



Eindevaluatie pilot Langsdammen in de Waal

Toepasbaarheid elders

Deltares

19 juli 2021

Project Eindevaluatie pilot Langsdammen in de Waal
Opdrachtgever Deltares

Document Toepasbaarheid elders
Status Definitief
Datum 19 juli 2021
Referentie 117822/21-018.110

Projectcode 117822
Projectleider ir. A. van den Berg
Projectdirecteur ir. R. Bouw

Auteur(s) ir. N. Huppes
Gecontroleerd door ir. A. van den Berg
Goedgekeurd door ir. A. van den Berg

Paraaf

Adres Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs B.V. | Deventer
Blaak 16
Postbus 2397
3000 CJ Rotterdam
+31 (0)10 244 28 00
www.witteveenbos.com
KvK 38020751

Het kwaliteitsmanagementsysteem van Witteveen+Bos is gecertificeerd op basis van ISO 9001.

© Witteveen+Bos

Niets uit dit document mag worden veeelvoudigd en/of openbaar gemaakt in enige vorm zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Witteveen+Bos noch mag het zonder dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd, behoudens schriftelijk anders overeengekomen. Witteveen+Bos aanvaardt geen aansprakelijkheid voor enigerlei schade die voortvloeit uit of verband houdt met het wijzigen van de inhoud van het door Witteveen+Bos geleverde document.

INHOUDSOPGAVE

1	INLEIDING	5
1.1	Achtergrond	5
1.2	Doel	5
2	TOEPASBAARHEID LANGSDAMMEN ELDERS	7
2.1	Inleiding	7
2.2	Criteriumtabel	7
2.3	Potentiele trajecten - kansen en knelpunten	10
2.3.1	Waal	11
2.3.2	IJssel	12
2.3.3	Voorstel voor verdere uitwerking	14
3	MOGELIJKE ONTWERPEN DWARSDOORSNEDE	15
3.1	Algemeen	15
3.2	Scherminstructie	16
3.2.1	Houten schermconstructie	17
3.2.2	Stalen schermconstructie	18
3.3	Gewichtsconstructie	19
3.3.1	Traditionele breuksteen dam	19
3.3.2	Eilandvorm	21
3.4	Hybride constructie	21
3.4.1	Gebruik van logs	23
4	CONCLUSIES	25
4.1	Potentiele trajecten	25
4.2	Mogelijke ontwerpen dwarsdoorsnede	26
5	REFERENTIES	27
	Laatste pagina	27

	Bijlage(n)	Aantal pagina's
I	Onderbouwing criteria	13
II	Resultaten GIS kaarten	11
III	Dwarsprofielen IJssel	17

1

INLEIDING

1.1 Achtergrond

Het riviersysteem van de Rijn, met daarin alle Nederlandse Rijntakken, kent problemen met onder meer hoogwaterveiligheid, insnijding van de zomerbedbodem, daling van laagwaterstanden en grondwaterstanden, de kwaliteit van het rivierecosysteem, en het gebruik van de rivier als vaarweg. De laatste decennia wordt onderkend dat de sectorale aanpak niet efficiënt is. De beleidsdirecties van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat hebben de wens uitgesproken voor een meer innovatieve systeem- en gebiedsgerichte aanpak, met integrale aandacht voor alle probleemvelden tegelijk. Deze integrale aanpak beoogt de som van alle problemen te reduceren in plaats van slechts de problemen van een beperkt aantal sectoren.

Voor deze integrale aanpak heeft Rijkswaterstaat Oost-Nederland een idee gelanceerd onder de werknaam WaalSamen. Dit is een plan voor herinrichting van het zomerbed in de gehele Waal. De herinrichting wijzigt het principe van het bestaande normalisatiesysteem door het zomerbed te verdelen in twee parallelle stroomgeulen, gescheiden door een langsdam. Om de eigenschappen van deze systeemwijziging in de praktijk te beproeven is over een lengte van tien kilometer de pilot Langsdammen uitgevoerd. Het doel daarvan is een *proof of concept*, om meer zekerheid te verkrijgen over de integrale werking en de potenties van een dergelijke systeemwijziging.

Voor de pilot werd het Waaltraject Wamel-Ophemert (km 911.5-921.5) bij Tiel gekozen. Om redenen van efficiëntie werd de pilot tegelijk uitgevoerd met Fase III van het project Kribverlaging Waal van het programma Ruimte voor de Rivier. Hiervoor leverde Rijkswaterstaat Oost-Nederland op 30 juni 2011 de producten van een SNIP-3-besluit op aan de Programmadirectie Ruimte voor de Rivier van Rijkswaterstaat, inclusief een omwisselbesluit om geplande kribverlaging te vervangen door langsdammen. De Staatssecretaris van Verkeer en Waterstaat bekrachtigde dit eind 2011. De langsdammen tussen Wamel en Ophemert werden vervolgens in de periode van augustus 2014 tot maart 2016 gerealiseerd.

Voor, tijdens en na de aanleg van de langsdammen is een uitgebreid monitorings- en onderzoeksprogramma uitgevoerd door de partners van de samenwerkingsovereenkomst 'WaalSamen'. Dit programma is afgesloten met een integrale eindevaluatie, onderverdeeld in 12 inhoudelijke deelprojecten die worden aangeduid met "WP" (werkpakket). Voor u ligt het deelrapport van WP3 over het onderdeel van de evaluatie van het tweegeulensysteem met langsdammen dat gericht is op de toepasbaarheid elders. De deelrapporten vormen de ondergrond van het hoofdrapport, maar de inzichten en conclusies zijn bij het opstellen van dat hoofdrapport integraler beschouwd, verder geëvolueerd en verduidelijkt. Waar dat mogelijk tot verschillen heeft geleid, zijn de conclusies van het hoofdrapport leidend.

1.2 Doel

Deze notitie is als voorverkenning bedoeld om inzicht te geven in welke mate trajecten kansrijk zijn voor het toepassen van langsdammen als integrale oplossing alsmede een keuze vast te leggen voor het verder uit te werken traject van de Rijntakken voor langsdammen. Hiertoe heeft op 20 maart 2020 een overleg plaatsgevonden. Uit het overleg zijn een aantal discussiepunten naar voren gekomen die invloed hebben op

de keuze voor de uit te werken locatie voor langsdammen. In deze notitie wordt ingegaan op de discussiepunten van het overleg van 20 maart 2020, zoals vastgelegd in het verslag [ref. 1]. Tevens wordt in deze rapportage een aantal mogelijke ontwerpen uitgewerkt voor de gekozen locatie. De conclusies van deze voorverkenning bevatten de potentiële trajecten waar langsdammen kansrijk zijn en schetsontwerpen van mogelijke dwarsdoorsneden waar aan gedacht kan worden bij verdere uitwerking.

2

TOEPASBAARHEID LANGSDAMMEN ELDERS

2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt de toepasbaarheid van langsdammen elders dan ter plaatse van het pilotproject bekeken. In paragraaf 2.2 worden de Rijntakken voor verschillende criteria getoetst op hun kansrijkheid. Uit deze voorverkenning volgt welke van de trajecten binnen de Rijntakken potentieel kansrijk zijn voor het toepassen van het principe van langsdammen en geulen. In paragraaf 2.3 worden voor de trajecten met de meeste potentie de kansen en knelpunten behandeld.

2.2 Criteriumtabel

De toepasbaarheid en geschiktheid van het toepassen langsdammen als integrale oplossing hangt samen met de mate waarin zij de omstandigheden voor verschillende rivierkundige functies in de rivier kunnen verbeteren. Langsdammen beogen de volgende rivierkundige hoofdfuncties te verbeteren:

- hoogwaterveiligheid: langsdammen bieden een betere doorstroming van de rivier bij hoge afvoeren en daarmee een waterstandsdeling. Dit geeft een toename van de waterveiligheid;
- vaarweg: langsdammen verkleinen de laagwaterproblematiek bij lage afvoeren doordat de vaarweg kan worden versmald waardoor de waterstand wordt opgezet;
- natuur: de langsdammen creëren een luwte voor scheepsgolven en flauwe oevers hetgeen gunstig kan zijn ten aanzien van natuurwaarden;
- zoetwatervoorziening: langsdammen zorgen dat zoetwaterinlaten langer onder vrij verval kunnen afstromen doordat bij lage afvoeren de waterstand wordt opgezet. Daarnaast is er een raakvlak met de zoutindringing, omdat een verminderde afvoer zorgt voor meer zoutindringing, en daarmee de zoetwatervoorziening verstoord. Tevens bepaalt de afvoerverdeling hoe het zoete water over de riviertakken wordt verdeeld en in hoeverre de zoetwatervoorziening dus geborgd is.

Om de geschiktheid in relatie tot deze functies te bepalen zijn een aantal criteria opgesteld die voortbouwen op de criteria uit [ref. 3]. Tabel 2.1 geeft de criteriumtabel waarmee kansrijke locaties wordt bepaald. Een onderbouwing en nadere toelichting van de scores op deze criteria is opgenomen in bijlage I.

Hier zijn feitelijk steeds 2 afwegingen van belang:

- I) in hoeverre wordt de functie op het desbetreffende traject gediend (zinvolheid) of anders gezegd hoe groot is het 'te kort' ten aanzien van het vervullen van een zekere functie op een traject;
- II) in hoeverre kunnen langsdammen op een specifiek traject een oplossing bieden. In welke mate is er een oplossingsruimte.

Per criterium is aangegeven of het een maat is voor het te kort in functioneren of dat het de mate van oplossingsruimte weergeeft. Per criterium wordt de beoordeling voor het toepassen van een langsdam kwalitatief middels kleurcodering aangegeven. Hierbij geldt de volgende codering: grote kans op zinvolle effect bij toepassing van langsdammen voor dit criterium (groen), matig kansrijk (licht groen), weinig/niet kansrijk (licht geel), onbekend (wit).

Daarnaast gelden bij het selecteren van een traject de volgende uitgangspunten:

- langsdammen langs 1 zijde van de oever om kaatsende golven te voorkomen [ref. 3];
- langsdammen alleen op trajecten met waterstandsval [ref. 3]. In een groot deel van de rijntakken daalt de rivierbodem door erosie. Dat heeft gevolgen voor de rivierfuncties die aan het begin van dit hoofdstuk zijn benoemd. De erosie is met name ongunstig voor bevaarbaarheid: doordat de laagwaterstand lager wordt, leidt dit vooral bij vaste drempels tot problemen. Daarnaast geldt dat de zandige trajecten van de Rijntakken (Waal en IJssel) zich sneller insnijden dan de grindige Niederrhein. Deze ongelijkheid leidt tot afnemende waterdiepten in de Niederrhein. Daarnaast is het dalende zomerbed ongunstig voor de natuur in de uiterwaarden die hierdoor verdrogen. De huidige wens vanuit beheer is om de rivierbodem te stabiliseren, binnen het Programma Integraal Riviermanagement (IRM) wordt onderzocht of specifiek beleid op de rivierbodem gewenst is. Door de aanleg van de langsdammen kan het debiet en de stroomsnelheid door verschillende delen van het zomerbed worden gestuurd. Hiermee kan invloed op de bodemerosie en daarmee de waterstandsval worden uitgeoefend. Wanneer er voldoende ruimte is voor verruiming, is het mogelijk om met behulp van langsdammen de eroderende trend van een riviertak tegen te gaan;
- langsdammen dienen bij voorkeur op een groter traject of gehele riviertak te worden toegepast. Per strekkende km is het effect van een langsdam op de waterstand te klein en wordt er te weinig geprofiteerd van de maatregel [ref. 1];
- de beste locatie om langsdammen te starten in een riviertak is aan de benedenstroomse zijde. Door 'halverwege' een riviertak te beginnen introduceer je negatieve effecten benedenstrooms van de langsdam waardoor de maatregel netto negatief kan uitpakken [ref. 1]. Dit dient bepaald te worden bij het ontwerp van nieuw aan te leggen langsdammen. Hoe verder benedenstrooms de langsdammen worden gestart in de riviertak, hoe groter de afstand waarover de langsdammen aangelegd kunnen worden en hoe groter de potentiële waterstandsval. Echter zijn langsdammen minder kansrijk op sedimenterende locaties, hier dient een evenwicht in gevonden te worden bij het ontwerpen van langsdammen.

Uit bovenstaande hoofdfuncties en uitgangspunten volgen de volgende categorieën van criteria:

- randvoorwaarden: dit zijn criteria die noodzakelijk zijn voor de haalbaarheid van langsdammen, zoals de inpassingsruimte en het oplossen van erosieproblemen;
- ecologie: Deze criteria raken aan de hoofdfunctie natuur;
- laagwater problematiek: deze criteria raken voornamelijk aan de hoofdfunctie van de rivier als vaarweg maar ook de gevolgen die lage waterstanden hebben voor zoetwatervoorziening;
- hoogwater problematiek: deze criteria dragen bij aan de hoofdfunctie hoogwaterveiligheid.

Tabel 2.1 Criteriumtabel voor langsdammen langs Rijntakken Legenda: grote kans op zinvolle effect voor dit criterium (groen), matig kansrijk (licht groen), weinig/niet kansrijk (licht geel), onbekend (wit)

Categorie	Criterium	Functie/vulling/oplossingsruimte	Boven-Rijn Lobith - Pannerdensch kop	Boven-Waal Pannerdensch Kop - Weurt	Midden - Waal Weurt - St. Andries	Beneden - Waal St. Andries - Hardinxveld	Pannerdensch Kanaal Pannerdensch Kop - IJsselkop	Neder - Rijn IJsselkop Wijk bij Duurstede	Lek Wijk bij Duurstede - Krimpen aan de Lek	Boven - IJssel IJsselkop - Deventer	Beneden - IJssel Deventer - Ketelmeer
rand-voorwaarden	1) bodemligging heeft een dalende trend	functie	+0,1cm/yr	-1,9cm/yr	-0,4cm/yr	+0,1cm/yr	-1,1cm/yr	-0,1cm/yr	+0,3cm/yr	-0,5cm/yr	0cm/yr
	2) recente/toekomstige kribverlagingsmaatregelen/langsdammen	oplossingsruimte									
	3) voldoende rivierbreedte aanwezig voor langsdammen	oplossingsruimte									
ecologie	4) mate van ecologische meerwaarde	functie									
	5) langsdam niet conflicterend met Natura 2000	oplossingsruimte									
laagwater problematiek	6) vaarwegbeheer ondervindt problemen bij laagwater	functie									
	7) beheerruimte voor laagwaterstanden	oplossingsruimte									
	8) zoetwatervoorziening	oplossingsruimte									
	9) dekkingsgraad kabels en leidingen	oplossingsruimte									
hoogwater problematiek	10) behoefte waterstandsdeling voor hoogwaterveiligheid	functie									
	11) potentie waterstandsdeling bij verwijderen kribben	oplossingsruimte									

Op basis van bovenstaande tabel is te zien dat de Boven- en Midden- Waal goed scoren op basis van criteria 1, 3, 4, 5, 6, 9, 10 en 11. Dit houdt in dat een eventuele langsdam zijn functie goed zal vervullen. Verder is er op de meeste vlakken voldoende oplossingsruimte voor de aanleg van langsdammen. Dit maakt de Boven- en Midden- Waal uitermate geschikt voor langsdammen.

Omdat de langsdammen van de pilot zich op de Midden-Waal bevinden, is het de vraag of er voldoende kennisontwikkeling plaats zal vinden wanneer hier een 2^{de} project gestart wordt. Wanneer naar de overige Rijntakken gekeken wordt in bovenstaande tabel is te zien dat de Boven- en Beneden- IJssel ook goed scoren op de criteria 2, 4, 6, 8 en 11. De Boven-IJssel is tevens eroderend (criterium 1), net als het eerste gedeelte van de Beneden-IJssel (niet zichtbaar in tabel, zie GIS-kaarten in bijlage), Om de mogelijkheden voor langsdammen te onderzoeken op een andere Rijntak dan het pilotproject wordt de IJssel aangewezen.

2.3 Potentiële trajecten - kansen en knelpunten

De Midden en Boven -Waal is het meest voor de hand liggende traject voor het toepassen van langsdammen met oevergeul. Deze trajecten scoren goed op vrijwel alle criteria in tabel 2.1. De voorliggende studie wil echter ook inzicht geven of het toepassen van langsdammen op andere trajecten nuttig is.

Op basis van de randvoorwaarden en overige categorieën uit tabel 2.1 worden naast de Midden-Waal, Boven-Waal de Beneden-IJssel en Boven-IJssel als kansrijke riviertakken aangewezen. Voor zowel de Waal als de IJssel is naar de karakteristieke eigenschappen van de riviertak gekeken om een kansrijk traject aan te wijzen. Verder zijn de kansen en knelpunten onderzocht van deze trajecten. Omdat de Waal reeds het meest gunstige traject lijkt ligt daar de focus op de knelpunten. In de IJssel wordt vooral naar kansen gekeken, en wordt de vraag beantwoord wat de meerwaarde van langsdammen op dit traject is.

De Waal is van oudsher een zeer dynamische rivier die zich kenmerkt door een hoge breedte/diepte verhouding en een hoge Shields-waarde, er is actieve vorming is van oeverwallen en rivierduinen. De oorzaken hiervan zijn dat de riviertak niet gestuwd is en in mindere mate aan banden gelegd, waardoor voldoende ruimte is voor de processen van erosie en sedimentatie die noodzakelijk zijn voor de vorming van oeverwallen/alternerende banken [ref. 2].

De IJssel is van oudsher een minder dynamische riviertak dan de Waal. De breedte/diepte verhouding is lager en er is minder sedimenttransport (lagere Shields-waarde). De IJssel heeft een sterk wisselend karakter, de Boven-IJssel is een kronkelwaard met brede meanders. Dit was de verschijningsvorm van dit deel van de riviertak in de periode voor de kanalisatie. In die periode ontstonden nevengeulen en kronkelwaarden in binnenbochten van grote meanders. De Beneden-IJssel wordt gekenmerkt als een sedimenterende zandrivier met stromende nevengeulen en zandige oeverwallen. Door de kanalisatie is de spontane ontwikkeling van deze elementen niet meer mogelijk, maar de vroegere nevengeulen zijn nog wel herkenbaar in het landschap. Tijdens hoogwater kunnen grote delen van de uiterwaarden geïnundeerd raken, maar dit geldt bijvoorbeeld niet voor het middendeel. Daar stroomt de rivier tussen relatief smalle, hoog gelegen uiterwaarden. Bij Zalk, in het benedendeel, krijgt de rivier een breder bed dat bij Kampen overgaat in een kleine delta. Door de toepassing van dijken is de breedte/diepte verhouding voor beide rivieren afgenomen. De rivieren worden sterk op hun plaats gehouden en kunnen alleen hun stroomprofiel vergroten door te verdiepen [ref. 2]. De IJssel is een vrij smalle rivier, dit kan een knelpunt zijn in de aanleg van langsdammen en een belangrijk criterium in de afweging van de locatie.

2.3.1 Waal

De Waal biedt goede mogelijkheden voor het toepassen van langsdammen met oevergeul:

- vaarweg/laagwaterproblematiek: er zijn verschillende laagwaterknelpunten waar langsdammen aan bij kunnen dragen (bijvoorbeeld de vaste laag bij Nijmegen). Tevens is er voldoende oplossingsruimte. Er is voldoende marge tussen vaarweg en normaallijn waardoor waterstanden opgezet kunnen worden. Naast dat deze marge gebruikt kan worden om de laagwaterproblematiek direct te mitigeren, kan deze gehanteerd worden voor compensatie voor suppleties, compensatie voor verruiming, ten behoeve van klimaatrends in rivierafvoer of compensatie voor verandering in afvoerverdeling. Deze laatste heeft relatie tot de toekomstige beleidskeuze of we de afvoerverdeling gaan aanpassen naar aanleiding van klimaatveranderingen. Een mogelijke keuze is om bij dalende laagwaterafvoeren een relatief groter debiet naar de IJssel te sturen zodat deze langer bevaarbaar blijft en zoetwater richting het IJsselmeer garandeert. Het lagere debiet en lagere waterstanden op de Waal kan dan gecompenseerd worden door de langsdammen;
- hoogwaterveiligheid: langsdammen bieden een betere doorstroming van de rivier bij hoge afvoeren en daarmee een waterstandsdeling. Dit geeft een toename van de waterveiligheid. Ook op de Waal is dit van toepassing. Doordat er voldoende ruimte is tussen de normaallijn en de huidige oever kan een oevergeul met weinig vergraving worden gerealiseerd. Er is voldoende ruimte voor een langsdam in de vorm van een gewichtsconstructie. (zie hoofdstuk 3 waar het onderscheid wordt gegeven tussen een gewichtsconstructie en een scherm);
- natuur: de langsdammen creëren over het grootste gedeelte een luwe zone en flauwe oevers hetgeen gunstig kan zijn ten aanzien van natuurwaarden. Ook op de Waal worden hier nieuwe natuurwaarden gecreëerd. Dit vormt echter tevens het grootste knelpunt hetgeen hieronder nader wordt toegelicht.

Bovenstreams van pilotproject

Direct benedenstreams en bovenstreams van de langsdammen ontstaan erosiekuilen en aanzandingen zoals ook ontstaan bij reguliere nevengeulen. Door langsdammen direct aan te laten sluiten op de huidige pilot wordt een uniformere doorstroming verkregen waardoor dergelijke lokale effecten zullen reduceren.

Wanneer de pilotproject bovenstroom wordt verlengd, is het advies om tussen KM 913 en 898 te starten en deze vervolgens in bovenstroomse richting uit te werken tot de vaste laag bij Nijmegen. De locatie bevindt zich net bovenstrooms van het huidige pilotproject. De bovenstroomse verlenging zal een positieve invloed hebben op de hoogwaterveiligheid door een waterstandsdeling bij hoogwater en de erosie van het traject verminderen. Verder creëren langsdammen in de Boven-Waal de mogelijkheid om de laagwaterafvoerverdeling in de verschillende riviertakken te sturen. Het is bijvoorbeeld mogelijk om de laagwaterafvoer op de IJssel (iets) te vergroten waardoor de zoetwatervoorraad in het IJsselmeer toeneemt. Ook is het mogelijk om juist de afvoer van de Waal bij laagwater te vergroten om de bevaarbaarheid te verbeteren.

Bovenstreams van KM 898 ontstaat een raakvlak met Natura 2000 gebieden. In principe vormt dit voor de Waal geen obstakel, aangezien de natuurwaarden die gecreëerd worden door langsdammen niet conflicteren met de natuurwaarden van de Natura 2000 gebieden.

Nog verder bovenstrooms komt men in het bochtige gedeelte van de Boven-Waal waar het laagwaterknelpunt van de vaste laag bij Nijmegen zich bevindt, dit is een erg bochtig deel van de rivier waarbij ook oeverwallen en het raakvlak met habitatype H6120 is. Habitatype H6120 zijn stroomdalgraslanden, dit betreffen soortenrijke graslanden op zandige grond langs rivieren. Voor dit habitatype geldt dat zandsedimentatie op oevers cruciaal kan zijn voor de ontwikkeling van stroomdalsoorten omdat het kalkhoudend kaal zand is. Het lijkt aannemelijk dat door de vormgeving van de langsdammen de sedimentatie ten behoeve van H6120 gewaarborgd kan worden door te waarborgen dat I) de oevergeul achter de langsdammen sedimenttransport plaatsvindt (zand, kan ook grind zijn overigens in de Boven IJssel) en II) achter de langsdammen laagtes creëren waar het water de uiterwaard instroomt.

Een nadeel van het traject bovenstrooms van het pilotproject is dat er over de gehele lengte van het traject kribverlagingen zijn gerealiseerd of gepland staan. Het wederom aanpassen van de rivierwerken kan daardoor tot weerstand leiden bij de stakeholders.

Benedenstrooms van pilotproject

Benedenstrooms van het pilotproject is het advies om te starten aan de overzijde van waar het huidige project eindigt (KM 922). Het traject kan in de eerste instantie doorgezet worden tot het einde van deze binnenbocht (KM 924). Daarna is er mogelijkheid om de langdammen verder benedenstrooms uit te breiden, deze mogelijkheden zijn echter beperkt, omdat de bodem vanaf KM 926 een sedimenterende trend heeft en het weinig zinvol is om dan een langsdam aan te leggen. De verwachting is dat de bocht benedenstrooms van het traject KM 922 - KM 924 te scherp is. Hierdoor is het lastiger om hier een langsdam aan te leggen. Het advies is daarom om een benedenstroomse uitbreiding te beperken tot KM 922 - KM 924. Een reden om hier vanaf te wijken kan de mogelijkheid zijn om het waterdiepte knelpunt bij St. Andries op te lossen. Dit ligt in de scherpe bocht net benedenstrooms van het voorgestelde traject.

Het benedenstrooms doorzetten van het pilotproject zal de hoogwaterveiligheid verbeteren doordat de hoogwaterstand zal dalen. Verder draagt het bij laagwater bij aan de compensatie van de zoetwateronttrekking van het Amsterdam-Rijnkanaal.

Een nadeel van dit traject is dat er over de gehele lengte van het traject kribverlagingen zijn gerealiseerd of gepland staan. Benedenstroom van het huidige pilotproject is een traject waar al veel projecten lopen.

2.3.2 IJssel

De IJssel is na de Waal de meest kansrijke riviertak voor het toepassen van langdammen met oevergeul:

- vaarweg/laagwaterproblematiek: op verschillende plekken langs de IJssel ondervindt scheepvaart problemen bij laag water (bijvoorbeeld in de Boven-IJssel bij Giesbeek). Echter is op de IJssel weinig ruimte tussen de vaarweg en normaallijn, zodat de mogelijkheden om waterstanden op te zetten beperkt zijn. De compensatie voor verruiming en laagwaterproblematiek kunnen waarschijnlijk niet op de IJssel zelf gerealiseerd worden, omdat er weinig mogelijkheden zijn om de waterstand op te zetten. Het is mogelijk om met behulp van bijvoorbeeld een combinatie van langdammen op de Waal en een kleine hoeveelheid extra afvoer naar de IJssel te compenseren;
- hoogwaterveiligheid: langdammen bieden een betere doorstroming van de rivier bij hoge afvoeren en daarmee een waterstandsdeling. Dit geeft een toename van de waterveiligheid. Op de IJssel zijn de kribben niet zo lang als op de Waal, en zal een oevergeul dus met vergraving moeten worden gerealiseerd. Om de hoeveelheid vergraving te beperken is een langsdam in de vorm van een scherm de meest voor de hand liggende constructie (zie hoofdstuk 3);
- natuur: de langdammen creëren over het grootste gedeelte een luwe zone en flauwe oevers hetgeen gunstig kan zijn ten aanzien van natuurwaarden. Net als op de Waal is de aanwezigheid van Natura 2000 gebieden een aandachtspunt, maar vormen geen obstakel aangezien de natuurwaarden die gecreëerd worden door langdammen niet conflicteren met de natuurwaarden van de Natura 2000 gebieden. Tenzij in de uiterwaarden wordt gegraven. Dan is er wel sprake van habitatareaal dat in de knel raakt.

Rivierverruiming voor gewone/hoge afvoeren

Langdammen bieden een betere doorstroming bij gewone en hoge afvoeren. Dit geeft een toename van de waterveiligheid. Deze verruiming betekent ook het verminderen van de erosie door afname van de stoomsnelheid bij hogere waterstanden. Het omslagpunt tussen erosie en sedimentatie ligt nabij KM 970. Tussen KM 955 en KM 970 heeft de erosie en sedimentatie een wisselend karakter. Benedenstrooms van KM 970 is er sprake van sedimentatie en bovenstrooms is er sprake van erosie. Als dit criterium strikt (langdammen alleen op eroderende trajecten) wordt genomen dienen langdammen alleen boven KM 970 te worden ingepast. Neveneffect van de langsdam is de benedenstroomse kuil die ontstaat.

Op het traject KM 955 - KM 970 liggen de zomerkades vrijwel direct aan het zomerbed en de oevergeul zal derhalve gegraven moeten worden.

Daarnaast ligt binnen dit traject de hoogwater nevengeul 'Veessen Wapenveld'. Aan de bovenstroomse zijde van de geul is een inlaatconstructie. Wanneer de waterstand op de IJssel een hoogte van NAP +5,65 m of hoger bereikt (frequentie van voorkomen 1 keer in de 100 jaar of kleiner), wordt de geul gebruikt als

nevengeul, met als doel een waterstandsdeling op de IJssel. Derhalve geldt voor het traject tussen KM 955 en KM 970 dat langsdammen een beperkte meerwaarde hebben ten aanzien van extreem hoog water.

Daarnaast geldt dat bij verruiming zonder versmalling de waterdiepte (en daarmee de bevaarbaarheid) afneemt. Versmalling is alleen mogelijk beneden KM 955 (zie onder) hetgeen feitelijk het interessegebied afbakt. De openingen in de langsdammen zullen dermate vormgegeven moeten worden dat bij laag water slechts een zeer beperkt debiet door de geul achter de langsdam gaat stromen om te voorkomen dat de waterstand in de vaargeul daalt. Bovenstrooms van KM 955 kunnen nog steeds langsdammen worden toegepast maar dan wordt alleen de functie gediend voor rivierverruiming bij hoog water (en geen versmalling bij lage afvoeren). Wanneer echter de vaargeulbreedte losgelaten wordt is het ook mogelijk om een versmalling bij lage afvoeren te creëren. Op de IJssel zijn veel engtes aanwezig, waar bij lage afvoer eenrichtingsverkeer wordt ingesteld. Een mogelijkheid is om bij deze engtes permanent eenrichtingsverkeer in te stellen en de vaargeul te versmallen om een bovenstrooms gelegen ondiepte op te lossen.

Vaarweg/Laagwaterproblematiek - versmallen bij lage afvoeren

De IJssel biedt beperkte mogelijkheden voor het verhogen van de waterstand bij lage afvoeren. Bovenstrooms van KM 955 ligt de vaargeul vrijwel gelijk aan de kribhoofden (stromend deel bij lage afvoer) en is er geen ruimte beschikbaar om waterstanden op te zetten. Tussen KM 955 en 970 neemt de ruimte voor versmallen lineair toe tot circa 10 m. Benedenstrooms van KM 970 neemt de ruimte verder toe.

Dit betekent dat ten aanzien van het opzetten van het waterniveau als compenserende maatregel alleen mogelijkheden zijn benedenstrooms van KM 955. Het opstuwen van waterstanden op dit traject kan worden gebruikt voor I) compensatie van de waterstandsdeling door de rivierverruiming (zie vorige kopje) ten gevolge van de langsdam, II) hogere waterstand is gunstig voor de ondiepe en bochtige trajecten in relatie tot de scheepvaart, III) langs dit traject zijn in diverse weerden natuurwaarden aanwezig of ontwikkeld. Voor de effectiviteit van deze projecten is het belangrijk dat de natuur niet verdroogt door waterstandsdeling.

NB: Compensatie voor maatregelen (verruimen maar ook bv suppleren) boven KM 950 komen niet van langsdammen op de IJssel zelf. Maar bijvoorbeeld wel van langsdammen op de Midden en Boven Waal in combinatie met een beetje meer afvoer naar de IJssel (behoud van diepte).

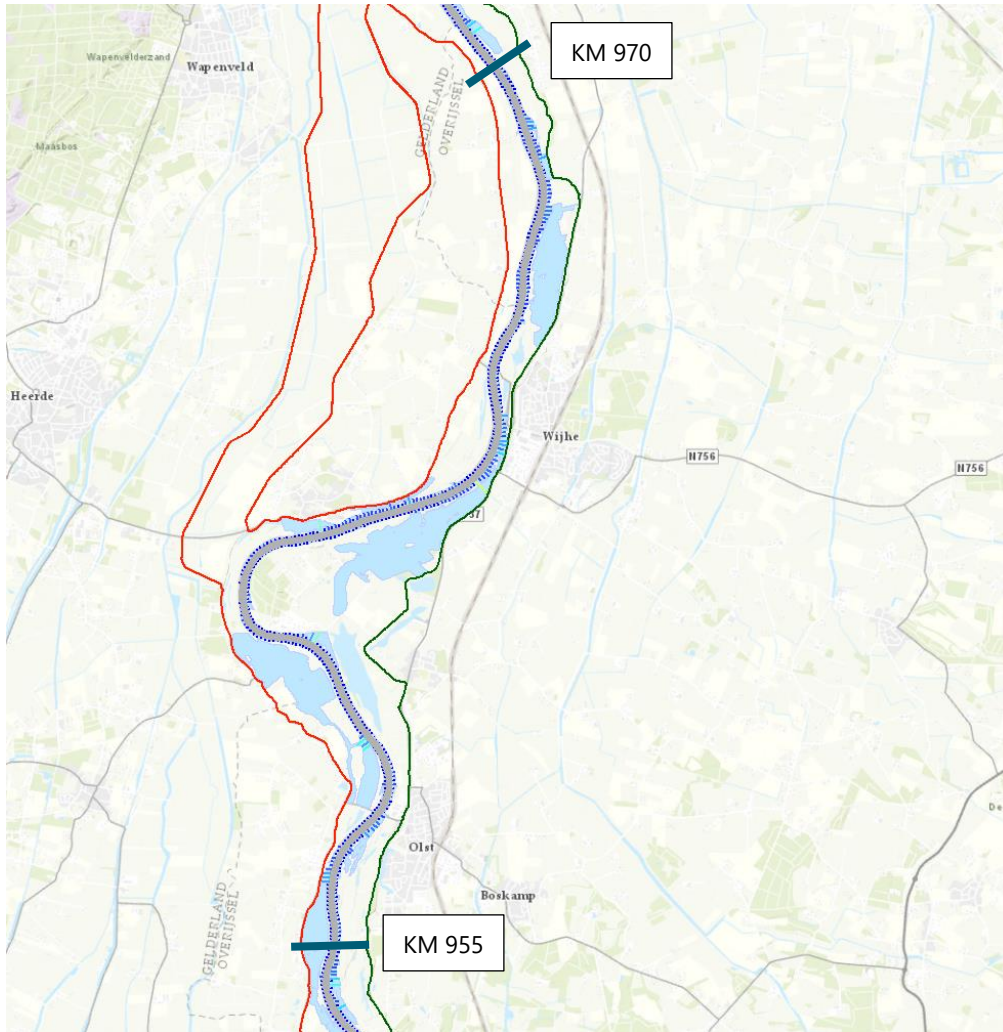
Concluderend

Het meest voor de hand liggende traject voor langsdammen in de IJssel is het traject tussen KM 955 en 970. Dit grenst aan het kantelpunt van erosie/sedimentatie en is er (weliswaar marginale) ruimte voor opstuwning van lage waterstanden. Daarnaast kan hier betere doorstroming worden gerealiseerd voor hoog water.

Huidige projecten in de IJssel zijn ter plaatse van Cortenoever en Giesbeek (Rivierklimaatpark IJsselpoort), hier heeft het voorgestelde traject geen raakvlak mee.

De omstandigheden voor het aanleggen van langsdammen zijn op de IJssel niet zo gunstig als op de Waal. Wel zorgen langsdammen ook op IJssel voor een vermindering van de erosie en verbeteren de bevaarbaarheid door het verwijderen van kribben. Daarnaast is het huidige pilotproject in de Waal gesitueerd, door het aanleggen van langsdammen in de IJssel zal naar verwachting meer kennis vergaard worden dan wanneer deze in de Waal worden aangelegd.

Afbeelding 2.1 Traject tussen KM 955 en KM 970 langs de IJssel - kansrijke locatie voor langsdammen



2.3.3 Voorstel voor verdere uitwerking

Uit de beoordeling van de criteria volgt dat het meest voor de hand liggende tracé de Waal bovenstrooms van de huidige pilot is. Daar zijn weinig essentiële knelpunten en de meerwaarde is groot op dat traject. Verdere uitwerking van dit traject kan leiden tot een optimaler ontwerp in vergelijking met het huidige ontwerp.

Op de IJssel zijn er ook wel degelijk kansen. Met name voor het traject KM 955 - 970 is er (weliswaar marginale) ruimte voor opstuwning van lage waterstanden en kan hier betere doorstroming worden gerealiseerd voor hoog water. Hoewel dit niet het best scorende traject is, is wel het voorstel om voor dit traject dwarsdoorsneden op te stellen. Dit geeft het meest onderscheidende beeld ten opzichte van de langdammen in de huidige pilot en laat goed de verschillende mogelijkheden zien. Met name omdat voor dit traject vergraving in de uiterwaarden benodigd is om een oevergeul in te kunnen passen, dit brengt extra ruimtebeslag en kosten met zich mee.

3

MOGELIJKE ONTWERPEN DWARSDOORSNEDE

Er worden 3 mogelijke ontwerpen uitgewerkt voor langsdammen met oevergeul langs de IJssel. Deze worden in de navolgende paragrafen toegelicht.

3.1 Algemeen

Er zijn een aantal uitgangspunten die voor alle ontwerpen gelden:

- **hoogte van de constructie:** deze wordt als eerste inschatting op de gemiddelde huidige kribhoogte gesteld. Dit is een eerste aanname, de werkelijke constructiehoogte zal variëren over de lengte van de langsdam door een variërende bodemhoogte en waterniveau en tevens afhangen van welke overstroomfrequentie voor de langsdam wordt gehanteerd. De constructiehoogte is wel een belangrijke invoerparameter voor de kosten van de langsdam. In de uiteindelijke kostenkennallen (geen onderdeel van de voorliggende rapportage) wordt voor de verschillende constructies de impact inzichtelijk gemaakt indien voor de langsdammen een hogere of lagere constructiehoogte wordt gehanteerd;
- **breedte van de oevergeul:** de breedte van de oevergeul is variabel. Als eerste aanname wordt de gemiddelde breedte uit het pilotproject aangehouden voor langsdammen op de Waal (zo'n 75 m, ingeschat met behulp van Google Earth). De breedte varieert tussen 50 en 100 m. Op de IJssel wordt de oevergeul versmald naar verhouding van de breedte van het zomerbed, om te zorgen dat de afvoer verhouding ongeveer overeenkomt met het pilotproject. Dit resulteert in een gemiddelde oevergeulbreedte van zo'n 30 m op de IJssel. De breedte zal variëren tussen 20 en 40 m. In de uiteindelijke kostenkennallen wordt de impact van een de oevergeulbreedte inzichtelijk gemaakt;
- **diepte van de oevergeul:** de diepte van de oevergeul wordt (in overeenstemming met het pilotproject) gelijk gesteld aan de diepte van het zomerbed. Er kan gekozen worden voor een andere diepte om de oevergeul meer of minder mee te laten stromen met de hoofdgeul.

De IJssel is een minder dynamische rivier dan de Waal, waar de langsdammen van de pilot zich bevinden. De IJssel heeft een kleinere breedte/diepte verhouding. De IJssel vertoont minder erosie en sedimentatie en de aanwezige kribben zijn kleiner dan op de Waal. In paragraaf 2.3.2 is KM 955 tot KM 970 als een traject aangewezen dat kansrijk is voor de ontwikkeling van langsdammen. Ter plaatse van dit traject is de rivier sterk gekanaliseerd door de zomerkade, maar zijn de oude nevengeulen nog herkenbaar in de uiterwaarden en is er veel ruimte tussen de zomerkade en winterkade voor de aanleg van langsdammen met bijbehorende oevergeulen.

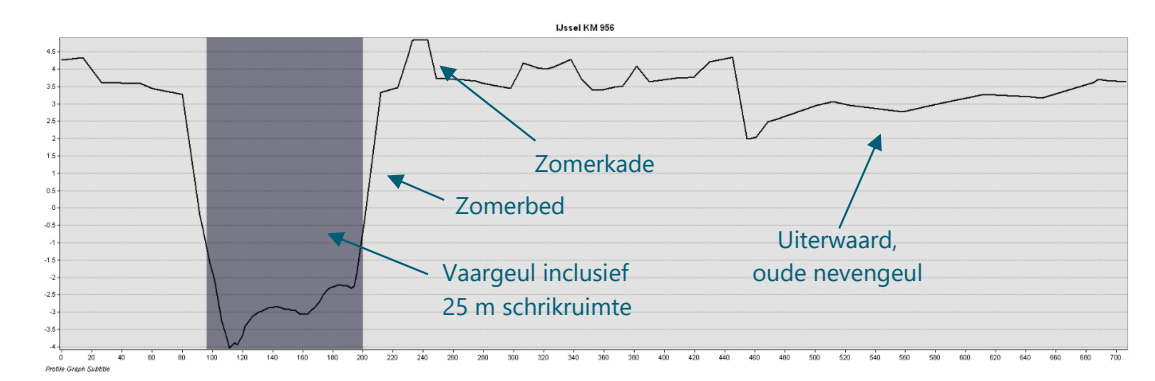
Bijlage III laat een overzicht zien van de dwarsdoorsnedes tussen KM 955 en KM 970 van de IJssel. Een typisch dwarsprofiel is weergegeven in afbeelding 3.1. Te herkennen zijn het zomerbed en een zomerkade dicht tegen het zomerbed aan. Verder is rechts van de zomerkade een zeer brede uiterwaard herkenbaar, met een lager gedeelte wat herkend kan worden als een oude nevengeul. Op basis van [ref. 6] wordt de kribconstructiehoogte geschat op 5,6 m. Dit is het gemiddelde kruinniveau van de kribben minus het niveau van het zomerbed. In de voorliggende rapportage wordt deze hoogte als constructiehoogte voor de langsdammen gehanteerd.

De ligging van de vaargeul (grijze arcering) is aangegeven in afbeelding 3.1, de vereiste 25 m schrikbreedte is meegenomen in de breedte van de arcering. De vaargeulbreedte inclusief schrikruimte loopt voor het profiel uit afbeelding 3.1 ongeveer van kribhoofd tot kribhoofd. De marge tussen de oever en vaargeul

inclusief schrikruimte is 15 m aan de linkerkant en 9 m aan de rechterkant. Het weergegeven dwarsprofiel is bovenstrooms in het gekozen traject, verder benedenstrooms is het beeld dat de afstand tussen de vaargeul (inclusief schrikruimte) en het zomerbed toeneemt.

Wat niet te zien is in onderstaande afbeelding, maar volgt uit de ligging van het dwarsprofiel, is dat de rechterzijde de binnenbocht van de rivier is en de linkerzijde de buitenbocht. In de navolgende paragrafen wordt voor verschillende ontwerpen het ruimtebeslag inzichtelijk gemaakt aan de hand van onderstaande afbeelding, dit zal dus in de rechter oever (binnenbocht) zijn.

Afbeelding 3.1 Typisch dwarsprofiel huidige bodemligging IJssel (KM 956) uit Baseline



De functie van de constructie 'langsdam' is om een scheiding te maken tussen de hoofdgeul en de oevergeul voor relatief lage afvoeren en overstroming van de langsdam bij hogere en gemiddelde afvoeren. Hierdoor is er bij lagere afvoeren een versmalling mogelijk en bij hogere afvoeren is er verruiming van de rivier mogelijk. De functie van de constructie 'langsdam' kan worden vervuld door een schermconstructie of door een gewichtsconstructie. Beide worden hieronder nader uitgewerkt.

3.2 Schermconstructie

Bij een schermconstructie wordt een langsdam geconstrueerd van houten ofwel stalen damwanden. Hierbij heeft de toepassing van hout ecologische voordelen, maar is een beperkte kerende hoogte haalbaar. Bij gebruik van stalen damwanden is het ecologische voordeel afwezig, maar zijn grotere kerende hoogtes mogelijk.

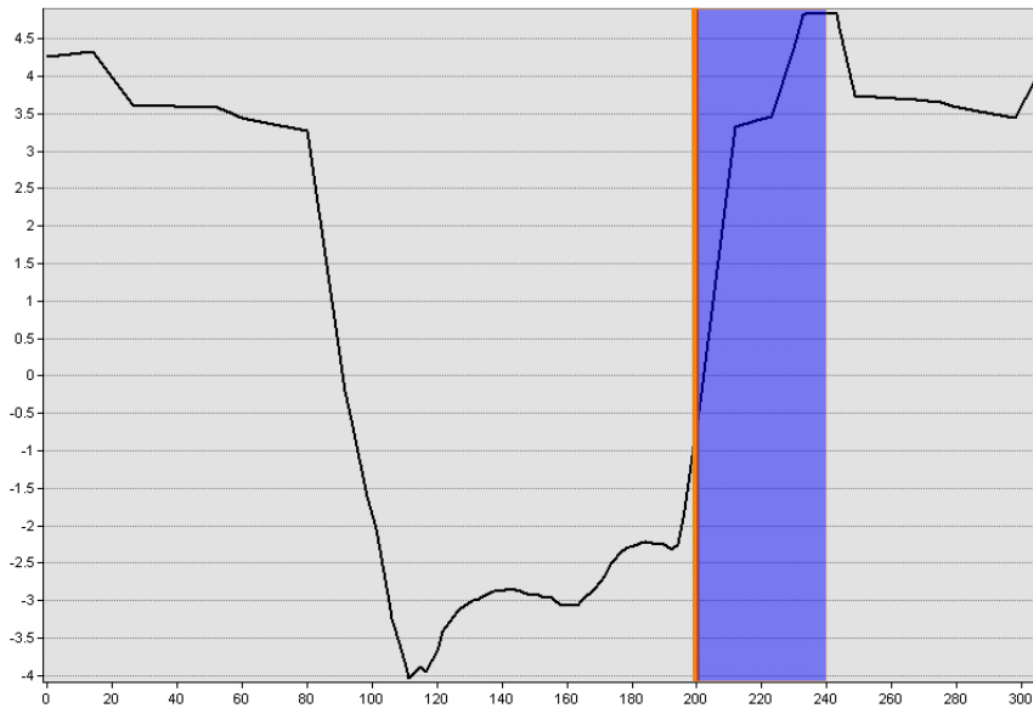
Een schermconstructie heeft een klein ruimtebeslag vergeleken met gewichtsconstructies en is daarom uitermate geschikt voor de IJssel waar beperkte ruimte aanwezig is voor de aanleg van langsdammen met bijbehorende oevergeulen. Verder is een schermconstructie over het algemeen minder doorlatend dan een breuksteen constructie, waardoor er meer mogelijkheden zijn voor het opstuwen van de laagwaterstand. Een nadeel van een schermconstructie is de reflectie van golven, wat nadelige gevolgen heeft voor de scheepvaart.

Als eerste aanname voor een onverankerde damwandconstructie wordt een lengte aangehouden van 1/3 boven bodemniveau en 2/3 onder bodemniveau. De totale lengte van de damwand is daarom 3 maal de kribhoogte, voor de IJssel is dit circa 17 m. Dit is een conservatieve aanname die onder andere rekening houdt met de aanwezigheid van een sliblaag op de bodem en andere slappe lagen waar geen sterkte aan ontleent kan worden. Wanneer het ontwerp verder gedetailleerd wordt en er voldoende grondonderzoek beschikbaar is, is de verwachting dat deze lengte geoptimaliseerd kan worden.

Een geschematiseerde weergave van de hoeveelheid ruimtebeslag die een schermconstructie inneemt is weergegeven in afbeelding 3.2. De schermconstructie is aangegeven in oranje, de (gemiddelde) breedte van

de oevergeul in blauw. De schermconstructie is zo dicht mogelijk bij de vaargeul (inclusief schrikzone) ingepast om de opzet in waterstand bij laagwater te maximaliseren. Er is te zien dat de oevergeul deels door de aanwezige zomerkade snijdt, hierdoor zijn relatief veel graafwerkzaamheden nodig.

Afbeelding 3.2 Geschematiseerde weergave ruimtebeslag schermconstructie



3.2.1 Houten schermconstructie

Een houten schermconstructie zou kunnen bestaan uit een aaneengesloten palenrij. Hierdoor ontstaat een ondoorlatende constructie waarmee de waterstand opgezet kan worden tijdens laagwater. Zoals genoemd heeft een houten schermconstructie het voordeel dat deze ecologische meerwaarde biedt. De houten palen hebben van nature holtes en creëren schuilplaatsen voor prooidieren.

Afbeelding 3.3 geeft een voorbeeld van een palenrij uitgevoerd met Lariks stammen in de Lek bij Redichem met als functie om (enige) waterafsluiting te creëren onder bepaalde rivierwaterstand. De Lek heeft net als de IJssel een grote hydraulische belasting aan de kant van de hoofdgeul.

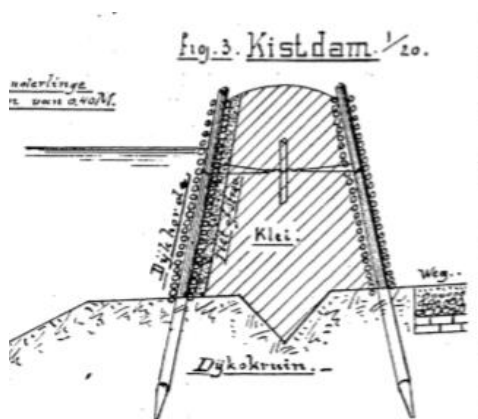
Afbeelding 3.3 Voorbeeld van een palenrij in de Lek bij Redichem [ref. 10]



Wanneer de palenrij enkel laags wordt uitgevoerd zou de constructie moeten bestaan uit boomstammen met een lengte van zo'n 15 tot 20 m. Om de belastingen gedurende installatie en de levensduur te weerstaan dient de stamomtrek onrealistisch groot te zijn. Een enkele palenrij wordt niet als realistisch gezien door de benodigde afmetingen van de palen.

Een gestaffelde uitvoering of uitvoering in een dubbelpalenrij zoals hierboven weergegeven kan uitkomst bieden, omdat de palen dan minder lang hoeven te zijn en de bijbehorende bomen dus minder groot. De palen zullen aansluitend gezet moeten worden voor de optimale opstuwung van water. Een voorbeeld van een verankerde houten palenrij is de traditionele kistdam. Een voorbeeld hiervan is weergegeven in afbeelding 3.4.

Afbeelding 3.4 Weergave van een traditionele kistdam [ref. 10]



3.2.2 Stalen schermconstructie

Een stalen damwand is een haalbare optie om als langsdam te gebruiken. De ervaring uit het pilotproject is dat het waterstandsverschil over de constructie niet meer dan 10 à 20 cm is. De belangrijkste belastingen zullen daarom bestaan uit scheepsgolven, stroming en windgolven. De verwachting is dat dit beeld niet significant anders zal zijn voor de IJssel. Eerste uitgangspunt is dat de stalen schermconstructie niet ontworpen behoeft te worden ten aanzien van aanvaarbelastingen. Dit betekent dat de damwand na een

aanvaring (deels) mag bezwijken en dat deze daarna hersteld wordt. Verder dient rekening gehouden te worden met een belasting door drukverschillen ten gevolge van een verschil in stroming tussen de oevergeul en de hoofdgeul. Het damwandprofiel van een enkele onverankerde damwand dient relatief vrij zwaar uitgevoerd te worden op basis van bovenstaande belastingen en benodigde constructiehoogte, maar geldt wel als haalbare optie al zijn er in de praktijk weinig voorbeelden beschikbaar van het gebruik van een vrijstaande damwand als scheidingswand.

Het is ook mogelijk om de constructie als kistdam uit te voeren. De tussenruimte kan opgevuld worden met vrijgekomen grond, takken, of ander materiaal. Dit kan een ecologische meerwaarde geven omdat het de mogelijkheid biedt begroeiing op de constructie aan te brengen. De damwanden kunnen aan elkaar verankerd worden, dus kunnen minder zwaar en korter uitgevoerd worden. Om de damwanden korter uit te kunnen voeren dient er voldoende tussenruimte aanwezig te zijn. Belangrijk voor de haalbaarheid van deze optie is de optimalisatie van de lengte van de damwanden versus het extra ruimtebeslag door de tussenruimte tussen de damwanden.

Een damwand vergt weinig tot geen onderhoud, en is daarmee een onderhoudsvriendelijke oplossing vergeleken met de ontwerpoplossingen uit paragrafen 3.3 en 3.4. Echter, zal bij een aanvaring het herstellen van een damwandconstructie duurder en lastiger uit te voeren zijn dan een breuksteen constructie. De damwand zal moeilijk te verwijderen zijn wanneer deze vervormt is. Verder is een belangrijk aandachtspunt dat de damwand als een 'blikopener' kan werken tijdens een aanvaring. Dit is een ontwerpuitdaging wanneer de langsdam als een stalen damwand wordt uitgevoerd. Een ander nadeel is dat, zeker voor een stalen damwandconstructie, de ecologische waarde minder is dan voor een gewichtsconstructie.

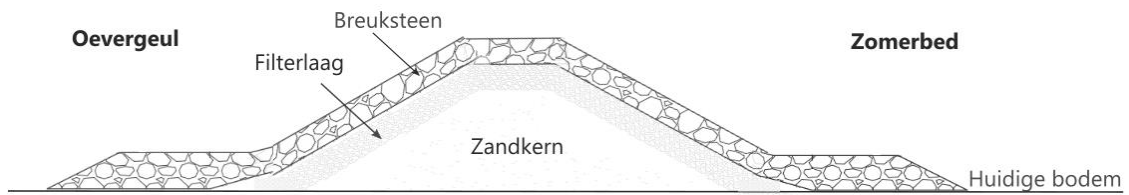
De verwachting is dat een houten schermconstructie geen haalbare optie is. Een stalen damwand is wel een haalbare optie, maar zal echter een relatief dure ontwerpoplossing zijn als langsdam. Verder zullen alle schermconstructies relatief veel golfreflectie tot gevolg hebben, dit zal hinder veroorzaken voor de scheepvaart. Een damwand is een mogelijke oplossing wanneer er weinig beschikbare ruimte is en er vergraven moet worden om een oevergeul aan te leggen, zoals op de IJssel het geval is. Deze vergraving brengt ook kosten met zich mee en zorgt ervoor dat een stalen damwand mogelijk een haalbare optie is. Kentallen van kosten worden in de volgende versie van de voorliggende rapportage nader uitgewerkt. Hieruit moet blijken hoe de kosten van een stalen schermconstructie met oevergeul zich verhouden tot de kosten van een gewichtsconstructie met een oevergeul.

3.3 Gewichtsconstructie

3.3.1 Traditionele breuksteen dam

De meest voor de hand liggende optie voor een gewichtsconstructie is een traditionele breuksteen dam (zie onderstaande afbeelding). Deze constructie zal minder golfreflectie opleveren en dus niet de nadelige gevolgen voor scheepvaart hebben als de schermconstructie. Een nadeel van deze constructie is dat het ruimtebeslag groot is. De constructie zal daarom minder passend zijn op de IJssel, omdat vanwege de korte afstand tot de oever aanzienlijke hoeveelheden vergraving resulteren voor de oevergeul. De langsdammen van de pilot zijn tevens uitgevoerd als breuksteen constructie. Om het ruimtebeslag van deze optie te verminderen is het mogelijk om kleine X-bloc's te gebruiken in plaats van breuksteen, zoals het pilotproject flexibele kribben in de IJsseldelta en Twentse kanalen [ref. 16]. Bij gebruik van kleine X-bloc's kan het talud steiler opgezet worden dan met breuksteen.

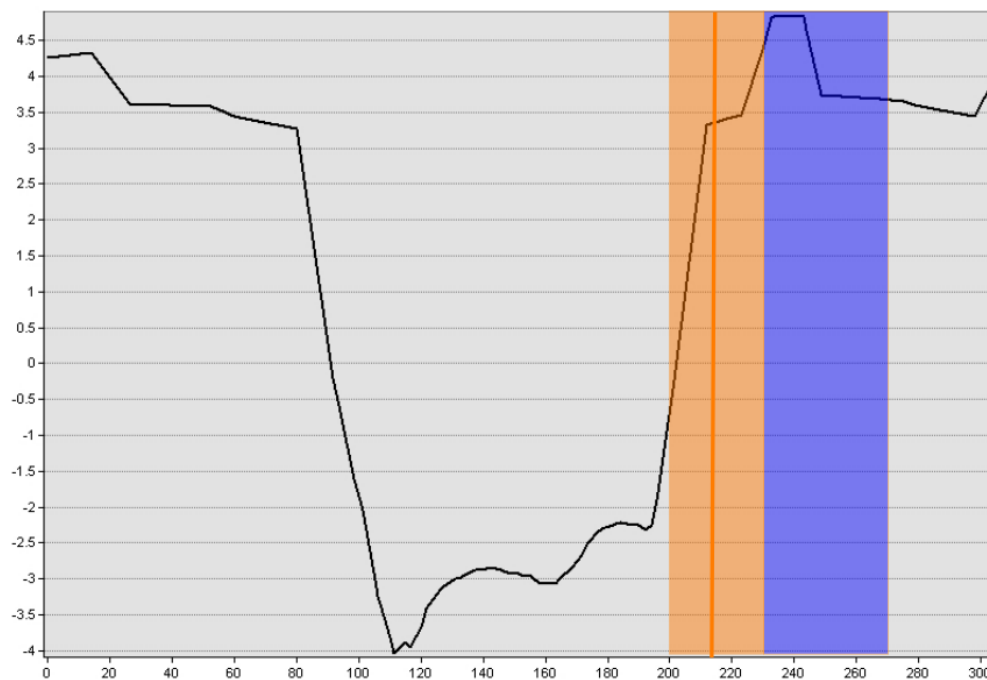
Afbeelding 3.5 Voorbeeld van een traditionele breuksteen dam



Een ander nadeel van een breuksteen constructie is dat het vergeleken met een damwand of palenrij een doorlatende constructie is. Dit zorgt ervoor dat de potentie voor waterstandsverhoging bij laagwater afneemt bij een breuksteen dam doordat het water door de poreuze constructie kan stromen.

Een geschematiseerde weergave van de hoeveelheid ruimtebeslag die een traditionele breuksteen dam inneemt is weergegeven in afbeelding 3.6. De breedte is weergegeven zonder inachtneming van de teenconstructie, omdat dit een vertekend beeld zou geven van het daadwerkelijke ruimtebeslag. De constructiebreedte is aangegeven in oranje, de (gemiddelde) breedte van de oevergeul in blauw. De buitenkruinlijn van de constructie is aangegeven met een oranje lijn. De constructie is zo dicht mogelijk bij de vaargeul (inclusief schrikzone) ingepast om de opzet in waterstand bij laagwater te maximaliseren. In de richtlijnen vaarwegen wordt de schrikruimte gedefinieerd als een zone rond de vaarweg waarbinnen de doorvaart van de scheepvaart niet belemmerd mag worden in breedte, hoogte en diepte [ref. 9]. De gewichtsconstructie (exclusief teenconstructie) begint daarom aan de rand van de schrikzone. Zoals te zien in afbeelding 3.6 ligt de kruin van de constructie buiten het zomerbed. Dit betekent dat er voor de huidige doorsnede weinig opstuwung van de laagwaterstand zal plaatsvinden. Bij laagwater zal het water tot ergens halverwege het talud staan en zal het zomerbed dus smaller zijn dan in de huidige situatie, maar de verbetering is minder groot dan voor de andere ontwerpen. Dit beeld is anders verder benedenstrooms, omdat daar de afstand tussen de vaarweg (inclusief schrikruimte) en het zomerbed toeneemt. Echter zal de ruimte op de IJssel beperkt blijven waardoor een gewichtsconstructie een beperkte meerwaarde heeft.

Afbeelding 3.6 Geschematiseerde weergave ruimtebeslag gewichtsconstructie



Beheer en onderhoud is een aandachtspunt bij een breuksteen dam. De ervaringen van het pilotproject leren dat inspecties en herstel van schades een uitdaging is [ref. 12]. Dit is deels te wijten aan het feit dat een langsdam geen connectie heeft met de oever. Dit geldt in principe voor alle genoemde ontwerpen. Verder is vanuit het onderhoud de ervaring dat het niet mogelijk is de dammen handmatig te ontdoen van vegetatie. De grove sortering van de breuksteen (40-200 kg in het pilotproject) zorgt ervoor dat het erg lastig maar ook gevaarlijk is om over de dammen heen te lopen. Voor onderhoud vanaf het water dient een behoorlijk groot schip ingezet te worden door de lange giek afstand die nodig is wat het erg kostbaar maakt. Er kan nagedacht worden over bijvoorbeeld een kruinstuk wat de dam begaanbaar maakt, al zal dit tevens extra aanlegkosten met zich meebrengen.

Verder blijkt uit de ervaringen van het pilotproject dat de langsdammen gevoelig zijn voor aanvaringen [ref. 12]. Hierbij is de schade die veroorzaakt wordt vele maler groter dan bij een schade aan een oeverconstructie. Dit heeft te maken met de granulaire opbouw van de langsdam. Als een langsdam wordt aangevaren bij hoog water dan gaat het water spoelen in het gat. De sortering wordt hierdoor verstoord. Om dit te herstellen dient eerst een groot stuk van de dam afgegraven te worden om hem vervolgens weer op te kunnen bouwen. Bij een oeverconstructie is dit eenvoudiger omdat hier stortsteen op een geotextiel ligt. In het ontwerp kan hier rekening mee gehouden worden door op de zandkern direct een geotextiel aan te brengen, daarop een dunne filterlaag en de bestorting in plaats van de meerdere filters die toegepast zijn in het pilotproject. Het is ook mogelijk om een geometrisch open filter te ontwerpen, om herstel te vereenvoudigen. Ook kan het herstellen worden geoptimaliseerd, bijvoorbeeld door lokaal wel een geotextiel toe te passen.

3.3.2 Eilandvorm

In plaats van de traditionele breuksteen dam kan een eilandvorm interessant zijn. Aangezien er in de IJssel veel afgraving nodig is voor de aanleg van een langsdam kan het interessant zijn om de dam als eiland uit te voeren. Hierbij wordt de huidige oever intact gelaten en wordt een oeversgeul in het huidige landschap vergraven. Om de hoeveelheid vergraving te verminderen kan eraan gedacht worden om de oeversgeul door de oude (lager gelegen) nevensgeul te leiden, zoals geïdentificeerd in afbeelding 3.1.

De eilandvorm kan interessant zijn omdat de huidige oever intact gelaten wordt, wat kosten en materiaal bespaart. Echter moet er mogelijk meer afgegraven worden om de oeversgeul te realiseren, dit kan financieel tegen elkaar afgewogen worden.

Een nadeel van het uitvoeren van langsdammen als eilanden is dat er geen extra opstuwing van laagwater plaatsvindt doordat de huidige oever intact blijft. De langsdam in eilandvorm is in feite een meestromende nevensgeul.

3.4 Hybride constructie

Een laatste optie is een hybride constructie tussen een gewichtsconstructie en een schermconstructie, zoals weergegeven afbeelding 3.7. Er zijn veel hybride constructies mogelijk, en hier wordt slechts 1 variant verkend. De basis van de constructie is een gewichtsconstructie uit breuksteen. In deze constructie proberen we houten delen in te passen die meerwaarde ten aanzien van ecologie hebben. Meest geschikte locatie daarvoor lijkt de teen aan de binnenzijde, vanwege de kleinere hydraulische belastingen. Afbeelding 3.7 geeft een eerste schets:

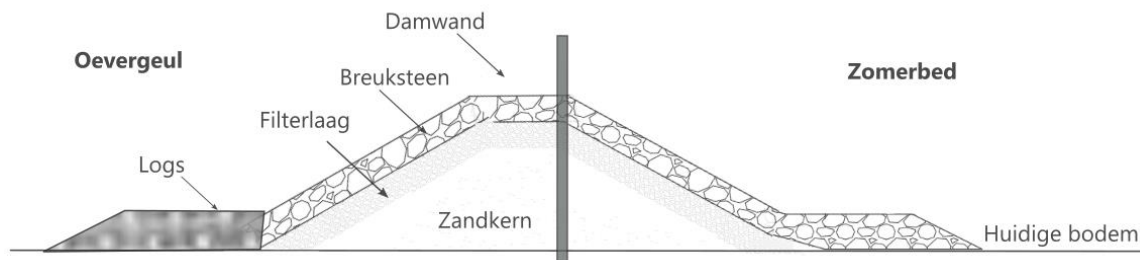
- uitgangspunt is ontwerp van de huidige langsdam;
- op de minst kwetsbare locatie (binnenteen) passen we in plaats van steen, logs toe;
- een lagere breuksteenkruin en daarop een uitstekende palenrij. Dit heeft een aantal effecten:
 - I) de breuksteendam kan goedkoper omdat deze lager is;
 - II) het blijkt dat bij een poreuze langsdam het opzetten van water wordt afgezwakt doordat het water door de dam stroomt. Met een ondoorlatende palenrij wordt dit verminderd;

- III) bij een groot gedeelte van de waterstanden dempen golven op het breuksteen hetgeen golfreflectie verminderd.

Het laatste deel van de hoogte wordt verzorgd door een scherm, welke door de geringe kerende hoogte van hout kan zijn of een licht damwandprofiel. Omdat de breuksteenconstructie poreus is, wordt het opzetten van water afgezwakt doordat het water door de dam stroomt. Met een ondoorlatende palenrij wordt dit verminderd, wanneer een stalen damwand wordt toegepast wordt de stroming vrijwel geheel tegengehouden. Verder worden bij een groot gedeelte van de waterstanden de golven gedempt op het breuksteen, hetgeen golfreflectie verminderd.

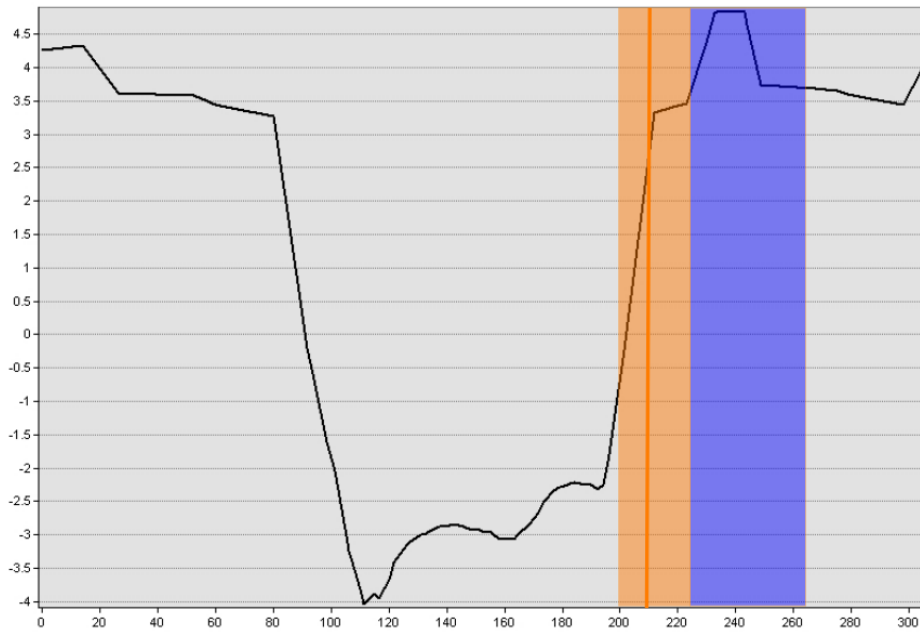
Afbeelding 3.7 geeft een schematische weergave van een mogelijke hybride constructie. Het advies is om de palenrij of damwand de laatste 1,5 à 2 m van de constructiehoogte te laten verzorgen. Dit geeft een significante ruimtebesparing ten opzichte van een breuksteen dam, omdat deze lager uitgevoerd kan worden. De palenrij of damwand kan het beste tot ongeveer 1 m onder de huidige bodem doorgezet worden, zodat er een min of meer waterdichte afsluiting ontstaat. Hierdoor wordt de opstuwing van het waterpeil bij laagwater optimaal benut. Bij een kerende hoogte van 1,5 à 2 m zal een paaldiameter van ongeveer 10 cm voldoende zijn [ref. 14].

Afbeelding 3.7 Hybride constructie tussen een gewichtsconstructie en een schermconstructie



Een geschematiseerde weergave van de hoeveelheid ruimtebeslag die een hybride constructie inneemt wanneer de laatste 1,5 m hoogte wordt verzorgd door een schermconstructie is weergegeven in afbeelding 3.8. De breedte is weergegeven zonder inachtneming van de teenconstructie. De constructiebreedte is aangegeven in oranje, de (gemiddelde) breedte van de oevergeul in blauw. De kruin (midden) van de constructie is aangegeven met een oranje lijn. De constructie is zo dicht mogelijk bij de vaargeul (inclusief schrikzone) ingepast om de opzet in waterstand bij laagwater te maximaliseren, dus net als voor de gewichtsconstructie begint de constructie aan het eind van de schrikzone. Te zien is dat het ruimtebeslag van de hybride constructie kleiner is dan voor de gewichtsconstructie, waardoor de kruin zich verder richting de vaargeul bevindt. Echter zal ook voor dit ontwerp nog significant ontgraven moeten worden voor de realisatie. Verder benedenstrooms in het traject neemt de afstand tussen de vaarweg (inclusief schrikruimte) en het zomerbed toe en kan de laagwaterstand dus beter opgestuwd worden. Dit maakt de hybride constructie een goede optie voor de IJssel, maar de hoogte van de schermconstructie is belangrijk voor de haalbaarheid.

Afbeelding 3.8 Geschematiseerde weergave ruimteslag hybride constructie

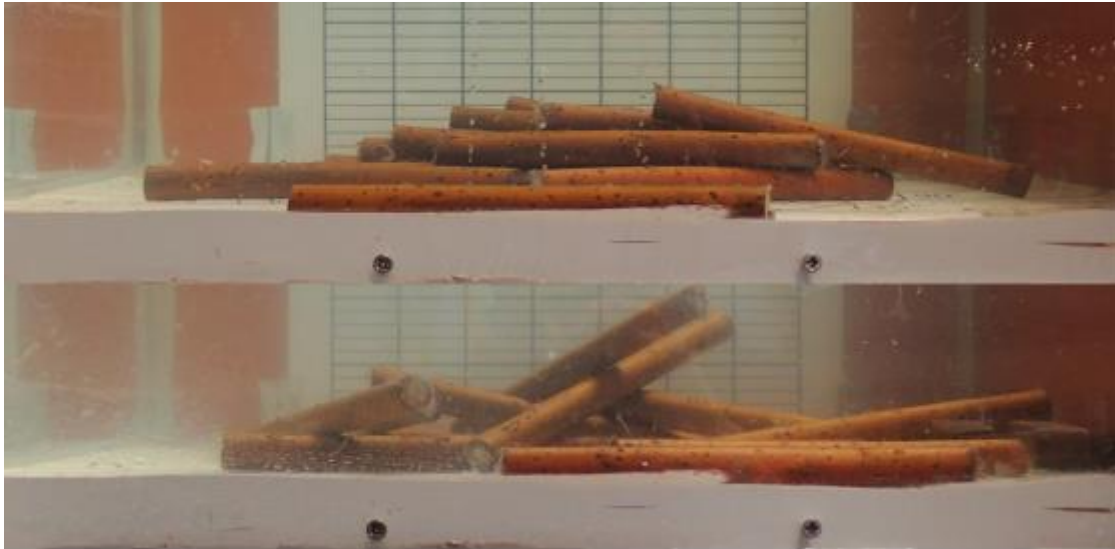


3.4.1 Gebruik van logs

Recent zijn er verschillende afstudeerders geweest die in opdracht van Rijkswaterstaat onderzoek hebben gedaan naar het gebruik van 'Logs' (boomstronken) voor waterbouwkundige toepassingen. Logs hebben een positieve invloed op ecologie doordat er op natuurlijke wijze schuilplaatsen ontstaan voor prooidieren. Verder faciliteren de grote boomstammen voornamelijk inheemse vissoorten, waar invasieve soorten er minder gebruik van maken [ref. 13]. Hun bevindingen zijn dat logs toegepast kunnen worden op eenzelfde wijze als breuksteen. De belangrijkste conclusies hieruit zijn dat de Shields waarde voor logs niet verschilt van die van breuksteen wanneer deze als bodembescherming wordt toegepast, mist de logs verzadigd zijn.

Van den Berg [ref. 7] heeft onderzocht of de ontwerpcriteria (Shields) van breuksteen ook toepasbaar op logs, dit blijkt het geval. Bij stroomsnelheden groter dan 1 m/s wordt geadviseerd om de logs te verankeren. Bouman heeft onderzoek gedaan naar het functioneren van logs als een open filter. Een optimum blijkt bereikt bij een laagdikte van 2 logs. Een toename van het aantal lagen verkleint de stroomsnelheid in het filter daarna niet significant [ref. 8]. Verder heeft Bouman gekeken of een filter opgebouwd kan worden door de logs te laten bezinken (drop method), ook dit blijkt mogelijk. Een voorbeeld hiervan is weergegeven in afbeelding 3.9.

Afbeelding 3.9 Voorbeeld van log filters opgebouwd met behulp van de 'drop method' [ref. 8]



Op basis van bovenstaande informatie wordt aangeraden om bij gebruik van logs deze op het binnentalud (aan de kant van de oeversgeul) aan te brengen. Dit kan gedaan worden als een teenconstructie, maar niet op het talud. Aangezien een belangrijk aandeel van de stabiliteit wordt ontleent aan de verzadiging van de logs dienen deze onder het wateroppervlak toegepast te worden. De verwachting is dat de stroomsnelheden in de oeversgeul bij grote afvoeren in combinatie met stroming veroorzaakt door schepen groter kunnen worden dan 1 m/s. De logs moeten dan verankerd worden.

4

CONCLUSIES

In voorliggende rapportage is gekeken naar potentieel kansrijke trajecten voor langsdammen en naar mogelijke ontwerpen voor dwarsdoorsneden van langsdammen. Dit hoofdstuk geeft de belangrijkste conclusies voor beide onderwerpen.

4.1 Potentiële trajecten

Op basis van de criteria uit tabel 2.1 zijn 2 potentiële trajecten benoemd als zijnde kansrijk. Eén traject ter plaatse van de Waal en 1 in de IJssel. Onderstaand de belangrijkste overwegingen.

Waal

De Waal biedt goede mogelijkheden voor het toepassen van langsdammen met oevergeul:

- vaarweg/laagwaterproblematiek: er zijn verschillende laagwaterknelpunten waar langsdammen aan bij kunnen dragen (bijvoorbeeld de vaste laag bij Nijmegen). Tevens is er voldoende oplossingsruimte: Er is voldoende marge tussen vaarweg en normaallijn waardoor waterstanden opgezet kunnen worden. Een lager debiet en lagere waterstanden op de Waal kunnen eventueel gecompenseerd worden door langsdammen;
- hoogwaterveiligheid: langsdammen bieden een betere doorstroming van de rivier bij hoge afvoeren en daarmee een waterstands daling. Dit geeft een toename van de waterveiligheid. Ook op de Waal is dit van toepassing. Doordat er voldoende ruimte is tussen de normaallijn en de huidige oever kan een oevergeul met weinig vergraving worden gerealiseerd. Er is voldoende ruimte voor een langsdam in de vorm van een gewichtsconstructie;
- natuur: de langsdammen creëren een luwe zone en flauwe oevers hetgeen gunstig kan zijn ten aanzien van natuurwaarden. Ook op de Waal worden hier nieuwe natuurwaarden gecreëerd.

Voor de Waal is een logische locatie voor langsdammen juist boven- of benedenstrooms van het pilotproject. Uit de beoordeling van de criteria volgt dat het meest voor de hand liggende tracé de Waal bovenstrooms van de huidige pilot is. Daar zijn weinig essentiële knelpunten en de meerwaarde is groot op dat traject. Verdere uitwerking van dit traject kan leiden tot een optimaler ontwerp in vergelijking met het huidige ontwerp.

IJssel

De IJssel biedt goede mogelijkheden, maar er zijn ook enkele beperkingen:

- vaarweg/laagwaterproblematiek: op verschillende plekken langs de IJssel ondervindt scheepvaart problemen bij laag water (bijvoorbeeld in de Boven-IJssel bij Giesbeek). Echter is op de IJssel weinig ruimte tussen de vaarweg en normaallijn. De mogelijkheid om waterstanden op te zetten is beperkt;
- hoogwaterveiligheid: langsdammen bieden een betere doorstroming van de rivier bij hoge afvoeren en daarmee een waterstands daling. Dit geeft een toename van de waterveiligheid. Op de IJssel zijn de kribben niet zo lang als op de Waal, en zal een oevergeul dus met vergraving moeten worden gerealiseerd. Om de hoeveelheid vergraving te beperken is een langsdam in de vorm van een scherm de meest voor de hand liggende constructie;
- natuur: de langsdammen creëren een luwe zone en flauwe oevers hetgeen gunstig kan zijn ten aanzien van natuurwaarden. Net als op de Waal is de aanwezigheid van Natura 2000 gebieden een aandachtspunt, maar vormen geen obstakel aangezien de natuurwaarden die gecreëerd worden door

langsdammen over het algemeen niet conflicteren met de natuurwaarden van de Natura 2000 gebieden. Tenzij in de uiterwaarden wordt gegraven. Dan is er wel sprake van habitatareaal dat in de knel raakt. Hierin zal dan uiteindelijk rekening moeten worden gehouden in de inpassing.

Op de IJssel zijn meer knelpunten aanwezig dan op de Waal, al zijn er wel degelijk kansen. Met name voor het traject KM 955 - 970 is er (weliswaar marginale) ruimte voor opstuwing van lage waterstanden en kan hier betere doorstroming worden gerealiseerd voor hoog water. Hoewel dit niet het best scorende traject is, is wel het voorstel om voor dit traject dwarsdoorsneden op te stellen. Dit geeft het meest onderscheidende beeld ten opzichte van de huidige langsdammen van de pilot en laat goed de verschillende mogelijkheden zien. Met name omdat voor dit traject vergraving in de uiterwaarden benodigd is om een oevergeul in te kunnen passen, dit brengt extra ruimtebeslag en kosten met zich mee. Omdat de situatie in van de IJssel sterkt afwijkt van de Waal, zou een ontwerpaanpassing bij de IJssel opnieuw als een pilot beschouwd moeten worden.

4.2 Mogelijke ontwerpen dwarsdoorsnede

Elk ontwerp heeft voor- en nadelen. Zonder een kostenafweging van de hoeveelheid vergraving en materiaalkosten is het niet mogelijk een aanbeveling te geven voor een dwarsdoorsnede. Dit volgt in een later stadium van het project. Wel zijn er verschillende mogelijke ontwerpen gegeven.

Schermconstructie

Een schermconstructie kan op verscheidene manieren uitgevoerd worden, hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen een uitvoering uit hout of staal. Voor een uitgebreide toelichting op de verschillende mogelijke ontwerpen, zie paragraaf 3.2. Over het algemeen heeft een schermconstructie een relatief klein ruimtebeslag vergeleken met de andere mogelijke ontwerpen. Ook zijn schermconstructies over het algemeen relatief ondoorlatend vergeleken met bijvoorbeeld breuksteen, waardoor de laagwaterstand goed opgestuwd kan worden. Aandachtspunten van de schermconstructie zijn de grote hoeveelheden golfreflectie en lastig herstel na aanvaring door scheepvaart.

Gewichtsconstructie

De langsdammen die gerealiseerd zijn voor het pilotproject zijn gewichtsconstructies. Een gewichtsconstructie bestaat over het algemeen uit breuksteen, maar het is mogelijk om andere elementen te gebruiken voor de toplaag, zoals kleine X-bloc's (zie paragraaf 3.3). Over het algemeen heeft de gewichtsconstructie een groot ruimtebeslag, zeker vergeleken met de schermconstructie. Verder is de opstuwing van laagwater over het algemeen minder, omdat de constructie relatief doorlatend is. Door deze open structuur zijn er echter minder problemen met golfreflectie dan bij een schermconstructie. De herstelwerkzaamheden zijn een aandachtspunt, binnen het pilotproject blijkt herstel na aanvaring lastig te zijn. De verwachting is dat het ontwerp geoptimaliseerd kan worden om herstel te vereenvoudigen.

Het is mogelijk om het ruimtebeslag van de gewichtsconstructie te verbeteren door deze als eilandvorm uit te voeren (zie paragraaf 3.3.2). De constructie wordt in dat geval uitgevoerd als een meestromende nevengeul.

Hybride constructie

Met de hybride constructie is getracht om de positieve eigenschappen van scherm- en gewichtsconstructie te combineren. De hybride constructie bestaat uit een gewichtsconstructie waarvan de laatste gedeelte van de hoogte wordt verzorgd door een schermconstructie. Hierdoor is het ruimtebeslag groter dan dat van een schermconstructie, maar kleiner dan de gewichtsconstructie. De opstuwing van laagwater is goed, omdat deze wordt verzorgd door de schermconstructie. Verder biedt de hybride constructie goede ecologische mogelijkheden door het gebruik van log's op de langsdam aan de kant van de oevergeul (zie paragraaf 3.4.1). Welke ontwerpoplossing optimaal is, is tevens afhankelijk van de locatie. Omdat ruimtebeslag op de IJssel een aandachtspunt is, is de verwachting dat hiervoor een ontwerp als schermconstructie of hybride constructie passender is dan een gewichtsconstructie.

5

REFERENTIES

- 1 Witteveen+Bos (2020). Verslag overleg Toepassing langsdammen elders. 20 maart 2020.
- 2 Provincie Gelderland (2018). Beheerplan Natura 2000 Rijntakken (038), vastgesteld door het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. December 2018.
- 3 Deltares (2019). Langsdammen beoordeling monitoring en synthese, kenmerk 1210432-002-ZWS-0005. Juni 2019.
- 4 Royal HaskoningDHV (2019). Begeleidende memo bij opgavenkaarten voor de Rijntakken, kenmerk BG2235-RHD-ZZ-XX-NT-Z-0001. 17 september 2019.
- 5 Ministerie van Economische zaken en Klimaat (2017). Natuurverkenning grote rivieren - veerkrachtig ecosysteem voor de grote rivieren. Juli 2017.
- 6 Witteveen+Bos (2020). QuickScan rivierbodemplugging Rijn - ten behoeve van Integraal Riviermanagement. Referentie 116217/20-004.297. 18 maart 2020.
- 7 Van den Berg, M (2019). Stability of random places log bed protections. 28 augustus 2019.
- 8 Bouman, R (2018). Hydraulic load reduction as a function of depth in a filter layer consisting of logs. 12 juli 2018.
- 9 Rijkswaterstaat WVL (2017). Richtlijnen vaarwegen 2017 - Kader verkeerskundig vaarwegontwerp Rijkswaterstaat. December 2017.
- 10 Rijkswaterstaat WVL (2020). Emailconversatie met Arjan Sieben - Nav overleg langsdammen deel 1. 20 maart 2020.
- 11 Rijkswaterstaat WVL (2020). Emailconversatie met Daniël van Putten - Shapes zomerkaden. 27 maart 2020.
- 12 Deltares (2020). Emailconversatie met Erik Mosselmal - Gegevens beheer en onderhoud langsdammen. 6 april 2020.
- 13 Dorenbosch M. et al. (2017). Application of large wood in regulated riverine habitats facilitates native fishes but not invasive alien round goby (*Neogobius melanostomus*) - Invasive Species in Inland Waters. Volume 12, Issue 3. 15 september 2017.
- 14 Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde (2002). Natuurvriendelijke oevers - in het mondingsgebied van Rijn en Maas. April 2002.
- 15 Rijkswaterstaat - Rijksinstituut voor integraal zoetwaterbeheer (1997). Oeversedimentatie tijdens hoogwaters van 1993/1994 en 1995. 12 maart 1997.
- 16 Internetsite: <https://www.rijkswaterstaat.nl/nieuws/2019/11/pilot-flexibele-kribben-in-de-ijsel-van-start.aspx>, geraadpleegd op 4 mei 2020.

Bijlage(n)

BIJLAGE: ONDERBOUWING CRITERIA

Onderstaande criteria worden in de navolgende paragrafen 1 voor 1 behandeld.

- 1 Bodemligging heeft een dalende trend.
- 2 Recente/toekomstige kribverlagingsmaatregelen/ langsdammen.
- 1 Voldoende rivierbreedte aanwezig voor langsdammen.
- 2 Mate van ecologische meerwaarde.
- 3 langsdam conflicterend met Natura 2000 beperkingen.
- 4 Vaarwegbeheer ondervindt problemen bij laagwater.
- 5 Beheerruimte voor laagwaterstanden.
- 6 Zoetwatervoorziening.
- 7 Dekkingsgraad kabels en leidingen.
- 8 Behoeftte waterstandsdeling voor hoogwaterveiligheid.
- 9 Potentie waterstandsdeling bij verwijderen kribben.

I.1 Bodemligging heeft een dalende trend

De bodemligging heeft een dalende trend wanneer sprake is van erosie. Voor deze analyse wordt dezelfde informatie gebruikt die Deltares heeft gehanteerd [ref. 3] en geeft een goed overzicht van de gemiddelde erosie en sedimentatie in vakken van ongeveer 1 km langs de riviertakken. Daarnaast is numeriek de gemiddelde erosie per tak overgenomen uit [ref. 6].

De aanleg van langsdammen is een kans waar onder de huidige omstandigheden de bodem erodeert. Meeste erosie treedt op tijdens hoog water. Bijna overal langs de Rijntakken zijn kribben aanwezig die de doorstroom verstoren tijdens hoogwater. De erosie concentreert zich door de aanwezigheid van kribben in het zomerbed. De vervanging van kribben voor langsdammen zorgt voor een betere doorstroming bij hoogwater en vermindering van de erosie van het zomerbed. De erosie tijdens hoogwater vindt verspreider plaats over zowel het zomerbed als de oevergeul waardoor de erosie en sedimentatie van het zomerbed meer in balans komen. De vermindering van erosie wordt onder andere behandeld en onderbouwd in WP10.

De bodem van de Boven-Waal, Midden-Waal, Pannerdensch Kanaal, Neder-Rijn en Boven-IJssel hebben globaal gezien een dalende trend. De Boven-Rijn, Beneden-Waal, Lek en Beneden-IJssel vertonen globaal gezien sedimentatie. Dit zijn globale trends, omdat binnen elke Rijntak locaties zijn aan te wijzen met een dalende of stijgende trend. De resultaten van dit criterium zijn te vinden in afbeelding II.2.

I.2 Recente/toekomstige kribverlagingsmaatregelen / langsdammen

Locaties waar recent of in de nabije toekomst kribverlagingen zijn/worden gerealiseerd verminderen de kansrijkheid van een langsdam. De omstandigheden zullen reeds verbeterd zijn door de kribverlaging en het vervangen door de (net gewijzigde) kribben zal tot weerstand leiden van de omgeving. De locatie van de huidige pilot voor langsdammen rond Tiel wordt uiteraard uitgesloten als optie. De meeste

kribverlagingsprojecten vinden plaats op de Beneden- en Midden-Waal en op het Pannerdensch kanaal [ref. 4]. De resultaten van dit criterium zijn te vinden in afbeelding II.3.

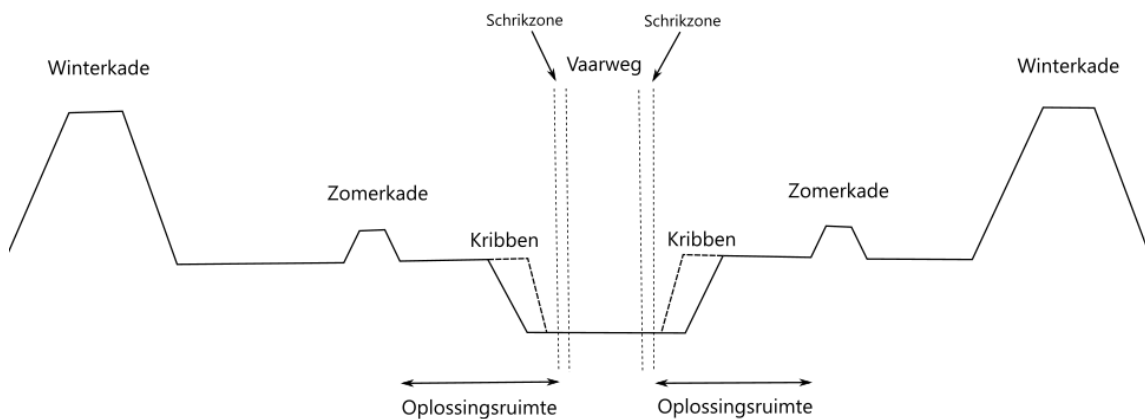
I.3 Voldoende rivierbreedte aanwezig voor langsdammen

Voldoende rivierbreedte was voor het overleg van 20 maart 2020 door Witteveen+Bos gedefinieerd als de afstand tussen de vaargeul en de kribwortel. Tijdens het overleg is aangegeven dat het criterium gebaseerd dient te worden op het zomerbed. De definitie van zomerbed is daarbij van zomerkade tot zomerkade. Het zomerbed kent zowel een nat deel als een droog deel. De gehele breedte geldt daarbij als zoekgebied voor de oevergeul. Het criterium wordt dan aangepast naar 'voldoende breedte voor het realiseren van een oevergeul'.

Verder is tijdens het overleg aangegeven dat er een zogenoemde 'schrikruimte' van 25 m naast de vaargeul onbebouwd dient te blijven (in de richtlijn vaarwegen [ref. 7] is dit de 'minimum maat voor oeverstrook en vrije ruimte'). De langsdammen kunnen dus niet vlak langs de vaargeul gerealiseerd worden, hiermee wordt de mogelijke ruimte voor langsdammen verkleind.

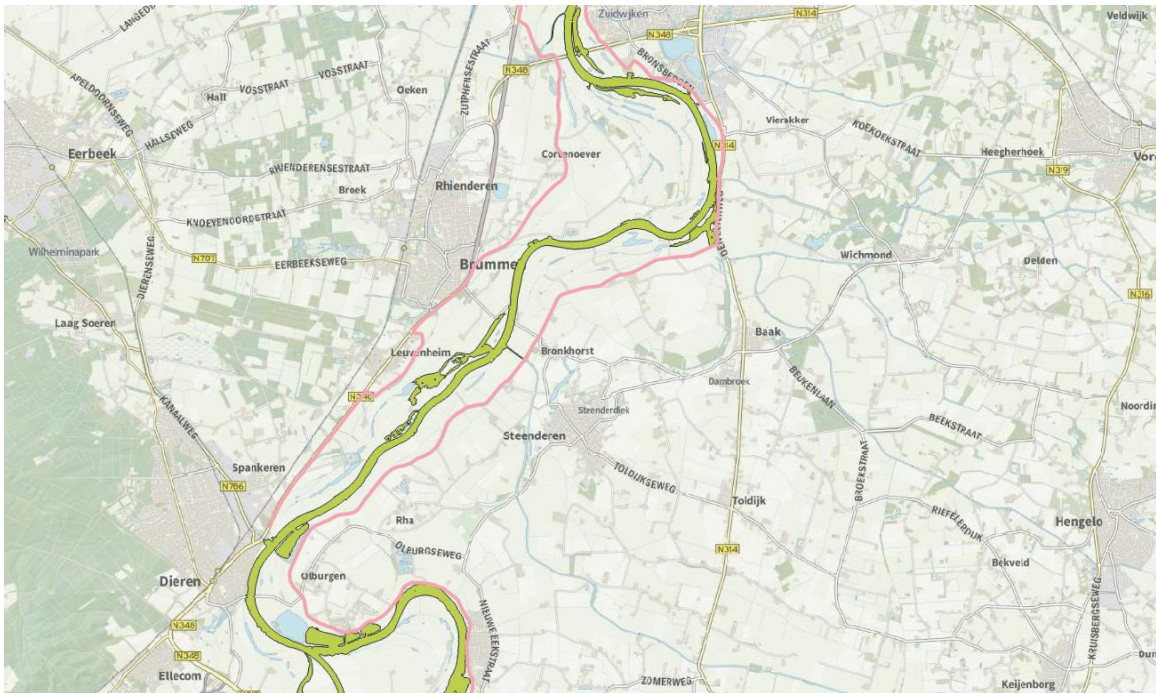
De beschikbare breedte wordt voor dit criterium gedefinieerd als de zomerbedbreedte (van zomerdijk tot zomerdijk uit) minus de vaargeulbreedte en schrikruimte, zie afbeelding I.1. Dit kan ook betekenen dat een deel van de huidige oever wordt ontgraven tot de daadwerkelijke zomerkade om uiteindelijk de oevergeul te kunnen realiseren.

Afbeelding I.1 Beschikbare ruimte voor langsdammen (oplossingsruimte)

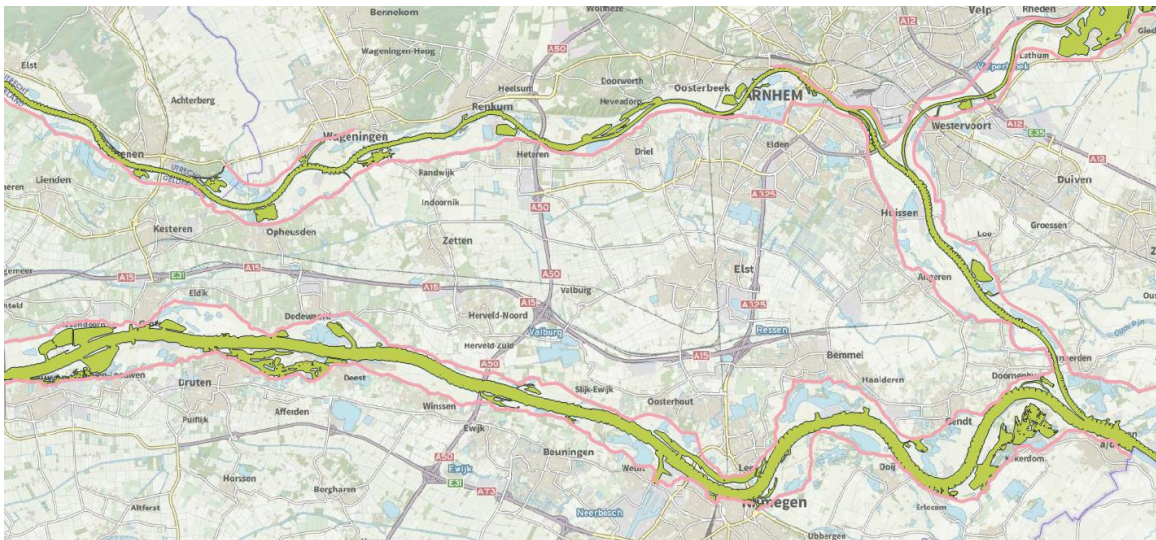


De inundatie behorend bij een debiet van 3659 m³/s bij Lobith geeft een indicatie van de ligging van de zomerkades omdat dit debiet ongeveer overeenkomt met een 'bankfull' discharge [ref. 11]. Voor alle Rijntakken is het verschil tussen de vaargeul (inclusief schrikruimte en geplande vaarwegverbreding van de Waal) en de zomerkade inzichtelijk gemaakt. Afbeelding I.4 geeft een voorbeeld van de aanwezige ruimte op de Waal. Te zien is dat op de locatie van het huidige pilotproject 75 - 100 m ruimte aanwezig is. Ter plaatse van buitenbochten is te zien dat er minder ruimte is, en bij inlaten zijn uitschieters naar boven te zien, maar over het geheel is het beeld op de Waal dat er 75 - 100 m ruimte is tussen de vaarweg en het zomerbed.

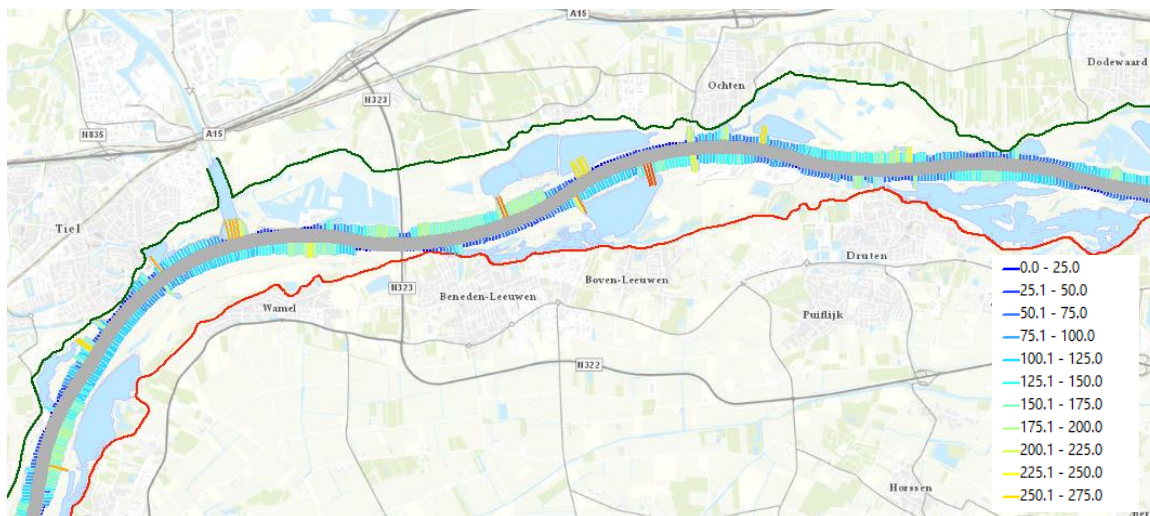
Afbeelding I.2 Voorbeeld van inundatie behorend bij een debiet van 3659 m³/s bij Lobith voor de IJssel (de bandjiken in roze) [ref. 11]



Afbeelding I.3 Voorbeeld van inundatie behorend bij een debiet van 3659 m³/s bij Lobith voor de Waal en Neder-Rijn [ref. 11]



Afbeelding I.4 Afstand tussen zomerkade (indicatieve ligging) en vaarweg (inclusief schrikruimte) op de Waal. Rode en groene lijn zijn de banddijken

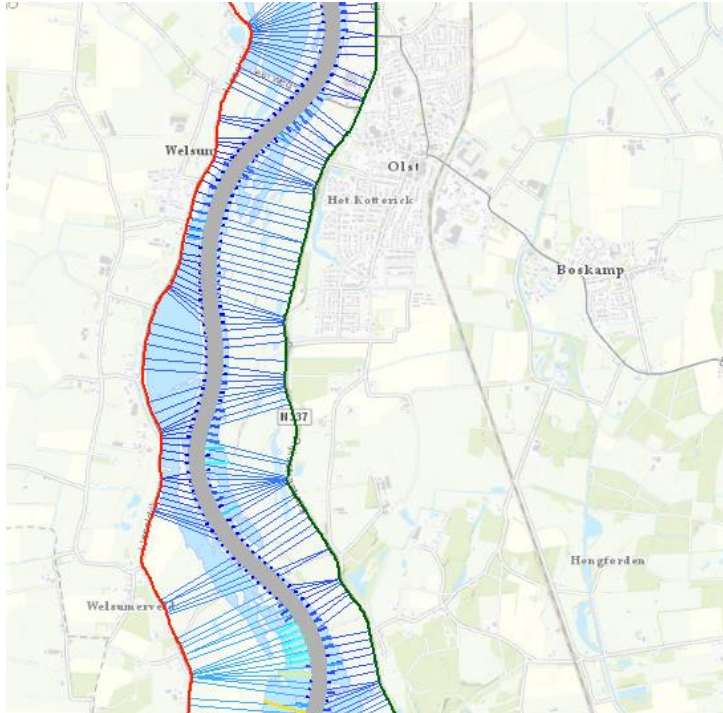


Ter plaatse van de IJssel is aanzienlijk minder ruimte aanwezig tussen de vaarweg en de zomerkades, het algemene beeld is dat er tot Wilsum 0 - 25 m ruimte is tussen de vaarweg (inclusief schrikruimte) en de zomerkade. Benedenstrooms van Wilsum verruimt de afstand tot de zomerkade zodat er 25 - 50 m ruimte aanwezig is.

Omdat de beschikbare ruimte op de IJssel klein is, is tevens gekeken naar de afstand tot de winterkade (banddijken). Op de Waal wordt in de uiterwaarden nog veel bebouwing waargenomen, maar op de IJssel is dit in mindere mate aanwezig. De zomerkade heeft geen functie voor de hoogwaterveiligheid. Voor de IJssel zijn er meer kansen aanwezig wanneer de ruimte tot de banddijken wordt benut. Er is een inventarisatie gemaakt van de kortste afstand tussen de vaarweg (inclusief schrikruimte) en de banddijken. In afbeelding I.5 is een voorbeeld van het resultaat gegeven. De afstand bij Welsum is ongeveer 130 m en net bovenstrooms van Olst loopt de ruimte op tot zo'n 500 m.

Op basis van de beschikbare informatie over de ruimte tussen de vaarweg (inclusief schrikruimte) en de zomerkades wordt geconcludeerd dat op de Boven-Rijn en Waal veel ruimte is voor langsdammen en op het Pannerdensch kanaal, Neder-Rijn en IJssel weinig ruimte. Op de lek is het beeld wisselend en zou lokaal gekeken moeten worden, deze riviertak krijgt een lichtgroene kleur. Voor de IJssel wordt opgemerkt dat er meer ruimte aanwezig is wanneer de afstand tot de banddijken wordt meegenomen. De resultaten van dit criterium zijn te vinden in afbeelding II.4.

Afbeelding I.5 Kortste afstand tussen vaarweg (inclusief schrikruimte) en banddijken op de IJssel



I.4 Mate van ecologische meerwaarde

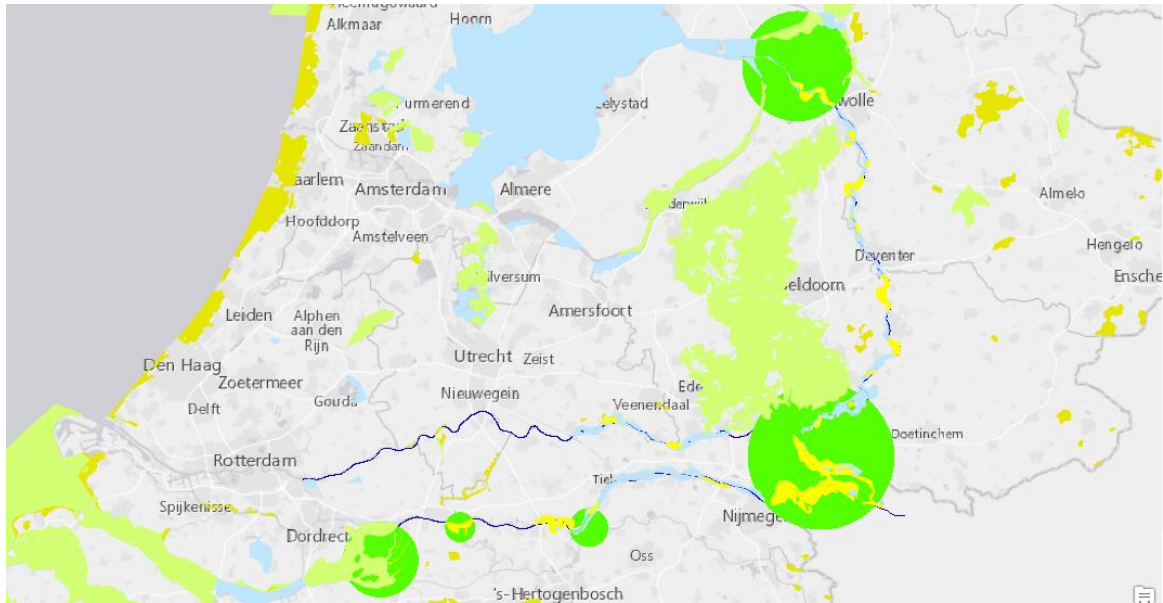
KRW en hotspots

De score voor ecologie zoals gepresenteerd tijdens het overleg was gebaseerd op de zogenaamde 'hotspots' en ook op KRW-doelstellingen. De Hotspots zijn gebieden waar de kansen op versterking van natuur groter zijn dan in andere delen. In de gedefinieerde gebieden is van nature een samenhang aanwezig tussen de rivier en natuur. De redenatie is dat het aanleggen van een langsdam op deze locaties een positieve invloed heeft op deze samenhang. De KRW-doelstellingen hebben onder andere als doel het herstel van ecosystemen in en om waterlichamen. De stelling is dat een langsdam altijd een gunstig effect heeft op de KRW-doelstellingen, doordat een luwe zone wordt gecreëerd die positief is voor het onderwaterleven. Het gunstige effect is afhankelijk van onder andere de scheepvaartintensiteit, afmetingen van de schepen, en hun nabijheid bij de oever wanneer ze langsvaren. De combinatie van deze factoren laat zich niet kwantificeren, er kan wel gesteld worden dat een langsdam in algemene zin een positieve bijdrage levert. De verschillende riviertakken zijn daarmee niet onderscheidend, en overal wordt 'kansrijk' gescoord.

N2000 gebieden

Tijdens het overleg wordt aangegeven dat juist lokale N2000 doelstellingen kunnen conflicteren met de natuur waar langsdammen positief voor zijn. Een voorbeeld hiervan is de Boven Waal waar droge natuur (oeverwallen) als N2000 gebied gelden. Een algemeen uitgangspunt kan zijn dat de langsdammen niet in strijd mogen zijn met de natuur die beschermd wordt in de huidige Natura 2000 gebieden. De Natura 2000 gebieden zijn in kaart gebracht in afbeelding I.6 met een gele arcering. Per Rijntak is onderzocht wat het beheerplan Natura 2000 [ref. 2] inhoud, en of de aanleg van langsdammen zou aansluiten op de beschermde natuur. In een vervolgstudie zal altijd specifiekere gekeken moeten worden naar de onderliggende mechanismen van de aanleg van langsdammen en de plaatselijke natuur, en hoe deze elkaar beïnvloeden. Voor deze studie is het nog niet mogelijk dit specifiek te maken, omdat dit erg locatie-afhankelijk is.

Afbeelding I.1 Overzicht Natura 2000 gebieden en Hotspots (groene cirkels)



Algemeen

Ons interessegebied, de rijntakken, maakt onderdeel uit van Natura 2000 gebied Rijntakken. Dit Natura 2000 gebied kent 4 deelgebieden. Te weten Uiterwaarden IJssel, Uiterwaarden Neder-Rijn, Gelderse Poort en Uiterwaarden Waal, waarvoor een aantal natuurlijke habitattypen zijn aangewezen. De volgende natuurlijke habitattypen zijn aangewezen:

- H3150 van nature eutrofe meren met vegetatie van het type Magnopotamion of Hydrocharition;
- H3260 submontane en laagland rivieren met vegetaties behorend tot het Ranunculion fluitantis en het Callitriche-Batrachion;
- H3270 rivieren met slikoevers met vegetaties behorend tot het Chenopodietum rubri p.p. en Bidention p.p. H6120 *Kalkminnend grasland op dorre zandbodem (stroomdalgraslanden);
- H6430 voedselrijke zoomvormende ruigten van het laagland, en van de montane en alpiene zone;
- H6510 laaggelegen schraal hooiland (*Alopecurus pratensis*, *Sanguisorba officinalis*);
- H91E0 *bossen op alluviale grond met *Alnus glutinosa* en *Fraxinus excelsior* (Alno-Padion, Alnion incanae, Salicion albae);
- H91F0 gemengde oeverformaties met *Quercus robur*, *Ulmus laevis* en *Ulmus minor*, *Fraxinus excelsior* of *Fraxinus angustifolia* langs de grote rivieren (Ulmenion minoris).

Over het algemeen kan gesteld worden dat het realiseren van langsdammen in N2000 gebieden mogelijk is. Indien de natuurwaarden die door de langsdammen worden gecreëerd in lijn zijn met de aangewezen habitattypen is er geen knelpunt. Indien er door het inpassen van de langsdammen wel verlies is van het aangewezen habitatype is er wel een knelpunt waarbij tevens geldt dat in dat geval alleen wordt gekeken naar het verlies van habitat en niet naar het positieve effect. Indien de realisatie van de langsdam (+oevergeul) strijdig is met de N2000 natuurwaarden behoeft dat niet te leiden tot onuitvoerbaarheid van de inpassing maar het heeft wel degelijk consequenties voor het inrichtingsplan. Een tegenstrijdigheid hierbij is dat hoe groter de laagwaterafvoer door de aangelegde oevergeul, des te beter voor de natuur. Anderzijds past een focus op laagwaterafvoeren bij de wenselijkheid van mee stromende nevengeulen en maakt het criterium werkbaar in de optimalisatie.

Aanleg langsdam+oevergeul in zomerbed irt H6120 (stroomdalgraslanden)

Indien de langsdammen met de oevergeul in het zomerbed worden gerealiseerd, dan is met name H6120, stroomdalgraslanden van belang. Lokaal is dit type aanwezig op oeverwallen en rivierduinen. Hierbij geldt dat zandsedimentatie op oevers cruciaal kan zijn voor de ontwikkeling van stroomdalsoorten omdat het kalkhoudend kaal zand is, waar die planten van profiteren. In relatie tot de aanleg van langsdammen is de vraag of sedimentatie op de oevers na hoogwater nog wel plaats blijft vinden.

In het kader van de huidige pilot langsdammen is onderzocht of er nog zandsedimentatie plaatsvindt [ref. 15]. Eindconclusie is nog in concept: Achter de huidige langsdammen in de Waal vindt nog steeds sedimentatie van zand op. De veranderingen zijn ingeschat met behulp van de hoeveelheid zand in 1994 en 1995, voor de 3 langsdammen en voor 3 referentiegebieden. Dat blijft natuurlijk lastig (hoogwaters verschillen nogal en er zijn meer wijzigingen in het riviereengebied geweest dan alleen de langsdammen) maar het lijkt overtuigend dat achter de langsdammen in 2018 meer zand per strekkende m is afgezet dan in 1995, en in de referentiegebieden minder.

Het lijkt aannemelijk dat door de vormgeving van de langsdammen de sedimentatie ten behoeve van H6120 gewaarborgd kan worden door te waarborgen dat I) de oevergeul achter de langsdammen sedimenttransport plaatsvindt (zand, kan ook grind zijn overigens in de Boven IJssel) en II achter de langsdammen laagtes creëren waar het water de uiterwaard in stroomt.

Aanleg langsdam+oevergeul - Overige habitattypen

H3270 betreffen slikkige oevers. De rivieroevers worden voor dit type over het algemeen te hoog belast en hier bieden de langsdammen juist een verbetering (geen knelpunt).

De overige habitattypen bevinden zich met name in de uiterwaarden. Zo lang er niet wordt gegraven in de uiterwaarden is daar feitelijk geen knelpunt. Indien wel wordt gegraven in de uiterwaarden is dit wel degelijk een knelpunt hetgeen altijd zal leiden tot vermindering van enkele habitatarealen indien deze uiterwaarden zich in N2000 bevinden.

Waal

Het beheerplan Natura 2000 [ref. 2] geeft aan dat op de Waal actieve vorming is van oeverwallen en rivierduinen. De oorzaken hiervan zijn dat de riviertak niet gestuwd is en in mindere mate aan banden gelegd, waardoor voldoende ruimte is voor de processen van erosie en sedimentatie die noodzakelijk zijn voor de vorming van oeverwallen. Verder is de Waal zeer geschikt voor permanent meestromende nevengeulen met slikkige oevers.

Verder wordt in het beheerplan aangegeven dat plannen voor rivierverruiming vaak in combinatie staan met natuurontwikkeling. Voor bijvoorbeeld projecten Heesselt, Hurwenen en de Afferdense en Deestse uiterwaarden gaat het om natuurontwikkeling, KRW-doelen en rivierverruiming. Dat wil zeggen grootschalige functieverandering naar natuur en onder meer de aanleg van nevengeulen. Verder wordt de realisatie van de pilot langsdammen genoemd en wordt aangegeven dat voor de realisatie van de lange termijn hoogwaterveiligheidsopgave een MIRT-onderzoek gestart is naar de aanleg van een nevengeul Varik-Heesselt (instroom Stiftsche uiterwaard, uitstroom Heesseltsche uiterwaard). Dit MIRT-onderzoek richt zich dus op het gebied net benedenstrooms van de huidige pilot.

Voor de Waal wordt geconcludeerd dat de langsdammen niet noodzakelijk in conflict zijn met het beheerplan Natura 2000, onder andere de huidige pilot ligt in een Natura 2000 gebied (zie afbeelding 1.6 en er worden op meer plaatsen langsdammen, kribverlagingen en nevengeulen gerealiseerd. Tenslotte zullen niet op alle locaties langs de waal langsdammen een positief effect hebben op de ecologie. Op locaties waar al oeverwallen aanwezig zijn, zoals de boven-Waal bij Nijmegen conflicteert het aanbrengen van een langsdam mogelijk met de aanwezige natuur en dient de langsdam specifiek vorm gegeven te worden om sedimentatie nabij de oeverwallen te handhaven. De Waal krijgt daarom een licht groene kleur voor dit criterium.

Neder-Rijn

De Neder-Rijn was tot in de jaren 60 een vrij afstromende rivier maar tegenwoordig wordt deze gestuwd. Bij lage afvoer wordt via de stuwen meer water over de IJssel gestuurd ten behoeve van de zoetwatervoorziening van het IJsselmeer. In het beheerplan Natura 2000 [ref. 2] staat dat het vanwege deze stuwen geen zin heeft om langs de Neder-Rijn meestromende nevengeulen aan te leggen. Hieruit wordt geconcludeerd dat de aanleg van langsdammen niet van toegevoegde waarde zal zijn voor de aanwezige natuur. De Neder-Rijn krijgt daarom een gele kleur voor dit criterium.

IJssel

De IJssel heeft een sterk wisselend karakter. Tijdens hoogwater kunnen grote delen van de uiterwaarden geïnundeerd raken, maar dit geldt bijvoorbeeld niet voor het middendeel. Daar stroomt de rivier tussen relatief smalle, hoog gelegen uiterwaarden. Bij Zalk, in het benedendeel, krijgt de rivier een breder bed dat bij Kampen overgaat in een kleine delta.

De Boven-IJssel wordt in het beheerplan Natura 2000 [ref. 2] gekenmerkt als kronkelwaard (rivier met brede meanders). Dit was de verschijningsvorm van dit deel van de riviertak in de periode voor de kanalisatie. In die periode ontstonden nevengeulen en kronkelwaarden in binnenbochten van grote meanders.

De Beneden-IJssel wordt in het beheerplan Natura2000 gekenmerkt als een sedimenterende zandrivier: *'Vanuit haar huidige systeemkenmerken zou de noordelijke IJssel een rivier zijn met stromende nevengeulen, afgesneden strangen, zandplaten en zandige oeverwallen. Door de beteugeling van de rivier is spontane ontwikkeling van deze elementen niet meer mogelijk. Nevengeulen zijn in de vorm van verstilde hanken en strangen nog herkenbaar.'*

Het beheerplan Natura2000 geeft aan dat voor de Kaderrichtlijn water langs de IJssel diverse nevengeulen worden gerealiseerd en er zal op diverse oevers de stortsteen worden verwijderd. Voor zowel de boven- als de beneden-IJssel lijkt de ontwikkeling van langsdammen dus niet in strijd met de natuurlijke ontwikkelingen, al is dit om verschillende redenen. De Boven-IJssel zal in het verleden op natuurlijke wijze nevengeulen hebben ontwikkeld ten gevolge van het afsnijden van grote meanders, in de Beneden-IJssel zal dit als onderdeel van een delta-vorming gebeuren. Hierbij wordt de associatie gelegd tussen de natuurlijke ontwikkeling van een nevengeul en de aanleg van een langsdam (in feite een oevergeul). Wel kan de aanleg van geulen door de uiterwaarden strijdig zijn met de natuurwaarden in de uiterwaarden en bovendien geldt het zelfde voor de Waal in relatie tot de oeverwallen. De gehele IJssel krijgt daarom een licht groene kleur voor dit criterium. De resultaten van dit criterium zijn te vinden in afbeelding II.5.

I.5 Langsdam conflicterend met Natura 2000

De toelichting op Natura 2000 is gegeven in paragraaf I.4. Voor Natura 2000 gebieden geldt dat aanpassingen aan het gebied de natuurwaarden moeten verbeteren of op zijn minst niet moeten verstoren. Voor alle Nederlandse Rijntakken geldt dat Natura2000 gebieden aanwezig zijn langs de rivier. Voor de Waal scoort dit criterium gemiddeld vanwege de aanwezigheid van oeverwallen en H6120. Voor de IJssel wordt hier een lagere score gegeven omdat verwacht wordt dat de oevergeul deels in de uiterwaarden komt te liggen en daarmee knelt met de habitattypen in de uiterwaarden. De resultaten van dit criterium zijn te vinden in afbeelding II.6.

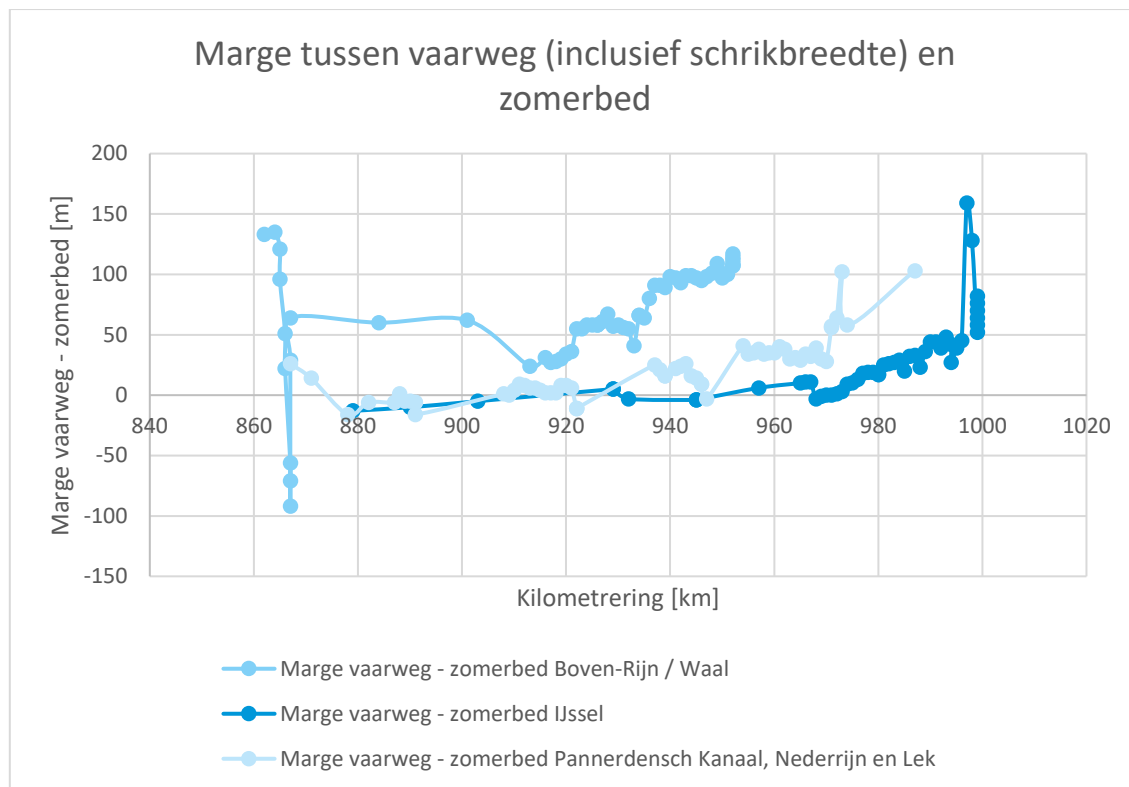
I.6 Vaarwegbeheer ondervindt problemen bij laagwater

Langsdammen kunnen zo aangelegd worden dat het waterpeil opgestuwd wordt tijdens laagwater. Dit is een kans om de bevaarbaarheid van een tracé te vergroten. Per tracé is informatie bekend over locaties waar de scheepvaart onvoldoende vaardiepte heeft. Verder wordt gebruik gemaakt van de minst gepeilde diepte (MGD), vaste delen en baggerhoeveelheden. Plekken waar het ondiep is en de vaardiepte onvoldoende is zijn een kans-locatie voor langsdammen. De vervanging van kribben is altijd gunstig omdat kribben kribvlammen (erosie-sedimentatie patroon) in de bodem veroorzaken die de bevaarbaarheid verslechteren, langsdammen plaatsen betekent het verwijderen van kribben en dus vermindering van de kribvlammen. De vermindering van kribvlammen wordt behandeld in WP10. De resultaten van dit criterium zijn te vinden in afbeelding II.7.

1.7 Beheerruimte voor laagwaterstanden

Het is mogelijk om met behulp van langsdammen het doorstroomoppervlak tijdens laagwater te sturen/verkleinen worden door een juiste dimensionering van de instroomopeningen en ligging van de langsdam. Dit zorgt voor opstuwung en verhoging van de waterstand tijdens lage afvoeren. Hiermee verbeterd de bevaarbaarheid tijdens laagwatercondities. Een manier om de waterstand op te stuwen is door de langsdam dichterbij de vaarweg te leggen dan de huidige kribhoofden (grens van het zomerbed). In afbeelding I.1 is de aanwezige ruimte tussen de vaarweg (inclusief schrikbreedte van 25 m aan weerszijden) en het zomerbed weergegeven. Rond de afsplitsing van het Pannerdensch kanaal lijkt een fout te zitten in de gegevens, maar over het algemeen is te zien dat op de Waal de aanwezige marge groter is dan op de Neder-Rijn en IJssel. Negatieve waarden geven aan dat er minder dan de gewenste 25 m schrikbreedte aanwezig is. Verder is in de gegevens terug te zien dat de rivieren logischerwijs breder worden benedenstrooms (hoge kilometrerung). De resultaten van dit criterium zijn te vinden in afbeelding II.8.

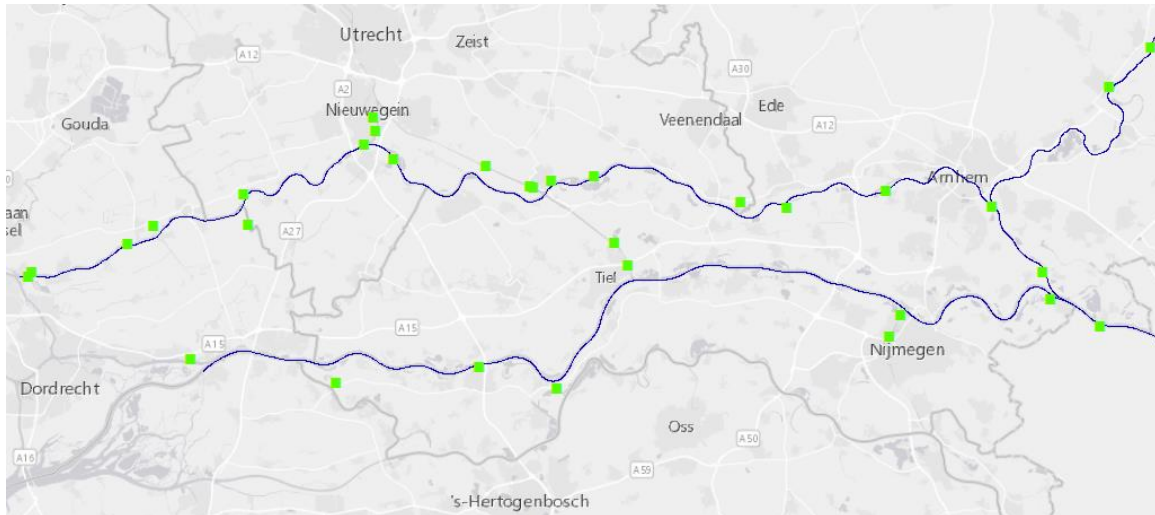
Afbeelding I.1 Hoeveelheid ruimte tussen de vaarweg inclusief schrikruimte en de begrenzing van het zomerbed



1.8 Zoetwatervoorziening

Op plekken waar een zoetwaterinlaat aanwezig is vormt de langsdam een kans. Bij laag water kan het water zo opgestuwd worden dat het, ten opzichte van de oude situatie, hoog staat. Hierdoor kan zoet water langer ingelaten kan worden onder vrij verval. In afbeelding I.2 zijn zoetwaterinlaten (Wabes) met een groene marker aangegeven, te zien is dat er zich relatief veel rond de Neder-Rijn en Lek bevinden. Uit WP9 is gebleken dat het opzetten van waterstanden door het sluiten van openingen nauwelijks relevantie heeft voor de zoetwatervoorziening. Dit criterium is dus niet onderscheidend in de keuze van het traject met de meeste potentie voor langsdammen. De resultaten van dit criterium zijn te vinden in afbeelding II.9.

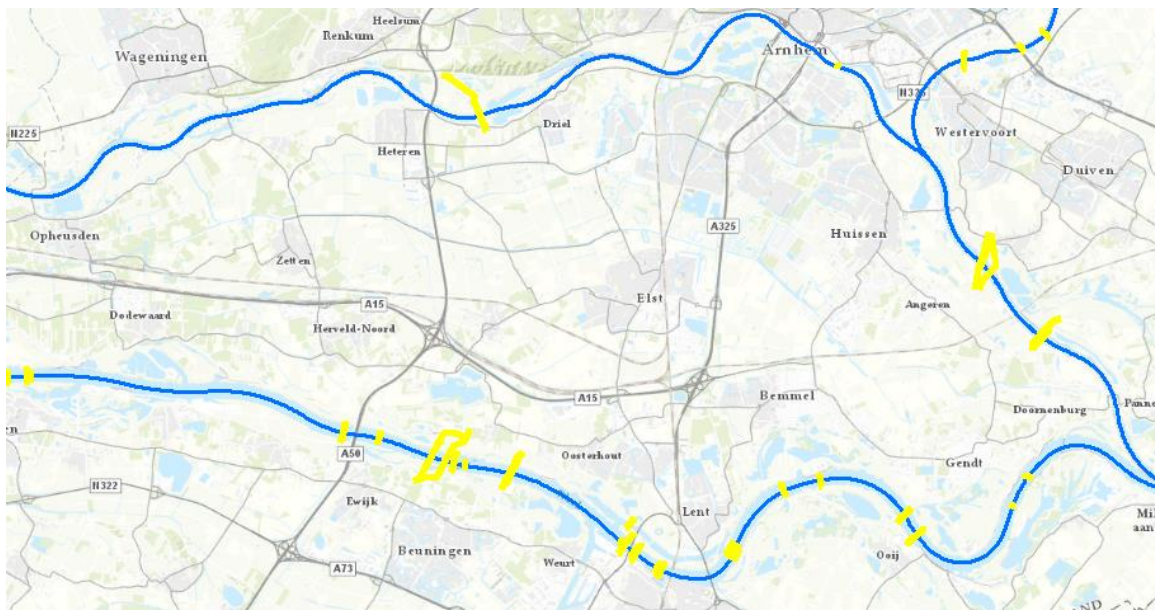
Afbeelding I.2 Zoetwaterinlaten rond de Neder-Rijn en Waal [ref. 4]



I.9 Dekkingsgraad kabels en leidingen

De aanwezigheid van kabels en leidingen is een kans voor langsdammen. Door de erosieve trend van een rivier tegen te gaan met behulp van een langsdam, wordt de dekking van kabels en leidingen verbeterd. De aanwezige kabels en leidingen zijn in kaart gebracht (zie voorbeeld hieronder). Locaties met veel kabels en leidingen krijgen een groene kleur in de criteriumtabel, locaties met weinig kabels en leidingen worden geen gearceerd. De resultaten van dit criterium zijn te vinden in afbeelding II.10, Afbeelding I.3 geeft een uitsnede van een deel van de Waal, Pannerdensch kanaal en de Neder-Rijn.

Afbeelding I.3 Locaties kabels en leidingen - voorbeeld van de Boven-Waal, Pannerdensch kanaal en Neder-Rijn [ref. 4]



I.10 Behoeftewaterstandsdaling voor hoogwaterveiligheid

Wanneer behoefte is aan een waterstandsdaling ten behoeve van de hoogwaterveiligheid is dit een kans voor de aanleg van langsdammen. In de GIS-viewer is aangegeven welke trajecten een veiligheidsopgave hebben en in welke periode de opgave gaat spelen (prioritering). Ten grondslag aan voorliggende analyse

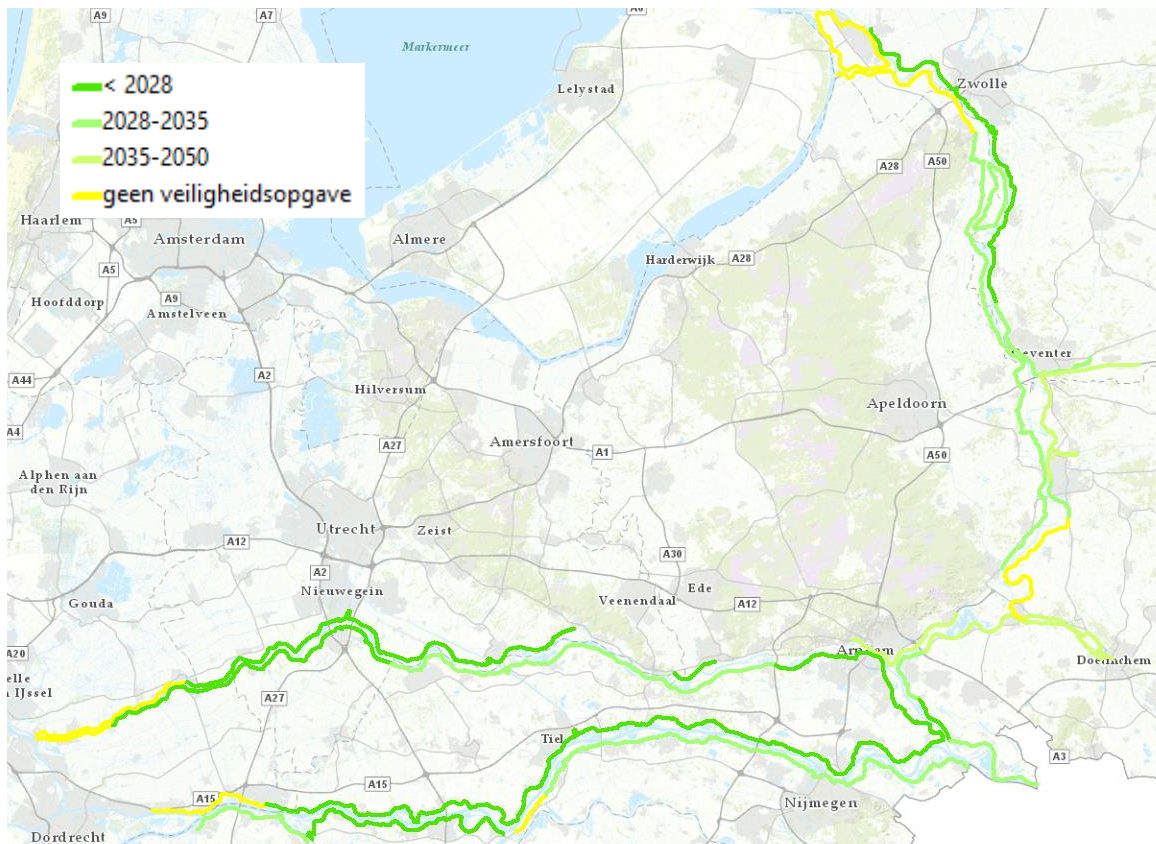
ligt dat een waterstandsverlaging de veiligheidsopgave zal verminderen. In het algemeen is dit het geval voor waterveiligheidsproblemen.

Hoe eerder de veiligheidsopgave gaat spelen, hoe groter de kansen voor langsdammen. Er wordt onderscheid gemaakt in vier categorieën voor de periode waarin de veiligheidsopgave gaat spelen:

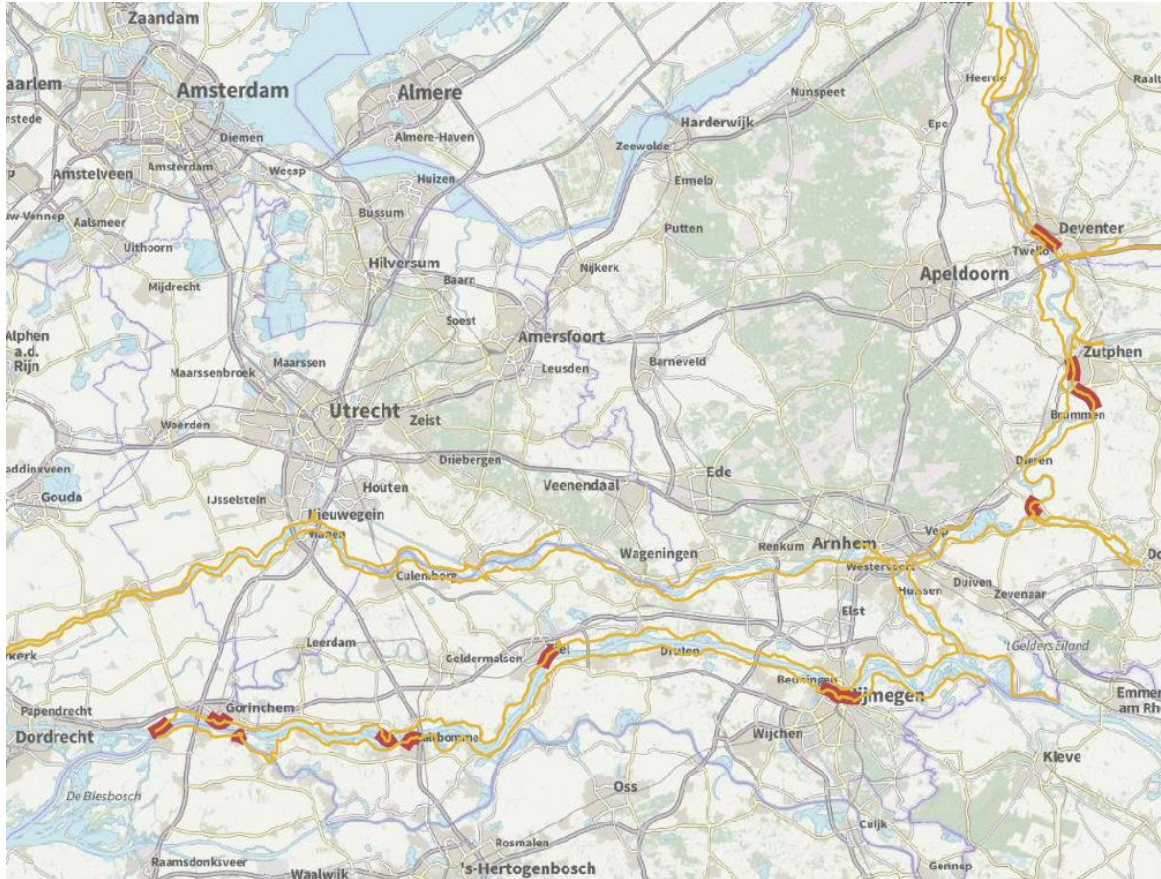
- periode <2028;
- periode 2028 - 2035;
- periode 2035 - 2050;
- geen veiligheidsopgave.

Verder zijn de kwetsbare trajecten langs de Rijntakken in kaart gebracht. Voor deze trajecten geldt dat langsdammen van toegevoegde waarde zijn om de kwetsbaarheid te verminderen. De resultaten van dit criterium zijn te vinden in afbeelding II.10.

Afbeelding I.4 Urgentie waterveiligheidsopgave door middel van prioritering van HWBP [ref. 4]



Afbeelding I.5 Kwetsbare trajecten [ref. 4]



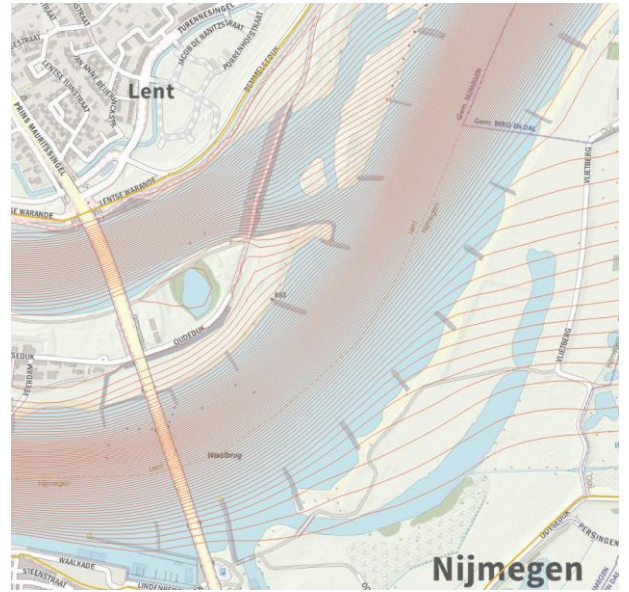
I.11 Potentie waterstandsdeling bij verwijderen kribben

Wanneer langsdammen worden aangelegd, betekent dit ten alle tijden het verwijderen van de aanwezige kribben. Kribben zijn aanwezig langs alle Nederlandse Rijntakken en zorgen ervoor dat de doorstroom verkleind wordt tijdens laagwater. Maar tijdens hoogwater vormen de kribben een extra weerstand waardoor de hoogwaterstand wordt opgestuwd. De potentiële waterstandsdeling hangt af van de volgende parameters:

- I) lengte kribben: hoe langer het verwijderde deel van de krib, hoe meer weerstand er wordt weggenomen en hoe groter de potentiële waterstandsdeling;
- II) aanstroomrichting. De aanstroomrichting gedurende hoog water is niet altijd loodrecht op de kribben en derhalve niet altijd parallel aan langsdammen. Zie ook onderstaande afbeeldingen waar de aanstroomrichting bij Dieren en bij Nijmegen te zien is;
- III) afstand tussen de kribben;
- IV) stroomsnelheid.

Daarnaast geldt dat indien er een deel van de uiterwaarden wordt ontgraven dat ook leidt tot waterstandsdeling.

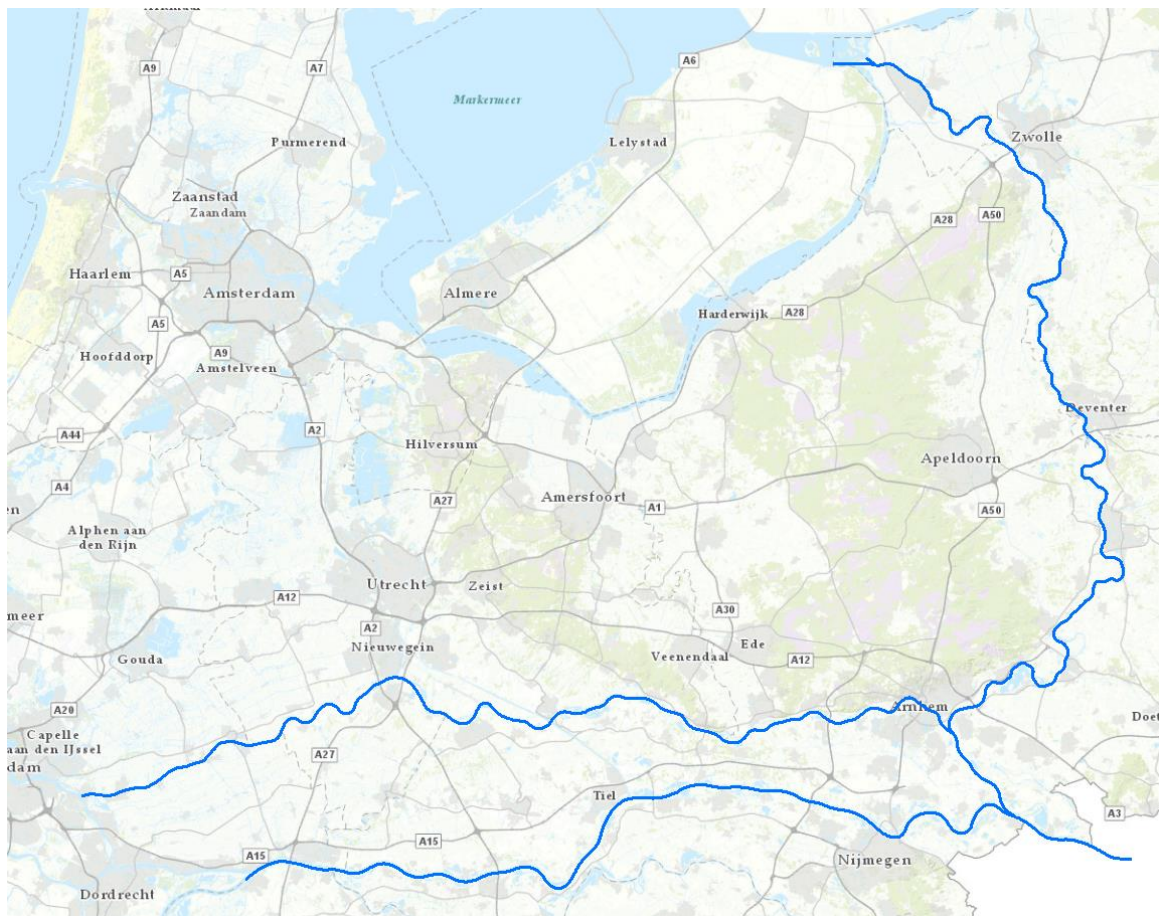
Afbeelding I.6 Voorbeelden van stroomvelden over kribben





BIJLAGE: RESULTATEN GIS KAARTEN

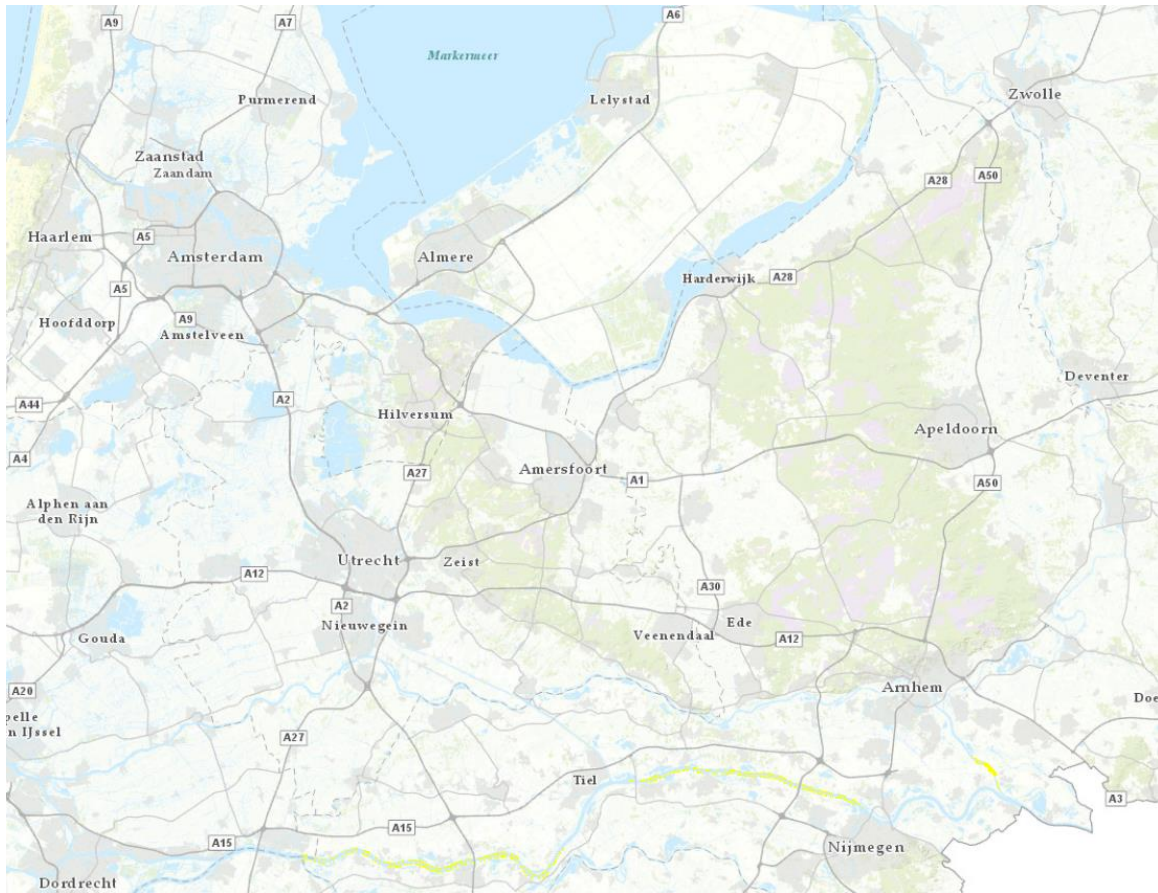
Afbeelding II.1 Basiskaart - rivierassen Rijntakken (uit Baseline)



Afbeelding II.2 Kaart voor criterium 1 - Bodemligging heeft een dalende trend [ref. 3]



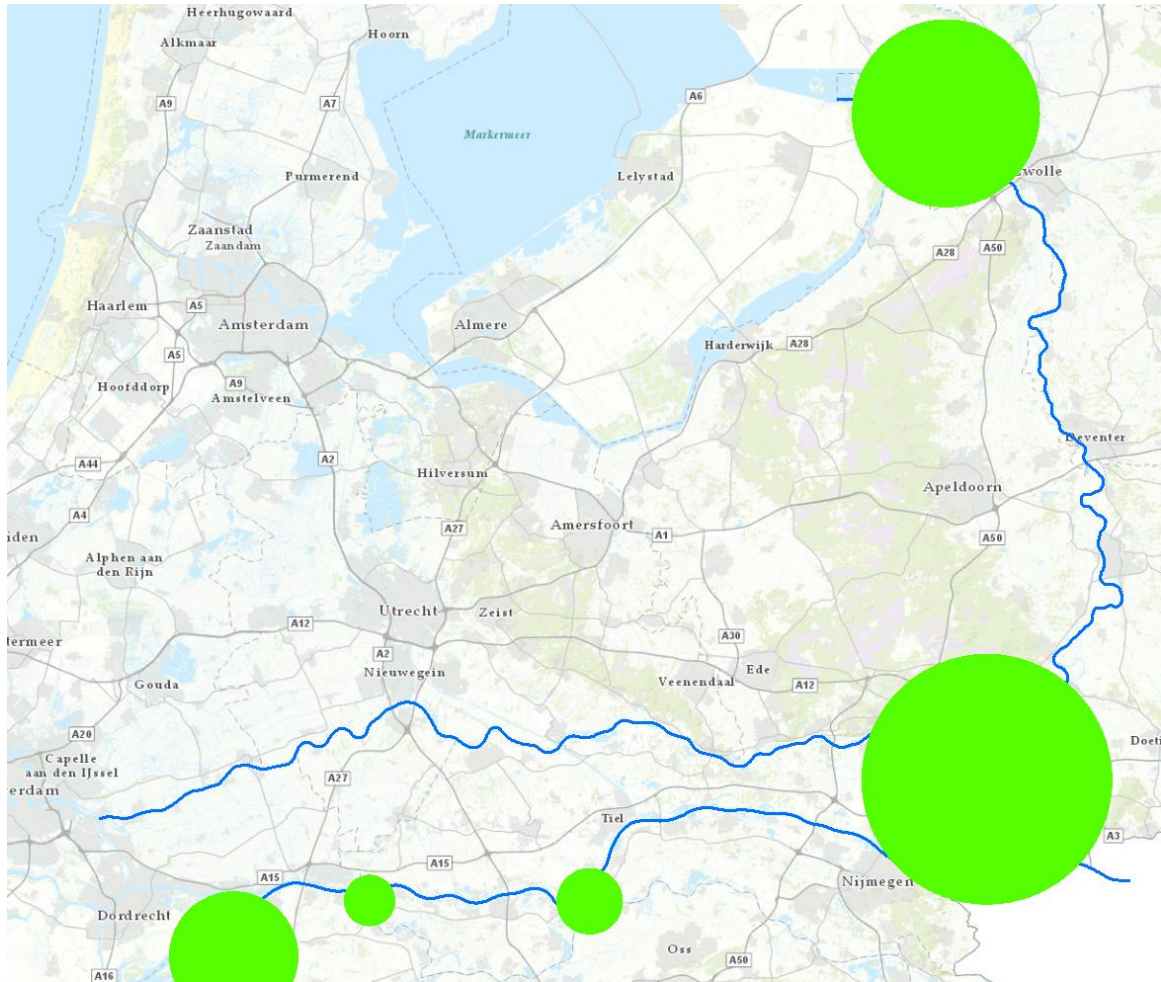
Afbeelding II.3 Kaart voor criterium 2 - Recente/toekomstige kribverlagingsmaatregelen/langsdammen, geel gemarkeerd op de Waal en het Pannerdensch kanaal [ref. 3]



Afbeelding II.4 Kaart voor criterium 3 - Voldoende rivierbreedte aanwezig voor langsdammen (informatie uit Baseline), gedefinieerd als zomerbedbreedte (van zomerdijk tot zomerdijk uit) minus de vaargeulbreedte en schrikruimte in meters



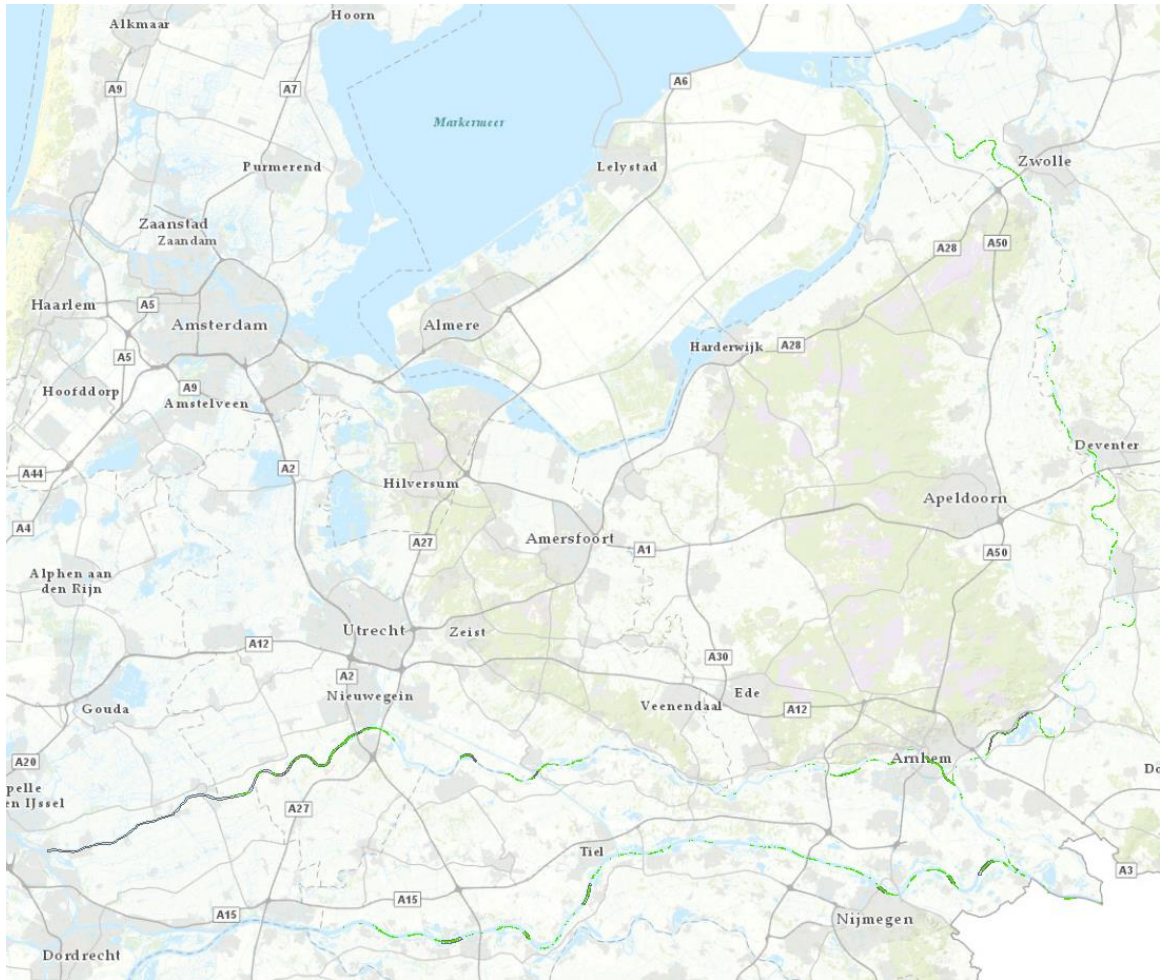
Afbeelding II.5 Kaart voor criterium 4 - Mate van ecologische meerwaarde [ref. 4]



Afbeelding II.6 Kaart voor criterium 5 - Langsdam conflicterend met Natura 2000 [ref. 4]



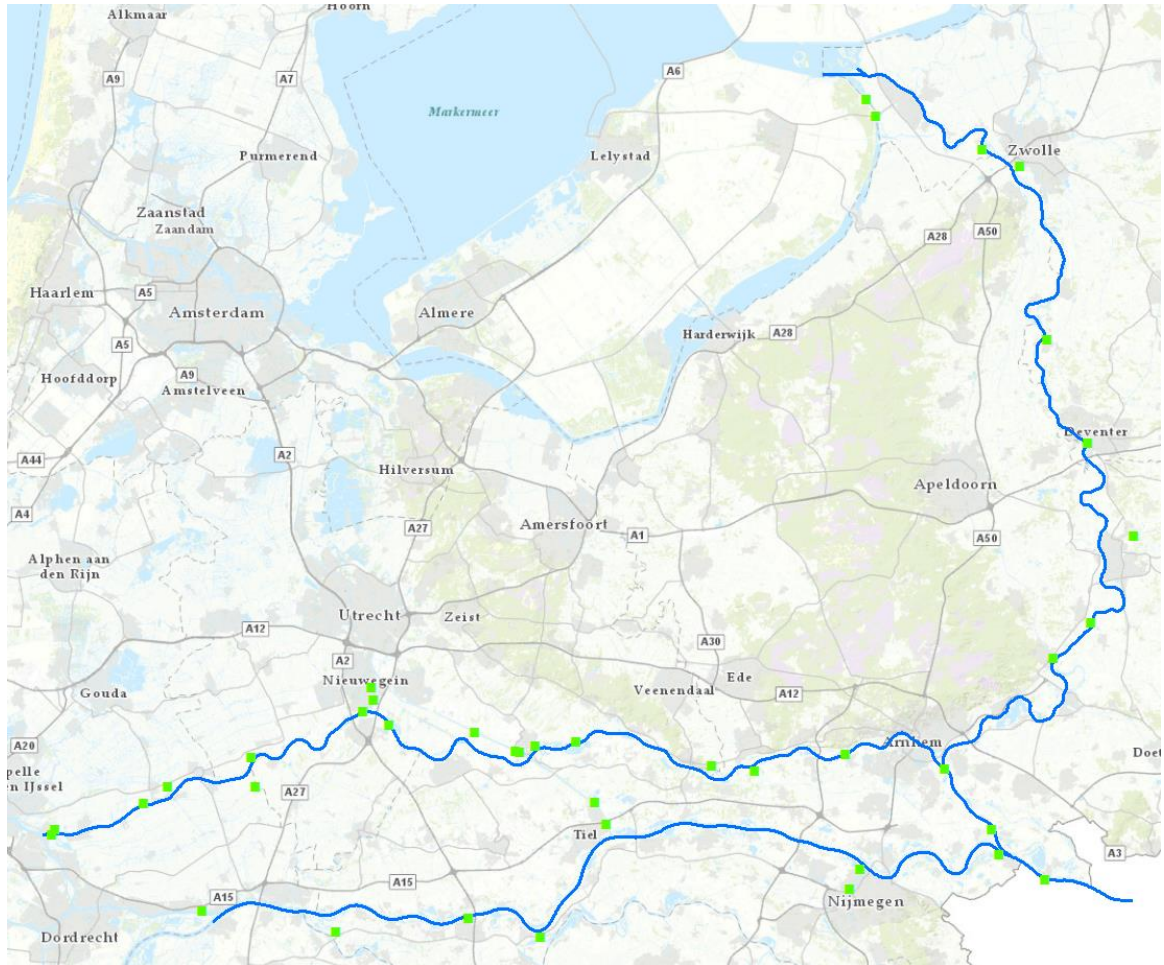
Afbeelding II.7 Kaart voor criterium 6 - Vaarwegbeheer ondervindt problemen bij laagwater [ref. 4]



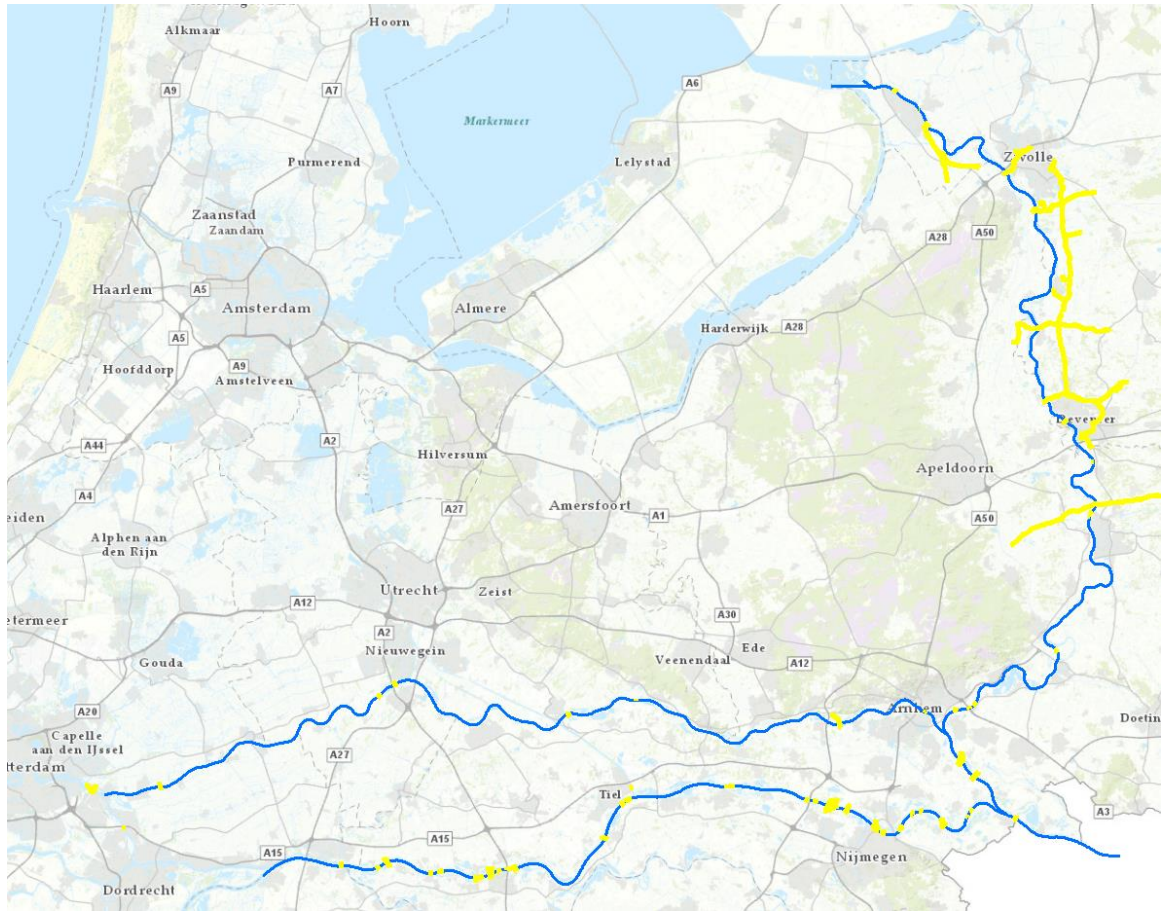
Afbeelding II.8 Kaart voor criterium 7 - Beheerruimte voor laagwaterstanden



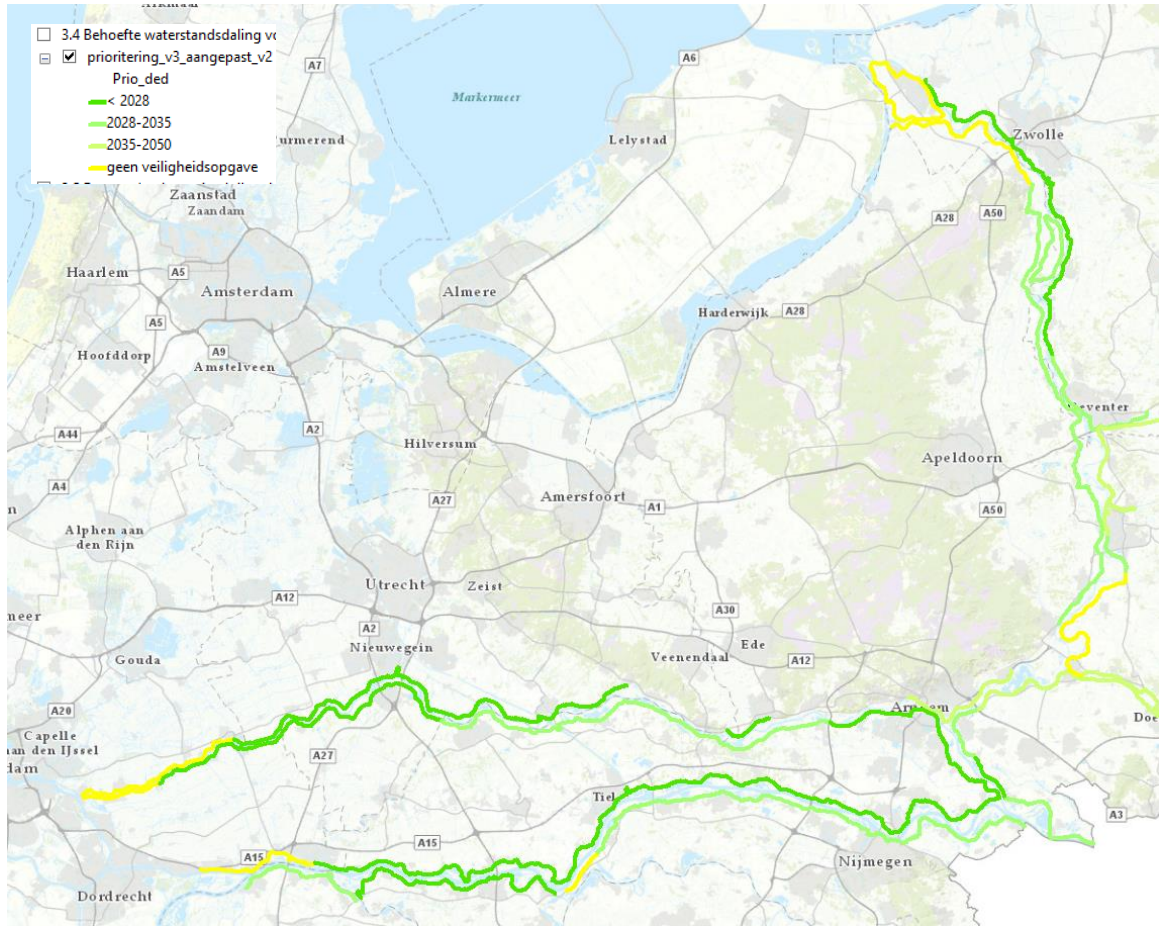
Abbeelding II.9 Kaart voor criterium 8 - Zoetwatervoorziening [ref. 4]



Afbeelding II.10 Kaart voor criterium 9 - Dekkingsgraad kabels en leidingen [ref. 4]



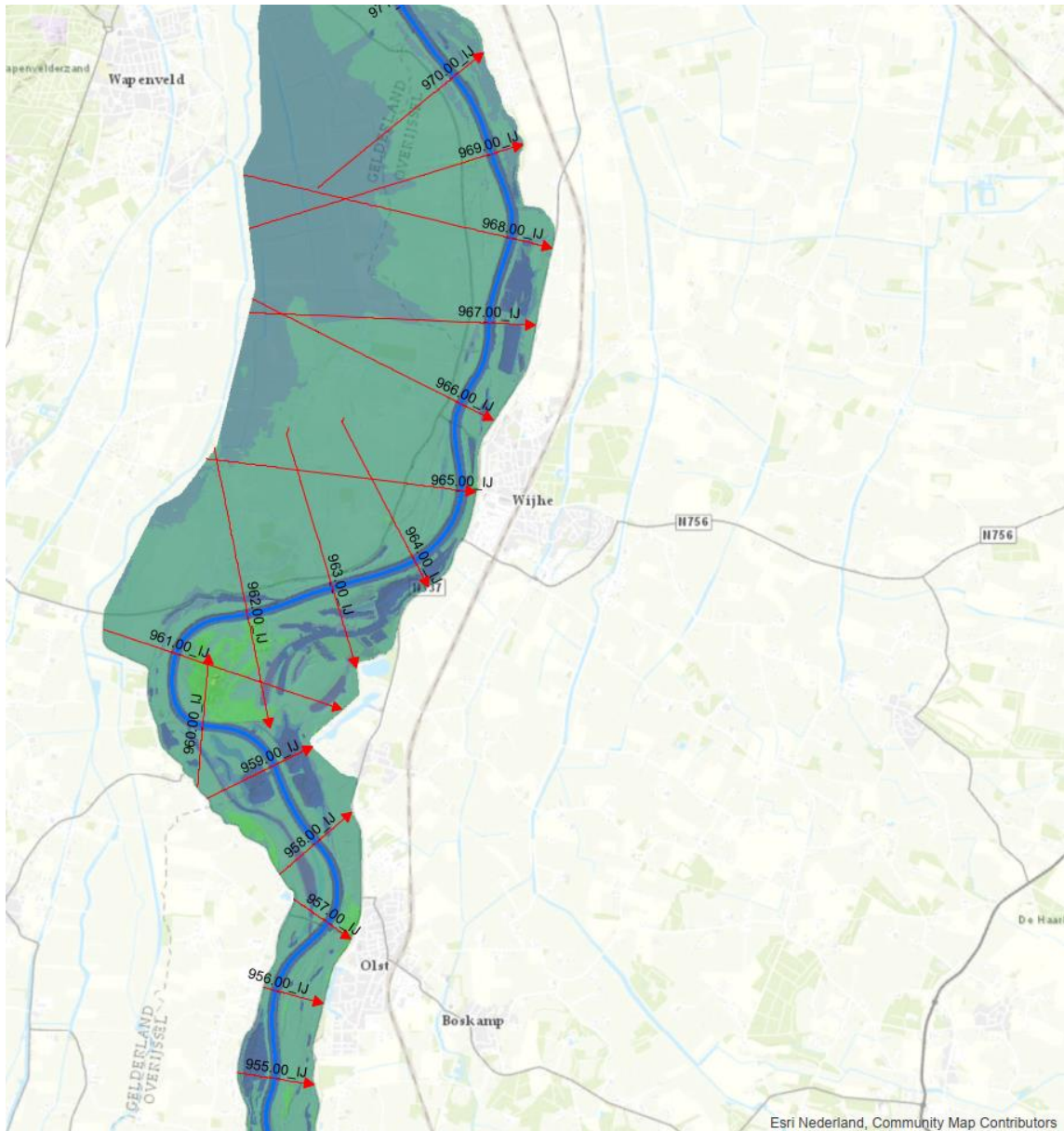
Afbeelding II.11 Kaart voor criterium 10 - behoefte waterstandsdeling voor hoogwaterveiligheid [ref. 4]



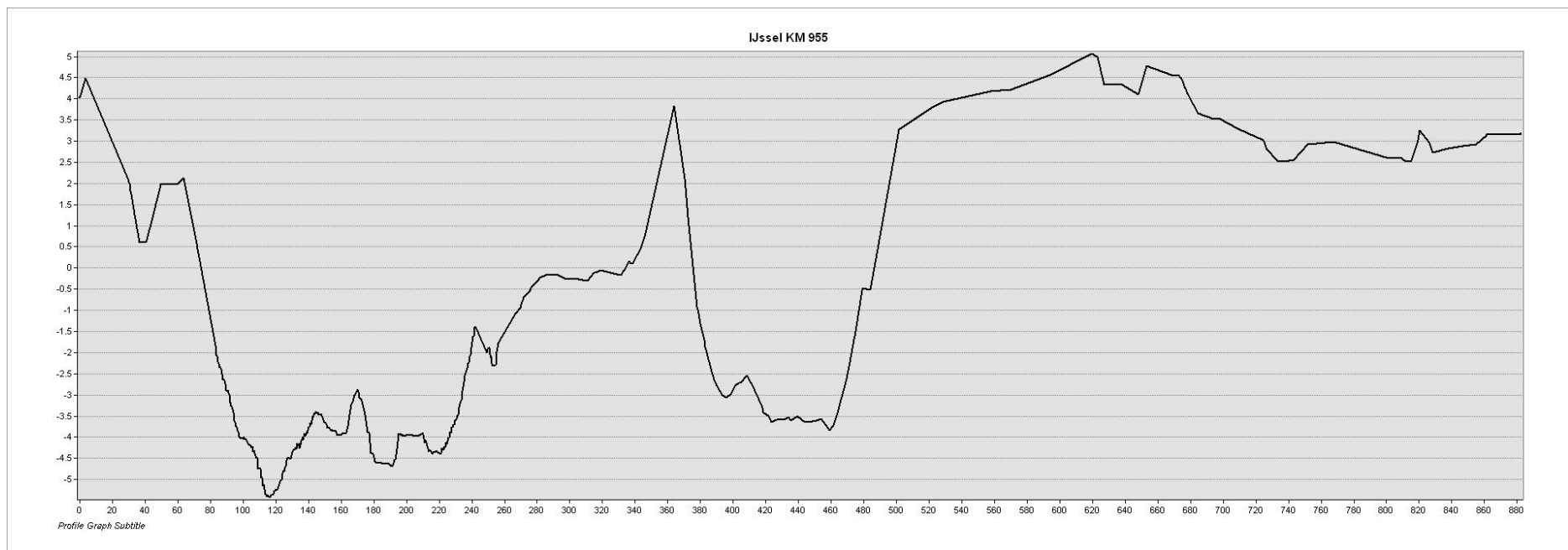


BIJLAGE: DWARSPROFIELEN IJSSEL

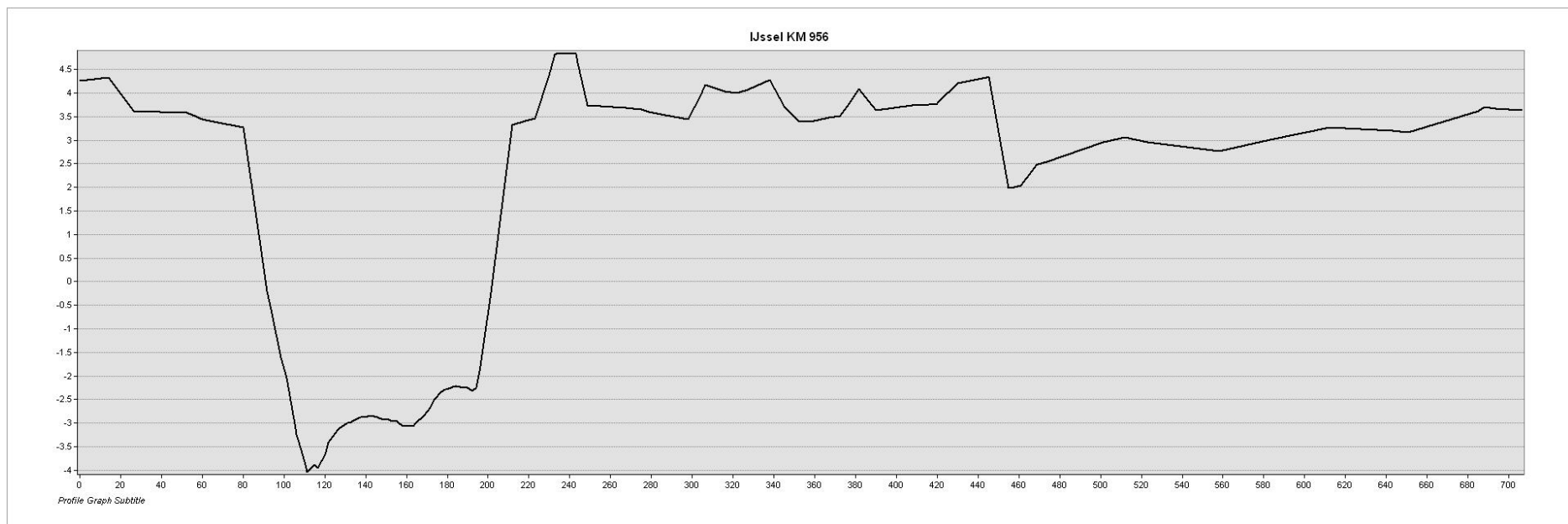
Afbeelding III.1 Overzicht dwarsprofielen huidige bodemligging IJssel (KM 955 - KM 970)



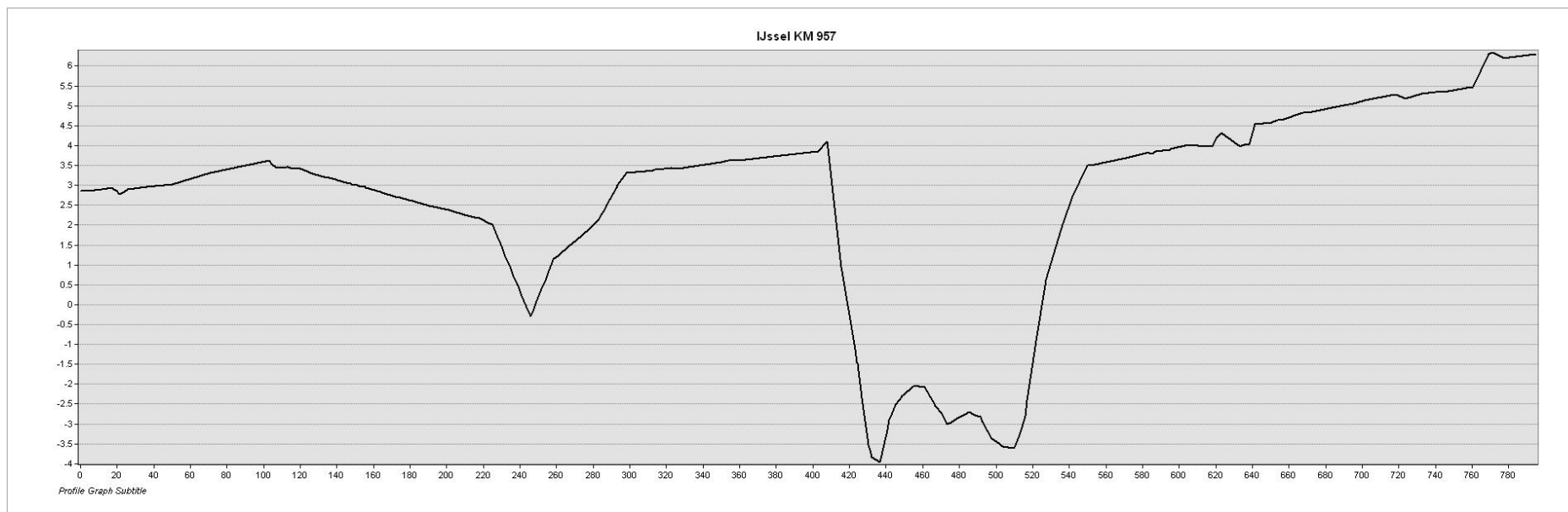
Afbeelding III.2 Dwarsprofiel huidige bodemligging IJssel (KM 955) uit Baseline



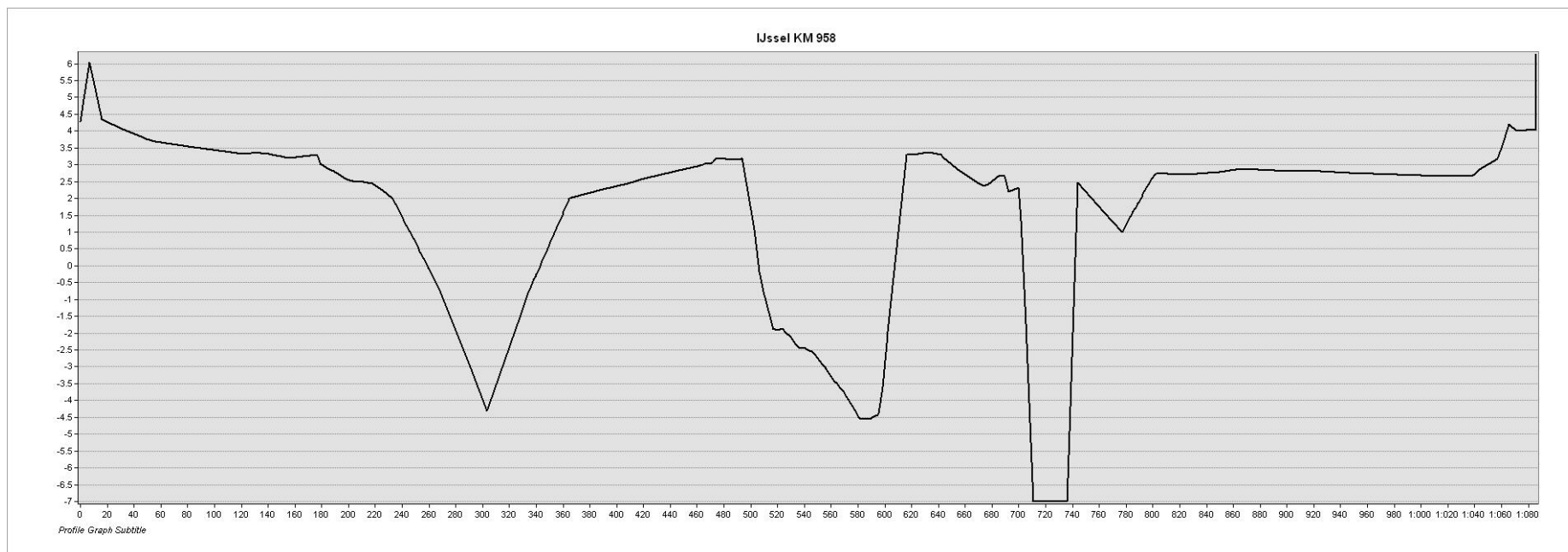
Afbeelding III.3 Dwarsprofiel huidige bodemligging IJssel (KM 956) uit Baseline



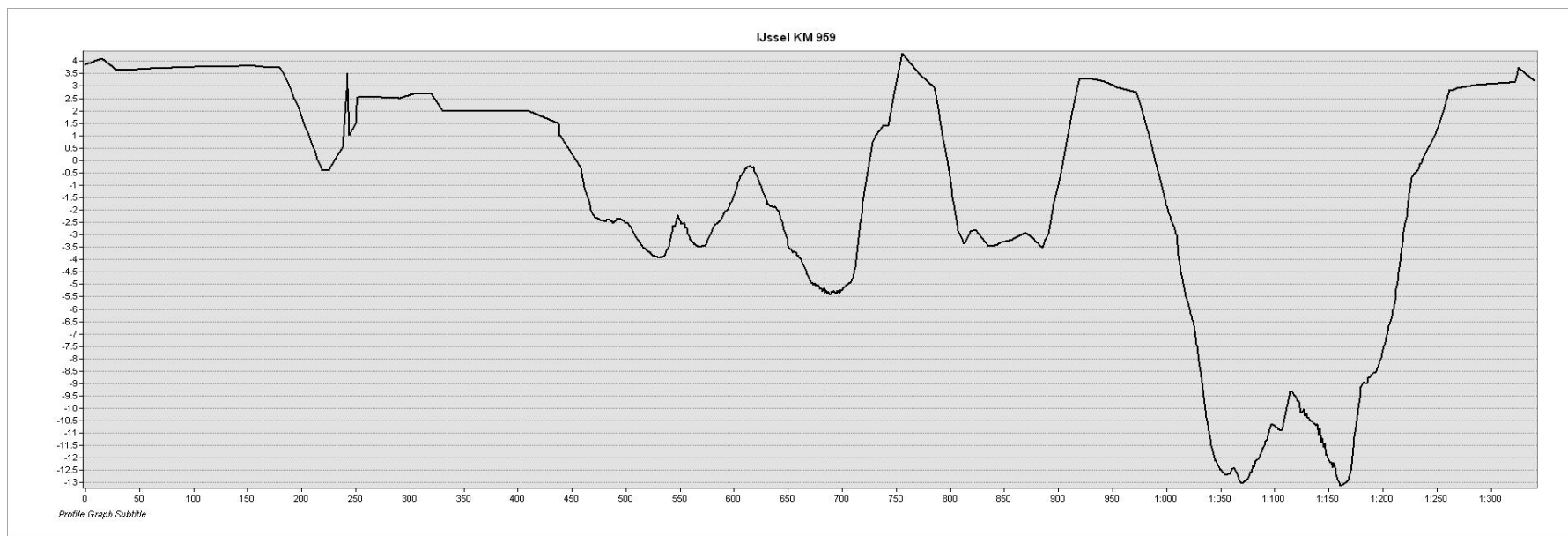
Afbeelding III.4 Dwarsprofiel huidige bodemligging IJssel (KM 957) uit Baseline



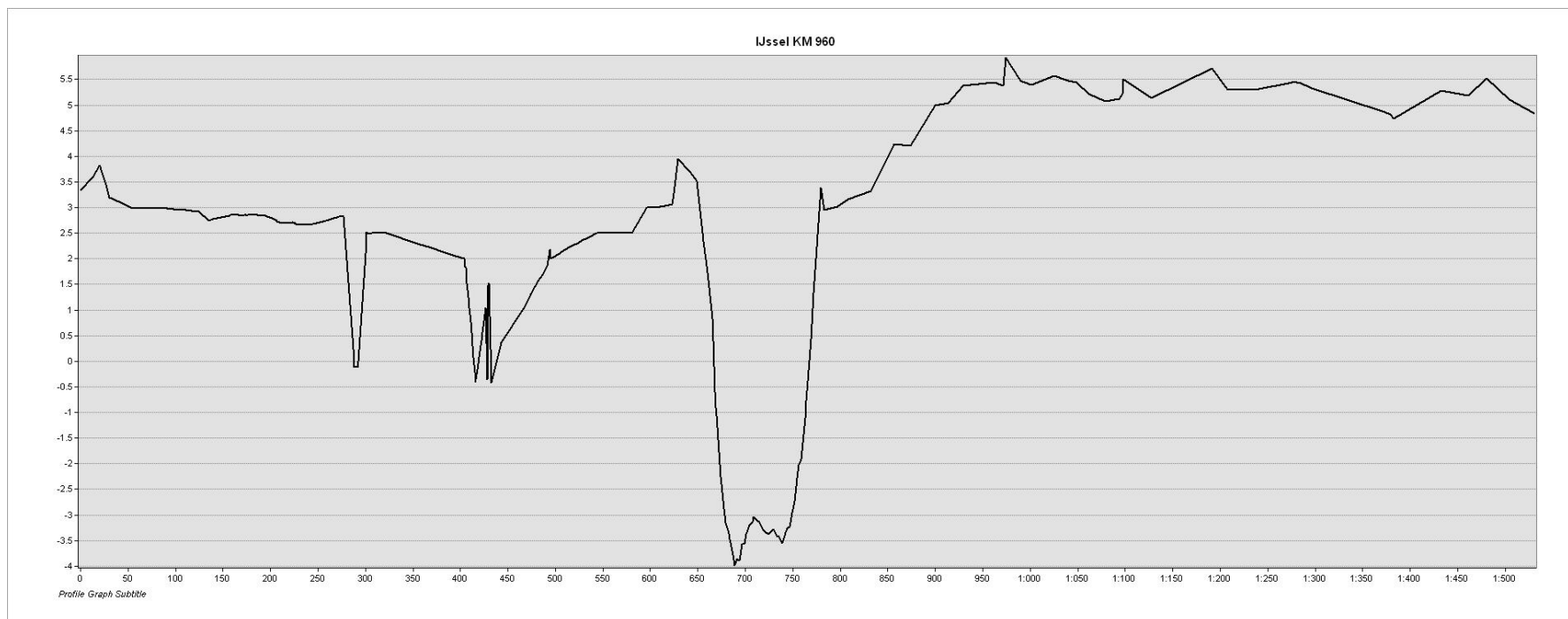
Afbeelding III.5 Dwarsprofiel huidige bodemligging IJssel (KM 958) uit Baseline



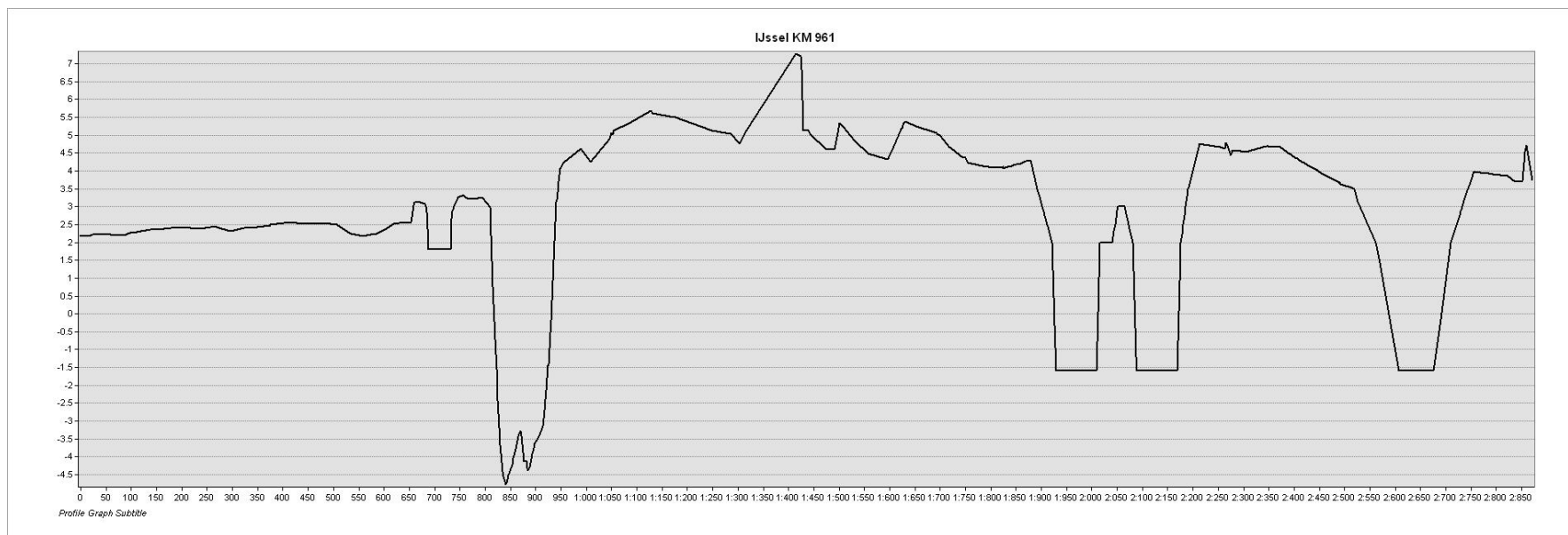
Afbeelding III.6 Dwarsprofiel huidige bodemligging IJssel (KM 959) uit Baseline



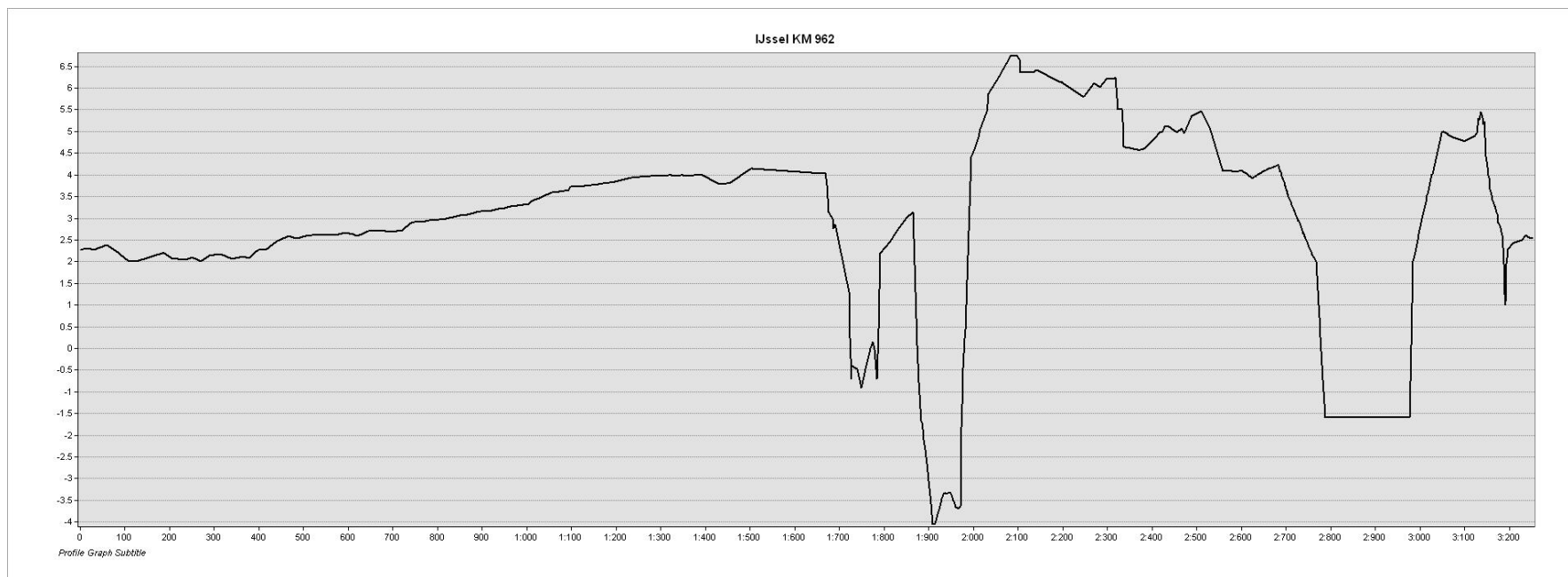
Afbeelding III.7 Dwarsprofiel huidige bodemligging IJssel (KM 960) uit Baseline



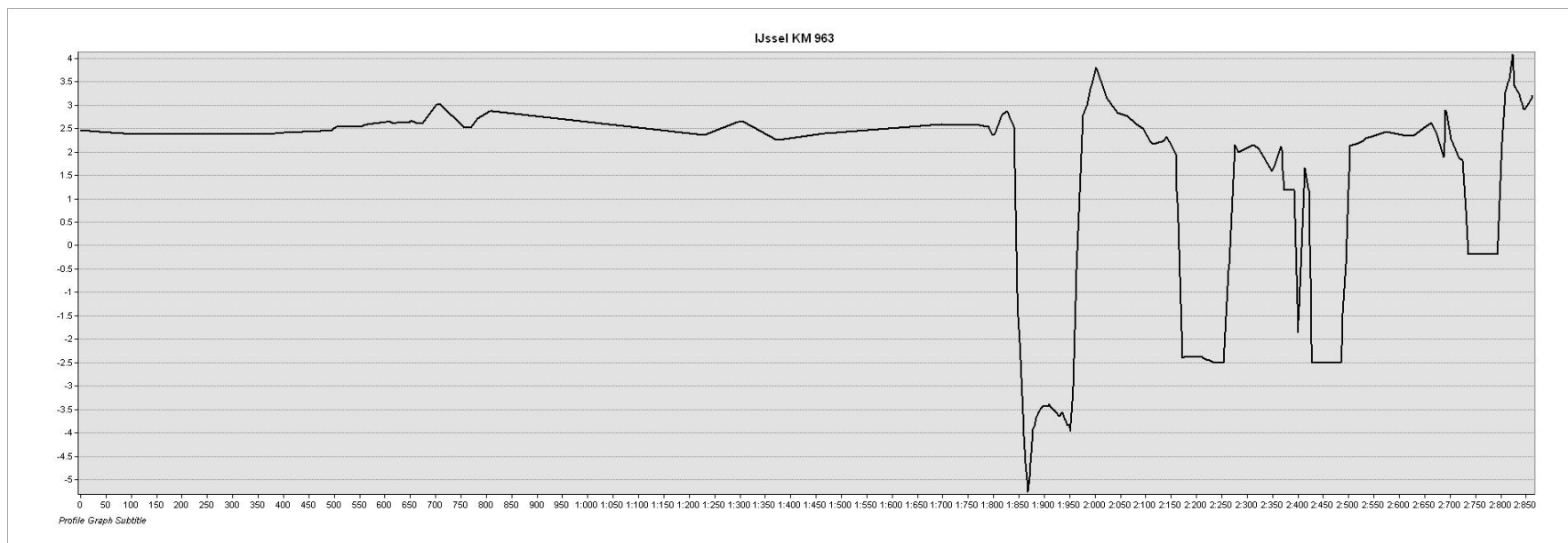
Afbeelding III.8 Dwarsprofiel huidige bodemligging IJssel (KM 955) uit Baseline



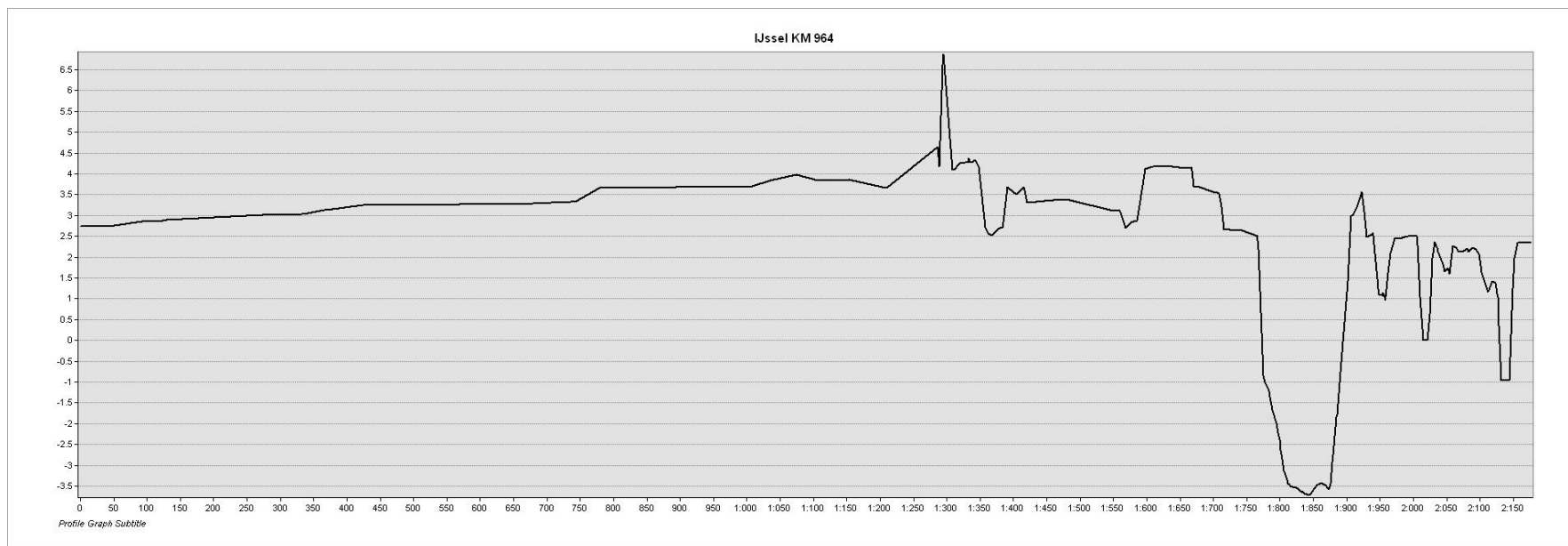
Afbeelding III.9 Dwarsprofiel huidige bodemligging IJssel (KM 962) uit Baseline



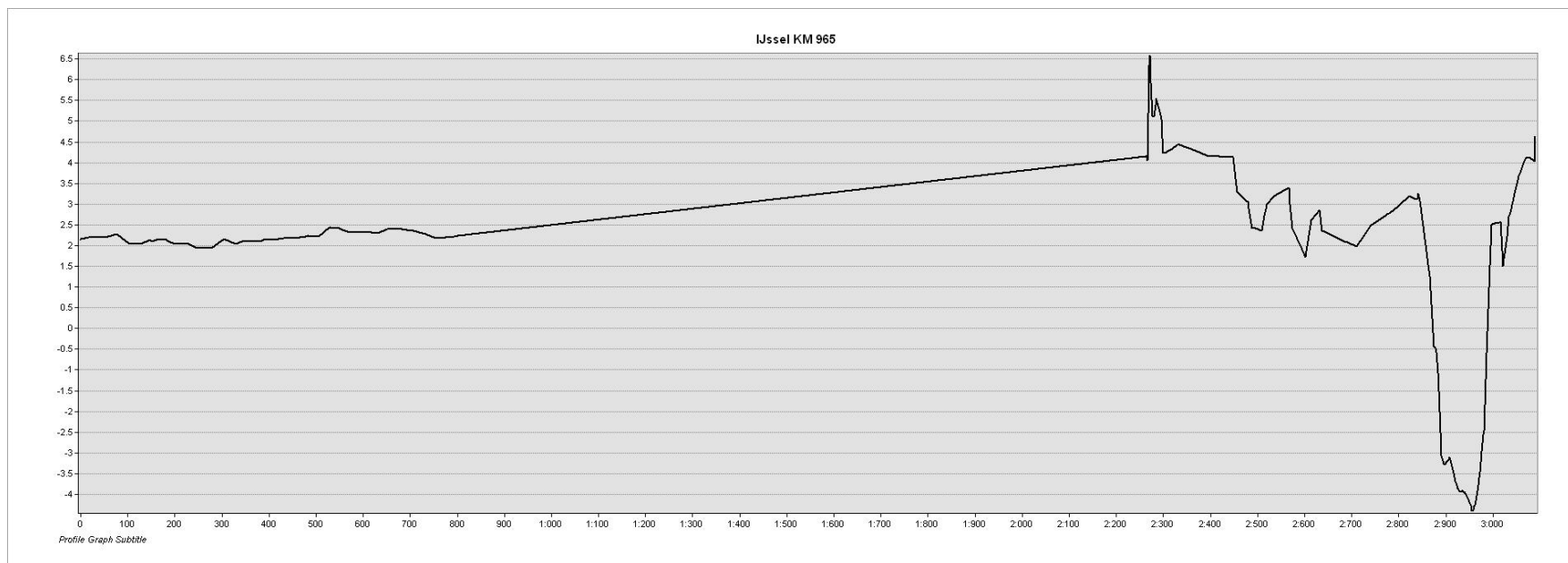
Afbeelding III.10 Dwarsprofiel huidige bodemligging IJssel (KM 963) uit Baseline



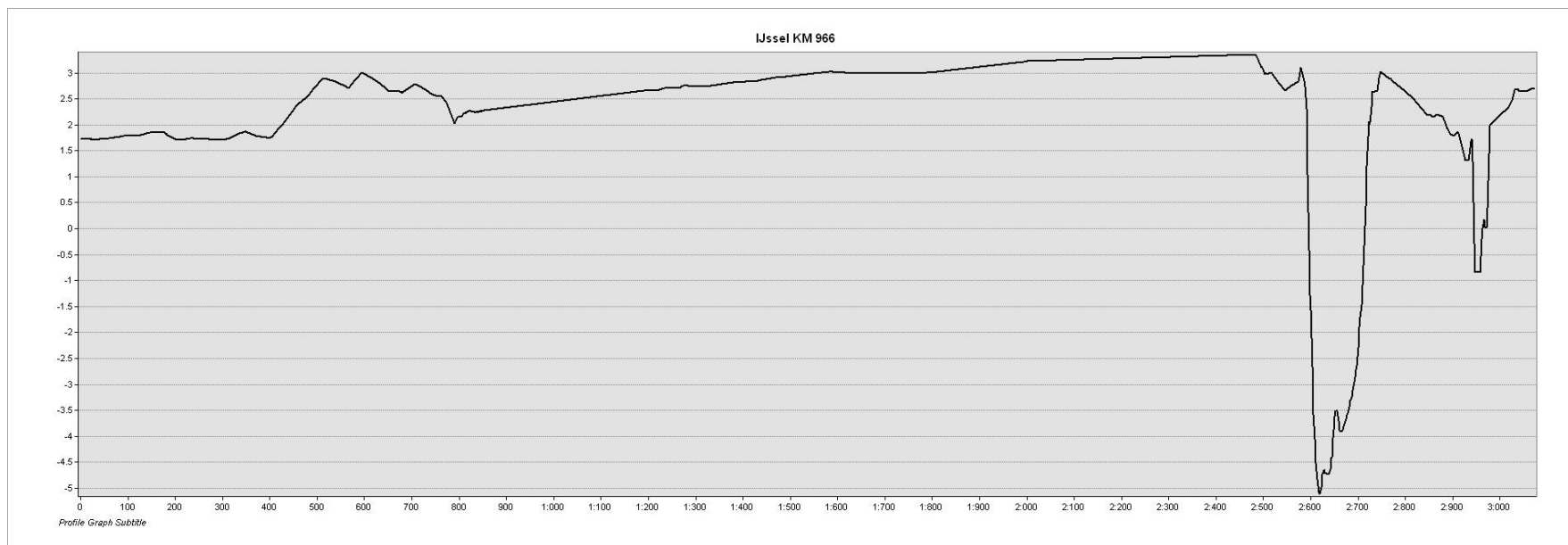
Afbeelding III.11 Dwarsprofiel huidige bodemligging IJssel (KM 964) uit Baseline



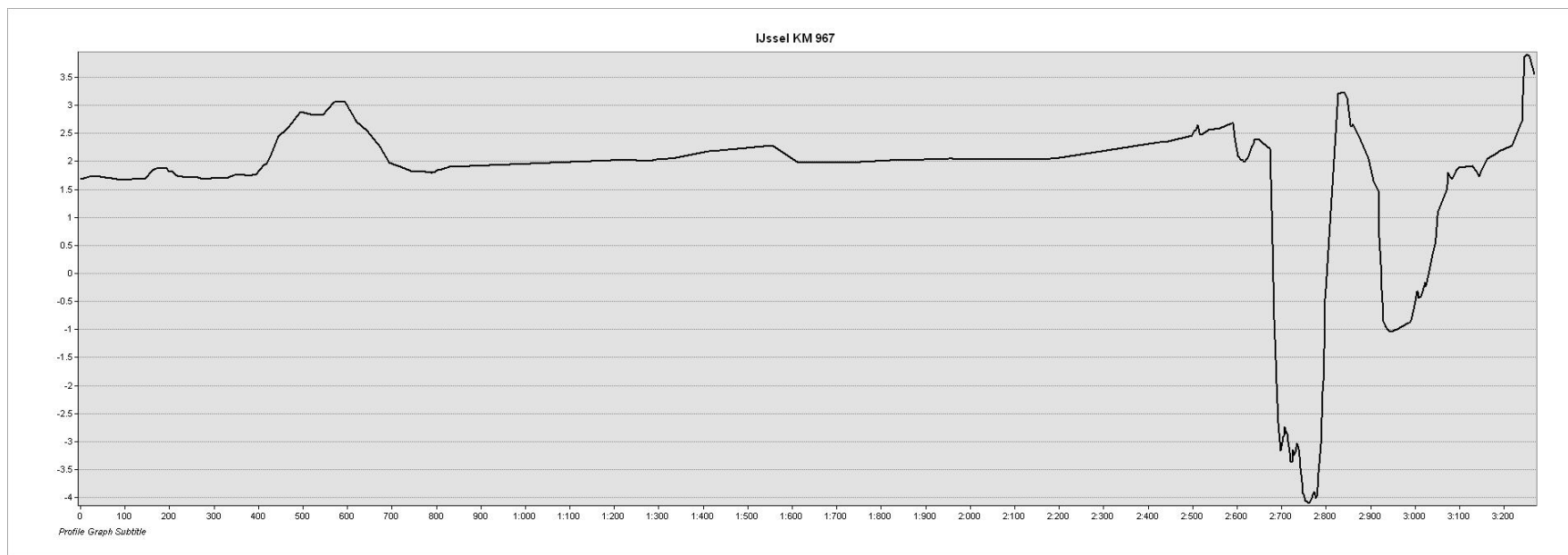
Afbeelding III.12 Dwarsprofiel huidige bodemligging IJssel (KM 965) uit Baseline



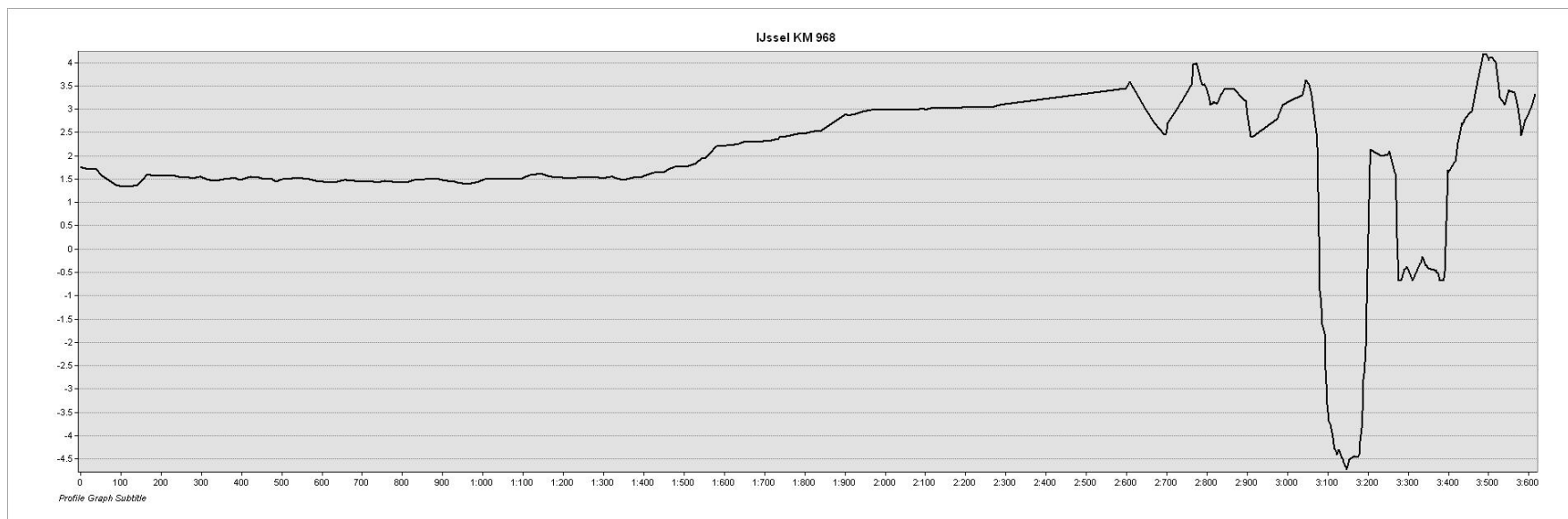
Afbeelding III.13 Dwarsprofiel huidige bodemligging IJssel (KM 966) uit Baseline



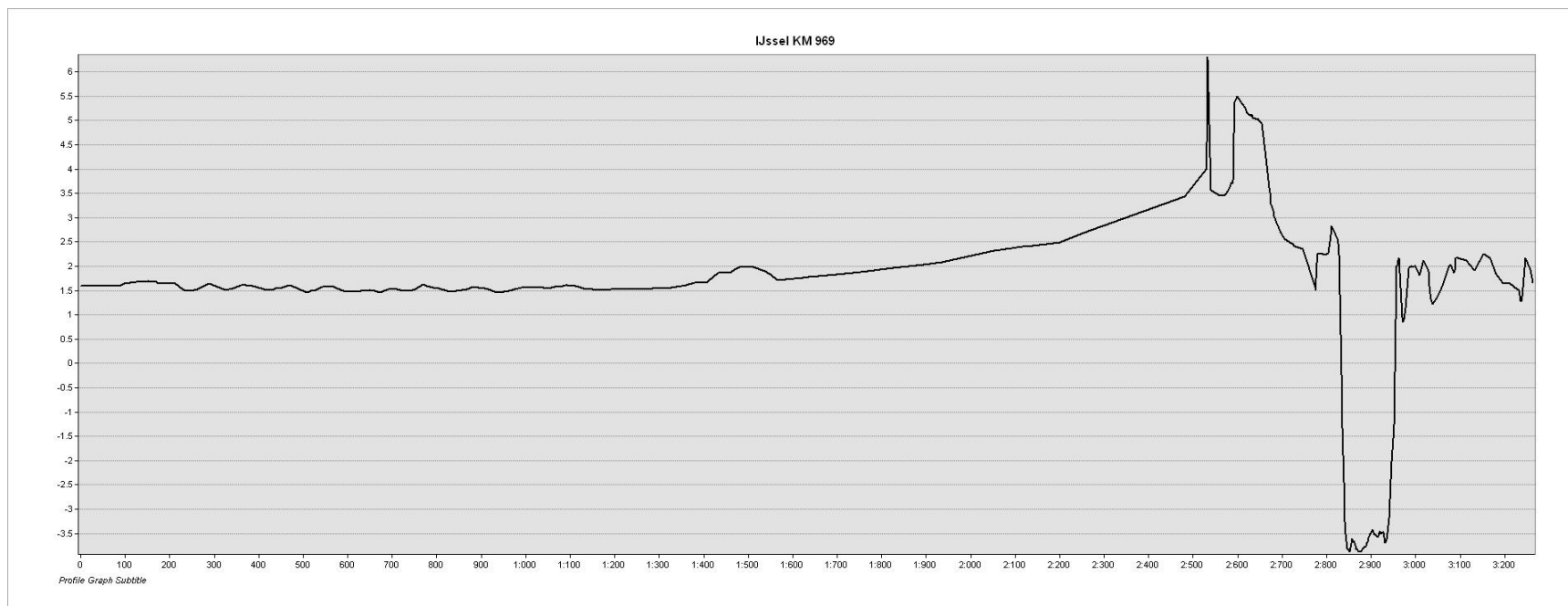
Afbeelding III.14 Dwarsprofiel huidige bodemligging IJssel (KM 967) uit Baseline



Afbeelding III.15 Dwarsprofiel huidige bodemligging IJssel (KM 968) uit Baseline



Afbeelding III.16 Dwarsprofiel huidige bodemligging IJssel (KM 969) uit Baseline



Afbeelding III.17 Dwarsprofiel huidige bodemligging IJssel (KM 970) uit Baseline

