie in rustige jaren vanwege de geladen opvaart langs de zuidoever en grotendeels ongeladen afvaart uit Duitsland langs de noordoever. Echter zowel zuid- als noordoever zijn in langjarig evenwicht, dus blijkbaar is er ook meer sedimentatie tijdens hoogwater aan de zuidoever kribvakken en lijkt het systeem een lokaal evenwichtsprofiel in een kribvak te vinden die aan de zuidoever meer ruimte biedt voor sedimentatie tijdens een fors hoogwater (Ten Brinke, 2003).

7.2.2 Literatuuronderzoek invloed kribverlaging Waal

Er is geen literatuur over de invloed van kribverlaging op morfologische ontwikkeling van kribvakken beschikbaar voor het Pannerdensch Kanaal (heeft ook nog nooit kribverlaging plaats gevonden), maar wel voor de Waal. Daarom wordt uitgegaan van bevindingen van de Waal en worden die vertaald naar de situatie van het Pannerdensch Kanaal.

De kribverlaging op de Waal bestond uit 1-2m kribverlaging (naar OLR+1,2 m) en is uitgevoerd in de periode 2009-2015 (Land+Water, 2016; Arcadis, 2016a). In de oorspronkelijke situatie stonden de kribben 11-18% van de tijd onder water en na verlaging orde 65% (Arcadis, 2016a). Deze kribverlaging is goed vergelijkbaar met de kribverlaging voor project KOP op het Pannerdensch Kanaal waar de kribben 1,4-1,7m worden verlaagd naar OLR+1,7m en de kribben ongeveer 45% van de tijd onder water komen te staan (is nu ongeveer 12% van de tijd).

Kribverlaging op de Waal leidt tot vaker overstrooming van de kribvakken en toename van stroomsnelheden in de kribvakken (Busnelli et al, 2011). Ook bieden de verlaagde kribben minder bescherming van de oever tegen scheepsgolven. Voor de stroming in de rivier vormen de kribben een minder hoog obstakel en daarom is de verwachting dat de ontgrondingskuilen benedenstrooms van de kribkoppen minder diep worden na kribverlaging. Het blijkt echter moeilijk dit ook in de praktijk van de Waal via monitoring aan te tonen¹⁹.

Overige invloeden van kribverlaging zijn nog subtieler en moeilijker te herkennen in de ruis van de (seizoens-)dynamiek van de kribvak- en oevermorfologie. Ter hoogte van de kribverlaging is 1-2 dm aanzanding in het zomerbed gemeten (Land+Water, 2016; Arcadis, 2016b). Deze gemeten aanzanding is overigens beperkt ten opzichte van bodemvormen in het zomerbed. Kribvakken van verlaagde kribben laten een netto toename in erosie zien, circa 20 cm over een periode voorjaar 2009 tot december 2012 voor het deel van het kribvakstrand het dichtst bij de rivier (Arcadis, 2015, Tabel 12). Echter, de kribvakstranden lijken goed stand te houden ten opzichte van de nulmeting

¹⁹ Monitoringresultaten gepubliceerd in 2016 wijzen inderdaad op ontgrondingskuilen die ongeveer 1 m minder diep zijn na kribverlaging (Land+Water, 2016; Arcadis, 2016a). Arjan Sieben (persoonlijk communicatie, 2020) geeft echter aan dat de ontgrondingskuilen niet verondiept zijn, maar vooral enigszins stroomafwaarts zijn verschoven.

(Arcadis, 2015). De toename in erosie bij middel en lage afvoeren lijkt te worden gecompenseerd met extra sedimentatie bij hoge afvoeren. Bij verlaagde kribben is vaak wat erosie van de kribwortels te zien en sedimentatie direct benedenstrooms van de krib. Erosie tussen verlaagde kribben komt meer voor in de lagere delen van het kribvakstrand dan op de hogere delen tegen de vegetatielijn (Arcadis 2015).

Analyse van de bodemligging van de hogere delen van de kribvakken op basis van laseraltimetrie 2010-2015 (Arcadis 2016a) laat de volgende zaken zien. Na kribverlaging is er extra erosie van de hogere delen van het strand in de kribvakken rondom OLR+1 tot +2m in het eerste jaar na kribverlaging. Bij meerdere, maar niet alle, verlaagde kribben komt in het eerste jaar na kribverlaging sedimentatie net benedenstrooms achter de krib voor. Erosie bij de kribwortel (rondom OLR+2m) lijkt bij verlaagde kribben vaker voor te komen. Ook dit is alleen te zien in het eerste jaar na kribverlaging. De erosie bij de kribwortel in het eerste jaar ligt rond de 2-6 dm (verticaal) maar het is onduidelijk of dit een verlaging bij aanleg is geweest of erosie bij het eerstvolgende hoogwater. Bij verlaagde kribben lijkt alleen de eerste 1-2 jaar een toename van erosie waarneembaar; hierna is een eventuele toename in erosie dusdanig klein dat deze binnen de ruimtelijke en temporele variaties in bodemverschillen niet meer terug te vinden is. Bij verlaagde kribben is het risico op achterloopsheid groter dan bij niet verlaagde kribben. Er is geen significante invloed van kribverlaging op de ontwikkeling van steilranden gevonden.

In een Rijkswaterstaat werkmemo (Sieben, 2019), die een langere periode van hoogtegegevens (van 2008 tot 2018) beschouwd dan de Arcadis studies, worden de volgende concretere observaties gedaan. Na kribverlaging zal zich in de kribvakken een nieuw dynamisch evenwicht instellen waarbij de bodemhoogte lager komt te liggen dan voor de kribverlaging. Vrijwel alle kribvakken met verlaagde kribben laten tussen 2008 en 2018 erosie zien; ter hoogte van de waterlijn is de gemiddelde erosie ongeveer 0,5 m. Ter hoogte van de waterlijn zijn de dieptecontouren met ongeveer 0-10 m horizontaal verschoven richting de oever en is het onderwater talud steiler geworden (dichter bij de vaargeul in de kribvakken is de erosie hoger). Op flauwere oevers van de meeste binnenbochten en lagere uiterwaarden is over het algemeen boven de waterlijn niet veel veranderd. Echter, in situaties met al bestaande steilere oevertaluds in bijvoorbeeld buitenbochten, bij hogere uiterwaarden en bij een uitstekende bolle dijk/kade, heeft zich extra 5-10 m (horizontaal) erosie ontwikkeld. Dit komt waarschijnlijk doordat hier de stroming zich concentreert bij bankvolle en hogere afvoeren. Op basis van de gegevens 2008-2018 is nog geen nieuw evenwichtsbeeld vast te stellen.

In het vervolg gebruiken we met name de wat concretere observaties uit de werkmemo (Sieben, 2019) omdat die de langste periode beschouwen. Als aanvulling gebruiken we de observaties en analyses uit de overige literatuurbronnen.

7.2.3 Expert judgement kribvakerosie KOP

Het Pannerdensch Kanaal is in horizontaal vlak globaal een factor 2 kleiner dan de Waal (normaalbreedte, lengte en breedte van kribvakken), zie de typische afmetingen van Pannerdensch Kanaal en Waal in Tabel 7-1. De stroomsnelheden in het Pannerdensch Kanaal zijn vergelijkbaar met die in de Waal omdat er globaal ook een factor 2 meer debiet door de Waal gaat dan door het Pannerdensch Kanaal. Ondanks dat de kribvakken van het Pannerdensch Kanaal globaal een factor 2 kleiner zijn dan op de Waal nemen we als conservatieve inschatting de observaties uit de Waal over voor het Pannerdensch Kanaal. Voor wat betreft de effecten van de scheepvaart maken we een vertaling voor de verschillen tussen Pannerdensch Kanaal en de Waal.

Er is veel minder scheepvaart door het Pannerdensch Kanaal dan door de Waal omdat de Waal onderdeel is van de hoofdtransportas met een klasse CEMT VIc en het Pannerdensch Kanaal klasse CEMT Va is. Ook zijn de maatgevende schepen op het Pannerdensch Kanaal kleiner dan op de Waal. Wel varen de schepen op het Pannerdensch Kanaal dichter langs de kribvakken dan op de Waal.

Verlaagde kribben bieden minder bescherming tegen scheepsgolven. De dominante invloed van schepen op kribvakerosie is echter het leegzuigen door passerende grote binnenvaartschepen (primaire scheepsgolven). Dit effect zal bij afvoeren waarbij er enkele decimeters of meer water boven de kribben staat naar verwachting afnemen²⁰ (ruim 2 maanden per jaar) en bij overige afvoeren gelijk blijven. Daarom is onze verwachting dat kribvakerosie door scheepvaart na kribverlaging niet stelselmatig groter zal zijn dan voor kribverlaging. Specifiek voor de invloed van secundaire scheepsgolven zullen in de volgende alinea de verschillen tussen de Waal en Pannerdensch Kanaal meegenomen worden om in te schatten of dit aanleiding geeft om andere effecten voor de kribvakken op het Pannerdensch Kanaal te verwachten.

Tabel 7-1: Typische afmetingen Pannerdensch Kanaal vergeleken met Waal

	Pannerdensch Kanaal	Waal
Typische breedte zomerbed tussen kribkoppen	130m	260m
Typische lengte kribvak	90-140m	170-250m
Typische breedte kribvak (gedefinieerd als lengte krib)	40-80m	70-150m

Op basis van voorgaand onderzoek rondom kribvakerosie voor kribvakken en kribverlaging langs de Waal worden de volgende effecten van kribvakerosie bij project KOP verwacht:

- Kribverlaging van 1,4-1,7m (van OLR+3,1/+3,4m tot OLR+1,7m) zal zorgen dat de kribben vaker zullen overstromen (ongeveer 45% van de tijd vergeleken met ongeveer 12% in oorspronkelijk situatie); in de kribvakken zullen de stroomsnelheden toenemen en bij afvoeren waarbij de kribben overstromen geeft het een waterstandsaling van enkele cm's.
- Met de formules van de Rock Manual (CIRIA 2007) zijn de waterspiegeldaling, secundaire scheepsgolven, boeggolven en hekgolven indicatief bepaald voor maatgevende schepen op de Waal en het Pannerdensch Kanaal. Op het Pannerdensch Kanaal is een Groot Rijnschip als maatgevend schip beschouwd en op de Waal zijn zowel een Groot Rijnschip als 6-baksduwvaart meegenomen. Op het Pannerdensch Kanaal varen de schepen dichter langs de kribvakken en oever, maar op de Waal kunnen de schepen harder varen omdat het doorstroomprofiel van de Waal veel groter is en daarmee is de limietsnelheid hoger. Het blijkt dat de waterspiegeldaling (primaire golf) en secundaire golven van een maatgevend schip op het Pannerdensch Kanaal kleiner zijn dan op de Waal. Dus op het gebied van leegzuigen van kribvakken en scheepsgolfafslag van kribvakstranden is voor het Pannerdensch Kanaal geen heftigere ontwikkeling te verwachten vergeleken met de ontwikkeling door kribverlaging in de Waal. Voor meer details over de berekeningen, zie Bijlage I.
- De verwachting is dat er vooral effect zal zijn op kribvakken in de buitenbocht: tussen kribnummers 3-10 en tussen 20 en 21 (indien deze niet versterkt zijn). De invloed van kribverlaging is echter zeer onzeker, daarom wordt als conservatieve aanname de verwachting naar alle kribvakken doorgetrokken. De kribvakken zullen in een nieuw dynamisch evenwicht komen van ruim 5 dm lager en de oeverlijn zal ongeveer 5-10 meter meer landwaarts opschuiven, conform bevindingen uit de memo van Sieben (2019). Dit komt met name door het vaker overstromen van de kribben en de toename in stroomsnelheden in de kribvakken. De onderwatertaluds van de kribvakken zullen steiler worden²¹.

²⁰ Kribvakken kunnen immers minder effectief 'leeggezogen' worden al er aanvoer is uit de naburige kribvakken.

²¹ Kwantificatie is lastig, de bronnen geven hierover geen uitsluit. We gaan uit van een voorbeeld: een 70 m breed kribvak, aan oeverzijde 11 m+NAP en aan rivierzijde 7 m+NAP. Stel dat de erosie aan de rivierkant van een kribvak 2x groter is dan aan de oeverkant, en neem verder aan dat die erosie 50 cm bedraagt aan die

- Vanwege de onzekerheid die er is rondom de te verwachten morfologische ontwikkeling van de kribvakken in het Pannerdensch Kanaal is het van belang om zowel boven (t/m de begroeide oever) als onder water periodiek de bodemligging van de kribvakken te monitoren in relatie tot de opgetreden tussengelegen afvoeren en waterstanden. Het is belangrijk om een goede nulmeting van de bodemligging uit te voeren direct na aanleg van project KOP zodat in de opvolgende monitoring duidelijk is dat er morfologische effecten worden waargenomen en geen aanpassingen in bodemligging die al bij de uitvoering zijn ontstaan. Specifieke aandacht verdient de monitoring van morfologische ontwikkeling van kribvakken tijdens en direct na hoogwaters omdat er dan grote - en op voorhand nog moeilijk te voorspellen - morfologische ontwikkelingen zullen optreden. Bovenstaand is een advies over gewenste monitoring. In de afstemming met beheerders in kader van Beheer en Onderhoudsplan zal hier over afgestemd worden. Monitoring vraagt ook extra capaciteit en budget.

Op basis van bovenstaande analyse en de geobserveerde waarden van de kribverlaging van de Waal wordt er in het ontwerp van uitgegaan dat er na kribverlaging tot 6 dm verticale erosie en 5-10 m horizontale erosie van de oeverlijn/oeverzone kan optreden bij erodeerbare kribvakken. Aan de ene kant is een belangrijke factor die de morfologische effecten veroorzaakt - de scheepsgolfaanval, zie Bijlage I – beduidend kleiner in het Pannerdensch Kanaal. Aan de andere kant is er veel onzekerheid en is het onduidelijk of de situatie in de Waal een evenwichtseffect betreft. Een realistische onzekerheidsfactor over de afgegeven waarden is daarom 0 tot 2. Met andere woorden, de effecten kunnen niet meetbaar zijn, dan wel 2 keer groter dan de verwachtingswaarde.

Hoe hier in ontwerp mee is omgegaan is te vinden in de memo Analyse oever- kribvak en kriberosie met nummer PL341.MEM.00605.

Daarin is uitgewerkt of een mogelijke erosieve zone van 10 m in de kribvakken aanleiding geeft tot het nemen van erosiebeschermende maatregelen. Op basis van mogelijke schade of hinder (aan naastgelegen particuliere percelen, langs een nabijgelegen leikade of een kribwortel) is inzichtelijk gemaakt bij welke kribvakken erosiebeschermende maatregelen noodzakelijk worden geacht. De uitwerking hiervan is/wordt opgenomen in de ontwerpnota. De noodzaak is onder andere afhankelijk van reeds aanwezige bescherming (en de actuele staat daarvan) en de ruimte (afstand) die er is voordat erosie ook leidt tot ongewenste schade.

7.2.4 Expert judgement kribwortelerosie KOP

In deze paragraaf worden puur de kribwortels beschouwd, dus de zone met gras achter de kribben, hoger en verder richting de oever dan de kribben zelf. Op dit moment is bij het overgrote deel van de kribben nog niet bekend waar de kribwortel zich bevindt. Van de krib die is opengelegd middels een proefsleuf (krib 19, rkm 869,3) is bekend dat de kribwortel nog vele tientallen meters vanaf de oever onder het maaiveld ligt.

Allereerst wordt een analyse op basis van stroomsnelheden gemaakt op de kribwortels, daarna op basis van scheepsgolven. De kritische stroomsnelheden (voornamelijk bij 16000 m³/s) geven in beginsel geen aanleiding om significante extra kribwortelerosie te verwachten. Hierin is meegenomen dat door instelling 2 van het regelwerk Pannerden, meer water door het zomerbed en dus over de kribben wordt geduwd. Zie Figuur 7-1 voor de kritische stroomsnelheid bij 16000 m³/s bij de kribwortels van de verschillende kribben, dit geeft het volgende beeld:

oeverkant. Dan neemt het talud van dat kribvak toe van 1:17,5 naar 1:15,5. Dit geeft een beeld van de orde grootte van de effecten.

- Bij krib 1-2 neemt de kritische stroomsnelheid rondom de kribwortel toe in DO, echter deze kribwortels zijn geheel beschermd door breuksteen en daarom is geen kribwortelerosie te verwachten.
- De kritische stroomsnelheid bij de kribwortels van krib 3-11 neemt nauwelijks toe en blijft in het bereik 0,8-1,4 m/s. Aangezien de kritische stroomsnelheid bij de kribwortel niet significant toeneemt en een goede grasmat dergelijke stroomsnelheden kan weerstaan wordt geen significante extra kribwortelerosie verwacht.
- Rondom de kribwortels van krib 13-19 neemt de kritische stroomsnelheid af in DO t.o.v. de referentiesituatie (bij lagere afvoeren neemt hier de stroming over de kribben zelf toe, maar de stroming over de kribwortels neemt ook daar af). Dit wordt veroorzaakt door de extra stroming over de verlaagde oever 1 aan de overzijde. Vanuit die denkfijn zou erosie hier niet te verwachten zijn. Kribwortelerosie in de Waal is echter een tot op zekere hoogte onverklaard proces en komt regelmatig voor, er wordt dus conservatief aangenomen dat ook bij deze kribben een gevaar op kribwortelerosie bestaat.
- De kritische stroomsnelheid rondom de kribwortel van krib 20-21 neemt met ongeveer 0,2 m/s toe maar blijft beperkt tot 0,8-1 m/s (was 0,6-0,8 m/s in de referentiesituatie). Een goede grasmat kan zulke stroomsnelheden weerstaan en daarom is geen kribwortel erosie te verwachten.
- De kritische stroomsnelheid voor kribwortels van kribben 18, 22, 24-25 (voor oever 5) neemt toe met ongeveer 0,2-0,4 m/s tot 1,6-2 m/s (was 1,2-1,8 in referentiesituatie). Deze kribwortels en de tussenliggende oevers zijn in zijn geheel beschermd door breuksteen en daarom is geen erosie te verwachten.
- De kritische stroomsnelheid bij de kribwortels van krib 26-38 neemt nauwelijks toe en blijft in de range 0,8-1,2 m/s. Aangezien de kritische stroomsnelheid bij de kribwortel niet significant toeneemt en een goede grasmat zulke stroomsnelheden kan weerstaan wordt geen significante extra kribwortelerosie verwacht.

Op de gronddekking op kribwortels kan scheepsgolfaanval direct een rol spelen. Als dit het geval is, zullen de kribben onder water staan, anders is de kribwortel (die in referentie en DO op dezelfde hoogte ligt) immers niet direct erodeerbaar. De lange primaire golf zal minder van belang zijn (omdat geen sprake meer is van kribvakken die leeggezogen worden) en omdat deze golven niet of nauwelijks worden beïnvloed door kribverlaging. Een dergelijke lange golf loopt immers ongehinderd over een ondergelopen krib heen. Schuin invallende secundaire scheepsgolven kunnen echter wel breken op de ondergelopen krib. Bij een verlaging van die kribben kunnen de scheepsgolven toenemen in zones aan weerszijden van de kribben.

Op basis van de analyse in par 7.2.3 en de geobserveerde waarden van de kribverlaging van de Waal wordt er in het ontwerp van uitgegaan dat er na kribverlaging tot 6 dm verticale erosie en 5-10 m horizontale erosie van de oeverlijn/oeverzone kan optreden bij erodeerbare kribvakken (zie paragraaf 7.2.3). Afhankelijk van de lengte van de kribwortel zou deze horizontale verplaatsing aanleiding kunnen zijn voor erosie rond de kribwortel en risico op achterloopsheid. Ook hier kan een onzekerheidsfactor worden toegepast van 2.

Hoe hier in ontwerp mee is omgegaan is te vinden in de memo Analyse oever- kribvak en kriberosie met nummer PL341.MEM.00605. Daarin is uitgewerkt of een mogelijke erosieve zone in de kribvakken aanleiding geeft tot het nemen van erosiebeschermende maatregelen rondom de kribwortel. Met name bij kribvakken tussen krib 14, 15, 16 en 17 is hier een risico op achterloopsheid. De noodzaak tot maatregelen is onder andere afhankelijk van reeds aanwezige bescherming (en de actuele staat daarvan) en de lengte van de aanwezige kribwortel.

7.3 Expert judgement erosie verlaagde en niet verlaagde oevers

7.3.1 Expert judgement erosie verlaagde oevers KOP

Zie Figuur 7-1 voor de kritische stroomsnelheid bij 16000 m³/s over de verschillende verlaagde oevers. In de zone van diverse verlaagde oevers direct langs de vaarweg neemt de kritische stroomsnelheid bij een afvoer van 16000 m³/s toe tot maximaal 1,6-2 m/s in DO (bij lagere afvoeren worden deze snelheden niet gehaald). Naast belasting door stroming geldt er op de oevers ook een belasting door scheepsgolven. Als hydraulische randvoorwaarde voor windgolven wordt voor KOP $H_s=0,5\text{m}$ aangehouden en voor secundaire scheepsgolven 0,8m (Heineke, 2019).

Een zone langs de vaarweg van de verlaagde oever zal worden beschermd met breuksteen. Door deze bescherming is deze zone van de verlaagde oevers, direct langs de vaarweg, beschermt tegen erosie. Speciale aandacht is noodzakelijk aan de overgang van de steenbestorting en het naastliggende (verlaagde) grasland. Om erosie door de oplopende scheepsgolven te voorkomen is aanvullende bescherming nodig. Ontwerpvraag is of dit via een erosiebestendig kleidek kan of middels een aanvullende steenbestorting. Hierbij moet in ogenschouw worden genomen dat de inundatiefrequentie van deze laag liggende oeverzone hoog is en dat er daardoor ongunstige condities zijn voor het ontwikkelen van een gesloten grasdek. De uitwerking hiervan is/wordt opgenomen in de ontwerpnota.

De stroomsnelheid bij 16000 m³/s van de hogere delen met grasland van de diverse verlaagde oevers in DO ligt in de orde van 0,6-1,2 m/s met enkele zones naast de oeverzone van 1,2-1,6 m/s. Bij 8000 en 10.000 m³/s worden rond het splitsingspunt Pannerdensche Kop snelheden behaald van rond de 2 m/s waarbij erosie optreedt (hier heeft het DO overigens geen effect).

Uit onderzoek en ervaring is het volgende gebleken voor de belastbaarheid van een grasmatt:

- *Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken deel 1 – bovenrivierengebied* (TAW, 1985)
Een gezonde grasmatt zonder beschadigingen in een kleiondergrond gedurende lange tijd stroomsnelheden tot 6 m/s kan weerstaan. Bij niet homogene, sterk zandige kleigrond is bij stroomsnelheden tot 3 m/s binnen een half uur al ernstige erosie mogelijk waarbij beschadigingen aan de grasmatt en wortelstructuur aangrijpingspunten voor beginnende erosie zijn.
- *Technisch rapport erosiebestendigheid van grasland als dijkbekleding* (TAW, 1998)
Tijdens hoogwaters in het bovenrivierengebied is vooral schade geconstateerd op plaatsen met slechte grasmatt en verder zijn lokaal gaten geconstateerd als gevolg van drijf hout, beschadigingen t.p.v. lichtmasten of bij zandige taluds met soms meer dan 0,15 m erosie over meer dan 100 m lengte.
- *Leidraad Zee- en Meerdijken, basisrapport* (TAW, 1999):
 - Een goede grasmatt kan gedurende 50 uur een stroomsnelheid van 2 m/s weerstaan en gedurende 1 uur 4,5 m/s
 - Een slechte grasmatt kan gedurende 50 uur een stroomsnelheid van 1 m/s weerstaan en gedurende 1 uur 3 m/s
 - Een goede grasmatt kan gedurende 5 uur golven van $H_s=1\text{ m}$ weerstaan en gedurende 50 uur $H_s=0,3\text{m}$
 - Een slechte grasmatt kan gedurende 5 uur golven van $H_s=0,2\text{ m}$ weerstaan en gedurende 50 uur ook $H_s=0,2\text{m}$

De grootste genoemde duur van de belastingen is 50 uur, onduidelijk is of dit gelijk een maximumduur is. Een hoogwatergolf kan uiteraard langer duren. Voor de piekbelasting is (bij nu aangenomen de 16000 m³/s) is twee dagen echter geen vreemde aanname, waarna de snelheden weer afnemen.

Een praktijkvoorbeeld gegeven door RWS (Rico Tönis, mondelinge communicatie) betreft de uiterwaarderosie die bij relatief lage afvoeren 8000-9000 optreedt rond het splitsingspunt Pannerdensche Kop. Bij dergelijke afvoeren laat WAQUA op locatie snelheden boven de 2 m/s zien. Doordat deze bij lage afvoeren optreden is de duur lang en de waterstand laag. Beide zijn factoren die erosie stimuleren. Dergelijke stroomsnelheden komen bij die afvoeren in het invloedsgebied van het DO overigens niet voor.

Deze genoemde waarden voor belastbaarheid van een grasmat laten zien dat het nodig is om een goede grasmat te hebben om de belastingen die op de verlaagde oevers kunnen optreden te weerstaan. Indien gezorgd wordt dat al deze zones bestaan uit een gezonde gesloten grasmat in klei dan zal er met de gevonden kritische stroomsnelheden en golfbelasting (windgolven $H_s = 0,5$ m en scheepsgolven 0,8 m) geen erosie optreden. Indien er geen gesloten grasmat op een kleidek aanwezig is, dan dient met enige erosie rekening te worden gehouden. TAW (1998) noemt 0,15 m.

In de ontwerpmemo 'Analyse kribvak- en kribwortelerosie' van Ploegam/TAUW (maart 2020) is uitgewerkt of een mogelijke erosieve zone op de verlaagde oevers aanleiding geeft tot het nemen van erosiebeschermende maatregelen. De uitwerking hiervan is/wordt opgenomen in de ontwerpnota. De noodzaak is o.a. afhankelijk van reeds aanwezige bescherming (en de actuele staat daarvan) en afstand tot leikades.

7.3.2 Mogelijke erosie langs leikades en primaire keringen en andere objecten

Ook op andere locaties dan de verlaagde oevers kan door KOP mogelijk erosie optreden, vooral waar dit bij belangrijke objecten (primaire keringen, leikades, etc.) plaatsvindt is dat van belang. In deze paragraaf wordt – mede op basis van de al in paragraaf 5.2 geïdentificeerde gebieden met hoge stroomsnelheid (steeds in cursief) – een analyse gemaakt van deze mogelijke erosie.

Primaire keringen

Bij het einde van oever 1 (nabij rkm 869,2) geeft een toename met circa 0,15 naar 1,3 m/s langs de dijk bij 16000 m³/s en een evenredige toename maar bij lagere absolute stroomsnelheden bij 12000 m³/s (met 0,10 naar 0,9 m/s).

De oever wordt direct langs de primaire kering niet verlaagd (er wordt een band van 20 m ongewijzigd gelaten). De verwachting is dat de grasmat hier dan ook goed is, dit dient bevestigd te worden door de dijkbeheerder of door middel van inspectie. Als dat inderdaad het geval is, is van gevaar op erosie geen sprake. Goede grasmatten kunnen namelijk hogere snelheden weerstaan (zie voorgaande paragraaf). Ook hier wordt verwezen naar ontwerpanalyse in Ploegam, Tauw (2020).

Leikades

Stroomopwaarts van oever 1 (aan linkerzijde nabij rkm 868,4 direct ten zuiden van Fort Pannerden) geeft een toename met circa 0,15 naar 1,05 m/s langs de leikade van Fort Pannerden bij 16000 m³/s.

en

Bij de leikade aan recheroever tussen rkm 870-871 (stroomopwaarts van en op de verlaagde oever 3) is er een toename met circa 0,3 tot circa 0,9 m/s bij 16000 m³/s.

en

Bij de leikade aan de recheroever bij rkm 872 (stroomafwaarts van de verlaagde oever 5) is er een toename van stroming langs de kade waar deze naar de rivier afbuigt met circa 0,4 tot 1,0 m/s.

Hiervoor geldt hetzelfde als voor de primaire keringen. Als de grasmat van goede kwaliteit is, is hier geen gevaar voor erosie en dus geen gevaar voor de leikade.

Specifiek voor de leikade stroomopwaarts van het regelwerk geldt:

Op de rechterzijde van de rivier bij rkm 868 neemt door instelling 2 van het regelwerk de waterstand voor het regelwerk toe. Daardoor neemt de stroming over de zomerkade naar de rivier toe van circa 1,8 naar 2,0 m³/s bij 16.000 m³/s. Bij lagere afvoeren is de stroomsnelheid hier significant lager.

Er wordt aangenomen dat deze leikade is ontworpen binnen het projectplan Regelwerk Pannerden om dergelijke stroomsnelheden aan te kunnen. De gewijzigde waterstand was immers ook voorzien. Dit is een aandachtspunt voor de beheerder van de leikade. Na wijziging van instelling van het regelwerk is monitoring van de gesteldheid van het grasdek op de leikade na een periode van hoogwater aanbevolen.

Voor overige leikades waar door Rijkswaterstaat aandacht is gevraagd worden geen effecten verwacht, omdat er geen toename van de stroming te zien is door het DO. Het gaat om de locaties splitsingspunt Pannerdensche Kop (zeer hoge snelheden bij 8000 en 10000 m³/s maar geen effect), leikade Scherpekamp (geen effect) en weerszijden Groene Rivier na regelwerk (stroming neemt af).

Veerstoep

Bij de veerstoepen (zowel hoge als lage, zowel links als rechts, in magenta aangegeven in Figuur 7-1) is bij 16000 m³/s geen effect op de stroomsnelheid te zien.

7.4 Conclusie

Per relevant beoordelingsaspect van RBK 5.0 is de conclusie samengevat

RBK 5.0 3.1: Geen verlaging gemiddelde bodemligging zomerbed;

Stroomafwaarts van het project KOP is er sprake van verlaging van gemiddelde bodemligging ten opzichte van de referentiesituatie (waar ook al sprake is van een daling) door onthouding van sediment.

Dit effect is overigens inherent aan de maatregel, bij het SNIP2A besluit is meegegeven nadelige effecten (zoals de morfologische effecten) verder te reduceren. Dwarsstroom en aanzanding ten opzichte van het VKA zijn gereduceerd, zie paragraaf 6.2, de onthouding van sediment logischerwijs dus ook.

Mogelijke beheermaatregel is om eventuele baggerspecie bij het project stroomafwaarts in de erosie zone te storten. Deze suggestie wordt in het beheer en onderhoudsplan opgenomen.

RBK 5.0 3.1: Geen erosie in de directe nabijheid van primaire waterkeringen

De enige significante verhoging van de stroomsnelheid bij een primaire kering is bij het einde van oever 1 (nabij rkm 869,2). Als de grasmat daar van goede kwaliteit is (dit is een aandachtspunt voor het Beheer en Onderhoudsplan), is hier geen effect te verwachten.

RBK 5.0 3.1: Geen erosie ter hoogte van kabels, leidingen en tunnels met een te kleine gronddekking

Relevant is hier de Betuwelijn die stroomafwaarts van het projectgebied onder het Pannerdensch Kanaal doorloopt. Het DO geeft hier circa 50 cm erosie na 40 jaar, ten opzichte van de 25 cm in de referentie. Er is in de huidige situatie meer dan 6,5 m dekking op de groutlaag van de tunnelbuis van de Betuwelijn, bevestigd door ProRail via e-mail (30 maart 2020). De dekking van de tunnel neemt op basis van de morfologische berekeningen af van nu 8,47m tot circa 7,88m 40 jaar na de ingreep. Een dekking van 8,0 meter is sowieso afdoende. Echter de beheerder ProRail kan niet aangeven hoeveel marge in de 8,0 meter zit. In het B&O plan met documentnummer PL341.PBO.00669 worden de beheeraspecten van de erosie nabij de tunnelbak besproken.

RBK 5.0 3.1: Geen vermindering vaargeulafmetingen bij gemiddelde afvoer.

Er is zeer beperkt te baggeren volume in de vaargeul (in totaal 7863 m³ in beun over een periode van 40 jaar) en beperkt te baggeren volume als de RBK 5.0 criteria voor de vaarweg worden aangehouden (14.756 m³ in beun over een periode van 40 jaar). Het te baggeren volume bevindt zich in de binnenbocht omstreeks rkm 872,4. Extra te baggeren volume was voorzien en er is geoptimaliseerd ten opzichte van de eerdere iteratie van het ontwerp (VKA), met 19% en 15% voor respectievelijk RBK 3.0 en RBK 5.0 criteria. Dit heeft geleid tot een minimalisatie van het baggervolume binnen de randvoorwaarden van het project. Hiermee is invulling gegeven aan het beleid om scheepvaart vlot en veilig te faciliteren.

Wanneer wordt gekeken naar het OLR-4.0m vlak, dan bevindt zich 95930 m³ in beun hierboven in de vaargeul. In de vaarweg gaat het om 122566 m³ in de beun boven dit vlak. Deze volumes zijn terug te vinden op drie locaties: over de gehele breedte tussen rkm 868,7-869,3, rkm 870,9-871,4 en 872,2-873. Ten opzichte van het VKA is er respectievelijk geoptimaliseerd met 8% en 7%.

RBK 5.0 3.1: Geen verhoging van de maatgevende waterstanden op lange termijn

De door Delft3D voorspelde bodemdaling in het Pannerdensch Kanaal is zonder aanleg van project KOP (referentiesituatie) aanzienlijk. Het DO leidt op enkele punten tot sedimentatie, maar de autonome trend van erosie wordt daardoor niet ongedaan gemaakt. Maatgevende afvoeren gaan door de ingreep en de in te schatten bodemrespons van het Pannerdensch Kanaal in de toekomst niet tot hogere waterstanden leiden ten opzichte van de huidige situatie.

RBK 5.0 3.2: Geen oevererosie

In het geval van een erosiebestendige graslaag op een erosiebestendige ondergrond op de verlaagde oevers zal deze bij hoge afvoeren niet eroderen. Hier ligt wel een ontwerpogave om eventuele gevoelige objecten (zoals leikade, bandijk, particuliere percelen) te beschermen tegen ongewenste erosie. Erosie van de oeverlijn en oeverzone in de kribvakken, waar de omliggende kribben worden verlaagd, kan een risico vormen voor erosie rondom de kribwortels. Dit is afhankelijk van de lengte en ligging van de kribwortel. In het ontwerp dienen/zijn daarvoor de mitigerende maatregelen (te worden) opgenomen. Ook hier ligt een ontwerpogave om locaties waar erosie tot ongewenste schade kan leiden mogelijk preventief te beschermen.

RBK 5.0 3.2: Beperkte ontgroning bij constructies

Op basis van stroombeelden in de uiterwaard is geconcludeerd dat er voor in het gebied aanwezige leikades geen ontgrondingsgevaar veroorzaakt door het project KOP is tijdens een hoogwater. Wel kan het vanuit beheer nodig worden geacht een preventieve beschermingsmaatregel te nemen om schade te voorkomen, dit is in de ontwerpnota verder uitgewerkt in eventuele beschermingsmaatregelen langs kribvakken of verlaagde oevers die dicht op de leikade liggen.

8 EFFECTEN OP DE HYDRODYNAMICA VIA MORFOLOGIE

Allerhande eisen uit RBK 5.0 zijn al afgehandeld in Hoofdstuk 4 en Hoofdstuk 5, maar er dient ook te worden geborgd dat deze door morfologische effecten van het project alsnog niet worden behaald. De effecten van de morfologische ontwikkelingen is onderzocht met Delft3D berekeningen waarmee de morfologische ontwikkelingen gedurende 40 jaar zijn gesimuleerd. In de volgende paragrafen worden een aantal van de behandelde aspecten opnieuw bekeken met in acht name van de morfologische effecten.

8.1 Effect DO op debietsverdeling via morfologische ontwikkeling

In deze paragraaf wordt het effect van het DO via de morfologische ontwikkeling op de debietsverdeling bij Pannerdensche Kop en IJsselkop behandeld. In paragraaf 4.4 zijn de instantane effecten van het DO op de afvoerverdeling beschreven. Er is getoetst op de volgende normen die specifiek voor dit project zijn gesteld door Rijkswaterstaat:

- SYS-0003: De afvoer naar het Pannerdensch Kanaal mag bij een afvoer van 16000 m³/s Lobith maximaal 100 m³/s toenemen ten opzichte van de referentie bij een vrije afvoerverdeling en zonder nieuwe instelling van het regelwerk Pannerden.
- RBK 1.4 (deels): Afvoerverdeling bij een afvoer van 10000 m³/s Lobith op de IJsselkop mag maximaal 20 m³/s afwijken van de huidige situatie, zo niet dan is een aanvullende analyse nodig.
- RBK 2.5: Verandering van de afvoerverdeling mag niet groter zijn dan 1 m³/s bij een afvoer van 1020 m³/s bij Lobith.
- Voor overige beschouwde afvoeren dient de verandering in afvoerverdeling inzichtelijk te worden gemaakt zodat door Rijkswaterstaat kan worden beoordeeld of afwijking van de normen in RBK 5.0 gerechtvaardigd is.

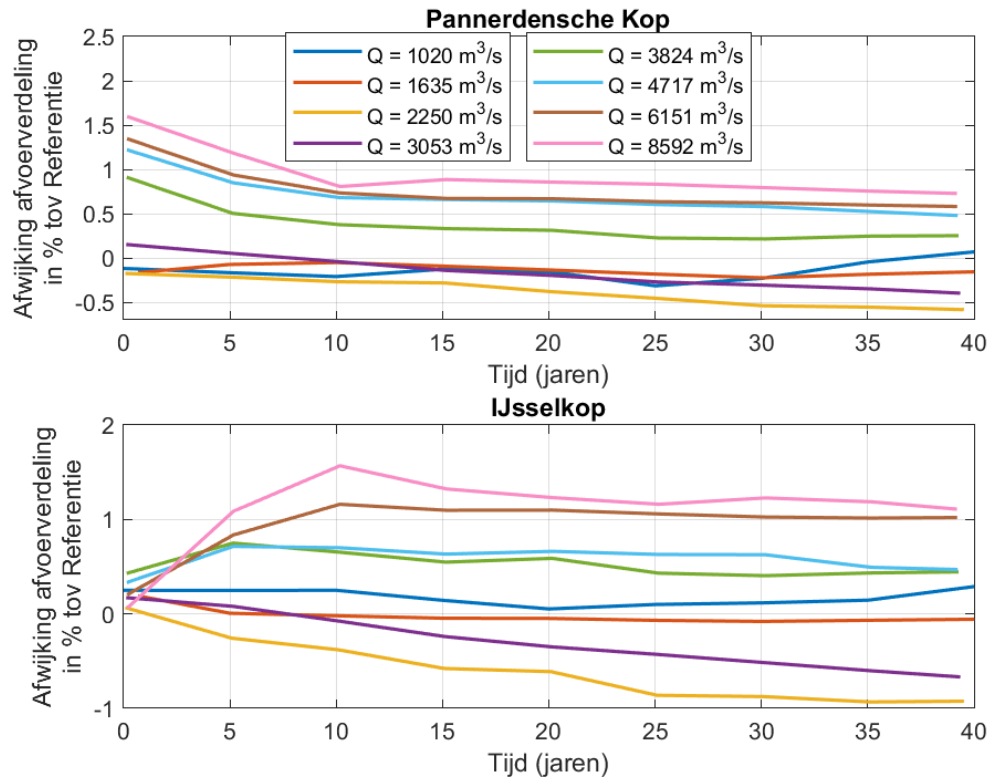
In Delft3D is de maximale doorgerkende afvoer 8592 m³/s. De eerste twee normen kunnen dus niet worden getoetst wat betreft de invloed van de morfologische ontwikkelingen. In Figuur 8-1 is de afwijking in afvoerverdeling in het DO ten opzichte van de referentie tijdens de simulatie van 40 jaar geplotted. De absolute getallen zijn opgenomen in Figuur 8-2 en Figuur 8-3.

Uit de figuur wordt duidelijk dat het initiële effect van het DO (door de ingreep aan de kribben en oevers) een toename in debietsverdeling richting Pannerdensch Kanaal geeft bij hogere afvoeren. Door aanzanding in het Pannerdensch Kanaal wordt deze verschuiving in afvoerverdeling al na de eerste vijf jaar gedeeltelijk gecompenseerd. Bij lage afvoeren is er vrijwel geen effect. Voor bijna alle afvoeren geldt dat de afvoerverdeling na de initiële effecten (meer water richting Pannerdensch Kanaal) weer beperkt richting de Waal beweegt. Dit is te verklaren door de aanzanding die plaatsvindt in het Pannerdensch Kanaal. Alleen bij de laagste beschouwde afvoer (1020 m³/s bij Lobith) geldt deze observatie niet: afvoer naar het Pannerdensch Kanaal neemt in de laatste 15 jaar relatief gezien toe (van -0,3% naar +0,1%). Mogelijkerwijs heeft dit te maken met de ontwikkeling dicht bij het splitsingspunt waar de bodem in geval van DO daalt ten opzichte van de bodem in de referentiesituatie.

Bij een afvoer van 1020 m³/s is de absolute afwijking in afvoerverdeling maximaal 0,3%. Dit vertaalt zich in een absolute afwijking van maximaal 0,5 m³/s, zie Figuur 8-2.

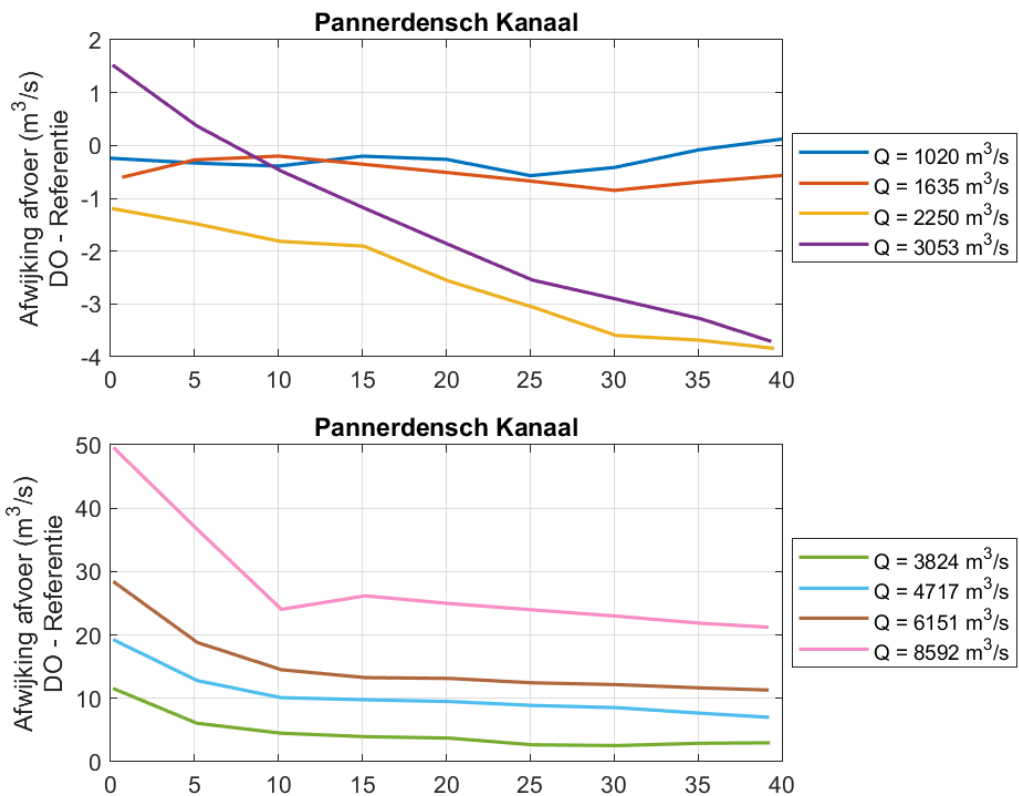
Op de IJsselkop ligt de afvoer naar de Nederrijn bij lage afvoeren vast (want gestuwd), dus een hogere afvoer of lagere afvoer naar het Pannerdensche Kanaal gaat in principe automatisch naar de

IJssel²². Voor hoge afvoeren trekt de IJssel consistent meer water. In de laatste 10 jaar is de afwijking in afvoerdeling bij de verschillende afvoeren vrij constant. Er is sprake van een kleine absolute toename naar de IJssel bij 1020 m³/s, deze blijft echter ruim onder de 1 m³/s gedurende de simulatie. Dit betekent dat waterstanden in de IJssel bij OLA door effecten in debietsverdeling in ieder geval niet dalen.

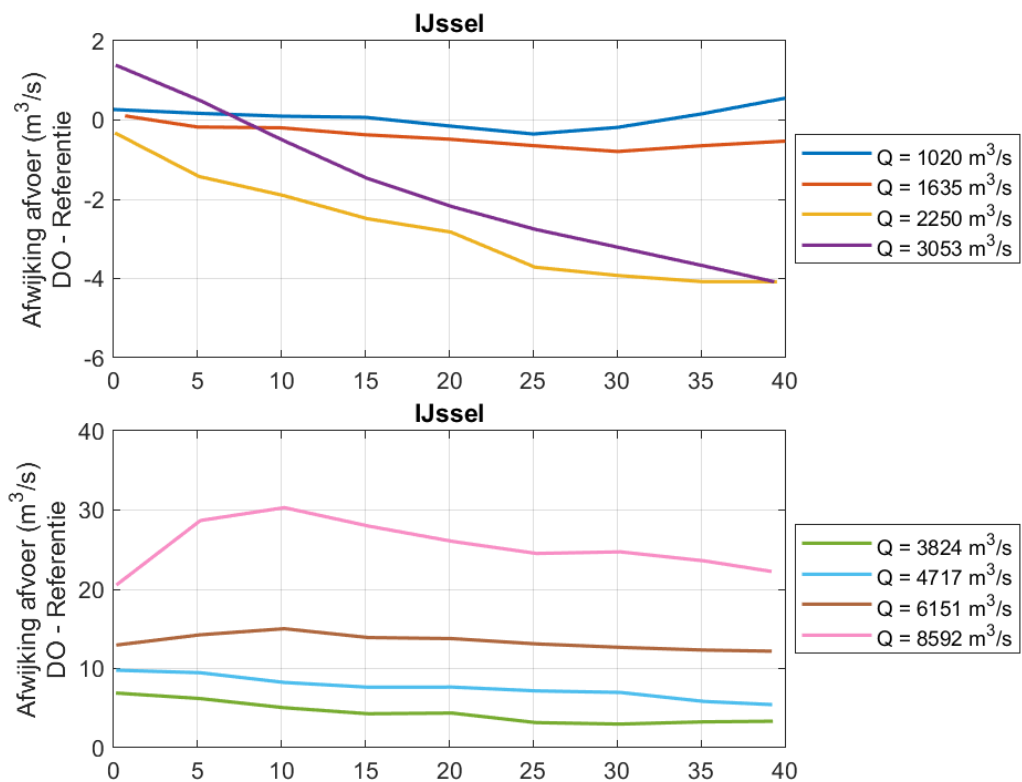


Figuur 8-1: Doorwerking morfologische effect op debietsverdeling. Boven: Pannerdensch Kop; getoond is de relatieve verschuiving veroorzaakt door DO in verhouding debiet Pannerdensch Kanaal ten opzichte van Boven-Rijn. Onder: IJsselkop, getoond is de relatieve verschuiving veroorzaakt door DO in verhouding debiet IJssel ten opzichte van Pannerdensch Kanaal. Een positieve waarde in de bovenste plot betekent een verschuiving in debiet naar het Pannerdensch Kanaal, in de onderste plot duidt het op een verschuiving naar de IJssel.

²² Dit blijkt min of meer ook uit de absolute getallen. De verandering van afvoer naar de IJssel bij lage afvoeren is van dezelfde orde als de verandering van afvoer naar het Pannerdensch Kanaal.



Figuur 8-2: Doorwerking morfologische effect op debietsverdeling naar Pannerdensch Kanaal in absolute getallen. Bovenste paneel lage afvoeren, onderste paneel hoge afvoeren.

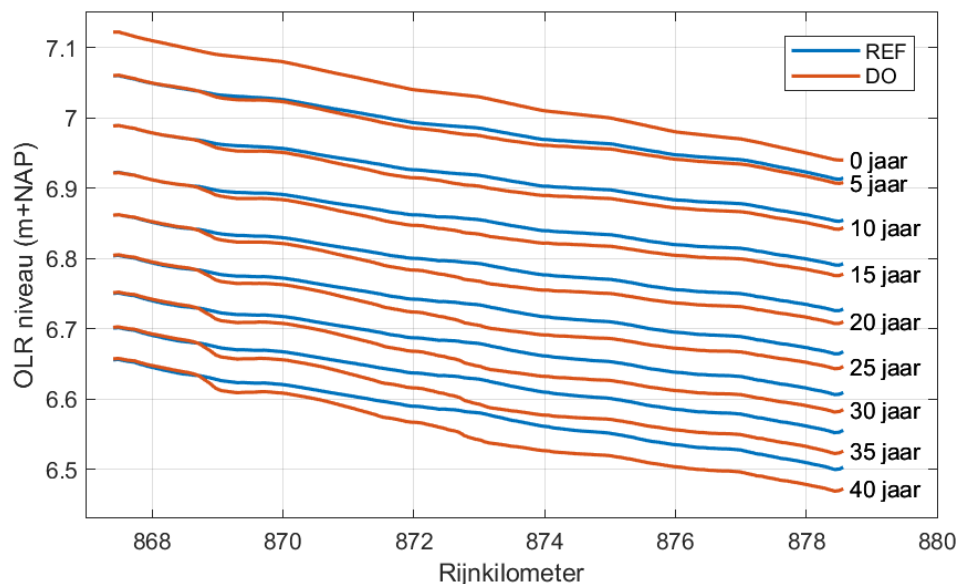


Figuur 8-3: Doorwerking morfologische effect op debietsverdeling naar de IJssel in absolute getallen. Bovenste paneel lage afvoeren, onderste paneel hoge afvoeren.

8.2 Ontwikkeling OLR vlak

Tijdens de simulatieperiode van 40 jaar in Delft3D wordt er om de 5 jaar een nieuw OLR vlak bepaald. Deze bepaling vindt plaats door een debiet van 1020 m³/s Lobith op te leggen en het ruimtelijk waterstandsvlak te vergelijken met een initiële berekening met dezelfde afvoer. Met het verschil wordt het OLR vlak geupdate. Dit OLR vlak wordt vervolgens gebruikt voor het bepalen van de baggerhoeveelheden in Delft3D. De ontwikkeling van het OLR vlak voor zowel de referentie als het DO is te zien in Figuur 8-4. Het OLR vlak zakt mee met de autonome bodemdaling in de referentiesituatie. In geval van DO is de daling van het vlak groter dan de autonome bodemdaling.

De daling in OLR in geval van DO ten opzichte van de referentie wordt met name veroorzaakt door bodemligging, het debiet richting Pannerdensch Kanaal is immers vrijwel gelijk gedurende de simulatie bij OLA (1020 m³/s, zie ook paragraaf 8.1). Lokale bodemveranderingen worden uitgesmeerd in het waterstandseffect. Ondanks lokale sedimentatie is erosie dominant in de waterstand bij laagwater, en daalt die lokaal met 4 cm extra ten opzichte van de referentie en ook bij de IJsselkop nog zo'n 3 cm na 40 jaar. Wanneer vanuit een theoretische 1D-situatie geredeneerd wordt, zal de lokale waterstand bij een ondiepte dalen, ten gevolge van het behoud van energie.

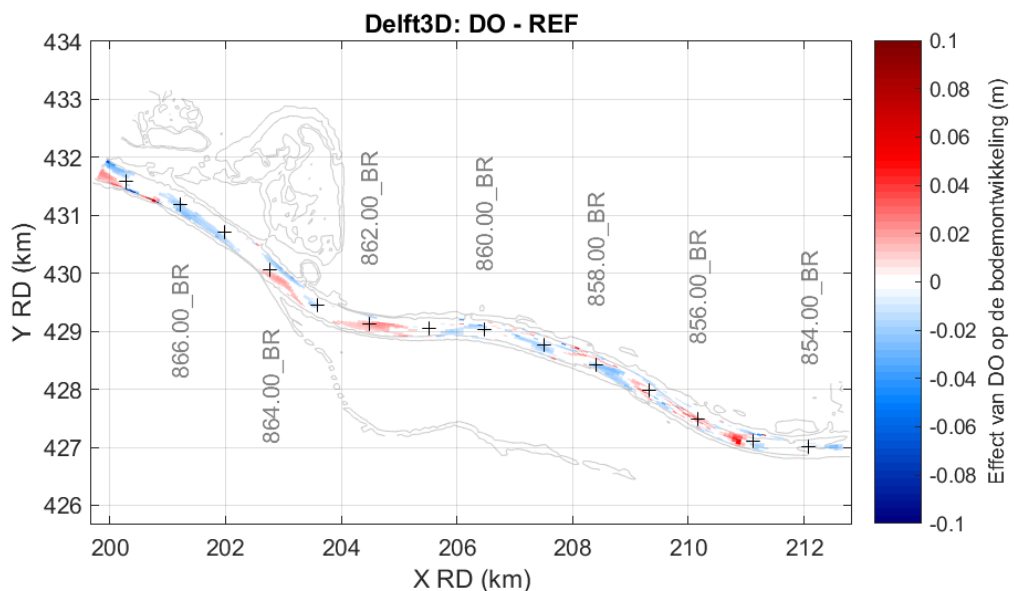


Figuur 8-4: OLR vlak gedurende de Delft3D simulatie van 40 jaar voor zowel de referentiesituatie als het DO in het Pannerdensch Kanaal.

8.3 Ontwikkeling waterdiepte bij OLA en gemiddeld Boven-Rijn afvoer

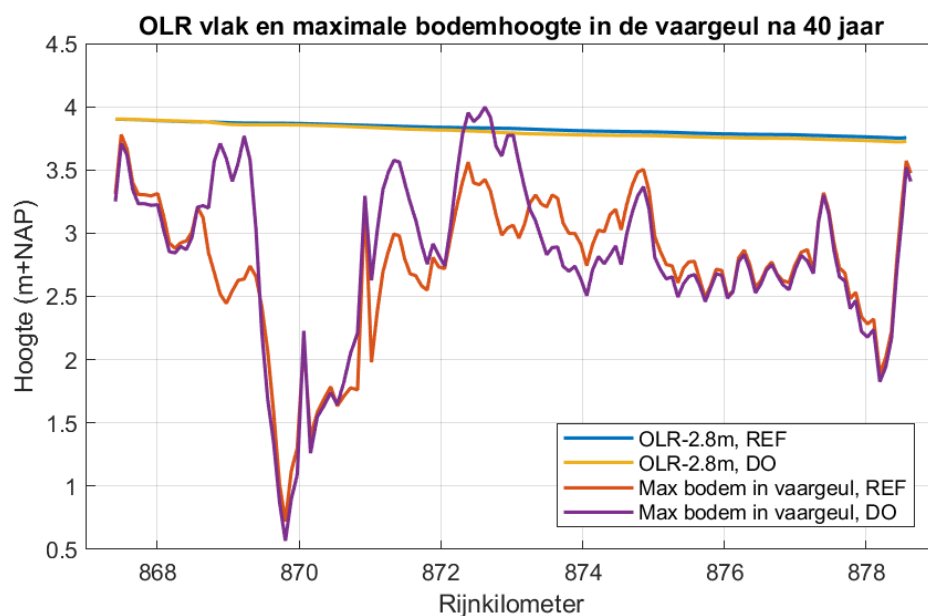
Effecten van het DO op de stroming en waterstanden direct via de hydraulica bij lage afvoeren zijn zeer gering (zie bijvoorbeeld figuur Fig. J-1 voor het effect op de stroomsnelheden bij 2000 m³/s), omdat de maatregel in dit lage afvoerdomein vrijwel geen direct effect heeft. Bij hogere afvoeren kan het DO wel een morfologisch effect hebben, wat weer een effect geeft op waterdiepten bij lage afvoeren. Dit is onderzocht door de OLA (Figuur 8-7) en gemiddelde afvoer (Figuur 8-8) door te rekenen met de eindbodem zoals berekend door Delft3D na 20 en 40 jaar, en vervolgens het verschil in waterdiepte tussen referentie en DO te presenteren. Het wordt duidelijk uit deze figuren dat in de locaties waar Delft3D aanzanding berekent, sprake is van een afname in de waterdiepte. En dat deze afname ook in de laatste 20 jaar van de berekening doorzet. Dit leidt tot gering baggerwerk in de Delft3D berekening (zie ook Hoofdstuk 6).

Stroomafwaarts van de ingreep leidt de ingreep tot extra vaardiepte door relatieve erosie, zie de blauwe gebieden in Figuur 8-7. Stroomopwaarts richting- en in Duitsland is het morfologisch effect van de ingreep verwaarloosbaar (maximaal enkele cm na 40 jaar, zie Figuur 8-5) en het indirecte effect op de nautische bevaarbaarheid dus ook.

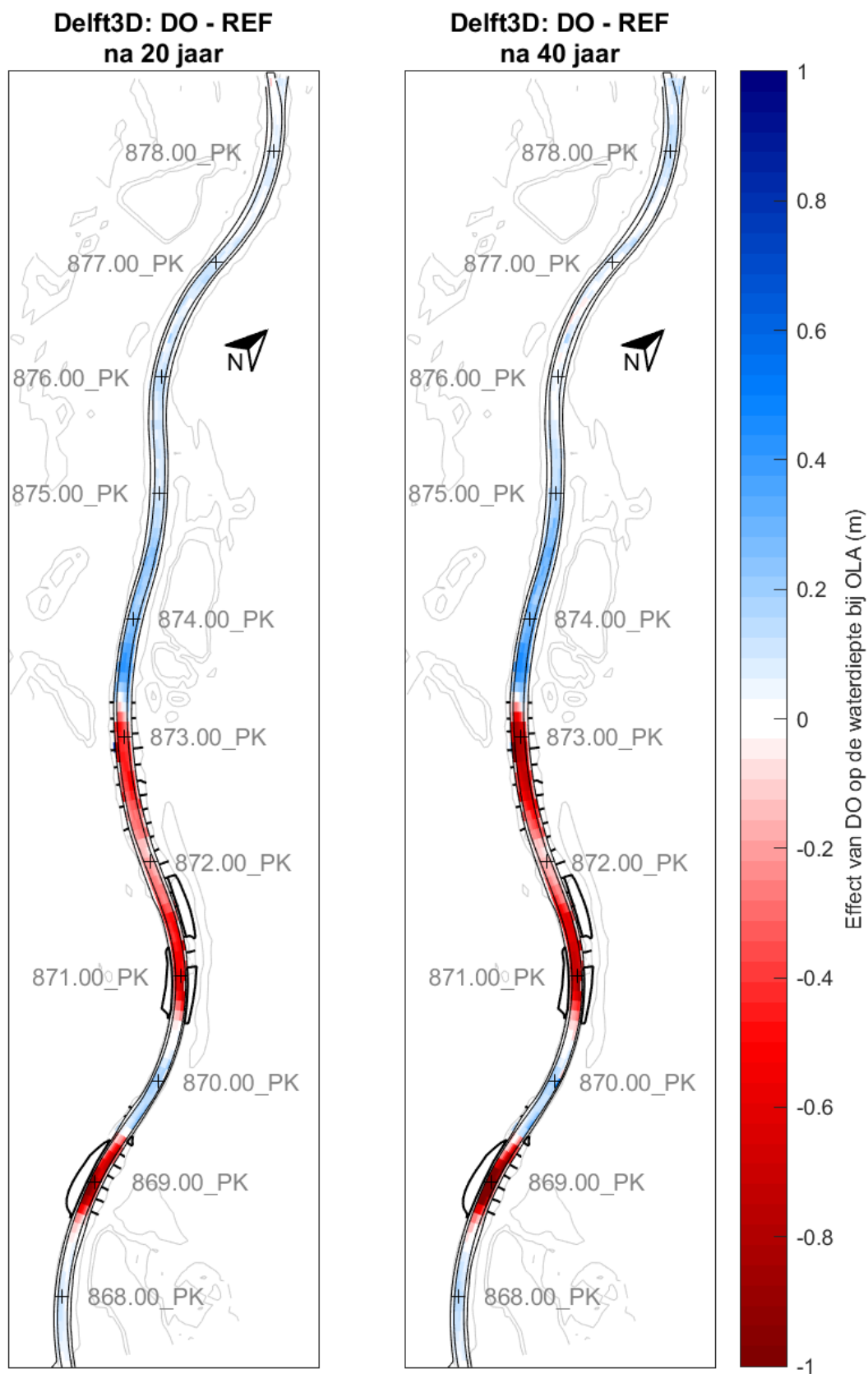


Figuur 8-5: Effect DO op bodemontwikkeling in de Bovenrijn na 40 jaar.

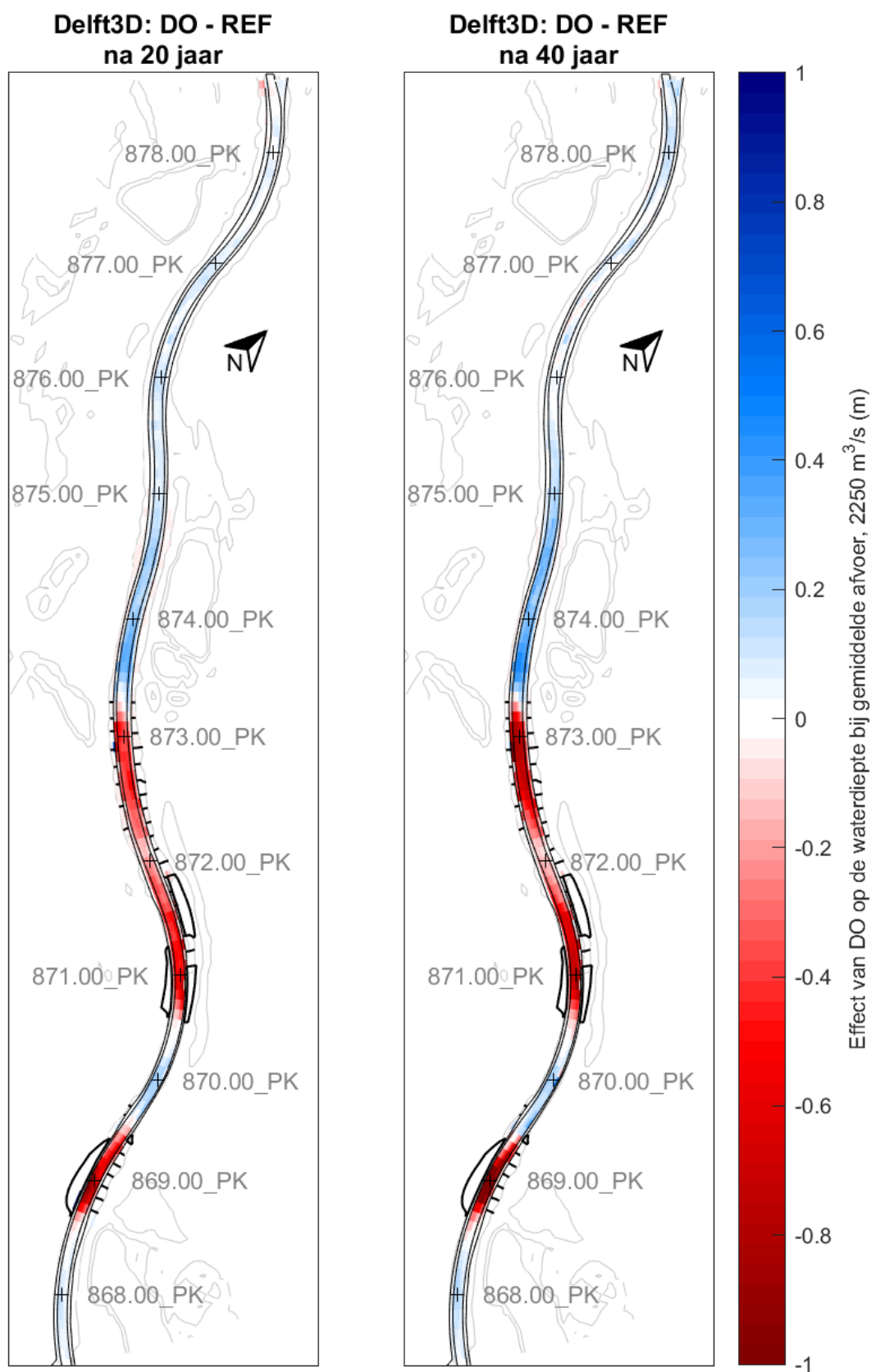
Figuur 8-6 laat de absolute maximum bodemhoogte in de vaargeul van zowel de referentie als het DO na 40 jaar zien, samen met het OLR-2,8m vlak. Hierbij wordt het door Delft3D zelf uitgerekende OLR vlak toegepast, welke wat lager ligt in geval van het DO. Het is de zien dat rond rkm 872,5 er geen 2,8 m tussen de bodem en het OLR vlak zit. Alleen op deze locatie moet er gebaggerd worden volgens het model. Delft3D baggert dit volume niet zelf weg, doordat de polygonen van de baggermodule afwijken van de gedefinieerde vaargeul, zoals eerder vermeld. Het gaat hier om een totaal baggervolume van 7863 m³ (gebaggerde volume door Delft3D plus gekubeerde volume uit de resterende bodem).



Figuur 8-6: Absolute maximum bodemhoogte in de vaargeul en OLR vlak van zowel de referentiesituatie als het DO in het Pannerdensch Kanaal na 40 jaar.



Figuur 8-7: Effect DO op waterdiepte bij OLA (1020 m³/s Lobith) na 20 (links) en 40 (rechts) jaar simulatie met Delft3D.



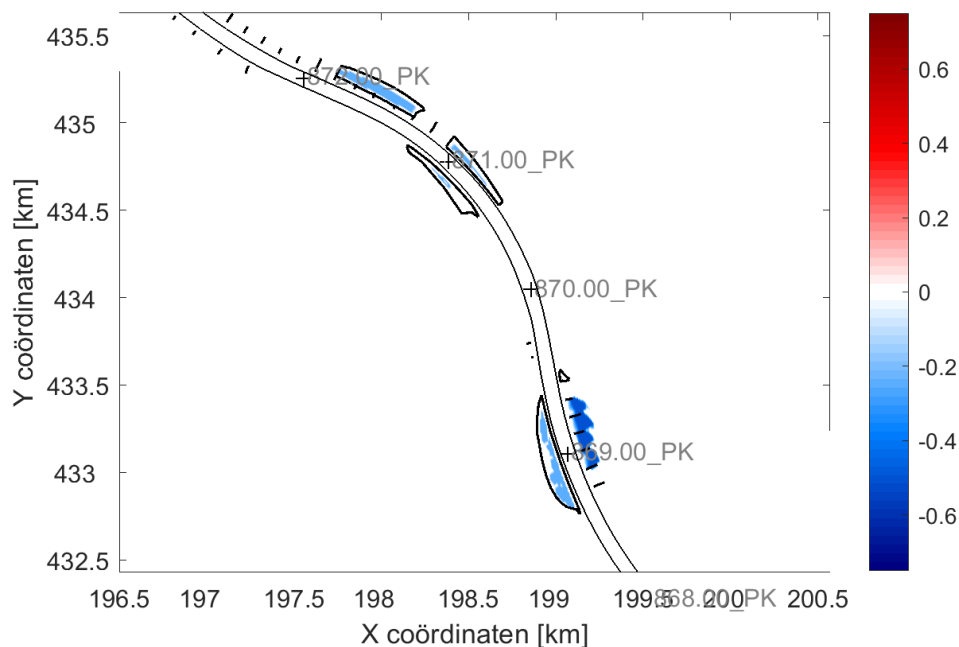
Figuur 8-8: Effect DO op waterdiepte bij gemiddelde afvoer (2250 m³/s Lobith) na 20 (links) en 40 (rechts) jaar simulatie met Delft3D.

8.4 Effect 'worst case erosie' op afvoerverdeling

De impact op de afvoerverdeling van een situatie met extreme erosie op de verlaagde oevers is in deze sectie beschreven. Het gaat om de impact die tijdens een MHW optreedt, dus erosie (oorzaak) en effect. Er wordt aangenomen dat bij erosie alleen materiaal weggenomen wordt en niet elders terecht komt en dat er buiten de erosiegebieden en op andere takken geen effecten zijn.

De worst case erosie bodem bestaat uit de normale DO bodem, met lokaal een verlaagde bodem, zie Figuur 8-9. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen de verlaagde oevers en de niet versterkte kribvakken. Voor de verlaagde oevers is vanuit het project een kaart aangeleverd met de gebieden waar geen beschermende deklaag aanwezig zal zijn na realisatie. Deze gebieden zijn uniform verlaagd met 25 cm.

Voor de kribvakken is vanuit het project aangegeven dat alleen de vier kribvakken tussen krib 14 en 18 niet versterkt zijn, de overige kribvakken liggen grotendeels in een stenige bescherming (in meer of mindere mate goed onderhouden). In de niet beschermde kribvakken is de bodem tussen de 7 en 11.5 m+NAP met 10 m richting de oevers verlegd.



Figuur 8-9: Verdieping zoals toegepast in 'worst case erosie bodem'.

Tabel 8-1 geeft de resulterende afvoerverdeling. Ten opzichte van de afvoerverdeling van de normale DO berekening verschuift de afvoer bij MHW bij Pannerdensche Kop met slechts 2 m³/s extra naar het Pannerdensch Kanaal. De invloed van de 'worst case erosie' bodem is dus gering en zal – in vergelijking met de aanzienlijke morfologische effecten die tijdens een MHW afvoer onafhankelijk van project KOP zullen optreden – niet significant zijn.

Tabel 8-1: Afvoerverdeling (m³/s) over de verschillende takken voor de referentie, het DO en het DO met de worst case erosie bodem.

Model	BR	W	PK	NR	Y
SPLP REF	16000	10165	5835	3343	2498
SPLP DO	16000	10164	5836	3343	2498
SPLP DO worst case erosie bodem	16000	10162	5838	3344	2499

9

CONCLUSIE

Onderstaand is een tabel opgenomen met alle aspecten van het RBK en aanvullende eisen vanuit de VSP en VSE die specifiek gelden voor het project Krib- en Oeververlaging Pannerdensch Kanaal. In de twee laatste kolommen is per aspect een beknopte conclusie gegeven en is een verwijzing opgenomen naar de paragraaf van het rapport waar deze conclusie is onderbouwd.

§ RBK	Rivierkundig beoordelings-aspect	Beoordelings-criterium	Aanvulling vanuit VSP/VSE	Simulaties en analyses	Conclusie	§ rapp.
1.1a	Maatregel in stroomvoerend deel rivier: Hoogwater-referentie op de as van de rivier	Stroomvoerend: geen waterstandverhoging op de as van de rivier bij de afvoer(en) uit de Hoogwaterreferentie.	SYS-0001: Het systeem Krib- en Oeververlaging Pannerdensch Kanaal dient zodanig te zijn dat bij een afvoer van 16000 m ³ /s de taakstellende waterstandsverlaging van 5 centimeter in de rivieras bij rkm 865 is gerealiseerd	Taakstelling met NRLK afvoer 16000 m ³ /s;	Op rkm 865,0 is de verlaging 5,03 cm. Er wordt aan de taakstelling voldaan	4.1
1.1b	Maatregel in bergend deel rivier: Volume waterberging	Bergend: geen vermindering bergend volume			Projectgebied zit in stroomvoerend gebied, dus geen vermindering van bergend volume.	nvt
1.2	Hoogwater-referentie buiten de as van de rivier	Geen waterstand-verhoging langs de hoge grondenlijn of primaire waterkering bij de afvoer(en) uit de hoogwater-referentie.		Simulatie SPLP afvoer 10000 en 16000 m ³ /s	Voor dijkringen 42, 43 en 47 blijft de maximum verhoging beperkt tot enkele mm. Ter plekke van het projectgebied (de fysieke locatie van krib- en oeververlaging) treden stroomafwaarts van het Regelwerk significante verlagingen op, tot lokaal 14 cm Stroomopwaarts van het regelwerk treden significante verhogingen op van de waterstand langs de primaire kering (40 cm bij 10.000 m ³ /s en 4 cm bij 16.000 m ³ /s, die laatste blijft maatgevend), veroorzaakt door de gewijzigde instelling van het regelwerk. Dit levert geen grotere belastingen op de primaire waterkering op dan afgesproken en vastgelegd in het project m.b.t. Regelwerk Pannerden	4.3
1.3	Afvoerverdeling bij Pannerdensch Kop en IJsselkop bij maatgevende Boven-Rijn afvoer	Verandering afvoerverdeling bij de splitsingspunten dient kleiner te zijn dan 5 m ³ /s bij Boven-Rijn afvoer van 16000 m ³ /s (voor project KOP geldt SYS-0003, zie kolom hiernaast)	SYS-0003: De afvoer naar het Pannerdensch Kanaal, bij een Boven-Rijn afvoer van 16000 m ³ /s, mag door het project met maximaal 100 m ³ /s toenemen. De toename geldt t.o.v. de afvoerverdeling die aanwezig is in het rivierkundige referentiemodel met een vrije afvoerverdeling, te weten: het waqua-rijn-beno15_5_20m_splp-v2 deelmodel.	Simulatie SPLP afvoer 16000 m ³ /s zonder nieuwe instelling regelwerk Simulatie SPLP afvoer 16000 m ³ /s met nieuwe instelling regelwerk (om te zien of wordt voldaan aan de beleidsmatige afvoerverdeling)	Zonder nieuwe instelling (instelling 1) van het regelwerk Pannerden is de verschuiving 60 m ³ /s. Met nieuwe instelling (instelling 2) is er een verwaarloosbaar effect op de afvoerverdeling bij 16000 m ³ /s.	4.4

1.4	Afvoerverdeling bij Pannerdensch Kop en IJsselkop bij hoge Boven-Rijn afvoer	Verandering afvoerverdeling bij de splitsingspunten dient kleiner te zijn dan 20 m ³ /s bij Boven-Rijn afvoer van 10000 m ³ /s	RS010 toelichting: VKA geeft bij afvoeren van 4000 en 10000 m ³ /s een verschuiving groter dan 20 m ³ /s in afvoerverdeling. De verschuiving in afvoerverdeling dient berekend te worden. Afstemming met RWS-ON is nodig of van de RBK norm kan worden afgeweken. Bij het VKA heeft RWS-ON niet vastgehouden aan de RBK norm aangaande de effecten op de afvoerverdeling bij afvoeren van 4000 en 10000 m ³ /s.	Simulatie SPLP afvoeren 4000, 6000, 8000, 10000 en 12000 m ³ /s. En analyse via Delft3D resultaten.	- Bij 10000 m ³ /s is de afvoertoe name door het Pannerdensch kanaal 14 m ³ /s. De afvoertoe name naar de Nederrijn en IJssel is naar rato van de bestaande verdeling: respectievelijk 8 en 6 m ³ /s. Dit zijn op beide splitsingspunten verschuivingen van niet meer dan 20 m ³ /s. Direct na aanleg voldoet het DO dus. - Morfologische ontwikkelingen (autonoom en veroorzaakt door project) zullen de afvoerverschuivingen in de splitsingspunten doen afnemen. De Ingrep blijft dus voldoen	4.4 8.1
1.5	IJsafvoer	Een goede geleiding van water en ijs dient gewaarborgd te blijven	RS225.4 Het effect van een ingrep op de ontwikkeling van ijssdammen kan worden bepaald door beoordeling van het Froudegetal in het stroomvoerend profiel conform VSP bijlage N.	Beoordeling Froude < 0.08 voor NRLK met afvoeren 6000, 8000, 12000 m ³ /s met gereduceerd Chézy met wortel (0.5)	Geen toename van ijsdek en kruierend ijs door gestroomlijnde vormgeving. Geen toename risico op vorming ijssdammen.	4.5

§	Rivierkundig beoordelingsaspect	Beoordelingscriterium	Aanvulling vanuit VSP/VSE	Simulaties en analyses	Conclusie	§ rapp.
2.1	Inundatiefrequentie van de uiterwaard	De mate van verandering van de inundatiefrequentie van een of meerdere uiterwaarden. Kies daarvoor een of meerdere afvoeren die dit aspect inzichtelijk maken.		Simulatie SPLP afvoeren, 4000, 6000, 8000, 10000, 12000 en 16000 m ³ /s.	Omdat de inundatiefrequentie bij de woonterpen en de locaties van bedrijvigheid (exclusief die op oever 4) slechts met orde uren per jaar wijzigt, is er geen sprake van directe schade of hinder door de ingrep. Bij de Roswaard wijzigt de frequentie niet door de ingrep. De inundatiefrequentie van oever 4 neemt (net als voor de andere te verlagen oevers) significant toe als direct gevolg van de maaiveldverlaging. De waterstanden stroomopwaarts van het Regelwerk Pannerden verhogen significant vooral bij 10 en 12.000 m ³ /s. Dit valt echter binnen de bandbreedte zoals voorzien in het projectplan Regelwerk Pannerden.	5.1
2.2	Stroombeeld in de uiterwaard	De mate van verandering van de grootte en richting stroomsnelheden in een of meerdere uiterwaarden bij de voor de lokale situatie representatieve omstandigheden.		Simulatie SPLP afvoeren 10000, 12000 en 16000 m ³ /s.	Geen gevaarlijke snelheden bij leikades, afname stroomsnelheid rond regelwerk. Stroombeeld geeft wel aanleiding om in het ontwerp en toekomstig beheer naar erosiebeschermende maatregelen te kijken (aspect 3.2).	5.2

2.3	Stroombeeld in vaarweg	De ingreep mag niet resulteren in een absolute dwarsstroming in de vaarweg groter dan 0,15 m/s bij een geconcentreerde dwarsstroming met een debiet groter dan 50 m³/s. Of het moet aantoonbaar zijn dat de toename padbreedte schip t.g.v. dwarsstroom kleiner is dan ½B; De ingreep mag niet resulteren in een absolute dwarsstroming in de vaarweg groter dan 0,3 m/s bij een geconcentreerde dwarsstroming met een debiet kleiner dan 50 m³/s; Bij extreme Boven-Rijn afvoeren is dit beoordelingscriterium niet van toepassing.	RS280.1 Bepaling dwarsstroming voor afvoeren 2000 4000 6000 8000 10000 m ³ /s langs de bakenlijn aan beide oever PK bij het projectgebied en rond de scheidsdam PK. Advies RWS-WVL: specifieke aandacht voor (dwarsstroming nabij Fort Pannerden).	Simulatie SPLP afvoeren 2000, 3000, 4000, 6000, 8000 en 10000 m ³ /s	Bij beschouwde afvoeren is er overall sprake van geen effect of verbetering ten opzichte van de referentie, behalve bij 8000 m³/s buiten de projectgrenzen bij rkm 873,5. Er is geen significant effect van het DO op stroming rond Fort Pannerden.	5.3
2.4	Afvoerverdeling bij Pannerdensche Kop en IJsselkop bij hoge Boven-Rijn afvoer	Verandering afvoerverdeling bij Boven-Rijn afvoer van 10000 m ³ /s. Voor dit aspect is er geen beoordelingscriterium.		Simulatie SPLP afvoer 10000 m ³ /s	Pannerdensch Kanaal trekt 14 m ³ /s meer, ten koste van Waal. Hiervan gaat respectievelijk 8 m ³ /s naar de Nederrijn en 6 m ³ /s naar de IJssel, dit wijzigt de afvoerverdeling op de IJsselkop niet.	4.4
2.5	Afvoerverdeling bij Pannerdensche Kop en IJsselkop bij een lage Boven-Rijn afvoeren	Verandering afvoerverdeling mag niet groter zijn dan 1 m ³ /s bij Boven-Rijn afvoer van 1020 m ³ /s (OLA)	RS225.2 Inzichtelijk maken van de effecten op de afvoerverdeling bij de afvoeren waarbij de verlaagde kribben en verlaagde gestrekte oevers niet gaan overstromen. RS225.3 Aantonen van de effecten van de wijzigingen in afvoerverdeling op de inundatiefrequentie, waterstanden en stroomsnelheden bij de daarvoor relevante afvoeren in het gehele invloedsgebied van de ingreep.	Simulatie SPLP afvoeren 1020, 2000, 3000, een afvoer tussen 2000-3000 waarbij belangrijke onderdelen van het ontwerp onderstromen. En analyse via Delft3D resultaten.	Voor de waterverdeling ten behoeve van de watervoorziening zijn vooral de lagere afvoeren van belang (ca. 1400 m³/s en lager). Doordat de maatregelen pas effect hebben vanaf ca. 2000 m³/s, zijn de effecten op de waterverdeling ten behoeve van de watervoorziening verwaarloosbaar. Gedurende en na morfologische ontwikkelingen is het effect bij OLA nog steeds < 1 m³/s.	4.4 8.1
2.8	Onttrekking water uit zomerbed Rijntakken	Geen ongewenste afname van de waterdiepte t.g.v. de onttrekking van water uit het zomerbed bij lage en mediane Boven-Rijn afvoeren		nvt	nvt	nvt
2.9	Waterstand en stroombeeld in de vaargeul in de Nederlands-Duitse grensregio bij lage en mediane Boven-Rijn afvoeren	Er is geen beoordelingscriterium beschikbaar. Het doel van dit aspect is om te kunnen inschatten of de bevaarbaarheid of vaarwegonderhoud in het Duitse deel van de Rijn niet verslechterd t.g.v. de ingreep.		Simulaties WAQUA SPLP afvoeren 1020 m³/s, 1400 m³/s en 2000 m³/s. En analyse via Delft3D resultaten.	Geen effect op bevaarbaarheid of vaarwegonderhoud in de Duitse deel van de Rijn. Ook na morfologische ontwikkelingen geen significant effect.	5.4 8.3

§	Rivierkundig beoordelings-aspect	Beoordelingscriterium	Aanvulling vanuit VSP/VSE	Simulaties en analyses	Conclusie	§ rapp.
3.1	Sedimentatie en erosie van het zomerbed (+ oevers) 1. door ingrepen zomerbed 2. door ingrepen winterbed	Bij erosie: -geen verlaging gemiddelde bodemligging zomerbed); -geen erosie van het zomerbed in de directe nabijheid van primaire waterkeringen; -geen oevererosie; -Beperkte ontgroning bij constructies per hoogwater; -geen erosie ter hoogte van kabels, leidingen en tunnels met een te kleine gronddekking; Bij sedimentatie: - geen sedimentatie in de vaargeul conform BPRW; -geen vermindering vaargeulafmetingen bij lage tot gemiddelde rivierafvoeren; -geen verhoging van de maatgevende waterstanden op lange termijn; Generiek: -beperkte hinder door baggeren en/of terugstorten; behouden vlotheid en veiligheid scheepvaartverkeer; -geen onacceptabele terugschrijdende erosie of sedimentatie i.v.m. risico verandering afvoerdeling bij maatgevende Boven-Rijn afvoer of OLA;	RS230: Gebruik Delft3D en WAQMORF voor morfologische analyse. Bij te grote aanzanding, eerst optimalisatie, dan onderhoudsinspanning. RS230 (Toevoeging): Aanzandings- en baggervolumes moeten twee keer bepaald worden, volgens RBK 4.0 én volgens RBK 3.0. RS240, RS245/250, RS250, RS255: diverse eisen aangaande toepassing van Delft3D. RS280.2 Aantonen van de invloed van de morfologische effecten op de vaardiepte en vaarbreedte van de scheepvaart. Toetsing dient te worden uitgevoerd conform de eisen uit het RBK en het Beheer- en Ontwikkelplan voor de Rijkswateren. RS280.4 Beschrijven van de risico's op de ontwikkeling van gradiënten in de bodem van de rivier. Acute overgangen in bodemligging dienen te worden voorkomen door nemen van mitigerende maatregelen.	WAQMORF en 40 jaar morfologische simulatie Delft3D met jaarlijks repeterende hydrograaf. Bepaling aanzandings- en baggervolumes volgens RBK 5.0 (meest up to date methode) en RBK 3.0. Aantonen invloed morfologische effecten op de vaardiepte en vaarbreedte van de scheepvaart. Beschrijven van de risico's op de ontwikkeling van gradiënten in de bodem van de rivier.	- Erosie tussen normaallijnen benedenstrooms van het DO. Dit veroorzaakt ook een daling in het OLR vlak ten opzichte van de autonome daling. - Geen erosie tussen de normaallijnen nabij primaire keringen - Erosie binnen de normaallijnen ter plekke van Betuwetunnel boven op de autonome trend van bodemerosie. ProRail dient zich over wenselijkheid uit te spreken - Beperkte toename baggerbezwaar volgens norm RBK5.0: van 360 naar 14758 m³ in beun totaal na 40 jaar. - DO is succesvol geoptimaliseerd t.o.v. VKA met als gevolg afname baggerbezwaar. Dit heeft geleid tot een minimalisatie van het baggervolume binnen de randvoorwaarden van het project. - Geen verhoging van waterstanden bij extreem hoogwater op lange termijn - Geen aanpassing van baggerbeleid (baggeren in vaargeul en storten bij de oevers) nodig. - Debietsverschuiving bij MHW en OLA is verwaarloosbaar. - Het ontstaan van acute overgangen in de bodemligging is verminderd t.o.v. het VKA. - Uitvoerige analyse kribvakken, verlaagde oevers en kribkoppen. Verwachte negatieve effecten worden voorkomen door borging in ontwerp.	6.3.1 7.3 6.3.1 6.2 6.2 8 6.2 8.1 6.3.1 0

3.2	Sedimentatie en erosie van uiterwaard en nevengeulen: 1. sedimentatie winterbed 2. erosie winterbed	Bij sedimentatie: - Acceptabele beheerskosten voor baggeren nevengeulen; Bij erosie: - geen zijdelingse verplaatsing van een nevengeul richting een primaire waterkering. Nevengeul moet op voldoende afstand blijven van de primaire waterkering, buiten de beschermingszone van de primaire kering. De beschermingszones worden bepaald door de keringbeheerders; - geen zijdelingse verplaatsing van een nevengeul richting het zomerbed van de rivier, waardoor er kans bestaat dat de nevengeul een kortsluiting veroorzaakt met het zomerbed; - stroomsnelheid in een zandige nevengeul bij bankfull afvoer moet kleiner blijven dan 0,3 m/s; - geen bodemerosie langs primaire waterkering; - stabiliteit van belangrijke constructies in de uiterwaard mag niet verminderen;			Op basis van expert judgement waarbij gebruik gemaakt wordt van modelresultaten.	- Geen gevaar voor ontgroningen bij primaire keringen, leikades, en bijzondere constructies. Er zijn aandachtspunten voor Beheer en Onderhoud.	7.3.2
-----	--	--	--	--	---	---	-------

§	Rivierkundig beoordelings-aspect	Beoordelings-criterium	Aanvulling vanuit VSP/VSE	Simulaties en analyses	Conclusie	§ rapp.
			RS225.1 inzichtelijk maken van de gevolgen van het ontwerp op de instelling van het regelwerk Pannerden bij afvoeren vanaf 8000 m ³ /s bij Lobith en hoger. Na aanleg van het ontwerp dient het regelwerk opnieuw te worden ingesteld. Belangrijk hierbij is om de waterstanden langs de bandijk en het effect op de afvoerdeling te bepalen met deze nieuwe instelling van het regelwerk. De opties voor instellingen van het regelwerk wordt door RWS-ON team rivierkunde ter beschikking gesteld en dienen in WAQUA te worden opgenomen.	Gevoeligheidsanalyses SPLP afvoeren 12000 en 16000 m ³ /s met nieuwe instelling regelwerk Pannerden: vergelijking tussen referentiesituatie zonder nieuwe instelling regelwerk en ingreep (krib- en oeververlaging) met nieuwe instelling regelwerk.	Nieuwe instelling regelwerk Pannerden is integraal in effectbepaling meegenomen.	Gehele rapport
			RS260: Bepaling oever- en kribvakerosie op basis van literatuurbronnen (Brinke 2003 en Verhey et al 1987) en monitoring Waal kribben.	Bepaling erosie kribvakken op basis van literatuurbronnen (Brinke 2003 en Verhey et al 1987) en monitoring Waal kribben.	Analyse erosie verlaagde oevers en kribvakken is uitgevoerd. Erosie is niet uit te sluiten, waar nodig zijn negatieve effecten geborgd in het ontwerp.	7.3.1 7.2
			RS265: Bepaling van erosiegevoeligheid van de verlaagde oevers en eventuele effecten op Hydraulica en op Beheer en Onderhoud. Ten minste een 'worst case' modelberekening (waarin de maximaal toelaatbare erosie van de oevers en rondom de kribwortels is geschematiseerd) om te bepalen of de vanuit Beheer en onderhoud vastgestelde erosielimietlijnen ook hydraulisch aanvaardbaar zijn.	Expert judgement op basis van eerder afgeleide modelresultaten en transport en erosie vergelijkingen van erosiegevoeligheid oevers. Simulatie met 'worst case' erosie bij 16000 m ³ /s Lobith. Bepaling erosie verlaagde oevers door scheepsgolven conform aanpak par. 3.10.2.	- Mits goed aangelegd is op de verlaagde oevers geen erosie te verwachten. - Simulatie met 'worst case' bodem heeft geen significant effect op afvoerdeling	7.3.2 8.4
			RS270 Inzichtelijk maken hoe de trend in de ontwikkeling van bodemligging van het zomerbed in het splitsingspuntengebied van de Rijntakken (mogelijk) effect heeft op de beoordeelde hydraulische en morfologische effecten van de krib- en oeververlaging voor alle aspecten uit het RBK.	Op basis van expert judgement.	Effecten via morfologische effecten op relevante plaatsen in het rapport meegenomen.	o.a. 8
			RS280.3: Aantonen van de effecten op de waterstand en waterdiepte op de Boven-Rijn en Duitse Rhein (t.b.v. Wasserstrasse und Schifffahrtsverwaltung Deutschland (WSV)) bij OLR en bij OLR+1,2 m. Hierbij dient ook de mogelijke morfologische verandering en de stroomsnelheidsverschillen in de Boven-Rijn en Duitse Rhein te worden beschouwd.	Op basis van primair effect maatregel, simulaties SPLP en afvoeren 1020, 1400 en 2000 m ³ /s Lobith.	Effecten in Duitse Rijn zijn verwaarloosbaar.	5.4

			Tweede orde effecten via morfologie	Effect debietsverdeling volgens Delft3D model gedurende 40 jaar simulatie. Aparte berekeningen met eindbodems in Delft3 voor 1020, 1400 en 2000 m ³ /s voor waterstanden en afvoerdeling	Initiële debietsverschuiving in splitsingspunten neemt niet verder toe gedurende morfologische ontwikkelingen.	8.3
			Duurzame terugstortstrategie	Analyse resultaten Delft3D morfologische simulatie en expert judgement	Geen significante toename baggerbezwaar	6.2

REFERENTIES

- Arcadis (2015), Morfologische dynamiek in kribvakken na kribverlaging, 6 februari 2015, 077756132:A – Definitief
- Arcadis (2016a), Morfologische ontwikkeling oevers na kribverlaging op basis van laseraltimetrie gegevens 2010 t/m 2015, 11 augustus 2016, 079024453:A – Definitief
- Arcadis (2016b), Morfologische ontwikkeling hoofd- en vaargeul na kribverlaging op basis van multibeamgegevens in periode 2009-2015, 24 oktober 2016, 079005369:B – Definitief
- Busnelli, M.; Schuurman F.; Sieben, A.; Van der Wal, M. & Hector H. (2011), “Morphodynamic responds of groyne fields to the lowering of crest level of the groynes in the Waal River, The Netherlands” River, Coastal and Estuarine Morphodynamic: RCEM2011. Tsingshua University Press. September 2011, Beijing, China.
- CIRIA (2007), The Rock Manual, the use of rock in hydraulic engineering, CUR/CIRIA publication C683.
- Heineke (2019), notitie uitgangspunten en hydraulische belastingen kribben + ontwerp toplaag, ref 114-191120-v1, 20 nov 2019.
- Hewlett, H. W. M., Boorman, L. A., Bramley, L. A., & Construction Industry Research and Information Association (1987), *Design of reinforced grass waterways*. London: Construction Industry Research and Information Association.
- Land+Water (2016), Kribverlaging Waal: naar een nieuw dynamisch evenwicht, Land+Water september 2016.
- Ploegam, Tauw (2020), ‘Analyse kribvak- en kribwortelerosie’. Memo, maart, 2020.
- Reeze, B., A. van Winden, J. Postma, R. Pot, J. Hop en W. Liefveld (2017), Watersysteemrapportage Rijntakken 1990-2015, Ontwikkelingen waterkwaliteit en ecologie, Bart Reeze Water & Ecologie, Harderwijk.
- Sieben, A. (2019), Werkmemo Indruk impact kribverlaging Waal op oevers uit vergelijking hoogtemodel 2018 tov 2008, versie 13-11-2019
- Svasek Hydraulics (2020). Onderzoek Rivierkunde KOP obv VKV. Rapport, referentie: 1996/U20018/D/BvL.
- TAW (1985), Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken, deel I – Bovenrivierengebied, september 1985.
- TAW (1998), Technisch rapport erosiebestendigheid van grasland als dijkbekleding, augustus 1998.
- TAW (1999), Leidraad Zee- en Meerdijken, basisrapport, december 1999.
- Tauw (2019), Onderbouwing verwachting vegetatietype bij een bepaalde inundatiefrequentie, kenmerk N001-1270912TVL-V01, 11 oktober 2019.
- Ten Brinke, W.B.M. (2003), de sedimenthuishouding van kribvakken langs de Waal, RIZA, rapport 2003.002
- Termes, A.P.P. & A. Boogaard (1991), Voorkomen van ijs op de Nederlandse Rijntakken. Rapport Q1064, deel II, Waterloopkundig Laboratorium.
- Verhey, H.J. en K. Vermeer (1987), Kribvakerosie door zes- en vierbaksduwvaart op de Waal. Verslag modelonderzoek. Rapport WL|Delft Hydraulics Q93/Q576
- Minister van Infrastructuur en Milieu (2015). Bijlage 2 bij ‘Waterbrief’ aan de Tweede Kamer (30 november 2015).

A

PLAN VAN AANPAK RIVIERKUNDIG ONDERZOEK KOP



**Plan van Aanpak Rivierkundig Onderzoek en
Effecten voor Scheepvaart conform RBK 5.0**

Definitief

1996/U19399/A/LdW

2 okt 2019





Schiehaven 13G
3024 EC Rotterdam
Nederland
☎ +31 - 10 - 467 13 61
✉ info@svasek.com
🌐 www.svasek.com

Document titel Plan van Aanpak Rivierkundig Onderzoek en
Effecten voor Scheepvaart conform RBK 5.0

Verkorte Titel PvA rivierkunde KOP

Status Definitief

Datum 2 okt 2019

Project naam KOP

Project nummer 1996

Opdrachtgever Rijkswaterstaat

Referentie 1996/U19399/A/LdW

Auteur B. van Leeuwen, L. de Wit

Gecontroleerd door B. van Leeuwen, L. de Wit (kruislings)

INHOUDSOPGAVE

	Pag.
1 INTRODUCTIE	1
1.1 Project krib en oeververlaging Pannerdensch Kanaal (KOP)	1
1.2 PvA Rivierkundig Onderzoek en Effecten voor Scheepvaart	2
2 OVERZICHT SIMULATIES	4
2.1 Opzetten referentie en ontwerpschematisatie	4
2.2 Software	6
2.3 Splittingspuntenmodel (SPLP)	6
2.3.1 Algemeen	6
2.3.2 Welke debieten worden meegenomen	6
2.3.3 Regelwerk Pannerden	7
2.4 Nederrijn-Lek model (NRLK)	7
2.4.1 Algemeen	7
2.4.2 Welke debieten worden meegenomen	8
2.5 WAQMORF	8
2.6 DELFT3D	8
3 AANPAK TAAKSTELLING EN BEOORDELINGSASPECTEN	10
3.1 SYS0001: Taakstelling project	10
3.2 RBK 5.0 1.1: MHW effect as rivier	10
3.3 RBK 5.0 1.2: MHW effect buiten as rivier	10
3.4 RBK 5.0 1.3, 1.4, 2.4 en 2.5 en SYS-0003: Afvoerverdeling bij hoge en lage afvoeren	11
3.5 RBK 5.0 1.5: IJsafoer	11
3.6 RBK 5.0 2.1: Inundatiefrequentie van de uiterwaard	12
3.7 RBK 5.0 2.2: Stroombeeld in uiterwaard	14
3.8 RBK 5.0 2.3: Stroombeeld in vaarweg	14
3.9 RBK 5.0 2.9: Waterstand en stroombeeld in vaarweg Nederlands-Duitse grensregio bij lage en mediane Bovenrijn afvoeren	14
3.10 RBK 5.0 3.1 en 3.2: Morfologische effecten	14
3.11 Aanvullende opgaven	16
3.11.1 Regelwerk Pannerden	16
3.11.2 Bepaling oever- en kribvakerosie	16
3.11.3 Erosiegevoeligheid verlaagde oevers	17
3.11.4 Bodemtrend in aspecten RBK meenemen.	17
3.11.5 Nautische toegankelijkheid op Bovenrijn en Duitse Rhein	18
3.11.6 Tweede orde effecten via morfologische effecten.	18
3.11.7 Duurzame terugstortstrategie	18
3.11.8 Additionele gebruikaspecten scheepvaart.	18
3.12 Samenvatting aanpak in tabellen	20
4 FASERING	24
4.1 Voorbereiding	24
4.2 Iteratieve ontwerp sessies (ontwerploop 1)	24
4.3 Voorkeursvariant (VKV) naar Concept Definitief Ontwerp (CDO) (ontwerploop 2)	25
4.4 Definitief Ontwerp (DO) (veegloop 3)	25

PvA rivierkunde KOP

1996/U19399/A/LdW

Definitief

-I-

2 okt 2019

5	PLANNING EN OVERLEG	26
	BIJLAGE A: UITGANGSPUNTEN BAGGERMODULE IN DELFT3D	27

1 INTRODUCTIE

1.1 Project krib en oeververlaging Pannerdensch Kanaal (KOP)

Het Pannerdensch Kanaal loopt van het Bijlands Kanaal bij de Pannerdensch Kop tot de Neder-Rijn bij Angeren. Het heeft een lengte van ca. 6 km, een breedte van ca. 135 meter en een bodemhoogte variërend tussen NAP + 3 tot NAP + 4,7 meter. In het traject tussen de Pannerdensch Kop en de tunnel van de Betuweroute (zie Figuur 1-1) liggen in het zomerbed kribben en gestrekte oevers (zie Figuur 1-2).

Kribben, de stenen 'dwarsliggers' in de rivier, zijn erg belangrijk voor de adequate afvoer van water, ijs, grind en zand. Ze beheersen deze afvoer en houden zo het Pannerdensch Kanaal en de oever op zijn plaats. Zo blijft het Pannerdensch Kanaal bij laagwater bevaarbaar voor de scheepvaart. Tegelijkertijd vormen de kribben tijdens hoogwater ook een obstakels die de snelle afvoer van water verhinderen en zorgen voor hogere waterstanden.

Langs het Pannerdensch kanaal bevinden zich trajecten waar over een afstand van enkele honderden meters tot meer dan een kilometer geen kribben aanwezig zijn, maar waar de oever bestaat uit een verdedigde gestrekte oever. De gestrekte oever ligt op de lijn van de kribkoppen (de normaallijn). Om de normaalbreedte in stand te houden zijn de oevers verdedigd middels een schuin aflopend oevertalud welke is bekleed met een combinatie van zetsteen, stortsteen en graszoden. Dit verdedigde oevertalud loopt op tot maaiveldniveau van de uiterwaard.



Figuur 1-1: Huidige situatie incl. traject Krib- en Oeververlaging Pannerdensch Kanaal



Figuur 1-2: Luchtfoto van de Pannerdensch Kop

Tussen de Pannerdensch Kop en de tunnel van de Betuweroute worden ten hoogste 38 kribben en ten hoogste 5 gestrekte oevers verlaagd (zie Figuur 1-3). De verlaging mag maximaal tot OLR+1,70 (de mediane waterstand) gaan. De kribben en gestrekte oevers dienen na verlaging nog steeds als herkenbaar object in het rivierenlandschap aanwezig te zijn. Door het verlagen van deze kribben en gestrekte oevers ontstaat meer ruimte in het Pannerdensch Kanaal voor het afvoeren van water tijdens hogere waterstanden terwijl de diepte en locatie van de hoofdgeul gehandhaafd blijven. Het project KOP heeft dusdanig veel waterstandeffect dat als gevolg daarvan het regelwerk Pannerden door beheerder (Rijkswaterstaat Oost-Nederland) opnieuw moet worden ingesteld om te kunnen voldoen aan de beleidsmatige afvoerdeling. Het uiteindelijke effect van project KOP voor de omgeving is daarmee de optelling van effect van project KOP plus de nieuwe instelling van regelwerk Pannerden. De afvoerdeling op de splitsingspunten dient binnen de geldende normen te blijven. Met de krib- en Oeververlaging wordt de waterstand bovenstrooms van de ingreep verlaagd tijdens hoogwater. Door het verlagen van de kribben zal de kruin van de kribben minder vaak boven de waterlijn zichtbaar zijn. De hydraulische taakstelling voor deze maatregelen is een waterstandverlaging van 5 cm bij een afvoer van 16.000 m³/s bij Lobith in de rivieras op Rkm 865 op de Boven-Rijn, in geval van vaste afvoerdeling en zonder opnieuw instellen van regelwerk Pannerden.

1.2 PVA Rivierkundig Onderzoek en Effecten voor Scheepvaart

Er dient een vanuit de Waterwet vergunbaar ontwerp te worden opgesteld. De effecten op de relevante rivierkundige aspecten van dit ontwerp dienen daarom te voldoen aan de gestelde eisen en normen uit het Rivierkundig Beoordelingskader van Rijkswaterstaat (RBK) versie 5.0, versie 4 juni 2019. Er dient hiervoor een Plan van Aanpak (PvA) Rivierkundig Onderzoek en Effecten voor Scheepvaart opgesteld te worden. Per relevant aspect van het RBK wordt in het PvA omschreven welk onderzoek wordt uitgevoerd en welke werkwijze wordt gehanteerd. Dit PvA wordt afgestemd met de Rijkswaterstaat Oost Nederland teams Rivierkunde en Scheepvaart. De bepaling van de rivierkundige effecten van het ontwerp starten pas nadat het PvA is geaccordeerd door Rijkswaterstaat Oost Nederland teams rivierkunde en scheepvaart. Dit document beschrijft het Plan van Aanpak Rivierkundig Onderzoek en Effecten voor Scheepvaart.

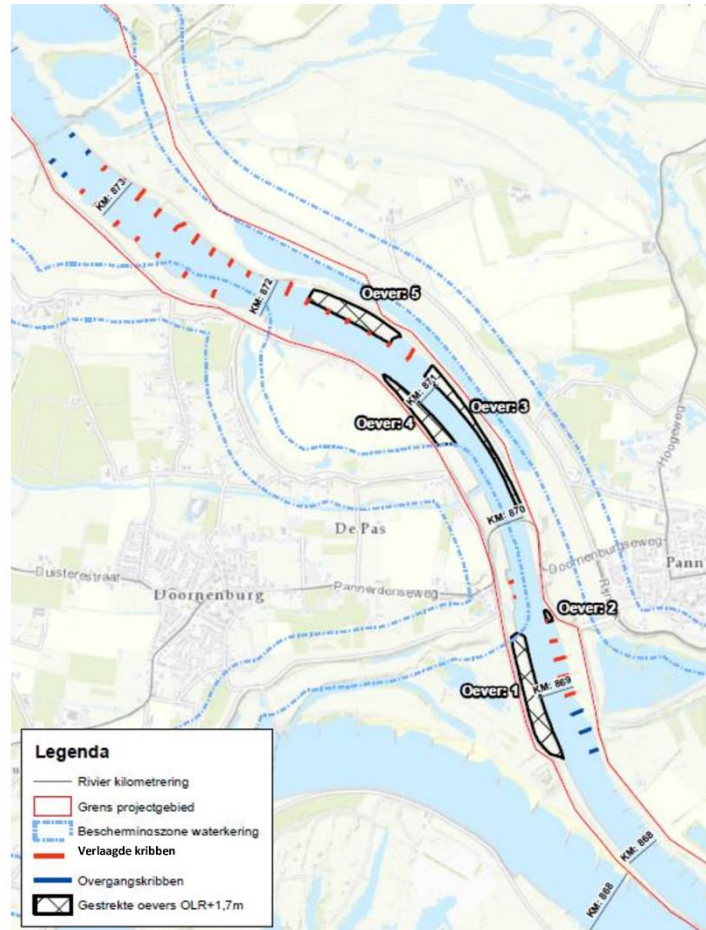
PvA rivierkunde KOP

1996/U19399/A/LdW

Definitief

-2-

2 okt 2019



Figuur 1-3: Situatietekening met overzicht locaties te verlagen kribben, overgangskribben en gestrekte oevers

2 OVERZICHT SIMULATIES

De rivierkundige beoordeling van het ontwerp zal voor een groot deel worden gebaseerd op modelresultaten. In deze paragraaf worden de verschillende modellen en de uitgangspunten en diverse randvoorwaarden besproken. Later in dit document zal het doel van de verschillende simulaties worden toegelicht en voor welke beoordelingsaspecten welke sommen worden ingezet.

2.1 Opzetten referentie en ontwerpschematisatie

Voor de diverse modellen wordt met Baseline de referentiesituatie up to date gemaakt. Dit gebeurt met 30 meegeleverde maatregelen, die de stroming ter plaatse van het projectgebied beïnvloeden (een belangrijke aanpassing in deze is de kadeverlaging Scherpekamp):

- 10 maatregelen bevatten noodzakelijke verbeteringen en actualisaties van de referentieschematisatie.
- 2 maatregelen bevatten de Stroomlijnuitwerking voor de Huissensche waarden (DO) en Loowaard (as built).
- 1 maatregel bevat de asbuilt-situatie van de verlaging van de kade naar Scherpekamp
- 17 maatregelen betreffen verleende vergunningen.

Er wordt een controle simulatie uitgevoerd met de modelreferentie van het splitsingspunten model met vrije afvoerverdeling, waarin de 30 meegeleverde BASELINE maatregelen zijn gemixt, om te controleren of bij een Lobith afvoer van 16.000 m³/s de beleidsmatige afvoerverdeling aanwezig wordt berekend. Indien blijkt uit deze controle dat de afvoerverdeling anders is dan de beleidsmatige afvoerverdeling, dan wordt in overleg met OG en RWS-ON rivierkunde bepaald wat de stappen zullen zijn. (werkzaamheden zijn op basis van uitvraag niet voorzien)

Daarnaast zijn er nog de volgende opmerkingen van RWS ON die ter harte worden genomen:

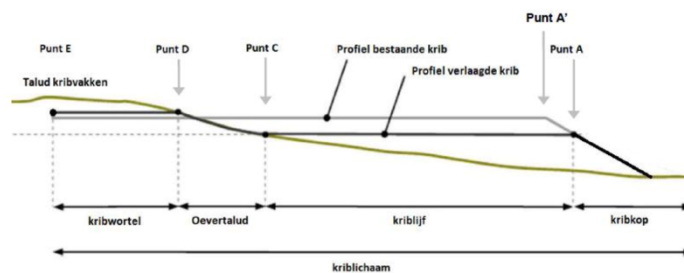
- Villemonte wordt *niet* gebruikt als overlaatformulering voor de kribben. Dit betekent dat de breedte, taluds/vorm en materiaal van de kribben niet in de berekening wordt meegenomen, maar wordt uitgegaan van het in WAQUA aanwezige tabellenboek.
- Uitvoering van Stroomlijn is een uitgangspunt in de berekeningen voor Waterwetaanvragen. In de referentieschematisatie is de vegetatie opgenomen conform de vegetatielegger inclusief het DO van Stroomlijn, aangevuld met vergunningen. De mengklassen in de nabijheid van het projectgebied zijn vervangen door de oorspronkelijk gekarteerde vegetatie op basis waarvan de mengklassen zijn toegekend.
- Het ontwerp dient te worden opgesteld in uitsluitend leggerklassen (water, verhard, gras & akker, riet & ruigte, bos, struweel, mengklasse 90/10, mengklasse 70/30 en mengklasse 50/50). Het gebruik van handboekklassen en combinaties van handboekklassen (ook voor vaste k-waarden) is niet meer toegestaan. Daarnaast mag het ontwerp heggen en bomen bevatten. Het gebruik van lanen is niet meer toegestaan.
- De maatregelen die voor dit onderzoek gemaakt worden, dienen te voldoen aan de eisen en richtlijnen die zijn opgesteld voor BASELINE protocol 4 maatregelen (voor zover van toepassing). Het document hierover kan op verzoek worden toegestuurd. Voor het maken van maatregelen is in BASELINE-versie 5.3.3 een invoermodule opgenomen. Niet eenduidige keuzen in de BASELINE schematisatie worden in een vroeg stadium besproken met RWS-ON.

De volgende uitgangspunten gelden voor de schematisatie in Baseline (aangeleverd door OG o.b.v. afstemming met Dénes Beyer (RWS-ON) op 18-7-2019, redactioneel aangepast):

- 1) De krib in Baseline zal en wordt aan de zijde van de kribkop (punt A', Figuur 2-1) niet verlengd. Verlengen van kribkop leidt in WAQUA tot extra weerstand, waarmee ten onrechte een effect wordt gecreëerd.
Achtergrond: In WAQUA wordt kribkoptalud in feite genegeerd. De krib in Baseline is

geschematiseerd tot de kribbaak. Het rooster in WAQUA is (zoveel mogelijk, echter niet overal mogelijk door curvilineair rooster) uitgelijnd op deze denkbeeldige kribbakenlijn. Er is geen factor of parameter die weerstand rondom kribkoptalud verrekend.

- 2) De hoogte van punt A (de hoogte van de verlaagde kribkop) wordt in Baseline geprojecteerd op punt A' (de hoogte van kribkop ter plaatse van huidige kribbaak). Dit betekent dus een kleine verschuiving van de daadwerkelijke hoogte op punt A'. De nieuwe kribkophoogte wordt daarom niet direct vanuit een CAD tekening of DTM geprikt.
- 3) Voor de overige hoogtepunten op de krib geldt dat deze wel overeen komen met de hoogte in een CAD tekening of DTM (dus geen verschuiving). Deze punten bevatten tenminste de knikpunten (qua hoogte) in het kriblichaam, zo nodig worden extra punten toegevoegd op de Baseline schematisatie van de krib.
- 4) Aan de oeverzijde heeft de krib schematisatie in Baseline het startpunt waar de krib uit de oever/maaienveld steekt (punt D). De kribwortel onder maaienveld (punt D-Punt E) is dus geen onderdeel van de schematisatie. Als punt van insteek vanuit de oever/maaienveld wijzigt, dan zal dit worden aangepast (verlengd of ingekort). Punt D schuift dus mee (naar C) in de Baseline schematisatie conform het ontwerp.
- 5) Teenhoogtes van de krib en oeverhoogtes wijzigen mee conform het ontwerp van de kribverlaging en bijbehorende aanpassing van omliggende oever. Alle aanpassingen aan krib of omliggende oever in het DO worden opgenomen in de definitieve Baseline-schematisatie.
- 6) Voor de schematisatie van de oever geldt dat de hoogtelijn van de oever verplaatst wordt overeenkomstig het Definitief Ontwerp. De lijn blijft de kniklijn in de oever representeren en schuift daarom mee met de verlaging.



Figuur 2-1: Schets zij aanzicht kribverlaging met verschuiving kribkop (bron: e-mail RWS, 22-7-2019).

We gaan verder uit van:

- OLA 2012, hierin is geen update voorzien binnen dit project
- Betrekkingslijnen 2018
- Waterstandsduurlijn 2018
- Beleidsmatige afvoerverdeling bij een Boven-Rijn afvoer van 16000 m³/s:
 - Boven-Rijn: 16000 m³/s
 - Waal: 10165 m³/s
 - Nederrijn-Lek: 3380¹ m³/s
 - IJssel: 2461² m³/s

¹ Deze afvoer is inclusief het debiet van 6 m³/s van gemaal Kandia (gemaal Kandia loost op het Pannerdensch Kanaal)

2.2 Software

Er wordt uitgegaan van de volgende versies van regelgeving en software.

- RBK versie 5.0.
- BASELINE-versie is 5.3.3; omdat dit een nieuwere versie is dan de versie waarmee de referentieschematisatie is opgebouwd, is het noodzakelijk om de afgeleide bestanden (hoogtemodel, overlaten, ruwheidspunten, -lijnen en -vlakken) opnieuw af te leiden voor de referentieschematisatie en naar WAQUA te vertalen. Er kunnen namelijk verschillen optreden tussen WAQUA-bestanden die met opeenvolgende BASELINE-versies zijn afgeleid.
- GIS-versie is ArcGIS 10.3.1 of ArcGIS 10.4 of 10.5.
- WAQUA-versie SIMONA2017 patch 7, april 2019.
- WAQMORF-versie is meegeleverd met SIMONA2017
- Delft3D-4-DVR
- Modelschematisatie Delft3D simulaties: delft3d_4_dvr-rijn-2015-v1

2.3 Figuren

2D figuren worden voorzien van een duidelijke referentie zodat herkenbaar is welke locatie de figuur beschouwd:

- Raai kilometers van de riviervak;
- Normaallijnen
- Vaargeul begrenzing
- Hectometervakken

1D figuren bevatten ook een duidelijke referentie in de vorm van raai kilometers van de riviervak.

2.4 Splitsingspuntenmodel (SPLP)

2.4.1 Algemeen

Er wordt gebruik gemaakt van deelmodel waqua-rijn-beno15_5_20m_spl_v2. Dit model kent een vrije afvoerverdeling over de Pannerdse Kop en de IJsselkop en wordt gestuurd door een Qh relaties op de benedenstroomse takken en inkomend debiet op de Bovenrijn. De vrije afvoerverdeling betekent dat dit model specifiek geschikt is om het totale effect van het ontwerp van KOP en de gewijzigde instelling van het regelwerk Pannerden in beeld te brengen omdat de ingrepen invloed hebben op de afvoerverdeling op de splitsingspunten. Dit is dan ook het model waarmee vrijwel de gehele effectbepaling (op de taakstelling na) in beeld wordt gebracht. De gewijzigde instelling van het regelwerk is daarmee onderdeel van de rekenmethode waarmee de meeste hydraulische effecten in deze opdracht mee worden bepaald.

2.4.2 Welke debieten worden meegenomen

Voor simulaties met dit model worden de volgende afvoeren voorgesteld. NB bij ieder beoordelingscriterium worden alleen de relevante debieten gebruikt. NB enkele debieten zijn afhankelijk van de OLR, en daarom gebaseerd op de OLA (2012), hierin is geen update voorzien binnen dit project. Wel wordt uitgegaan van de laatste betrekkinglijnen (2018). De volgende debieten worden gebruikt in SPLP:

- Specifiek om aan te tonen dat er bij lage afvoeren geen effect is op de Duitse Rhein worden sommen uitgevoerd met afvoer van 1020 m³/s bij Lobith (OLA), 1400 m³/s behorende bij circa OLR+0,70m (dit als verbeterde invulling van RS280.3) en 2000 m³/s.
- 2000 m³/s behorende bij circa OLR+1,7 m. NB dit is de minimumhoogte waarop ingrepen mogen worden gedaan (ingrepen mogen niet lager worden gedaan dan die OLR+1,70), berekeningen met lagere debieten zullen in beginsel geen effect laten zien. Tweede orde effecten via de morfologie worden apart via Delft3D inzichtelijk gemaakt.
- Afhankelijk van andere veelvoorkomende hoogten in het ontwerp (deze hoogten zijn nog niet bekend) zal tussen de 2000 en 4000 m³/s nog één extra debiet worden gekozen.
- 3000, 4000, 6000, 8000, 10.000, 12.000, 16.000 m³/s.

2.4.3 Regelwerk Pannerden

Met het regelwerk wordt de hoogwater afvoerverdeling ingesteld tussen Waal en Pannerdensch Kanaal. Als gevolg van de ingreep zal in de toekomst het regelwerk opnieuw worden ingesteld, waarbij de verwachting is dat er schuiven kunnen worden teruggeplaatst voor het beperken van de doorstroombare oppervlakte in dit regelwerk. Het regelwerk Pannerden komt door deze nieuwe instelling meer in de buurt van de gewenste midden van het regelberek.

Een nieuwe instelling kan met behulp van aanwijzingen van opdrachtgever en RWS-ON worden afgeleid. Deze afleiding zal – gegeven een bepaald ontwerp - in de basis bestaan uit het iteratief aanpassen van het regelwerk (o.b.v. uniforme hoogte van het regelwerk, er is geen operationele instelling van de schotten gevraagd) om bij een afvoer van 16000 m³/s in het SPLP de gewenste beleidsmatige afvoerverdeling (zie paragraaf 2.1) te verkrijgen, RWS-ON schrijft in deze de methodiek voor conform de jaarlijkse instelling.

In principe worden alle effectbepalingen van varianten samen met de nieuwe instelling van het regelwerk Pannerden uitgevoerd (behalve taakstelling). Dit betekent dat de nieuwe instelling al in een vroeg stadium binnen het project bekend moet zijn. Een eerste nieuwe instelling van het regelwerk wordt daarom bepaald op basis van de VKA ontwerp (RHDHV, 2017). Een dergelijk ontwerp heeft een vergelijkbaar effect op waterstanden – en dus ook een vergelijkbaar effect op debieten – als het uiteindelijk ontwerp. Een instelling van het regelwerk op basis van het VKA is zodoende een goede eerste schatting. Aan het einde van het project wordt voor het Definitief Ontwerp (DO) nog eenmaal de instelling van het regelwerk opnieuw afgeleid, waarna met deze instelling alle effectsommen van het DO met het SPLP worden uitgevoerd.

Om de invloed van alleen KOP op de afvoerverdeling in kaart te brengen wordt nog een aanvullende simulatie van SPLP met 16.000 m³/s uitgevoerd zonder nieuwe instelling van het regelwerk.

2.5 Nederrijn-Lek model (NRLK)

2.5.1 Algemeen

Er wordt gebruik gemaakt van deelmodel waqua-rijn-beno15_5_20m_nrlk-v2. In dit model staat de afvoerverdeling vast, doordat de debieten op de takken (Waal, Nederrijn/Lek en IJssel) hard opgegeven zijn (afhankelijk van de afvoer bij Lobith). Met dit model wordt alleen de taakstelling beoordeeld, deze is immers gedefinieerd als een effect gegeven een vaste afvoerverdeling. In het NRLK model wordt nooit gerekend met een nieuwe instelling van het regelwerk Pannerden omdat in het NRLK de beleidsmatige afvoerverdeling als randvoorwaarde wordt opgelegd.

2.5.2 Welke debieten worden meegenomen

Omdat alleen het behalen van de taakstelling met dit model wordt geverifieerd, wordt met dit model alleen de bijbehorende afvoer doorgerekend:

- 16000 m³/s

Voor bepaling van een veilige ijsafvoer (zie voor verdere uitleg paragraaf 3.4) worden met het NRLK model nog enkele speciale simulaties uitgevoerd (met aangepaste Chezy) met de volgende afvoeren:

- 4000, 8000 en 12000 m³/s

2.6 WAQMORF

WAQMORF wordt toegepast om op snelle wijze een schatting van het evenwicht erosie/sedimentatie patroon te verkrijgen op basis van WAQUA stroomsnelheid- en waterstandsvelden.

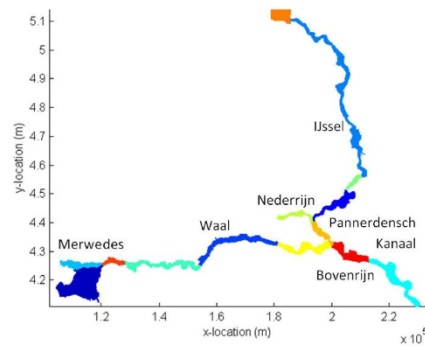
2.7 DELFT3D

Proces gebaseerde morfologische simulaties worden uitgevoerd in Delft3D met het bestaande Duurzame Vaardiepte Rijndelta (DVR) model. Het model bevat functionaliteiten die niet zijn opgenomen in de release versie. Om deze reden maken we gebruik van een niet officiële Delft3D-4 versie, te weten Delft3D-4-DVR. Voor de aansturen van de morfologische simulaties wordt SMT (Simulation Management Tool) software toegepast. Deze paragraaf legt het Delft3D model uit en in het volgende hoofdstuk wordt behandeld welke morfologische effecten beschouwd worden.

Deltares is betrokken bij de opzet en invoer van de Delft3D-DVR simulaties en verantwoordelijk voor de review en kwaliteitscontrole van de berekeningen. Deltares biedt in-house modelleersupport bij het rekenen met het Delft3D DVR model. Deltares zal een memo opstellen met een samenvatting van de bevindingen over de modelinvoer en modeluitvoer voor een aantoonbare kwaliteitscheck. De kwaliteitscontrole gaat zuiver over de controle op de berekeningen, en niet over de conclusies op basis van de berekeningen. De kwaliteitscontrole wordt opgenomen in de rapportage van de rivierkundige effecten.

Voor het project wordt de modelschematisatie delft3d_4_dvr-rijn-2015-v1 uitgeleverd. Het beschreven gebied loopt van Xanten (Niederrhein, Duitsland) tot Neder-Rijn rivierkilometer 894.0, Beneden Merwede (tot Dordrecht), Nieuwe Merwede (tot Lage Zwaluwe) en IJssel (tot Ketelhaven), zie Figuur 2-2. Het gebied wordt weergegeven in het Rijks-Driehoeks coördinatenstelsel en het referentievlak is ten opzichte van Normaal Amsterdams Peil (NAP). De bandijk en hoge gronden vormen de grens van het model. Het huidige Duurzame Vaardiepte Rijndelta (DVR) model is gebaseerd op, d.w.z. put haar invoergegevens uit, de 5e generatie Baseline-bomen baseline-rijn-Ref2015 en baseline-rmm-beno12_5-v1. Gecontroleerd zal worden dat de initiële OLR in het Delft3D model overeenkomt met het jaar van de initiële bathymetrie welk in Delft3d gehanteerd wordt. Indien deze niet overeenkomen zal de initiële OLR worden aangepast of indien dit niet mogelijk is zal de initiële bathymetrie worden aangepast.

Deltares is verantwoordelijk voor de levering van de referentiesituatie.



Figuur 2-2 Modelgebied Delft3D morfologisch model

De modelschematisatie van Delft3D-DVR wordt door ON up to date gemaakt via het inmixen van 30 Baseline maatregelen. Er wordt vanuit gegaan dat het Delft3D-DVR model goed functioneert en goed gekalibreerd is voor zijn doel. Gezien de verschillen in software, modelrooster en doel van het model is niet te verwachten dat de waterstanden in Delft3D en WAQUA precies gelijk zullen zijn.

Wel zal worden gekeken of de effecten van de ingreep in relatieve zin (percentage verschil in stroomsnelheid) vergelijkbaar zijn tussen Delft3D en WAQUA. Dit zal worden getoetst op basis van het VKA (RHDHV, 2017). Mochten de hydrodynamische effecten van de ingreep significant groter dan wel kleiner zijn in Delft3D ten opzichte van WAQUA dan zal de maatregel door ON worden aangepast om dit – binnen redelijke grenzen - te corrigeren. Er kan worden gedacht aan het aanpassen van de nieuwe kribhoogte, of oeverhoogte of ruwheid van de verlaagde oevers in Delft3D.

Er zal aandacht worden besteed aan hoe de benedenstroomse randen van het model reageren op lange termijn bodemverandering.

De morfologische simulaties worden uitgevoerd met de jaarlijks constant repeterende standaard hydrograaf bevattende de afvoeren bij Lobith: 1020, 1203, 1635, 2250, 3053, 3824, 4717, 6151, en 8592 m³/s. De morfologie wordt voor een periode van 40 jaar gesimuleerd. In Delft3D-DVR is een bagger en stortroutine opgenomen en deze aanwezige routine wordt toegepast in de langjarige morfologische simulaties. RWS-ON stelt echter specifieke eisen aan het functioneren van de baggeroutine, zie bijlage A. Deze zullen aan het begin van de studie worden verwerkt in de bagger en stortroutine. Elke situatie wordt vier keer gesimuleerd:

- met ingreep, met baggeronderhoud;
- zonder ingreep, met baggeronderhoud;
- met ingreep, zonder baggeronderhoud;
- zonder ingreep, zonder baggeronderhoud.

Baggerhoeveelheden worden gepresenteerd in m³ beun volume.

3 AANPAK TAAKSTELLING EN BEOORDELINGSASPECTEN

In onderstaande paragrafen wordt toegelicht hoe zal worden voldaan aan de taakstelling, de diverse onderdelen van de het RBK 5.0 en enkele aanvullende opgaven van OG. NB RBK 5.0 2.8 (onttrekking debiet) wordt niet afzonderlijk behandeld aangezien dit niet van toepassing is binnen het huidige project.

In zijn algemeenheid kan worden gesteld dat de taakstelling en ijsgang (conform Deltares, 2019) wordt getoetst met het NRLK model, alle andere hydrodynamische aspecten worden beoordeeld op basis van SPLP resultaten (met medenemen van nieuwe instelling van het regelwerk Pannderden in de ingreepsituatie) en morfologische aspecten worden beoordeeld met behulp van WAQMORF (met modelresultaten van het SPLP model) en Delft3D.

In beginsel wordt altijd een referentiesituatie met de huidige instelling van regelwerk Pannderden vergeleken met een ingreepsituatie. Die ingreep betreft:

- In geval van NRLK: het project KOP met huidige instelling regelwerk Pannderden.
- In geval van SPLP: het project KOP met een nieuwe instelling regelwerk Pannderden.
- In WAQMORF wordt gebruik gemaakt van modelresultaten van het SPLP model, dus project KOP met nieuwe instelling regelwerk Pannderden. (NB WAQMORF maakt gebruik van afvoeren waarbij het regelwerk nog geen invloed heeft)
- In Delft3D: het project KOP met huidige instelling regelwerk Pannderden zoals het bij uitlevering in het Delft3D model is opgenomen. (NB Delft3D maakt gebruik van afvoeren waarbij het regelwerk nog geen invloed heeft)

3.1 SYS0001: Taakstelling project

De hydraulische werктаakstelling voor deze maatregelen is een waterstandverlaging van 5 cm bij een afvoer van 16.000 m³/s bij Lobith in de rivieras op Rkm 865 op de Boven-Rijn.

Modelinstrumentarium: NRLK model en de 16000 m³/s afvoer, referentie en ontwerp. Beoordeling zal plaats vinden op basis van een figuur van waterstandseffecten in de as van de rivier opgesteld op basis van de last-25 waterstanden (dit is een tijdsmiddeling van de laatste 25 tijdstappen van Waqua) per hectometer. Een nieuwe instelling van het regelwerk wordt niet meegenomen in het model omdat dit niet overeenkomstig de systematiek is waarmee de taakstelling in het verleden is vastgesteld.

3.2 RBK 5.0 1.1: MHW effect as rivier

Het MHW effect op de as van rivier wordt bepaald op basis van het SPLP en het NRLK model met 16000 m³/s. Bij kleine ingrepen is een toets met één afvoerniveau afdoende, echter bij een grotere ingreep (zoals KOP) brengt een enkelvoudige toets de effecten op de hoogwaterveiligheid onvoldoende in beeld. Daarom wordt aanvullend een tweede toets op de hoogwaterveiligheid uitgevoerd met het SPLP model bij een lager afvoerniveau, namelijk 10000 m³/s.

De volumeverandering van het project voor het bergend deel van de rivier is nihil omdat het projectgebied zich in stroomvoerend gebied bevindt.

3.3 RBK 5.0 1.2: MHW effect buiten as rivier

De effecten van het ontwerp op de waterstanden langs de bandijken worden wederom op basis van SPLP met 16000 m³/s en 10000 m³/s inzichtelijk gemaakt. Beoordeling op basis van ruimtelijke figuren met waterstandseffect en tabel met maximum en gemiddelde verschillen per dijktraject.

3.4 RBK 5.0 1.3, 1.4, 2.4 en 2.5 en SYS-0003: Afvoerdeling bij hoge en lage afvoeren

Het project zal invloed hebben op de debietverdeling op de Pannerdensch Kop, dit is ook expliciet een doel van het project. De effecten in deze zullen inzichtelijk worden gemaakt.

In het RBK 5.0 zijn vier beoordelingsaspecten aangaande de afvoerdeling, respectievelijk voor MHW (16000 m³/s) en hoge afvoer (10000 m³/s, twee maal), en voor lage afvoer (1020 m³/s).

Deze set criteria wordt afgedekt door met SPLP de volgende afvoeren door te rekenen: 1020, 2000, 3000, (een afvoer tussen 2000-4000 waarbij belangrijke onderdelen van het ontwerp onderstromen), 4000, 6000, 8000, 10000, 12000 en 16000 m³/s.

NB bij lage afvoer, bijvoorbeeld 1020 m³/s (OLA, RBK 2.5) en ook 2000 m³/s (OLR+1,70m) worden geen effecten verwacht omdat onder OLR+1,7m geen ingrepen worden gedaan.

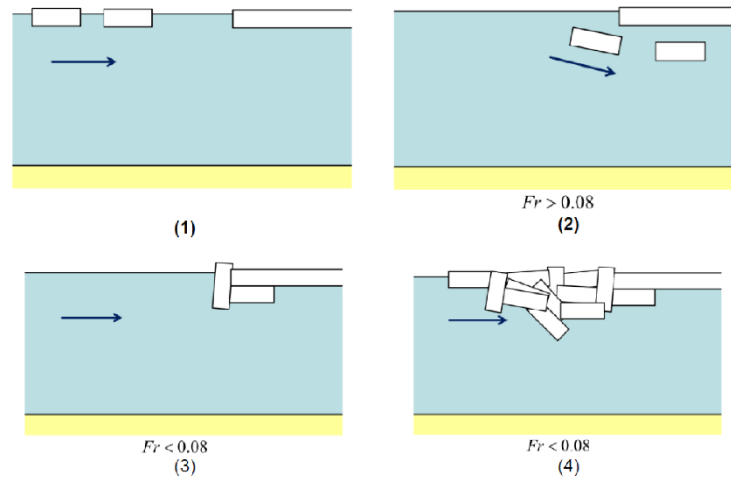
Om de invloed van alleen KOP op de afvoerdeling in kaart te brengen wordt een simulatie van SPLP met 16.000 m³/s uitgevoerd zonder nieuwe instelling van het regelwerk. Getoetst zal worden of het project voldoet aan SYS-0003: de afvoer naar het Pannerdensch Kanaal mag bij een afvoer van 16.000 m³/s maximaal 100 m³/s toenemen. Resultaten van sommen worden gepresenteerd als tabellen met debieten per tak, en vergeleken met de opgegeven maximum toegestane verschillen. Indien de afvoerdeling dusdanig verandert dat er een toename van meer dan 20 m³/s naar IJssel of Neder-Rijn – Lek gaat dan wordt het gevolg op de waterstand op de IJssel en Neder-Rijn – Lek inzichtelijk gemaakt met 1D en 2D verschilwaterstand figuren.

Er wordt gekeken naar de afvoerdeling op de Pannerdensch Kop en de IJsselkop. Het project KOP zal effecten hebben op de afvoerdeling bij de Pannerdensch Kop in een deel van het afvoerbereik waar het stuwprogramma actief is. Dit kan gevolgen hebben op het nu vigerende stuwprogramma. Effecten hierop worden in beeld gebracht, maar het uitwerken van aanpassingen in het stuwprogramma valt buiten de scope van het project.

3.5 RBK 5.0 1.5: Ijsafvoer

Het ontwerp mag geen negatieve effecten hebben voor de afvoer van ijs, en niet leiden tot een significante toename in de waarschijnlijkheid van ijsdammen. Hier zal in beginsel de methodiek van Deltares (zie VSP bijlage N) worden gevolgd, welke kort samengevat neerkomt op:

- Bij strenge vorst ontstaat een ijsdek, na dooi zal dit bovenstrooms opbreken tot schotsen welke bij het benedenstroomse ijsdek blijven steken en daardoor een ijsdam vormen (zie Figuur 3-1).
- Bij Froudegetallen hoger dan 0,08 zullen de ijsschotsen veilig onder het ijsdek door getransporteerd worden.
- Met het NRLK model worden vanaf drie locaties ter hoogte van project KOP een verhoogde ruwheid (Chézy/√2) opgelegd tot helemaal benedenstrooms in de Lek. Dit simuleert de aanwezigheid van een ijsdek.
- Vervolgens wordt onderzocht of door de ingreep het Froudegetal onder de 0,08 komt bij stationaire afvoeren 4000, 8000 en 12000 m³/s.
- Dit is slechts zeer beperkt en op minder kritische locaties het geval, het VKA zoals opgesteld door RHDHV(2017) wordt daarom door Deltares (2019) als veilig beoordeeld op het gebied van ijsafvoer.



Figuur 3-1: (1) Na dooi naderen ijschoten van bovenstrooms een nog bestaand ijsdek benedenstrooms. (2) Bij een hoog Froudegetal worden ijschoten onder dek doorgetransporteerd; veilige situatie. (3 en 4) Bij een laag froudegetal blijven de ijschoten steken en kan een ijsdam vormen: onveilige situatie.

De studie zoals hierboven beschreven wordt herhaald op basis van het nieuwe ontwerp (CDO en DO). De berekeningen worden uitgevoerd met een ruwheidsveld (welke afhankelijk is van de afvoer), welke op locaties met een ijsdek wordt verhoogd met Chézy/ $\sqrt{2}$.

3.6

RBK 5.0 2.1: Inundatiefrequentie van de uiterwaard

Waterstandseffecten in uiterwaarden worden inzichtelijk gemaakt met het SPLP model voor de afvoeren: 4000, 6000, 8000, 10000, 12000 en 16000 m³/s.

Resultaten worden in tabellen getoond met vooraf geselecteerde locaties in uiterwaarden de verandering in inundatiefrequentie (o.b.v. de waterstandsduurlijn 2018) en/of waterstandsverandering. Hierbij is er speciale aandacht voor (woon)terpen in het Pannerdensch Kanaal. Voor een selectie van de simulaties worden ook ruimtelijke figuren van de waterstandverschillen getoond.

De volgende 23 punten (zoals getoond in beide onderstaande figuren) van woonterpen en andere nuttige locaties verspreid over de verschillende riviertakken worden meegenomen in de beschouwing van de inundatiefrequentie. Hierbij is onder andere speciale aandacht voor diverse punten rond de Groene Rivier. Voordat simulaties gestart worden, wordt er met de omgevingsmanager binnen het projectteam eventuele aanvullende punten afgesproken.



Figuur 3-2 Twintig verschillende locaties die worden gebruikt voor de bepaling van de inundatiefrequentie (11 in bovenste figuur en 9 terpen getoond in onderste figuur)

3.7 RBK 5.0 2.2: Stroombeeld in uiterwaard

Een deel van simulaties in de vorige paragraaf, namelijk SPLP 10000, 12000 en 16000 m³/s worden ook gebruikt voor een analyse van het effect van het project voor het stroombeeld in de uiterwaarden. Er worden figuren voor de stroomsnelheid en verschil-snelheid (ingreep minus referentie situatie) voor de ontwerpsituatie gemaakt. Deze figuren worden geanalyseerd en er wordt beschreven of er voor het stroombeeld in de uiterwaard een groot of klein effect op de omgeving is. Er wordt een inschatting gemaakt van eventuele schade of noodzaak tot een extra kleidek of oeverbescherming.

Hierbij gelden de volgende aandachtspunten:

- verandering van stroomsnelheden bij belangrijke kaden, welke dit zijn dient nog nader gedefinieerd te worden door OG.
- verandering van stroomsnelheid rondom het regelwerk Pannerden met de nieuwe instellingen.
- veranderingen van stroomsnelheden in erosiegevoelige gebieden.

3.8 RBK 5.0 2.3: Stroombeeld in vaarweg

Dit is het beoordelingsaspect aangaande dwarsstroom in de vaarweg, wat van belang is voor nautische doeleinden. Hiertoe wordt gekeken naar simulaties met SPLP model van debieten 2000, 3000, 4000, 6000, 8000 en 10000 m³/s. Er worden dwarsstroomfiguren opgesteld ter plaatse van de bakenlijnen aan weerszijde van het Pannerdensch Kanaal ter plaatse van de ingreep. Het stroombeeld (dwarsstroming) nabij Fort Pannerden en de scheidingsdam tussen Waal en PK wordt ook meegenomen. Er wordt beoordeeld hoe de dwarsstroming zich verhoudt met de norm voor dwarsstroming.

3.9 RBK 5.0 2.9: Waterstand en stroombeeld in vaarweg Nederlands-Duitse grensregio bij lage en mediane Bovenrijn afvoeren

Specifiek voor de Duitse Rhein wordt gekeken naar de effecten op stroming en waterstanden met het SPLP model bij een afvoer van 1020 m³/s bij Lobith (OLA), 1400 m³/s behorende bij circa OLR+0,70m en 2000 m³/s (als invulling van RS280.3). Verwachting is dat het effect bij deze afvoeren verwaarloosbaar is, aangezien het project KOP bij deze waterstanden nog niet of nauwelijks meestroomt.

3.10 RBK 5.0 3.1 en 3.2: Morfologische effecten

Voor deze opgave wordt in eerste instantie WAQMORF toegepast en daarna Delft3D in samenwerking met Deltares, zie paragrafen 2.5 en 2.7.

Uitvoer uit Delft3D zal altijd worden gegeven na een periode met hoogwater, aangezien dit de relevant periode voor de bodemligging is (NB in RHDHV, 2017 is uitvoer juist op basis van een periode na laagwater). De morfologie in Delft3d wordt voor een periode van 40 jaar gesimuleerd. De volgende morfologische resultaten worden gepresenteerd:

- 2D figuren erosie/sedimentatie patronen Delft3D en WAQMORF in het projectgebied en boven- en benedenstrooms (tot waar significant effect zichtbaar is)
- 1D figuren met breedte-gemiddelde erosie/sedimentatie patronen over de tijd uit Delft3D (bijvoorbeeld na 2, 4, 6, 8, 10, 20, 30, 40 jaar)

- 1D figuren met vergelijking breedte-gemiddelde erosie/sedimentatie van Delft3D (na 20 en 40 jaar) met de evenwichtserosie/sedimentatie zoals berekend door WAQMORF.
- 2D figuren met effect op waterdiepte bij OLA en bij gemiddelde afvoer uit Delft3D (na 20 en 40 jaar)
- Tijdgrafiek met effect op verdeling sedimenttransport beide splitsingspunten uit Delft3D (voor 0-40 jaar, dus variërend over de tijd)
- Bepaling totale baggerhoeveelheden volgens zowel RBK 3.0 methode als RBK 5.0 methode. RBK 3.0 gaat uit van handhaven nautische vaardiepte en bepaling volumes voor de vaargeulbreedte. RBK 5.0 gaat uit van handhaven diepte zoals nu aanwezig en bepaling volumes tussen de normaallijnen. De reden hiervoor is dat in de SNIP2a fase deze hoeveelheden volgens RBK 3.0 zijn bepaald. De opnieuw bepaalde hoeveelheden (volgens RBK 3.0) zijn op deze wijze vergelijkbaar met de in de SNIP2a fase bepaalde hoeveelheden. Tabellen uit Delft3D:
 - Tabel met de jaarlijkse baggerhoeveelheden (in beun m³) gemiddeld over jaar 0-5 en gemiddeld over jaar 0-40 volgens RBK 3.0 (vaargeulbreedte en handhaving nautische vaardiepte) voor Pannerdensch Kanaal en Boven-Rijn
 - Tabel met de jaarlijkse baggerhoeveelheden (in beun m³) gemiddeld over jaar 0-5 en gemiddeld over jaar 0-40 volgens RBK 5.0 (normaalbreedte en handhaving diepte zoals aanwezig) voor Pannerdensch Kanaal en Boven-Rijn
- Tabellen met onderstaande uitvoer uit Delft3D per riviervak van 100m met een waarde per hm-vak voor periode 0-5 jaar en een waarde per hm-vak voor periode 0-40 jaar. Bij volumes gaat het om jaargemiddelde volumes voor jaar 0-5 en jaar 0-40 en bij de maximum bodemhoogte gaat het om maxima voor jaar 0-5 en jaar 0-40. Deze uitvoer wordt bepaald steeds net voordat in Delft3D gebaggerd wordt. Volumes worden bepaald met methode RBK 5.0 (normaalbreedte en handhaving diepte zoals aanwezig).
 - Baggervolume (in beun m³) uit Delft3D per hm-vak
 - Stortvolume (in beun m³) uit Delft3D per hm-vak
 - Sedimentatie volume per hm-vak
 - Erosie volume per hm-vak
 - Maximum bodemhoogte t.o.v. CCR norm² per hm-vak (vaargeulbreedte)
 - Effect van de ingreep op maximum bodemhoogte t.o.v. CCR norm per hm-vak (vaargeulbreedte)
 - Sedimentatievolume boven CCR norm per hm-vak
 - Effect van de ingreep op sedimentatievolume boven CCR norm per hm-vak
 - Baggervolume (in beun m³) boven CCR norm minus 30cm baggermarge (OLR-3.1m) per hm-vak
 - Effect van de ingreep op baggervolume (in beun m³) boven CCR norm minus 30cm baggermarge (OLR-3.1m) per hm-vak
 - Gemiddelde bodemhoogte t.o.v. CCR norm per hm-vak (vaargeuldiepte)
 - Effect van de ingreep op gemiddelde bodemhoogte t.o.v. CCR norm per hm-vak (vaargeuldiepte)
 - Baggervolume (in beun m³) boven CCR norm minus kielspeling³ (OLR-4m) per hm-vak
 - Effect van de ingreep op baggervolume (in beun m³) boven CCR norm minus kielspeling (OLR-4m) per hm-vak

RBK 5.0 benoemt dat de vaarwegbreedte en minimale waterdiepte onder OLR mogelijk eind 2019 gewijzigd worden. Tot en met het 3e kwartaal van 2019 gelden voor het Pannerdensch Kanaal de

² Op de Boven-Rijn, Waal, Pannerdensch Kanaal en NRL IJsselkop -Driel is de CCR norm OLR-2.8m

³ Op de Boven-Rijn, Waal, Pannerdensch Kanaal en NRL IJsselkop -Driel is de kielspeling 1.2m

originele waarden voor zowel breedte als minimale waterdiepte onder OLR zoals genoemd in RBK 5.0 (gelijk aan de waarden uit RBK 4.0). Eind 2019 wordt contact gezocht met de rivierbeheerder over de eventueel aangepaste vaarwegafmetingen om deze voor project KOP in ontwerp loop 2 en 3 mee te kunnen nemen in bovenstaande tabellen en figuren.

Er wordt interpretatie en analyse van de erosie/sedimentatie patronen gegeven. De invloed van de sedimentflux uit de oever- er kribvakerosie (zie paragraaf 3.10.2 en 3.10.3) op de gesimuleerde morfologische effecten wordt in een post-proces stap ingeschat (dit wordt niet meegenomen in de Delft3D berekening). De reden hiervoor is om de complexe en lange morfologische Delft3D berekeningen te kunnen simuleren los van de bepaling van deze fluxen en zo ook de effecten op de resultaten apart te houden.

N.B. De invloed van morfologische effecten (via de bodemaanpassing) op waterstanden en afvoerverdeling wordt apart behandeld in paragraaf 3.10.6 van dit PVA.

Op basis van expert judgement met behulp van de gesimuleerde stroomsnelheden in de uiterwaarden wordt de erosie en sedimentatie in de uiterwaarden bepaald (N.B. RHDHV, 2017, voorspelt geen effecten in de uiterwaard). Het Delft3D model loopt door tot in Duitsland waardoor ook eventuele morfologische effecten in de Duitse Rhein inzichtelijk worden gemaakt. NB in RHDHV (2017) waren deze effecten er niet.

3.11 Aanvullende opgaven

In de VSP zijn een aantal aanvullende eisen gesteld die als uitwerking van het RBK kunnen worden gezien. Voor de duidelijkheid zijn deze echter apart genoemd.

3.11.1 Regelwerk Pannerden

Een nieuwe instelling van het regelwerk Pannerden wordt integraal meegenomen in de studie.

3.11.2 Bepaling oever- en kribvakerosie

De verwachte grootte van de oever- en kribvakerosie na aanleg van het ontwerp zal worden bepaald op basis van onderstaande voorgaande studies.

- Brinke, W.B.M. ten (2003), de sedimenthuishouding van kribvakken langs de Waal, RIZA, rapport 2003.002
- Verhey, H.J. en K. Vermeer, 1987. Kribvakerosie door zes- en vierbaksduwvaart op de Waal. Verslag modelonderzoek. Rapport WL|Delft Hydraulics Q93/Q576

Hierbij dient monitoringsgegevens van de kribverlaging in de Waal te worden gebruikt om te onderzoeken of deze conclusie uit bovenstaande bronnen al dan niet onderschrijven. Rapporten van monitoringsgegevens zijn beschikbaar:

- Arcadis 2016: Arcadis, Morfologische ontwikkeling oevers na kribverlaging op basis van laseraltimetrie. gegevens 2010 t/m 2015, oktober 2016.
- Busnelli, M.; Schuurman F.; Sieben, A.; Van der Wal, M. & Hector H. "Morphodynamic responds of groyne fields to the lowering of crest level of the groynes in the Waal River, The Netherlands" River, Coastal and Estuarine Morphodynamic: RCEM2011. Tsinghua University Press. September 2011, Beijing, China.
- Kribverlaging Waal: naar een nieuw dynamisch evenwicht, Land+Water september 2016.
- Rijkswaterstaat WVL werkt aan een kaart met verschillen voor en na aanleg kribverlaging Waal om zo een beeld te bieden van de (evenwichts) ontwikkeling die na verlaging mogelijk is.

Om de grootte van oever- en kribvakerosie na aanleg van KOP te kunnen bepalen zullen de beschikbare gegevens van andere riviertakken (voornamelijk beschikbaar van de Waal) vertaald worden voor zowel verschil in belasting (op basis van regels uit de Rock Manual) als sterkte. Hierbij zal ook rekening worden gehouden met het verschil in geometrie van de Waal (waarvoor de studies beschikbaar zijn) en het Pannerdensch Kanaal (waar de kribverlaging zal worden uitgevoerd). Onzekerheden worden meegenomen in een bandbreedte bij het inschatten van de potentiële erosie.

3.11.3 Erosiegevoeligheid verlaagde oevers

Vooraf voor de verlaagde oevers is het van belang hoe gevoelig deze zijn voor erosie tijdens hoogwater. Uit de Waqua simulaties zal de kritische stroomsnelheid nabij de verlaagde oevers en kribvakken en kribwortels tijdens een hoogwater bepaald worden. Op basis van bestaande transportmodellen en expert judgement wordt op basis van de kritische stroomsnelheden een inschatting gemaakt van de verwachte erosie tijdens een representatief hoogwater. Hierbij gelden de volgende uitgangspunten:

- Representatieve afvoergolf voor erosie heeft top bij 16.000 m³/s en een verloop volgens de standaard WBI golven.
- Bij dergelijke condities is scheepvaart niet meer toegestaan, er wordt dus uitsluitend uitgegaan van erosie door stromingspatronen.
- Uit deze analyse kan een mate van erosie per locatie worden bepaald, en worden vergeleken met de erosielimietlijnen. Deze limietlijnen worden binnen het project in overleg met de beheerder vastgesteld, maar zijn contractueel de verantwoordelijkheid van opdrachtgever (beheerder). Indien erosie de limietlijnen overschrijdt gedurende een hoogwatergolf dan zal dit leiden tot aanpassingen in het ontwerp om erosie te beperken tot maximaal de erosielimietlijnen. Deze analyse wordt daarom meegenomen in de optimalisatie van het ontwerp in loop 2 en 3.
- De maximum erosie tijdens één hoogwater wordt verwerkt in een 'worst case' bodem welke vanwege bovengenoemde optimalisatie gelijk aan of boven de erosielimietlijnen zal liggen. Met deze 'worst case' bodem zal een som in SPLP model worden gemaakt (met ingreep KOP en nieuwe instelling regelwerk Pannerden) met een afvoer van 16.000 m³/s. Het effect van deze maximum erosie op afvoerdeling en waterstanden in de as van de rivier en langs de banddijken zal inzichtelijk worden gemaakt. Er zal worden gekeken of met 'worst case' bodem de afvoerdeling tijdens hoog water in de splitsingspunten Pannerden en IJsselkop nog voldoet aan de beleidsmatige afvoerdeling.

Voor meer dagelijkse omstandigheden wordt de verwachte erosie van verlaagde oevers door scheepsgolven bepaald conform de aanpak uitgelegd in paragraaf 3.10.2.

3.11.4 Bodemtrend in aspecten RBK meenemen.

Bodemtrends van de Rijntakken (bijvoorbeeld uitschuring van de bovenloop van de Waal) kunnen een effect hebben op de invloed van het project op de diverse aspecten van het RBK, vanuit opdrachtgever is aangegeven dat het effect op de afvoerdeling van de ingreep bij hoge en lage afvoeren in deze hoofdaandachtspunt is. Het effect van de bodemverandering veroorzaakt door het project op afvoerdeling bij hoge en lage afvoeren wordt met Delft3D bepaald (zie paragraaf 3.10.6) door de Delft3D referentie simulatie af te trekken van de Delft3D ingreep simulatie. Het effect wordt op deze wijze exclusief autonome bodemontwikkeling bepaald. Vervolgens wordt er een beschouwing gegeven van het effect op de afvoerdeling t.g.v. het bodemeffect van het project waarbij de autonome bodemtrends van de Rijntakken wel wordt meegenomen. Deze beschouwing zal worden gemaakt op basis van expert judgement en de bekende bodemtrends.

3.11.5 Nautische toegankelijkheid op Bovenrijn en Duitse Rhein

Inmiddels is dit punt uit de VSP opgenomen als in RBK versie 5.0, zie paragraaf 3.9 van dit PVA.

3.11.6 Tweede orde effecten via morfologische effecten.

Uit de Delft3D modellering volgt een modelbathymetrie (voor dat model) 40 jaar na ingreep. Dit model verschilt van de bodem in de referentiesituatie na 40 jaar. Dit verschil zal een effect hebben op afvoerdeling en waterstanden relevant voor de scheepvaart, zoetwatervoorziening en hoogwaterveiligheid.

Met de eindbodems na 40 jaar igv ingreep en referentie zullen in de Delft3D simulaties worden uitgevoerd met een afvoer van 1020 m³/s bij Lobith (OLA), 1400 m³/s behorende bij circa OLR+0,70m en 2000 m³/s (als invulling van RS280.3). Het verschil tussen deze simulaties zal inzichtelijk worden gemaakt voor waterstanden op het Pannerdensch Kanaal en Bovenrijn en de afvoerdeling.

Tot slot wordt het verloop van de afvoerdeling voor de diverse doorgerekende afvoeren in de hydrograaf inzichtelijk worden gemaakt over de 40 doorgerekende jaren.

3.11.7 Duurzame terugstortstrategie

Er dient te worden nagedacht over het terugstorten van toegenomen baggervolume. Hierbij dient het systeem integraal behandeld te worden. Er zal in eerste instantie vooral worden gekeken over de gebruikte stortvakken niet vol raken als gevolg van het ontwerp, en zo ja, of er nog logische alternatieven zijn. Hierbij wordt in eerste instantie uitgegaan van bestaand beleid (RWS-ON nota Sedimentbeheer, zie bijlage A), dat zoveel mogelijk wordt meegenomen in de Delft3D modellering. Eventuele additionele berekeningen tot dit doel vallen buiten de scope van dit project.

3.11.8 Additionele gebruikaspecten scheepvaart.

RS280 uit het VSP betreft ten dele een serie vragen die direct betrekking hebben op het gebruik van de vaargeul in de realisatie- en gebruiksfase, de punten (5-9) van RS280 worden hieronder per stuk toegelicht.

5. Inzichtelijk maken van de gevolgen op de veiligheid en vlotheid van de scheepvaart in de realisatiefase en gebruiksfase.

In ontwerploop 2 ontstaat meer inzicht in de voorgenomen wijze van verlagen van de kribben in relatie tot het kribontwerp en het verlagen van de oevers. Hieruit volgen de benodigde activiteiten die vanaf het water worden uitgevoerd en de hoeveelheid benodigde scheepsbewegingen. In deze ontwerploop worden de afwikkeling expliciet besproken met de vaarwegbeheerder. Uitgangspunt is dat in de gebruiksfase geen aantasting is van de veiligheid en vlotheid voor scheepvaart. Op het KOP traject zullen de oevers en kribben eerder overstroomd worden dan buiten het KOP traject. Communicatie hierover naar de gebruikers wordt als onderwerp meegenomen.

6. Opstellen van mitigerende maatregelen waardoor eventuele negatieve effecten voor scheepvaart teniet worden gedaan. Deze mitigerende maatregelen dienen onderdeel te worden van het ontwerp waarop de Projectbeslissing wordt aangevraagd.

De negatieve effecten komen in beeld na loop 1. In loop 2 worden mogelijke mitigerende maatregelen opgesteld en met de vaarwegbeheerder besproken. Na loop 2 is duidelijk welke

negatieve effecten niet vanuit het rivierkundig ontwerp opgelost gaan worden en een andere aanpak vergen.

7. Inzichtelijk maken van de eventuele effecten op de veerdienst Pannerden in de aanlegfase en de periode na realisatie.

Zie onderdeel 5, specifiek gericht op de veerpont, in afstemming met de ponthouder via het KES proces. De ponthouder dient in ieder geval in KES loop 2 betrokken te worden.

8. Inzichtelijk maken van de eventuele effecten van de wijzigingen aan de kribbakens en lichtopstanden op de verlaagde kribben en oevers.

Per baken en lichtopstand wordt aangegeven hoe deze in x,y,z wijzigt. De wijzigingen zullen in beeld worden gebracht en aansluitend zal conform eis RS285 afstemming gezocht worden met rivierkunde en scheepvaart of deze wijzigingen aanleiding zijn om de normaallijn en de definitie van afstand baak – vaargeul aan te passen. Graag ontvangen we input van RWS over criteria voor Rivierkunde en scheepvaart om dit formeel te wijzigen. (delta x, y, z)

9. Betrekken van door RWS-WVL aangegeven en in de KES opgenomen knelpunten en verbeterpunten in de bovenstaande beoordelingen.

Dit wordt via het KES proces afgestemd en meegenomen in ontwerp loop 1.

3.12 Samenvatting aanpak in tabellen

§	Rivierkundig beoordelingsaspect	Beoordelingscriterium	Aanvulling vanuit VSP/VSE	Simulaties en analyses
1.1a	Maatregel in stroomvoerend deel rivier: Hoogwaterreferentie op de as van de rivier	Stroomvoerend: geen waterstandverhoging op de as van de rivier bij de afvoer(en) uit de Hoogwaterreferentie.	SYS-0001: Het systeem Krib- en Oeververlaging Pannerdensch Kanaal dient zodanig te zijn dat bij een afvoer van 16.000 m ³ /s de taakstellende waterstandsverlaging van 5 centimeter in de rivieras bij kmr 865 is gerealiseerd	Taakstelling met NRLK afvoer 16.000 m ³ /s; RBK1.1 met SPLP en afvoeren 10.000 en 16.000 m ³ /s.
1.1b	Maatregel in bergend deel rivier: Volume waterberging	Bergend: geen vermindering bergend volume		Projectgebied zit in stroomvoerend gebied, dus geen vermindering van bergend volume.
1.2	Hoogwater-referentie buiten de as van de rivier	Geen waterstandverhoging langs de hoge grondenlijn of primaire waterkering bij de afvoer(en) uit de Hoogwaterreferentie.		Simulatie SPLP afvoer 10.000 en 16.000 m ³ /s
1.3	Afvoerverdeling bij Pannerdensch Kop en IJsselkop bij maatgevende Boven-Rijn afvoer	Verandering afvoerverdeling bij de splitsingspunten dient kleiner te zijn dan 5 m ³ /s bij Boven-Rijn afvoer van 16.000 m ³ /s (voor project KOP geldt SYS-0003, zie kolom hiernaast)	SYS-0003: De afvoer naar het Pannerdensch Kanaal, bij een Boven-Rijn afvoer van 16.000 m ³ /s, mag door het project met maximaal 100 m ³ /s toenemen. De toename geldt t.o.v. de afvoerverdeling die aanwezig is in het rivierkundige referentiemodel met een vrije afvoerverdeling, te weten: het waqua-rijn-beno15_5_20m_splp-v2 deelmodel.	Simulatie SPLP afvoer 16000 m ³ /s zonder nieuwe instelling regelwerk Simulatie SPLP afvoer 16000 m ³ /s met nieuwe instelling regelwerk (om te zien of wordt voldaan aan de beleidsmatige afvoerverdeling)
1.4	Afvoerverdeling bij Pannerdensch Kop en IJsselkop bij hoge Boven-Rijn afvoer	Verandering afvoerverdeling bij de splitsingspunten dient kleiner te zijn dan 20 m ³ /s bij Boven-Rijn afvoer van 10.000 m ³ /s	RS010 toelichting: VKA geeft bij afvoeren van 4000 en 10000 m ³ /s een verschuiving groter dan 20 m ³ /s in afvoerverdeling. De verschuiving in afvoerverdeling dient berekend te worden. Afstemming met RWS-ON is nodig of van de RBK norm kan worden afgeweken. Bij het VKA heeft RWS-ON niet vastgehouden aan de RBK norm aangaande de effecten op de afvoerverdeling bij afvoeren van 4000 en 10000 m ³ /s.	Simulatie SPLP afvoeren 4000, 6000, 8000, 10000 en 12000 m ³ /s. Bij toename >20m ³ /s extra door IJssel of NRL worden figuren gemaakt van gevolgen voor de waterstanden.
1.5	IJsafoer	Een goede geleiding van water en ijs dient gewaarborgd te blijven	RS225.4 Het effect van een ingreep op de ontwikkeling van ijsdammen kan worden bepaald door beoordeling van het Froude getal in het stroomvoerend profiel conform VSP bijlage N.	Beoordeling Froude<0.08 voor NRLK met afvoeren 6000, 8000, 12000 m ³ /s met gereduceerd Chezy met wortel(0.5)

PvA rivierkunde KOP

1996/U19399/A/LdW

Definitief

-20-

2 okt 2019

§	Rivierkundig beoordelingsaspect	Beoordelingscriterium	Aanvulling vanuit VSP/VSE	Simulaties en analyses
2.1	Inundatiefrequentie van de uiterwaard	De mate van verandering van de inundatiefrequentie van een of meerdere uiterwaarden. Kies daarvoor een of meerdere afvoeren die dit aspect inzichtelijk maken).		Simulatie SPLP afvoeren, 4000, 6000, 8000, 10.000, 12.000 en 16.000 m ³ /s.
2.2	Stroombeeld in de uiterwaard	De mate van verandering van de grootte en richting stroomsnelheden in een of meerdere uiterwaarden bij de voor de lokale situatie representatieve omstandigheden.		Simulatie SPLP afvoeren 10.000, 12.000 en 16.000 m ³ /s.
2.3	Stroombeeld in vaarweg	De ingreep mag niet resulteren in een absolute dwarsstroming in de vaarweg groter dan 0,15 m/s bij een geconcentreerde dwarsstroming met een debiet groter dan 50 m ³ /s. Of het moet aantoonbaar zijn dat de toename padbreedte schip t.g.v. dwarsstroom kleiner is dan ½B; De ingreep mag niet resulteren in een absolute dwarsstroming in de vaarweg groter dan 0,3 m/s bij een geconcentreerde dwarsstroming met een debiet kleiner dan 50 m ³ /s; Bij extreme Boven-Rijn afvoeren is dit beoordelingscriterium niet van toepassing.	RS280.1 Bepaling dwarsstroming voor afvoeren 2000 4000 6000 8000 10000 m ³ /s langs de bakenlijn aan beide oever PK bij het projectgebied en rond de scheidsdamsdam PK. Advies RWS WVL: specifieke aandacht voor (dwarsstroming nabij Fort Panterden).	Simulatie SPLP afvoeren 2000, 3000, 4000, 6000, 8000 en 10.000 m ³ /s
2.4	Afvoerverdeling bij Panterdensch Kop en IJsselkop bij hoge Boven-Rijn afvoer	Verandering afvoerverdeling bij Boven-Rijn afvoer van 10.000 m ³ /s. Voor dit aspect is er geen beoordelingscriterium.		Simulatie SPLP afvoer 10.000 m ³ /s
2.5	Afvoerverdeling bij Panterdensch Kop en IJsselkop bij een lage Boven-Rijn afvoeren	Verandering afvoerverdeling mag niet groter zijn dan 1 m ³ /s bij Boven-Rijn afvoer van 1020 m ³ /s (OLA)c)	RS225.2 Inzichtelijk maken van de effecten op de afvoerverdeling bij de afvoeren waarbij de verlaagde kribben en verlaagde gestrekte oevers net gaan overstromen. RS225.3 Aantonen van de effecten van de wijzigingen in afvoerverdeling op de inundatiefrequentie, waterstanden en stroomsnelheden bij de daarvoor relevante afvoeren in het gehele invloedsgebied van de ingreep.	Simulatie SPLP afvoeren 1020, 2000, 3000, een afvoer tussen 2000-3000 waarbij belangrijke onderdelen van het ontwerp onderstromen
2.8	Onttrekking water uit zomerbed Rijntakken	Geen ongewenste afname van de waterdiepte t.g.v. de onttrekking van water uit het zomerbed bij lage en mediane Boven-Rijn afvoeren		Nvt
2.9	Waterstand en stroombeeld in de vaargeul in de Nederlands-Duitse grensregio bij lage en mediane Boven-Rijn afvoeren	Er is geen beoordelingscriterium beschikbaar. Het doel van dit aspect is om te kunnen inschatten of de bevaarbaarheid of vaarwegonderhoud in het Duitse deel van de Rijn niet verslechtert a.g.v. de ingreep.		Simulaties Waqua SPLP afvoeren 1020 m ³ /s, 1400 m ³ /s en 2000 m ³ /s

PvA rivierkunde KOP

1996/U19399/A/LdW

Definitief

-21-

2 okt 2019

§	Rivierkundig beoordelingsaspect	Beoordelingscriterium	Aanvulling vanuit VSP/VSE	Simulaties en analyses
3.1	Sedimentatie en erosie van het zomerbed (+ oevers) 1. door ingrepen zomerbed 2. door ingrepen winterbed	Bij erosie: -geen verlaging gemiddelde bodemligging zomerbedd); -geen erosie van het zomerbed in de directe nabijheid van primaire waterkeringen; -geen oevererosie; -Beperkte ontgronding bij constructies per hoogwater; -geen erosie ter hoogte van kabels, leidingen en tunnels met een te kleine gronddekking; Bij sedimentatie: - geen sedimentatie in de vaargeul conform BPRW; -geen vermindering vaargeulafmetingen bij lage tot gemiddelde rivierafvoeren; -geen verhoging van de maatgevende waterstanden op lange termijn; Generiek: -beperkte hinder door baggeren en/of terugstorten; behouden vlotheid en veiligheid scheepvaartverkeer; -geen onacceptabele terugschrijdende erosie of sedimentatie i.v.m. risico verandering afvoer verdeling bij maatgevende Boven-Rijn afvoer of OLA;	RS230: Gebruik D3D en WAQMORF voor morf analyse. Bij te grote aanzandingen, eerst optimalisatie, dan onderhoudsinspanning. RS230 (Toevoeging): Aanzandings- en baggervolumes moeten twee keer bepaald worden, volgens RBK 4.0 én volgens RBK 3.0. RS230 De inspanningsverplichting uit het RBK moet worden afgestemd met afdeling rivierkunde RWS-ON. RS240: D3D model van Deltares dient toegepast te worden. RS245/250: Deltares moet instelling en kwaliteit van berekeningen toetsen en goedkeuren en bepalen of de uitkomsten realistisch en logisch verklaarbaar zijn. RS250: Hydrodynamica in D3D dient vergelijkbaar te zijn met WAQUA. Gegadigde mag er vanuit gaan dat de referentie in het Delft3D DVR model goed functioneert. Gezien de verschillen in software, modelroosters en doel van beide modellen is niet te verwachten dat de waterstanden in WAQUA en D3D precies gelijk kunnen zijn. Controleer of er sprongen in de ruwheid D3D zitten en indien dit het geval is op basis van expertise inschatting maken van effect. RS255: Jaarlijks repeterende hydrograaf in D3D berekeningen. RS280.2 Aantonen van de invloed van de morfologische effecten op de vaardiepte en vaarbreedte van de scheepvaart. Toetsing dient te worden uitgevoerd conform de eisen uit het RBK en het Beheer- en Ontwikkelplan voor de Rijkswateren. RS280.4 Beschrijven van de risico's op de ontwikkeling van gradienten in de bodem van de rivier. Acute overgangen in bodemligging dienen te worden voorkomen door nemen van mitigerende maatregelen.	WAQMORF en 40 jaar morfologische simulatie D3D met jaarlijks repeterende hydrograaf. Bepaling aanzandings- en baggervolumes volgens RBK 5.0 (meest up to date methode) en RBK 3.0. Aantonen invloed morfologische effecten op de vaardiepte en vaarbreedte van de scheepvaart. Beschrijven van de risico's op de ontwikkeling van gradienten in de bodem van de rivier.
3.2	Sedimentatie en erosie van uiterwaard en nevengeulen: 1. sedimentatie winterbed 2. erosie winterbed	Bij sedimentatie: - Acceptabele beheerskosten voor baggeren nevengeulen; Bij erosie: -geen zijdelingse verplaatsing van een nevengeul richting een primaire waterkering. Nevengeul moet op voldoende afstand blijven van de primaire waterkering, buiten de beschermingszone van de primaire kering. De beschermingszones worden bepaald door de keringbeheerders; - geen zijdelingse verplaatsing van een nevengeul richting het zomerbed van de rivier, waardoor er kans bestaat dat de nevengeul een kortsluiting veroorzaakt met het zomerbed; - stroomsnelheid in een zandige nevengeul bij bankfull afvoer moet kleiner blijven dan 0,3 m/s; - geen bodemerosie langs primaire waterkering; - stabiliteit van belangrijke constructies in de uiterwaard mag niet verminderen;		Op basis van expert judgement waarbij gebruik gemaakt wordt van modelresultaten.

PvA rivierkunde KOP

1996/U19399/A/LdW

Definitief

-22-

2 okt 2019

§	Rivierkundig beoordelingsaspect	Beoordelingscriterium	Aanvulling vanuit VSP/VSE	Simulaties en analyses
			RS225.1 Inzichtelijk maken van de gevolgen van het ontwerp op de instelling van het regelwerk Pannerden bij afvoeren vanaf 8000 m ³ /s bij Lobith en hoger. Na aanleg van het ontwerp dient het regelwerk opnieuw te worden ingesteld. Belangrijk hierbij is om de waterstanden langs de bandijk en het effect op de afvoerdeling te bepalen met deze nieuwe instelling van het regelwerk. De opties voor instellingen van het regelwerk wordt door RWS Oost Nederland team rivierkunde ter beschikking gesteld en dienen in WAQUA te worden opgenomen.	Gevoeligheidssimulaties SPLP afvoeren 12000 en 16000 m ³ /s met nieuwe instelling regelwerk Pannerden: vergelijking tussen referentie situatie zonder nieuwe instelling regelwerk en ingreep (krib- en oeververlaging) met nieuwe instelling regelwerk.
			RS260: Bepaling oever- en kribvakerosie op basis van literatuurbronnen (Brinke 2003 en Verhey et al 1987) en monitoring Waal kribben.	Bepaling erosie kribvakken op basis van literatuurbronnen (Brinke 2003 en Verhey et al 1987) en monitoring Waal kribben.
			RS265: Bepaling van erosiegevoeligheid van de verlaagde oevers en eventuele effecten op Hydraulica en op Beheer en Onderhoud. Ten minste een 'worst case' modelberekening (waarin de maximaal toelaatbare erosie van de oevers en rondom de kribwortels is geschematiseerd) om te bepalen of de vanuit Beheer en onderhoud vastgestelde erosielimietlijnen ook hydraulisch aanvaardbaar zijn.	Expert judgement op basis van eerder afgeleide modelresultaten en transport en erosie vergelijkingen van erosiegevoeligheid oevers. Simulatie met 'worst case' erosie bij 16000 m ³ /s Lobith. Bepaling erosie verlaagde oevers door scheepsgolven conform aanpak par. 3.10.2.
			RS270 Inzichtelijk maken hoe de trend in de ontwikkeling van bodemligging van het zomerbed in het splitsingspuntengebied van de Rijntakken (mogelijk) effect heeft op de beoordeelde hydraulische en morfologische effecten van de krib- en oeververlaging voor alle aspecten uit het RBK.	Op basis van expert judgement.
			RS280.3: Aantonen van de effecten op de waterstand en waterdiepte op de BovenRijn en Duitse Rhein (t.b.v. Wasserstrasse und Schifffahrtsverwaltung Deutschland (WSV)) bij OLR en bij OLR+1,2 m. Hierbij dient ook de mogelijke morfologische verandering en de stroomsnelheidsverschillen in de BovenRijn en Duitse Rhein te worden beschouwd.	Op basis van primair effect maatregel, simulaties SPLP model en afvoeren 1020, 1400 en 2000 m ³ /s Lobith.
			Tweede orde effecten via morfologie	Effect debietsverdeling volgens Delft3D model gedurende 40 jaar simulatie. Aparte berekeningen met eindbodems in Delft3 voor 1020, 1400 en 2000 m ³ /s voor waterstanden en afvoerdeling
			Duurzame terugtortstrategie	Analyse resultaten Delft3D morfologische simulatie en expert judgement
			RS280, punt 5-9 (Scheepvaart)	Advieswerk, zie sectie 3.11.8.

4 FASERING

4.1 Voorbereiding

Er wordt een controle simulatie uitgevoerd met de modelreferentie van het splitsingspunten model met vrije afvoerverdeling, waarin de 30 meegeleverde BASELINE maatregelen zijn gemixt, om te controleren of bij een Lobith afvoer van 16.000 m³/s de beleidsmatige afvoerverdeling wordt berekend. Indien blijkt uit deze controle dat de afvoerverdeling anders is dan de beleidsmatige afvoerverdeling, dan wordt in overleg met OG en RWS-ON rivierkunde bepaald wat de stappen zullen zijn. (werkzaamheden zijn op basis van uitvraag niet voorzien)

In principe worden alle effectbepalingen van varianten samen met de nieuwe instelling van het regelwerk Pannerden uitgevoerd (behalve taakstelling). Dit betekent dat de nieuwe instelling al in een vroeg stadium binnen het project bekend moet zijn. Een eerste nieuwe instelling van het regelwerk wordt daarom bepaald op basis van de VKA ontwerp (RHDHV, 2017). Een dergelijk ontwerp heeft een vergelijkbaar effect op waterstanden – en dus ook een vergelijkbaar effect op debieten – als het uiteindelijk ontwerp. Een instelling van het regelwerk op basis van het VKA is zodoende een goede eerste schatting. Aan het einde van het project wordt voor het Definitief Ontwerp (DO) nog eenmaal de instelling van het regelwerk opnieuw afgeleid, waarna met deze instelling alle effectsommen van het DO met het SPLP worden uitgevoerd.

4.2 Iteratieve ontwerp sessies (ontwerploop 1)

In de iteratieve ontwerp sessie wordt gerekend met het NRLK model (taakstelling) en het SPLP model (dwarsstroming).

In eerste instantie zal met behulp van een 'keuzemenu' methodiek gekeken worden naar de effecten van individuele maatregelen op taakstelling (NRLK 16000 m³/s) en dwarsstroming (SPLP 6000 m³/s). Enkel aspecten die naar verwachting een rivierkundig effect hebben of die tenminste in model te schematiseren zijn worden in loop 1 meegenomen. In eerste instantie zal worden gekeken naar de invloed van:

- Individuele onderdelen van het VKA (kribben of kribblokken)
- Specifiek zal worden gekeken naar het niet verlagen van krib 872,285 linker oever.
- Specifiek zal worden gekeken naar het niet verlagen van oever 2
- Vormgeving verlaagde oevers
 - A) stroomlijnen overgangen binnen huidige contouren of
 - B) stroomlijnen overgangen buiten huidige contourenC)
- beheerskeuzen wat betreft vegetatie (vegetatieklassen)
- mogelijke optimalisatie van een aantal kribben en/of oeverbelijning, met doel verbetering verbetering t.b.v. scheepvaart / geleiding stroming op basis van de KES eisen van WVL (KES-0024 t/m KES-0027)
- hoogte van de overgangskribben

Hierdoor ontstaat een keuzemenu in mogelijke aanpassingen aan het VKA om in de ontwerp sessies het VKA te kunnen optimaliseren op aspecten als uitvoering en nieuwe klanteisen. Hieruit worden een drietal kansrijke varianten op het aangeleverde voorkeursalternatief afgeleid. Deze zullen integraal worden doorgerekend voor MHW (NRLK 16000 m³/s) en dwarsstroming (SPLP 6000 m³/s), en met WAQMORF. Beoordeling van de resultaten uit WAQUA en WAQMORF leidt uiteindelijk tot een Voorkeursvariant (VKV) die is samengesteld uit de eerdere drie varianten.

Binnen deze loop wordt ook het Delft3D model door Deltares uitgeleverd, voordat de analyses in de volgende loops kunnen worden uitgevoerd, dienen nog enkele voorbereidingen te worden getroffen:

- De referentie in het Delft3D model moet aangepast worden zodat deze de gevraagde baggerinstelling bevat zoals gegeven in Bijlage A.
- Het VKA (RHDHV, 2017) in WAQUA zal worden vergeleken met eenzelfde ingreep in het Delft3D model zoals dat door Deltares opgeleverd is. De effecten hiervan dienen in relatieve zin hydrodynamisch min of meer gelijk zijn. Mocht dit niet het geval zijn (in overleg met opdrachtgever) dan is kalibratie van de ingreep nodig (zie paragraaf 2.7).

Alle schematisaties in ontwerploop 1 worden buiten BASELINE om gemaakt.

4.3 Voorkeursvariant (VKV) naar Concept Definitief Ontwerp (CDO) (ontwerploop 2)

In deze fase wordt voor het eerste gerekend met de SPLP model met afvoeren van 10.000 m³/s en hoger, in dat geval is voorlopige instelling van het regelwerk nodig. Deze instelling wordt – zoals beschreven in paragraaf 2.4.3 – afgeleid op basis van het VKA van RHDHV (2017) of het VKV, dit laatste afhankelijk van de planning.

Het VKV wordt met WAQMORF en voor erosiegevoeligheid van verlaagde oevers geoptimaliseerd waarna een CDO ontstaat. Knoppen in deze optimalisatie waaraan nog gedraaid kan worden zijn hoogte van kribverlaging en hoogte en vorm van oeververlaging van het VKV, locatie en aantal kribben en oevers wordt in principe in deze loop niet meer aangepast. Het CDO wordt via BASELINE geschematiseerd en met Delft3D morfologisch en met WAQUA hydrodynamisch doorgerekend. Dit CDO wordt op alle in Hoofdstuk 3 genoemde aspecten beoordeeld.

4.4 Definitief Ontwerp (DO) (veegloop 3)

Het DO wordt op alle in Hoofdstuk 3 genoemde aspecten beoordeeld. Bij voorkeur wijkt het DO niet of nauwelijks af van het Concept DO, maar eventuele kleine aanpassingen kunnen in deze fase nog mee worden genomen in de toetsing. Onderdeel van de effectstudie is het beschrijven van de mitigerende maatregelen die zijn overwogen en toegepast voor het zoveel mogelijk beperken van morfologische effecten van het project.

Binnen deze loop wordt ook het regelwerk van Pannerden opnieuw afgeregeld en als integraal onderdeel van de ingreep in het SPLP meegenomen.

5 PLANNING EN OVERLEG

De globale planning van de werkzaamheden voor de rivierkundige simulaties is aangegeven in onderstaand schema waarbij overlegmomenten met RWS en de geplande reactietermijnen van RWS staan aangegeven. Deze overlegmomenten met RWS zijn:

- Afstemming met RWS-ON rivierkunde t.b.v. instelling regelwerk Pannerden in zowel referentie modelschematisatie als variant modelschematisatie: half september 2019 (reactietermijn 2 weken)
- Loop 1: Half november 2019 over keuze VKV en instellingen en functioneren Delft3D (reactietermijn 2 weken))
- Loop 2: Eind februari 2020 bespreking concept rapport CDO (reactietermijn 2 weken)
- Loop 3: Eind april 2020 bespreking concept rapport DO (reactietermijn 2 weken)

Loop	activiteit	reactietermijn	2019					2020				
			aug	sep	okt	nov	dec	jan	feb	maa	apr	mei
1	Goedkeuring PvA		X									
1	Afstemming RWS instelling regelwerk	2 weken		X								
1	Ontwerp loop 1 met 'keuzemenu' en 3 varianten			X	X	X	X					
1	Voorbereidingen Delft3D			X	X	X	X					
1	Overlegmoment RWS over keuze VKV						X					
1	Reactietermijn RWS	2 weken					X					
2	Optimalisatie VKV met WAQMORF tot CDO						X	X				
2	Waqua, D3D en WAQMORF simuleren CDO							X	X	X		
2	Oplevering conceptrapport op basis CDO									X		
2	Overlegmoment RWS conceptrapport CDO									X		
2	Reactietermijn RWS	2 weken								X		
3	Vaststellen DO									X		
3	Waqua, D3D en WAQMORF simuleren DO										X	X
3	Oplevering conceptrapport op basis DO										X	
3	Overlegmoment RWS conceptrapport DO										X	
3	Reactietermijn RWS	2 weken										X
3	Oplevering eindrapport DO											X

BIJLAGE A: UITGANGSPUNTEN BAGGERMODULE IN DELFT3D

Toegeleverd door Rijkswaterstaat per e-mail op 19 juli 2019.

Hierbij zoals beloofd de uitgangspunten t.b.v. de baggermodule in de Delft 3D sommen t.b.v. inschatten van baggerbezwaar cq bodemveranderingen tgv project KOP:

Baggeren zodra de bodemligging ondieper wordt dan:

- OLR-2,80m op Boven-Rijn, Waal, Pannerdensch Kanaal en NRL IJsselkop -Driel
- OLR-3,50 m op de gestuwde NRL (Driel – Hagestein)
- OLR-2,50 m op de IJssel

Als er wordt gebaggerd dient er 0,3 m in bodemhoogte te worden weggebaggerd per baggeractie. Indien er moet worden gebaggerd, dan dus niet dieper baggeren dan:

- OLR-3,10m op de Boven-Rijn, Waal, Pannerdensch Kanaal en NRL IJsselkop -Driel
- OLR-3,80m op de gestuwde NRL (Driel – Hagestein)
- OLR-2,80m op de IJssel

Gebaggerd materiaal dient te worden teruggestort.

Gebaggerd materiaal dient te worden teruggestort in de Rijntak, waar het uit is gehaald.

Terugstorten van gebaggerd materiaal mag alleen in diepere delen van de rivier. De rivier moet voor terugstorten dieper zijn dan

- OLR – 4m op de Boven-Rijn, Waal, Pannerdensch Kanaal en NRL IJsselkop – Driel
- OLR - 4,90m op de gestuwde NRL (Driel – Hagestein)
- OLR – 3,5m op de IJssel

Na terugstorten dient de rivier niet ondieper te worden dan bovenstaande diepten.

Tot slot zijn er een aantal gebieden waar niet mag worden gebaggerd e/o niet mag worden teruggestort,

zie: https://geoservices.rijkswaterstaat.nl/ext/geoweb51/index.html?viewer=ON_WaterdiepteKaarten_Rijntakken

De onderliggende GIS-bestanden kunnen ook worden gedownload.

B MAATREGELLIJST REFERENTIESSCHEMATISATIE

```
# *****
#
# De naam voor deze variant is : KOP_ref
# De basis voor deze variant is : baseline-rijn-beno15_5-v2
#
# *****
#
# RWS Oost-Nederland
# 18 april 2019
#
# Met deze maatregel_lijst kan de definitieve referentieschematisatie voor
# het project Krib- en Oeververlaging Pannerdensche Kanaal ten behoeve van het
# projectplan Waterwet opgebouwd worden.
#
# *****
#
../rijn-maatr/pk_doorn95_c1
../rijn-maatr/pk_huiss95_b1
../rijn-maatr/pk_loorf_a1
../rijn-maatr/pk_dooref_a2
../rijn-maatr/pk_doorne_v06
../rijn-maatr/pk_doorne_v07
../rijn-maatr/pk_doorne_v15
../rijn-maatr/pk_doorne_v16
../rijn-maatr/pk_doorne_v17
../rijn-maatr/pk_doorne_v18
../rijn-maatr/pk_loow_v05
../rijn-maatr/pk_huissen_b1
../rijn-maatr/pk_zwanref_a1
../rijn-maatr/pk_strhuis_a1
../rijn-maatr/nr_huiss_v11
../rijn-maatr/nr_huiss_v15
../rijn-maatr/nr_huiss_v18
../rijn-maatr/nr_huiss_v19
../rijn-maatr/nr_huiss_v22
../rijn-maatr/nr_huiss_v24
../rijn-maatr/nr_huiss_v25
../rijn-maatr/nr_huiss_v27
../rijn-maatr/nr_huiss_v37
../rijn-maatr/pk_oever95_a1
../rijn-maatr/pk_loowa95_b1
../rijn-maatr/pk_kadsref_a1
../rijn-maatr/pk_huisen_f1
../rijn-maatr/pk_krbvkrf_a1
../rijn-maatr/pk_krib_a1
../rijn-maatr/pk_angdobp_a7
#
# *****
#
# Einde lijst
#
# *****
```

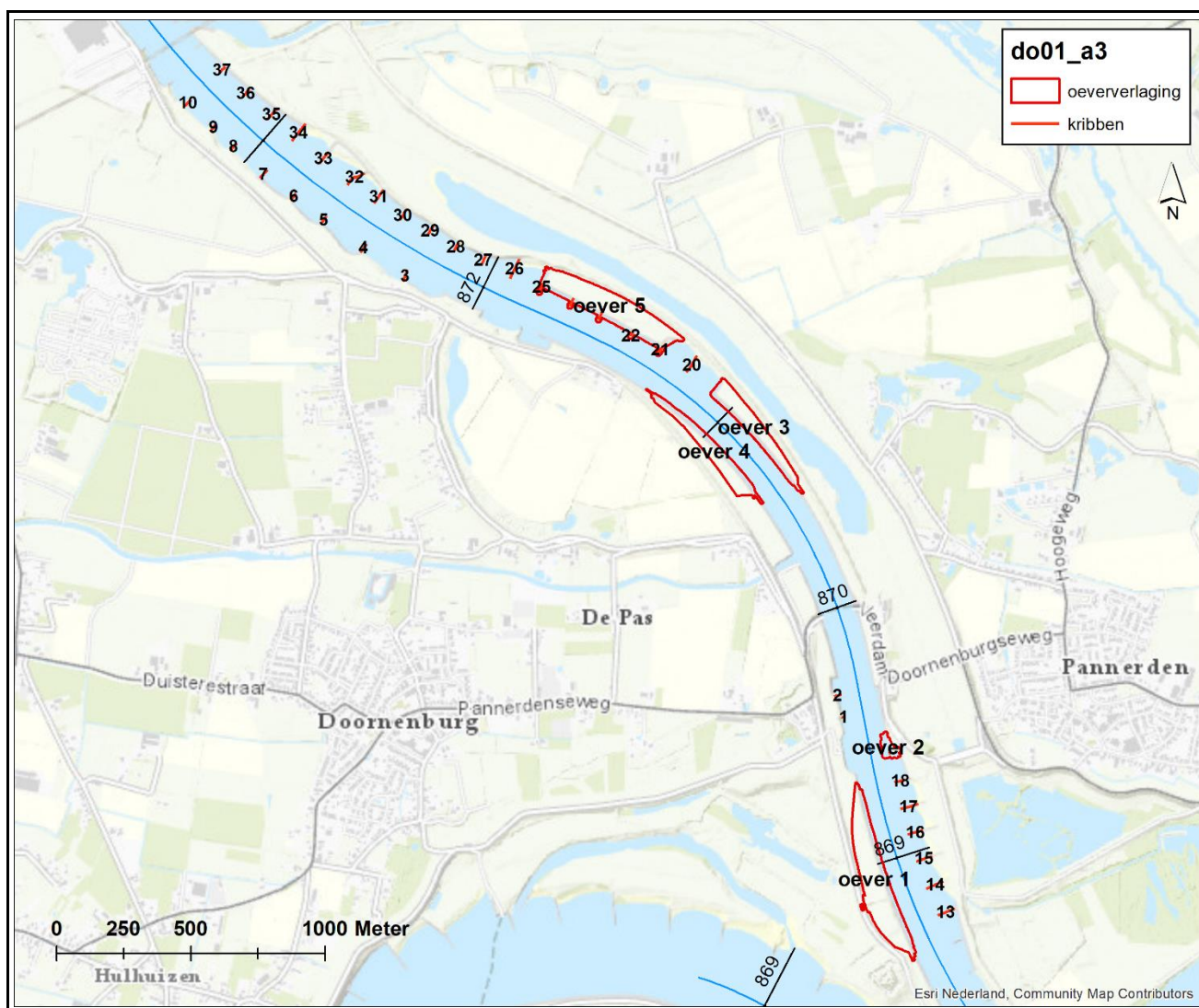
C METAINFO BASELINE MAATREGEL DO**Metadata voor de maatregel: pk_do01_a3****Beschrijving van de dataset**

Deze Baseline maatregel ligt zowel op de linkeroever als op de rechteroever van het Pannerdensch kanaal, traject rivierkilometer 868 en 873. In deze maatregel worden vijf oeververlagingen gerealiseerd en 35 kribben verlaagd. De maatregel betreft het Definitief Ontwerp van het project krib- en oeververlaging Pannerdensch Kanaal (KOP). Het DO is opgesteld tijdens de mIRT3 fase. Het DO is voortgekomen uit meerdere optimalisatieslagen volgend op het Voorkeursalternatief uit de SNIP2A fase.

De toegepaste ruwheden volgen op een serie van iteraties ruwheden worden niet aangepast. Deze iteraties zijn uitgevoerd in de maatregelen pk_do-veg (1 t/m 8) _a1). Uiteindelijk is gekozen om pk_do-veg1_a1 in het definitief ontwerp op te nemen en aan de geometrie-maatregel pk_do01_a2 toe te voegen. Deze maatregel pk_do01_a3 is dus het definitieve ontwerp (geometrie + vegetatie).

Samenvatting

Figuur waar de locatie van de vijf oever en 35 kribaanpassingen staan op onderstaande kaart aangegeven. Gedetailleerde hoogtekaarten van de oeververlagingen zijn in de metainfo directory opgenomen.



Doel van vervaardiging

WAQUA schematisatie maken om hydraulische effecten van ingreep te kunnen bepalen.

Producent van de dataset

H. Bouwmeester (GeoSpace)

Inhoudelijk contactpersoon

Bas van Leeuwen (SVASEK)

Type bestand

Meegeleverde bestanden:

	Originele shapefiles (data/shapefiles)
	Gebruikte bronbestanden (data/source)
	Aanvulling voor ruw.karak (waqua)

Karakteristieken en toepassingseisen		
Maatregel is gebaseerd op:	rijn-beno15_5-v2	
Ingemixte maatregelen:	Actualisatie maatregelen RWS ingemixt (conform email T. Vos, 2-5-2018): pk_doorn95_c1, pk_huiss95_b1, pk_loorf_a1, pk_dooref_a2, pk_doorne_v06, pk_doorne_v07, pk_doorne_v15, pk_doorne_v16, pk_doorne_v17, pk_doorne_v18, pk_loow_v05, pk_huissen_b1, pk_zwanref_a1, pk_strhuis_a1, nr_huiss_v11, nr_huiss_v15, nr_huiss_v18, nr_huiss_v19, nr_huiss_v22, nr_huiss_v24, nr_huiss_v25, nr_huiss_v27, nr_huiss_v37, pk_oever95_a1, pk_loowa95_b1, pk_kadsref_a1, pk_huissen_f1, pk_krbvkrf_a1, pk_krib_a1, pk_angdobp_a7	
Gebruikt Baseline Protocol		Protocol 3
		Protocol 4
	x	Protocol 5
Vegetatiecodering		PKB
		Handboek stromingsweerstand
	X	Niet van toepassing
Geschikt voor conversie naar	X	WAQUA
		Delft3D
		Sobek

Dataset herkomst	
Grenzen	
normaall	X
oeverl	X
secties	X
wc_omtrek	Bepaald door de invoermodule.
winbed	X

Hooglijn	
bandijk	X
breukl	- De hogere delen zijn overgenomen uit het ontwerp (zie source) en bij oeververlaging 1, 3, en 4 als breuklijn gemodelleerd. De kruinhoogtes zijn geprikt op de bodemhoogte (TIN) van de referentiesituatie. In het ontwerp was ook een hoogte aanwezig maar door deze op de referentie te prikken, zijn hoogteverschillen die buiten de maatregelcontour liggen voorkomen. - Bij oeververlaging 2 is de krib opgenomen in het hoogtemodel van het ontwerp. In Baseline wordt een deel hiervan niet meegenomen omdat dit onderdeel is van een krib, die niet in het hoogtemodel wordt meegenomen. Daarom zijn uit het ontwerp twee breuklijnen overgenomen die ter hoogte van de krib rechtdoor zijn getrokken, waardoor de oever gewoon doorloopt en het hoogtemodel er netter uit komt te zien. - Uit de referentie zijn diverse breuklijnen overgenomen om aansluitingen te maken. Ook aan de waterkant is vaak de breuklijn uit de referentie blijven liggen. Netter was geweest alleen de nieuwe oeverlijn (hverschil) maar dan zouden ook buiten de maatregelcontour kleine hoogteverschillen ontstaan. Bovendien was het in de referentie ook zo gemodelleerd.
hverschil	- De nieuwe oeverlijn is bij oeververlaging 1, 3, 4 en 5 als hoogteverschillijn gemodelleerd. De kruinhoogtes zijn overgenomen van het TIN dat gemaakt is van het ontwerp (zie source). - Bij oever 5 kruisen de hoogteverschillijn de kriblijn. Dit ziet er weliswaar raar uit maar is wel zoals het zou moeten volgens RWS (telefonisch overleg Daniel van Putten). - Oever 2 is als hoogteverschillijn overgenomen. De kruinhoogtes zijn overgenomen uit de referentie. - Alle teenhoogtes zijn bepaald met de Baseline invoermodule op de variant (met de maatregel reeds ingemixt) met een maximale zoekafstand van 21m.
kade	- Er wordt een kleine kade haaks op de stroming verwijderd in oeververlaging 1. Dit stukje takt aan op een kade die min of meer parallel aan de rivier loopt. Om geen gat in de kade te krijgen. Is er weer een klein stukje ingeplakt, met kruinhoogtes uit de referentie. - Alle teenhoogtes zijn bepaald met de Baseline invoermodule op de variant (met de maatregel al ingemixt) met een maximale zoekafstand van 21m.

krib	• In totaal zijn 35 kribben opgenomen in deze maatregel. Kribben 11, 12 en 38 waren nog onderdeel van het VKA, maar zijn geen onderdeel meer van het DO. • In het ontwerp zijn de kruinlijnen van de kribben opgenomen. Echter zijn deze <u>niet</u> gebruikt. In overleg is ervoor gekozen om de 35 kribben (lijnen en punten) over te nemen uit de referentiesituatie en de punten aan te passen. • De kruinhoogte van de kribpunten binnen het ontwerp (zie source) zijn geprikt op het ontwerp. De kruinhoogte van de kribpunten die niet binnen het ontwerp vielen (de niet verlaagde deel nabij de oever) is overgenomen uit de referentie. • De kribkop heeft de hoogte van de kribkop uit het ontwerp, ook al ligt deze vrijwel altijd een meter of 5 verder richting rivieras en is dus ook ongeveer 5cm lager (talud 1:100). Dit is feitelijk onjuist maar voorgeschreven door RWS (vastgelegd in PvA Rivierkunde (Svasek, 2 okt. 2019), zie opmerkingen. • De knikpunten (zie source) zijn de punten waar het talud van de krib richting rivieras verandert van 1:10 naar 1:100. Hier is een extra punt neergelegd. Ook de kruinhoogte van dit kribpunt is geprikt op het ontwerp. De L- en R-teenhoogtes van deze knikpunten zijn geïnterpoleerd (schatting) op basis van de punten aan weerszijden van dit knikpunt. • Met uitzondering van bovenvermeld knikpunt zijn de L- en R-teenhoogtes gelijk aan die van de referentie. • Van 22 kribpunten binnen het ontwerp, was de rechter hoogte hoger dan (kruinhoogte -0,5m). Deze 22 punten zijn gelijk gemaakt aan (kruinhoogte – 0,5m). • Van 59 kribpunten binnen het ontwerp was de linker hoogte hoger dan (kruinhoogte -0,5m). Deze 59 punten zijn gelijk gemaakt aan (kruinhoogte – 0,5m).
------	---

Hoogpunt	
oeverhgt	X
plashgt	X
winbedhgt	Bij oeververlaging 1, 3, 4 en 5 zijn op de te verlagen delen winterbedhoogtepunten neergelegd en geprikt op het hoogtemodel van het ontwerp. Dit is gedaan omdat de vlakken groot. Om de schematisatie beter met het 3D ontwerp te laten overeenkomen zijn deze punten toegevoegd.
zombedhgt	• Even ten noorden van oeververlaging 1 zijn twee laagtes in het zomerbed tot 2,5m+NAP opgehoogd. Binnen de contouren (zie ontwerp) zijn de zomerbedhoogtepunten uit de referentie geknipt en weer teruggelegd, waarbij alle punten met een hoogte lager dan 2,5m op 2,5m zijn gelegd. Dit is in overeenstemming met de afstemming met Arjan Sieben en Hans Veldman (overleg 27-11-2019, verslag 'Rivierkundige resultaten VKV'). • In de referentiesituatie liggen geen kribben in de nabije omgeving van de zomerbed verhogingen. • Bij oeververlaging 2 gaat het ontwerp (zie source) het zomerbed in. De zomerbedhoogte punten uit de referentie die binnen de ontwerpcontour vielen zijn verwijderd en weer teruggelegd maar nu met hoogtes geprikt op het ontwerp-hoogtemodel.

Meetpunt

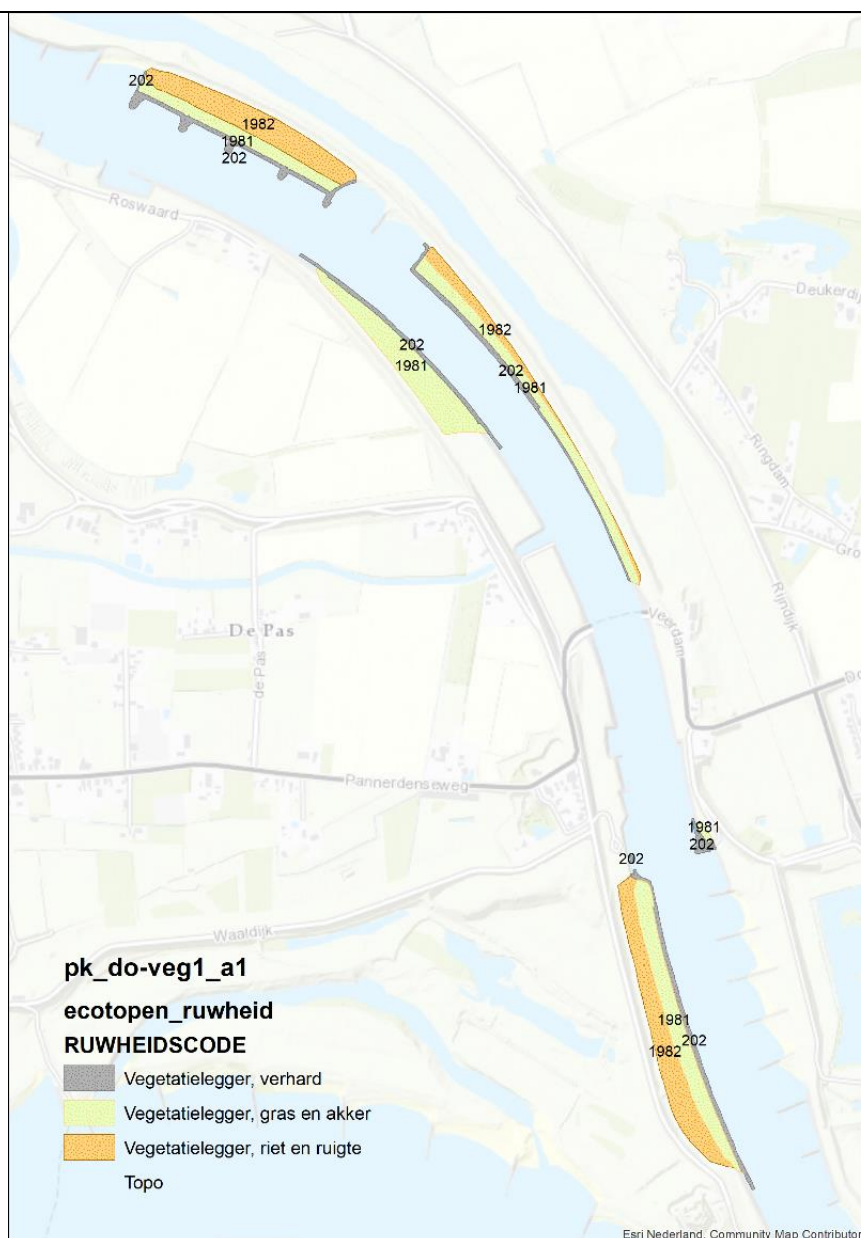
meetpunt	X
uitvloc	X

Oppwater	
plassen	X

Overig	
bronput	X
kunstwrk	X

Rivgeom	
rivieras	X
rivierkm	X

Ruwheid					
bomen	In totaal worden 32 bomen verwijderd (zie ../source).				
ecoruw	De ontwerp vegetatietypen (zie ../source) zijn overgenomen waarbij onderstaande vertaling is gebruikt. Het vegetatiebeeld is opgebouwd uit een zone van “gras & akker” direct langs de oeverrand (inundatiefrequentie is hier hoog waardoor er naar verwachting weinig vegetatie zal gaan groeien) en een zone met “riet & ruigte” op het overige deel van de oever (in overeenstemming met het huidige beeld in de vegetatielegger). <table><tr><td>Ruwheidscode vertaling</td></tr><tr><td>gras & akker* → 1981</td></tr><tr><td>riet & ruigte →1982</td></tr><tr><td>Verharding → 202</td></tr></table> In de toelevering wordt gras & akker, mengklasse 90/10 genoemd, zo is in overleg is besloten.	Ruwheidscode vertaling	gras & akker* → 1981	riet & ruigte →1982	Verharding → 202
Ruwheidscode vertaling					
gras & akker* → 1981					
riet & ruigte →1982					
Verharding → 202					



De polygonen uit de bron-interventiekaart sluiten niet overal perfect aan. Op oever 3 tussen gras&akker en verhard waren vijf 'sliver-polygonen' aanwezig. De gaten zijn gedicht en gekozen is om ze allemaal verhard te maken.

Op plekken in het ontwerp overlappen de polygonen. Ook dit zijn slechts kleine vlakjes maar omdat Baseline hierover een foutmelding geeft zijn ze aangepast. Hierbij heb ik op eigen inzicht gekozen welke ruwcode de definitieve wordt.

ecotoop	X
heggen	X
hwtvrij_l	X
hwtvrij_v	X
lanen	X

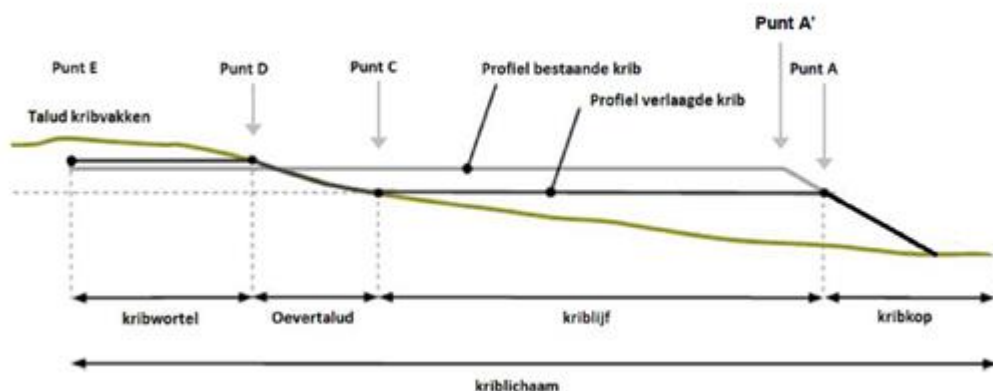
zombed	X
--------	---

Opmerkingen

Deze maatregel is gemaakt met ArcGIS versie 10.5 en Baseline versie 5.3.3.

De volgende uitgangspunten gelden voor de schematisatie in Baseline (aangeleverd door OG o.b.v. afstemming met Dénes Beyer (RWS-ON) op 18-7-2019, redactioneel aangepast). Uitgangspunten zijn zoals opgenomen in het Plan van Aanpak Rivierkunde KOP (Svasek, 2 okt. 2019):

- 1) De krib in Baseline wordt aan de zijde van de kribkop (punt A', Figuur 2-1) niet verlengd. Verlengen van kribkop leidt in WAQUA tot extra weerstand, waarmee ten onrechte een effect wordt gecreëerd.
Achtergrond: In WAQUA wordt kribkoptalud in feite genegeerd. De krib in Baseline is geschematiseerd tot de kribbaak. Het rooster in WAQUA is (zoveel mogelijk, echter niet overal mogelijk door curve lineair rooster) uitgelijnd op deze denkbeeldige kribbakenlijn. Er is geen factor of parameter die weerstand rondom kribkoptalud verrekend.
- 2) De hoogte van punt A (de hoogte van de verlaagde kribkop) wordt in Baseline geprojecteerd op punt A' (de hoogte van kribkop ter plaatse van huidige kribbaak). Dit betekent dus een kleine verschuiving van de daadwerkelijke hoogte op punt A'. De nieuwe kribkophoogte wordt daarom niet direct vanuit een CAD-tekening of DTM geprikt.
- 3) Voor de overige hoogtepunten op de krib geldt dat deze wel overeen komen met de hoogte in een CAD-tekening of DTM (dus geen verschuiving). Deze punten bevatten ten minste de knikpunten (qua hoogte) in het kriblichaam, zo nodig worden extra punten toegevoegd op de Baseline schematisatie van de krib.
- 4) Aan de oeverzijde heeft de krib-schematisatie in Baseline het startpunt waar de krib uit de oever/maaienveld steekt (punt D). De kribwortel onder maaiveld (punt D-Punt E) is dus geen onderdeel van de schematisatie. Als punt van insteek vanuit de oever/maaienveld wijzigt, dan zal dit worden aangepast (verlengd of ingekort). Punt D schuift dus mee (naar C) in de Baseline schematisatie conform het ontwerp.
- 5) Teenhoogtes van de krib en oeverhoogtes wijzigen mee conform het ontwerp van de kribverlaging en bijbehorende aanpassing van omliggende oever. Alle aanpassingen aan krib of omliggende oever in het DO worden opgenomen in de definitieve Baseline-schematisatie.
- 6) Voor de schematisatie van de oever geldt dat de hoogtelijn van de oever verplaatst wordt overeenkomstig het Definitief Ontwerp. De lijn blijft de kniklijn in de oever representeren en schuift daarom mee met de verlaging.



Figuur 2-1: Schets zij aanzicht kribverlaging met verschuiving kribkop (bron: e-mail RWS, 22-7-2019).

Inwinningsdata			
Bron:	Civil 3D Ontwerp gemaakt door Projectburo BV op basis waarvan deze maatregel is gebouwd: GWM-NW-Totaal overzicht oevers_Loop2.shp	Inwinningsdatum:	2020-02-13
Bron:	Van het bovenstaande ontwerp door Projectburo BV is een TIN gemaakt met ArcGIS: loop2_do01	Inwinningsdatum:	2020-02-13
Bron:	De knikpunten waar het talud van de kribben wijzigt van 1:10 naar 1:100 zijn gemaakt en toegeleverd door Bas van Leeuwen (Svasek): knikpunten.shp	Inwinningsdatum:	2020-02-28
Bron:	Vegetatieontwerp: Interventiekaart_21_02_2020_basis.shp	Inwinningsdatum:	2020-03-13
Bron:	Vegetatieontwerp: Te_verwijderen_bomen_tov_vegetatielegger.shp	Inwinningsdatum:	2020-03-13

Geldigheidsdatum
18 maart 2020

Leveringsdatum
18 maart 2020

D WAQMORF BESTAND 'WAQMORF.OUT'

```
-----
R I J K S W A T E R S T A A T

Waqmorf.pl - inschatten morfologische effecten met WAQUA stroombeelden.
-----

SIMONADIR                : /home/APPLIC/Simona/Versions/Simona_2017/

Input files:
=====
Input file                : waqmorf.in

Output files:
=====
Output file               : waqmorf.out

Using executable          :
/home/APPLIC/Simona/Versions/Simona_2017/bin/linux64/waqmorf.exe
Dit programma is de "WAQUA vuistregel" voor het schatten
van lokale morfologische effecten door een lokale ingreep
(zie RWS-WD memo WAQUA vuistregel 20-10-08).

Het is een inschatting van evenwichtsbodemveranderingen
in het zomerbed die als gevolg van een ingreep en zonder
aangepast beheer na lange tijd ontstaan.

Dit betreft het effect op de bodem in [m]:
    jaargemiddeld zonder baggeren
    maximaal (na hoogwater) zonder baggeren
    minimaal (na laagwater) zonder baggeren

Met deze bodemveranderingen kunnen knelpunten worden
gesignaleerd. De resultaten zijn niet direct geschikt
voor het bepalen van de invloed op vaargeulonderhoud!

De jaarlijkse sedimentvracht door de rivier bepaalt de
termijn waarbinnen dit evenwichtseffect kan ontwikkelen.

Dit is versie 07-12-2017.

Bevestig met "j"..

j

De resultaten zijn niet geldig voor combinaties van
meerdere ingrepen, of een enkele ingreep over een
traject van meer dan 4 km lengte!

Om WAQMORF te kunnen gebruiken dient voor de
referentiesituatie en de plansituatie hetzelfde
WAQUA rooster te worden gebruikt.

De waterbeweging gedurende het jaar wordt daartoe in drie
afvoerblokken weergegeven:

    blok 1 met afvoer Q1 is het laagwaterblok
    blok 2 met afvoer Q2 is het overgangsblok
    blok 3 met afvoer Q3 is het hoogwaterblok

Zijn hiervan reeds WAQUA resultaten beschikbaar?

Bevestig met "j", anders antwoord met "n"...

j
```

 Het resultaat van dit programma is een uitvoer van
 karakteristieke bodemveranderingen. Dit betreft

jaargemiddelde bodemverandering [m] zonder baggeren in "jaargem.out"
 maximale bodemverandering [m] na hoogwater zonder baggeren in "maxmorf.out"
 minimale bodemverandering [m] na laagwater zonder baggeren in "minmorf.out"

Bevestig met "j", of begin opnieuw met "n"...

j

In welke tak ligt het project ?

riviertak	nr
Bovenrijn & Waal	1
Pannerdensch Kanaal & Nederrijn-Lek	2
IJssel	3
Merwedde	4
Maas	5

Het nummer van de relevante tak is...

2

In welk rivierstuk ligt het project ?

rivierstuk	nr
Pannerdensch Kanaal km 868-879	1
Nederrijn stuwpand Driel km 880-891	2
Nederrijn stuwpand Amerongen km 892-922	3
Lek stuwpand Hagestein km 923-947	4
Lek km 948-989	5

Het nummer van het relevante rivierstuk is...

1

 Het projectgebied ligt in het traject Pannerdensch Kanaal km 868-879

Bevestig met "j" of verbeter de plaatsbepaling door invoer van "n"...

j

Met de volgende drie vragen wordt de maatregel beschreven. Als een maatregel de waterbeweging in de hoofdgeul op meerdere plekken beïnvloedt, beantwoordt de vragen dan voor het maatregel-onderdeel dat naar verwachting op de vaarweg de meeste invloed heeft.

Is de maatregel stroomvoerend voor alle afvoeren bij Lobith boven 1000 m³/s?

Bevestig met "j", anders antwoord met "n"

n

De maatregel wordt stroomvoerend bij afvoeren [m³/s] bij Lobith vanaf...

2000

De meeste uiterwaarden worden stroomvoerend bij afvoeren vanaf 4000 m³/s. Is dan ook sprake van een bankvullende afvoer door de maatregel?

Bevestig met "j", anders antwoord met "n"

n

Door de maatregel stroomt een bankvullende afvoer bij een rivierafvoer [m³/s] van...

6000

Zijn WAQUA resultaten met Q2 = 4000 m³/s beschikbaar?

Bevestig met "j", anders antwoord met "n"

j

Zijn WAQUA resultaten met Q3 = 6000 m³/s beschikbaar?

Bevestig met "j", anders antwoord met "n"

j

Bij te lage stroomsnelheden vindt geen bodemverandering plaats. Een ondergrens hiervoor is 0.300000 m/s.

Is dit voor het traject Pannerdensch Kanaal km 868-879 een goede ondergrens?

Bevestig met "j", anders antwoord met "n"

j

Invoer blok 2 van de drie WAQVIEW xyz-exportfiles bij Q= 4000 m³/s

De filenaam van stroomsnelheden zonder ingreep is...

xyz_velocity-zeta.001.Q2.xyz

File xyz_velocity-zeta.001.Q2.xyz gevonden !

De filenaam van waterdiepten zonder ingreep is...

xyz_waterdepth-zeta.001.Q2.xyz

File xyz_waterdepth-zeta.001.Q2.xyz gevonden !

De filenaam van stroomsnelheden met ingreep is...

xyz_velocity-zeta.002.Q2.xyz

File xyz_velocity-zeta.002.Q2.xyz gevonden !

Inlezen van de drie WAQVIEW files voor blok 2...

Invoer blok 3 van de drie WAQVIEW xyz-exportfiles bij Q= 6000 m3/s

De filenaam van stroomsnelheden zonder ingreep is...
xyz_velocity-zeta.001.Q3.xyz
File xyz_velocity-zeta.001.Q3.xyz gevonden !

De filenaam van waterdiepten zonder ingreep is...
xyz_waterdepth-zeta.001.Q3.xyz
File xyz_waterdepth-zeta.001.Q3.xyz gevonden !

De filenaam van stroomsnelheden met ingreep is...
xyz_velocity-zeta.002.Q3.xyz
File xyz_velocity-zeta.002.Q3.xyz gevonden !

Inlezen van de drie WAQVIEW files voor blok 3...

Bepalen van karakteristieke bodemveranderingen...

Als elke bodemverandering jaarlijks wordt verwijderd,
dan wordt de lengte waarover dit plaatsvindt geschat
op 1429 m vanaf de bovenstroomse rand
van het gebied met bodemverandering.

Bevestig met "j" voor afronding programma...

j
Programma geëindigd !!!

E KWALITEITSCONTROLE DELFT3D MODEL DOOR DELTARES**Memo****Deltares****Datum**

5 juni 2020

ContactpersoonWillem Ottevanger
Anke Becker**Ons kenmerk**

11203945-002-ZWS-0002

Doorkiesnummer

+31(0)88 335 8532

E-mail

Willem.Ottevanger@deltares.nl

Aantal pagina's

1 van 5

Onderwerp

Bevindingen kwaliteitscontrole definitieve berekeningen

1 Inleiding

Voor het project krib- en oeververlaging Pannerdensch Kanaal (KOP) moet een rivierkundig onderzoek volgens RBK 5.0 worden uitgevoerd. Onderdeel daarvan zijn morfologische berekeningen met Delft3D. Op deze berekeningen moet een kwaliteitscheck worden uitgevoerd.

De opzet van de schematisaties en de berekeningen voor de referentiesituatie en het definitieve ontwerp (DO) worden beschreven in Bom & van Leeuwen (2020b). Dit memo beschrijft de bevindingen van de kwaliteitscontrole en is een vervolg op de kwaliteitscontrole van de voorkeursvariant (VKV) door Becker (2020) op basis van Bom & van Leeuwen (2020a). De controle gaat zuiver over de controle op de berekeningen, en niet over de conclusies op basis van de berekeningen.

2 Kwaliteitscontrole modelinvoer

De kwaliteitscontrole is uitgevoerd op de berekeningen met baggeronderhoud, voor zowel referentiesituatie als het DO. De controle bestaat uit het systematisch nalopen van de Delft3D modelschematisatie (subgrid weirs, bodemligging, zomerbed- en winterbedruwheden, sedimentbeschikbaarheid, initiële condities en modelinstellingen). De volgende paragrafen beschrijven de conclusies van de controle.

2.1 Actualisatie referentieschematisatie

Door Deltares is de schematisatie delft3d_4_dvr-rijn-2015-v1 toegeleverd als uitgangspunt. Deze is door Bom & van Leeuwen (2020b) geactualiseerd op basis van een Baseline-schematisatie die baseert op baseline-rijn-beno15_5-v2 en een aantal maatregelen in het interessegebied. Deze is geconverteerd naar invoerbestanden voor Delft3D.

In alle takken zijn er gladde overgangen tussen zomerbedruwheden gemaakt en zijn brugpijlers in het zomerbed verwijderd om onrealistische morfologische reacties te voorkomen. Enkele brugpijlers in het zomerbed zijn daarbij over het hoofd gezien (domeinen w12c en yac3). Deze liggen vrij ver van het interessegebied en zijn daarom naar verwachting niet van invloed op de conclusies over de krib- en oeververlaging.

De overige invoerbestanden zijn niet aangepast ten opzichte van de conversie uit Baseline. De actualisatie van de geometrie van de referentieschematisatie via Baseline is dus goed verlopen.

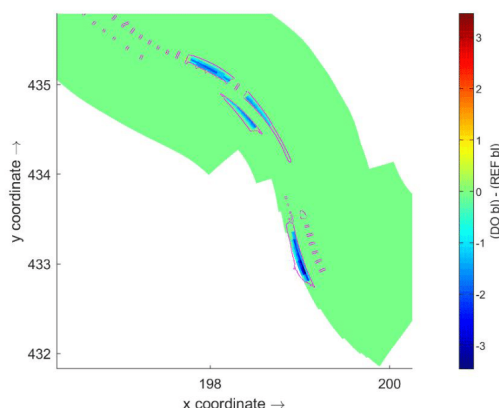
Datum
5 juni 2020

Ons kenmerk
11203945-002-ZWS-0002

Pagina
2 van 5

2.2 Implementatie DO

Om te controleren of het DO op de juiste wijze is geïmplementeerd in de referentieschematisatie zijn de Delft3D-invoerbestanden vergeleken. In het DO zijn de oevers verlaagd t.o.v. de referentie binnen de contouren zoals aangegeven in de Baseline-maatregel pk_do01_a3 (Figuur 1). De ruwheid van de verlaagde oevers is aangepast conform de Baseline-maatregel. De ligging van overlaten verschilt alleen binnen de contouren van de verlaagde oevers. Bij kribben zijn enkele ruwheden en kribhoogtes aangepast ten opzichte van de baseline schematisatie. Dit staat beschreven in Appendix G.3 van Bom & van Leeuwen (2020b). De overige invoer voor geometrie verschilt niet. De DO is dus op de juiste manier ingebouwd.



Figuur 1 Bodemhoogteverschil tussen REF en DO (DO-REF) in meters. Roze contouren: maatregel-ontrek uit de Baseline-maatregel.

2.3 Morfologische parameters

De morfologische parameters zoals morfologische factor en korrelgroottes van de sedimentfracties zijn goed overgenomen uit de basisschematisatie delft3d_4_dvr-rijn-2015-v1.

2.4 Simulation management tool

Het simulation management tool is op de juiste manier toegepast. Daarbij wordt gebruik gemaakt van de afvoerhydrograaf (Qseries) conform de jaargemiddelde reeks.

2.5 Inspelen

Het lijkt er op dat de waterbeweging niet opnieuw is ingespeeld om de initiële lokale database in het SMT te vullen. Tegelijkertijd worden per afvoerniveau vrij korte inspeelperioden (MorStt in .mor-bestand) gebruikt (360 min, ook voor afvoerniveaus die voor het eerst doorgerekend worden). Aanvullende sommen hebben aangetoond dat het effect op de afvoerverdeling minimaal is en stabiel zijn met een langere inspeeltijd (Bom, 2020).

Zoals door Deltares aanbevolen zijn bodemligging en sedimentsamenstelling 5 jaar lang ingespeeld. De initiële bodemligging en sedimentsamenstelling zijn goed overgenomen uit de inspeelberekening.

2.6 Bagger- en stortstrategie

De referentievlakken (OLR) voor onderhoudsbaggerwerk zijn niet aangepast ten opzichte van de uitgeleverde schematisatie delft3d_4_dvr-rijn-2015-v1. Daarmee ontstaat een kleine discrepantie tussen de startbodem (2013) en de OLR (2012). Dit is besproken met de opdrachtgever en wordt acceptabel geacht.

De bagger- en stortstrategie voor het project kribverlaging Pannerdensch Kanaal wijkt iets af van de regels zoals deze zijn opgeslagen in de morfologische schematisatie delft3d_4_dvr-rijn-2015-v1, die als basis voor het rivierkundig onderzoek krib- en oeververlaging Pannerdensch Kanaal is toegeleverd. RWS-ON (Hans Veldman en Rico Tönis) heeft de nieuwe beheersregels opgesteld.

Het baggeren op de Boven-Rijn, Waal, Pannerdensch Kanaal, Neder-Rijn (tot aan Driel) en IJssel start zodra de bodemligging ondieper wordt dan de minimale dieptes uit Tabel 1. Dit is goed opgenomen in het model. Ten aanzien van het beschreven beleid "0,3 m in bodemhoogte te worden weggebaggerd per baggeractie" moet gezegd worden dat het in Delft3D het niet mogelijk is een dergelijke regel te specificeren. Als voorbeeld voor de Waal: In Delft3D zal altijd tot op het vlak OLR-2,80 m plus een overdiepte van 0,3 m worden gebaggerd indien er gebaggerd wordt (bij een bodemligging ondieper dan OLR – 2,80 m). De uiteindelijke minimale bodemligging komt vervolgens uit op OLR-3,10 m. Dit heeft mogelijk impact op de uitkomsten, maar is niet direct op te lossen. Het is daarom ook van belang om de sommen zonder baggeren te raadplegen.

De minimale dieptes op de Boven Merwede, Beneden Merwede en Nieuwe Merwede in de baggermodule zijn weer teruggezet naar de waarden uit de uitlevering van het model (overeenkomstig met RBK 5.0 – Bijlage 9 Tabel 1 - 3 en Tabel 6), ten opzichte van de modelversie voor het VKV (cf. Becker, 2020).

Zoals gevraagd door RWS-ON wordt het materiaal in de huidige sommen teruggestort in dezelfde riviertak waar het is uitgehaald. Dit gebeurt volgens het principe: eerst in het kilometervak waarin is gebaggerd, daarna in het kilometervak benedenstrooms, en anders in het kilometervak bovenstrooms. Dit is ongewijzigd ten opzichte van de uitgeleverde basisschematisatie. Terugstorten van gebaggerd materiaal mag alleen in diepere delen van de rivier. De rivier moet voor terugstorten dieper zijn dan de waarden uit Tabel 1. Dit is goed opgenomen in het model.

Na terugstorten dient de rivier op wens van RWS-ON niet ondieper te worden dan bovenstaande diepten. Dit is goed opgenomen in het model. Deze regels zorgen er wel voor dat het kan voorkomen dat er materiaal niet wordt teruggestort. In dit geval wordt dit materiaal wel uit het model gehaald en dit materiaal wordt bijgehouden voor de stortpolygonen OS_g_s (gegradeerd sediment) en OS_u_s (uniform sediment). Dit heeft mogelijk impact op de uitkomsten, maar is niet direct op te lossen. Het is daarom van belang om ook de sommen zonder baggeren te raadplegen.

Tabel 1 Bagger- en stortparameters

ri vi e r t a k	m i n i m a l e d i e p t e v o o r b a g g e r e n	m i n i m a l e d i e p t e v o o r s t o r t e n
Boven-Rijn, Waal, Pannerdensch Kanaal, Nederrijn-Lek (IJsselkop-Driel)	OLR-2,80 m	OLR-4,00 m
IJssel	OLR-2,50 m	OLR-3,50 m

RWS-ON heeft ook aangegeven dat er rekening gehouden moet worden met gebieden waar niet mag worden gebaggerd of terug gestort. Deze zijn niet opgenomen in het model, maar deze zaten ook niet in de basisschematisatie delft3d_4_dvr-rijn-2015-v1, en het opnemen van extra polygonen was geen onderdeel van de offerte. We verwachten dat deze aanname een beperkte invloed heeft op de resultaten. Veelal zijn dit lokale gebieden met bijvoorbeeld een kruisende leiding. Ook is het rooster in het model mogelijk te grof om deze gebieden accuraat te schematiseren. Het gebied

Datum
5 juni 2020

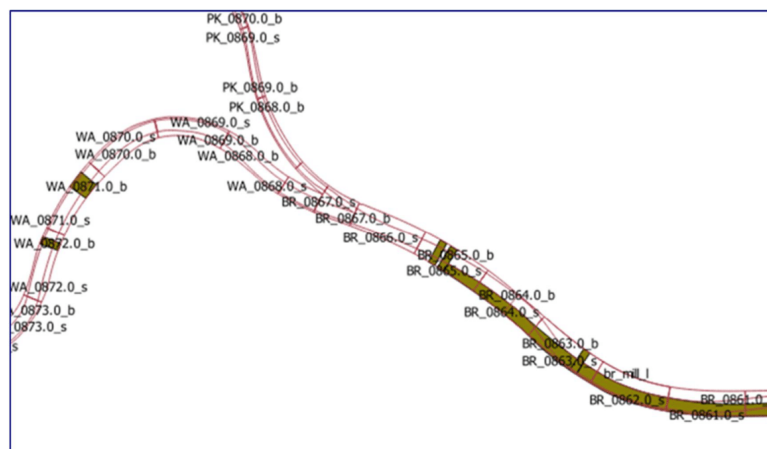
Ons kenmerk
11203945-002-ZWS-0002

Pagina
4 van 5

bovenstrooms op de Boven-Rijn aan de linker oever is aangemerkt als niet-baggerzone, maar gezien dat de Duitse rivierbeheerders ook onderhoud plegen op de rivier, is het goed mogelijk dat dit onderhoud toch gebeurt, alleen niet onder een Nederlands contract. Indien hier geen vaargeulonderhoud door Duitsland plaats vindt is dit wel iets dat aangepast zou moeten worden in de schematisatie, want het heeft naar verwachting invloed op de resultaten.

Hierbij nog een paar algemene opmerkingen ten aanzien van het vaargeulonderhoud.

- 1) Bij OLA = 1.020 m³/s en bij 3.053 m³/s en hoger wordt er niet gebaggerd, alleen volgt materiaal uit KRW oevers langs de IJssel en midden Waal. Dit is juist geschematiseerd.
- 2) De sedimentatie vanuit de KRW maatregel bij Dreumel wordt mogelijk iets overschat, aangezien er nu een langsdam is geplaatst. Deze maatregel is echter ver weg van het Pannerdensch Kanaal, dus zal waarschijnlijk geen invloed hebben op het resultaat. Ons voorstel is om hier geen aanpassing voor te doen.
- 3) Ten opzichte van de uitgeleverde basisschematisatie zijn er ook verschillen in de onderhoudsdiepte voor de zomerbedverdieping IJssel. De zomerbedverdieping op de Waal en Boven Merwede zijn niet aangepast. Waarschijnlijk heeft deze keuze een beperkte invloed op de resultaten.
 - Waal rkm 925 – 953 . Tot 90.000 m³/jaar (gelijk aan uitgeleverde referentie)
 - IJssel rkm 975 – 1002. Tot 10.000 m³/jaar inclusief onderhoud zomerbedverdieping (aangepast op basis van gegevens RWS-ON)
 - Boven Merwede rkm 953 –961 Tot 125.000 m³/jaar inclusief onderhoud zomerbedverdieping (gelijk aan uitgeleverde referentie)
- 4) Suppletie op de Boven-Rijn in 2016 en 2019: Deze maatregel is geschematiseerd zoals deze in 2015 bekend was. De daadwerkelijke suppletie heeft er mogelijk anders uitgezien. Deze maatregel heeft mogelijk impact op de uitkomsten. Er wordt aanbevolen om in elk geval na te gaan of de volumes van de suppleties in het model goed zijn. In 2016 en 2019 zijn telkens 70.000 m³ materiaal gesuppleerd.



Figuur 2 Polygonen waar niet gebaggerd of gestort mag worden.

Datum
5 juni 2020

Ons kenmerk
11203945-002-ZWS-0002

Pagina
5 van 5

3 Conclusies en aanbevelingen

De actualisatie van de geometrie van de referentieschematisatie via Baseline is goed verlopen. Het DO is op de juiste wijze geïmplementeerd in de geactualiseerde referentieschematisatie.

De morfologische parameters zoals morfologische factor en korrelgroottes van de sedimentfracties zijn goed overgenomen uit de basisschematisatie delft3d_4_dvr-rijn-2015-v1. Het simulation management tool is op de juiste manier toegepast.

De initiële bodemligging is goed overgenomen uit de inspeelberekening.

De bagger- en stortstrategie is aangepast op basis van door RWS toegeleverde nieuwe beheerregels, tot zover mogelijk.

RWS-ON heeft ook aangegeven dat er rekening gehouden moet worden met gebieden waar niet mag worden gebaggerd of terug gestort. Deze zijn niet opgenomen in het model, maar deze zaten ook niet in de basisschematisatie delft3d_4_dvr-rijn-2015-v1, en het opnemen van extra polygonen was geen onderdeel van de offerte. Het niet meenemen van de kleine polygonen op locaties van kabels en leidingen hebben naar verwachting een beperkte invloed op de resultaten. Het gebied op Duitse grond op de Boven-Rijn zou echter wel invloed hebben (mits daar daadwerkelijk niet gebaggerd wordt).

Er wordt aanbevolen om na te gaan of de volumes van de suppleties op de Boven-Rijn in het model overeenkomen met de daadwerkelijk gesuppleerde volumes.

Omdat niet alle details van de beheersregels in Delft3D geschematiseerd kunnen worden en omdat het bij de huidige manier van schematiseren mogelijk is dat sediment uit het model wordt verwijderd, is het ook van belang om de sommen zonder baggeren te raadplegen.

4 Referenties

Becker (2020): Bevindingen kwaliteitscontrole berekeningen. Deltares memo met kenmerk 11203945-002-ZWS-0001

Bom, S. en B. van Leeuwen (2020a): Rivierkundig Onderzoek Krib- en Oeververlaging Pannerdensch Kanaal op basis van Voorkeursvariant (VKV). Concept-rapport 12 februari 2020, Svasek Hydraulics.

Bom, S. en B. van Leeuwen (2020b): Rivierkundig Onderzoek Krib- en Oeververlaging Pannerdensch Kanaal op basis van Definitief Ontwerp (DO). Concept-rapport 8 april 2020, Svasek Hydraulics.

Bom, S. (2020): Aanvullende uitvoer inspeelsom met lange inspeeltijd per afvoerstap, Email bericht met kenmerk 1996/U20174/B/SBom, Svasek Hydraulics.

F OPSTUWING IN WAQUA EN DELFT3D BIJ GEMIDDELDE AFVOEREN

F.1 Introductie

Er wordt opgemerkt dat de krib- en oeververlaging bij gemiddelde afvoeren in WAQUA (2000 en 2250 m³/s) een kleine opstuwing van waterstand geeft. Het betreft afvoeren waarbij in de referentiesituatie de kribben en oevers niet overstromen, maar bij de ingreep juist wel. Bij lagere waterstanden is er geen effect en bij hogere afvoeren is het volgens verwachting: een waterstandsverlaging. Het opstuwende effect is ook zichtbaar in Delft3D maar is daar veel minder sterk. Dit is relevant omdat de effecten van de maatregel in de Delft3D gekalibreerd dienen te worden t.o.v. WAQUA.

In deze bijlage wordt een verklaring voor dit fenomeen gepresenteerd (tot stand gekomen in overleg met Deltares, Erik de Goede) en wordt een aanbeveling geformuleerd wat betreft de kalibratie van Delft3D t.o.v. van WAQUA bij gemiddelde afvoeren.

F.2 Probleemstelling

Fig. F-1 geeft stroombeelden van de referentie en VKA en het verschil daartussen. Er wordt in deze bijlage uitgegaan van het VKA uit de Snip2A fase (en niet het DO) omdat deze simulatie voor een vergelijking met Delft3D beschikbaar was in de fase dat de validatie van Delft3D binnen het proces noodzakelijk was. Het principe van het ingreep in VKA is gelijk aan dat in DO (krib en oeververlaging tot OLR+1,70m).

Het verschilbeeld in Fig. F-1 geeft alleen waarden als er in zowel de referentie als het VKA water stroomt. Lage stroomsnelheden op de verlaagde oevers zijn daarom in het verschilbeeld niet te zien (die zijn in de referentie immers droog). Wel is te zien dat de stroming langs de verlaagde oevers duidelijk vertraagt, idem langs de kribben. Vanuit continuïteit moet het daarom harder gaan stromen in de hoofdgeul, dit heeft weer meer ruwheid tot gevolg. Het netto resultaat is dat het VKA bij 2250 m³/s Lobith – ondanks de bij deze afvoer overigens zeer beperkte verruiming - sprake is van een kleine opstuwing in waterstand.

In Delft3D is dit minder het geval, zowel wat betreft effect op waterstand als opstuwing, zie Fig. F-2. NB: figuren zijn gemaakt op basis van een ongekalibreerd VKA.

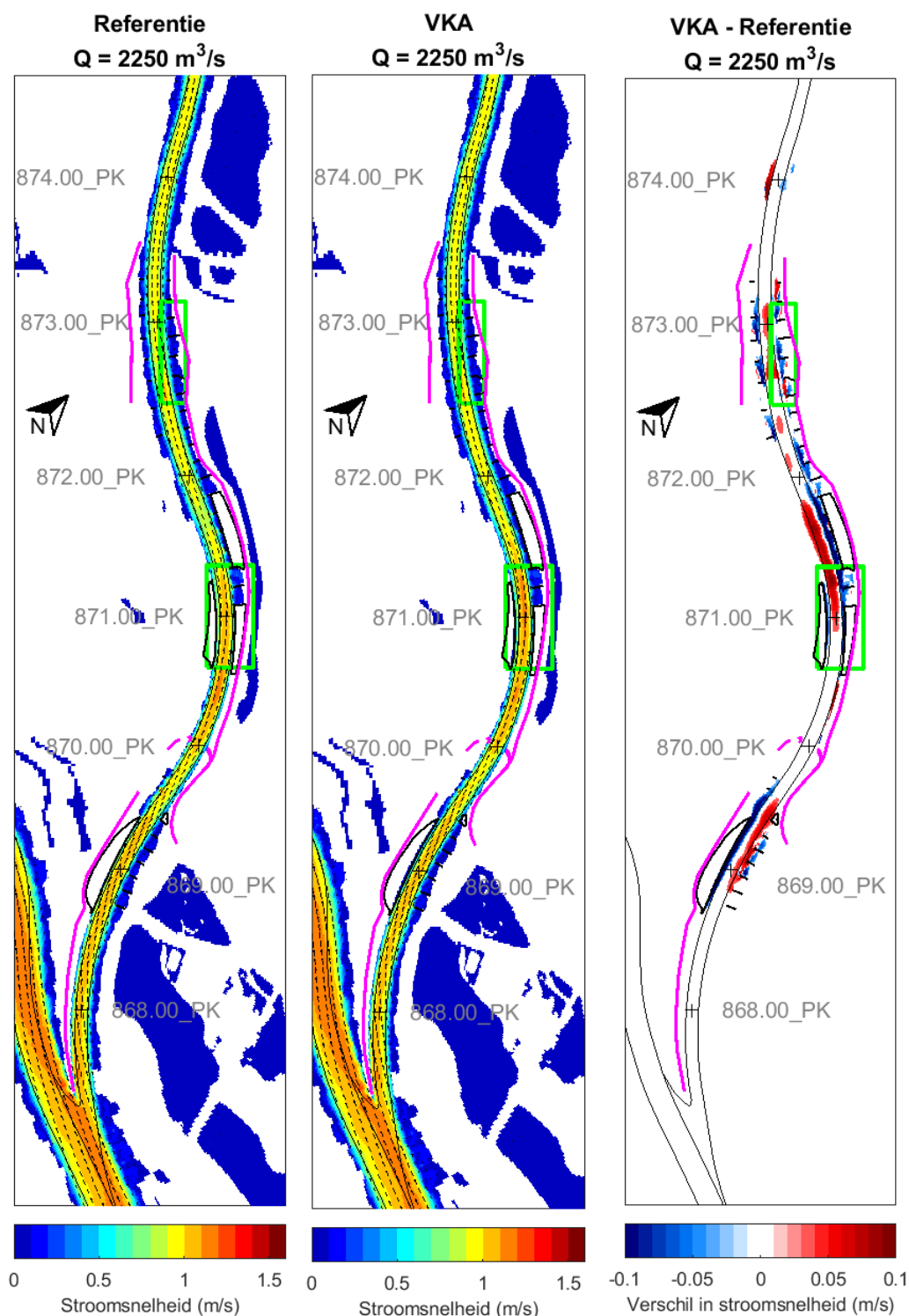


Fig. F-1: WAQUA resultaten. Links: stroombeeld referentie, midden: stroombeeld VKA (RHDHV, 2017) ingemixt in de referentie, rechts: verschil in absolute stroomsnelheid. Het groene kader geeft de assen van een ingezoomde figuur in de volgende paragraaf.

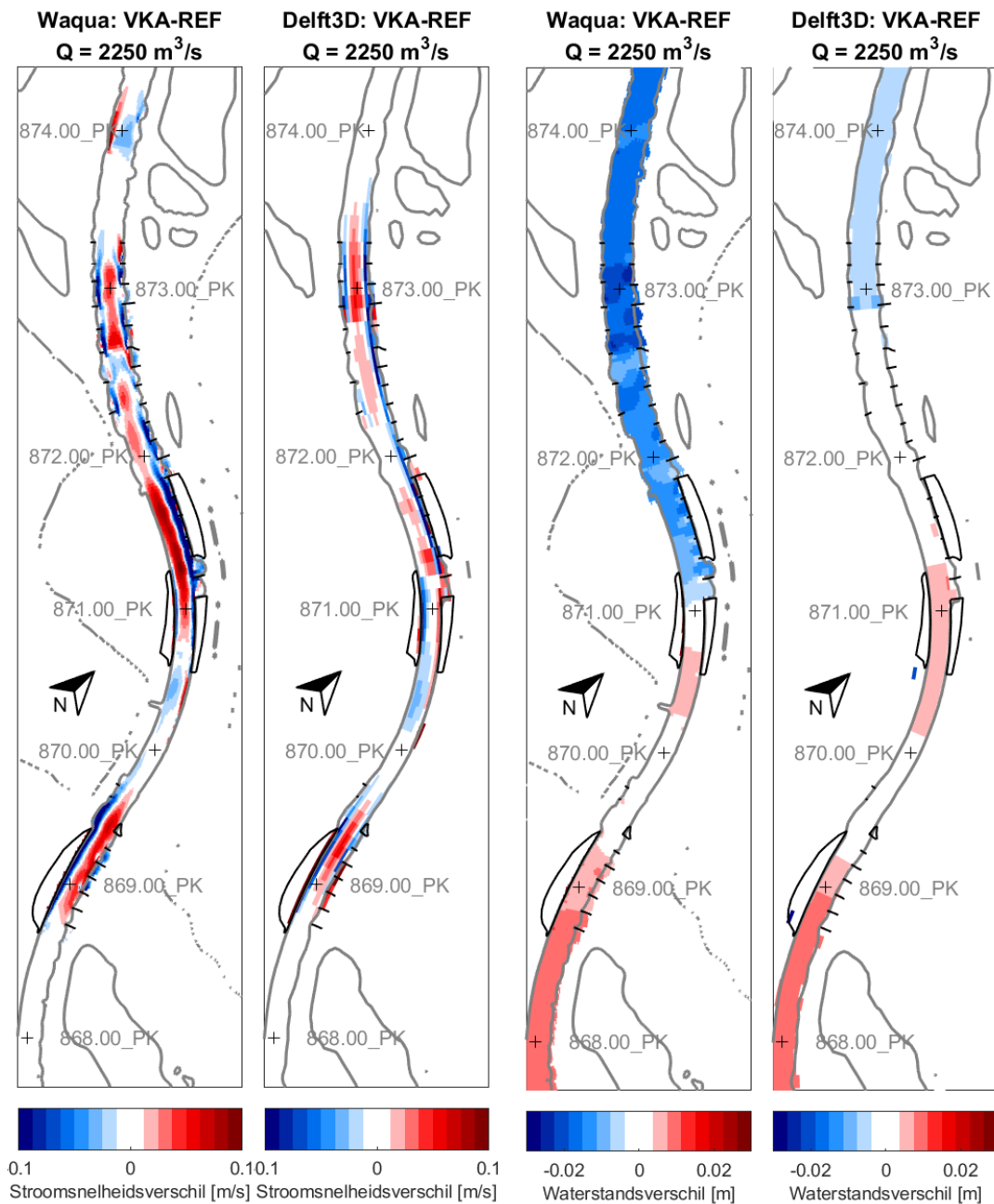


Fig. F-2: Effect op stroomsnelheid (linker 2 figuren), en waterstand (rechter twee figuren). Links in WAQUA, rechts in Delft3D.

F.3 Ingezoomde figuren

In overleg met Deltares (Erik de Goede) is gezocht naar een verklaring voor dit fenomeen. Het effect bestaat zowel bij verlaagde oevers als bij kribben. Het effect bij verlaagde oevers lijkt het meest prominent en consistent en daardoor het meest van belang. Voor beide zijn ingezoomde figuren van de stroming gemaakt (zie groene kaders in Fig. F-1).

F.3.1 Stroming langs verlaagde oevers

Fig. F-3 weergeeft een ingezoomde plot rondom de verlaagde oevers 3, 4 en 5. De hypothese is dat er een dun laagje langzaam stromend water over de verlaagde oevers komt te staan, wat door

advectie (hoge horizontale eddy viscositeit) een vertraging van de hoofdstroom langs de oevers veroorzaakt. Als de oevers droog zijn (referentie), is die vertragende advectie er niet.

In Delft3D is het effect kleiner, want zijn de cellen groter en is desondanks de viscositeit een factor 2 lager.

Het effect lijkt niet realistisch: in werkelijkheid zal een verlaagde meestromende oever juist minder weerstand geven dan een niet verlaagde breukstenen oever.

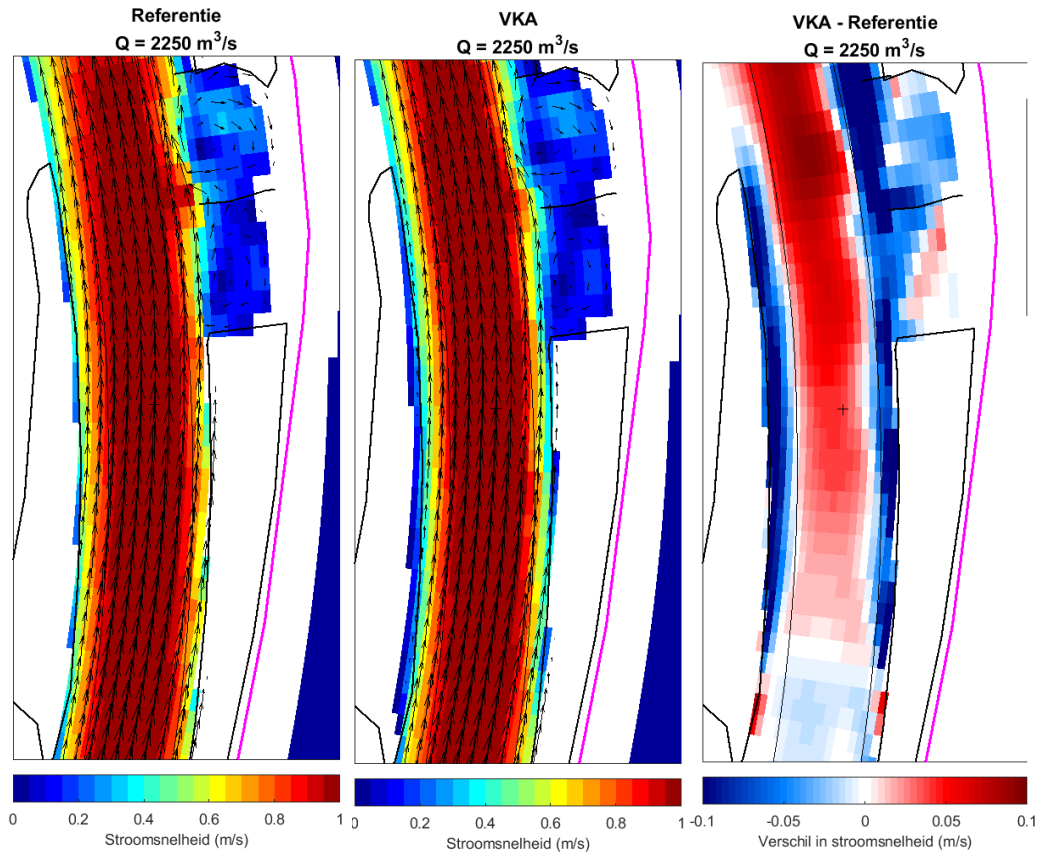


Fig. F-3: Ingezoomde plot van Fig. F-1 rondom verlaagde oever 3, 4 en 5. WAQUA resultaten. Links: stroombeeld referentie, midden: stroombeeld VKA (RHDHV, 2017) ingemixt in de referentie, rechts: verschil in absolute stroomsnelheid.

F.3.2 Stroming in kribvakken

Fig. F-4 geeft een detailbeeld van stroming in kribvakken. Duidelijk is dat de resolutie voldoende is om een neer te laten ontstaan. Het is ook duidelijk dat alle neren in het geval van het VKA nog steeds bestaan maar minder krachtig worden. Ze worden immers afgeremd door de stroming over de kribben heen.

Hypothese 1: Hoewel neren aan de oever tegen de stroomrichting in stromen, stromen ze langs de hoofdgeul mee met de hoofdstroom. Doordat de neren afgeremd worden door stroming over de kribben wordt ook de hoofdstroom afgeremd. Men kan zich de referentie voorstellen als een stroom met vrij draaiende wielen in ieder kribvak, die worden aangedreven door de stroom. Als er een rem op die wielen worden gezet (in het VKA), wordt indirect ook de hoofdstroom zelf afgeremd.

Vraag is nu of dit een realistisch effect is. Neren in een numeriek model zijn zeer afhankelijk van gekozen resolutie en viscositeit. Aangezien het WAQUA model niet specifiek is gekalibreerd op deze neren, is de kans dat de vorm en kracht (en interactie met de hoofdgeul) correct wordt gesimuleerd klein. Het effect van het VKA via die neren is dan ook zeer onzeker.

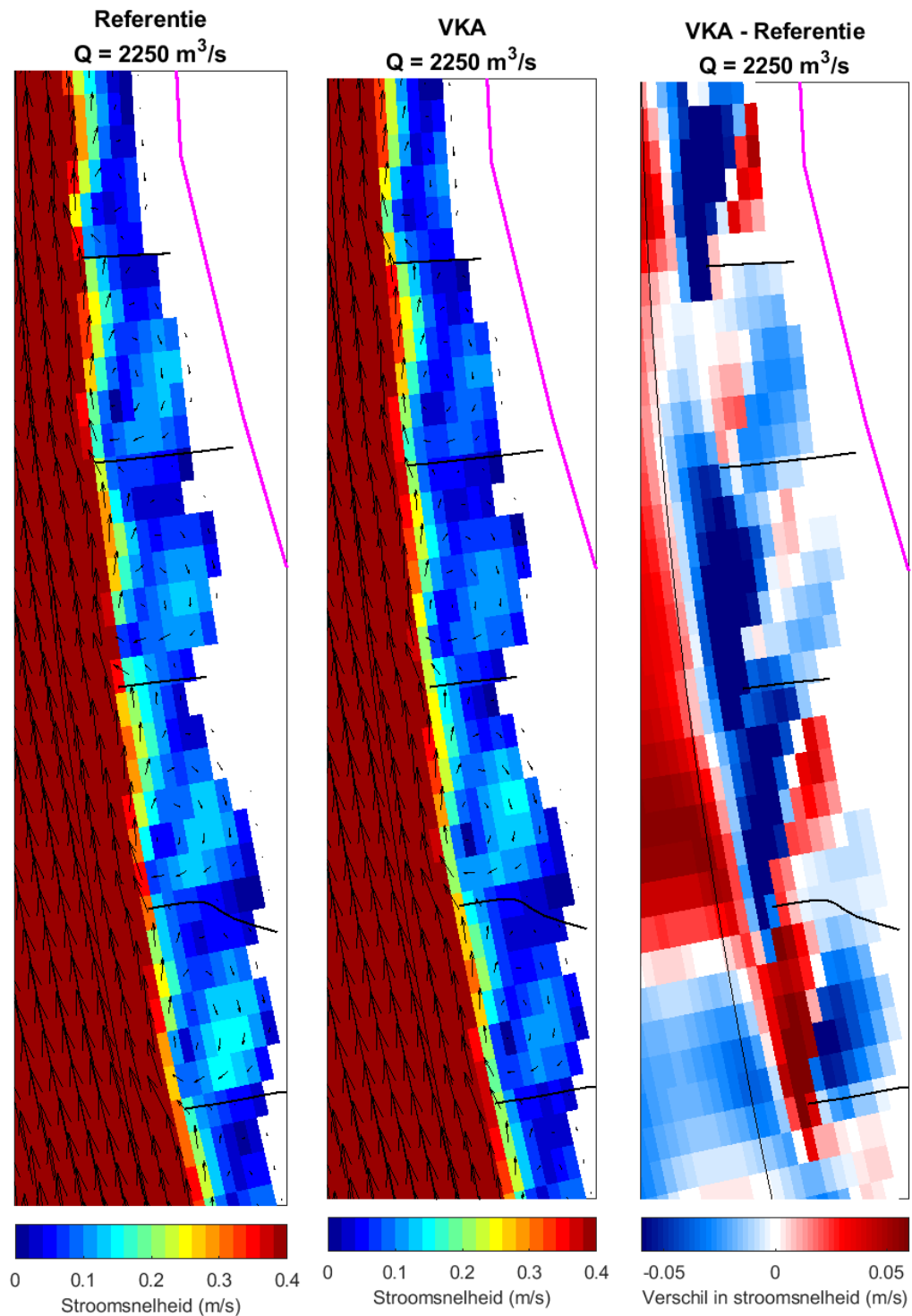


Fig. F-4: Ingezoomde plot van Fig. F-1 rondom de verlaagde kribben benedenstrooms van oever 5. WAQUA resultaten. Links: stroombeeld referentie, midden: stroombeeld VKA (RHDHV, 2017) ingemixt in de referentie, rechts: verschil in absolute stroomsnelheid.

Het is overigens goed mogelijk dat de neren variabel zijn in de tijd, dit is niet onderzocht.

Opvallend genoeg is het effect in Delft3D min of meer vergelijkbaar, terwijl er onvoldoende resolutie is om neren te simuleren. Blijkbaar is er nog meer dan alleen een effect via neervorming.

Hypothese 2: is dat in geval van het VKA minder water langs de kribben wordt geforceerd en dat dit via advectie en hoge viscositeit een vertragend effect op de hoofdstroom heeft (wat vanuit continuïteit weer een hogere stroom in hoofdgeul geeft). Het is overigens mogelijk dat dit effect ook in WAQUA dominant is.

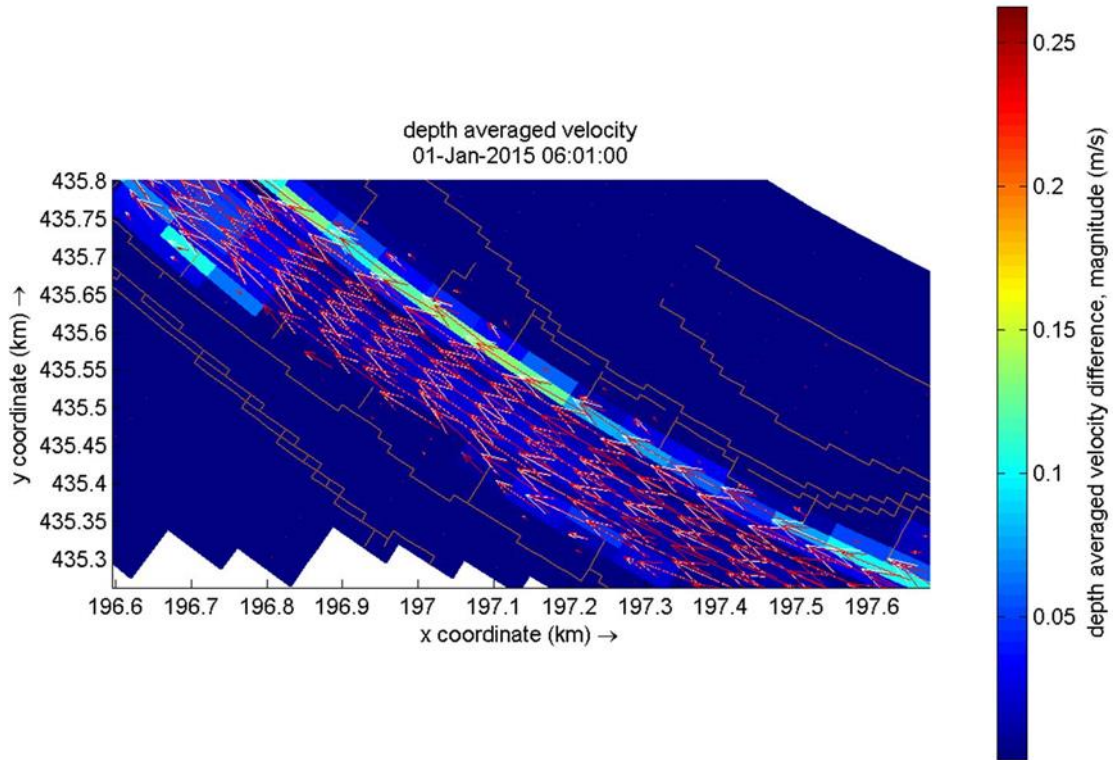


Fig. F-5: Stromingseffect in Delft3D. In wit referentie snelheden, in rood VKA. Kleurenschaal geeft absoluut verschil in absolute snelheid (zowel versnelling als vertraging is positief).

Al met al is het effect bij de kribben minder consistent, kleiner en minder goed verklaarbaar. Dit heeft deels te maken doordat er in ieder geval in WAQUA neren in de kribvakken ontstaan, welke tot onzekerheid in resultaten en effecten kunnen leiden.

F.4

Conclusie

Deze bijlage heeft inzicht gegeven in de opvallende modelresultaten voor WAQUA en Delft3D bij de gemiddelde afvoer van $2250 \text{ m}^3/\text{s}$. De belangrijkste en meest eenduidige verklaring van het opstuwende effect bij gemiddelde afvoer is dat het langzaam stromende water op de verlaagde oevers via advectie (en hoge viscositeit) een vertragend effect op de hoofdstroom heeft. Dit effect is in Delft3D kleiner door grotere cellen en lagere viscositeit.

Het effect lijkt niet realistisch. In werkelijkheid zal een dun meestromend laagje water juist minder weerstand geven dan een dichte wand van breuksteen.

Het effect bij kribben is minder groot en ook minder eenduidig. Het optreden van neren speelt hierbij zeer waarschijnlijk een rol.

Zowel WAQUA als Delft3D geven op dit gebied dus tot op zekere hoogte onzekere (en waarschijnlijk onrealistische) resultaten. Deze effecten zijn in WAQUA groter dan in Delft3D. Het is dan ook niet wenselijk om te trachten deze effecten in Delft3D kwantitatief te reproduceren. Tot slot wordt opgemerkt dat bij lagere afvoeren ($1020 \text{ m}^3/\text{s}$) en hogere ($3000 \text{ m}^3/\text{s}$ en hoger) de modeffecten wel logisch te verklaren en fysisch realistisch zijn.

G INVLOED KRIJVERLAGING OP STROMING – VERGELIJKING WAQUA EN DELFT3D

G.1 Introductie

Hydrodynamische effecten worden gesimuleerd met WAQUA. Morfologische effecten worden ingeschat met WAQMORF en gesimuleerd met Delft3D. WAQUA heeft een hogere resolutie dan Delft3D. De gridcellen in het zomerbed van het Pannerdensch Kanaal in WAQUA hebben afmetingen van ongeveer 6m breed en 20m lang en in Delft3D ongeveer 18m breed en 80m lang. Door dit verschil in gridresolutie (factor 3 à 4) wordt de bodemligging en geometrie van het Pannerdensch Kanaal en van de ingrepen binnen KOP in veel minder detail meegenomen in Delft3D dan in WAQUA.

In deze sectie wordt de invloed van KOP op de hydrodynamica in Delft3D vergeleken met de invloed van KOP in WAQUA om te controleren of de ingreep vergelijkbare invloed op de stroming heeft in beide modellen. De morfologie in Delft3D wordt namelijk aangestuurd door de hydrodynamica. Deze vergelijking wordt uitgevoerd voor drie afvoeren die representatief zijn voor de hydrograaf waar Delft3D mee doorgerekend wordt: 2250, 3824 en 6151 m³/s bij Lobith. Al deze afvoeren hebben een significant morfologisch effect. De vergelijking is uitgevoerd op basis van het effect van het VKA (Voorkeursalternatief, RHDHV, 2017) ten opzichte van de referentie.

Over het algemeen mag worden aangenomen dat WAQUA met haar hoge resolutie en hydrodynamische toepassing de meest betrouwbare resultaten geeft en dat het aan Delft3D is om deze effecten te reproduceren. Deze stelling wordt in deze bijlage grotendeels gevolgd, maar zoals is aangetoond in Bijlage F zijn de effecten bij 2250 m³/s in zowel WAQUA als Delft3D onzeker. Om een optimale reproductie van de hydrodynamische effecten te verkrijgen kan er gevarieerd worden met de aard van de maatregel. Er zullen geen aanpassingen worden gedaan aan modelinstellingen van Delft3D (zoals ruwheidsinstellingen buiten de ingreep of viscositeit).

G.2 Invloed KOP op stroming in WAQUA en Delft3D

Fig. G-1, Fig. G-2 en Fig. G-3 tonen de invloed van de ingrepen van KOP op de stroming (VKA minus REF) in beide modellen bij de drie verschillende afvoeren. Het verschil in gridresolutie van Delft3D en WAQUA is duidelijk zichtbaar in de grootte van de gekleurde rekencellen.

De invloed van de ingrepen van KOP op de stroming (VKA minus REF) is bij 3824 m³/s in Fig. G-2 getoond en bij 6151 m³/s in Fig. G-3. Beide figuren tonen dat in beide modellen het water in het zomerbed bij verlaagde kribben en oevers minder hard gaat stromen bij deze afvoeren. Over de sectie van de verlaagde kribben en oevers gaat het juist harder stromen bij deze afvoeren. In Fig. G-1 bij een afvoer van 2250 m³/s is dit opvallend genoeg juist andersom. Water gaat langzamer stromen langs de oevers (de verlaagde oevers zelf waar water niet stroomt in geval van de referentie en wel in geval van de VKA, worden in de figuren niet afgebeeld) en beperkt sneller in de hoofdgeul.

Bij een afvoer van 2250 m³/s (Fig. G-1) is er volgens WAQUA een versnelling in het zomerbed, veroorzaakt door vertragingen langs de verlaagde oevers, dit effect is minder sterk aanwezig in Delft3D. Dit fenomeen is uitgewerkt in Bijlage F, waarin wordt geconcludeerd dat de berekende effecten bij deze afvoer met beide modellen onzeker zijn.

In Fig. G-2 en Fig. G-3 zijn rondom km 869 en 871 de effecten in Delft3D en WAQUA goed vergelijkbaar. Tussen km 871 en 873 is de invloed van KOP op de vertraging van de stroming in het zomerbed wat sterker in WAQUA dan in Delft3D. Bij de afvoer van 6151 m³/s zit Delft3D dichterbij WAQUA dan bij de afvoer van 3824 m³/s.

G.3 Optimalisatie van de ingreep in Delft3D

Door het grovere rekenrooster in Delft3D die vaak de kribkoppen volgt, is de bodemligging van het winterbed direct naast het zomerbed in Delft3D wat hoger dan in WAQUA en hierdoor is de invloed van de kribverlaging in Delft3D wat kleiner. Om het effect van KOP in Delft3D beter kloppend te

krijgen met WAQUA is er een optimalisatie van de ingreep gedaan. Hierbij is er gevarieerd met een extra verlaging van de kribben van 20 cm en 40 cm en het gladder maken van de kribvakken (ruwheidscode 201 [*water*] is gebruikt in de kribvakken), dit was oorspronkelijk een combinatie van de vaarwegruwheid, gras en akker en water).

In de figuren zijn de resultaten van de optimalisaties opgenomen. De resultaten van de Delft3D berekening met een extra kribverlaging van 40 cm en gladdere kribvakken liggen het dichtst bij de resultaten van WAQUA. Voor de afvoeren 3824 m³/s en 6151 m³/s blijven de effecten in Delft3D en WAQUA rondom km 869 vergelijkbaar. Bij km 873 is het stroombeeld sterk verbeterd door de optimalisatie. Tussen km 871 en 872 is de vertraging van de stroming in het zomerbed door de ingreep iets toegenomen. Echter blijft de invloed van KOP op de stroming in dit gebied nog wat kleiner dan in WAQUA.

De resultaten bij afvoer 2250 m³/s zijn conform de bevindingen in Bijlage F *niet* meegenomen in de optimalisatie, maar zijn hier wel getoond.

G.4 Conclusie

Kalibratie van de maatregel helpt om de hydrodynamische effecten van de ingreep in Delft3D gelijkvormiger en meer van gelijke orde van grootte te krijgen ten opzichte van WAQUA voor de afvoeren 3824 en 6151 m³/s (2250 m³/s kon niet gebruikt worden voor een betrouwbare kalibratie). Hierbij geeft 40 cm extra verlaging van de kribben en het vergladden van de kribvakken het beste resultaat.

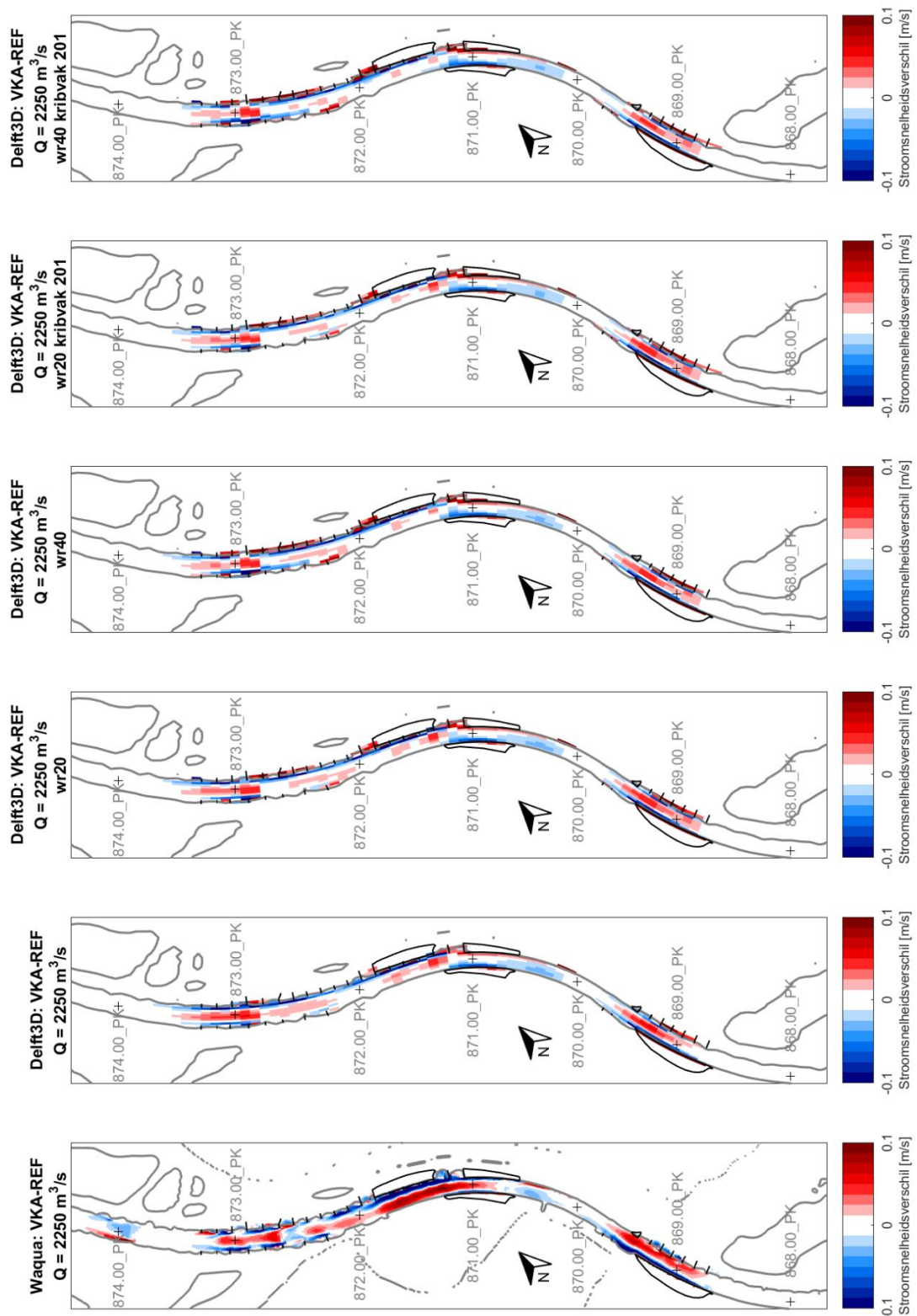


Fig. G-1: Vergelijking tussen WAQUA (onderste plot) en Delft3D bij een afvoer van $2250 \text{ m}^3/\text{s}$ van het effect van het VKA op de stroomsnelheid in het Pannerdensch Kanaal. De Delft3D figuren laten respectievelijk van onder naar boven de volgende varianten zien: geen aanpassingen, overlaten 20 cm extra verlaagd, overlaten 40 cm extra verlaagd, overlaten 20 cm extra verlaagd en kribvakken gladder gemaakt en overlaten 40 cm extra verlaagd en kribvakken gladder gemaakt. Let op: de kleurenschaal van deze figuren verschilt van de kleurenschaal in Fig. G-2 en Fig. G-3.

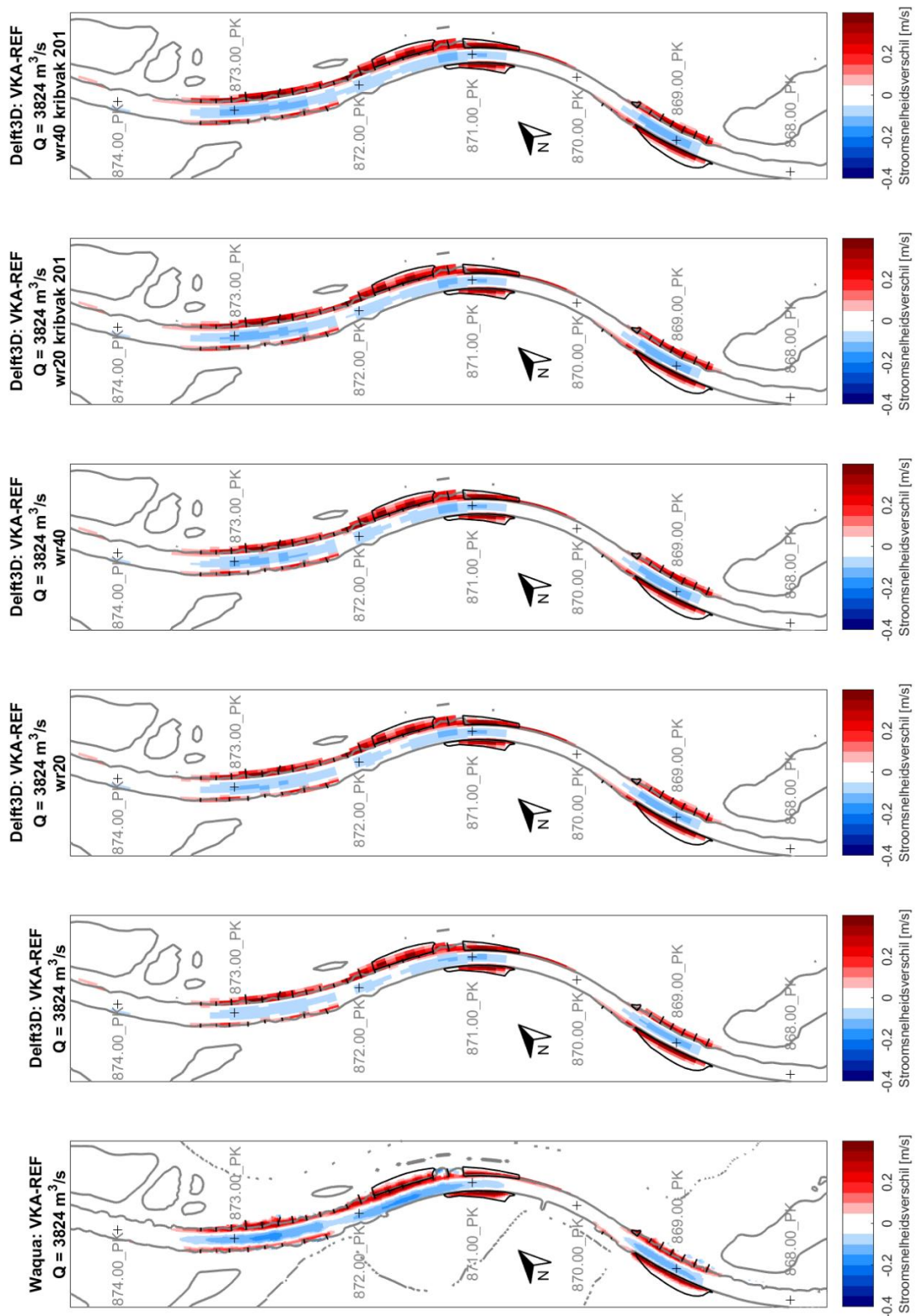


Fig. G-2: Vergelijking tussen WAQUA (onderste plot) en Delft3D bij een afvoer van 3824 m³/s van het effect van het VKA op de stroomsnelheid in het Pannerdensch Kanaal. De Delft3D figuren laten respectievelijk van onder naar boven de volgende varianten zien: geen aanpassingen, overlaten 20 cm extra verlaagd, overlaten 40 cm extra verlaagd, overlaten 20 cm extra verlaagd en kribvakken gladder gemaakt en overlaten 40 cm extra verlaagd en kribvakken gladder gemaakt.

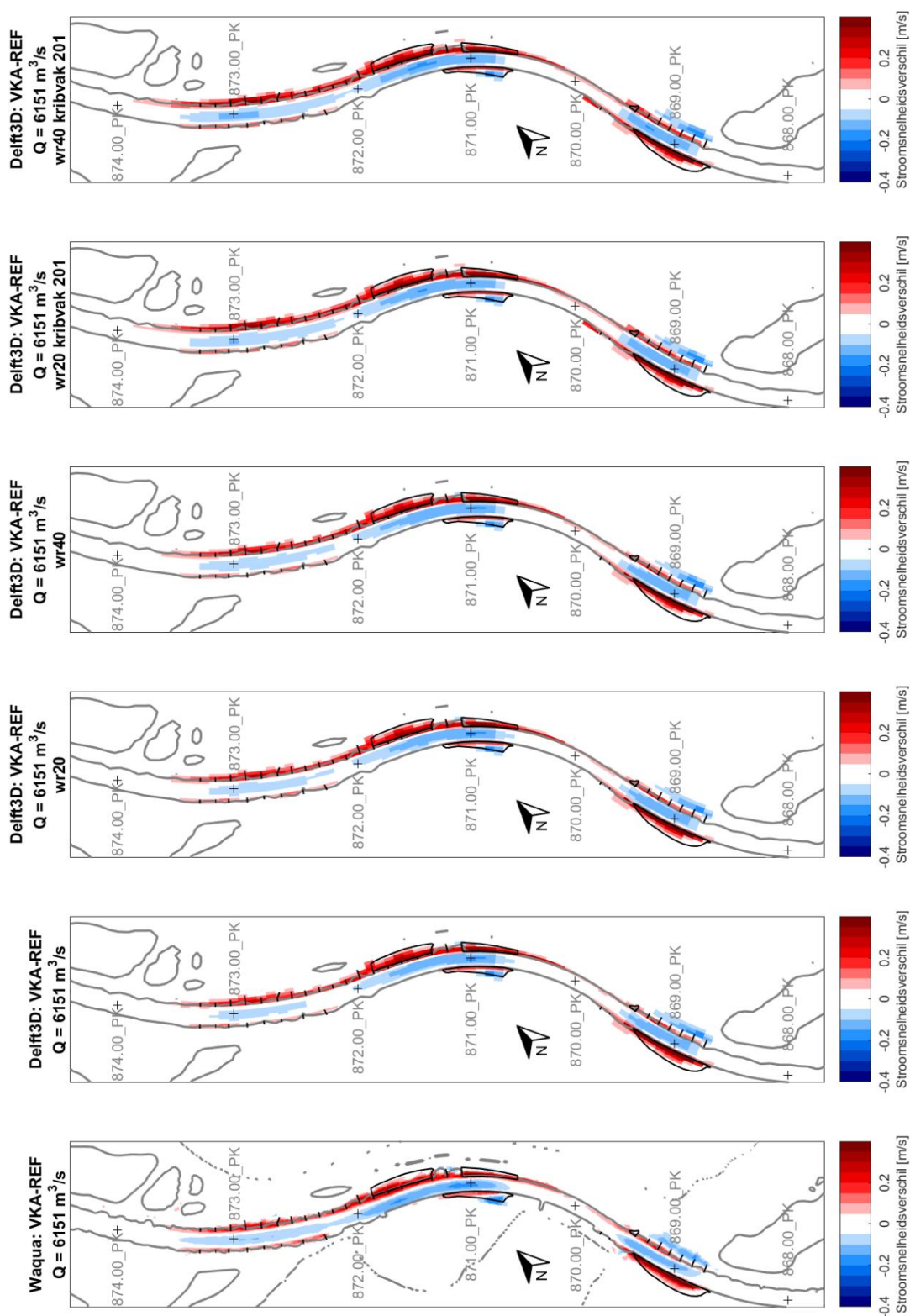


Fig. G-3: Vergelijking tussen WAQUA (onderste plot) en Delft3D bij een afvoer van 6151 m³/s van het effect van het VKA op de stroomsnelheid in het Pannerdensch Kanaal. De Delft3D figuren laten respectievelijk van onder naar boven de volgende varianten zien: geen aanpassingen, overlaten 20 cm extra verlaagd, overlaten 40 cm extra verlaagd, overlaten 20 cm extra verlaagd en kribvakken gladder gemaakt en overlaten 40 cm extra verlaagd en kribvakken gladder gemaakt.

H ANALYSE UITBLIJVEN EVENWICHTSSITUATIE DELFT3D

In deze bijlage wordt het uitblijven van een evenwicht in het morfologisch effect van het DO binnen de simulatieperiode van 40 jaar geanalyseerd. NB het probleem is niet dat er geen evenwichtsligging van de bodem zelf wordt gevonden. Het Pannerdensch Kanaal erodeert gedurende de simulatie continu, er is in die zin dus geen sprake van een evenwichtsligging, niet in de referentie en niet in het DO.

Er wordt een analyse met ondersteunende figuren gepresenteerd die het effect in Delft3D kunnen verklaren. Deze zijn doorgesproken met Willem Ottevanger van Deltares en geven een onderbouwing van het gemodelleerde resultaat.

Het project gaat uit van de morfologische effectbepaling op basis van Delft3D, en houdt dus rekening met de voorspelde effecten, ook als die op het eerste gezicht verassend zijn. Het is echter wel van belang dat die effecten verklaard kunnen worden in fysische termen en niet onverhoopt het gevolg zijn van bijvoorbeeld numerieke instabiliteiten.

H.1 Verklaringen gemodelleerde effect

H.1.1 Effect via hydrodynamica, verwachting: dynamisch evenwicht

In Figuur 8-1 is de afvoerverdeling bij Pannerdensch Kop getoond voor verschillende afvoeren over tijd. Fig. H-1 tot en met Fig. H-8 laten de effecten van het DO op de hydrodynamica zien voor vier afvoeren op verschillende tijdstippen.

Bij de lagere afvoeren (tot en met 3053 m³/s) is een waterstandsverlaging benedenstrooms van de ingreep te zien, die steeds groter wordt naarmate de tijd vordert. Ook is er een versnelling van de stroming in de vaargeul te zien, die toeneemt naarmate de tijd vordert. In Figuur 8-1 is te zien dat er minder water naar het Pannerdensch Kanaal gaat bij deze afvoeren. Voor 2250 m³/s is dit redelijk constant in de tijd, voor 3053 m³/s wordt dit effect groter naarmate de tijd vordert.

Bij de hogere afvoeren (vanaf 3824 m³/s) is een waterstandsverhoging benedenstrooms van de ingreep te zien, die afneemt naarmate de tijd vordert. Ook is er een vertraging van de stroming in de vaargeul te zien, die afneemt naarmate de tijd vordert. Vanuit deze vertraging is af te leiden dat de stroming in het geval van het DO meer de weg van de verlaagde oevers kiest, vergeleken met de referentiesituatie. In Figuur 8-1 is te zien dat er meer water naar het Pannerdensch Kanaal gaat bij deze afvoeren. Initieel is dit effect het grootst, naarmate de tijd vordert neemt dit wat af.

Op basis van deze observaties wordt relatief ten opzichte van de referentiesituatie sedimentatie bij de hogere afvoeren en erosie bij de lagere afvoeren verwacht. Dit zou in beginsel moeten leiden tot een dynamisch evenwicht.

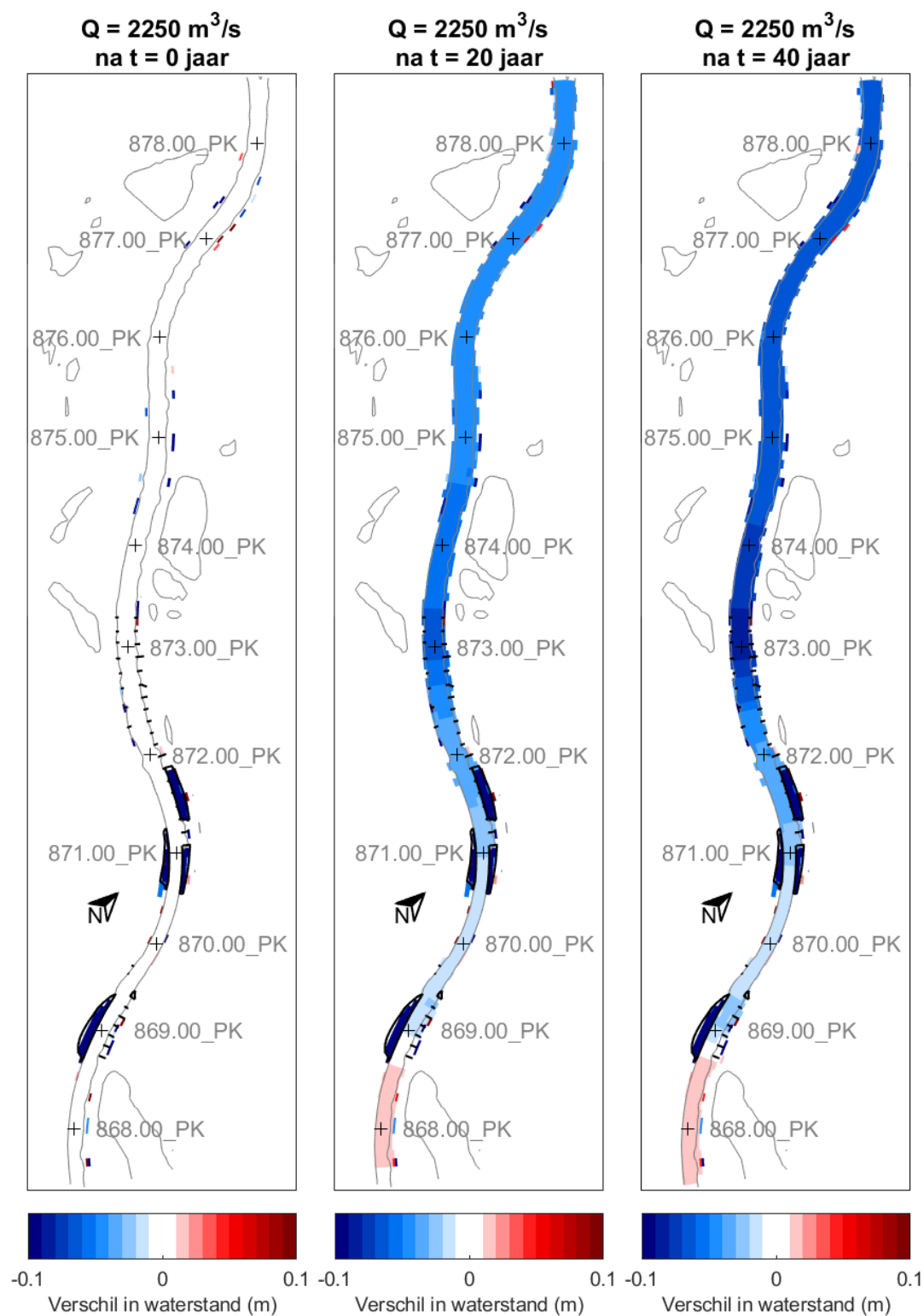


Fig. H-1: Effect van het DO op de waterstand bij een afvoer van 2250 m³/s op verschillende tijdstippen.

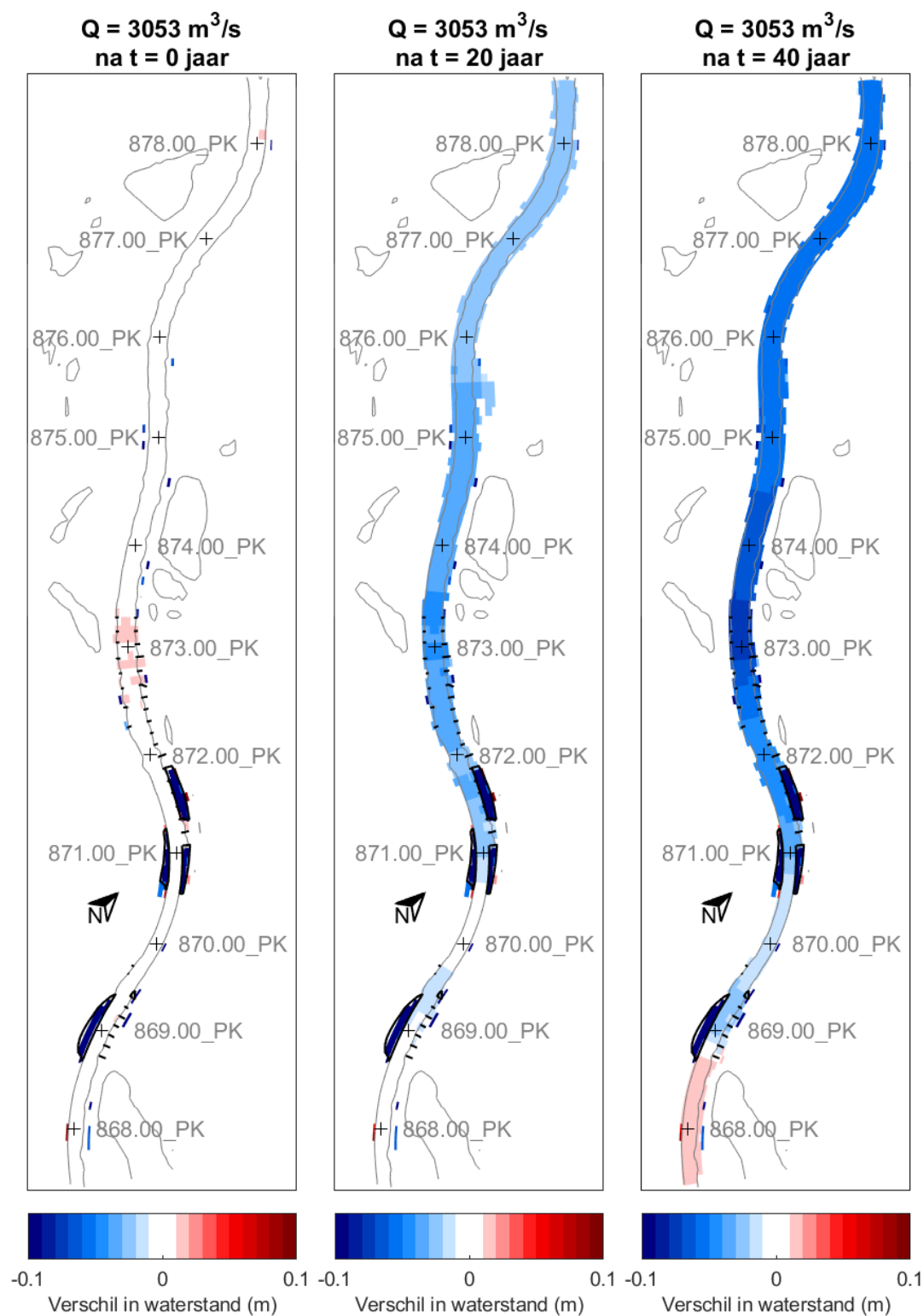


Fig. H-2: Effect van het DO op de waterstand bij een afvoer van 3053 m³/s op verschillende tijdstippen.

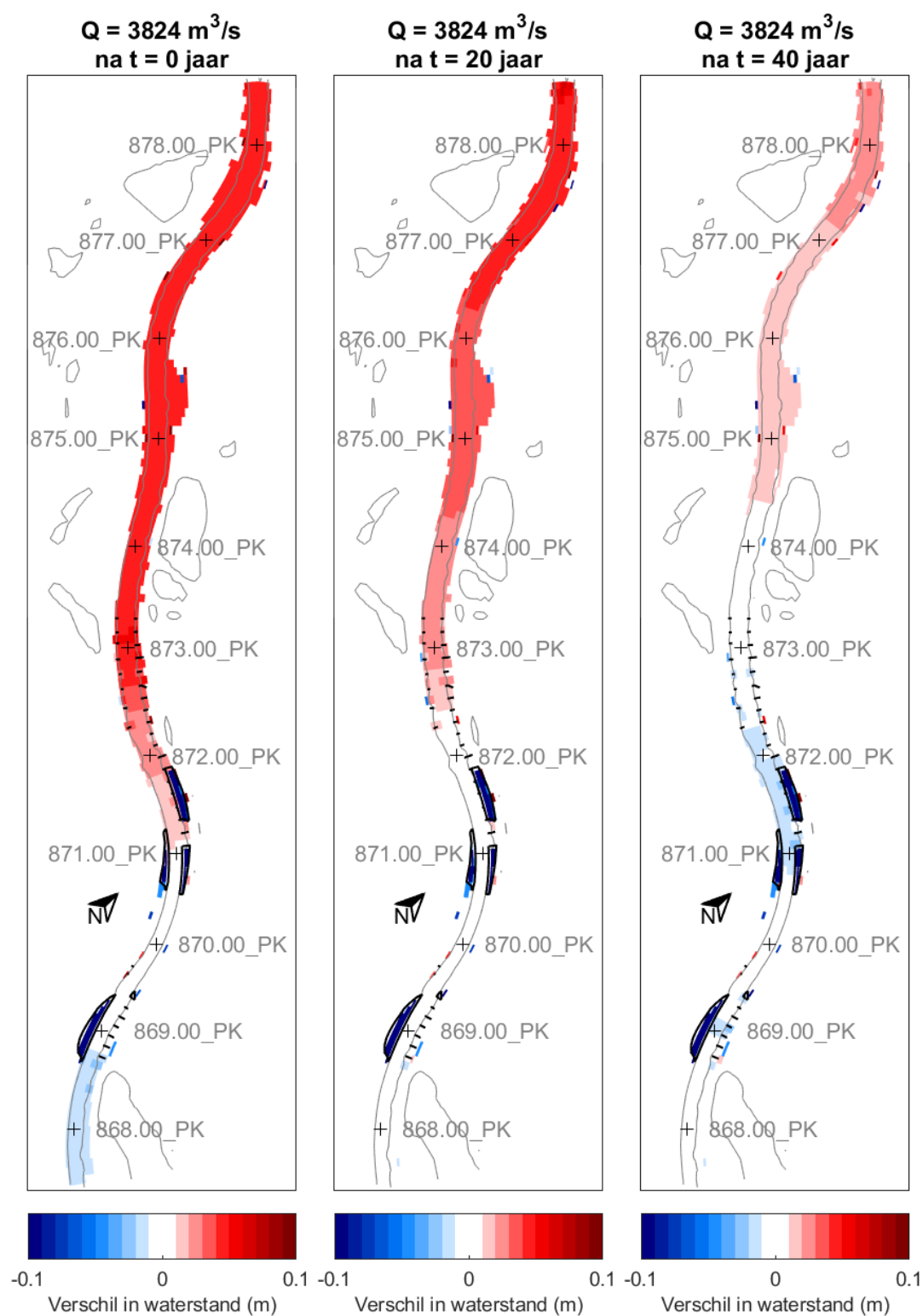


Fig. H-3: Effect van het DO op de waterstand bij een afvoer van 3824 m³/s op verschillende tijdstippen.

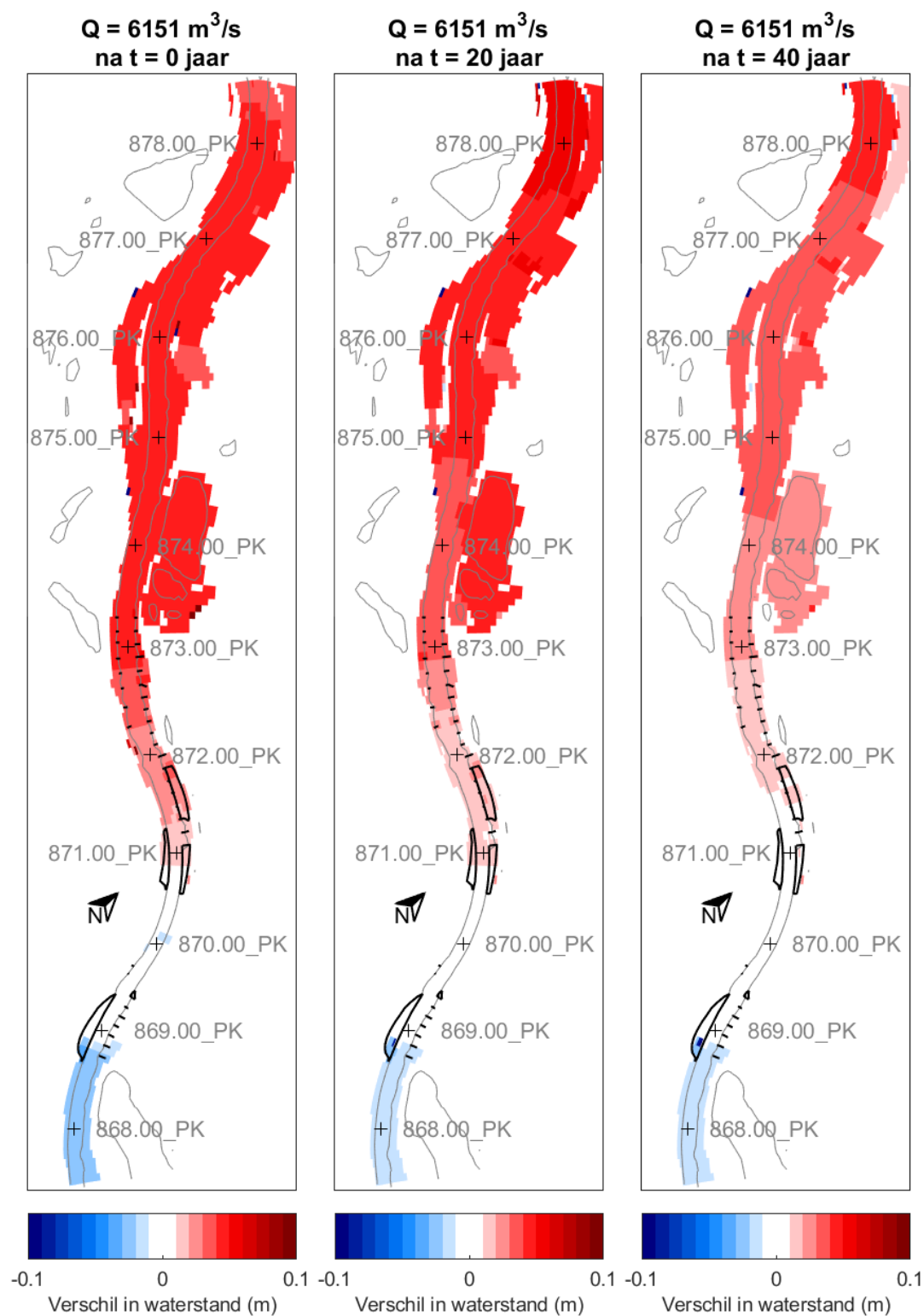


Fig. H-4: Effect van het DO op de waterstand bij een afvoer van 6151 m³/s op verschillende tijdstippen.

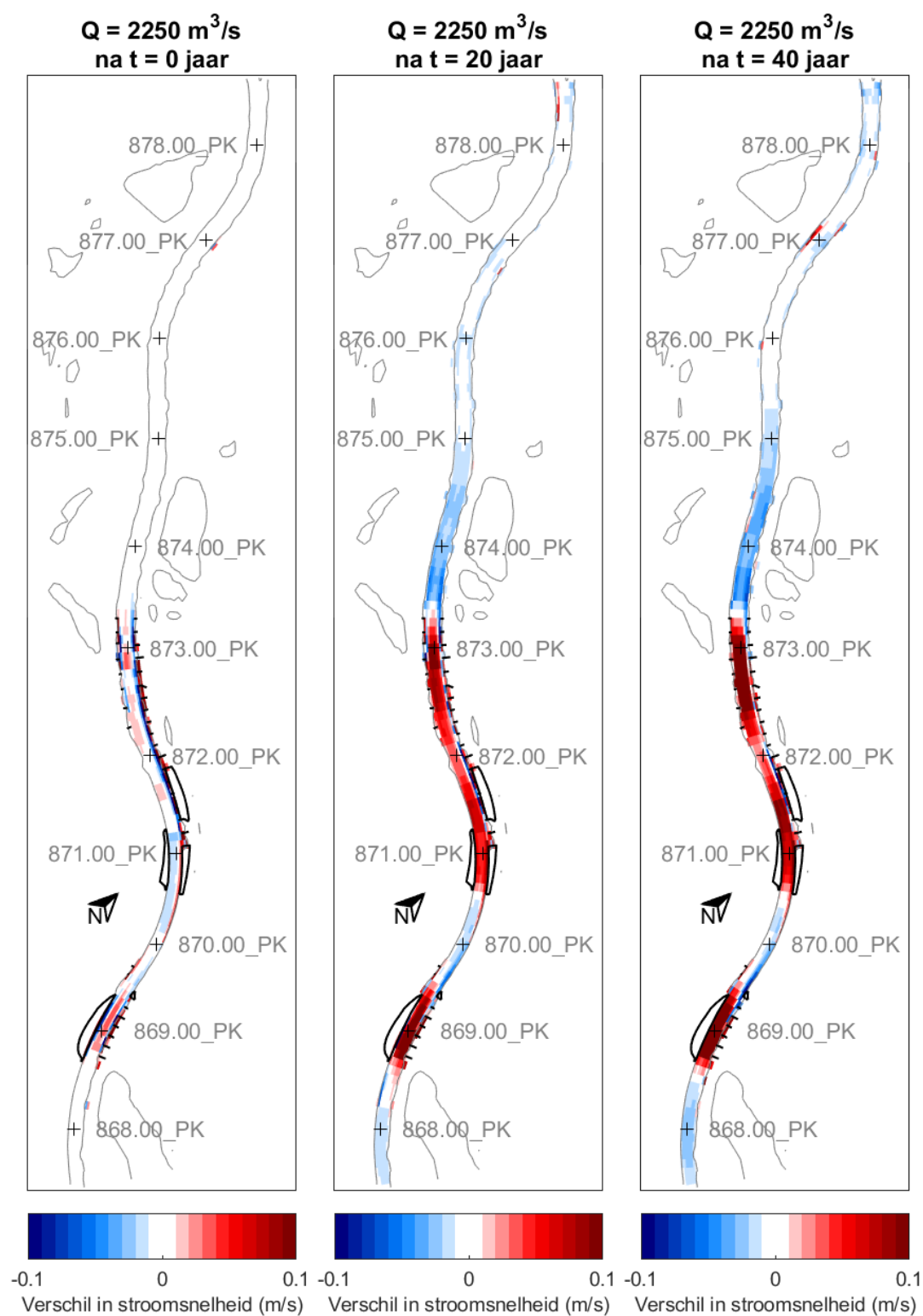


Fig. H-5: Effect van het DO op de stroming bij een afvoer van 2250 m³/s op verschillende tijdstippen.

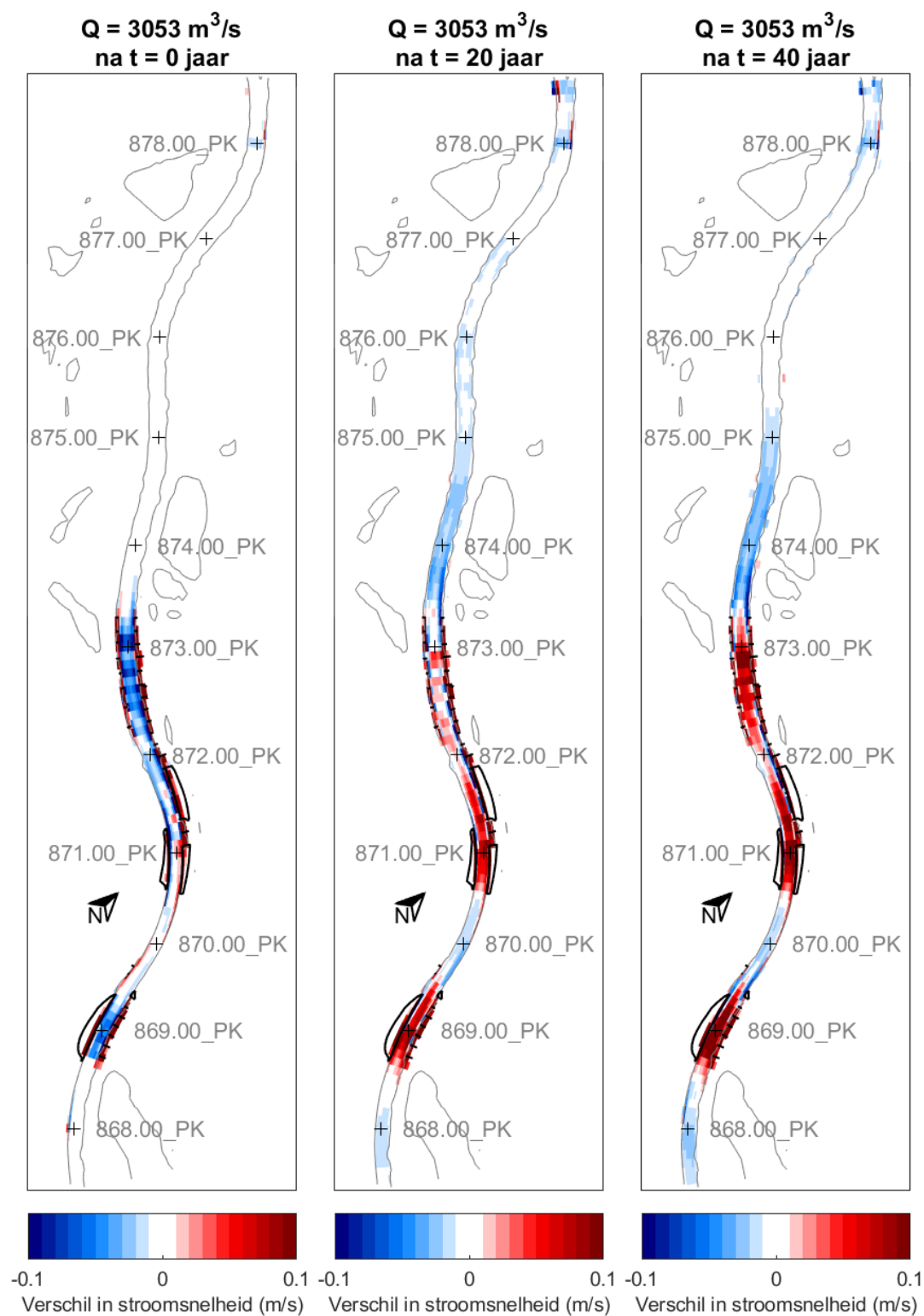


Fig. H-6: Effect van het DO op de stroming bij een afvoer van $3053 \text{ m}^3/\text{s}$ op verschillende tijdstippen.

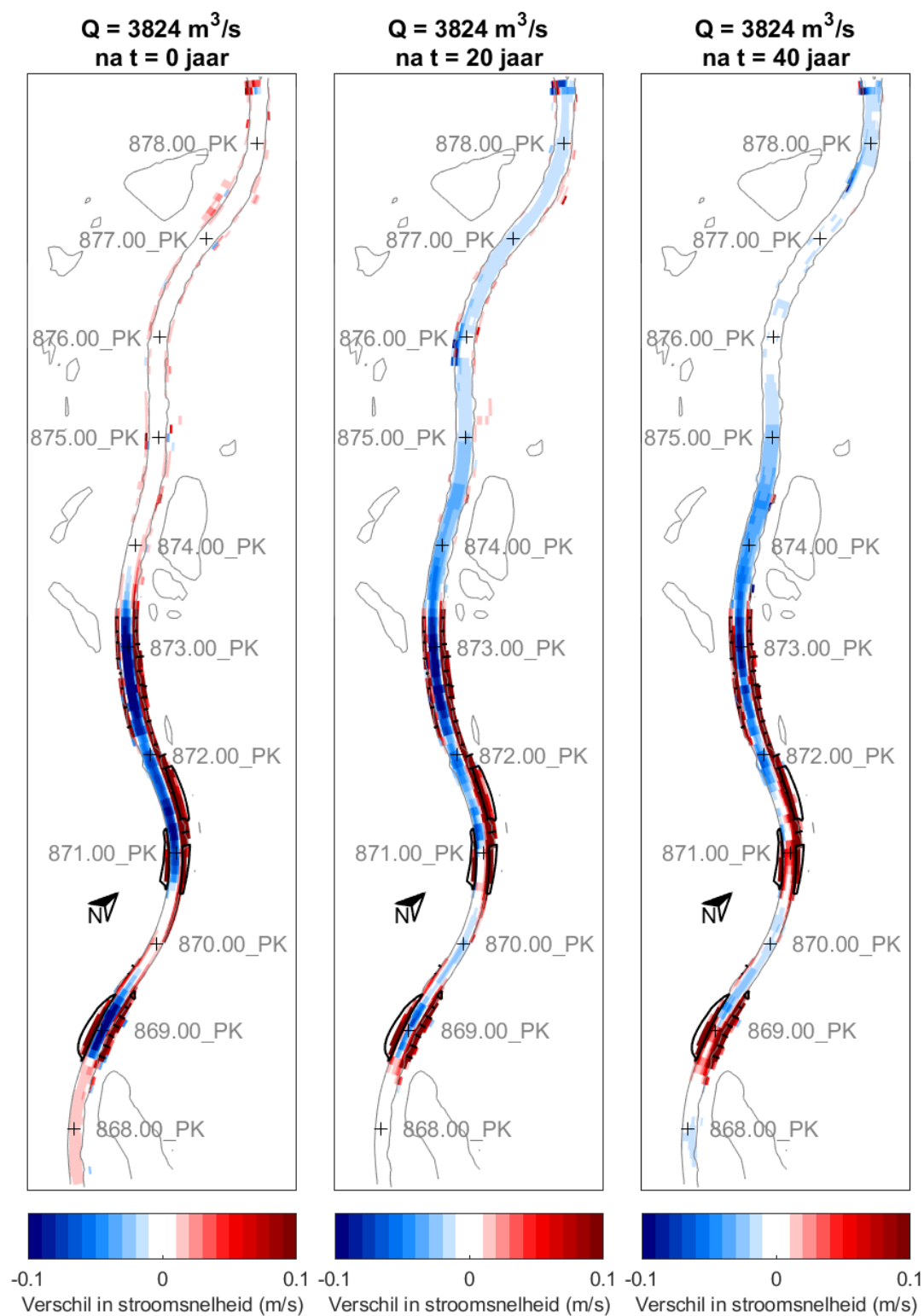


Fig. H-7: Effect van het DO op de stroming bij een afvoer van 3824 m³/s op verschillende tijdstippen.

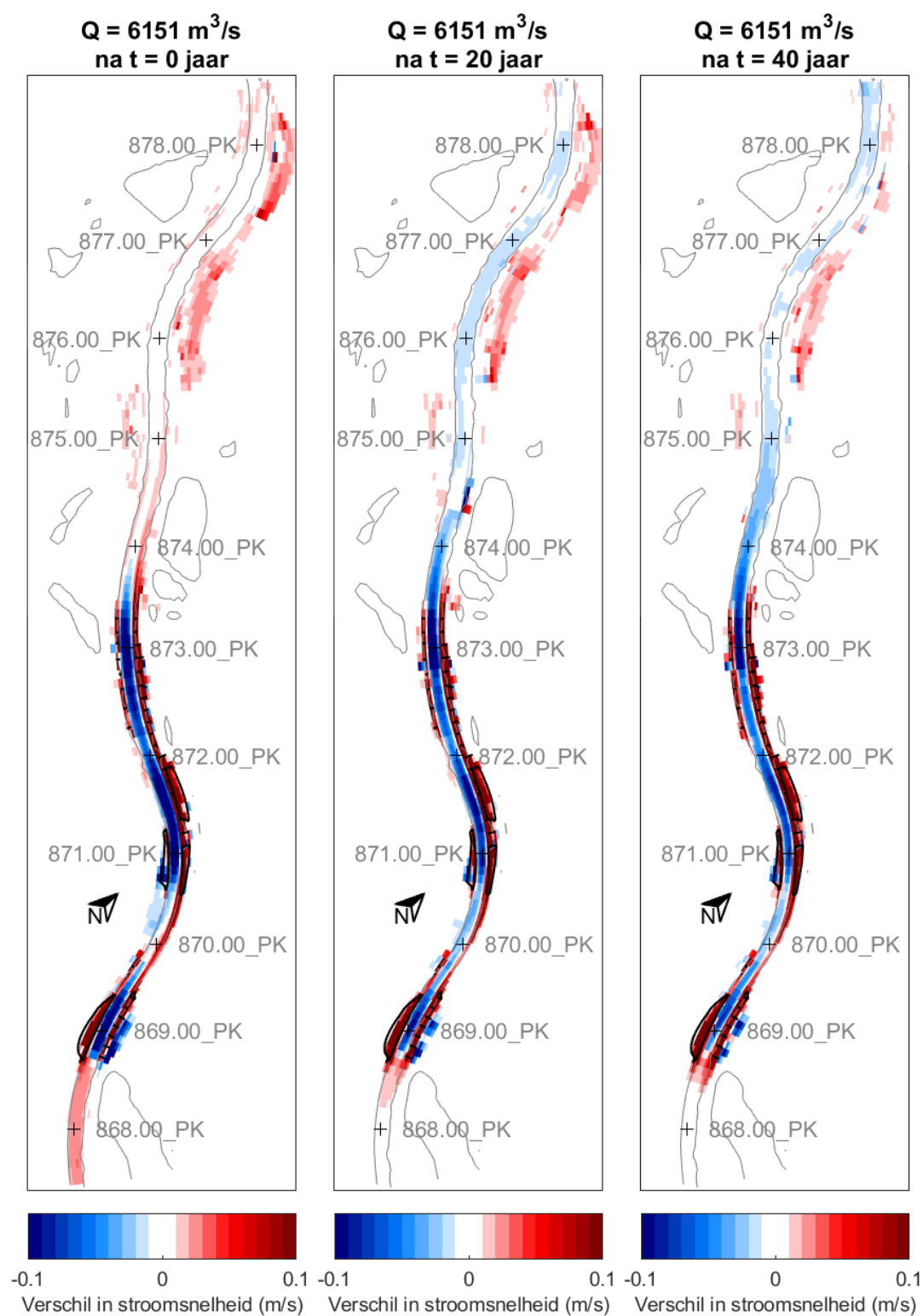


Fig. H-8: Effect van het DO op de stroming bij een afvoer van $6151 \text{ m}^3/\text{s}$ op verschillende tijdstippen.

H.2 Effect bij verschillende afvoeren, effect via korrelverdeling

H.2.1 Aanzanding en erosie rond rkm 869 bij verschillende afvoeren

De totale aanzanding en erosie in 8 cellen rondom rkm 869 (precies het 'probleemgebied') is over de tijd geplot in Fig. H-9. Er is een aparte plot voor elke afvoer opgenomen, met daarin een lijn voor de referentiesituatie en het DO.

In het geval van Referentie ontstaat de aanzanding voornamelijk bij lage afvoeren (2250 en 3053 m³/s) en is er lichte aanzanding bij 8592 m³/s. De totale aanzanding van deze drie afvoeren samen neemt af naarmate de tijd vordert, vooral door een significante afname bij 2250 m³/s. De totale erosie (bij afvoeren 3824, 4717 en 6151 m³/s) neemt ook af, maar in mindere mate dan de sedimentatie.

Wanneer er wordt gekeken naar het DO dan is dit beeld volledig anders. De aanzanding vindt plaats bij hogere afvoeren (vanaf 3824 m³/s). Voor de middelhoge afvoeren (3824 en 4717 m³/s) neemt deze af in de tijd (en slaat bij de eerste om naar erosie), maar tijdens de hoogste afvoeren (6151 en 8592 m³/s) blijft de aanzanding in dezelfde orde van grootte. De totale erosie tijdens de lagere afvoeren blijft ook in dezelfde orde van grootte, al is er wel een verschuiving van zwaartepunt van 2250 naar 3053 m³/s, *de afname van erosie bij 2250 m³/s is opvallend*.

De lijnen van zowel de Referentie als het DO worden in de laatste 10 jaar horizontaler (en neigen dus meer richting een situatie met een constante hoeveelheid aanzanding of erosie, 'evenwicht'). De enige uitzondering hierop is de afvoer 3824 m³/s. Het lijkt er dus op dat het systeem wellicht op weg is naar een 'evenwicht', maar dat deze nog niet bereikt is in 40 jaar.

Al met al lijkt het erop alsof het systeem op zoek is naar een dynamisch evenwicht: erosie bij lage afvoeren en sedimentatie bij hoge. Dit evenwicht wordt echter niet bereikt door de opvallende afname in erosie bij 2250 m³/s. Op een locatie waar aanzanding plaats heeft gevonden wordt een versnelling van de stroming verwacht. Dit is het normale feedbackmechanisme waardoor sedimentatie na een initiële vertraging van de stroming niet eindeloos doorgaat. De snellere stroom ter plaatse van de sedimentatie is terug te zien in de figuren in de voorgaande paragraaf. De vraag is daarom: waarom leidt deze versnelling van de stroming in dit geval niet tot een toename in erosie?

H.2.2 Korrelgrootte bodemmateriaal

De oorzaak hiervan kan gezocht worden in de ontwikkeling van de korrelverdeling. Fig. H-10 bevat ruimtelijke figuren van de D50 van het bodemmateriaal na een simulatieperiode van 40 jaar voor zowel de referentiesituatie, het DO en het verschil hiertussen.

Rond rkm 869 is een vergroving van het bodemmateriaal met enkele millimeters te zien, ten gevolge van het DO. Het grove materiaal dat bij het DO rond 869 blijft liggen, wordt in de referentiesituatie een paar honderd meter benedenstrooms in de buitenbocht aangetroffen. De vergroving van het materiaal bij rkm 869 ten gevolge van het DO ligt in lijn met de bevindingen over de aanzanding per afvoer in sectie H.2.1. Bij hogere afvoeren is er meer aanzanding, wat uit grover materiaal bestaat (fijn materiaal slaat immers niet neer bij hoge stroomsnelheden). Bij lage afvoeren erodeert vooral fijn materiaal.

Hypothese is dat bij lagere afvoeren (vooral 2250 m³/s) niet meer voldoende stroomsnelheid is om dit grove materiaal te transporteren.

Met andere woorden: normaal gesproken zou een dynamisch evenwicht te verwachten zijn. Maar door een vergroving van het gesedimenteerde materiaal lukt het bij lagere afvoeren niet meer dit in voldoende volume te eroderen: bij 2250 m³/s treedt nauwelijks nog erosie op, bij 3053 neemt erosie niet meer toe in de tijd. Dit betekent dat het doel waar het dynamische evenwicht naar toe itereerde verschuift naar meer aanzanding. Dit maakt de tijdschaal waarbinnen het evenwicht bereikt wordt

groter. Waarschijnlijk zal een dergelijk evenwicht in effect uiteindelijk worden bereikt door een afname in sedimentatie in de hoogste afvoeren en omslag naar erosie bij bijvoorbeeld $4717 \text{ m}^3/\text{s}$, maar dus niet in de gesimuleerde 40 jaar.

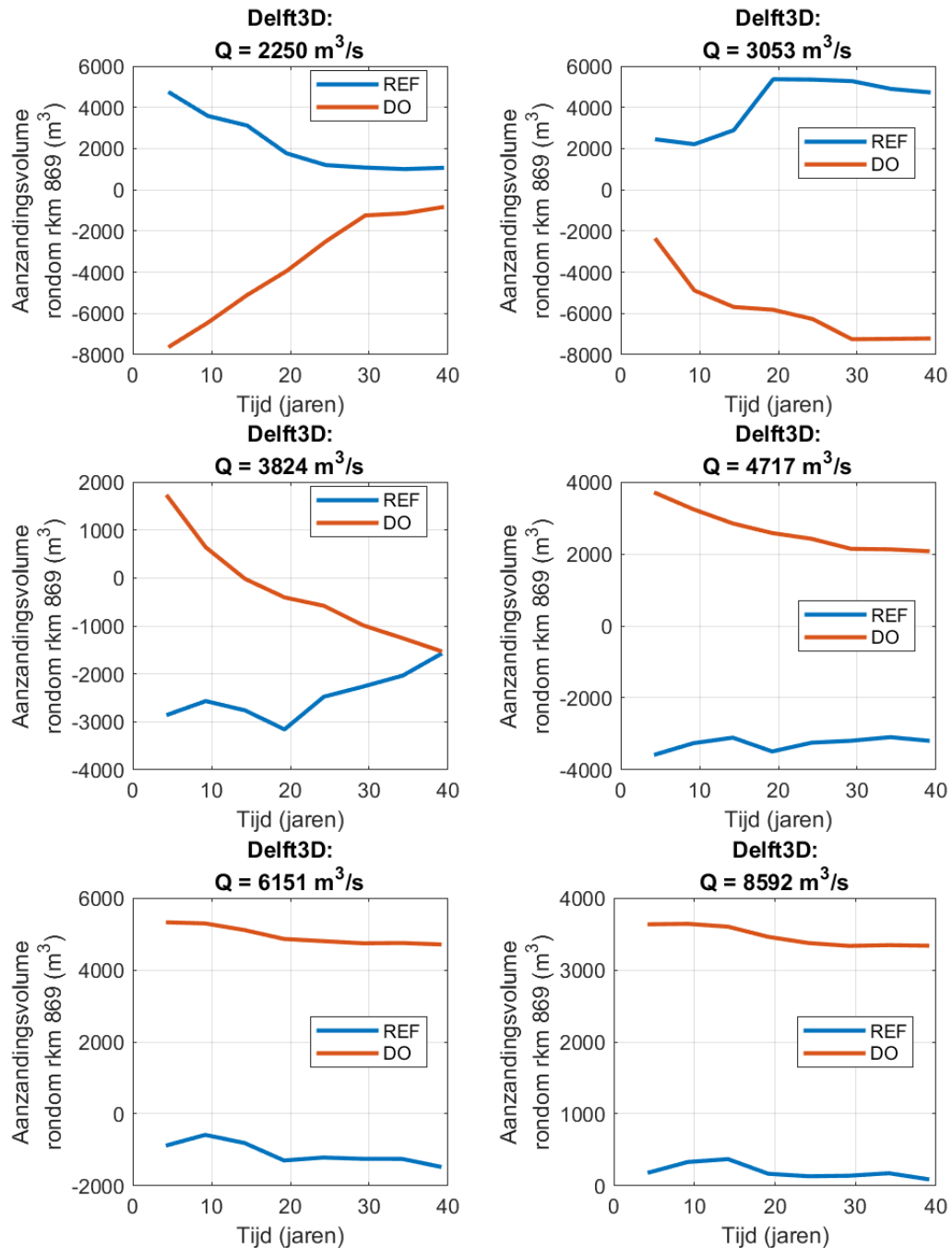


Fig. H-9: Aanzandingsvolumes bij verschillende afvoeren over de tijd, voor zowel de referentiesituatie als het DO.

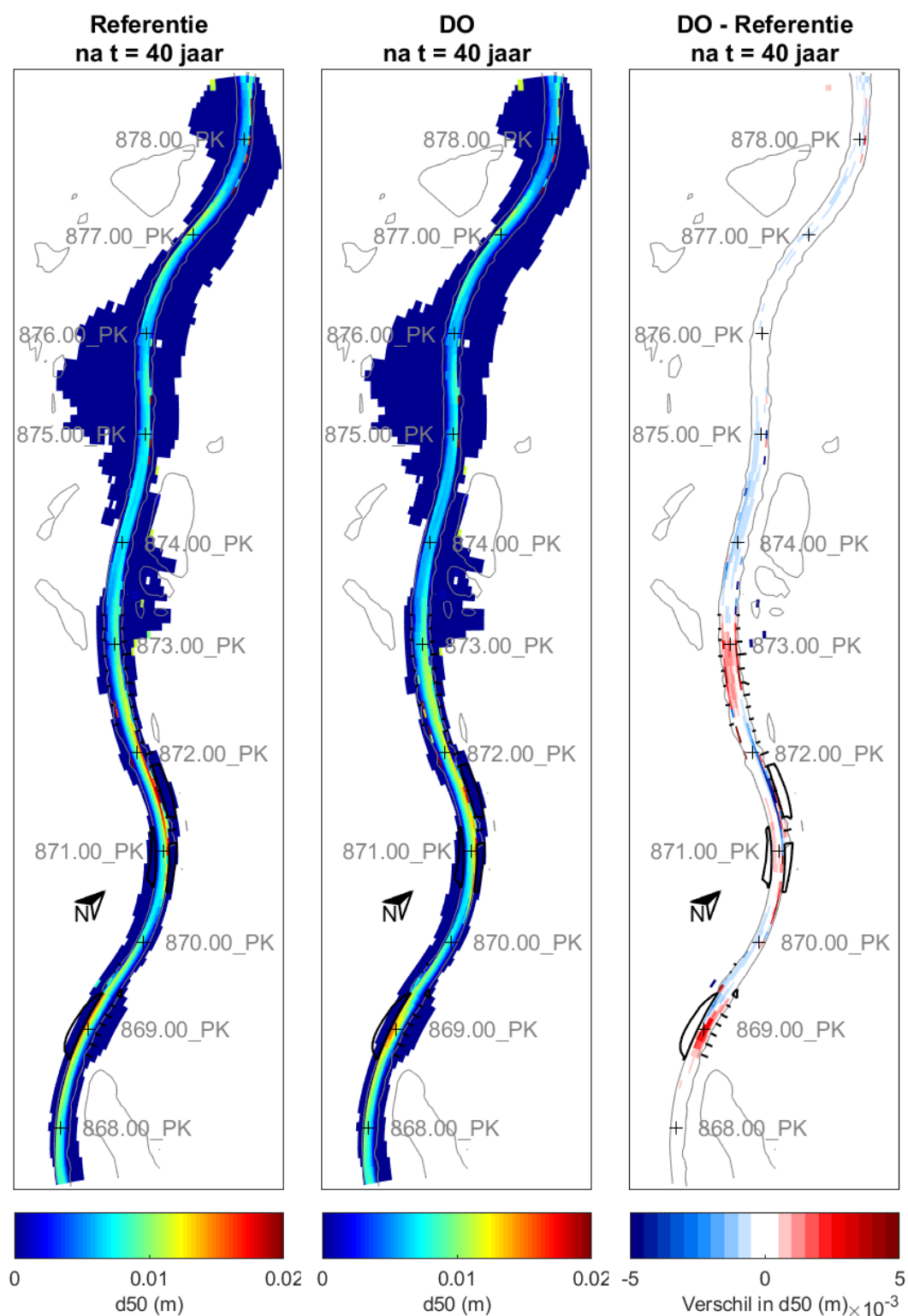


Fig. H-10: Korrelgrootte na een simulatieperiode van 40 jaar in de referentiesituatie, het DO en het verschil daartussen.

H.2.3 Handberekening erosie

Om te controleren of de afname in erosie bij 2250 m³/s inderdaad komt door de toename in korrelgrootte is een handberekening gedaan. In het gegradeerde deel van het model wordt gerekend met de transportformule van Meyer-Peter-Müller. Om tot een transport te komen wordt in essentie een Shields mobiliteitsparameter vergeleken met een kritische Shields waarde:

Er is transport als $\theta > \theta_{\text{kritisch}}$, en hoe hoger θ , hoe hoger het transport.

θ_{kritisch} is in het model constant, maar θ varieert met stroomsnelheid en D_{50} (en met Chézy, maar die is in het model per afvoer constant) volgens:

$$\theta \sim (U^2/D_{50}).$$

Deze factor kan zowel aan het begin als aan het eind van berekening worden bepaald, zie onderstaande tabel. Waar je zou verwachten dat transport toeneemt (door hogere snelheid), neemt transport juist af (door sneller stijgende D_{50}).

Tab. H-1: Ontwikkeling mobiliteitsfactor.

	Simulatie met DO (op 869 km)	
	T = 0 jaar	T = 40 jaar
U (m/s)	1.04	1.20
D_{50} (m)	0.006	0.012
U^2/D_{50} (m/s ²)	180	120

H.3 Effect via verdeling water en sediment op splitsingspunt Pannerdensche Kop

Het vermoeden is dat het niet bereiken van het dynamisch evenwicht in geval van het DO ook te maken heeft met een effect op de debiet- en sedimentverdeling tussen Waal en Pannerdensch Kanaal. Figuur 6-9 bevat de verdeling van de sedimentvracht tussen de Waal en het Pannerdensch Kanaal, gelijk aan Figuur 8-1 voor de waterverdeling. Hieruit blijkt dat voor alle relevante afvoeren behalve 2250 en 3053 m³/s (daaronder wordt weinig tot geen transport uitgerekend) het debiet en de sedimentvracht inderdaad toenemen ten opzichte van de Boven-Rijn/Waal. Dit is op basis van debietsraaien direct achter het splitsingspunt Pannerdensche Kop.

De transporten zijn in Fig. H-11 vermenigvuldigd met de simulatietijd per conditie, zo kan een beter beeld getoond worden van het netto effect. Het DO geeft na een initieel effect van circa 5 jaar een min of meer constante absolute verhoging van de sedimenttoevoer naar het Pannerdensch Kanaal en een mindere verlaging naar de Waal. De totale hoeveelheid transport door beide takken samen neemt dus toe door de ingreep.

De verklaring hiervan kan zijn:

- In eerste instantie is de maatregel verruimend, en dus trekt het Pannerdensch Kanaal extra debiet en dus sediment.
- Relatief snel wordt dit effect deels gecompenseerd door extra aanzanding bij de maatregel. Er ontstaat echter tegelijkertijd een relatieve verlaging van de bodem stroomafwaarts van het projectgebied.
- De blijvende verruiming van het Pannerdensch Kanaal door de ingreep en de (grootschalige) verdieping van het Pannerdensch Kanaal stroomafwaarts van de ingreep zijn dominant in het trekken van extra debiet en dus extra sediment naar het Pannerdensch Kanaal. Lokale sedimentatie (kleinschalig) bij de ingreep kan dit niet voorkomen en is tegelijkertijd de oorzaak van de verdieping stroomafwaarts.

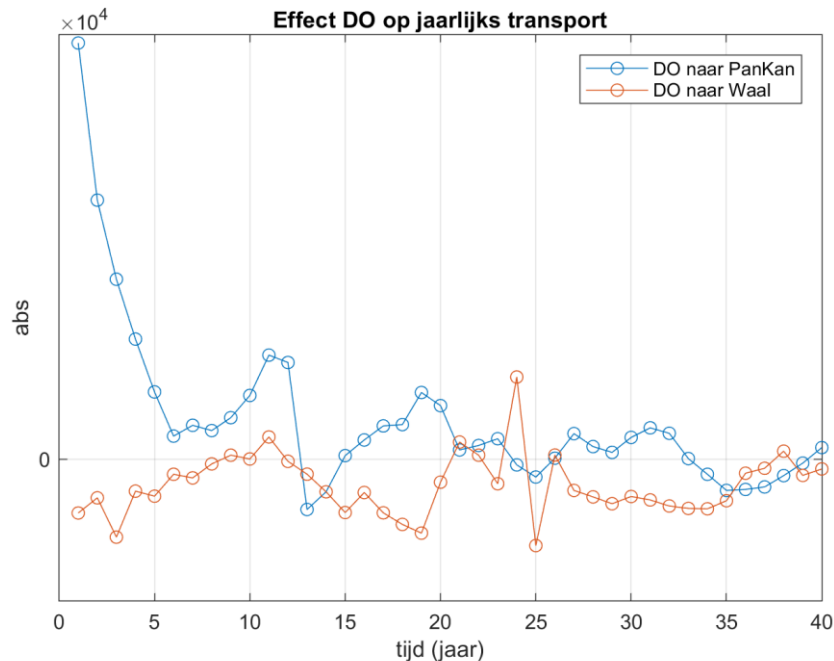


Fig. H-11: Effect van het DO op het jaarlijks sedimenttransport naar het Pannerdensch Kanaal en de Waal.

H.4 Conclusie

In bovenstaande paragrafen is te zien dat het model vanaf tijdstip 0 sedimentatie laat zien bij hoge afvoeren en erosie bij lagere afvoeren. Initieel is de sedimentatie hoger dan erosie en zanden de gebieden rond de ingreep aan. Verwachting is dat de sedimentatie bij hoge afvoeren hierdoor afneemt, en erosie bij lagere afvoeren toeneemt. Beiden lijken echter niet het geval te zijn.

Het mechanisme voor stabilisatie van bodemligging bij lage afvoeren is onvoldoende groot om de bodemveranderingen bij hoogwater op te vangen. Hierdoor is het nodig om te wachten tot de hoge afvoeren een stabilisatie van de bodemligging laten zien. Aangezien er relatief veel water langs de oevers blijft stromen, is er nog weinig stabiliserende werking bij hoge afvoeren in de eerste 40 jaar te zien. Dat de aanzanding maar beperkt afneemt bij hoge afvoeren betekent dat de evenwichtsdiepte voor deze hoge afvoeren nog ver af ligt van de in het model bereikte diepte. De aangroei is blijkbaar beperkt door het aanbod van sediment en de relatief korte tijd van optreden van hoge afvoeren. De lokale aanzanding bij de maatregel geeft onvoldoende feedback en/of wordt gecompenseerd door erosie verder in het Pannerdensch Kanaal. Het dynamische evenwicht moet dus bereikt worden door toenemende erosie bij lage afvoeren. Dit treedt niet/langzaam op door een vergroving van het materiaal in de sedimentatie zones.

Al met al is de verwachting dus dat er zich uiteindelijk wel een dynamisch evenwichtseffect zal instellen, maar dat dit beduidend langer duurt dan de berekende 40 jaar. De conclusie is dat er geen redenen zijn om de Delft3D resultaten in twijfel te trekken of als onrealistisch te beoordelen²³. Dit betekent dat in het Beheer en Onderhoudsplan rekening wordt gehouden met de voorspellingen zoals Delft3D die afgeeft. Aangepast sedimentbeheer ter plekke van de ingreep is een mogelijke maatregel.

²³ Er zijn uiteraard een hoop onzekerheden in het model: de initiële sedimentverdeling komt uit 2003, de transportformules en parameters daarbinnen (bijvoorbeeld voor ripple factor en hiding and exposure) brengen ook onzekerheid mee. Er is echter geen gebied aan te wijzen waar het model het expliciet fout doet.

I ANALYSE SCHEEPSGOLVEN IN HET PANNERDENSCH KANAAL

DISCLAIMER: De voorliggende analyse van scheepsgolven is een studie die aantoonst dat scheepsgolven bij de oever op het Pannerdensch Kanaal in ieder geval niet groter zijn dan op de Waal. De uitgangspunten zijn indicatief, maar geschikt voor het gestelde doel.

Als onderdeel van het expert judgement over de kribvakerosie in het Pannerdensch Kanaal is een berekening gemaakt van de waterspiegeldaling, secundaire scheepsgolven, boeggolven en heggolven die kunnen ontstaan bij maatgevende schepen op deze riviervak. Deze berekeningen zijn gedaan met formules uit de Rock Manual (CIRIA, 2007).

In de berekeningen is uitgegaan van de afmetingen van het Pannerdensch Kanaal en de Waal zoals weergegeven in Tab. I-1. De diepte in de berekeningen is afhankelijk van de gekozen kielspeling. Een minimum kielspeling van 1,2 m is gehanteerd. Er zijn berekeningen met verschillende waarden voor de kielspeling uitgevoerd. Deze komen bij benadering overeen met de volgende situaties:

- OLR, zeer lage waterstand
- OLR + 1,7 m, verlaagde kribben stromen net over
- OLR + 4 m, kribwortels in geval van referentie en DO stromen net over.

De afmetingen van de schepen in de berekeningen zijn gegeven in Tab. I-2. Op het Pannerdensch Kanaal is een Groot Rijnschip als maatgevend schip beschouwd en op de Waal zijn zowel een Groot Rijnschip als 6-bakduwvaart meegenomen.

Tab. I-1: Afmetingen van het Pannerdensch Kanaal en de Waal.

	Pannerdensch Kanaal	Waal
Breedte bij waterspiegel	130 m	260 m
Breedte bij bodem	70 m	150 m

Tab. I-2: Relevante parameters voor de berekeningen met het Groot Rijnschip en 6-bakduwvaart.

	Groot Rijnschip	6-bakduwvaart
Breedte schip	11,4 m	22,8 m
Lengte schip	135 m	270 m
Diepte schip	3,5 m	4 m

De uitkomsten van de berekeningen in de Rock Manual zijn afhankelijk van de gekozen kielspeling, en daarmee de gekozen waterdiepte. Het blijkt dat een grotere waterdiepte resulteert in hogere scheepsgolven, doordat de schepen harder kunnen varen. De uitkomsten van de berekeningen met een kielspeling van 1,2 m zijn gegeven in Fig. I-1. De zwarte stip-streep lijnen in de bovenste figuur geven de locatie van de as van een Groot Rijnschip dat vlak langs een oever zonder kribben vaart. Voor het Pannerdensch Kanaal is dit 25,7 m (4,7 maal het talud van 1:3, wat marge, plus de halve breedte van het schip, linker zwarte lijn), voor de Waal is dit 36,7 m (rechter zwarte lijn). In de onderste figuur geeft de zwarte stip-streep lijn de resultaten waarbij de as van een 6-bakduwvaart

schip op 42,4 m van een oever zonder kribben vaart²⁴. Resultaten met drie verschillende kielspelingen (1,2, 2,9 en 5,2) zijn respectievelijk weergegeven in Tab. I-3, Tab. I-4 en Tab. I-5.

Uit de resultaten blijkt dat een Groot Rijnschip in het Pannerdensch Kanaal vergelijkbare waarden geeft vergeleken met een 6-baksduwvaart schip in de Waal. In bijna alle gevallen zijn de waarden in het Pannerdensch Kanaal wat lager. Alleen de secundaire scheepsgolven bij hogere kielspeling zijn hier een uitzondering op. Echter, wanneer wordt vergeleken met een Groot Rijnschip in de Waal zijn de waarden in het Pannerdensch Kanaal veel lager. Dit heeft te maken met het feit dat de vaarsnelheid dominant is in de berekeningen. Een Groot Rijnschip vaart op de Waal significant harder dan op het Pannerdensch Kanaal, resulterend in hogere scheepsgolven en waterspiegeldaling.

Tab. I-3: Resultaten van berekeningen met een kielspeling van 1,2 m. De waarden zijn gegeven op de locatie van de zwarte stip-streep lijnen in Fig. I-1.

	Pannerdensch Kanaal	Waal	
	Groot Rijnschip	Groot Rijnschip	6-baksduwvaart
Vaarsnelheid	2,91 m/s	3,41 m/s	3,09 m/s
Waterspiegeldaling	0,32 m	0,48 m	0,38 m
Secundaire scheepsgolven	0,11 m	0,18 m	0,11 m
Boeggolven	0,33 m	0,49 m	0,40 m
Hekgolven	0,47 m	0,71 m	0,57 m

Tab. I-4: Resultaten van berekeningen met een kielspeling van 2,9 m. De waarden zijn gegeven op de locatie van de zwarte stip-streep lijnen in Fig. I-1.

	Pannerdensch Kanaal	Waal	
	Groot Rijnschip	Groot Rijnschip	6-baksduwvaart
Vaarsnelheid	3,65 m/s	4,16 m/s	3,81 m/s
Waterspiegeldaling	0,41 m	0,63 m	0,48 m
Secundaire scheepsgolven	0,22 m	0,33 m	0,21 m
Boeggolven	0,43 m	0,65 m	0,51 m
Hekgolven	0,61 m	0,94 m	0,72 m

²⁴ De afstand kan vergroot worden om de lengte van kribben te representeren (bij vaart langs kribvakken), dit verandert de uitkomsten, maar niet de relatieve verhouding tussen Waal en Pannerdensch Kanaal.

Tab. I-5: Resultaten van berekeningen met een kielspeling van 5,2 m. De waarden zijn gegeven op de locatie van de zwarte stip-streep lijnen in Fig. I-1.

	Pannerdensch Kanaal	Waal	
	Groot Rijnschip	Groot Rijnschip	6-baksduwvaart
Vaarsnelheid	4,1 m/s ²⁵	5,04 m/s	4,65 m/s
Waterspiegeldaling	0,40 m	0,84 m	0,61 m
Secundaire scheepsgolven	0,28 m	0,57 m	0,38 m
Boeggolven	0,43 m	0,87 m	0,65 m
Hekgolven	0,61 m	1,26 m	0,92 m

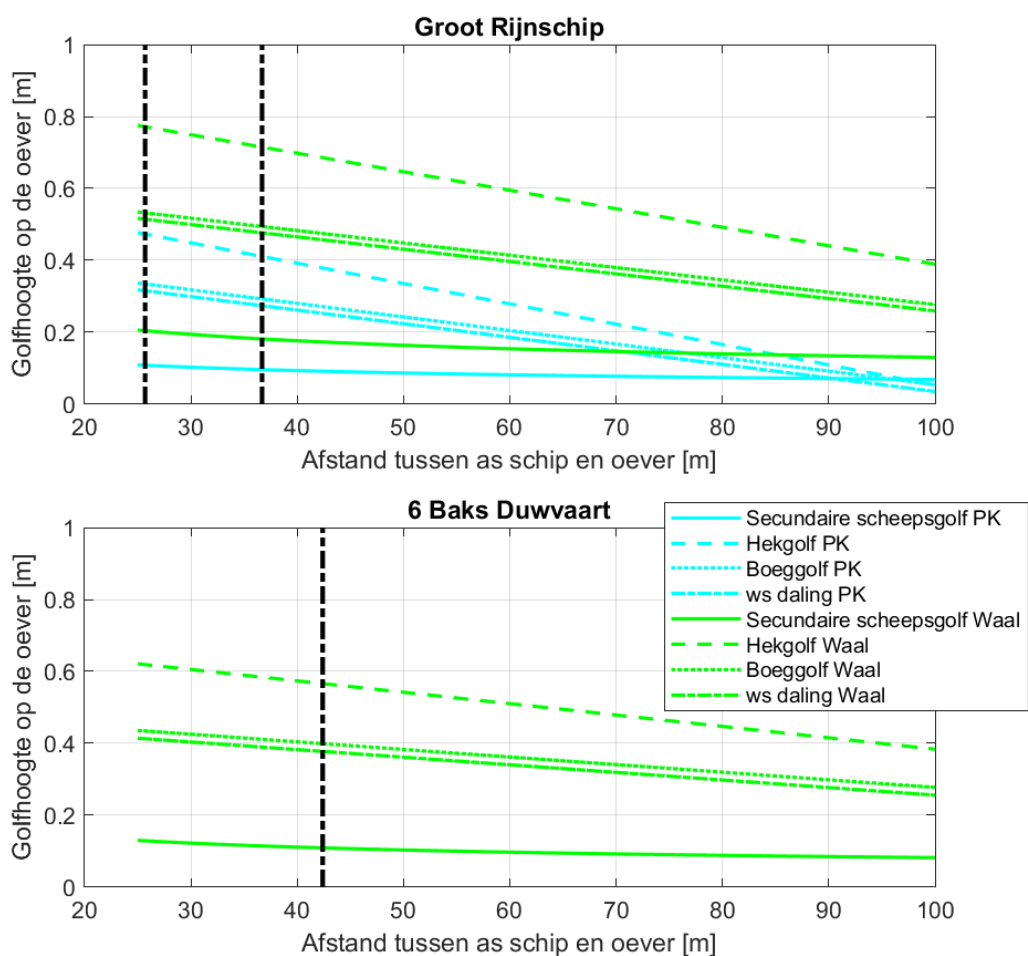


Fig. I-1: Resultaten van de berekeningen van de waterspiegeldaling, secundaire scheepsgolven, boeggolven en hekgolven voor zowel een Groot Rijnschip als een 6-baksduwvaart schip in het Pannerdensch Kanaal en de Waal. In de berekeningen is uitgegaan van een kielspeling van 1,2 m.

²⁵ 5,2 m kielspeling treedt op bij waterstanden > 11,7m+NAP (rondom rkm 870). Dit is een hoogwatersituatie die gemiddeld minder dan 10 dagen per optreedt. Bij deze waterstanden wordt door de beroepsvaart nooit op maximale snelheid gevaren. Het Pannerdensch Kanaal is daarvoor te smal. Ervaring van de beheerder is dat bij dergelijke afvoeren de vaarsnelheid niet boven de 15 km/h = 4,1 m/s uitkomt. De vaarsnelheid is dan in de berekening dan ook gelimiteerd op 4,1 m/s.

J

FIGUREN VAN STROOMBEELD IN UITERWAARD

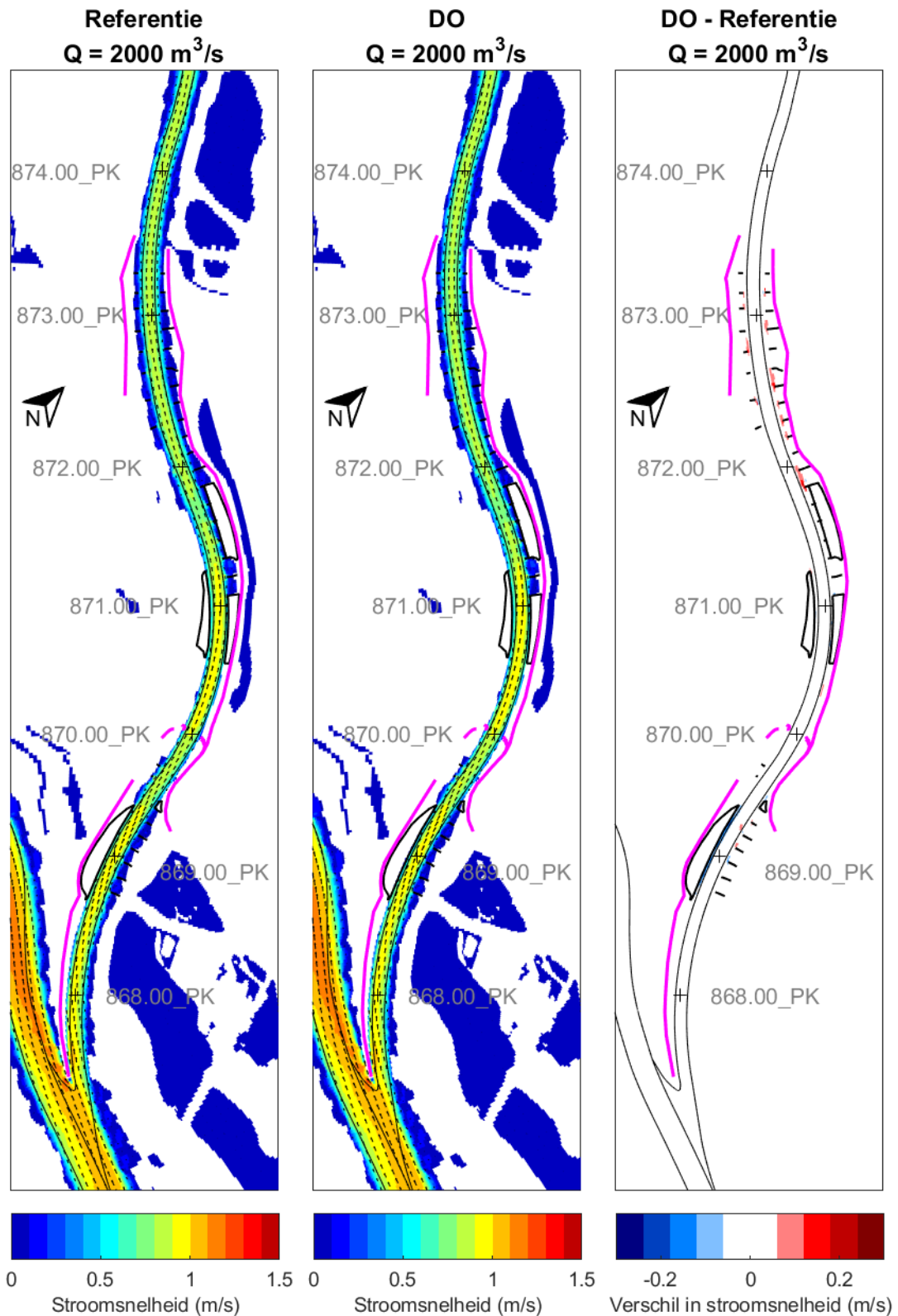


Fig. J-1: Stroombeeld in de uiterwaarden van het Pannerdensch Kanaal bij een afvoer van $2000 \text{ m}^3/\text{s}$ in WAQUA. De linker figuur weergeeft het beeld van de referentiesituatie, de middelste figuur laat het beeld zien in geval van de ingreep en de rechter figuur bevat het verschil tussen de twee. De magenta lijnen representeren de leikades.

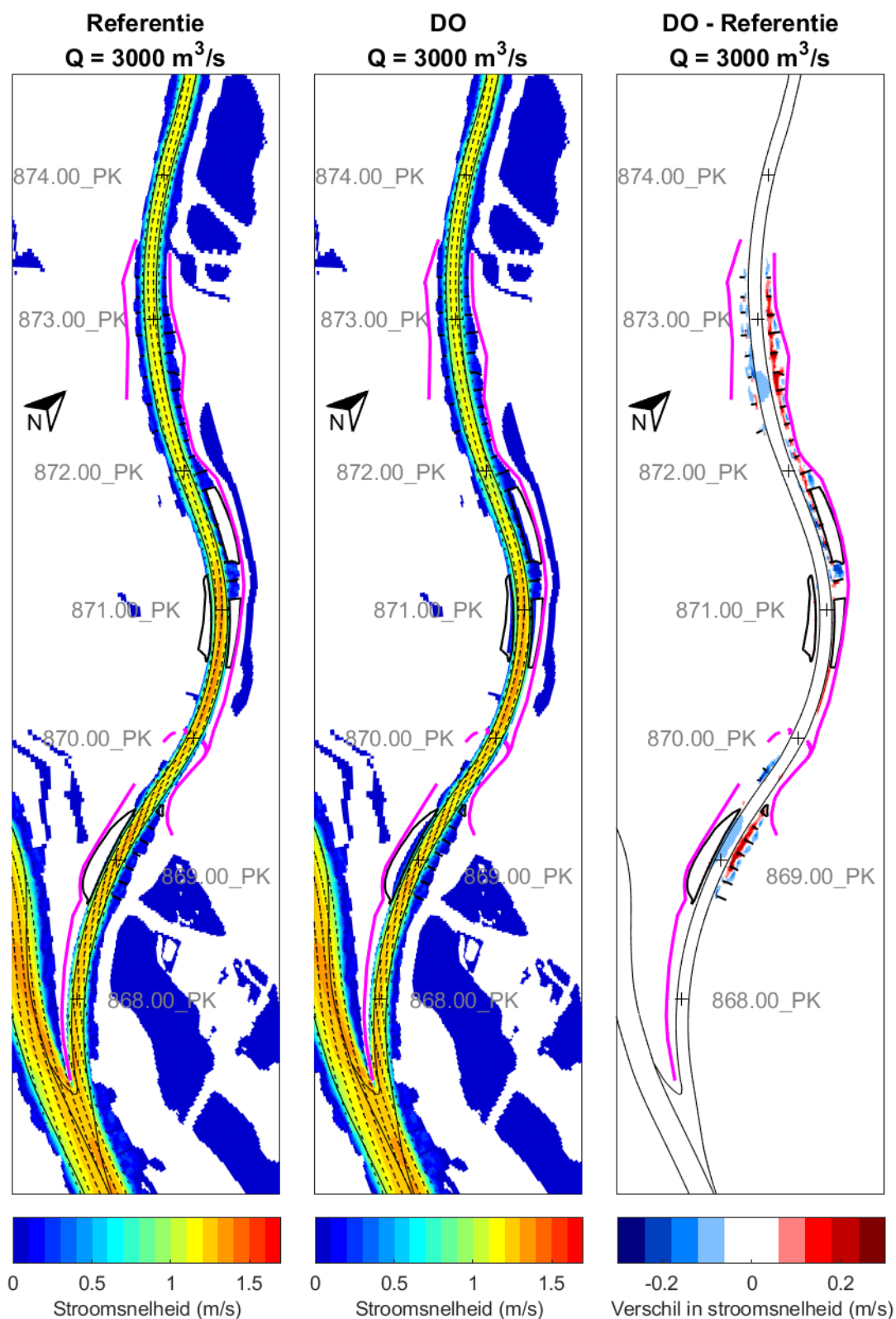


Fig. J-2: Stroombeeld in de uiterwaarden van het Pannerdensch Kanaal bij een afvoer van $3000 \text{ m}^3/\text{s}$ in WAQUA. De linker figuur weergeeft het beeld van de referentiesituatie, de middelste figuur laat het beeld zien in geval van de ingreep en de rechter figuur bevat het verschil tussen de twee. De magenta lijnen representeren de leikades.

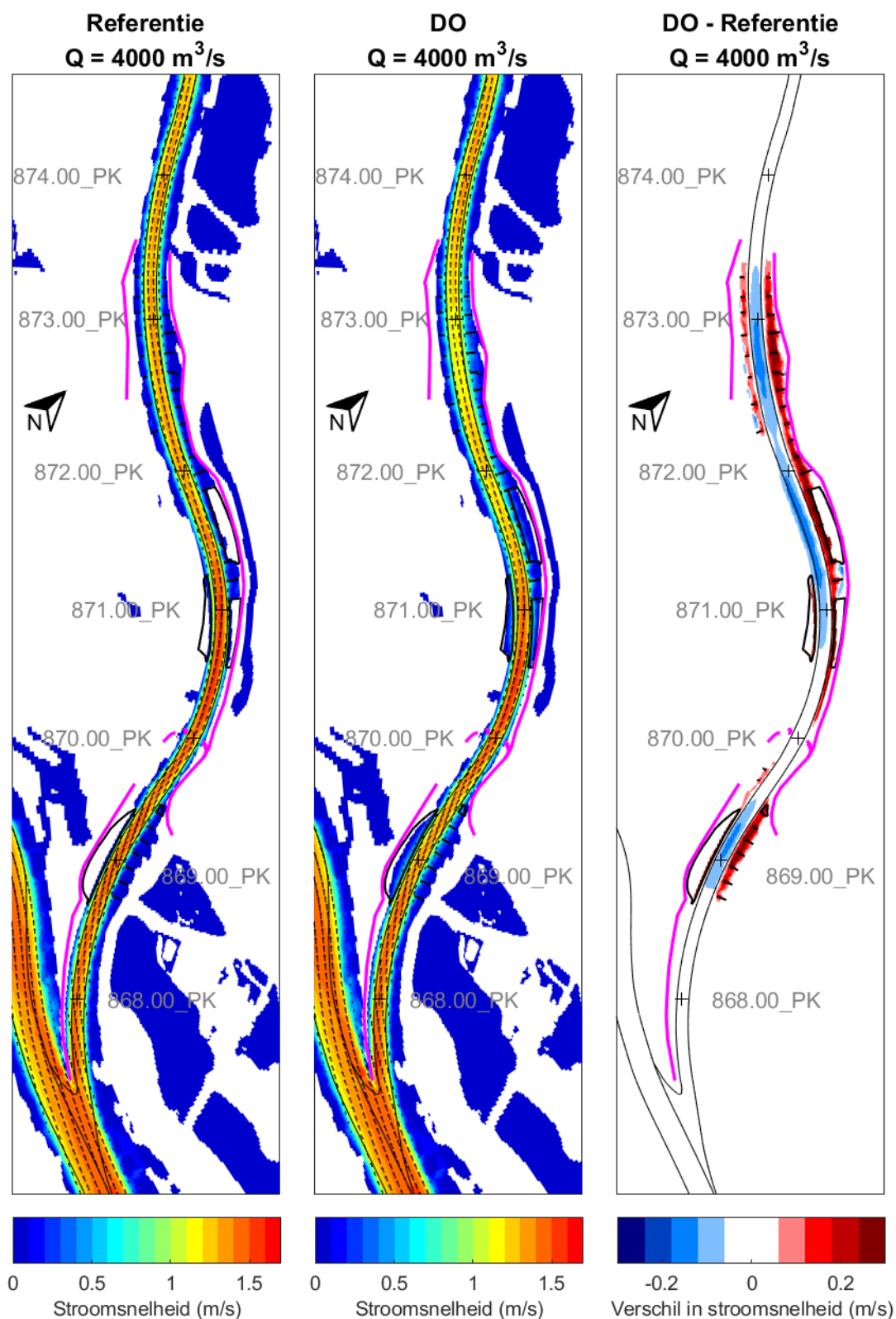


Fig. J-3: Stroombeeld in de uiterwaarden van het Pannerdensch Kanaal bij een afvoer van 4000 m³/s in WAQUA. De linker figuur weergeeft het beeld van de referentiesituatie, de middelste figuur laat het beeld zien in geval van de ingreep en de rechter figuur bevat het verschil tussen de twee. De magenta lijnen representeren de leikades.

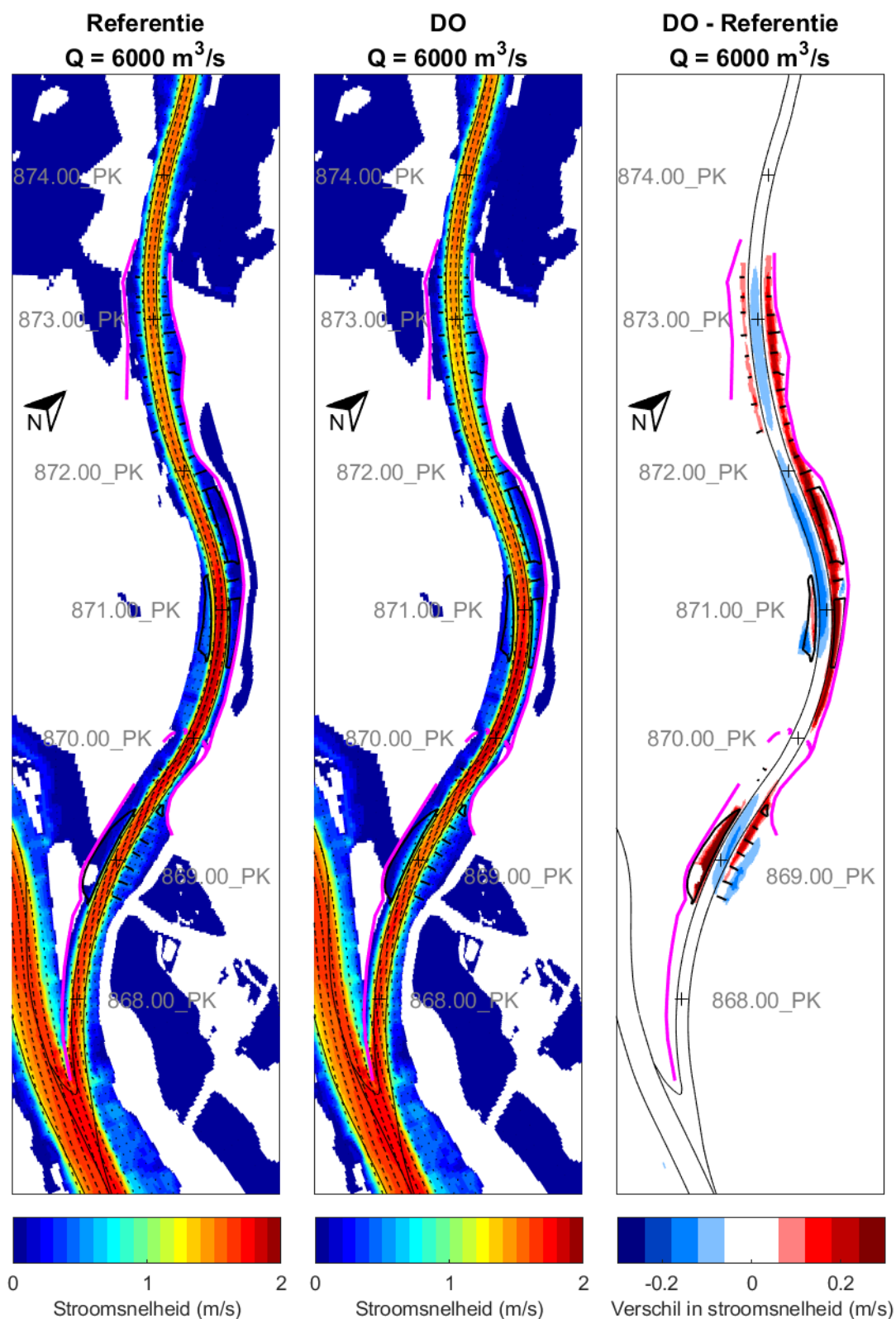


Fig. J-4: Stroombeeld in de uiterwaarden van het Pannerdensch Kanaal bij een afvoer van $6000 \text{ m}^3/\text{s}$ in WAQUA. De linker figuur weergeeft het beeld van de referentiesituatie, de middelste figuur laat het beeld zien in geval van de ingreep en de rechter figuur bevat het verschil tussen de twee. De magenta lijnen representeren de leikades.

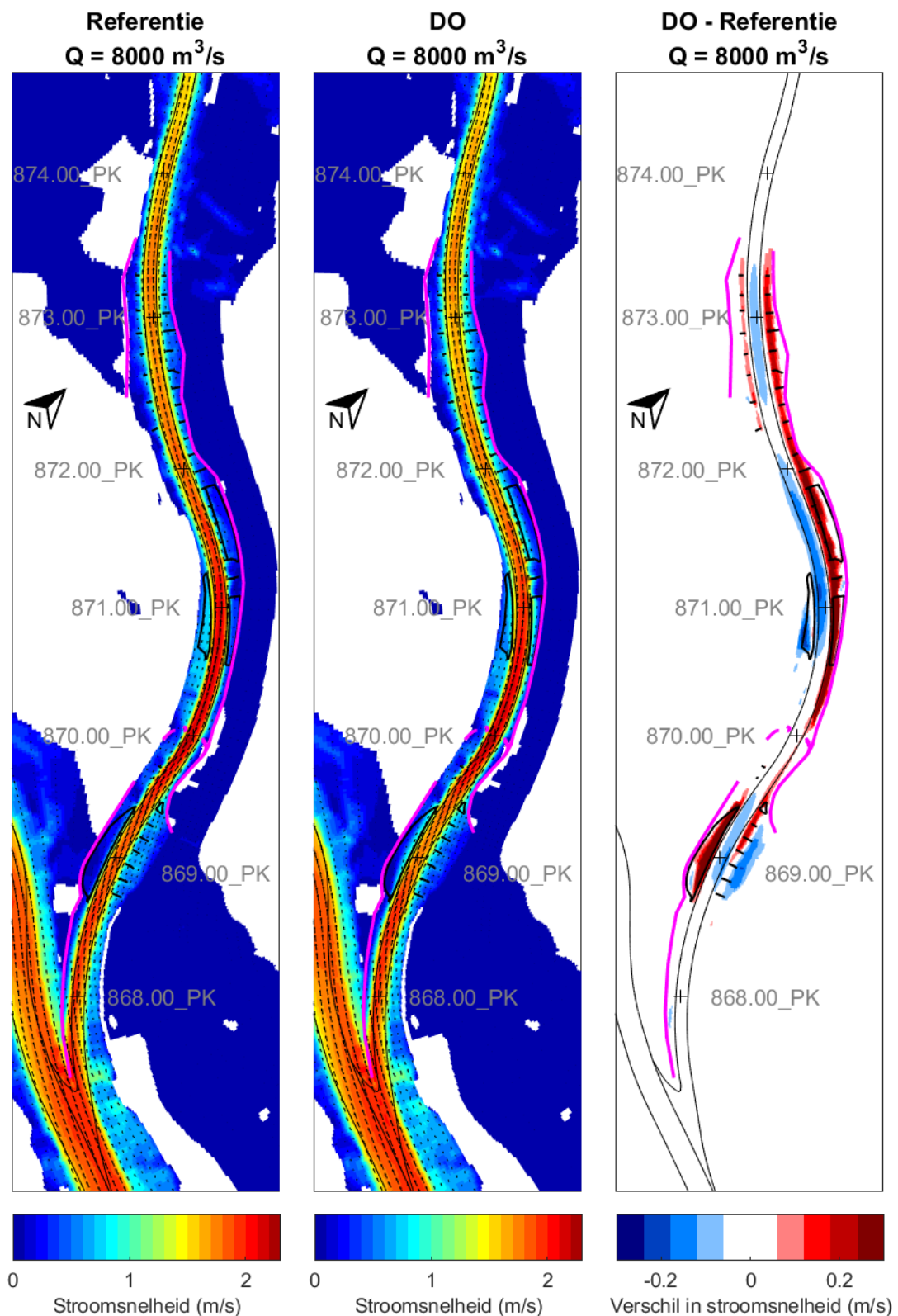


Fig. J-5: Stroombeeld in de uiterwaarden van het Pannerdensch Kanaal bij een afvoer van $8000 \text{ m}^3/\text{s}$ in WAQUA. De linker figuur weergeeft het beeld van de referentiesituatie, de middelste figuur laat het beeld zien in geval van de ingreep en de rechter figuur bevat het verschil tussen de twee. De magenta lijnen representeren de leikades.

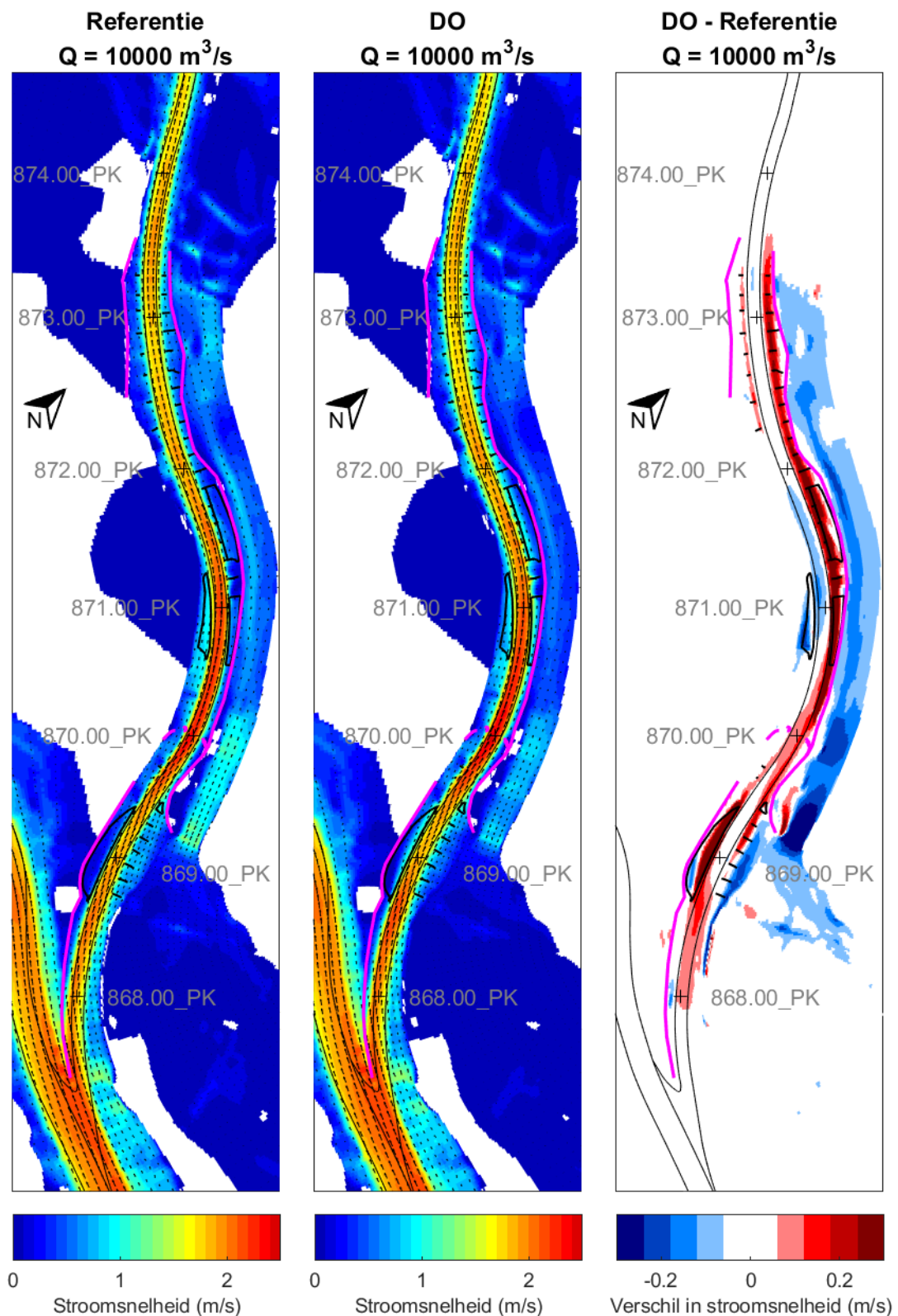


Fig. J-6: Stroombeeld in de uiterwaarden van het Pannerdensch Kanaal bij een afvoer van 10000 m³/s in WAQUA. De linker figuur weergeeft het beeld van de referentiesituatie, de middelste figuur laat het beeld zien in geval van de ingreep en de rechter figuur bevat het verschil tussen de twee. De magenta lijnen representeren de leikades.

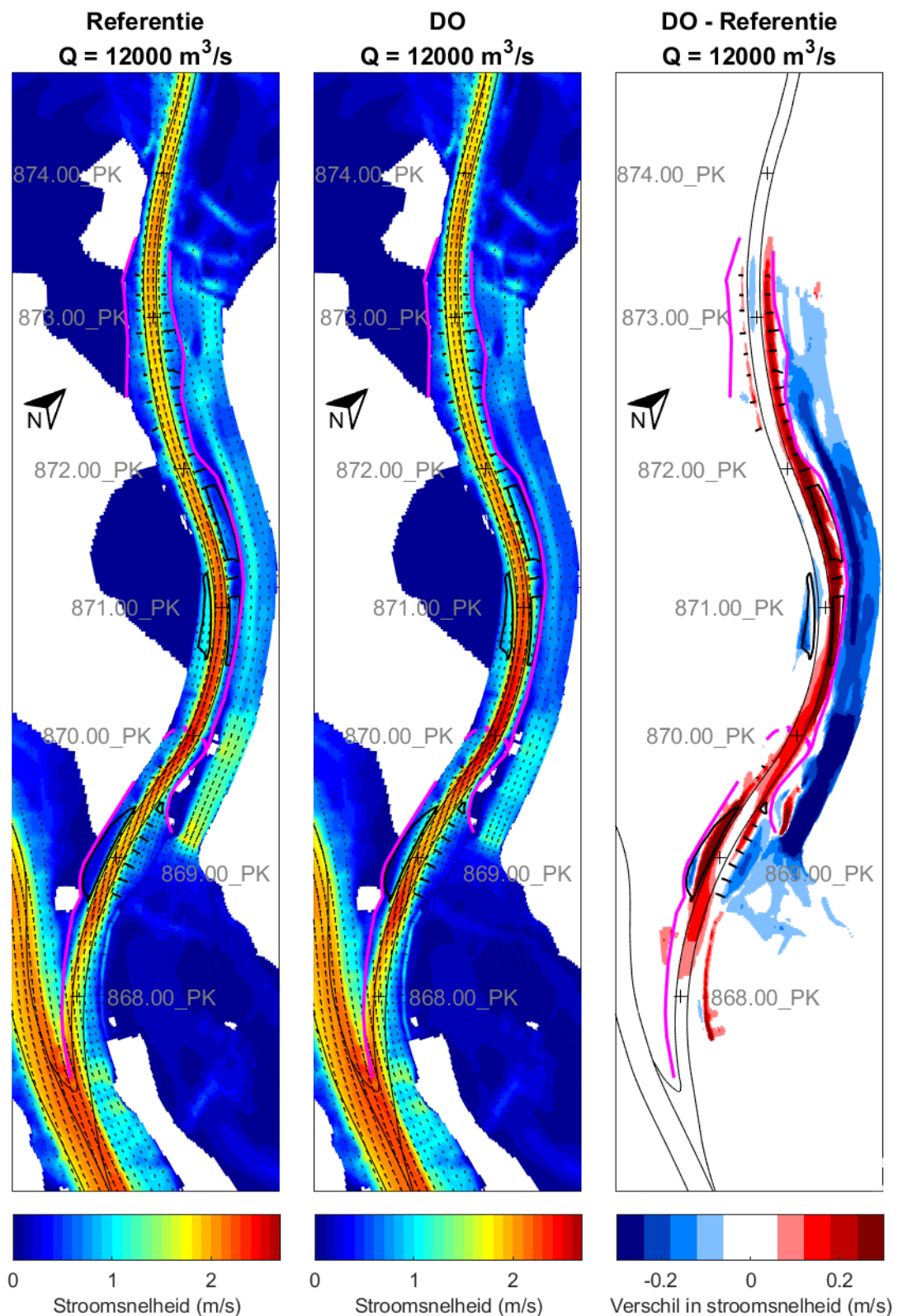


Fig. J-7: Stroombeeld in de uiterwaarden van het Pannerdensch Kanaal bij een afvoer van $12000 \text{ m}^3/\text{s}$ in WAQUA. De linker figuur weergeeft het beeld van de referentiesituatie, de middelste figuur laat het beeld zien in geval van de ingreep en de rechter figuur bevat het verschil tussen de twee. De magenta lijnen representeren de leikades.

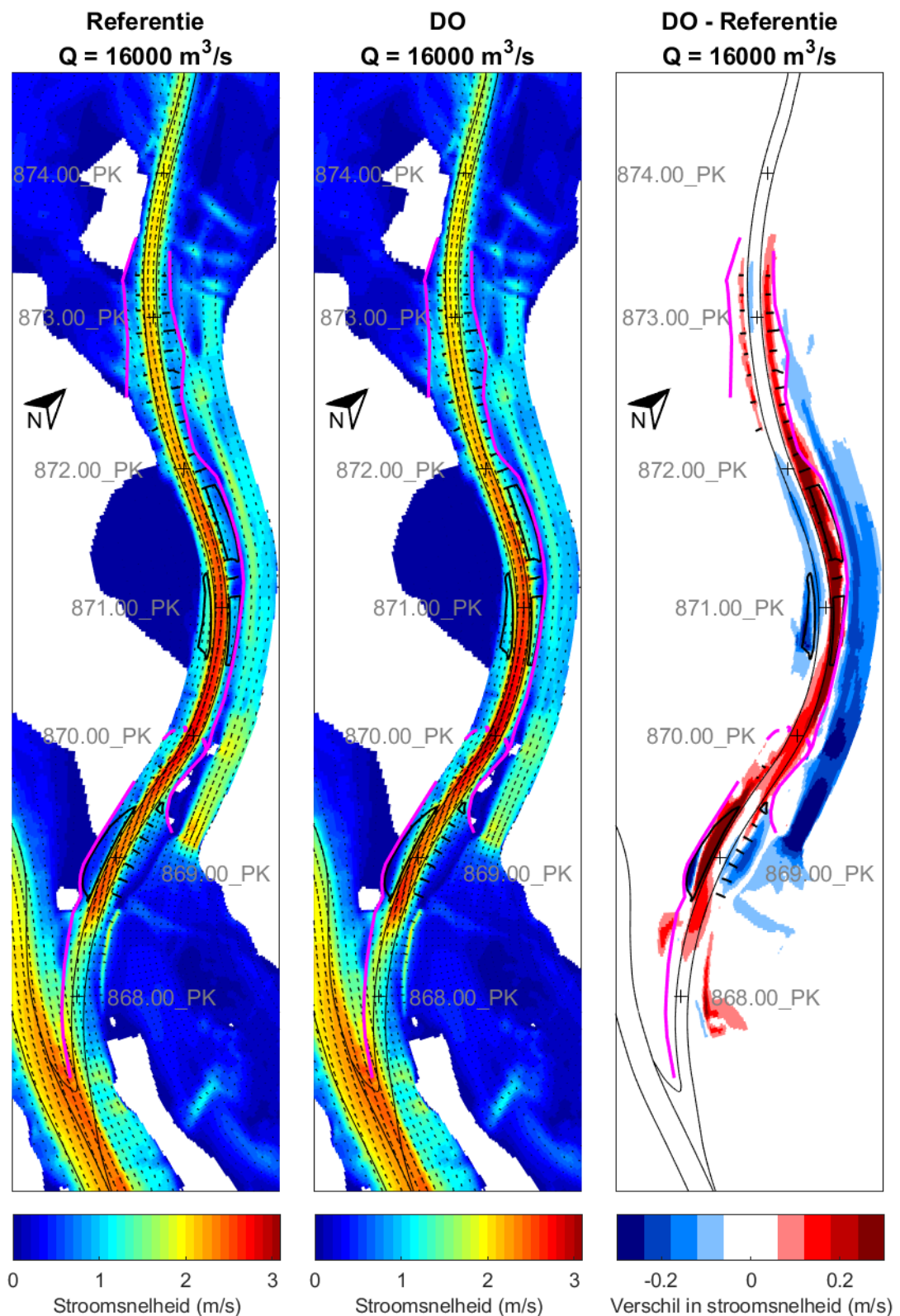


Fig. J-8: Stroombeeld in de uiterwaarden van het Pannerdensch Kanaal bij een afvoer van 16000 m³/s in WAQUA. De linker figuur weergeeft het beeld van de referentiesituatie, de middelste figuur laat het beeld zien in geval van de ingreep en de rechter figuur bevat het verschil tussen de twee. De magenta lijnen representeren de leikades.

J.1

Ingezoomde stroombeelden rond het Regelwerk Pannerden

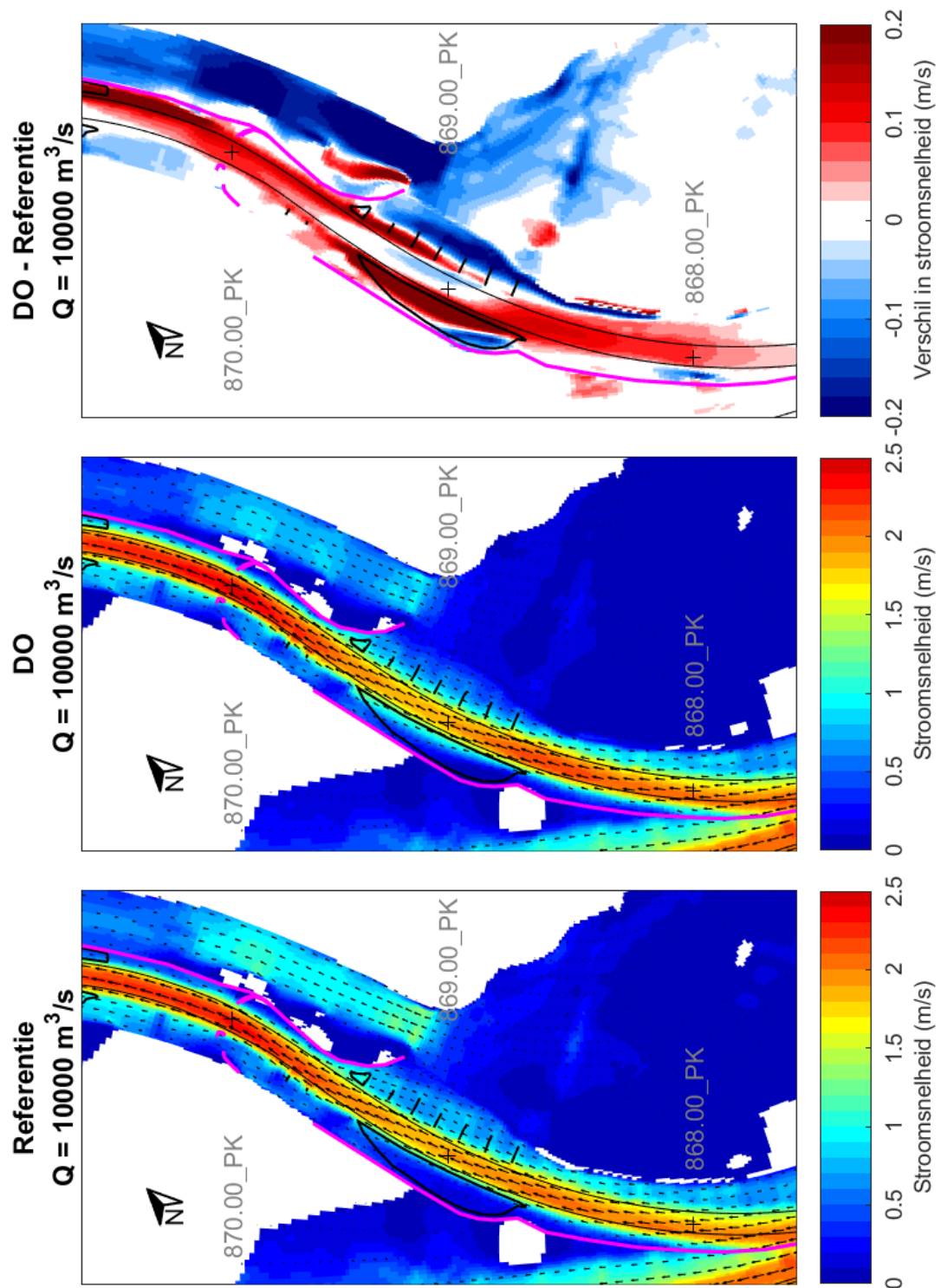


Fig. J-9: Zoom van het stroombeeld rondom het regelwerk Pannerden bij een afvoer van $10000 \text{ m}^3/\text{s}$ in WAQUA. De onderste figuur weergeeft het beeld van de referentiesituatie, de middelste figuur laat het beeld zien in geval van de ingreep en de bovenste figuur bevat het verschil tussen de twee. De magenta lijnen representeren de leikades.

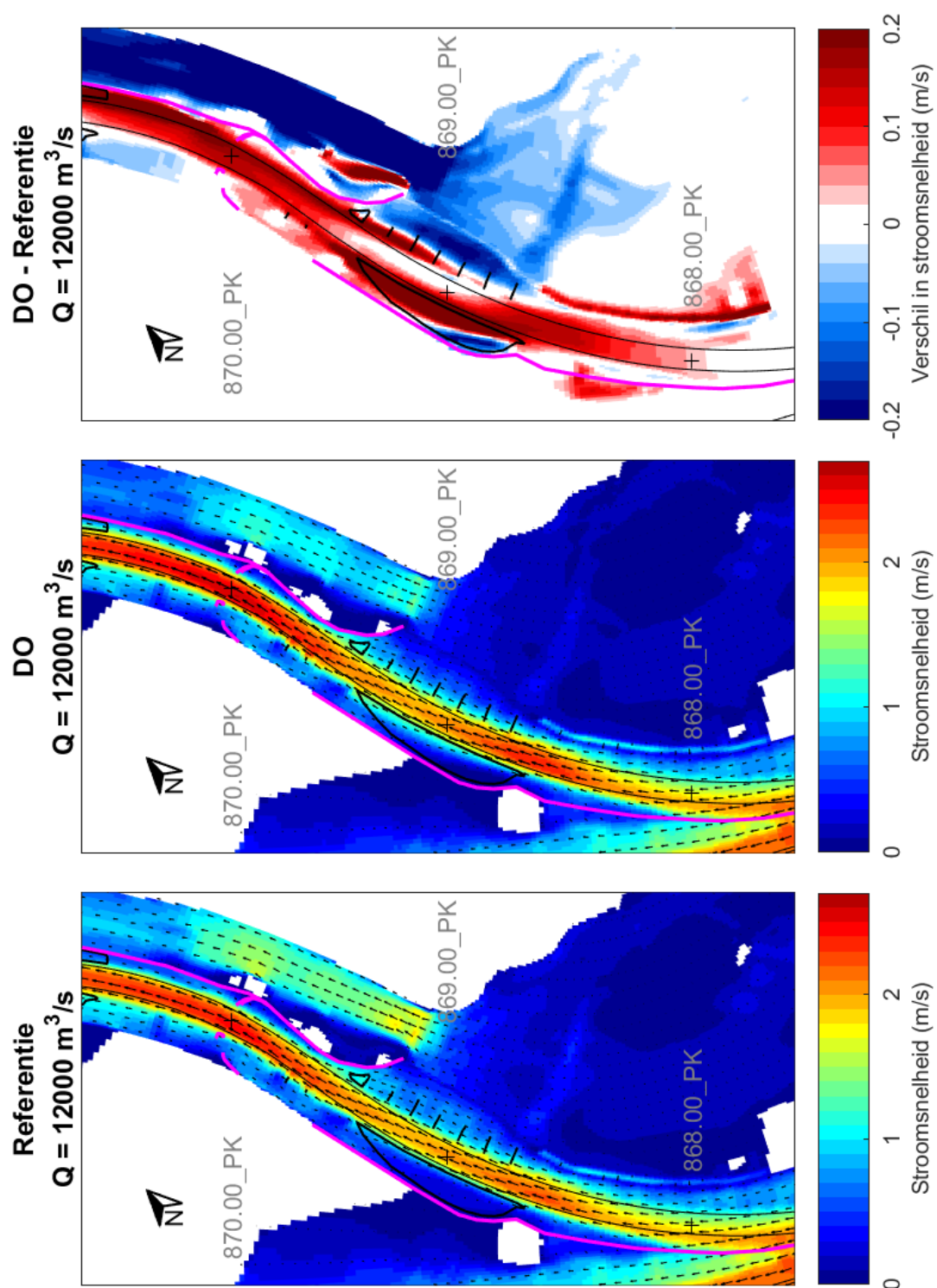


Fig. J-10: Zoom van het stroombeeld rondom het regelwerk Pannerden bij een afvoer van $12000 \text{ m}^3/\text{s}$ in WAQUA. De onderste figuur weergeeft het beeld van de referentiesituatie, de middelste figuur laat het beeld zien in geval van de ingreep en de bovenste figuur bevat het verschil tussen de twee. De magenta lijnen representeren de leikades.

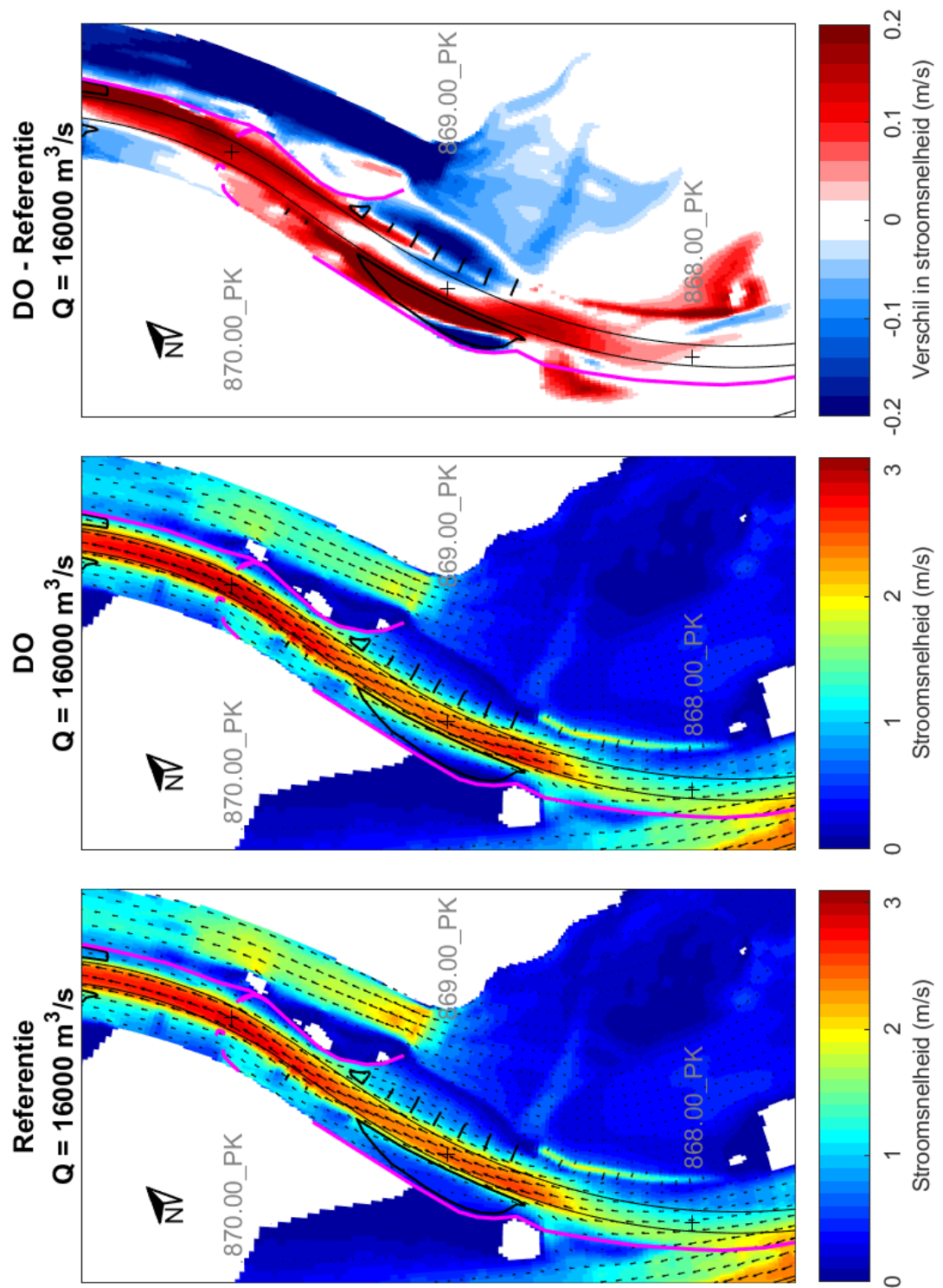


Fig. J-11: Zoom van het stroombeeld rondom het regelwerk Pannerden bij een afvoer van 16000 m³/s in WAQUA. De onderste figuur weergeeft het beeld van de referentiesituatie, de middelste figuur laat het beeld zien in geval van de ingreep en de bovenste figuur bevat het verschil tussen de twee. De magenta lijnen representeren de leikades.

K

FIGUREN VAN DWARSSTROMING

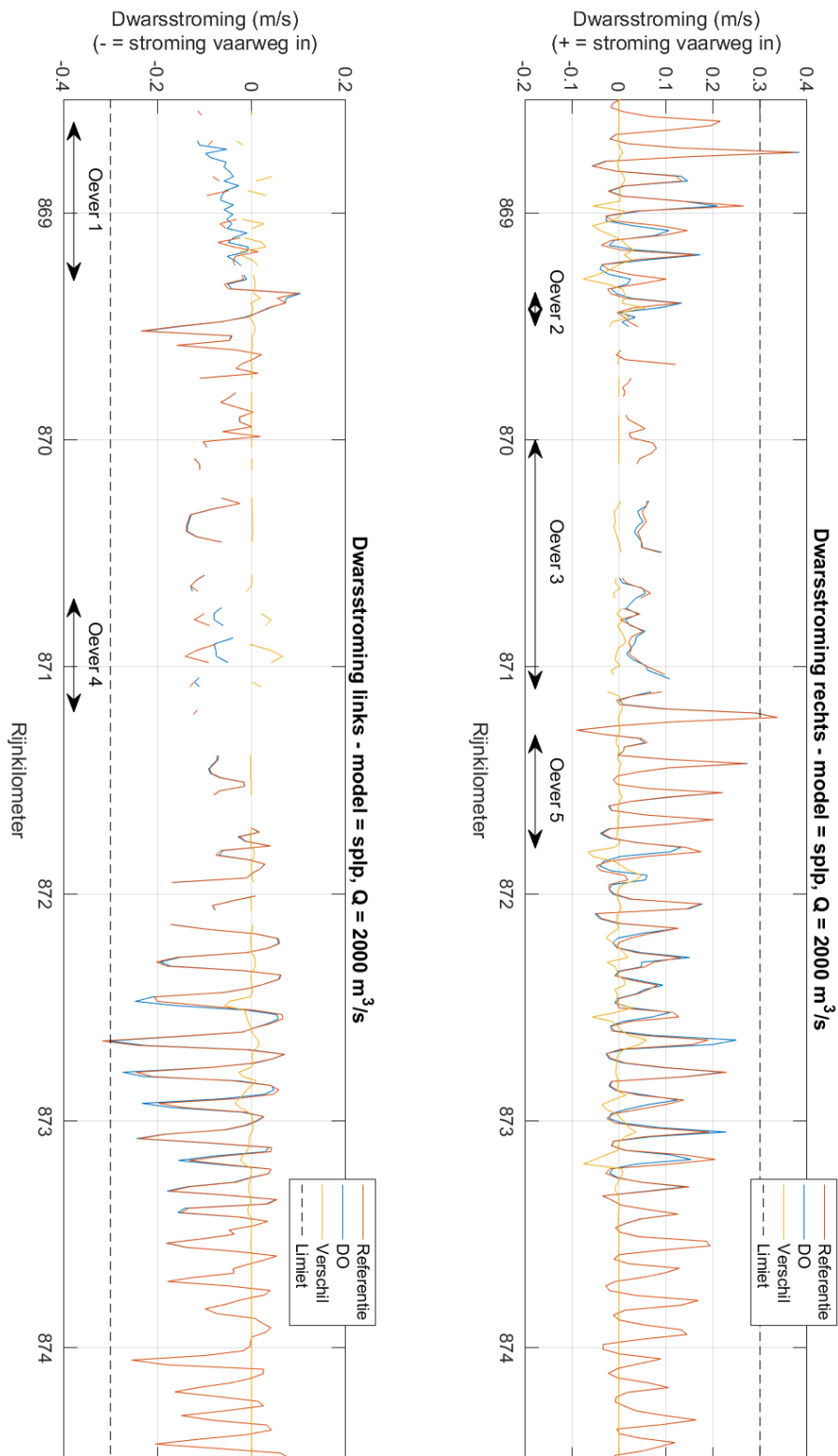


Fig. K-1: Dwarsstroming op de bakenlijn aan zowel de linker- als de rechterkant van de vaarweg bij een afvoer van $2000 \text{ m}^3/\text{s}$ in WAQUA. Zowel de referentiesituatie (rood), de situatie met de ingreep (blauw) en het verschil tussen beiden (geel) zijn opgenomen in de figuur. De zwarte stippellijn weergeeft de norm ($0,3 \text{ m/s}$) voor dwarsstroming.

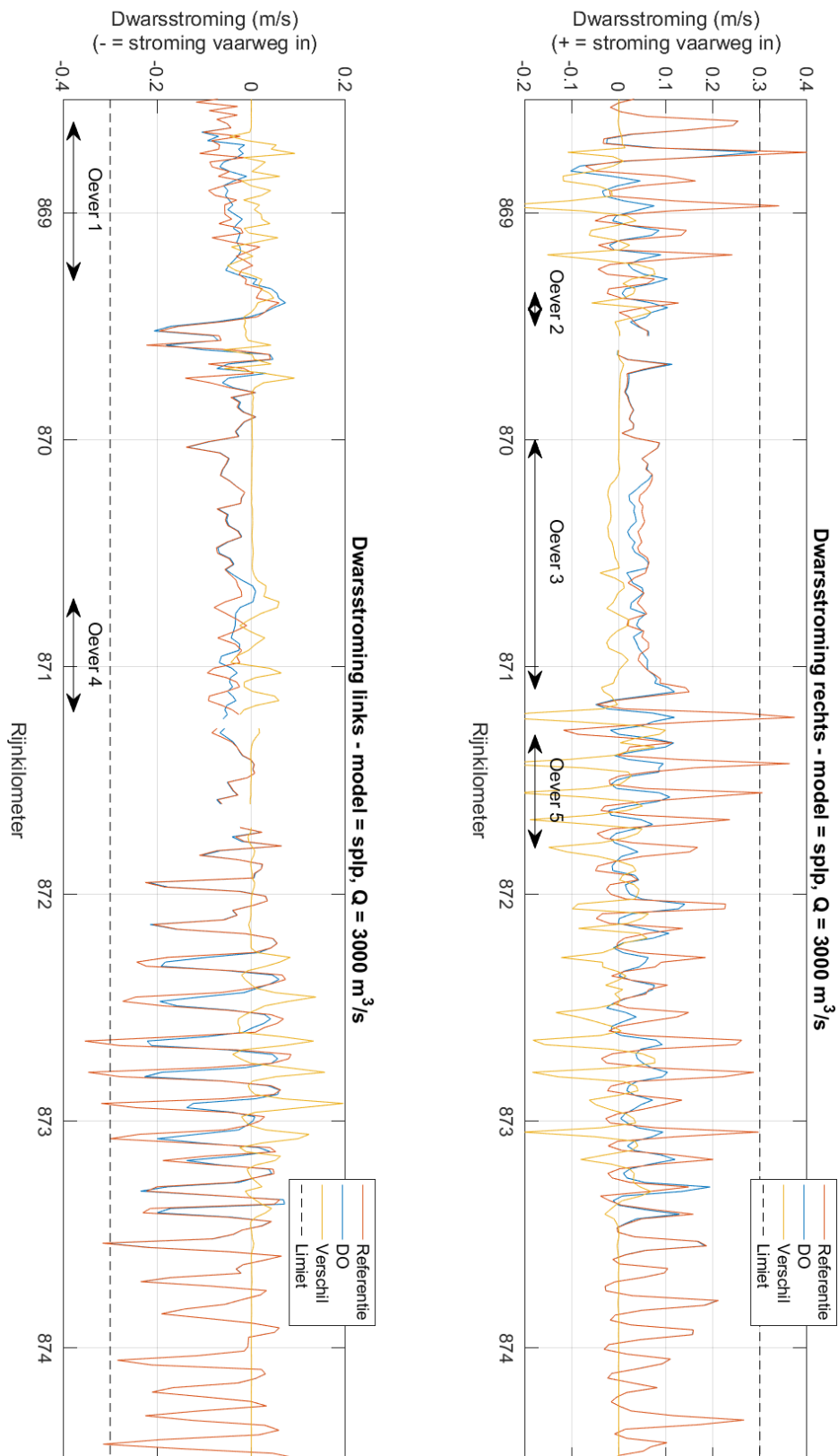


Fig. K-2: Dwarsstroming op de bakenlijn aan zowel de linker- als de rechterkant van de vaarweg bij een afvoer van $3000 \text{ m}^3/\text{s}$ in WAQUA. Zowel de referentiesituatie (rood), de situatie met de ingreep (blauw) en het verschil tussen beiden (geel) zijn opgenomen in de figuur. De zwarte stippellijn weergeeft de norm ($0,3 \text{ m/s}$) voor dwarsstroming.

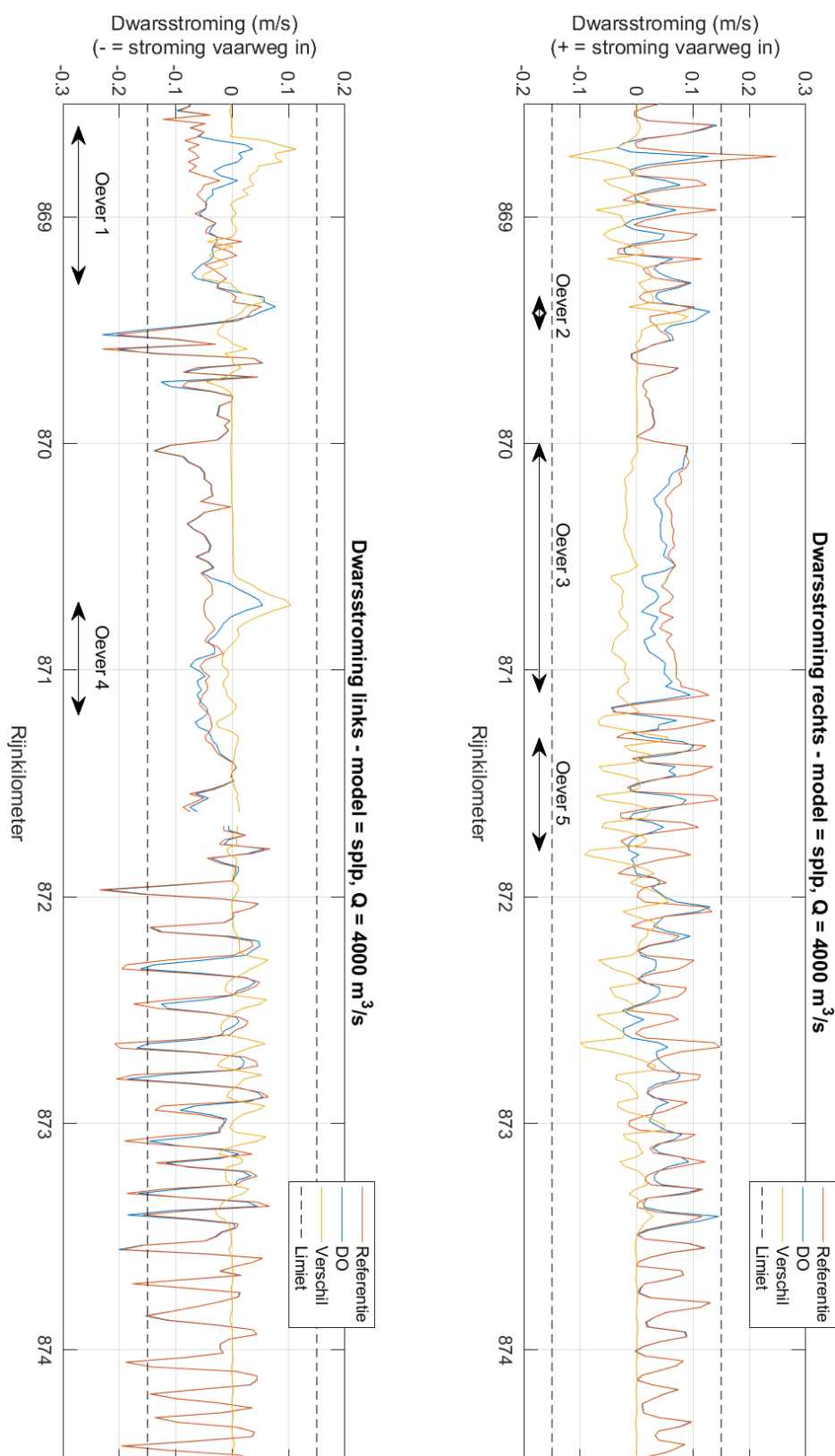


Fig. K-3: Dwarsstroming op de bakenlijn aan zowel de linker- als de rechterkant van de vaarweg bij een afvoer van $4000 \text{ m}^3/\text{s}$ in WAQUA. Zowel de referentiesituatie (rood), de situatie met de ingreep (blauw) en het verschil tussen beiden (geel) zijn opgenomen in de figuur. De zwarte stippellijn weergeeft de norm ($0,15 \text{ m/s}$) voor dwarsstroming.

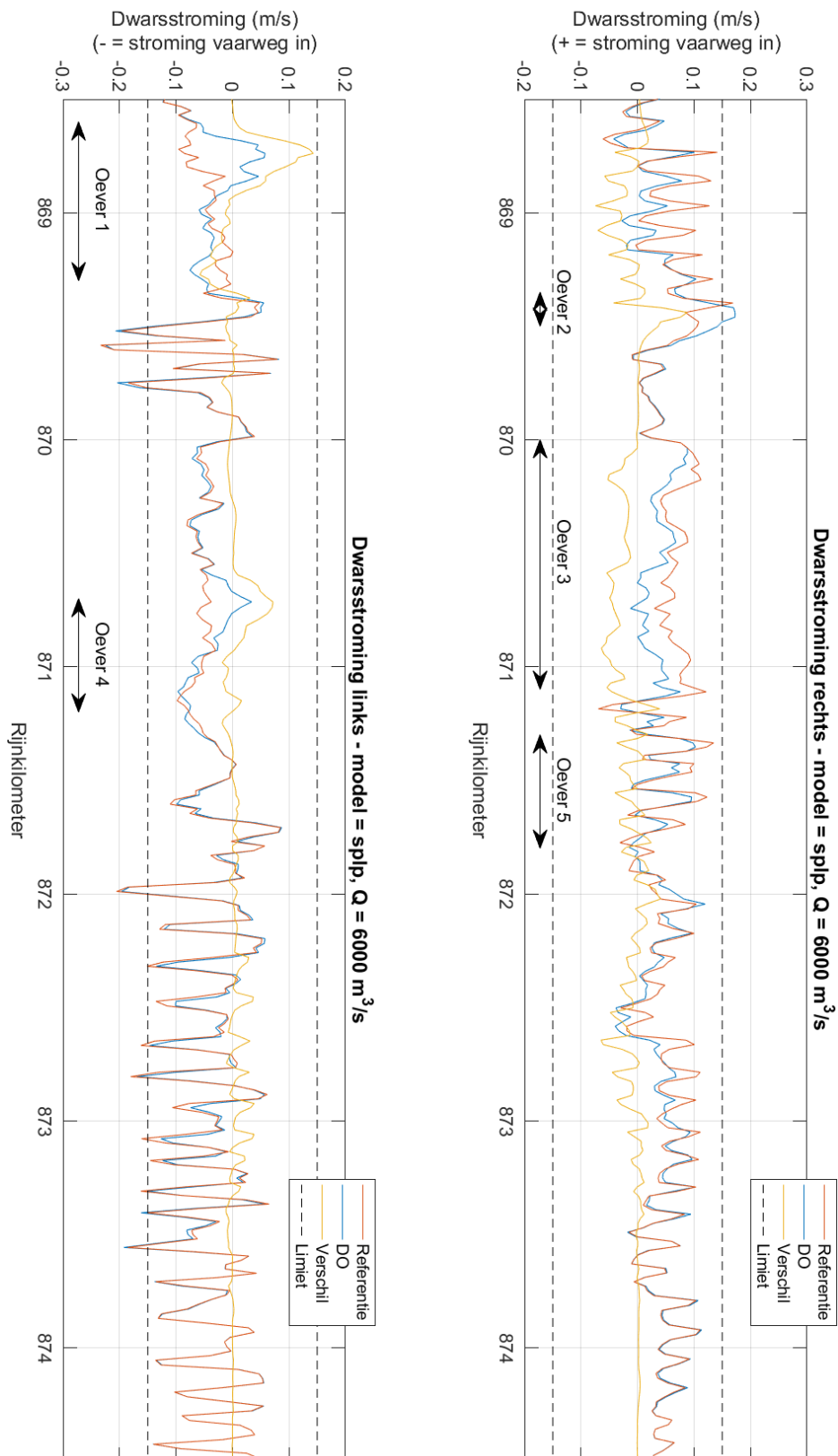


Fig. K-4: Dwarsstroming op de bakenlijn aan zowel de linker- als de rechterkant van de vaarweg bij een afvoer van $6000 \text{ m}^3/\text{s}$ in WAQUA. Zowel de referentiesituatie (rood), de situatie met de ingreep (blauw) en het verschil tussen beiden (geel) zijn opgenomen in de figuur. De zwarte stippellijn weergeeft de norm ($0,15 \text{ m/s}$) voor dwarsstroming.

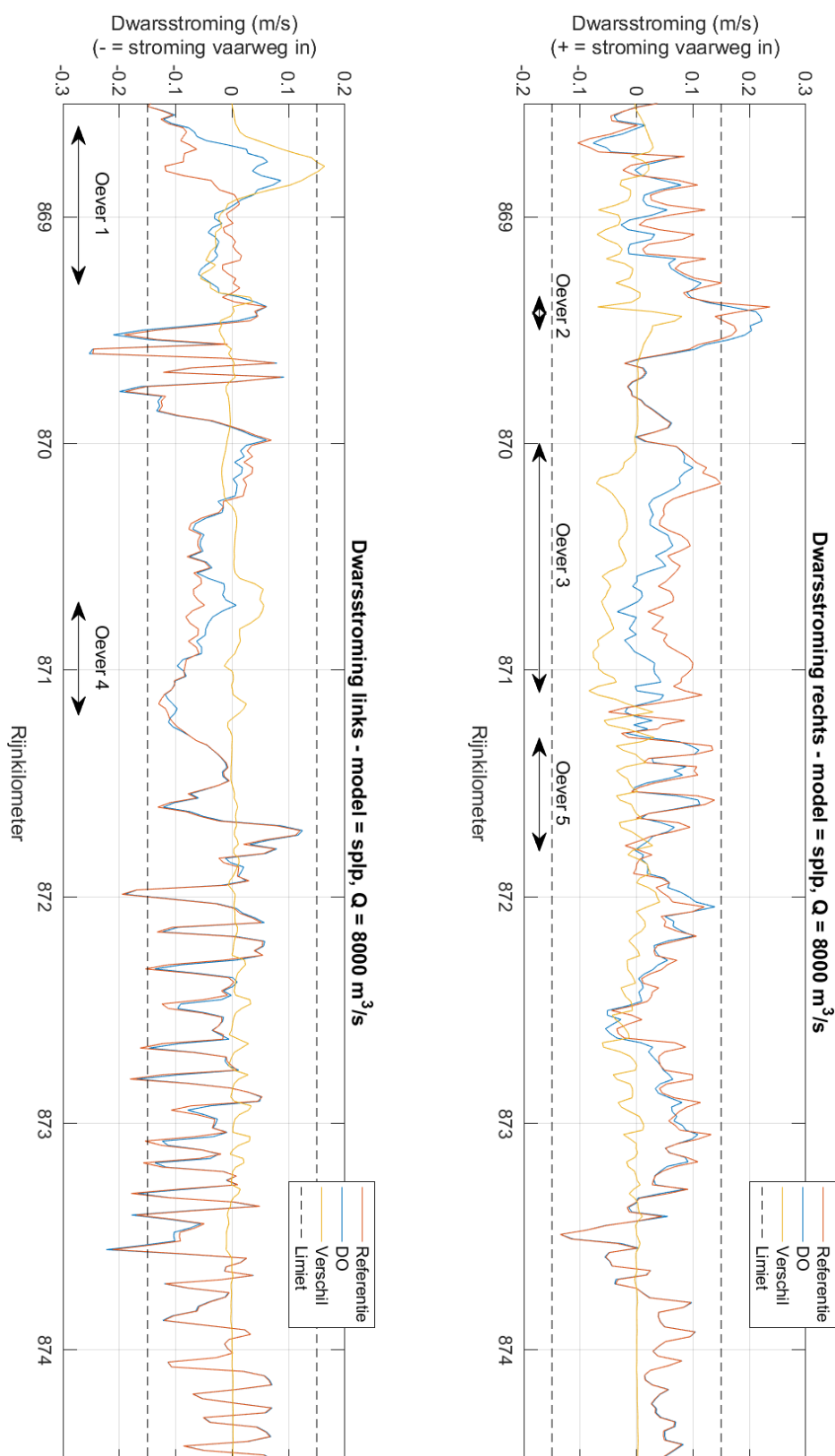


Fig. K-5: Dwarsstroming op de bakenlijn aan zowel de linker- als de rechterkant van de vaarweg bij een afvoer van $8000 \text{ m}^3/\text{s}$ in WAQUA. Zowel de referentiesituatie (rood), de situatie met de ingreep (blauw) en het verschil tussen beiden (geel) zijn opgenomen in de figuur. De zwarte stippellijn weergeeft de norm ($0,15 \text{ m/s}$) voor dwarsstroming.

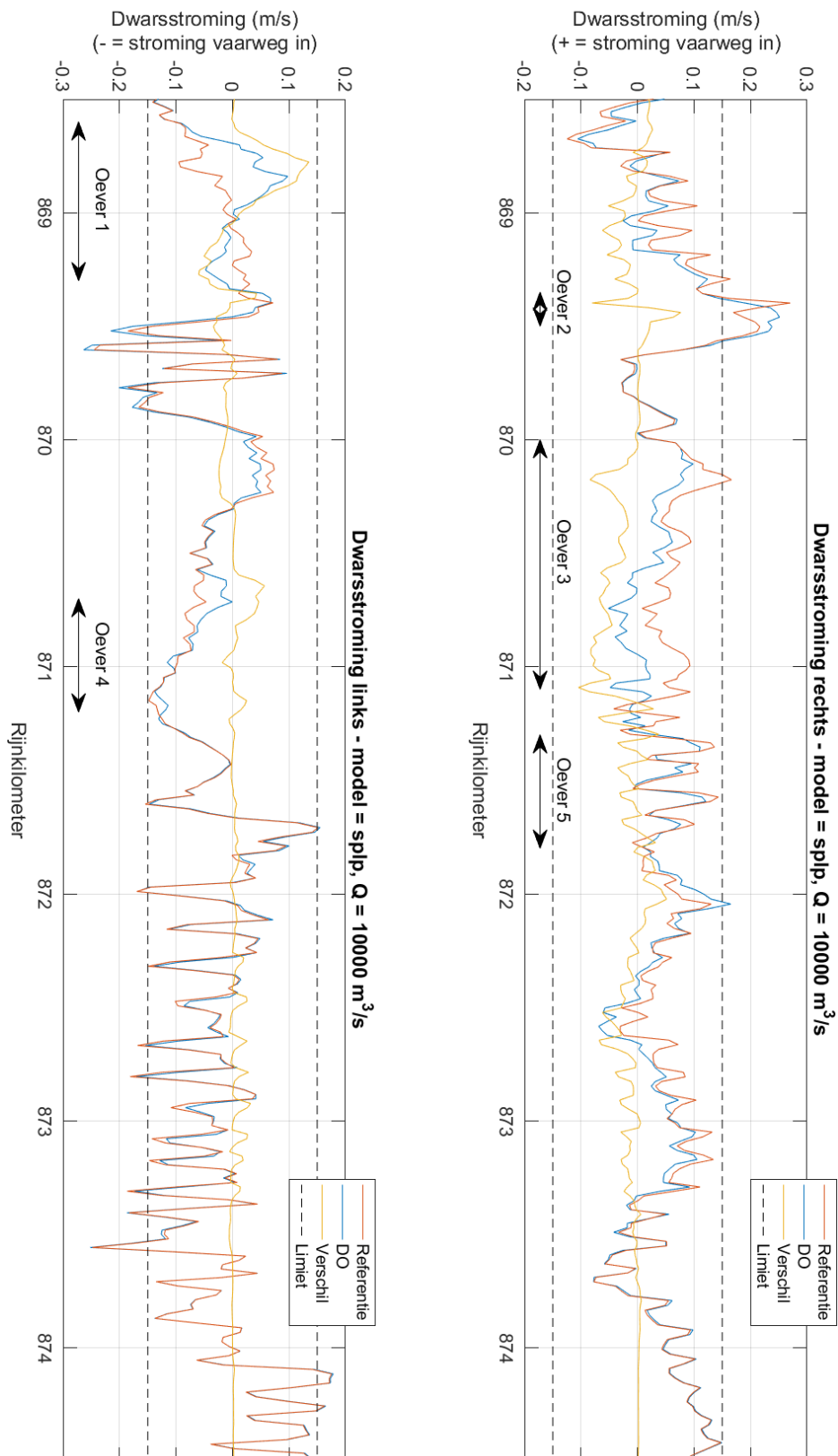


Fig. K-6: Dwarsstroming op de bakenlijn aan zowel de linker- als de rechterkant van de vaarweg bij een afvoer van 10000 m³/s in WAQUA. Zowel de referentiesituatie (rood), de situatie met de ingreep (blauw) en het verschil tussen beiden (geel) zijn opgenomen in de figuur. De zwarte stippellijn weergeeft de norm (0,15 m/s) voor dwarsstroming.

L

**FIGUREN VAN STROOMBEELD EN WATERSTAND IN VAARWEG NEDERLANDS-DUITSE
GRENSREGIO BIJ LAGE EN MEDIANE BOVEN-RIJN AFVOEREN**

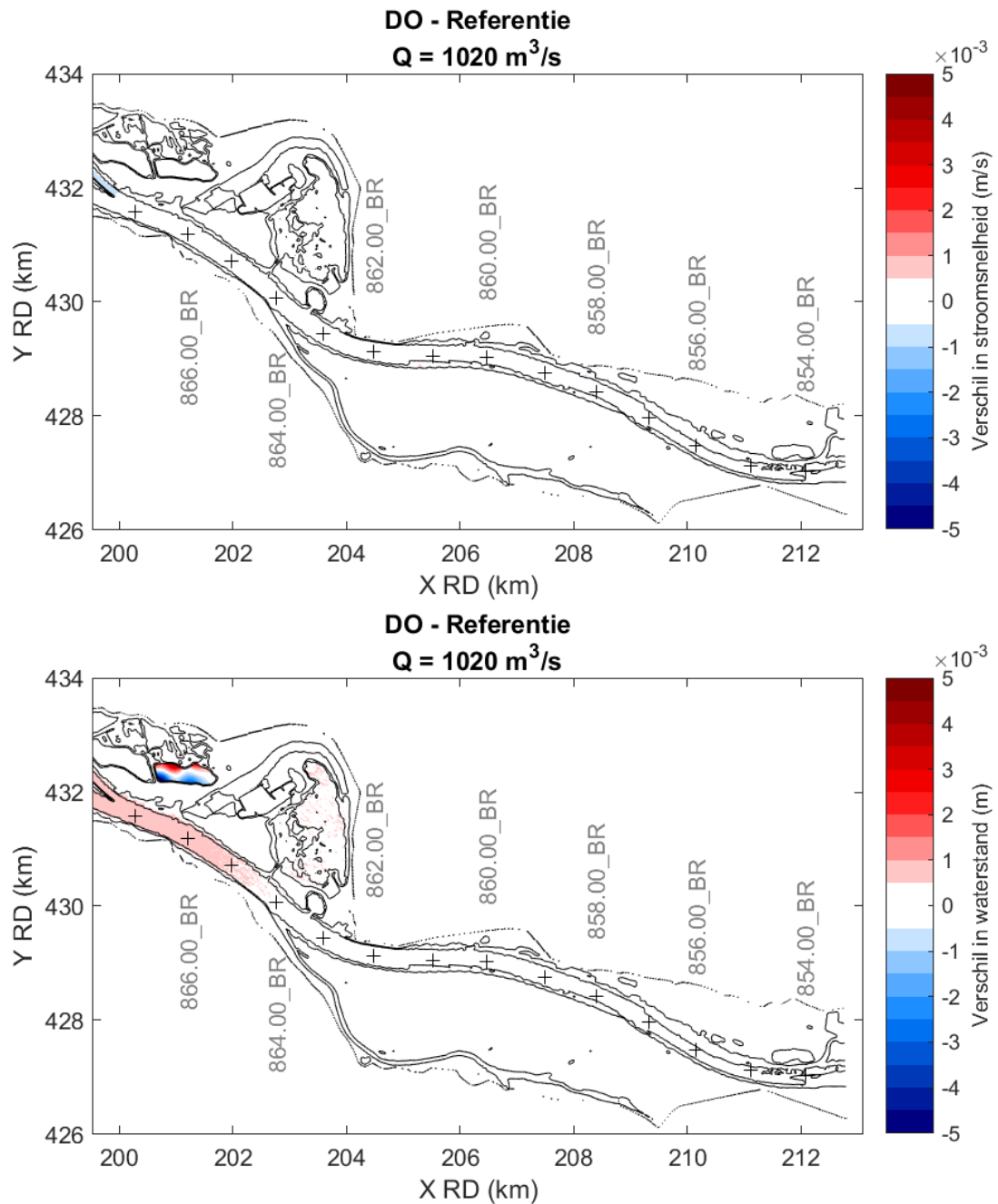


Fig. L-1: Effect van de ingreep op de stroomsnelheid en waterstand in de Duitse Rijn, t.o.v. de referentiesituatie bij een afvoer van 1020 m³/s in WAQUA.

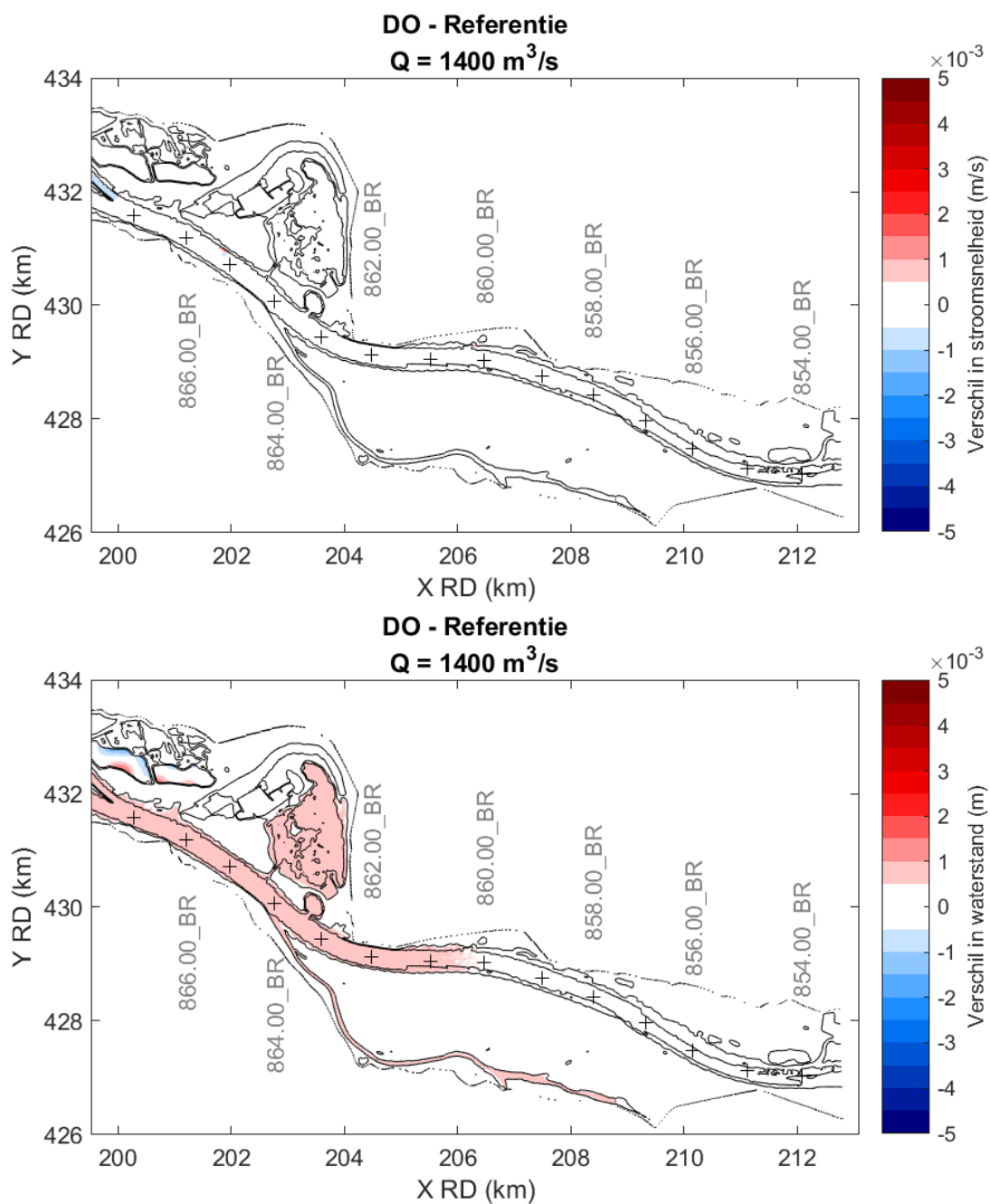


Fig. L-2: Effect van de ingreep op de stroomsnelheid en waterstand in de Duitse Rijn, t.o.v. de referentiesituatie bij een afvoer van 1400 m³/s in WAQUA.

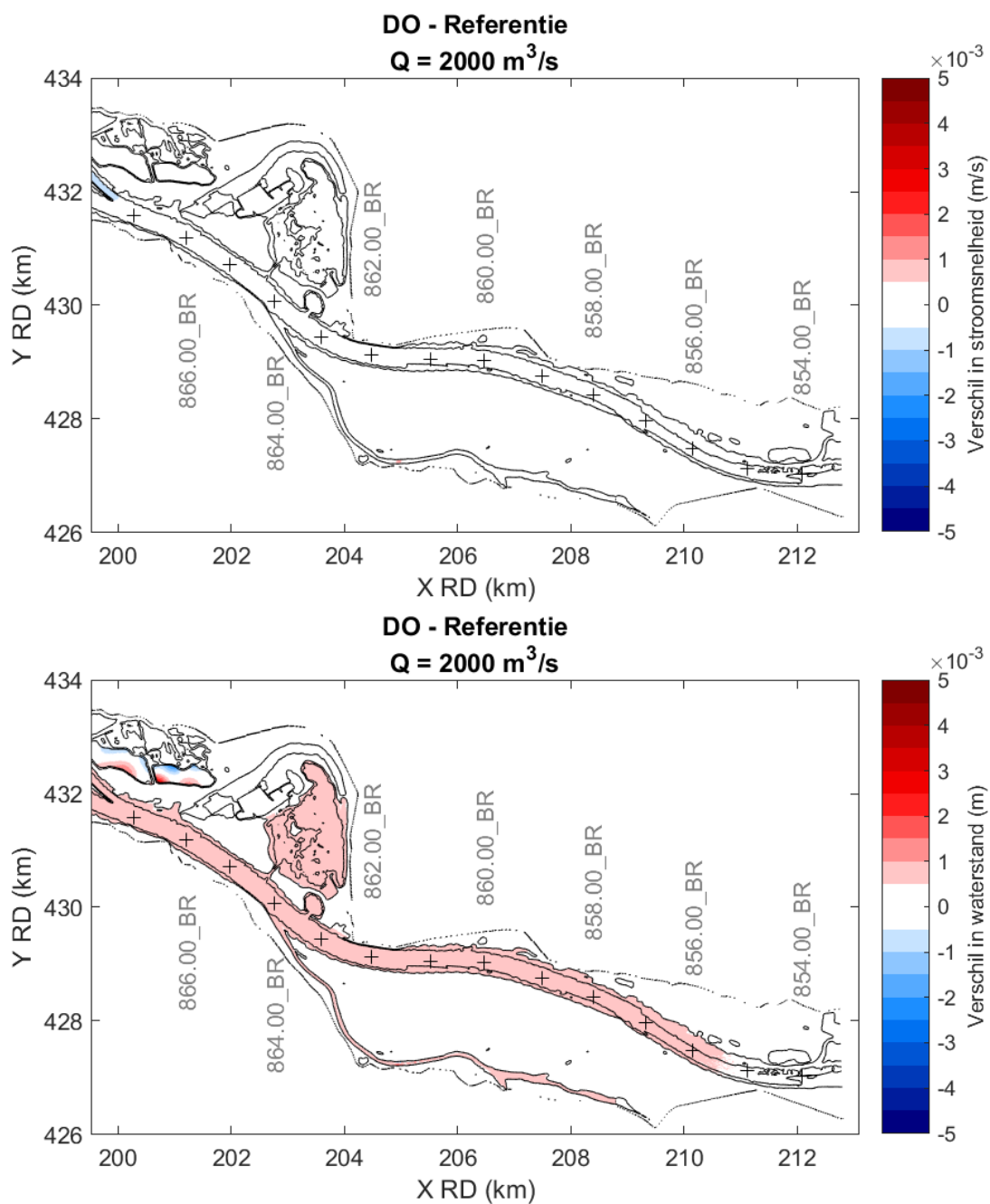


Fig. L-3: Effect van de ingreep op de stroomsnelheid en waterstand in de Duitse Rijn, t.o.v. de referentiesituatie bij een afvoer van 2000 m³/s in WAQUA.

M IJSSTUDIE

Een belangrijke functie van kribben in Nederlandse rivieren is het tegengaan van ijsvorming en dan met name van ijsdammen. In deze bijlage wordt het effect van de ingreep op de vorming van dergelijk dammen onderzocht.

Deltares (2019) heeft een literatuurstudie en analyse uitgevoerd. Uit deze Deltares studie en analyse wordt geput voor het huidige onderzoek voor het effect van het DO op de vorming van ijsdammen.

M.2 Achtergrond

Er dient onderscheid te worden gemaakt tussen een ijsdek en een ijsdam. Een ijsdek betekent dat alleen de relatief dunne bovenlaag van een waterlichaam is bevroren. Water stroomt hier relatief ongehinderd onderdoor, een ijsdek is daarom niet per sé gevaarlijk. Ijsdekken ontstaan in gebieden met lage stroomsnelheden en kentering in het getij, zoals bijvoorbeeld benedenstrooms in de Lek en in het Ketelmeer. Vanaf deze locaties breidt het ijsdek zich uit door aangroei en het aansluiten van drijfijis. Deltares (2009) stelt:

Lokale rivierverruimingen hebben nauwelijks invloed op de vorming van een ijsdek, omdat een benedenstrooms gevormd ijsdek zich stroomopwaarts uitbreidt ongeacht de precieze geometrie of stroming in dat traject. Een ijsdek in het Pannerdensch Kanaal zal zijn oorsprong vinden in de IJsselmond of een kenteringsgebied in de Nederrijn-Lek. De meest recente problemen met ijs op de Rijntakken, in 1986 en 1997, traden dan ook op in de IJssel bij Kampen. De huidige evaluatie richt zich om die reden op de effecten van krib- en oeeververlaging op ijsdammen; niet op de effecten op een ijsdek.

De krib- en oeeververlaging heeft dus geen effect op de vorming van een ijsdek. Potentieel gevaarlijk wordt het pas bij de vorming van ijsdammen. Deze ontstaan als bovenstrooms (door bijvoorbeeld dooi) losgekomen stukken ijs op een bestaand ijsdek botsen. Hierbij geldt het criterium van Kivilsild op basis van het Froudegetal, zie Fig. M-1.

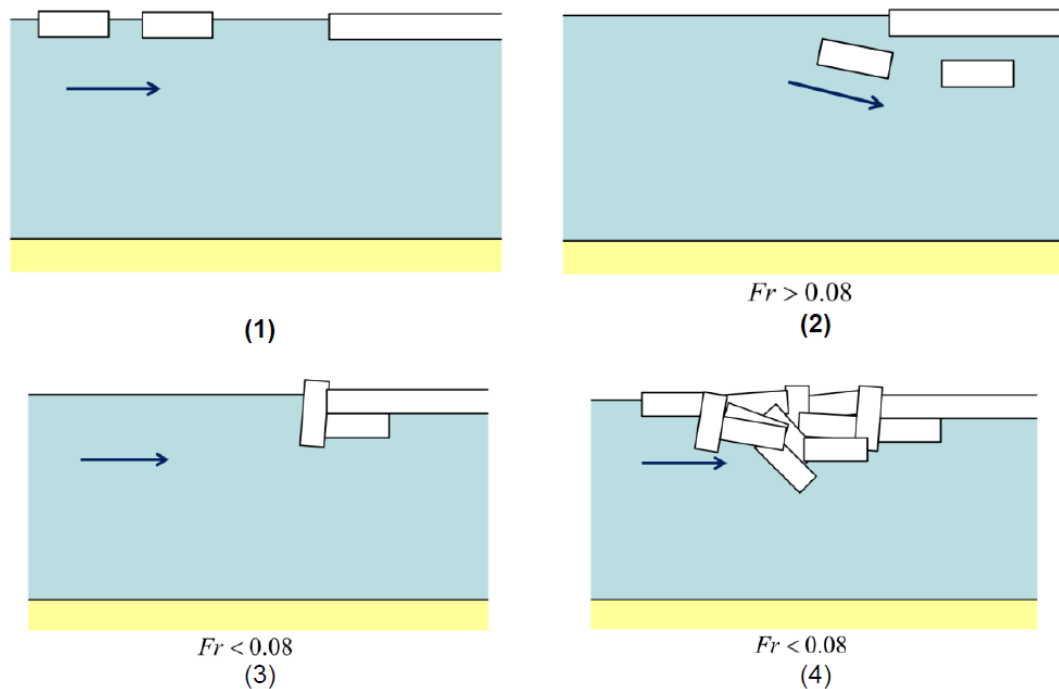


Fig. M-1: (1) Na dooi naderen ijsschotsen van bovenstrooms een nog bestaand ijsdek benedenstrooms. (2) Bij een hoog Froudegetal worden ijsschotsen onder het dek door getransporteerd: veilige situatie. (3 en 4) Bij een laag Froudegetal blijven de ijsschotsen steken en kan een ijsdam vormen: onveilige situatie.

Het Froudegetal wordt als volgt gedefinieerd:

$$Fr = \frac{u}{\sqrt{gh}}$$

u = stroomsnelheid (m/s)

g = zwaartekrachtversnelling (= 9.81 m²/s)

h = waterdiepte (m)

In Deltares (2019) wordt op basis van bronnenonderzoek de grenswaarde van $Fr = 0.08$ aangehouden voor het criterium van Kivilsild. Bij veel hogere Froudegetallen wordt aangevoerd ijs onder het ijsdek door- en weggevoerd. Bij veel lagere Froudegetallen sluit het afgevoerde ijs aan en betreft het een verder onschuldige horizontale groei van het ijsdek (deze situatie is niet opgenomen in Fig. M-1). Maar juist onder de kritieke waarde blijft het ijs onder het begin van het ijsdek steken en groeit de daardoor ontstaande ijsdam verticaal, dit geeft overstromingsgevaar

Naast het Froudegetal aan het begin van het ijsdek, is ook de toevoer van drijfijis van belang. Deze wordt echter niet beïnvloed door de uit te voeren maatregel (er wordt geen nieuw oppervlaktewater gerealiseerd) en is daarom niet relevant voor de huidige analyse.

Bij lokale ruwheidselementen langs de rand van de rivier zoals kribben, maar ook bijvoorbeeld het uiteinde van de verlaagde oevers (zie bijvoorbeeld oever 1) kan drijfijis blijven steken (de zogeheten haakweerstand). Dit is met name van belang voor de vorming van randijis/kruierend ijs, Deltares (2019) merkt hierover op:

Rechtstreekse vorming van een ijsdam door drijfijis en kruierend ijs lijkt minder waarschijnlijk, omdat die afhangt van de stroming in het gehele dwarsprofiel. Als randijis zich naar het midden van de rivier uitbreidt, concentreert de stroming zich meer in het ijsvrije deel waar dan de Froudegetallen groter worden. Dat neemt niet weg dat lokale ijsvorming en

ophoping van kruierend ijs problemen kunnen veroorzaken en ook de kribben kunnen beschadigen (...). Om die reden verdient het ontwerp van de kribben aandacht.

Al met al kan worden gesteld dat het Froudegetal aan het begin van een ijsdek maatgevend is voor de vorming van ijsdammen. Dit zal dan ook worden onderzocht in deze bijlage. Allereerst zal een korte kwalitatieve analyse worden uitgevoerd, vervolgens wordt de numerieke analyse die Deltares (2019) heeft uitgevoerd voor het VKA herhaald voor het DO.

M.3 Kwalitatieve analyse

In de jaren van aanleg van de kribben lag het zomerbed in het Pannerdensch Kanaal ongeveer 2 m hoger. Na 1.4-1.7 m kribverlaging gaat de invloed van de kribben dus weer terug richting de aanlegssituatie. De effectiviteit van kribben wat betreft het voorkomen van ijsdammen is – na verlaging – dan ook niet radicaal anders dan bij aanleg.

Deltares heeft met behulp van simulaties het toegenomen gevaar voor ijsdamvorming onderzocht zoals veroorzaakt door het VKA. Het DO betreft een optimalisatie van het VKA, waarbij de ingreep ten opzichte van de huidige situatie overal kleiner wordt. Over het VKA concludeert Deltares:

De kribverlagingsmaatregel op het Pannerdensch Kanaal een beperkt effect heeft op de Froudegetallen. Iets lagere Froudegetallen worden berekend in de variant ter hoogte van de kribverlaging. Desondanks blijven de Froudegetallen in de vaargeul hoger dan 0,10, dus boven het criterium voor ijsdamontwikkeling.

Aangezien het DO een beperktere ingreep is dan het VKA, zal bovenstaande conclusie naar alle waarschijnlijkheid ook voor het DO gelden. Om deze aanname na te gaan is in de volgende paragraaf de numerieke analyse van Deltares voor het DO herhaald.

M.4 Numerieke analyse gevaar vorming ijsdammen

M.4.1 Modelopzet

Er wordt gerekend met NRLK conform paragraaf 3.6, met afvoeren bij Lobith van 4000, 8000 en 12000 m³/s. Vanaf Rijnkilometer 871,5, 873,5 en 876 wordt benedenstrooms van een lijn dwars op de rivier-as de Chézy ruwheid in het winter en zomerbed verlaagd (met een factor 1/√2). Dit simuleert de aanwezigheid van een ijsdek (dat aan de onderkant even ruw is als de rivierbodem). Met dit nieuwe ruwheidsveld is de berekening opnieuw uitgevoerd. De focus van het onderzoek zal zich dan met name richten op het effect van de ingreep op het Froudegetal in de zone van het begin van het ijsdek.

M.4.2 Effect op waterstand in as van rivier

Het effect van de verschillende ijsdekken op de waterstand in de as van de rivier bij de drie afvoeren is weergegeven in Fig. M-2, Fig. M-3 en Fig. M-4. Alle figuren laten zien dat er significant effect van het ijsdek op de waterstand is, in de orde van enkele decimeters. Dit geldt voor zowel de referentie als het DO. Bovenstrooms heeft het ijsdek tot rkm 871,5 de meeste invloed. Het verschil tussen de referentie en het DO is voor alle ijsdekken bij dezelfde afvoer gelijkwaardig.

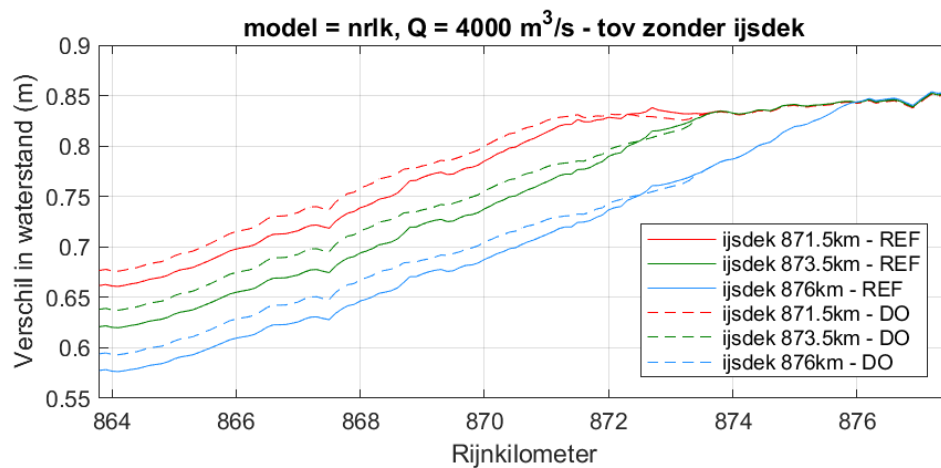


Fig. M-2: Effect van de verschillende ijsdekken op waterstand in as van de rivier in geval van een afvoer van 4000 m³/s.

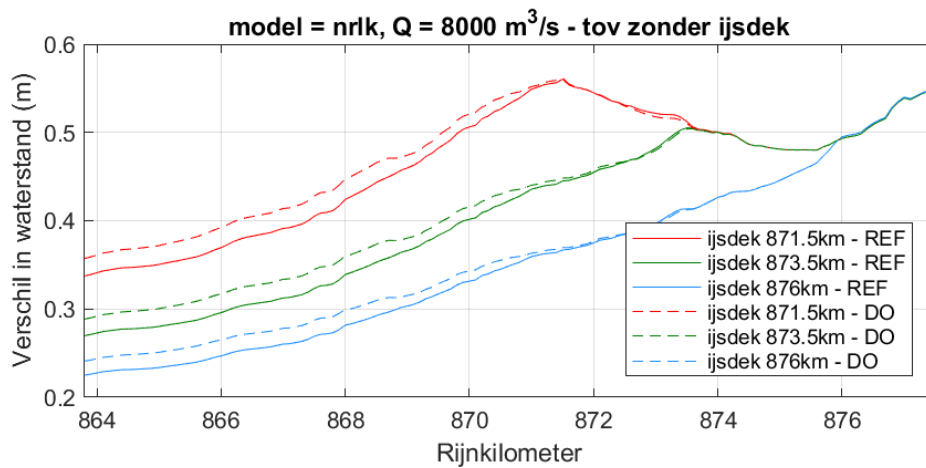


Fig. M-3: Effect van de verschillende ijsdekken op waterstand in as van de rivier in geval van een afvoer van 8000 m³/s.

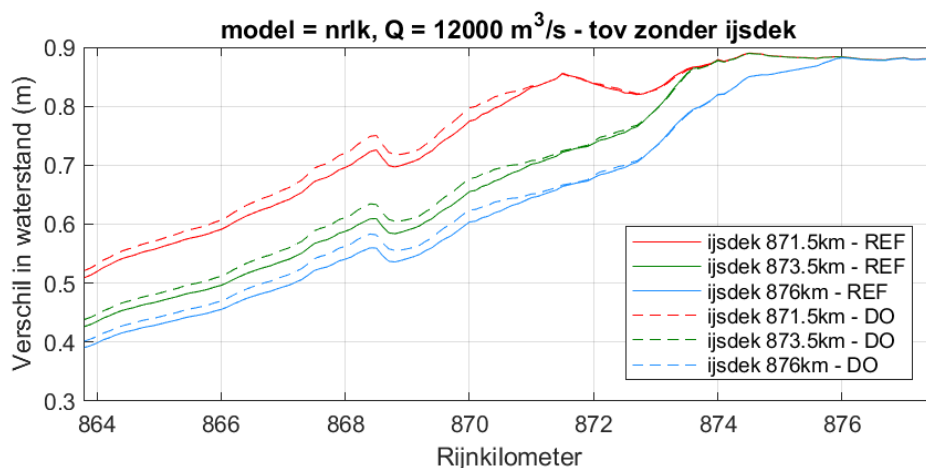


Fig. M-4: Effect van de verschillende ijsdekken op waterstand in as van de rivier in geval van een afvoer van 12000 m³/s.

M.4.3 Effect op Froudegetal in as van rivier

Het Froudegetal wordt bepaald op basis van de WAQUA map-uitvoer. Fig. M-5, Fig. M-6 en Fig. M-7 geven het effect van de maatregel op de Froudegetallen in de as van de rivier. De start van het gesimuleerde ijsdek is te zien als de locatie waarop – bij benadering – de sommen met verschillende ijsdekken uit elkaar gaan lopen. De projectlocatie is zichtbaar doordat de referentie en DO simulatie uit elkaar gaan lopen.

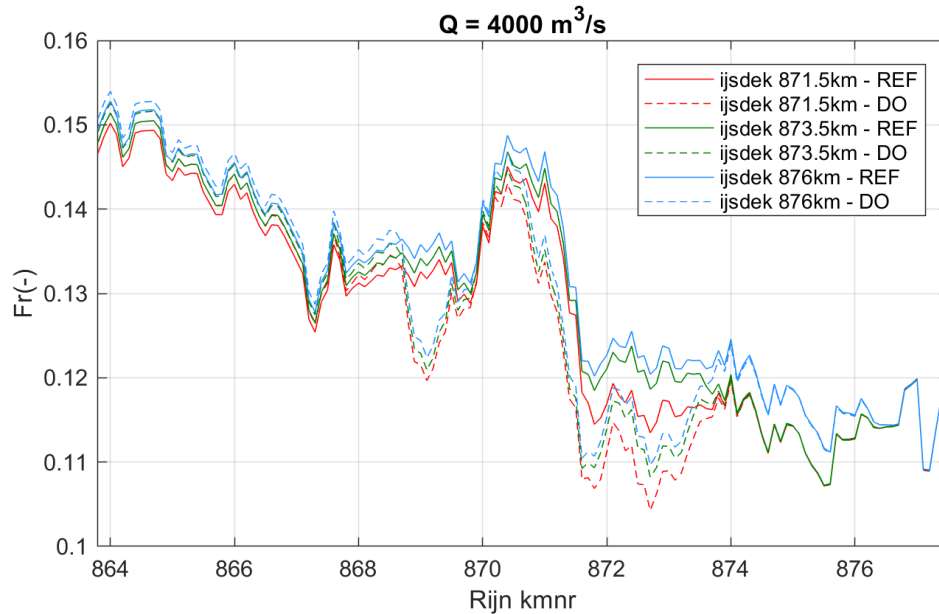


Fig. M-5: Effect ingreep op Froudegetal in as van de rivier in geval van een afvoer van 4000 m³/s bij Lobith en drie ijsdekken.

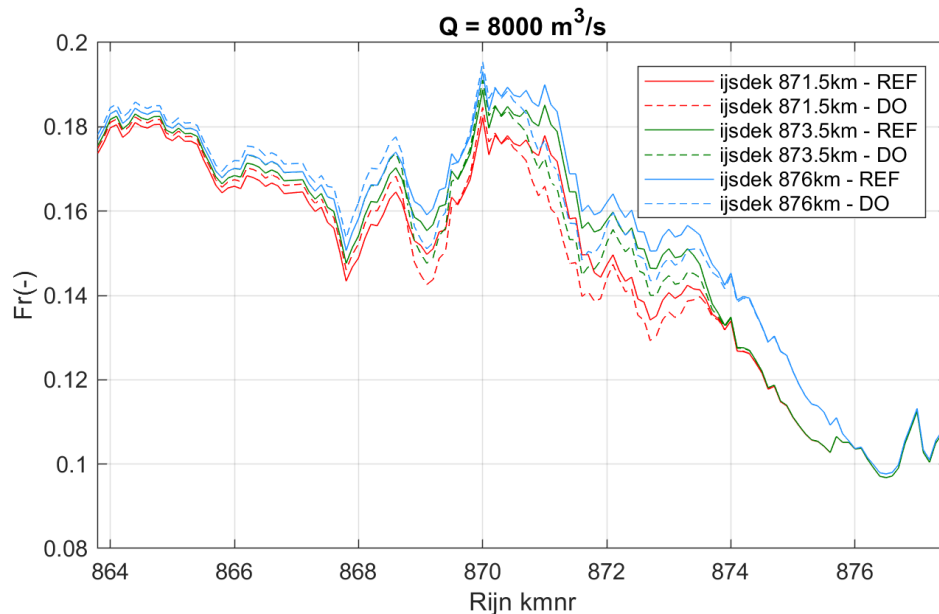


Fig. M-6: Effect ingreep op Froudegetal in as van de rivier in geval van een afvoer van 8000 m³/s bij Lobith en drie ijsdekken.

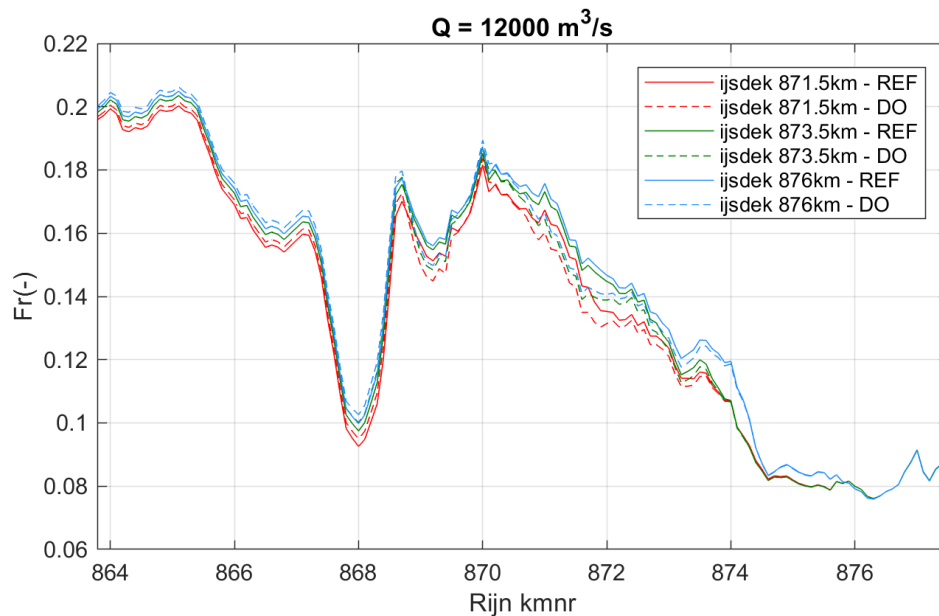


Fig. M-7: Effect ingreep op Froudegetal in as van de rivier in geval van een afvoer van $12000 \text{ m}^3/\text{s}$ bij Lobith en drie ijsdekken.

Duidelijk is dat er alleen een significant effect is van de ingreep als de rand van het ijsdek zich in of bovenstrooms van het projectgebied bevindt. Rond rkm 876 is er geen effect, door toepassing van NRLK (met vaste afvoerverdeling) trekt het Pannerdensch Kanaal geen extra debiet. In het projectgebied zelf is sprake van een verlaging van de Froudegetallen, met name door een toename van het dwarsprofiel en de daarmee samenhangende afname van de stroming. Stroomopwaarts van de projectlocatie veroorzaakt de ingreep een waterstandsverlaging en stijgen de Froudegetallen. Zo daalt het Froudegetal dus ook op de locatie van het begin van het ijsdek.

Het Froudegetal komt in de as van de rivier in het projectgebied echter nergens onder de 0,08 en zelfs niet onder de 0,10. In geval van een afvoer van $12000 \text{ m}^3/\text{s}$ bij Lobith zijn stroomafwaarts (vanaf 874,5) wel duidelijke verlagingen in Froudegetal te zien²⁶, deze zijn overigens gelijk voor referentie en DO. De uiterwaarden worden richting IJsselkop breed en in geval van een afvoer van $12000 \text{ m}^3/\text{s}$ stromen deze mee. De ingreep heeft hier overigens geen effect.

M.4.4 Effect op Froudegetal langs randen van de rivier

Ruimtelijk kan het effect van de ingreep inzichtelijk worden gemaakt door per WAQUA-cel het Froudegetal te plotten. Conform Deltares (2019) wordt onderscheid gemaakt tussen onder de 0,08, vanaf 0,10 en vanaf 0,15²⁷.

Tot slot kan het effect op het criterium van Kivilsild zichtbaar worden gemaakt door te plotten waar het Froudegetal onder de 0,08 komt in geval van DO en boven de 0,08 blijft in geval van de referentie (dit betreft een verslechtering en is afgebeeld in rood) en vice versa waar het boven de 0,08 komt door het DO en waar het onder de 0,08 was in geval van de referentie (een verbetering,

²⁶ Stroomopwaarts (rond rkm 868) is ook een verlaging te zien. Deze wordt veroorzaakt doordat de stroming de buitenbocht van het Pannerdensch Kanaal opzoekt net na het splitsingspunt. Er lijkt hier weinig daadwerkelijk gevaar voor de vorming van een ijsdam.

²⁷ Deltares geeft geen fysische achtergrond voor de 0,10 Froudegetal kleurgrens. Wat betreft 0,15 worden door Deltares Termes & Boogaard (1991) aangehaald, die stellen dat de drempelwaarde voor het criterium van Kivilsild tussen 0,05 en 0,15 ligt, en dat 0,08 daarvan een gemiddelde is. In Deltares (2019) wordt vervolgens van 0,08 uitgegaan.

afgebeeld in groen). Verslechtingen en verbeteringen van het Froudegetal (rode en groene kleuren) zijn in onderstaande figuren alleen aan de randen van de rivier te zien, in de hoofdgeul voldoen zowel de referentie als het DO aan het criterium.

De bovenbeschreven drie plots zijn in onderstaande figuren steeds naast elkaar getoond: 1) Froudegetal in geval van de referentie, 2) in geval van DO en 3) het effect wat betreft de onder of overschrijding van het criterium van Kivilsild.

Duidelijk wordt dat het DO over het algemeen leidt tot een verhoging van het Froudegetal langs de randen van de rivier. Dit is verklaarbaar door de verlaging van de kribben, waardoor water sneller over dergelijke gebieden gaat stromen bij gelijkblijvende diepte. Bij hoge afvoeren is dit meer het geval dan bij 4000 m³/s Lobith. Er dient te worden opgemerkt dat de kribben in WAQUA subgrid zijn en stroming over de kribben als zodanig niet wordt gemodelleerd. Deltares (2019, p.27) merkt hierover op:

In WAQUA worden de snelheden rondom de kribben onderschat. Dat heeft te maken met de subgrid-modellering van de kribben die in WAQUA wordt gehanteerd. De Froudegetallen in WAQUA geven dus een conservatieve weergave.

Het werkelijke Froudegetal boven kribben zal dus altijd groter zijn dan in de naastgelegen kribvakken (snelheid is hoger, waterdiepte kleiner), wat betreft een vergelijking met het criterium van Kivilsild is de stroming in het kribvak dus altijd maatgeven. Het is mogelijk en zelfs waarschijnlijk dat de Froudegetallen over de kribben gaan afnemen in het DO ten opzichte van de referentie (toenemende waterdiepte en afnemende snelheid), maar dit is wat betreft het criterium niet relevant.

Bij verlaagde oevers (1, 3, 4 en 5 bij 4000 m³/s en 4 in geval van 8000 m³/s) nemen de Froudegetallen bij hogere afvoeren significant af. Deze gebieden worden in de referentie gekenmerkt door zeer beperkte waterdiepten; om het Froudegetal gelijk te houden dient bij een verdieping de snelheid relatief sneller stijgen. Dit is blijkbaar niet het geval. Overigens is een Froudegetal onder de 0,08 voor uiterwaarden eerder regel dan uitzondering zoals is te zien in een groot deel van de overige uiterwaarden in het gebied.

Ook stroomafwaarts van oever 3 is buiten de normaallijnen een rand cellen te zien waar niet aan criterium wordt voldaan (op deze locaties is er geen ingreep). De verlaging in Froudegetal wordt veroorzaakt doordat de stroming meer de buitenbocht over de verlaagde oever 5 en verlaagde kribben kiest.

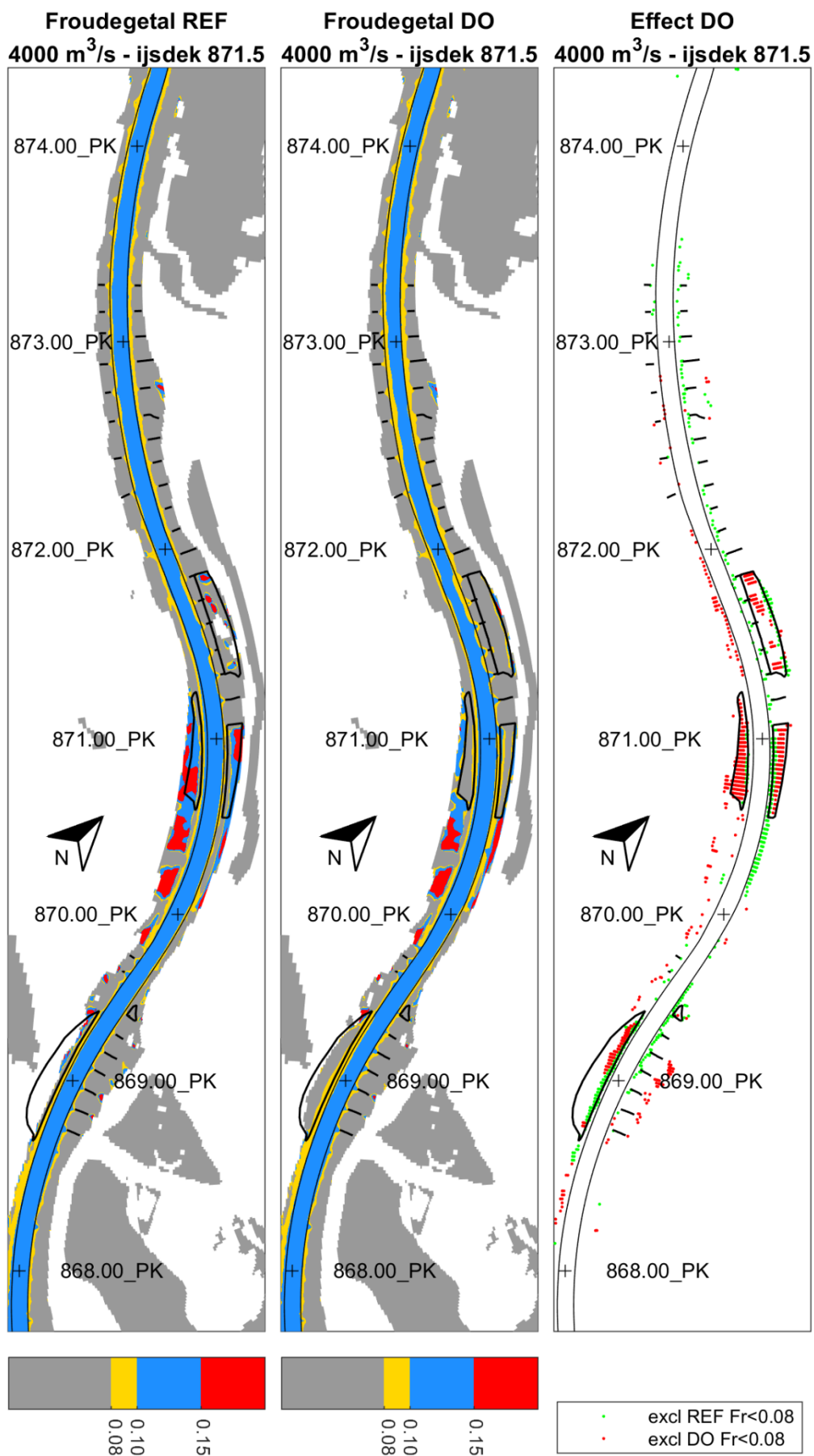
Hetzelfde geldt voor de stroomopwaartse kribvakken tegenover de verlaagde oever 1. De stroming kiest voor de buitenbocht over oever 1, wat leidt tot een afname van de stroomsnelheden over de tegenovergelegen kribben (vooral hoger in de kribvakken) ondanks dat deze verlaagd zijn.

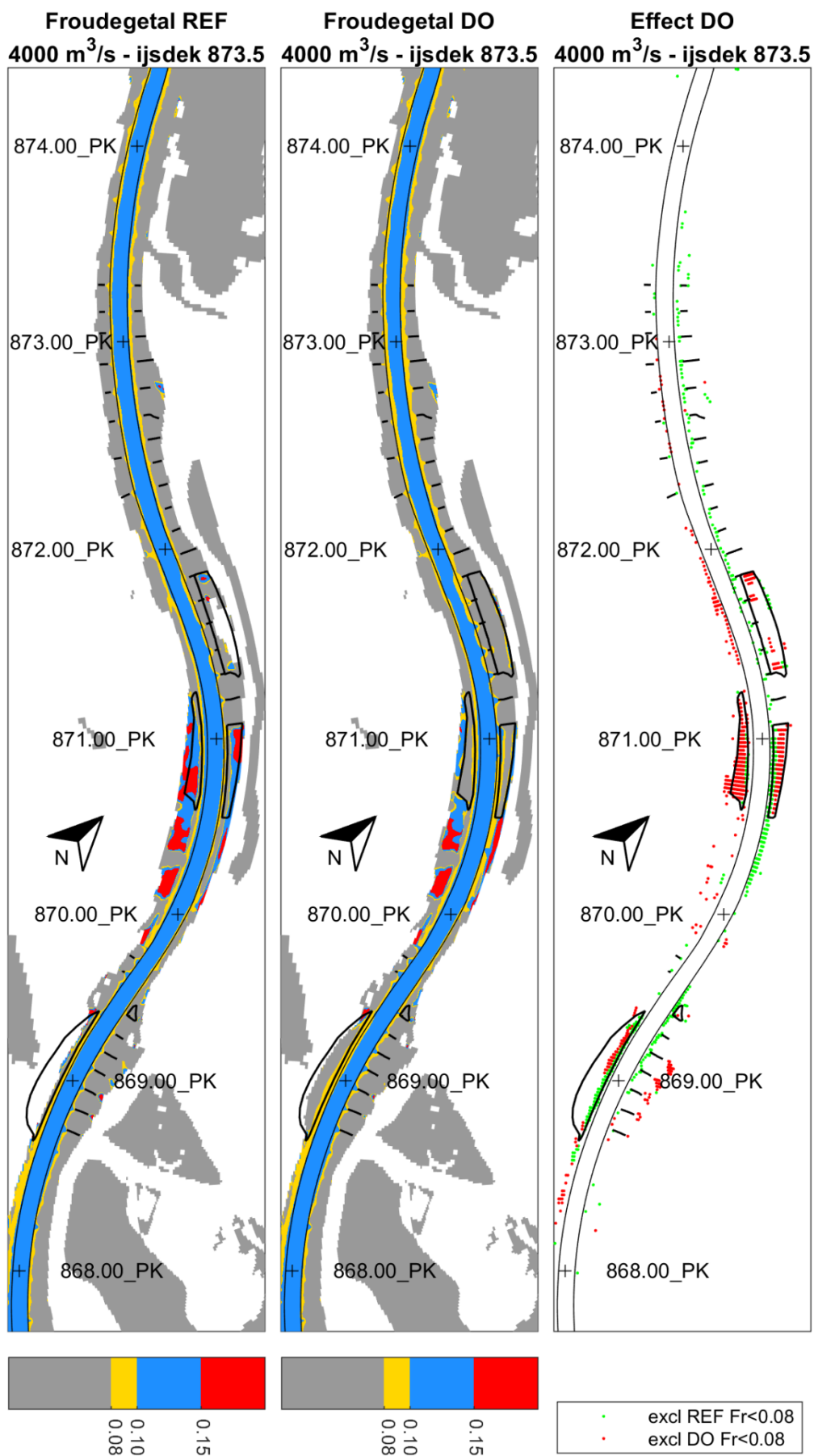
Daarnaast zijn er verspreid over de uiterwaarden nog enkele locaties waar sprake is van een verslechtering, vooral bij hogere afvoeren. Dit is verklaarbaar door de algehele rivierverruiming veroorzaakt door de ingreep.

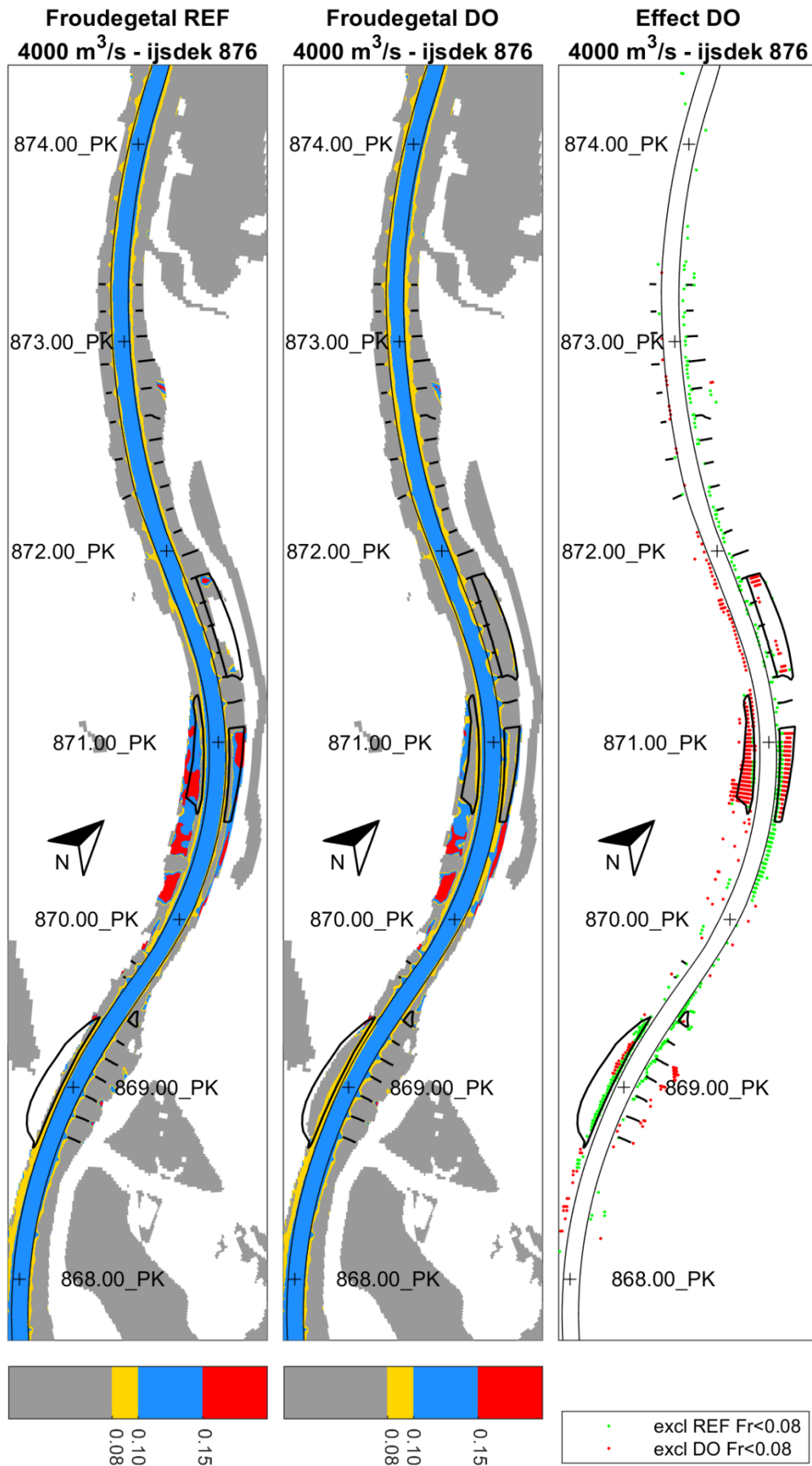
De gebieden waar het Froudegetal ten opzichte van het criterium van Kivilsild verslechtert (afgebeeld in rood) komen overeen met Deltares (2019, waarin deze punten zijn afgebeeld in het geel zonder rode rand):

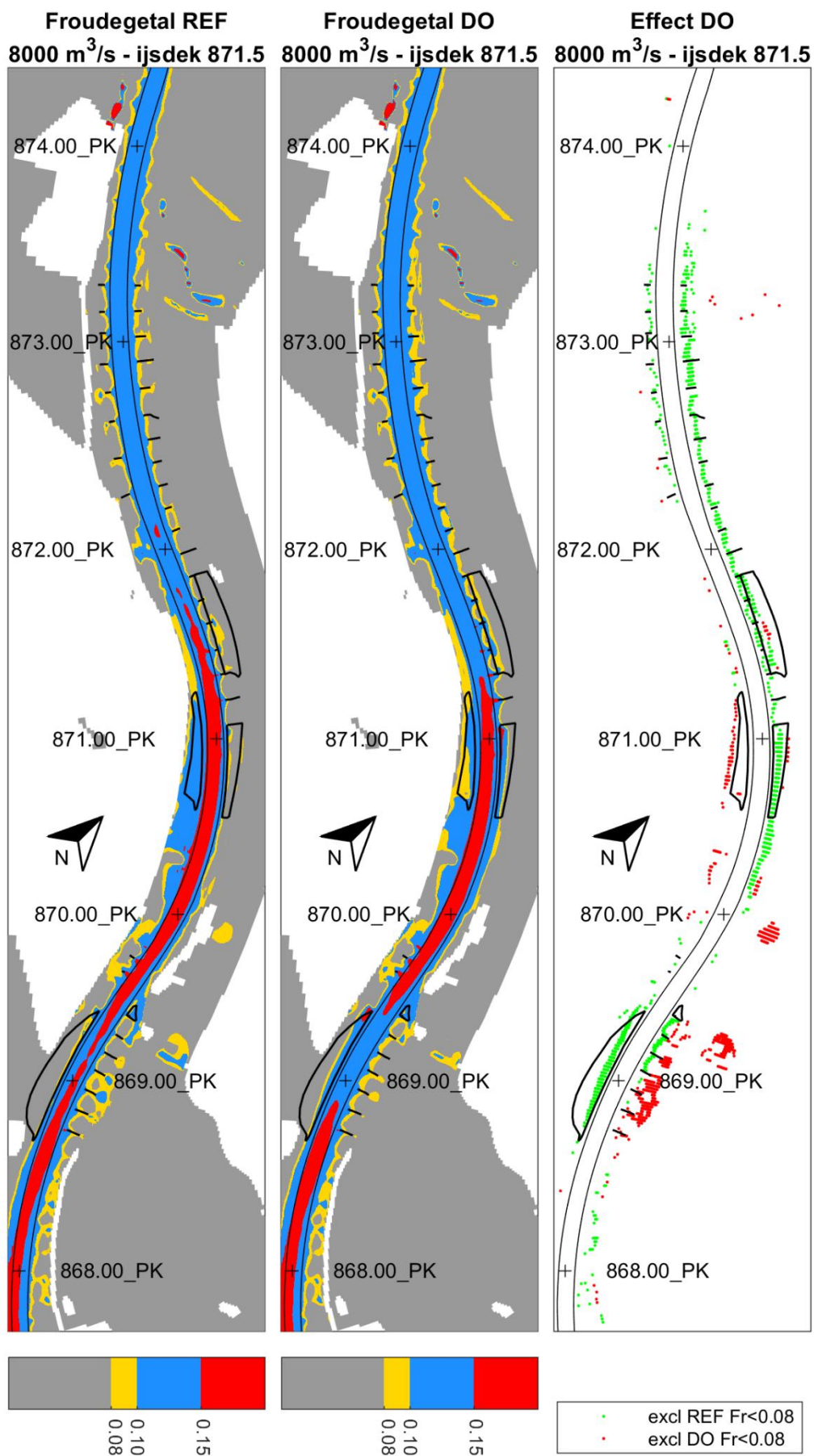
- hoog op de verlaagde oevers (1, 3, 4 en 5)
- stroomafwaarts van oever 3
- in de kribvakken tegenover oever 1
- op enkele verspreide punten vooral op de uiterwaarden.

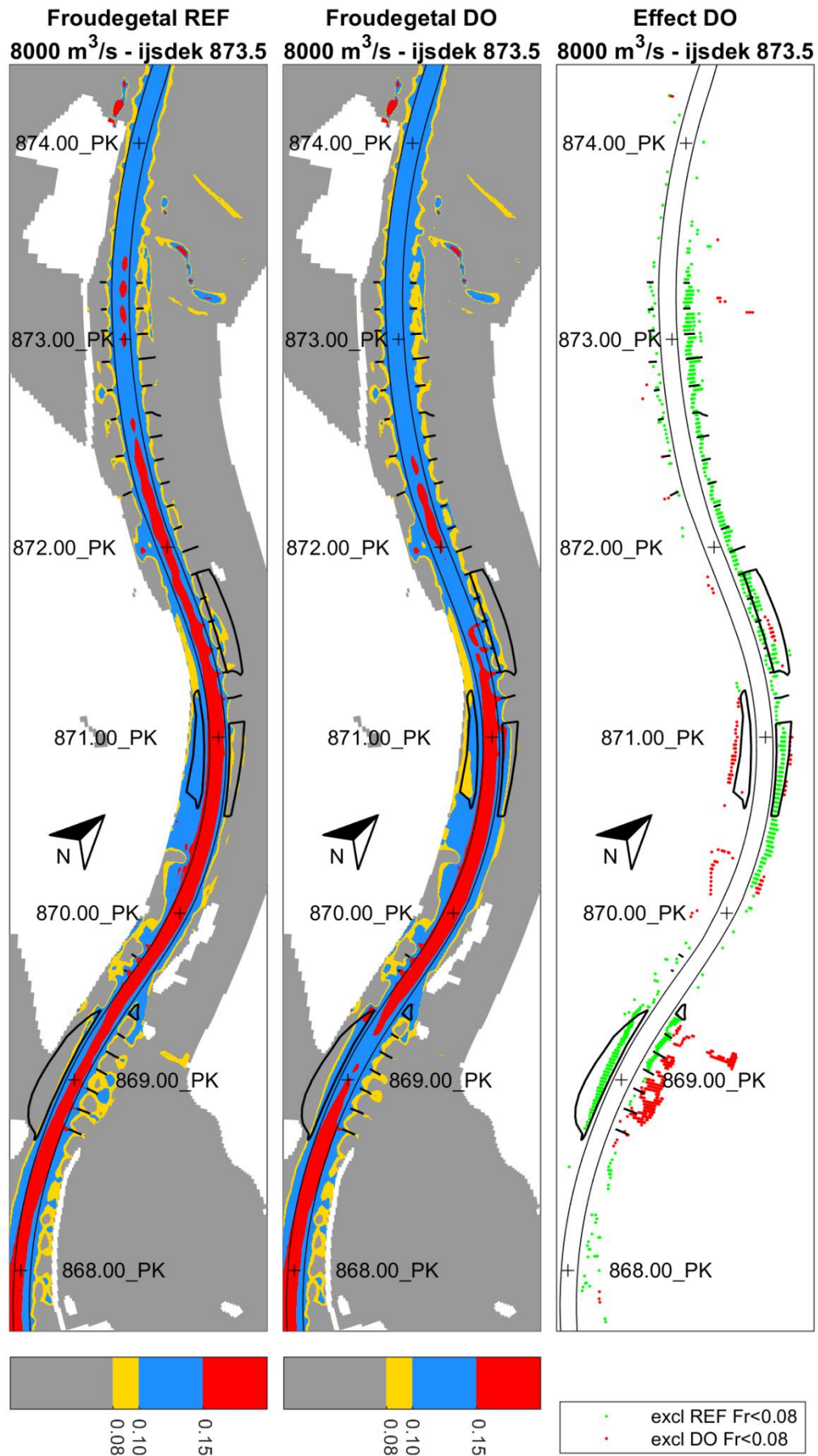
Het effect op het Froudegetal ten opzichte van het criterium van Kivilsild is dus ongewijzigd ten opzichte van Deltares (2019).

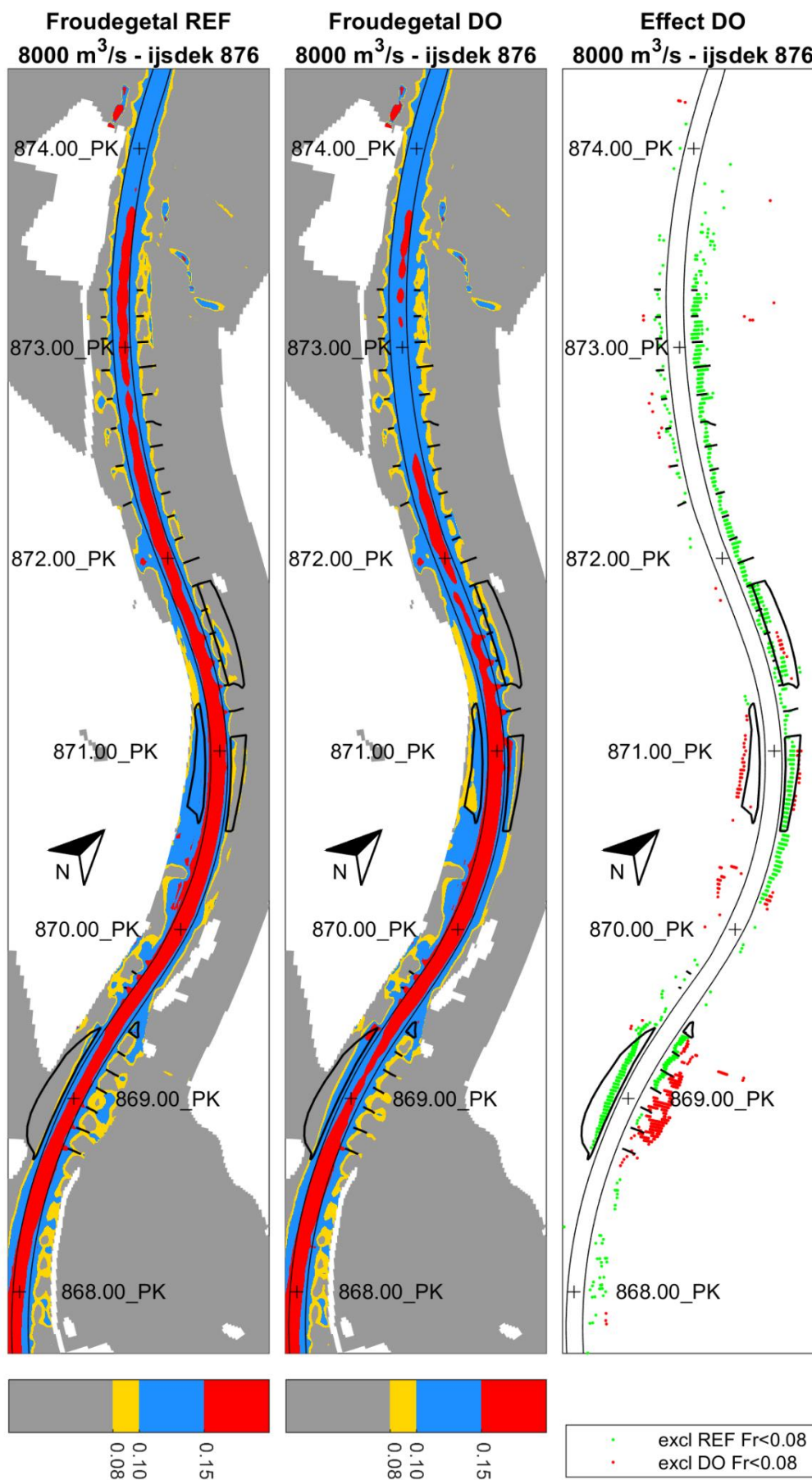


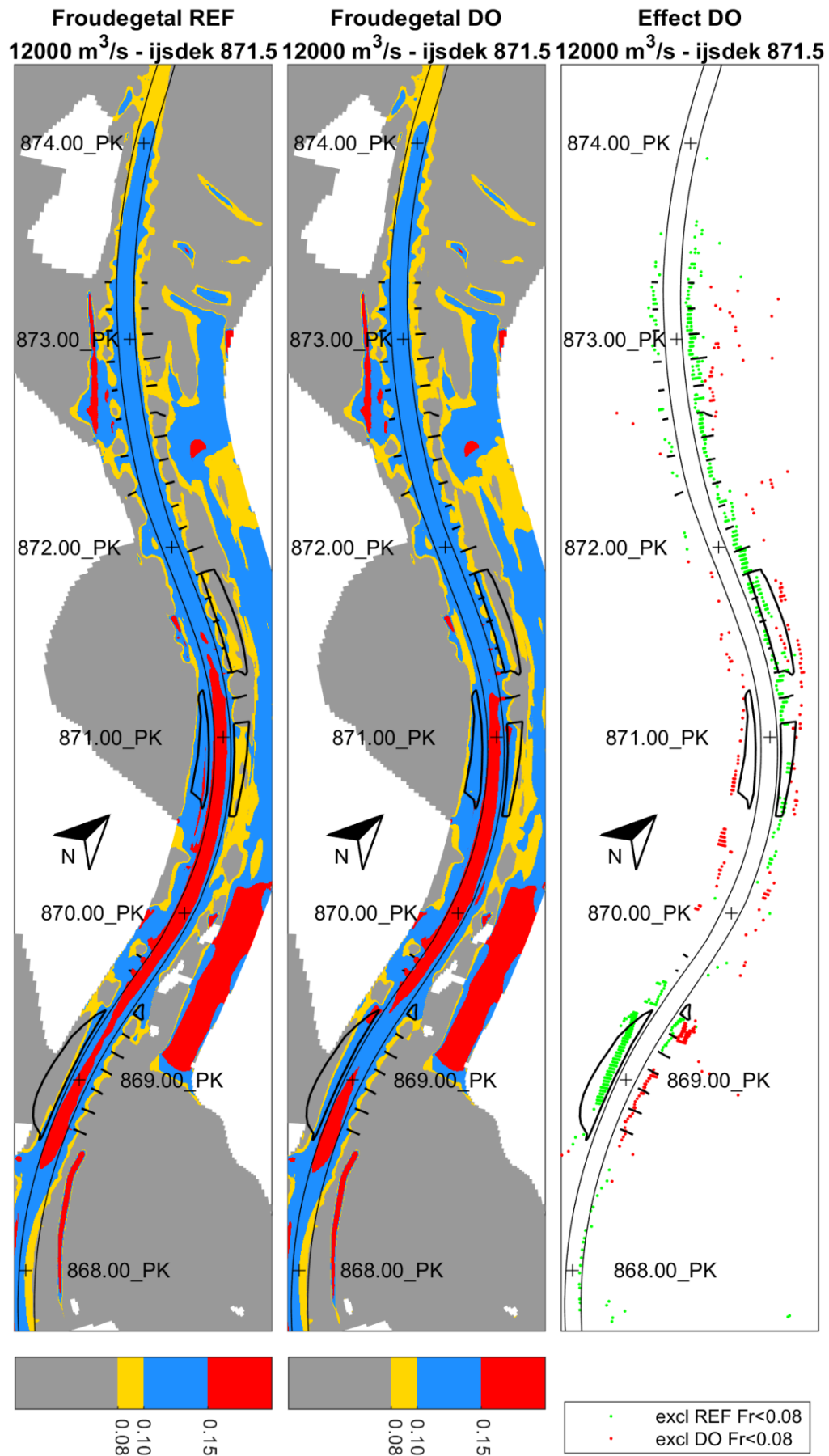


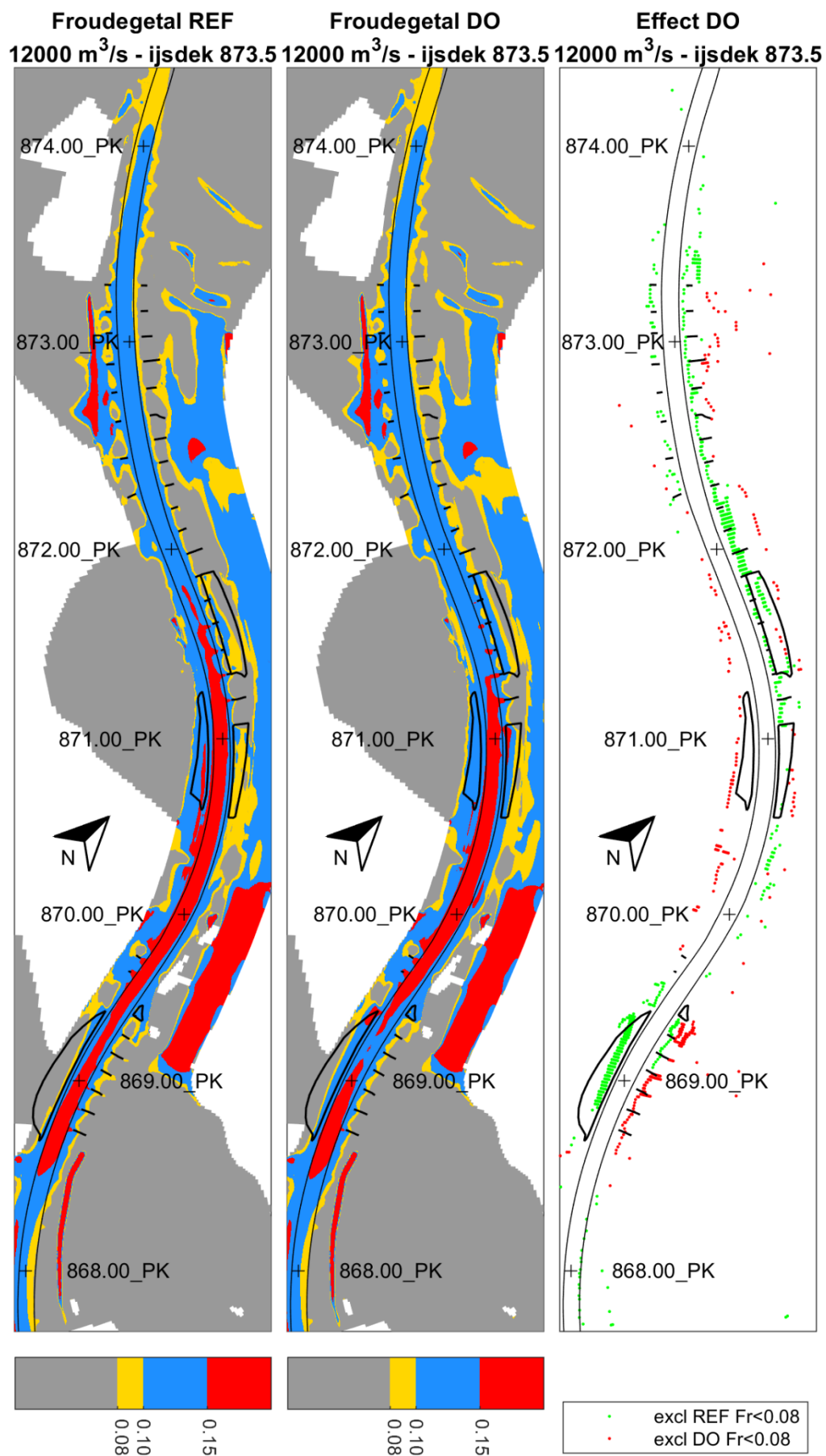


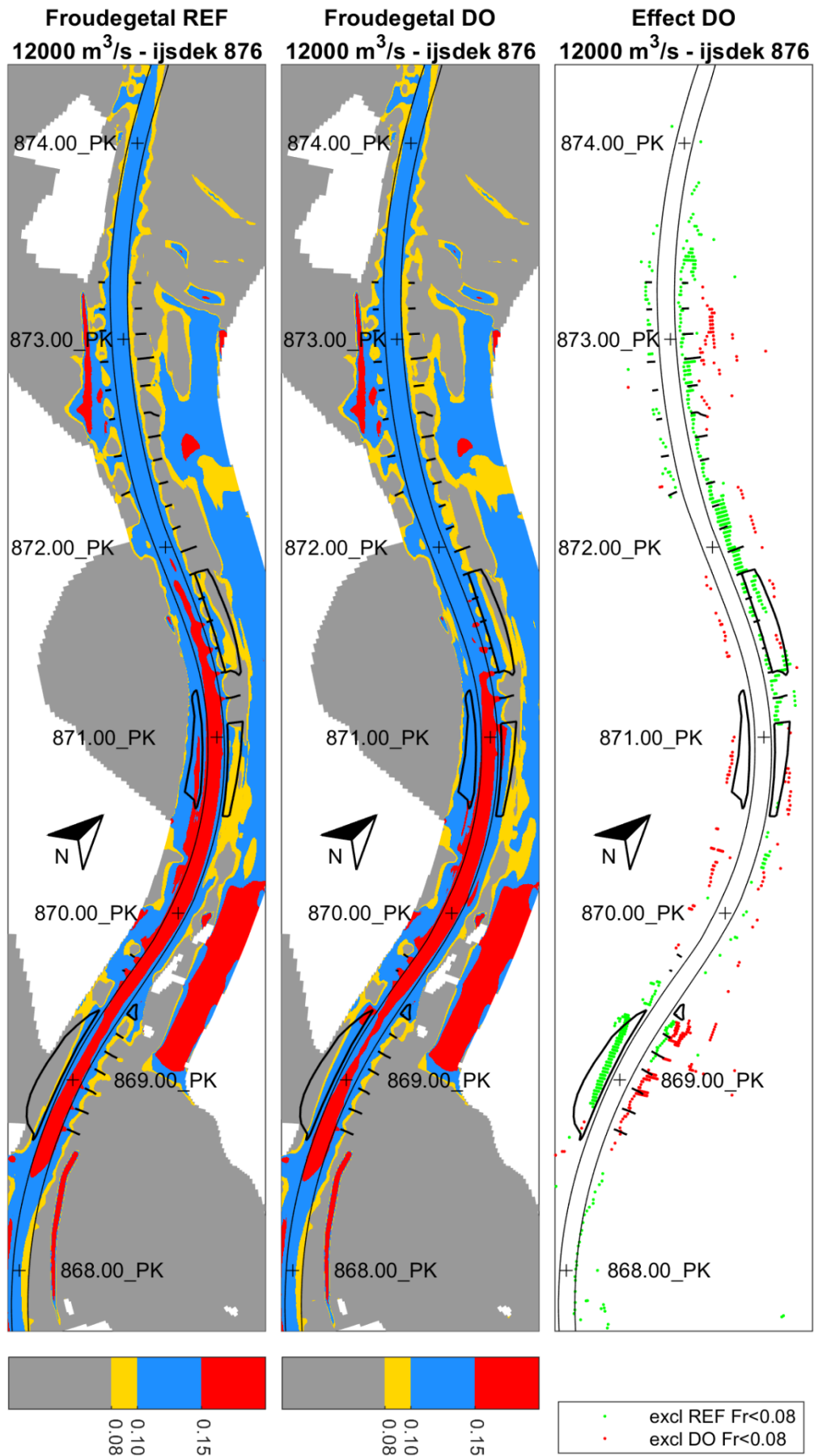












M.4.5 Observaties rond krib 13

Bij overgangskrib 13 (zie Figuur 2-1) bevindt zich een ijsgeleidingsconstructie (zie paragraaf 4.5.2). Voor de verschillende afvoeren die in deze bijlage zijn behandeld zijn de effecten op deze locatie als volgt samen te vatten:

- 4000 m³/s Lobith: geen effect van het DO op stroming rond de kribwortel, alleen een verhoogde stroming bij de kribkop (zie Fig. J-3).
- 8000 m³/s Lobith: afname van stroming over de kribwortel (zie Fig. J-5). Vanaf krib 14 stroomafwaarts heeft dit een significant effect op Froudegetallen, die daar door de ingreep in een aantal gebieden onder het criterium van Kivilsild vallen. Bij krib 13 is dit niet of nauwelijks het geval, met afhankelijk van de precieze simulatie enkele cellen op de kribkop die door de ingreep worden beïnvloed. Hierbij dient te worden opgemerkt dat de stroming over de krib zelf door WAQUA wordt onderschat en dat het werkelijke Froudegetal hoger zal liggen.
- 12000 m³/s Lobith: afname van stroming over de kribwortel (zie Fig. J-7). Het Froudegetal daalt langs een enkele lijn cellen dwars op de krib onder het criterium.

Geconcludeerd kan worden dat de invloed van het ontwerp op de stroming en Froudegetallen rond krib 13 klein is en het effect op ijsafvoer navenant.

M.5 Conclusie

Bovenstaande numerieke analyse is gebaseerd op de methodiek van de Deltares (2019). Zoals verwacht blijven de conclusies van die studie – ook in geval van het DO – staan:

- *Op basis van literatuuronderzoek kan geconcludeerd worden dat de maatregel krib- en oeververlaging zoals ontworpen voor het Pannerdensch Kanaal niet zal leiden tot extra ijsdekvorming en dat de ontwikkeling van de ijsdammen vooral afhangt van het Froudegetal aan het oppervlak van de stroming tegen het ijsdek.*
- *De kribverlagingsmaatregel op het Pannerdensch Kanaal een beperkt effect heeft op de Froudegetallen. Iets lagere Froudegetallen worden berekend in de variant ter hoogte van de kribverlaging. Desondanks blijven de Froudegetallen in de vaargeul hoger dan 0,10, dus boven het criterium voor ijsdamontwikkeling van Kivilsild (0,08).*
- *Buiten de vaargeul leidt de ingreep over het algemeen tot hogere Froudegetallen: hogere stroomsnelheden over kribvakken en aan de riviervak van de verlaagde oevers. Op een aantal locaties buiten de hoofdgeul wordt een verslechtering ten opzichte van het criterium van Kivilsild voorspeld (hoog op de verlaagde oevers, stroomafwaarts van oever 3 buiten de vaargeul, over de kribben tegenover oever 1 en bij hogere afvoeren verspreid over de uiterwaarden). Dit komt overeen met de resultaten die Deltares (2019) berekend heeft voor het VKA.*
- *De invloed van de kribverlagingsmaatregel op Froudegetallen loopt tot iets verder dan de benedenstroomse grens van de kribverlaging (rkm 873,5 in het Pannerdensch Kanaal). Verder benedenstrooms zijn er geen effecten zichtbaar in de berekeningen.*

Deltares maakt enkele kanttekeningen en aanbevelingen aan het eind van de studie. Daar wordt bij deze nogmaals op gewezen. Maar opvolging van deze adviezen valt – conform het Plan van Aanpak – buiten de scope van deze studie.

N TABELLEN MET DETAIL UITVOER DELFT3D

In deze bijlage zijn tabellen met detailuitvoer van de Delft3D berekeningen gepresenteerd. Er zijn tabellen van zowel de berekening met het DO, als de referentie berekening en na 5 jaar simulatietijd en 40 jaar simulatietijd. Ook zijn er tabellen waarin de waarden bepaald zijn met de twee methodes RBK 5.0 (normaalbreedte en handhaving diepte zoals aanwezig en normaalbreedte en handhaven nautische diepte), als met de methode RBK 3.0 (vaargeulbreedte en handhaven van de nautische vaardiepte). De kolommen in de tabellen waar het effect wordt beschreven (kolom 8, 10, 12, 14 en 16), bevatten het verschil tussen het DO en de referentie (DO minus referentie). Deze kolommen zijn alleen aanwezig in de tabellen met DO resultaten. Een kleine tabel met de initiële bodem is ook opgenomen, om de vergelijking met de Waterdiepte kaarten van Rijkswaterstaat te kunnen maken. Het OLR vlak dat gebruikt is in de bepaling van de waarden in een aantal kolommen is uit de Delft3D simulatie afgeleid (zie paragraaf 8.2 voor details), dit verandert dus gedurende de simulatie en verschilt tussen referentie en DO.

De onderste rij in de tabellen bevat een samenvatting van de waarden in de tabel. Het verschilt per kolom wat de samenvatting weergeeft. De kolommen in de tabellen zijn zoals beschreven in onderstaande tabel. Ook is aangegeven wat de samenvattingsrij beschrijft.

Kolom	Variabele	Samenvatting
1	Rivierhectometer start	-
2	Rivierhectometer eind	-
3	Baggervolume (in beun m ³) uit de baggermodule van Delft3D per hm-vak ²⁸	Som
4	Stortvolume (in beun m ³) uit de baggermodule van Delft3D per hm-vak ²⁸	Som
5	Sedimentatie volume per hm-vak (gekubeerd, in insitu m ³) ten opzichte van de startbodem	Som
6	Erosie volume per hm-vak (gekubeerd, in insitu m ³) ten opzichte van de startbodem	Som
7	Maximum bodemhoogte t.o.v. CCR norm ²⁹ per hm-vak (in m). Een negatieve waarde betekent dat de bodem onder de CCR norm ligt.	Maximum
8	Effect van de ingreep op maximum bodemhoogte t.o.v. CCR norm per hm-vak (in m). Een negatieve waarde betekent dat de bodem in DO lager ligt dan de bodem in de referentie.	Gemiddelde
9	Sedimentatievolume boven CCR norm (OLR-2.8m) per hm-vak (in insitu m ³)	Som
10	Effect van de ingreep op sedimentatievolume boven CCR norm (OLR-2.8m) per hm-vak (in insitu m ³). Een negatieve waarde betekent dat het sedimentatievolume in DO lager ligt dan het sedimentatievolume in de referentie.	Som
11	Baggervolume boven CCR norm minus 30cm baggermarge (OLR-3.1m) per hm-vak (in beun m ³)	Som
12	Effect van de ingreep op baggervolume boven CCR norm minus 30cm baggermarge (OLR-3.1m) per hm-vak (in beun m ³). Een negatieve waarde betekent dat het baggervolume in DO lager ligt dan het baggervolume in de referentie.	Som
13	Gemiddelde bodemhoogte t.o.v. CCR norm per hm-vak (in m). Een negatieve waarde betekent dat de bodem onder de CCR norm ligt.	Maximum
14	Effect van de ingreep op gemiddelde bodemhoogte t.o.v. CCR norm per hm-vak (in m). Een negatieve waarde betekent dat de bodem in DO lager ligt dan de bodem in de referentie.	Gemiddelde
15	Baggervolume boven CCR norm minus kielspeling ³⁰ (OLR-4m) per hm-vak (in beun m ³)	Som
16	Effect van de ingreep op baggervolume boven CCR norm minus kielspeling (OLR-4m) per hm-vak (in beun m ³). Een negatieve waarde betekent dat het baggervolume in DO lager ligt dan het baggervolume in de referentie.	Som

²⁸ De baggermodule van Delft3D baggert per kilometer vak. De gebaggerde waarden zijn gelijk verdeeld over de tien hectometervakken in het betreffende kilometer vak.

²⁹ Op de Boven-Rijn, Waal, Pannerdensch Kanaal en NRL IJsselkop -Driel is de CCR norm OLR-2.8m

³⁰ Op de Boven-Rijn, Waal, Pannerdensch Kanaal en NRL IJsselkop -Driel is de kielspeling 1.2m

N.1 Startbodem – vaarweg

1	2	7	13	Waterdiepte kaarten
867.5	867.6	4.55	-0.36	-0.49
867.6	867.7	3.24	-0.52	-0.51
867.7	867.8	3.62	-0.29	-0.71
867.8	867.9	1.02	-0.61	-0.73
867.9	868	1.34	-0.62	-0.84
868	868.1	1.27	-0.51	-0.96
868.1	868.2	1.68	-0.58	-0.97
868.2	868.3	2.95	-0.45	-1.15
868.3	868.4	1.84	-0.80	-0.88
868.4	868.5	2.18	-0.54	-0.81
868.5	868.6	1.35	-0.59	-0.83
868.6	868.7	0.50	-0.66	-0.90
868.7	868.8	3.48	-0.69	-1.21
868.8	868.9	1.22	-1.19	-1.38
868.9	869	2.34	-0.92	-1.46
869	869.1	1.44	-1.16	-1.50
869.1	869.2	1.68	-1.28	-1.46
869.2	869.3	2.09	-1.28	-1.49
869.3	869.4	-0.08	-1.54	-1.34
869.4	869.5	0.38	-1.34	-1.12
869.5	869.6	1.42	-1.56	-1.68
869.6	869.7	1.25	-1.77	-2.08
869.7	869.8	1.90	-1.93	-2.43
869.8	869.9	0.12	-2.19	-2.04
869.9	870	1.08	-1.91	-1.71
870	870.1	1.92	-1.77	-1.66
870.1	870.2	1.99	-1.71	-1.63
870.2	870.3	1.84	-1.54	-2.01
870.3	870.4	1.71	-1.47	-1.61
870.4	870.5	1.86	-1.25	-1.67
870.5	870.6	1.55	-1.36	-1.71
870.6	870.7	2.10	-1.24	-1.61
870.7	870.8	2.53	-1.06	-1.39
870.8	870.9	0.84	-1.42	-1.29
870.9	871	1.07	-0.98	-1.09
871	871.1	1.61	-1.07	-1.34
871.1	871.2	1.89	-0.84	-1.69
871.2	871.3	2.26	-1.26	-1.76
871.3	871.4	2.80	-0.64	-1.85
871.4	871.5	1.99	-1.03	-1.86
871.5	871.6	3.08	-0.67	-1.46
871.6	871.7	0.26	-1.13	-1.00
871.7	871.8	3.09	-0.68	-0.96
871.8	871.9	2.11	-0.70	-0.95
871.9	872	1.93	-0.79	-1.10
872	872.1	0.43	-0.52	-0.89
872.1	872.2	-0.27	-0.89	-0.93
872.2	872.3	3.02	-0.52	-1.11
872.3	872.4	0.57	-0.80	-1.03
872.4	872.5	-0.38	-1.02	-1.26
872.5	872.6	2.15	-0.41	-1.33
872.6	872.7	0.27	-1.05	-1.25
872.7	872.8	0.19	-0.90	-1.28
872.8	872.9	0.26	-1.04	-1.36
872.9	873	1.16	-0.84	-1.34
873	873.1	0.39	-0.78	-1.31
873.1	873.2	2.05	-0.85	-1.41
873.2	873.3	0.53	-0.92	-1.30
873.3	873.4	-0.16	-0.93	-1.50
873.4	873.5	0.48	-0.76	-1.26
873.5	873.6	1.31	-0.94	-1.34

1	2	7	13	Waterdiepte kaarten
873.6	873.7	0.07	-1.02	-1.48
873.7	873.8	-0.38	-1.03	-1.29
873.8	873.9	2.36	-0.55	-1.4
873.9	874	0.60	-0.97	-1.28
874	874.1	1.97	-0.46	-1.24
874.1	874.2	0.39	-0.82	-1.3
874.2	874.3	-0.62	-1.02	-1.45
874.3	874.4	1.24	-0.73	-1.34
874.4	874.5	0.34	-0.78	-1.11
874.5	874.6	0.68	-0.70	-1.22
874.6	874.7	0.72	-0.63	-1.14
874.7	874.8	2.07	-0.68	-1.28
874.8	874.9	0.84	-0.78	-1.58
874.9	875	0.69	-0.85	-1.48
875	875.1	0.65	-0.89	-1.51
875.1	875.2	2.62	-0.75	-1.4
875.2	875.3	0.46	-0.92	-1.37
875.3	875.4	1.43	-0.61	-1.31
875.4	875.5	0.52	-0.82	-1.26
875.5	875.6	2.49	-0.95	-1.56
875.6	875.7	-0.75	-1.49	-1.6
875.7	875.8	0.65	-1.05	-1.61
875.8	875.9	2.16	-1.00	-1.59
875.9	876	0.30	-1.21	-1.61
876	876.1	0.11	-1.32	-1.51
876.1	876.2	0.84	-1.08	-1.53
876.2	876.3	-0.43	-1.44	-1.68
876.3	876.4	0.69	-1.11	-1.62
876.4	876.5	1.69	-0.89	-1.61
876.5	876.6	-0.39	-1.38	-1.52
876.6	876.7	1.28	-1.11	-1.37
876.7	876.8	0.60	-1.00	-0.95
876.8	876.9	1.39	-0.85	-1.24
876.9	877	-0.20	-1.37	-2.23
877	877.1	1.11	-1.00	-1.6
877.1	877.2	0.59	-0.81	-1.25
877.2	877.3	-0.44	-1.01	-1.38
877.3	877.4	0.01	-1.35	-1.55
877.4	877.5	2.09	-0.78	-1.43
877.5	877.6	0.42	-1.18	-1.36
877.6	877.7	0.14	-1.51	-1.58
877.7	877.8	2.32	-0.86	-1.72
877.8	877.9	0.57	-1.54	-1.7
877.9	878	2.66	-1.17	-1.69
Samenvatting		4.55	-0.29	-0.49

N.2 Startbodem – vaargeul

1	2	7	13	Waterdiepte kaarten
867.5	867.6	-0.39	-1.22	-0.49
867.6	867.7	-0.50	-1.36	-0.51
867.7	867.8	-0.64	-1.29	-0.71
867.8	867.9	-0.77	-1.09	-0.73
867.9	868	-0.87	-1.07	-0.84
868	868.1	-1.00	-1.22	-0.96
868.1	868.2	-1.19	-1.39	-0.97
868.2	868.3	-1.20	-1.42	-1.15
868.3	868.4	-1.11	-1.39	-0.88
868.4	868.5	-0.90	-1.28	-0.81
868.5	868.6	-0.71	-1.13	-0.83
868.6	868.7	-0.72	-1.10	-0.90
868.7	868.8	-1.00	-1.35	-1.21
868.8	868.9	-1.52	-1.71	-1.38
868.9	869	-1.72	-1.93	-1.46
869	869.1	-1.74	-1.98	-1.50
869.1	869.2	-1.50	-1.88	-1.46
869.2	869.3	-1.41	-1.87	-1.49
869.3	869.4	-1.50	-1.74	-1.34
869.4	869.5	-1.50	-1.67	-1.12
869.5	869.6	-1.55	-1.92	-1.68
869.6	869.7	-2.20	-2.47	-2.08
869.7	869.8	-2.82	-2.90	-2.43
869.8	869.9	-2.50	-2.86	-2.04
869.9	870	-2.08	-2.75	-1.71
870	870.1	-2.36	-2.70	-1.66
870.1	870.2	-2.21	-2.59	-1.63
870.2	870.3	-2.09	-2.49	-2.01
870.3	870.4	-1.95	-2.37	-1.61
870.4	870.5	-1.97	-2.29	-1.67
870.5	870.6	-1.89	-2.21	-1.71
870.6	870.7	-1.87	-2.21	-1.61
870.7	870.8	-1.01	-1.98	-1.39
870.8	870.9	-1.28	-1.73	-1.29
870.9	871	-1.01	-1.44	-1.09
871	871.1	-0.86	-1.40	-1.34
871.1	871.2	-0.70	-1.38	-1.69
871.2	871.3	-0.91	-1.75	-1.76
871.3	871.4	-1.10	-1.81	-1.85
871.4	871.5	-1.18	-1.66	-1.86
871.5	871.6	-1.28	-1.59	-1.46
871.6	871.7	-1.31	-1.40	-1.00
871.7	871.8	-1.29	-1.39	-0.96
871.8	871.9	-1.21	-1.36	-0.95
871.9	872	-0.76	-1.05	-1.10
872	872.1	-0.61	-0.86	-0.89
872.1	872.2	-0.51	-0.94	-0.93
872.2	872.3	-0.75	-1.17	-1.11
872.3	872.4	-0.78	-1.06	-1.03
872.4	872.5	-0.90	-1.13	-1.26
872.5	872.6	-1.20	-1.31	-1.33
872.6	872.7	-1.25	-1.30	-1.25
872.7	872.8	-0.96	-1.01	-1.28
872.8	872.9	-1.07	-1.22	-1.36
872.9	873	-0.95	-1.19	-1.34
873	873.1	-0.82	-1.04	-1.31
873.1	873.2	-0.83	-1.10	-1.41
873.2	873.3	-0.89	-1.13	-1.30
873.3	873.4	-0.74	-1.05	-1.50
873.4	873.5	-0.74	-0.98	-1.26
873.5	873.6	-0.91	-1.17	-1.34

1	2	7	13	Waterdiepte kaarten
873.6	873.7	-0.95	-1.22	-1.48
873.7	873.8	-1.06	-1.24	-1.29
873.8	873.9	-1.25	-1.45	-1.4
873.9	874	-0.94	-1.25	-1.28
874	874.1	-1.08	-1.26	-1.24
874.1	874.2	-1.13	-1.18	-1.3
874.2	874.3	-0.97	-1.10	-1.45
874.3	874.4	-0.79	-1.13	-1.34
874.4	874.5	-0.64	-0.93	-1.11
874.5	874.6	-0.52	-0.93	-1.22
874.6	874.7	-0.44	-0.87	-1.14
874.7	874.8	-0.59	-1.24	-1.28
874.8	874.9	-1.10	-1.40	-1.58
874.9	875	-1.16	-1.29	-1.48
875	875.1	-1.07	-1.21	-1.51
875.1	875.2	-1.12	-1.32	-1.4
875.2	875.3	-1.03	-1.22	-1.37
875.3	875.4	-1.13	-1.23	-1.31
875.4	875.5	-1.27	-1.33	-1.26
875.5	875.6	-1.11	-1.55	-1.56
875.6	875.7	-0.96	-1.41	-1.6
875.7	875.8	-0.89	-1.48	-1.61
875.8	875.9	-0.99	-1.65	-1.59
875.9	876	-1.05	-1.46	-1.61
876	876.1	-1.11	-1.49	-1.51
876.1	876.2	-1.19	-1.50	-1.53
876.2	876.3	-1.35	-1.65	-1.68
876.3	876.4	-0.82	-1.51	-1.62
876.4	876.5	-0.98	-1.63	-1.61
876.5	876.6	-1.00	-1.58	-1.52
876.6	876.7	-0.79	-1.39	-1.37
876.7	876.8	-0.67	-1.12	-0.95
876.8	876.9	-0.64	-1.09	-1.24
876.9	877	-1.03	-1.40	-2.23
877	877.1	-0.72	-1.57	-1.6
877.1	877.2	-0.88	-1.36	-1.25
877.2	877.3	-0.90	-1.30	-1.38
877.3	877.4	-1.18	-1.65	-1.55
877.4	877.5	-1.13	-1.59	-1.43
877.5	877.6	-1.25	-1.65	-1.36
877.6	877.7	-1.14	-1.71	-1.58
877.7	877.8	-1.37	-1.72	-1.72
877.8	877.9	-1.42	-2.00	-1.7
877.9	878	-1.74	-2.23	-1.69
Samenvatting		-0.39	-0.86	-0.49

N.3 DO na 5 jaar – vaarweg

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
867.5	867.6	0	0	4	-3061	4.55	0.00	4	1	6	1	-0.50	-0.03	6	1
867.6	867.7	0	0	4	-1622	3.24	0.00	4	4	5	5	-0.67	-0.03	5	5
867.7	867.8	0	0	0	-1336	3.62	0.00	0	0	1	0	-0.41	-0.04	1	0
867.8	867.9	0	0	0	-632	1.02	0.00	0	0	0	0	-0.67	-0.03	0	-13
867.9	868	0	0	374	-342	1.34	0.00	0	0	0	0	-0.62	-0.02	217	-400
868	868.1	0	0	370	-128	1.27	0.00	0	0	0	0	-0.49	-0.01	28	-29
868.1	868.2	0	0	92	-312	1.67	0.00	0	0	0	0	-0.60	-0.01	0	0
868.2	868.3	0	0	0	-647	2.95	0.00	0	0	0	0	-0.51	-0.02	0	0
868.3	868.4	0	0	0	-1336	1.84	0.00	0	0	0	0	-0.86	-0.02	0	0
868.4	868.5	0	0	0	-951	2.18	0.00	0	0	0	0	-0.63	-0.01	0	0
868.5	868.6	0	0	0	-1107	1.34	0.00	0	0	0	0	-0.70	-0.01	0	0
868.6	868.7	0	0	3	-716	0.50	0.00	0	0	0	0	-0.73	0.03	0	0
868.7	868.8	0	0	3114	-14	3.48	0.00	21	21	30	30	-0.53	0.23	1245	1245
868.8	868.9	0	0	3562	0	1.22	0.00	0	0	0	0	-0.83	0.36	330	330
868.9	869	0	0	3855	0	2.38	0.04	53	53	74	74	-0.53	0.38	74	74
869	869.1	0	0	3872	0	1.44	0.00	56	56	78	78	-0.76	0.39	203	203
869.1	869.2	0	0	6522	0	1.68	0.00	0	0	34	34	-0.94	0.36	1508	1508
869.2	869.3	0	0	1960	-203	2.09	0.00	0	0	0	0	-1.10	0.27	735	735
869.3	869.4	0	0	597	-925	-0.08	0.02	0	0	0	0	-1.57	0.13	0	0
869.4	869.5	0	0	0	-2079	0.37	0.00	0	0	0	0	-1.55	-0.06	0	0
869.5	869.6	0	0	0	-7145	1.41	0.00	0	0	0	0	-1.94	-0.17	0	0
869.6	869.7	0	0	0	-3913	1.25	0.00	0	0	0	0	-2.19	-0.17	0	0
869.7	869.8	0	0	0	-3817	1.90	0.00	0	0	0	0	-2.35	-0.16	0	0
869.8	869.9	0	0	0	-3715	0.12	0.00	0	0	0	0	-2.59	-0.15	0	0
869.9	870	0	0	0	-6284	1.08	0.00	0	0	0	0	-2.24	-0.10	0	0
870	870.1	0	0	0	-2701	1.92	0.00	0	0	0	0	-2.05	-0.04	0	0
870.1	870.2	0	0	0	-2236	1.99	0.00	0	0	0	0	-1.94	-0.02	0	0
870.2	870.3	0	0	0	-1916	1.84	0.00	0	0	0	0	-1.74	0.00	0	0
870.3	870.4	0	0	0	-2582	1.71	0.00	0	0	0	0	-1.60	0.02	0	0
870.4	870.5	0	0	0	-474	1.86	0.00	0	0	0	0	-1.29	0.09	0	0
870.5	870.6	0	0	343	-67	1.55	0.00	0	0	0	0	-1.33	0.18	0	0
870.6	870.7	0	0	687	-138	2.10	0.02	0	0	0	0	-1.19	0.23	0	0
870.7	870.8	0	0	2670	0	2.53	0.00	0	0	0	0	-0.93	0.30	206	190
870.8	870.9	0	0	948	0	0.84	0.00	0	0	0	0	-1.32	0.30	315	315
870.9	871	0	0	1239	0	1.07	0.00	0	0	0	0	-0.86	0.26	693	625
871	871.1	0	0	1556	0	1.61	0.00	0	0	0	0	-0.92	0.27	592	592
871.1	871.2	0	0	2051	-1	1.89	0.00	0	0	0	0	-0.74	0.20	640	639
871.2	871.3	0	0	1421	-6	2.26	0.00	0	0	0	0	-1.13	0.22	90	90
871.3	871.4	0	0	541	-5	2.80	0.00	4	4	5	5	-0.60	0.13	58	58
871.4	871.5	0	0	211	-83	1.99	0.00	0	0	0	0	-1.02	0.08	7	7
871.5	871.6	0	0	983	-467	3.07	0.00	0	0	0	0	-0.65	0.07	0	0
871.6	871.7	0	0	297	-238	0.26	0.00	0	0	0	0	-1.13	0.07	0	0
871.7	871.8	0	0	131	-203	3.09	0.00	0	0	0	0	-0.69	0.04	0	0
871.8	871.9	0	0	124	-555	2.11	0.00	0	0	0	0	-0.73	-0.02	0	0
871.9	872	0	0	347	-643	1.94	0.00	17	2	23	3	-0.80	0.00	440	397
872	872.1	0	0	491	-80	0.44	0.01	61	60	85	84	-0.48	0.05	688	626
872.1	872.2	0	0	1221	0	-0.12	0.10	0	0	383	271	-0.78	0.07	1277	944
872.2	872.3	0	0	1875	0	3.03	0.01	17	13	47	43	-0.35	0.11	2110	1427
872.3	872.4	0	0	3585	-156	0.60	0.05	88	88	123	123	-0.64	0.17	4704	4424
872.4	872.5	0	0	1909	-93	-0.44	-0.01	0	0	0	0	-0.86	0.19	2135	2021
872.5	872.6	0	0	1415	0	2.15	0.00	33	19	46	27	-0.28	0.15	1074	803
872.6	872.7	0	0	738	-238	0.30	0.03	43	43	60	60	-1.01	0.12	397	397
872.7	872.8	0	0	823	-582	0.19	0.00	0	0	0	0	-0.89	0.10	1152	1152
872.8	872.9	0	0	1047	-313	0.26	0.00	0	0	0	0	-0.98	0.15	356	356
872.9	873	0	0	297	-680	1.15	0.00	0	0	0	0	-0.87	0.06	5	1
873	873.1	0	0	0	-1300	0.38	0.00	0	0	0	0	-0.89	-0.01	0	0
873.1	873.2	0	0	0	-4750	2.04	-0.01	0	-2	0	-3	-1.07	-0.10	0	-3
873.2	873.3	0	0	0	-3279	0.52	-0.02	0	-12	0	-17	-1.21	-0.19	0	-17
873.3	873.4	0	0	0	-4558	-0.62	-0.13	0	0	0	0	-1.33	-0.22	0	0
873.4	873.5	0	0	0	-3490	0.48	-0.05	0	-64	0	-89	-1.07	-0.19	0	-89
873.5	873.6	0	0	0	-6515	1.26	-0.03	0	0	0	0	-1.23	-0.18	0	-53
873.6	873.7	0	0	0	-3008	0.01	-0.03	0	0	0	0	-1.29	-0.15	0	0

873.7	873.8	0	0	0	-3056	-0.42	-0.01	0	0	0	0	0	-1.31	-0.14	0	0
873.8	873.9	0	0	0	-2098	2.35	0.00	0	0	0	0	0	-0.74	-0.09	0	0
873.9	874	0	0	0	-4043	0.57	-0.01	0	0	0	0	0	-1.15	-0.09	0	0
874	874.1	0	0	0	-1649	1.97	0.00	0	0	0	0	0	-0.60	-0.08	0	0
874.1	874.2	0	0	0	-1823	0.37	0.00	0	0	0	0	0	-0.98	-0.09	0	0
874.2	874.3	0	0	0	-1895	-0.65	-0.01	0	0	0	0	0	-1.19	-0.11	0	-50
874.3	874.4	0	0	0	-3647	1.22	0.00	0	0	0	0	0	-0.89	-0.08	0	0
874.4	874.5	0	0	0	-1926	0.33	0.00	0	0	0	0	0	-0.95	-0.08	0	0
874.5	874.6	0	0	0	-2048	0.68	0.00	0	0	0	0	0	-0.88	-0.07	0	0
874.6	874.7	0	0	0	-2100	0.72	0.00	0	0	0	0	0	-0.81	-0.07	0	0
874.7	874.8	0	0	0	-4062	2.07	0.00	0	0	0	0	0	-0.86	-0.06	0	0
874.8	874.9	0	0	0	-2012	0.80	-0.01	0	0	0	0	0	-0.96	-0.05	0	0
874.9	875	0	0	0	-1883	0.63	-0.01	0	0	0	0	0	-1.01	-0.05	0	0
875	875.1	0	0	2	-1985	0.66	0.00	2	-1	3	-1	-1.05	-0.06	3	-1	
875.1	875.2	0	0	0	-3554	2.60	0.00	0	0	0	0	0	-0.90	-0.05	0	0
875.2	875.3	0	0	0	-1577	0.45	0.00	0	0	0	0	0	-1.06	-0.05	0	-10
875.3	875.4	0	0	0	-1887	1.42	0.00	0	0	0	0	0	-0.78	-0.06	0	0
875.4	875.5	0	0	5	-1783	0.51	0.00	5	-1	7	-2	-0.97	-0.04	7	-2	
875.5	875.6	0	0	0	-4578	2.50	0.00	0	0	1	0	-1.15	-0.05	1	0	
875.6	875.7	0	0	0	-3379	-1.08	-0.08	0	0	0	0	-1.79	-0.08	0	0	
875.7	875.8	0	0	0	-2903	0.59	-0.02	0	0	0	0	-1.31	-0.07	0	0	
875.8	875.9	0	0	1	-4702	2.16	0.00	1	-5	1	-8	-1.21	-0.04	1	-8	
875.9	876	0	0	64	-1299	0.25	-0.01	0	0	0	0	-1.32	-0.03	0	-5	
876	876.1	0	0	165	-882	0.06	0.00	0	0	0	0	-1.39	-0.03	0	0	
876.1	876.2	0	0	153	-983	0.82	0.00	0	0	0	0	-1.16	-0.03	12	0	
876.2	876.3	0	0	43	-1108	-0.54	-0.01	0	0	0	0	-1.53	-0.04	0	0	
876.3	876.4	0	0	1	-2617	0.69	0.00	1	-1	1	-1	-1.23	-0.04	1	-1	
876.4	876.5	0	0	0	-1193	1.66	0.00	0	0	0	0	-1.01	-0.04	0	0	
876.5	876.6	0	0	2	-1975	-0.69	-0.02	0	0	0	0	-1.57	-0.05	3	-1	
876.6	876.7	0	0	3	-3695	1.27	0.00	0	0	0	0	-1.29	-0.05	0	0	
876.7	876.8	0	0	407	-1833	0.56	0.00	0	0	0	0	-1.14	-0.04	0	0	
876.8	876.9	0	0	0	-1608	1.37	0.00	0	0	0	0	-1.01	-0.04	0	0	
876.9	877	0	0	491	-608	-0.24	0.00	0	0	0	0	-1.38	-0.03	0	0	
877	877.1	0	0	69	-1000	1.10	0.00	0	-4	0	-5	-1.04	-0.03	31	-8	
877.1	877.2	0	0	108	-314	0.59	0.00	0	-3	0	-5	-0.82	-0.02	151	-41	
877.2	877.3	0	0	380	-401	-0.35	-0.03	0	0	0	0	-1.00	-0.02	532	-145	
877.3	877.4	0	0	312	-255	0.02	-0.01	9	-6	13	-8	-1.34	-0.03	172	-176	
877.4	877.5	0	0	57	-1056	2.08	0.00	0	0	0	0	-0.83	-0.03	80	-84	
877.5	877.6	0	0	14	-554	0.42	0.00	0	0	0	0	-1.23	-0.03	19	-42	
877.6	877.7	0	0	35	-509	0.14	0.00	0	0	0	0	-1.56	-0.03	0	-11	
877.7	877.8	0	0	38	-433	2.32	-0.01	4	-7	8	-14	-0.89	-0.03	8	-14	
877.8	877.9	0	0	459	-561	0.56	0.00	38	-15	175	-30	-1.55	-0.02	335	-136	
877.9	878	0	0	603	-241	2.67	0.00	14	-7	19	-9	-1.14	-0.03	59	-58	
Samenvatting		0	0	54693	-163360	4.55	0.01	471	234	1226	643	-0.28	0.09	22704	17772	

N.4

DO na 40 jaar – vaarweg

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
867.5	867.6	0	0	1	-6864	4.55	0.00	1	0	2	-1	-0.31	-0.04	2	-1
867.6	867.7	0	0	0	-4414	3.24	0.00	0	0	0	0	-0.56	-0.05	0	0
867.7	867.8	0	0	0	-4160	3.62	0.00	0	0	0	0	-0.31	-0.07	0	0
867.8	867.9	0	0	0	-3307	1.43	0.00	0	0	0	0	-0.51	-0.08	0	0
867.9	868	0	0	0	-4800	1.76	0.00	0	0	0	0	-0.43	-0.09	0	0
868	868.1	0	0	0	-1534	1.68	0.00	0	0	0	0	-0.25	-0.09	0	-29
868.1	868.2	0	0	0	-1366	2.08	0.00	0	0	0	0	-0.30	-0.07	0	-178
868.2	868.3	0	0	0	-1011	3.22	0.00	0	0	0	0	-0.15	-0.05	0	-210
868.3	868.4	0	0	0	-1840	2.26	0.00	0	0	0	0	-0.47	-0.04	0	-202
868.4	868.5	0	0	0	-2016	2.59	0.00	0	0	0	0	-0.31	0.02	0	0
868.5	868.6	0	0	0	-2530	1.75	0.00	0	0	0	0	-0.42	0.07	0	0
868.6	868.7	0	0	0	-1895	0.92	0.00	0	0	0	0	-0.43	0.16	0	0
868.7	868.8	0	0	5185	-307	3.48	0.00	0	0	0	0	-0.05	0.57	7036	7036
868.8	868.9	0	0	7509	0	1.64	0.01	0	0	706	706	0.00	1.02	9488	9488
868.9	869	0	0	8088	0	2.82	0.08	75	75	153	153	0.33	0.97	8736	8736
869	869.1	0	0	6984	0	1.87	0.01	96	96	134	134	-0.01	0.77	6703	6703
869.1	869.2	0	0	9813	0	2.11	0.01	41	41	856	856	-0.35	0.56	9917	9917
869.2	869.3	0	0	2092	-680	2.52	0.01	0	0	32	32	-0.70	0.34	2645	2645
869.3	869.4	0	0	365	-3232	0.35	0.05	0	0	0	0	-1.40	0.13	414	414
869.4	869.5	0	0	0	-4809	0.79	0.03	0	0	0	0	-1.41	-0.06	0	0
869.5	869.6	0	0	0	-12748	1.84	0.01	0	0	0	0	-1.81	-0.13	0	0
869.6	869.7	0	0	0	-6496	1.67	0.01	0	0	0	0	-2.05	-0.11	0	0
869.7	869.8	0	0	0	-6532	2.32	0.01	0	0	0	0	-2.21	-0.10	0	0
869.8	869.9	0	0	0	-6986	0.54	0.01	0	0	0	0	-2.52	-0.12	0	0
869.9	870	0	0	31	-14522	1.51	0.01	0	0	0	0	-2.25	-0.12	0	0
870	870.1	0	0	0	-7303	2.35	0.01	0	0	0	0	-2.11	-0.06	0	0
870.1	870.2	0	0	0	-6353	2.41	0.01	0	0	0	0	-1.95	-0.04	0	0
870.2	870.3	0	0	0	-5793	2.26	0.01	0	0	0	0	-1.72	-0.03	0	0
870.3	870.4	0	0	0	-10134	2.13	0.01	0	0	0	0	-1.56	0.02	0	0
870.4	870.5	0	0	0	-3896	2.29	0.01	0	0	0	0	-1.22	0.13	0	0
870.5	870.6	0	0	0	-2659	1.98	0.01	0	0	0	0	-1.20	0.25	0	0
870.6	870.7	0	0	0	-1317	2.52	0.03	0	0	0	0	-0.95	0.43	0	0
870.7	870.8	0	0	798	-559	2.95	0.02	0	0	0	0	-0.62	0.49	90	55
870.8	870.9	0	0	323	-191	1.27	0.02	0	0	0	0	-0.98	0.52	305	305
870.9	871	0	0	640	-1	1.49	0.02	0	0	0	0	-0.49	0.50	684	684
871	871.1	0	0	1651	-1	2.03	0.02	0	0	7	7	-0.49	0.57	744	744
871.1	871.2	0	0	2687	-79	2.31	0.02	3	3	124	124	-0.29	0.48	1419	1419
871.2	871.3	0	0	2437	-55	2.69	0.02	0	0	0	0	-0.61	0.50	865	865
871.3	871.4	0	0	875	-1	3.20	0.01	15	15	26	26	-0.14	0.37	557	557
871.4	871.5	0	0	148	-115	2.41	0.02	0	0	0	0	-0.60	0.27	192	192
871.5	871.6	0	0	448	-601	3.20	0.01	0	0	0	0	-0.27	0.19	244	244
871.6	871.7	0	0	36	-897	0.68	0.02	0	0	0	0	-0.78	0.13	50	50
871.7	871.8	0	0	0	-1280	3.19	0.01	0	0	0	0	-0.41	0.10	0	0
871.8	871.9	0	0	0	-1508	2.53	0.02	0	0	0	0	-0.41	0.08	0	0
871.9	872	0	0	520	-2406	2.36	0.02	0	0	729	729	-0.45	0.16	729	729
872	872.1	0	0	840	-445	0.86	0.02	452	452	1074	1074	-0.05	0.25	1175	1175
872.1	872.2	662	158	2614	-12	0.56	0.34	1327	1172	2295	2045	-0.23	0.33	3483	3208
872.2	872.3	662	158	3806	-2	3.18	0.00	1137	1137	3207	2727	0.21	0.39	5328	4849
872.3	872.4	662	158	8109	0	1.09	0.12	1612	1612	5257	5056	0.00	0.46	11352	11101
872.4	872.5	662	158	4408	0	0.25	0.35	674	674	2433	2427	-0.20	0.51	6171	6064
872.5	872.6	662	158	4046	0	2.61	0.04	163	134	1215	1175	0.39	0.44	5665	5203
872.6	872.7	662	158	5152	0	0.76	0.09	76	76	896	896	-0.16	0.65	7213	7198
872.7	872.8	662	158	10297	0	0.66	0.07	83	83	6987	6987	-0.01	0.68	14416	14416
872.8	872.9	662	158	4468	0	0.70	0.05	3	3	284	284	-0.21	0.58	6256	6256
872.9	873	662	158	2088	-66	1.60	0.04	0	0	0	0	-0.22	0.32	2924	2895
873	873.1	662	158	363	-821	0.82	0.04	0	0	55	55	-0.38	0.10	509	509
873.1	873.2	0	504	21	-5295	2.47	0.03	0	0	0	0	-0.65	-0.12	29	-61
873.2	873.3	0	504	0	-4505	0.95	0.02	0	0	0	0	-0.88	-0.26	0	0
873.3	873.4	0	504	0	-6487	-0.35	-0.21	0	0	0	0	-1.07	-0.33	0	0
873.4	873.5	0	504	0	-5792	0.87	-0.02	0	-5	0	-7	-0.84	-0.28	0	-7
873.5	873.6	0	504	0	-10008	1.69	0.03	0	0	0	0	-0.95	-0.22	0	-10
873.6	873.7	0	504	0	-4259	0.44	0.02	0	0	0	0	-0.97	-0.15	0	0

873.7	873.8	0	504	0	-4707	0.00	0.03	0	0	0	0	0	-1.02	-0.14	0	0
873.8	873.9	0	504	0	-3722	2.78	0.03	0	0	0	0	0	-0.45	-0.15	0	0
873.9	874	0	504	0	-6382	0.99	0.02	0	0	0	0	0	-0.82	-0.14	0	-324
874	874.1	0	504	0	-2755	2.40	0.03	0	0	0	0	0	-0.27	-0.15	0	-262
874.1	874.2	0	0	0	-2722	0.80	0.03	0	0	0	0	0	-0.63	-0.15	0	-374
874.2	874.3	0	0	0	-2931	-0.22	0.03	0	0	0	0	0	-0.85	-0.18	0	-45
874.3	874.4	0	0	0	-6530	1.65	0.01	0	0	0	0	0	-0.59	-0.17	0	0
874.4	874.5	0	0	0	-3332	0.76	0.02	0	0	0	0	0	-0.64	-0.13	0	0
874.5	874.6	0	0	0	-3746	1.10	0.03	0	0	0	0	0	-0.59	-0.13	0	0
874.6	874.7	0	0	0	-3906	1.14	0.03	0	0	0	0	0	-0.53	-0.11	0	0
874.7	874.8	0	0	0	-8429	2.49	0.03	0	0	0	0	0	-0.62	-0.10	0	0
874.8	874.9	0	0	53	-3525	1.19	0.02	53	-9	74	-12	-0.65	-0.06	74	-12	
874.9	875	0	0	47	-3906	0.98	0.02	0	0	66	-34	-0.75	-0.06	66	-34	
875	875.1	0	0	0	-3853	1.07	0.03	0	0	0	0	0	-0.79	-0.04	0	0
875.1	875.2	0	0	0	-6976	3.01	0.03	0	0	0	0	0	-0.62	-0.06	0	0
875.2	875.3	0	0	0	-2979	0.86	0.03	0	0	0	0	0	-0.76	-0.04	0	0
875.3	875.4	0	0	0	-3248	1.85	0.03	0	0	0	0	0	-0.47	-0.05	0	0
875.4	875.5	0	0	0	-2850	0.94	0.03	0	0	0	0	0	-0.64	-0.01	0	0
875.5	875.6	0	0	0	-7606	2.92	0.03	0	0	0	0	0	-0.86	0.01	0	0
875.6	875.7	0	0	0	-5316	-0.84	-0.02	0	0	0	0	0	-1.54	0.01	0	0
875.7	875.8	0	0	0	-5431	0.96	0.03	0	0	0	0	0	-1.12	0.01	0	0
875.8	875.9	0	0	0	-9024	2.57	0.03	0	0	0	0	0	-0.98	0.02	0	0
875.9	876	0	0	0	-2356	0.63	0.03	0	0	0	0	0	-1.00	0.02	0	0
876	876.1	0	0	0	-1976	0.45	0.03	0	0	0	0	0	-1.07	-0.02	0	0
876.1	876.2	0	0	0	-2309	1.23	0.03	0	0	0	0	0	-0.86	0.01	0	0
876.2	876.3	0	0	0	-2422	-0.20	0.03	0	0	0	0	0	-1.23	0.03	0	0
876.3	876.4	0	0	0	-5935	1.11	0.03	0	0	0	0	0	-0.96	0.04	0	0
876.4	876.5	0	0	0	-3156	2.06	0.03	0	0	0	0	0	-0.78	0.00	0	0
876.5	876.6	0	0	0	-4772	-0.45	0.02	0	0	0	0	0	-1.42	0.00	0	0
876.6	876.7	0	0	0	-9618	1.67	0.03	0	0	0	0	0	-1.17	-0.03	0	0
876.7	876.8	0	0	0	-4242	0.96	0.03	0	0	0	0	0	-1.00	-0.02	0	0
876.8	876.9	0	0	0	-2400	1.78	0.03	0	0	0	0	0	-0.66	-0.01	0	0
876.9	877	0	0	693	-923	0.17	0.03	0	0	0	0	0	-0.97	-0.04	415	-460
877	877.1	0	0	7	-2893	1.52	0.03	0	0	0	0	0	-0.71	-0.01	9	-14
877.1	877.2	0	0	31	-1530	1.00	0.03	4	1	6	2	-0.51	0.01	44	-31	
877.2	877.3	0	0	0	-1971	-0.10	0.02	0	0	0	0	0	-0.75	0.01	0	0
877.3	877.4	0	0	332	-1752	0.36	0.03	0	0	0	0	0	-1.06	-0.01	0	0
877.4	877.5	0	0	0	-6631	2.49	0.03	0	0	0	0	0	-0.66	-0.01	0	0
877.5	877.6	0	0	0	-4088	0.84	0.03	0	0	0	0	0	-1.13	-0.02	0	0
877.6	877.7	0	0	0	-4386	0.55	0.03	0	0	0	0	0	-1.50	-0.03	0	0
877.7	877.8	0	0	0	-4033	2.67	0.03	0	0	0	0	0	-0.79	-0.03	0	0
877.8	877.9	0	0	2	-8245	0.98	0.03	0	0	0	0	0	-1.50	-0.03	0	0
877.9	878	0	0	0	-4710	3.07	0.03	0	0	0	0	0	-1.15	-0.03	0	0
Samenvatting		6617	6617	98009	-359115	4.55	0.03	5813	5558	26620	25442	0.39	0.18	115949	111402	

N.5 DO na 5 jaar – vaargeul

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
867.5	867.6	0	0	0	-2133	-0.44	-0.03	0	0	0	0	-1.38	-0.04	0	0
867.6	867.7	0	0	0	-1224	-0.62	-0.03	0	0	0	0	-1.55	-0.04	0	0
867.7	867.8	0	0	0	-962	-0.77	-0.02	0	0	0	0	-1.43	-0.04	0	0
867.8	867.9	0	0	0	-467	-0.84	-0.02	0	0	0	0	-1.17	-0.04	0	-13
867.9	868	0	0	152	-133	-0.92	-0.02	0	0	0	0	-1.07	-0.03	188	-302
868	868.1	0	0	370	-95	-1.05	-0.01	0	0	0	0	-1.18	-0.01	28	-29
868.1	868.2	0	0	92	-292	-1.29	-0.03	0	0	0	0	-1.42	-0.02	0	0
868.2	868.3	0	0	0	-637	-1.28	-0.03	0	0	0	0	-1.52	-0.03	0	0
868.3	868.4	0	0	0	-1327	-1.20	-0.02	0	0	0	0	-1.49	-0.03	0	0
868.4	868.5	0	0	0	-937	-1.08	-0.03	0	0	0	0	-1.42	-0.02	0	0
868.5	868.6	0	0	0	-930	-0.88	-0.04	0	0	0	0	-1.27	-0.01	0	0
868.6	868.7	0	0	3	-566	-0.86	-0.03	0	0	0	0	-1.19	0.04	0	0
868.7	868.8	0	0	2943	-1	-1.00	0.05	0	0	0	0	-1.12	0.33	1009	1009
868.8	868.9	0	0	3121	0	-1.11	0.42	0	0	0	0	-1.20	0.49	207	207
868.9	869	0	0	3325	0	-1.37	0.40	0	0	0	0	-1.39	0.49	0	0
869	869.1	0	0	3182	0	-1.25	0.53	0	0	0	0	-1.46	0.49	0	0
869.1	869.2	0	0	6300	0	-0.90	0.65	0	0	0	0	-1.44	0.47	1196	1196
869.2	869.3	0	0	1775	-203	-0.93	0.52	0	0	0	0	-1.65	0.32	476	476
869.3	869.4	0	0	597	-661	-1.24	0.31	0	0	0	0	-1.75	0.16	0	0
869.4	869.5	0	0	0	-1985	-1.71	-0.06	0	0	0	0	-1.95	-0.07	0	0
869.5	869.6	0	0	0	-6916	-2.10	-0.32	0	0	0	0	-2.41	-0.22	0	0
869.6	869.7	0	0	0	-3427	-2.98	-0.32	0	0	0	0	-3.06	-0.24	0	0
869.7	869.8	0	0	0	-3320	-3.36	-0.20	0	0	0	0	-3.47	-0.22	0	0
869.8	869.9	0	0	0	-3712	-2.97	-0.22	0	0	0	0	-3.40	-0.21	0	0
869.9	870	0	0	0	-6283	-2.12	-0.01	0	0	0	0	-3.20	-0.13	0	0
870	870.1	0	0	0	-2701	-2.61	-0.10	0	0	0	0	-3.07	-0.06	0	0
870.1	870.2	0	0	0	-2236	-2.38	0.01	0	0	0	0	-2.90	-0.02	0	0
870.2	870.3	0	0	0	-1916	-2.25	0.03	0	0	0	0	-2.76	0.00	0	0
870.3	870.4	0	0	0	-2379	-2.12	0.04	0	0	0	0	-2.55	0.03	0	0
870.4	870.5	0	0	0	-322	-2.03	0.10	0	0	0	0	-2.34	0.13	0	0
870.5	870.6	0	0	343	0	-1.85	0.20	0	0	0	0	-2.15	0.26	0	0
870.6	870.7	0	0	641	-138	-1.77	0.28	0	0	0	0	-2.13	0.32	0	0
870.7	870.8	0	0	2357	0	-0.90	0.10	0	0	0	0	-1.80	0.42	206	190
870.8	870.9	0	0	702	0	-1.15	0.33	0	0	0	0	-1.62	0.35	83	83
870.9	871	0	0	1083	0	-0.88	0.33	0	0	0	0	-1.27	0.35	474	474
871	871.1	0	0	1061	0	-0.75	0.30	0	0	0	0	-1.24	0.31	429	429
871.1	871.2	0	0	1904	0	-0.67	0.25	0	0	0	0	-1.24	0.26	509	509
871.2	871.3	0	0	1184	0	-0.87	0.25	0	0	0	0	-1.57	0.27	90	90
871.3	871.4	0	0	537	0	-1.07	0.20	0	0	0	0	-1.74	0.16	53	53
871.4	871.5	0	0	206	-53	-1.21	0.12	0	0	0	0	-1.64	0.09	0	0
871.5	871.6	0	0	932	-121	-1.35	0.09	0	0	0	0	-1.53	0.10	0	0
871.6	871.7	0	0	297	-42	-1.23	0.04	0	0	0	0	-1.35	0.09	0	0
871.7	871.8	0	0	131	0	-1.29	0.01	0	0	0	0	-1.37	0.06	0	0
871.8	871.9	0	0	26	-269	-1.35	-0.10	0	0	0	0	-1.40	-0.02	0	0
871.9	872	0	0	70	-470	-0.74	0.05	0	0	0	0	-1.08	0.00	98	98
872	872.1	0	0	292	-80	-0.51	0.09	0	0	0	0	-0.83	0.04	409	351
872.1	872.2	0	0	537	0	-0.37	0.14	0	0	0	0	-0.87	0.06	662	527
872.2	872.3	0	0	978	0	-0.57	0.17	0	0	0	0	-1.03	0.11	855	699
872.3	872.4	0	0	2524	0	-0.55	0.28	0	0	0	0	-0.87	0.20	3218	3160
872.4	872.5	0	0	1368	0	-0.69	0.21	0	0	0	0	-0.93	0.22	1634	1634
872.5	872.6	0	0	1110	0	-0.99	0.14	0	0	0	0	-1.15	0.21	646	503
872.6	872.7	0	0	600	0	-1.13	0.13	0	0	0	0	-1.22	0.15	203	203
872.7	872.8	0	0	352	-184	-0.92	0.14	0	0	0	0	-0.99	0.11	493	493
872.8	872.9	0	0	691	-116	-1.11	0.14	0	0	0	0	-1.14	0.18	356	356
872.9	873	0	0	297	-360	-1.13	-0.01	0	0	0	0	-1.20	0.11	5	5
873	873.1	0	0	0	-885	-1.05	-0.10	0	0	0	0	-1.17	0.02	0	0
873.1	873.2	0	0	0	-2779	-1.08	-0.15	0	0	0	0	-1.30	-0.09	0	0
873.2	873.3	0	0	0	-2569	-1.27	-0.27	0	0	0	0	-1.49	-0.23	0	0
873.3	873.4	0	0	0	-2893	-1.15	-0.28	0	0	0	0	-1.46	-0.25	0	0
873.4	873.5	0	0	0	-2860	-1.15	-0.25	0	0	0	0	-1.38	-0.22	0	0
873.5	873.6	0	0	0	-5041	-1.28	-0.22	0	0	0	0	-1.53	-0.21	0	0
873.6	873.7	0	0	0	-2280	-1.29	-0.20	0	0	0	0	-1.54	-0.19	0	0

873.7	873.8	0	0	0	-2287	-1.39	-0.20	0	0	0	0	0	-1.57	-0.17	0	0
873.8	873.9	0	0	0	-1641	-1.51	-0.13	0	0	0	0	0	-1.68	-0.12	0	0
873.9	874	0	0	0	-2799	-1.23	-0.12	0	0	0	0	0	-1.44	-0.11	0	0
874	874.1	0	0	0	-1238	-1.32	-0.10	0	0	0	0	0	-1.43	-0.11	0	0
874.1	874.2	0	0	0	-1036	-1.34	-0.12	0	0	0	0	0	-1.36	-0.11	0	0
874.2	874.3	0	0	0	-1344	-1.17	-0.14	0	0	0	0	0	-1.29	-0.13	0	0
874.3	874.4	0	0	0	-2318	-1.00	-0.10	0	0	0	0	0	-1.33	-0.11	0	0
874.4	874.5	0	0	0	-1310	-0.86	-0.10	0	0	0	0	0	-1.15	-0.10	0	0
874.5	874.6	0	0	0	-1547	-0.74	-0.10	0	0	0	0	0	-1.15	-0.09	0	0
874.6	874.7	0	0	0	-1657	-0.69	-0.11	0	0	0	0	0	-1.10	-0.09	0	0
874.7	874.8	0	0	0	-3272	-0.84	-0.09	0	0	0	0	0	-1.46	-0.07	0	0
874.8	874.9	0	0	0	-1866	-1.36	-0.06	0	0	0	0	0	-1.66	-0.08	0	0
874.9	875	0	0	0	-1739	-1.39	-0.05	0	0	0	0	0	-1.53	-0.08	0	0
875	875.1	0	0	0	-1911	-1.30	-0.05	0	0	0	0	0	-1.47	-0.09	0	0
875.1	875.2	0	0	0	-3040	-1.32	-0.07	0	0	0	0	0	-1.53	-0.08	0	0
875.2	875.3	0	0	0	-1064	-1.25	-0.07	0	0	0	0	0	-1.40	-0.07	0	0
875.3	875.4	0	0	0	-1213	-1.32	-0.06	0	0	0	0	0	-1.44	-0.08	0	0
875.4	875.5	0	0	0	-1374	-1.53	-0.07	0	0	0	0	0	-1.57	-0.07	0	0
875.5	875.6	0	0	0	-3180	-1.41	-0.08	0	0	0	0	0	-1.84	-0.07	0	0
875.6	875.7	0	0	0	-1966	-1.29	-0.09	0	0	0	0	0	-1.76	-0.09	0	0
875.7	875.8	0	0	0	-2356	-1.24	-0.08	0	0	0	0	0	-1.82	-0.09	0	0
875.8	875.9	0	0	0	-3479	-1.32	-0.05	0	0	0	0	0	-1.90	-0.05	0	0
875.9	876	0	0	0	-722	-1.22	-0.05	0	0	0	0	0	-1.59	-0.04	0	0
876	876.1	0	0	0	-460	-1.27	-0.05	0	0	0	0	0	-1.57	-0.04	0	0
876.1	876.2	0	0	9	-577	-1.38	-0.06	0	0	0	0	0	-1.60	-0.04	0	0
876.2	876.3	0	0	0	-648	-1.54	-0.05	0	0	0	0	0	-1.77	-0.05	0	0
876.3	876.4	0	0	0	-2067	-1.16	-0.04	0	0	0	0	0	-1.67	-0.05	0	0
876.4	876.5	0	0	0	-1157	-1.15	-0.04	0	0	0	0	0	-1.77	-0.05	0	0
876.5	876.6	0	0	0	-1579	-1.19	-0.05	0	0	0	0	0	-1.78	-0.07	0	0
876.6	876.7	0	0	0	-3621	-1.14	-0.05	0	0	0	0	0	-1.62	-0.07	0	0
876.7	876.8	0	0	0	-1784	-1.09	-0.04	0	0	0	0	0	-1.35	-0.05	0	0
876.8	876.9	0	0	0	-1452	-1.13	-0.07	0	0	0	0	0	-1.32	-0.05	0	0
876.9	877	0	0	99	-554	-1.29	-0.05	0	0	0	0	0	-1.47	-0.05	0	0
877	877.1	0	0	1	-844	-0.78	-0.02	0	0	0	0	0	-1.63	-0.04	0	0
877.1	877.2	0	0	56	-286	-0.84	-0.01	0	0	0	0	0	-1.39	-0.03	78	-25
877.2	877.3	0	0	46	-385	-0.86	-0.01	0	0	0	0	0	-1.35	-0.02	64	-23
877.3	877.4	0	0	50	-255	-1.17	-0.03	0	0	0	0	0	-1.68	-0.03	21	-50
877.4	877.5	0	0	0	-942	-1.21	-0.02	0	0	0	0	0	-1.67	-0.03	0	0
877.5	877.6	0	0	0	-495	-1.32	-0.04	0	0	0	0	0	-1.73	-0.05	0	0
877.6	877.7	0	0	0	-496	-1.17	-0.02	0	0	0	0	0	-1.77	-0.04	0	0
877.7	877.8	0	0	0	-431	-1.39	-0.04	0	0	0	0	0	-1.78	-0.04	0	0
877.8	877.9	0	0	187	-545	-1.43	-0.02	0	0	0	0	0	-2.03	-0.03	0	0
877.9	878	0	0	298	-232	-1.81	-0.03	0	0	0	0	0	-2.21	-0.04	0	0
Samenvatting		0	0	42828	-130069	-0.37	0.12	0	0	0	0	0	-0.83	0.12	13691	12303

N.6

DO na 40 jaar – vaargeul

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
867.5	867.6	0	0	0	-4924	-0.19	-0.07	0	0	0	0	-1.17	-0.04	0	0
867.6	867.7	0	0	0	-3387	-0.55	-0.06	0	0	0	0	-1.45	-0.06	0	0
867.7	867.8	0	0	0	-3208	-0.67	-0.07	0	0	0	0	-1.35	-0.09	0	0
867.8	867.9	0	0	0	-2499	-0.66	-0.07	0	0	0	0	-1.06	-0.10	0	0
867.9	868	0	0	0	-3004	-0.67	-0.09	0	0	0	0	-0.94	-0.13	0	0
868	868.1	0	0	0	-1408	-0.87	-0.11	0	0	0	0	-1.02	-0.13	0	-29
868.1	868.2	0	0	0	-1266	-1.04	-0.07	0	0	0	0	-1.17	-0.11	0	-178
868.2	868.3	0	0	0	-949	-1.04	-0.04	0	0	0	0	-1.15	-0.09	0	-210
868.3	868.4	0	0	0	-1730	-0.99	-0.05	0	0	0	0	-1.10	-0.06	0	-202
868.4	868.5	0	0	0	-1942	-0.92	-0.05	0	0	0	0	-1.16	0.03	0	0
868.5	868.6	0	0	0	-2086	-0.68	0.00	0	0	0	0	-1.03	0.11	0	0
868.6	868.7	0	0	0	-1420	-0.66	0.09	0	0	0	0	-0.91	0.23	0	0
868.7	868.8	0	0	4805	-129	-0.31	0.73	0	0	0	0	-0.56	0.80	6505	6505
868.8	868.9	0	0	6412	0	-0.16	1.20	0	0	499	499	-0.24	1.37	7952	7952
868.9	869	0	0	7086	0	-0.27	1.16	0	0	49	49	-0.34	1.32	7333	7333
869	869.1	0	0	5996	0	-0.45	0.88	0	0	0	0	-0.57	1.01	5366	5366
869.1	869.2	0	0	9275	0	-0.09	1.14	0	0	356	356	-0.81	0.71	9164	9164
869.2	869.3	0	0	1777	-680	-0.28	0.85	0	0	32	32	-1.29	0.39	2204	2204
869.3	869.4	0	0	365	-2419	-0.83	0.39	0	0	0	0	-1.60	0.15	414	414
869.4	869.5	0	0	0	-4659	-1.64	-0.19	0	0	0	0	-1.89	-0.09	0	0
869.5	869.6	0	0	0	-12426	-2.17	-0.37	0	0	0	0	-2.38	-0.18	0	0
869.6	869.7	0	0	0	-5709	-2.98	-0.13	0	0	0	0	-3.03	-0.16	0	0
869.7	869.8	0	0	0	-5616	-3.29	-0.14	0	0	0	0	-3.44	-0.14	0	0
869.8	869.9	0	0	0	-6984	-2.96	-0.21	0	0	0	0	-3.44	-0.17	0	0
869.9	870	0	0	31	-14521	-1.63	0.11	0	0	0	0	-3.35	-0.17	0	0
870	870.1	0	0	0	-7302	-2.59	-0.11	0	0	0	0	-3.29	-0.08	0	0
870.1	870.2	0	0	0	-6353	-2.30	-0.02	0	0	0	0	-3.05	-0.05	0	0
870.2	870.3	0	0	0	-5793	-2.22	-0.04	0	0	0	0	-2.87	-0.04	0	0
870.3	870.4	0	0	0	-9410	-2.11	-0.04	0	0	0	0	-2.65	0.03	0	0
870.4	870.5	0	0	0	-3219	-2.03	0.12	0	0	0	0	-2.38	0.20	0	0
870.5	870.6	0	0	0	-2102	-1.79	0.28	0	0	0	0	-2.12	0.35	0	0
870.6	870.7	0	0	0	-927	-1.63	0.46	0	0	0	0	-1.93	0.61	0	0
870.7	870.8	0	0	798	-207	-0.54	0.05	0	0	0	0	-1.51	0.67	90	55
870.8	870.9	0	0	317	-89	-0.81	0.66	0	0	0	0	-1.27	0.63	297	297
870.9	871	0	0	616	0	-0.49	0.67	0	0	0	0	-0.92	0.67	650	650
871	871.1	0	0	994	0	-0.35	0.64	0	0	0	0	-0.83	0.67	737	737
871.1	871.2	0	0	2609	0	-0.25	0.60	0	0	119	119	-0.76	0.64	1414	1414
871.2	871.3	0	0	1922	0	-0.42	0.62	0	0	0	0	-1.04	0.62	865	865
871.3	871.4	0	0	832	0	-0.58	0.59	0	0	0	0	-1.27	0.46	497	497
871.4	871.5	0	0	109	-108	-0.72	0.46	0	0	0	0	-1.24	0.31	137	137
871.5	871.6	0	0	448	-152	-0.91	0.35	0	0	0	0	-1.14	0.24	244	244
871.6	871.7	0	0	36	-225	-0.90	0.13	0	0	0	0	-1.00	0.15	50	50
871.7	871.8	0	0	0	-596	-0.99	0.11	0	0	0	0	-1.07	0.13	0	0
871.8	871.9	0	0	0	-1090	-1.07	0.04	0	0	0	0	-1.13	0.10	0	0
871.9	872	0	0	0	-2047	-0.35	0.28	0	0	0	0	-0.79	0.18	0	0
872	872.1	0	0	309	-445	-0.03	0.40	0	0	331	331	-0.45	0.29	433	433
872.1	872.2	662	158	915	-12	0.14	0.41	199	199	716	716	-0.39	0.32	1281	1281
872.2	872.3	662	158	2123	0	0.07	0.51	102	102	851	851	-0.44	0.42	2972	2972
872.3	872.4	662	158	5708	0	0.19	0.60	430	430	2514	2514	-0.22	0.52	7991	7991
872.4	872.5	662	158	3209	0	0.11	0.61	158	158	1135	1135	-0.24	0.57	4493	4493
872.5	872.6	662	158	3133	0	-0.11	0.57	0	0	405	405	-0.43	0.58	4386	4166
872.6	872.7	662	158	3733	0	-0.19	0.66	0	0	348	348	-0.34	0.72	5227	5213
872.7	872.8	662	158	7260	0	-0.02	0.75	0	0	4870	4870	-0.05	0.77	10164	10164
872.8	872.9	662	158	3434	0	-0.23	0.63	0	0	280	280	-0.29	0.71	4808	4808
872.9	873	662	158	1931	-22	-0.42	0.33	0	0	0	0	-0.47	0.46	2703	2703
873	873.1	662	158	324	-529	-0.60	-0.02	0	0	0	0	-0.63	0.15	454	454
873.1	873.2	0	504	21	-3504	-0.69	-0.17	0	0	0	0	-0.91	-0.12	29	-61
873.2	873.3	0	504	0	-3609	-0.95	-0.34	0	0	0	0	-1.20	-0.35	0	0
873.3	873.4	0	504	0	-4318	-0.90	-0.38	0	0	0	0	-1.22	-0.38	0	0
873.4	873.5	0	504	0	-4772	-0.89	-0.35	0	0	0	0	-1.22	-0.37	0	0
873.5	873.6	0	504	0	-7978	-1.04	-0.31	0	0	0	0	-1.31	-0.28	0	0
873.6	873.7	0	504	0	-3399	-1.04	-0.22	0	0	0	0	-1.27	-0.20	0	0

873.7	873.8	0	504	0	-3710	-1.14	-0.24	0	0	0	0	0	-1.34	-0.19	0	0
873.8	873.9	0	504	0	-3066	-1.27	-0.21	0	0	0	0	0	-1.45	-0.22	0	0
873.9	874	0	504	0	-4570	-0.96	-0.18	0	0	0	0	0	-1.14	-0.21	0	-324
874	874.1	0	504	0	-2037	-1.02	-0.22	0	0	0	0	0	-1.11	-0.22	0	-262
874.1	874.2	0	0	0	-1456	-0.95	-0.29	0	0	0	0	0	-1.00	-0.22	0	-374
874.2	874.3	0	0	0	-2136	-0.87	-0.26	0	0	0	0	0	-0.97	-0.24	0	-45
874.3	874.4	0	0	0	-4257	-0.78	-0.20	0	0	0	0	0	-1.07	-0.24	0	0
874.4	874.5	0	0	0	-2408	-0.61	-0.19	0	0	0	0	0	-0.92	-0.20	0	0
874.5	874.6	0	0	0	-2880	-0.47	-0.16	0	0	0	0	0	-0.90	-0.18	0	0
874.6	874.7	0	0	0	-3173	-0.40	-0.11	0	0	0	0	0	-0.88	-0.16	0	0
874.7	874.8	0	0	0	-6537	-0.58	-0.11	0	0	0	0	0	-1.26	-0.14	0	0
874.8	874.9	0	0	0	-3387	-1.06	-0.11	0	0	0	0	0	-1.44	-0.11	0	0
874.9	875	0	0	0	-3695	-1.13	-0.08	0	0	0	0	0	-1.36	-0.11	0	0
875	875.1	0	0	0	-3768	-1.11	-0.06	0	0	0	0	0	-1.30	-0.08	0	0
875.1	875.2	0	0	0	-5991	-1.16	-0.09	0	0	0	0	0	-1.31	-0.09	0	0
875.2	875.3	0	0	0	-2073	-1.10	-0.09	0	0	0	0	0	-1.15	-0.08	0	0
875.3	875.4	0	0	0	-2149	-1.09	-0.07	0	0	0	0	0	-1.18	-0.07	0	0
875.4	875.5	0	0	0	-2099	-1.18	-0.02	0	0	0	0	0	-1.27	-0.04	0	0
875.5	875.6	0	0	0	-5018	-1.19	0.01	0	0	0	0	0	-1.58	0.01	0	0
875.6	875.7	0	0	0	-3020	-1.08	-0.01	0	0	0	0	0	-1.53	0.01	0	0
875.7	875.8	0	0	0	-4382	-1.09	-0.01	0	0	0	0	0	-1.68	0.01	0	0
875.8	875.9	0	0	0	-7255	-1.22	0.02	0	0	0	0	0	-1.75	0.03	0	0
875.9	876	0	0	0	-1319	-0.98	0.00	0	0	0	0	0	-1.27	0.02	0	0
876	876.1	0	0	0	-1179	-0.92	-0.01	0	0	0	0	0	-1.27	-0.05	0	0
876.1	876.2	0	0	0	-1547	-1.05	-0.02	0	0	0	0	0	-1.35	0.00	0	0
876.2	876.3	0	0	0	-1594	-1.22	-0.01	0	0	0	0	0	-1.51	0.03	0	0
876.3	876.4	0	0	0	-4702	-1.05	0.01	0	0	0	0	0	-1.44	0.05	0	0
876.4	876.5	0	0	0	-3091	-1.00	0.01	0	0	0	0	0	-1.60	-0.01	0	0
876.5	876.6	0	0	0	-4126	-1.08	0.02	0	0	0	0	0	-1.69	-0.01	0	0
876.6	876.7	0	0	0	-9124	-1.16	0.00	0	0	0	0	0	-1.56	-0.04	0	0
876.7	876.8	0	0	0	-3841	-1.04	-0.01	0	0	0	0	0	-1.20	-0.03	0	0
876.8	876.9	0	0	0	-2215	-0.92	0.00	0	0	0	0	0	-1.01	-0.02	0	0
876.9	877	0	0	296	-844	-0.97	-0.06	0	0	0	0	0	-1.06	-0.06	415	-460
877	877.1	0	0	0	-2508	-0.66	0.02	0	0	0	0	0	-1.33	-0.04	0	-6
877.1	877.2	0	0	27	-1313	-0.44	0.01	0	0	0	0	0	-1.13	0.00	38	-33
877.2	877.3	0	0	0	-1667	-0.59	0.00	0	0	0	0	0	-1.13	0.00	0	0
877.3	877.4	0	0	43	-1010	-0.88	-0.03	0	0	0	0	0	-1.37	0.00	0	0
877.4	877.5	0	0	0	-4847	-1.08	-0.04	0	0	0	0	0	-1.54	-0.01	0	0
877.5	877.6	0	0	0	-3200	-1.33	-0.05	0	0	0	0	0	-1.73	-0.03	0	0
877.6	877.7	0	0	0	-3889	-1.27	-0.04	0	0	0	0	0	-1.81	-0.05	0	0
877.7	877.8	0	0	0	-3527	-1.51	-0.09	0	0	0	0	0	-1.80	-0.05	0	0
877.8	877.9	0	0	0	-6711	-1.49	-0.05	0	0	0	0	0	-2.07	-0.05	0	0
877.9	878	0	0	0	-3369	-1.90	-0.04	0	0	0	0	0	-2.35	-0.05	0	0
Samenvatting		6617	6617	76895	-293865	0.19	0.23	890	890	12505	12505	-0.05	0.23	89313	86379	

N.7

REF na 5 jaar – vaarweg

1	2	3	4	5	6	7	9	11	13	15
867.5	867.6	0	0	3	-2376	4.55	3	4	-0.47	4
867.6	867.7	0	0	0	-1252	3.24	0	0	-0.64	0
867.7	867.8	0	0	0	-956	3.62	0	0	-0.38	0
867.8	867.9	0	0	9	-303	1.02	0	0	-0.64	13
867.9	868	0	0	695	-225	1.34	0	0	-0.60	616
868	868.1	0	0	413	-92	1.27	0	0	-0.48	57
868.1	868.2	0	0	99	-212	1.67	0	0	-0.59	0
868.2	868.3	0	0	0	-427	2.95	0	0	-0.49	0
868.3	868.4	0	0	0	-952	1.84	0	0	-0.84	0
868.4	868.5	0	0	0	-839	2.18	0	0	-0.62	0
868.5	868.6	0	0	0	-1040	1.34	0	0	-0.69	0
868.6	868.7	0	0	0	-1036	0.50	0	0	-0.76	0
868.7	868.8	0	0	0	-1401	3.48	0	0	-0.76	0
868.8	868.9	0	0	172	-185	1.22	0	0	-1.19	0
868.9	869	0	0	357	-196	2.33	0	0	-0.91	0
869	869.1	0	0	291	-209	1.44	0	0	-1.15	0
869.1	869.2	0	0	56	-602	1.68	0	0	-1.31	0
869.2	869.3	0	0	0	-833	2.09	0	0	-1.36	0
869.3	869.4	0	0	0	-1628	-0.10	0	0	-1.70	0
869.4	869.5	0	0	0	-1546	0.37	0	0	-1.50	0
869.5	869.6	0	0	0	-3961	1.41	0	0	-1.77	0
869.6	869.7	0	0	0	-2321	1.25	0	0	-2.02	0
869.7	869.8	0	0	0	-2299	1.90	0	0	-2.18	0
869.8	869.9	0	0	0	-2278	0.12	0	0	-2.43	0
869.9	870	0	0	0	-4397	1.08	0	0	-2.14	0
870	870.1	0	0	0	-2301	1.92	0	0	-2.01	0
870.1	870.2	0	0	0	-2068	1.99	0	0	-1.93	0
870.2	870.3	0	0	0	-1926	1.84	0	0	-1.74	0
870.3	870.4	0	0	0	-3004	1.71	0	0	-1.62	0
870.4	870.5	0	0	0	-1384	1.86	0	0	-1.39	0
870.5	870.6	0	0	0	-1535	1.55	0	0	-1.51	0
870.6	870.7	0	0	0	-1781	2.08	0	0	-1.42	0
870.7	870.8	0	0	11	-3562	2.53	0	0	-1.23	16
870.8	870.9	0	0	0	-2202	0.84	0	0	-1.62	0
870.9	871	0	0	48	-1479	1.07	0	0	-1.12	68
871	871.1	0	0	0	-1269	1.61	0	0	-1.19	0
871.1	871.2	0	0	17	-2169	1.89	0	0	-0.94	1
871.2	871.3	0	0	27	-977	2.26	0	0	-1.34	0
871.3	871.4	0	0	0	-882	2.80	0	0	-0.72	0
871.4	871.5	0	0	11	-736	1.98	0	0	-1.09	0
871.5	871.6	0	0	249	-1276	3.07	0	0	-0.72	0
871.6	871.7	0	0	53	-746	0.26	0	0	-1.19	0
871.7	871.8	0	0	0	-509	3.09	0	0	-0.73	0
871.8	871.9	0	0	17	-221	2.11	0	0	-0.71	0
871.9	872	0	0	46	-426	1.94	15	20	-0.80	43
872	872.1	0	0	44	-151	0.43	1	1	-0.53	62
872.1	872.2	0	0	433	-30	-0.21	0	112	-0.86	333
872.2	872.3	0	0	596	-5	3.02	3	4	-0.47	683
872.3	872.4	0	0	200	-601	0.54	0	0	-0.81	280
872.4	872.5	0	0	81	-382	-0.44	0	0	-1.05	114
872.5	872.6	0	0	194	-509	2.15	14	19	-0.43	271
872.6	872.7	0	0	0	-900	0.27	0	0	-1.13	0
872.7	872.8	0	0	0	-1931	0.19	0	0	-0.99	0
872.8	872.9	0	0	15	-931	0.26	0	0	-1.13	0
872.9	873	0	0	3	-1035	1.16	0	0	-0.93	5
873	873.1	0	0	0	-1164	0.38	0	0	-0.88	0
873.1	873.2	0	0	2	-2436	2.05	2	3	-0.96	3
873.2	873.3	0	0	12	-1172	0.54	12	17	-1.02	17
873.3	873.4	0	0	0	-2017	-0.49	0	0	-1.11	0
873.4	873.5	0	0	64	-1468	0.53	64	89	-0.88	89
873.5	873.6	0	0	38	-2533	1.29	0	0	-1.05	53
873.6	873.7	0	0	0	-1330	0.04	0	0	-1.14	0

873.7	873.8	0	0	0	-1533	-0.40	0	0	-1.17	0
873.8	873.9	0	0	0	-1043	2.35	0	0	-0.65	0
873.9	874	0	0	1	-2053	0.58	0	0	-1.06	0
874	874.1	0	0	0	-728	1.97	0	0	-0.52	0
874.1	874.2	0	0	0	-843	0.38	0	0	-0.89	0
874.2	874.3	0	0	36	-694	-0.64	0	0	-1.08	50
874.3	874.4	0	0	0	-1763	1.23	0	0	-0.81	0
874.4	874.5	0	0	0	-1037	0.33	0	0	-0.87	0
874.5	874.6	0	0	0	-1196	0.68	0	0	-0.80	0
874.6	874.7	0	0	0	-1343	0.72	0	0	-0.74	0
874.7	874.8	0	0	36	-2728	2.07	0	0	-0.80	0
874.8	874.9	0	0	0	-1374	0.81	0	0	-0.90	0
874.9	875	0	0	0	-1278	0.64	0	0	-0.96	0
875	875.1	0	0	3	-1306	0.66	3	4	-1.00	4
875.1	875.2	0	0	31	-2329	2.61	0	0	-0.85	0
875.2	875.3	0	0	7	-1003	0.45	0	0	-1.01	10
875.3	875.4	0	0	0	-1229	1.42	0	0	-0.72	0
875.4	875.5	0	0	7	-1304	0.51	7	9	-0.93	9
875.5	875.6	0	0	0	-3416	2.50	0	1	-1.10	1
875.6	875.7	0	0	0	-2496	-1.00	0	0	-1.71	0
875.7	875.8	0	0	0	-2116	0.60	0	0	-1.24	0
875.8	875.9	0	0	6	-3767	2.16	6	8	-1.17	8
875.9	876	0	0	84	-971	0.26	0	0	-1.29	5
876	876.1	0	0	188	-556	0.06	0	0	-1.35	0
876.1	876.2	0	0	180	-680	0.82	0	0	-1.13	12
876.2	876.3	0	0	117	-759	-0.53	0	0	-1.49	0
876.3	876.4	0	0	29	-1856	0.69	1	2	-1.20	2
876.4	876.5	0	0	0	-820	1.66	0	0	-0.97	0
876.5	876.6	0	0	2	-1445	-0.67	0	0	-1.52	3
876.6	876.7	0	0	14	-2636	1.27	0	0	-1.24	0
876.7	876.8	0	0	428	-1453	0.57	0	0	-1.10	0
876.8	876.9	0	0	41	-1283	1.37	0	0	-0.97	0
876.9	877	0	0	547	-397	-0.23	0	0	-1.35	0
877	877.1	0	0	214	-568	1.10	4	5	-1.02	39
877.1	877.2	0	0	137	-139	0.59	3	5	-0.81	192
877.2	877.3	0	0	489	-269	-0.31	0	0	-0.98	677
877.3	877.4	0	0	495	-124	0.02	15	21	-1.32	347
877.4	877.5	0	0	160	-575	2.08	0	0	-0.80	164
877.5	877.6	0	0	59	-247	0.42	0	0	-1.19	62
877.6	877.7	0	0	62	-193	0.14	0	0	-1.53	11
877.7	877.8	0	0	122	-185	2.33	11	23	-0.86	23
877.8	877.9	0	0	609	-217	0.56	53	205	-1.53	470
877.9	878	0	0	772	-87	2.67	21	29	-1.12	117
Samenvatting		0	0	9130	-132654	4.55	237	583	-0.38	4932

N.8

REF na 40 jaar – vaarweg

1	2	3	4	5	6	7	9	11	13	15
867.5	867.6	0	0	2	-6119	4.55	2	3	-0.27	3
867.6	867.7	0	0	0	-3877	3.24	0	0	-0.51	0
867.7	867.8	0	0	0	-3431	3.62	0	0	-0.24	0
867.8	867.9	0	0	0	-2488	1.44	0	0	-0.43	0
867.9	868	0	0	0	-2979	1.76	0	0	-0.34	0
868	868.1	0	0	21	-683	1.68	0	0	-0.16	29
868.1	868.2	0	0	127	-793	2.08	0	0	-0.23	178
868.2	868.3	0	0	156	-622	3.21	0	0	-0.09	210
868.3	868.4	0	0	156	-1252	2.26	0	0	-0.43	202
868.4	868.5	0	0	0	-2247	2.59	0	0	-0.33	0
868.5	868.6	0	0	0	-3320	1.75	0	0	-0.49	0
868.6	868.7	0	0	0	-3559	0.92	0	0	-0.59	0
868.7	868.8	0	0	0	-6434	3.48	0	0	-0.62	0
868.8	868.9	0	0	0	-2397	1.63	0	0	-1.02	0
868.9	869	0	0	0	-1260	2.75	0	0	-0.64	0
869	869.1	0	0	58	-443	1.86	0	0	-0.78	0
869.1	869.2	0	0	69	-915	2.10	0	0	-0.91	0
869.2	869.3	0	0	0	-1802	2.51	0	0	-1.05	0
869.3	869.4	0	0	0	-4010	0.29	0	0	-1.53	0
869.4	869.5	0	0	0	-4082	0.76	0	0	-1.34	0
869.5	869.6	0	0	0	-10029	1.82	0	0	-1.68	0
869.6	869.7	0	0	0	-5382	1.66	0	0	-1.94	0
869.7	869.8	0	0	0	-5466	2.31	0	0	-2.11	0
869.8	869.9	0	0	0	-5756	0.53	0	0	-2.39	0
869.9	870	0	0	0	-11972	1.49	0	0	-2.13	0
870	870.1	0	0	0	-6665	2.34	0	0	-2.05	0
870.1	870.2	0	0	0	-5879	2.40	0	0	-1.91	0
870.2	870.3	0	0	0	-5411	2.25	0	0	-1.69	0
870.3	870.4	0	0	0	-10348	2.12	0	0	-1.58	0
870.4	870.5	0	0	0	-5115	2.27	0	0	-1.35	0
870.5	870.6	0	0	0	-5017	1.96	0	0	-1.45	0
870.6	870.7	0	0	0	-5550	2.49	0	0	-1.38	0
870.7	870.8	0	0	25	-9610	2.94	0	0	-1.11	35
870.8	870.9	0	0	0	-5107	1.25	0	0	-1.50	0
870.9	871	0	0	0	-4410	1.48	0	0	-1.00	0
871	871.1	0	0	0	-4231	2.01	0	0	-1.06	0
871.1	871.2	0	0	0	-7324	2.29	0	0	-0.78	0
871.2	871.3	0	0	65	-2990	2.67	0	0	-1.12	0
871.3	871.4	0	0	0	-3035	3.19	0	0	-0.51	0
871.4	871.5	0	0	0	-2802	2.39	0	0	-0.87	0
871.5	871.6	0	0	0	-4073	3.19	0	0	-0.46	0
871.6	871.7	0	0	0	-2114	0.66	0	0	-0.91	0
871.7	871.8	0	0	0	-2186	3.19	0	0	-0.51	0
871.8	871.9	0	0	0	-2217	2.51	0	0	-0.49	0
871.9	872	0	0	0	-4954	2.33	0	0	-0.60	0
872	872.1	0	0	0	-2128	0.84	0	0	-0.30	0
872.1	872.2	0	0	357	-1192	0.22	155	250	-0.56	275
872.2	872.3	0	0	343	-642	3.18	0	480	-0.18	480
872.3	872.4	0	0	179	-1772	0.97	0	200	-0.47	251
872.4	872.5	0	0	76	-1004	-0.11	0	6	-0.70	107
872.5	872.6	0	0	330	-896	2.57	28	40	-0.05	462
872.6	872.7	0	0	10	-1772	0.67	0	0	-0.81	14
872.7	872.8	0	0	0	-4183	0.59	0	0	-0.69	0
872.8	872.9	0	0	0	-1630	0.66	0	0	-0.79	0
872.9	873	0	0	21	-1115	1.56	0	0	-0.53	29
873	873.1	0	0	0	-1196	0.78	0	0	-0.48	0
873.1	873.2	0	0	65	-1920	2.45	0	0	-0.54	90
873.2	873.3	0	0	0	-1154	0.92	0	0	-0.62	0
873.3	873.4	0	0	0	-2338	-0.14	0	0	-0.74	0
873.4	873.5	0	0	5	-2232	0.89	5	7	-0.56	7
873.5	873.6	0	0	7	-4392	1.66	0	0	-0.74	10
873.6	873.7	0	0	0	-2177	0.42	0	0	-0.81	0

873.7	873.8	0	0	0	-2746	-0.02	0	0	-0.88	0
873.8	873.9	0	0	0	-1641	2.75	0	0	-0.30	0
873.9	874	0	0	232	-2716	0.97	0	0	-0.68	324
874	874.1	0	0	187	-882	2.36	0	0	-0.12	262
874.1	874.2	0	0	267	-933	0.77	0	0	-0.48	374
874.2	874.3	0	0	32	-574	-0.25	0	0	-0.67	45
874.3	874.4	0	0	0	-2000	1.64	0	0	-0.42	0
874.4	874.5	0	0	0	-1453	0.74	0	0	-0.51	0
874.5	874.6	0	0	0	-1887	1.07	0	0	-0.46	0
874.6	874.7	0	0	0	-2308	1.11	0	0	-0.42	0
874.7	874.8	0	0	73	-5547	2.46	0	0	-0.52	0
874.8	874.9	0	0	61	-2498	1.17	61	86	-0.59	86
874.9	875	0	0	72	-2895	0.96	0	101	-0.70	101
875	875.1	0	0	0	-2997	1.04	0	0	-0.74	0
875.1	875.2	0	0	76	-5049	2.98	0	0	-0.57	0
875.2	875.3	0	0	0	-2130	0.83	0	0	-0.71	0
875.3	875.4	0	0	0	-2396	1.82	0	0	-0.42	0
875.4	875.5	0	0	0	-2370	0.91	0	0	-0.63	0
875.5	875.6	0	0	0	-7168	2.89	0	0	-0.87	0
875.6	875.7	0	0	0	-5075	-0.82	0	0	-1.55	0
875.7	875.8	0	0	0	-5214	0.93	0	0	-1.13	0
875.8	875.9	0	0	0	-8919	2.54	0	0	-1.01	0
875.9	876	0	0	0	-2224	0.60	0	0	-1.01	0
876	876.1	0	0	6	-1413	0.42	0	0	-1.05	0
876.1	876.2	0	0	0	-2073	1.20	0	0	-0.87	0
876.2	876.3	0	0	0	-2415	-0.23	0	0	-1.26	0
876.3	876.4	0	0	0	-6174	1.08	0	0	-1.00	0
876.4	876.5	0	0	0	-2862	2.03	0	0	-0.78	0
876.5	876.6	0	0	0	-4490	-0.47	0	0	-1.42	0
876.6	876.7	0	0	0	-8439	1.64	0	0	-1.14	0
876.7	876.8	0	0	0	-3770	0.93	0	0	-0.98	0
876.8	876.9	0	0	0	-1996	1.75	0	0	-0.65	0
876.9	877	0	0	1184	-720	0.14	0	0	-0.93	874
877	877.1	0	0	151	-2156	1.49	0	0	-0.70	23
877.1	877.2	0	0	53	-1295	0.97	3	4	-0.52	75
877.2	877.3	0	0	0	-1743	-0.11	0	0	-0.76	0
877.3	877.4	0	0	409	-1406	0.33	0	0	-1.05	0
877.4	877.5	0	0	0	-5830	2.46	0	0	-0.65	0
877.5	877.6	0	0	0	-3564	0.81	0	0	-1.11	0
877.6	877.7	0	0	0	-3761	0.52	0	0	-1.47	0
877.7	877.8	0	0	0	-3356	2.64	0	0	-0.76	0
877.8	877.9	0	0	2	-6894	0.95	0	0	-1.47	0
877.9	878	0	0	0	-3990	3.04	0	1	-1.12	1
Samenvatting		0	0	4880	-362069	4.55	255	1177	-0.05	4547

N.9

REF na 5 jaar – vaargeul

1	2	3	4	5	6	7	9	11	13	15
867.5	867.6	0	0	0	-1618	-0.41	0	0	-1.34	0
867.6	867.7	0	0	0	-949	-0.60	0	0	-1.50	0
867.7	867.8	0	0	0	-681	-0.74	0	0	-1.39	0
867.8	867.9	0	0	9	-228	-0.82	0	0	-1.13	13
867.9	868	0	0	368	-54	-0.90	0	0	-1.04	490
868	868.1	0	0	413	-65	-1.04	0	0	-1.17	57
868.1	868.2	0	0	99	-197	-1.26	0	0	-1.40	0
868.2	868.3	0	0	0	-422	-1.25	0	0	-1.48	0
868.3	868.4	0	0	0	-941	-1.19	0	0	-1.46	0
868.4	868.5	0	0	0	-824	-1.05	0	0	-1.40	0
868.5	868.6	0	0	0	-895	-0.84	0	0	-1.27	0
868.6	868.7	0	0	0	-838	-0.82	0	0	-1.24	0
868.7	868.8	0	0	0	-1186	-1.05	0	0	-1.45	0
868.8	868.9	0	0	172	-82	-1.53	0	0	-1.70	0
868.9	869	0	0	357	-51	-1.77	0	0	-1.88	0
869	869.1	0	0	291	-59	-1.79	0	0	-1.95	0
869.1	869.2	0	0	56	-589	-1.54	0	0	-1.91	0
869.2	869.3	0	0	0	-777	-1.45	0	0	-1.97	0
869.3	869.4	0	0	0	-1219	-1.56	0	0	-1.91	0
869.4	869.5	0	0	0	-1464	-1.65	0	0	-1.87	0
869.5	869.6	0	0	0	-3786	-1.78	0	0	-2.19	0
869.6	869.7	0	0	0	-2038	-2.66	0	0	-2.82	0
869.7	869.8	0	0	0	-2030	-3.16	0	0	-3.25	0
869.8	869.9	0	0	0	-2276	-2.75	0	0	-3.19	0
869.9	870	0	0	0	-4396	-2.12	0	0	-3.06	0
870	870.1	0	0	0	-2301	-2.51	0	0	-3.02	0
870.1	870.2	0	0	0	-2068	-2.39	0	0	-2.88	0
870.2	870.3	0	0	0	-1926	-2.29	0	0	-2.76	0
870.3	870.4	0	0	0	-2757	-2.16	0	0	-2.58	0
870.4	870.5	0	0	0	-1157	-2.13	0	0	-2.47	0
870.5	870.6	0	0	0	-1300	-2.05	0	0	-2.41	0
870.6	870.7	0	0	0	-1564	-2.05	0	0	-2.45	0
870.7	870.8	0	0	11	-3106	-1.01	0	0	-2.22	16
870.8	870.9	0	0	0	-1563	-1.48	0	0	-1.97	0
870.9	871	0	0	0	-1229	-1.21	0	0	-1.63	0
871	871.1	0	0	0	-1001	-1.06	0	0	-1.56	0
871.1	871.2	0	0	14	-1623	-0.91	0	0	-1.50	0
871.2	871.3	0	0	0	-646	-1.13	0	0	-1.84	0
871.3	871.4	0	0	0	-564	-1.28	0	0	-1.89	0
871.4	871.5	0	0	11	-489	-1.33	0	0	-1.73	0
871.5	871.6	0	0	188	-714	-1.44	0	0	-1.63	0
871.6	871.7	0	0	53	-311	-1.28	0	0	-1.44	0
871.7	871.8	0	0	0	-241	-1.30	0	0	-1.43	0
871.8	871.9	0	0	0	-155	-1.25	0	0	-1.39	0
871.9	872	0	0	0	-336	-0.79	0	0	-1.08	0
872	872.1	0	0	41	-140	-0.60	0	0	-0.87	58
872.1	872.2	0	0	144	-30	-0.51	0	0	-0.93	135
872.2	872.3	0	0	220	-5	-0.74	0	0	-1.14	157
872.3	872.4	0	0	42	-251	-0.83	0	0	-1.07	59
872.4	872.5	0	0	0	-203	-0.90	0	0	-1.16	0
872.5	872.6	0	0	103	-504	-1.13	0	0	-1.37	144
872.6	872.7	0	0	0	-481	-1.26	0	0	-1.37	0
872.7	872.8	0	0	0	-1364	-1.06	0	0	-1.10	0
872.8	872.9	0	0	0	-690	-1.24	0	0	-1.32	0
872.9	873	0	0	0	-866	-1.12	0	0	-1.31	0
873	873.1	0	0	0	-995	-0.95	0	0	-1.18	0
873.1	873.2	0	0	0	-1563	-0.93	0	0	-1.21	0
873.2	873.3	0	0	0	-973	-1.00	0	0	-1.27	0
873.3	873.4	0	0	0	-1132	-0.87	0	0	-1.21	0
873.4	873.5	0	0	0	-1279	-0.90	0	0	-1.16	0
873.5	873.6	0	0	0	-2066	-1.06	0	0	-1.32	0
873.6	873.7	0	0	0	-986	-1.10	0	0	-1.36	0

873.7	873.8	0	0	0	-1111	-1.19	0	0	-1.40	0
873.8	873.9	0	0	0	-794	-1.37	0	0	-1.56	0
873.9	874	0	0	1	-1212	-1.12	0	0	-1.33	0
874	874.1	0	0	0	-448	-1.22	0	0	-1.32	0
874.1	874.2	0	0	0	-378	-1.22	0	0	-1.24	0
874.2	874.3	0	0	0	-398	-1.03	0	0	-1.15	0
874.3	874.4	0	0	0	-1013	-0.91	0	0	-1.21	0
874.4	874.5	0	0	0	-725	-0.76	0	0	-1.05	0
874.5	874.6	0	0	0	-905	-0.65	0	0	-1.06	0
874.6	874.7	0	0	0	-1042	-0.58	0	0	-1.02	0
874.7	874.8	0	0	0	-2185	-0.76	0	0	-1.39	0
874.8	874.9	0	0	0	-1249	-1.31	0	0	-1.57	0
874.9	875	0	0	0	-1157	-1.33	0	0	-1.45	0
875	875.1	0	0	0	-1249	-1.25	0	0	-1.38	0
875.1	875.2	0	0	0	-1951	-1.25	0	0	-1.46	0
875.2	875.3	0	0	0	-648	-1.18	0	0	-1.33	0
875.3	875.4	0	0	0	-774	-1.26	0	0	-1.36	0
875.4	875.5	0	0	0	-1002	-1.46	0	0	-1.50	0
875.5	875.6	0	0	0	-2355	-1.33	0	0	-1.76	0
875.6	875.7	0	0	0	-1448	-1.20	0	0	-1.67	0
875.7	875.8	0	0	0	-1705	-1.16	0	0	-1.72	0
875.8	875.9	0	0	0	-2803	-1.28	0	0	-1.85	0
875.9	876	0	0	0	-504	-1.17	0	0	-1.55	0
876	876.1	0	0	24	-240	-1.22	0	0	-1.52	0
876.1	876.2	0	0	29	-356	-1.32	0	0	-1.56	0
876.2	876.3	0	0	32	-400	-1.48	0	0	-1.72	0
876.3	876.4	0	0	27	-1458	-1.12	0	0	-1.62	0
876.4	876.5	0	0	0	-783	-1.11	0	0	-1.73	0
876.5	876.6	0	0	0	-1071	-1.14	0	0	-1.72	0
876.6	876.7	0	0	0	-2606	-1.09	0	0	-1.56	0
876.7	876.8	0	0	0	-1408	-1.05	0	0	-1.30	0
876.8	876.9	0	0	0	-1133	-1.06	0	0	-1.27	0
876.9	877	0	0	197	-347	-1.24	0	0	-1.42	0
877	877.1	0	0	133	-469	-0.77	0	0	-1.59	0
877.1	877.2	0	0	73	-118	-0.82	0	0	-1.37	102
877.2	877.3	0	0	67	-255	-0.85	0	0	-1.33	86
877.3	877.4	0	0	121	-124	-1.14	0	0	-1.65	72
877.4	877.5	0	0	43	-529	-1.19	0	0	-1.63	0
877.5	877.6	0	0	15	-217	-1.28	0	0	-1.68	0
877.6	877.7	0	0	20	-192	-1.15	0	0	-1.73	0
877.7	877.8	0	0	31	-185	-1.35	0	0	-1.74	0
877.8	877.9	0	0	239	-200	-1.41	0	0	-2.00	0
877.9	878	0	0	377	-87	-1.78	0	0	-2.18	0
Samenvatting		0	0	4020	-105484	-0.41	0	0	-0.87	1388

N.10
REF na 40 jaar – vaargeul

1	2	3	4	5	6	7	9	11	13	15
867.5	867.6	0	0	0	-4340	-0.12	0	0	-1.12	0
867.6	867.7	0	0	0	-2969	-0.50	0	0	-1.38	0
867.7	867.8	0	0	0	-2622	-0.59	0	0	-1.26	0
867.8	867.9	0	0	0	-1837	-0.59	0	0	-0.96	0
867.9	868	0	0	0	-1695	-0.58	0	0	-0.81	0
868	868.1	0	0	21	-586	-0.76	0	0	-0.89	29
868.1	868.2	0	0	127	-689	-0.97	0	0	-1.06	178
868.2	868.3	0	0	156	-563	-1.00	0	0	-1.06	210
868.3	868.4	0	0	156	-1153	-0.94	0	0	-1.04	202
868.4	868.5	0	0	0	-2179	-0.87	0	0	-1.19	0
868.5	868.6	0	0	0	-2832	-0.67	0	0	-1.15	0
868.6	868.7	0	0	0	-2870	-0.76	0	0	-1.14	0
868.7	868.8	0	0	0	-5279	-1.03	0	0	-1.36	0
868.8	868.9	0	0	0	-1938	-1.36	0	0	-1.61	0
868.9	869	0	0	0	-881	-1.43	0	0	-1.66	0
869	869.1	0	0	58	-102	-1.33	0	0	-1.57	0
869.1	869.2	0	0	69	-872	-1.23	0	0	-1.51	0
869.2	869.3	0	0	0	-1673	-1.13	0	0	-1.68	0
869.3	869.4	0	0	0	-3016	-1.21	0	0	-1.74	0
869.4	869.5	0	0	0	-3914	-1.45	0	0	-1.80	0
869.5	869.6	0	0	0	-9719	-1.81	0	0	-2.20	0
869.6	869.7	0	0	0	-4733	-2.85	0	0	-2.87	0
869.7	869.8	0	0	0	-4724	-3.15	0	0	-3.30	0
869.8	869.9	0	0	0	-5754	-2.75	0	0	-3.28	0
869.9	870	0	0	0	-11971	-1.74	0	0	-3.19	0
870	870.1	0	0	0	-6665	-2.48	0	0	-3.21	0
870.1	870.2	0	0	0	-5878	-2.28	0	0	-2.99	0
870.2	870.3	0	0	0	-5411	-2.17	0	0	-2.83	0
870.3	870.4	0	0	0	-9654	-2.07	0	0	-2.68	0
870.4	870.5	0	0	0	-4379	-2.15	0	0	-2.58	0
870.5	870.6	0	0	0	-4221	-2.08	0	0	-2.46	0
870.6	870.7	0	0	0	-4722	-2.09	0	0	-2.54	0
870.7	870.8	0	0	25	-7893	-0.59	0	0	-2.18	35
870.8	870.9	0	0	0	-3736	-1.47	0	0	-1.90	0
870.9	871	0	0	0	-3627	-1.16	0	0	-1.59	0
871	871.1	0	0	0	-3277	-0.99	0	0	-1.49	0
871.1	871.2	0	0	0	-5776	-0.85	0	0	-1.40	0
871.2	871.3	0	0	0	-2151	-1.05	0	0	-1.66	0
871.3	871.4	0	0	0	-2216	-1.16	0	0	-1.73	0
871.4	871.5	0	0	0	-2077	-1.18	0	0	-1.55	0
871.5	871.6	0	0	0	-2523	-1.26	0	0	-1.38	0
871.6	871.7	0	0	0	-942	-1.03	0	0	-1.16	0
871.7	871.8	0	0	0	-1234	-1.10	0	0	-1.20	0
871.8	871.9	0	0	0	-1544	-1.12	0	0	-1.23	0
871.9	872	0	0	0	-3994	-0.63	0	0	-0.96	0
872	872.1	0	0	0	-2031	-0.43	0	0	-0.74	0
872.1	872.2	0	0	0	-1192	-0.27	0	0	-0.71	0
872.2	872.3	0	0	0	-640	-0.44	0	0	-0.86	0
872.3	872.4	0	0	0	-1160	-0.41	0	0	-0.74	0
872.4	872.5	0	0	0	-602	-0.50	0	0	-0.81	0
872.5	872.6	0	0	157	-890	-0.69	0	0	-1.01	220
872.6	872.7	0	0	10	-1077	-0.84	0	0	-1.05	14
872.7	872.8	0	0	0	-3092	-0.76	0	0	-0.82	0
872.8	872.9	0	0	0	-1267	-0.87	0	0	-1.00	0
872.9	873	0	0	0	-1011	-0.75	0	0	-0.93	0
873	873.1	0	0	0	-1005	-0.58	0	0	-0.78	0
873.1	873.2	0	0	65	-1294	-0.52	0	0	-0.78	90
873.2	873.3	0	0	0	-898	-0.61	0	0	-0.85	0
873.3	873.4	0	0	0	-1361	-0.52	0	0	-0.84	0
873.4	873.5	0	0	0	-1893	-0.54	0	0	-0.84	0
873.5	873.6	0	0	0	-3577	-0.73	0	0	-1.02	0
873.6	873.7	0	0	0	-1810	-0.81	0	0	-1.07	0

873.7	873.8	0	0	0	-2161	-0.90	0	0	-1.15	0
873.8	873.9	0	0	0	-1288	-1.07	0	0	-1.23	0
873.9	874	0	0	232	-1416	-0.78	0	0	-0.93	324
874	874.1	0	0	187	-446	-0.79	0	0	-0.90	262
874.1	874.2	0	0	267	-275	-0.66	0	0	-0.78	374
874.2	874.3	0	0	32	-254	-0.62	0	0	-0.73	45
874.3	874.4	0	0	0	-1201	-0.58	0	0	-0.83	0
874.4	874.5	0	0	0	-1095	-0.42	0	0	-0.72	0
874.5	874.6	0	0	0	-1389	-0.32	0	0	-0.73	0
874.6	874.7	0	0	0	-1774	-0.30	0	0	-0.72	0
874.7	874.8	0	0	0	-4120	-0.47	0	0	-1.12	0
874.8	874.9	0	0	0	-2368	-0.95	0	0	-1.33	0
874.9	875	0	0	0	-2691	-1.05	0	0	-1.26	0
875	875.1	0	0	0	-2932	-1.06	0	0	-1.21	0
875.1	875.2	0	0	0	-4308	-1.07	0	0	-1.22	0
875.2	875.3	0	0	0	-1472	-1.02	0	0	-1.08	0
875.3	875.4	0	0	0	-1584	-1.01	0	0	-1.11	0
875.4	875.5	0	0	0	-1735	-1.16	0	0	-1.24	0
875.5	875.6	0	0	0	-4796	-1.20	0	0	-1.59	0
875.6	875.7	0	0	0	-2930	-1.07	0	0	-1.54	0
875.7	875.8	0	0	0	-4231	-1.08	0	0	-1.69	0
875.8	875.9	0	0	0	-7215	-1.24	0	0	-1.77	0
875.9	876	0	0	0	-1255	-0.98	0	0	-1.29	0
876	876.1	0	0	6	-728	-0.92	0	0	-1.22	0
876.1	876.2	0	0	0	-1359	-1.03	0	0	-1.35	0
876.2	876.3	0	0	0	-1572	-1.21	0	0	-1.54	0
876.3	876.4	0	0	0	-4941	-1.06	0	0	-1.48	0
876.4	876.5	0	0	0	-2798	-1.01	0	0	-1.59	0
876.5	876.6	0	0	0	-3852	-1.11	0	0	-1.69	0
876.6	876.7	0	0	0	-8053	-1.16	0	0	-1.52	0
876.7	876.8	0	0	0	-3414	-1.03	0	0	-1.17	0
876.8	876.9	0	0	0	-1915	-0.93	0	0	-1.00	0
876.9	877	0	0	647	-642	-0.90	0	0	-1.00	874
877	877.1	0	0	139	-1790	-0.67	0	0	-1.30	6
877.1	877.2	0	0	50	-1116	-0.45	0	0	-1.13	71
877.2	877.3	0	0	0	-1498	-0.59	0	0	-1.13	0
877.3	877.4	0	0	89	-839	-0.85	0	0	-1.37	0
877.4	877.5	0	0	0	-4360	-1.04	0	0	-1.54	0
877.5	877.6	0	0	0	-2807	-1.28	0	0	-1.70	0
877.6	877.7	0	0	0	-3315	-1.23	0	0	-1.76	0
877.7	877.8	0	0	0	-2950	-1.42	0	0	-1.75	0
877.8	877.9	0	0	0	-5617	-1.44	0	0	-2.02	0
877.9	878	0	0	0	-2854	-1.87	0	0	-2.30	0
Samenvatting		0	0	2493	-294989	-0.12	0	0	-0.71	2934

O WATERSTANDEN IN AS RIVIER (OP BASIS VAN REKENRESULTATEN WAQUA)

Rkm	1020 m³/s		2000 m³/s		3000 m³/s		4000 m³/s		6000 m³/s	
	REF	DO	REF	DO	REF	DO	REF	DO	REF	DO
854	8.37	8.37	10.16	10.16	11.59	11.59	12.84	12.82	14.70	14.68
855	8.24	8.24	10.04	10.04	11.48	11.48	12.72	12.70	14.54	14.52
856	8.08	8.08	9.90	9.90	11.35	11.35	12.60	12.59	14.41	14.40
857	7.97	7.97	9.81	9.81	11.25	11.25	12.50	12.49	14.29	14.28
858	7.87	7.87	9.71	9.71	11.15	11.15	12.39	12.38	14.17	14.15
859	7.79	7.79	9.62	9.63	11.05	11.05	12.30	12.28	14.05	14.03
860	7.70	7.70	9.54	9.54	10.95	10.95	12.20	12.18	13.94	13.93
861	7.61	7.61	9.44	9.44	10.84	10.84	12.09	12.07	13.81	13.79
862	7.55	7.55	9.37	9.37	10.76	10.75	11.99	11.97	13.67	13.65
863	7.49	7.49	9.29	9.29	10.67	10.67	11.91	11.89	13.57	13.55
864	7.43	7.44	9.22	9.22	10.58	10.58	11.81	11.79	13.45	13.44
865	7.39	7.39	9.17	9.17	10.51	10.51	11.73	11.71	13.35	13.33
866	7.35	7.35	9.11	9.11	10.44	10.44	11.66	11.64	13.26	13.24
867	7.31	7.31	9.05	9.05	10.38	10.38	11.58	11.56	13.16	13.14
868	7.28	7.28	9.00	9.00	10.30	10.30	11.50	11.47	13.05	13.03
869	7.25	7.25	8.93	8.93	10.20	10.21	11.40	11.40	12.94	12.94
870	7.22	7.22	8.88	8.87	10.12	10.11	11.30	11.29	12.79	12.78
871	7.20	7.20	8.81	8.81	10.02	10.03	11.20	11.21	12.66	12.69
872	7.17	7.17	8.77	8.76	9.96	9.96	11.14	11.16	12.60	12.62
873	7.14	7.14	8.71	8.71	9.88	9.89	11.06	11.11	12.51	12.55
874	7.12	7.12	8.66	8.66	9.80	9.81	10.98	11.02	12.40	12.44
875	7.09	7.09	8.61	8.60	9.73	9.73	10.90	10.94	12.33	12.36
876	7.06	7.06	8.56	8.55	9.66	9.66	10.83	10.87	12.24	12.27
877	7.04	7.04	8.51	8.51	9.58	9.58	10.75	10.79	12.13	12.16
878	7.01	7.01	8.45	8.45	9.50	9.50	10.67	10.72	12.06	12.09

Rkm	8000 m³/s		10000 m³/s		12000 m³/s		16000 m³/s	
	REF	DO	REF	DO	REF	DO	REF	DO
854	16.02	16.01	16.92	16.92	17.66	17.66	18.96	18.97
855	15.87	15.86	16.78	16.77	17.50	17.50	18.77	18.78
856	15.76	15.75	16.67	16.67	17.38	17.39	18.67	18.67
857	15.64	15.62	16.55	16.55	17.27	17.28	18.55	18.56
858	15.48	15.47	16.37	16.37	17.10	17.10	18.38	18.38
859	15.35	15.34	16.25	16.25	17.00	17.01	18.29	18.29
860	15.23	15.21	16.14	16.13	16.91	16.92	18.20	18.21
861	15.08	15.06	16.01	16.00	16.79	16.80	18.08	18.09
862	14.91	14.89	15.82	15.82	16.59	16.59	17.85	17.85
863	14.80	14.77	15.65	15.65	16.34	16.35	17.49	17.49
864	14.65	14.63	15.47	15.47	16.12	16.13	17.22	17.23
865	14.53	14.50	15.30	15.30	15.91	15.92	16.96	16.96
866	14.43	14.40	15.19	15.19	15.79	15.80	16.85	16.85
867	14.30	14.27	15.05	15.04	15.65	15.65	16.73	16.73
868	14.15	14.11	14.89	14.86	15.48	15.48	16.59	16.58
869	14.00	13.99	14.72	14.70	15.26	15.24	16.21	16.18
870	13.78	13.76	14.46	14.41	14.97	14.90	15.85	15.78
871	13.63	13.65	14.30	14.29	14.80	14.77	15.64	15.62
872	13.53	13.55	14.17	14.17	14.66	14.63	15.49	15.48
873	13.41	13.45	14.04	14.04	14.50	14.49	15.31	15.31
874	13.29	13.33	13.87	13.88	14.30	14.30	15.17	15.17
875	13.23	13.26	13.79	13.80	14.22	14.21	15.09	15.10
876	13.12	13.16	13.70	13.71	14.13	14.12	15.00	15.00
877	12.99	13.02	13.61	13.62	14.04	14.03	14.91	14.91
878	12.90	12.93	13.54	13.54	13.97	13.96	14.83	14.83

